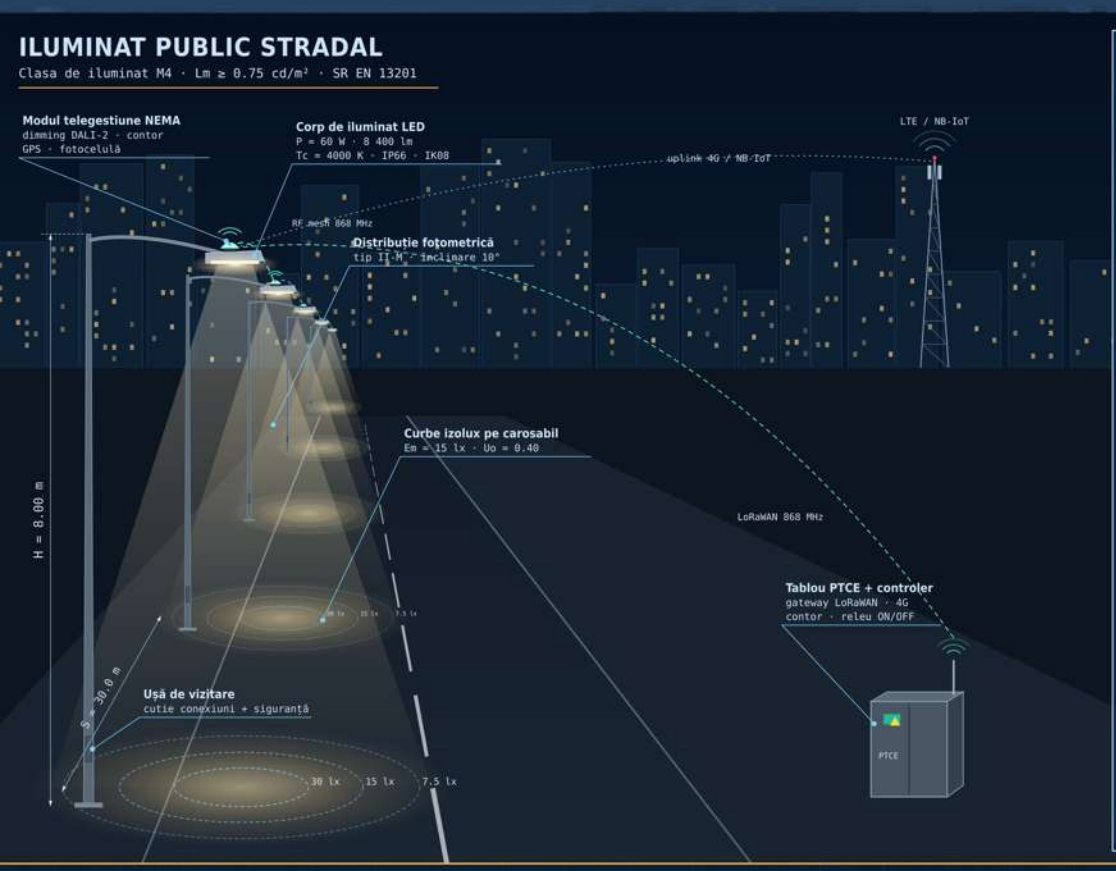
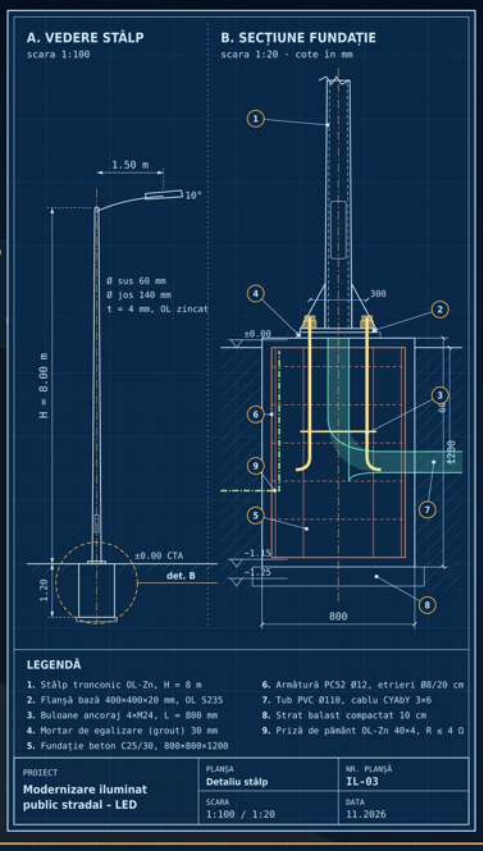
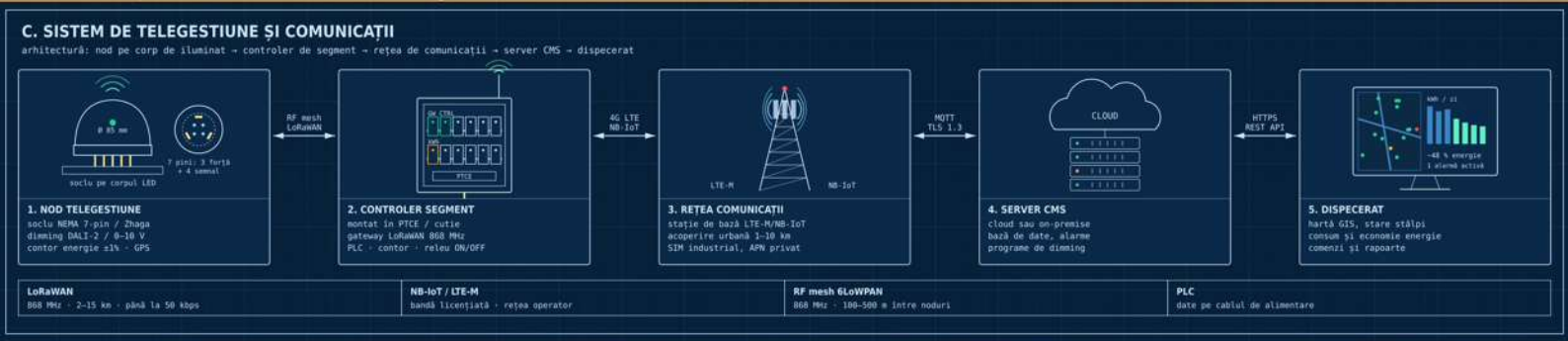
MANUAL DE BUNE PRACTICI ÎN ILUMINATUL PUBLIC

Ghid tehnic pentru eficientizare energetică, design sustenabil și conformitate normativă

CNRI | Comitetul Național Român de Iluminat







Colectiv de autori sub egida
Comitetului Național Român de Iluminat (CNRI)

EDIȚIA 2026

MANUAL DE BUNE PRACTICI ÎN ILUMINAT

Ghid tehnic pentru eficientizare energetică, design sustenabil și conformitate normativă

Colectiv de Redacție / Comitetul Național Român de Iluminat
Anul Publicării: 2026

Dr. Ing. Ioan PĂUȚ, coordonator și autor
Prof. Dr. Ing. Cătălin GĂLĂȚANU, autor
Ș.l. Dr. Ing. Anca MANOLESCU, autor
Ing. Constantin OPRIȚESCU, autor
Ing. Sorin COZMA, autor
Ing. Gheorghe ICHIM, autor
Alin TĂNASIE, autor
Ing. Alin EPURE, autor

Tehnoredactare: Ing. Sorin COZMA

Cuprins

Prefață (Cuvânt Înainte) **6**

Introducere **9**

Scopul Manualului 9

Grupul Țintă 9

1. Mărimi, unități de măsură, legi – din luminotehnică [Păuț I., Gălățanu C.] **10**

1.1. Mărimi și unități de măsură în luminotehnică 10

1.2. Legi și teoreme fizice aplicate în luminotehnică 28

1.3. Bibliografie 47

2. Aparate de iluminat destinate iluminatului public [Păuț I.] **50**

2.1. Proiectarea și construcția aparatelor de iluminat destinate iluminatului public 50

2.2. Sursa de lumină LED 52

2.3. Tipuri de aparataje specifice aparatelor de iluminat destinate iluminatului public 57

2.4. Elemente optice specifice aparatelor de iluminat destinate iluminatului public 60

2.5. Certificarea aparatelor de iluminat 65

2.6. Bibliografie 90

3. Măsurări luminotehnice de laborator specifice aparatelor de iluminat destinate iluminatului public [Păuț I., Gălățanu C.] **92**

3.1. Instrumentele de măsură de laborator specifice aparatelor de iluminat public 92

3.2. Metode de măsurări fotometrice destinate aparatelor de iluminat public 111

3.3. Standarde specifice măsurărilor de laborator ale aparatelor de iluminat public 121

3.4. Bibliografie 126

4. Proiectarea sistemelor de iluminat destinate iluminatului public [Păuț I., Tănasie A., Ichim G., Cozma S.] **129**

4.1. Calculul sistemelor de iluminat [Păuț I.] 129

4.2. Evaluarea calitativă a distribuției luminanțelor [Păuț I.] 141

4.3. Proiectarea sistemelor de iluminat destinate căilor de circulație rutieră [Păuț I.] 148

4.4. Proiectarea sistemelor de iluminat destinate trecerilor de pietoni [Cozma S., Ichim G.] 171

4.5. Proiectarea sistemelor de iluminat destinate intersecțiilor [Tănasie A.] 190

4.6. Proiectarea sistemelor de iluminat destinate podurilor rutiere [Păuț I.] 201

4.7. Proiectarea sistemelor de iluminat destinate iluminatului arhitectural [Cozma S.] 218

4.8. Proiectarea sistemelor de iluminat decorativ festiv [Cozma S.] 235

4.9. Bibliografie 253

5. Poluarea luminoasă în iluminatul public [Păuț I., Manolescu A.] **254**

5.1. Ce înseamnă „poluare luminoasă”? 254

5.2. Sky glow – luminozitatea artificială a cerului 254

5.3. Ce reprezintă B.U.G. în poluarea luminoasă? 256

5.4. Glare – orbirea/disconfortul produs de iluminat 261

5.5. Lumina intruzivă în locuințe 262

5.6. Zonarea ZL0–ZL4 este extrem de importantă 262

5.7. Spectrul – de ce temperatura de culoare contează? 263

5.8. De ce LED-ul nu a „rezolvat” poluarea luminoasă 263

5.9. Supradimensionarea iluminatului 264

5.10. Dimarea este una dintre cele mai puternice metode de reducere 264

5.11. Poluarea luminoasă trebuie analizată pe mai multe „axe” 265
5.12. Un indicator foarte util: raportul dintre lumina necesară și lumina produsă 266
5.13. Cum ar trebui realizată o evaluare completă a unei străzi 266
5.14. Criteriul fundamental: „Right light, right place, right time” 267
5.15. GESTIONAREA DEȘEURILOR ÎN ILUMINATUL PUBLIC 268
5.16. Evaluarea poluării luminoase influențată de lumina albastră 272
5.17. Bibliografie 276

6. Comanda și controlul iluminatului [Păuț I., Oprițescu C., Epure A., Ichim G.] 278
6.1. Modelul arhitectural de referință — nivelurile sistemului de telegestiune [Păuț I.] 278
6.2. Echipamente specifice comenzii și controlului iluminatului [Oprițescu C., Epure A., Ichim G.] 337
6.3. Controlerele aparatelor de iluminat [Oprițescu C., Epure A., Ichim G.] 349
6.4. Sisteme avansate de control adaptiv al iluminatului cu senzori [Oprițescu C., Epure A., Ichim G.] 359
6.5. Interfața digitală a iluminatului adresabil (DALI) [Oprițescu C., Epure A., Ichim G.] 371
6.6. Automatizarea punctelor de aprindere [Oprițescu C., Epure A., Ichim G.] 381
6.7. Bibliografie 392

7. Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului [Păuț I., Oprițescu C., Epure A., Ichim G.] 395
7.1. Tehnologii de comunicație pentru telegestiune [Oprițescu C., Epure A., Ichim G.] 395
7.2. Controlul la nivel de circuit [Oprițescu C., Epure A., Ichim G.] 407
7.3. Protocoale de aplicație [Oprițescu C., Epure A., Ichim G.] 416
7.4. Arhitectura Smart City [Oprițescu C., Epure A., Ichim G.] 428
7.5. SCADA și managementul sistemelor de iluminat inteligent [Oprițescu C., Epure A., Ichim G.] 436
7.6. Comunicații radio pentru orașul inteligent [Oprițescu C., Epure A., Ichim G., Păuț I.] 446
7.7. Control avansat și automatizare adaptivă [Oprițescu C., Epure A., Ichim G.] 463
7.8. Monitorizare și diagnoză [Oprițescu C., Epure A., Ichim G.] 472
7.9. Securitate cibernetică [Oprițescu C., Epure A., Ichim G.] 481
7.10. Interoperabilitate [Oprițescu C., Epure A., Ichim G.] 491
7.11. Aspecte economice [Oprițescu C., Epure A., Ichim G.] 499
7.12. Bibliografie 508

8. Evaluarea performanțelor sistemelor de iluminat public prin măsurări luminotehnice specifice [Păuț I., Gălățanu C.] 511
8.1. Măsurarea iluminărilor punctuale 511
8.2. Măsurarea luminanțelor punctuale 527
8.3. Determinarea distribuției spectrale în evaluarea performanțelor sistemelor de iluminat public 541
8.4. Măsurarea temperaturii de culoare (K) și indicele de redare a culorilor (CRI/Ra) 556
8.5. Bibliografie 570

9. Stâlpii de iluminat – de la proiectare la exploatare [Tănasie A.] 572
9.1. Scopul și domeniul de aplicare 572
9.2. Cadrul normativ de referință 572
9.3. Terminologie esențială 573
9.4. Clasificarea stâlpilor de iluminat 574
9.5. Cerințe de proiectare conform SR EN 40-5 (stâlpi din oțel) 578
9.6. Proiectarea și verificarea structurală 583
9.7. Proiectarea fundațiilor 587

9.8. Instalația electrică și siguranța electrică ... 587
9.9. Achiziție, fabricație, transport și montaj ... 588
9.10. Recepția lucrărilor ... 589
9.11. Exploatare și mentenanță ... 590
9.12. Liste de verificare ... 592
Anexa A — Model de specificație tehnică pentru achiziție ... 593
Anexa B — Abrevieri ... 594
Anexa C — Studiu de caz: influența amplasamentului asupra verificării structurale ... 594
Anexa D — Comparație orientativă între calculul la vânt conform CR 1-1-4/2012 (SR EN 1991-1-4) și ASCE ... 596
9.13. Bibliografie ... 598
10. Protecții electrice pentru sistemele de iluminat public [Cozma S.] ... 600
10.1. Cadru general și normativ ... 600
10.2. Arhitectura electrică și nivelurile de protecție ... 601
10.3. Protecția împotriva șocurilor electrice ... 603
10.4. Protecția la supracurenți ... 605
10.5. Protecția împotriva supratensiunilor ... 607
10.6. Legarea la pământ și echipotențializarea ... 609
10.7. Protecțiile din punctul de aprindere ... 610
10.8. Telegestiune și funcții SMART în raport cu protecțiile ... 611
10.9. Verificări la punerea în funcțiune și verificări periodice ... 612
10.10. Greșeli frecvente și listă de verificare ... 613
10.11. Concluzii ... 614
10.12. Bibliografie ... 615
Bibliografie generală ... 617
Glosar de termeni ... 626

Prefață (Cuvânt Înainte)

Coordonator și autor: Dr. Ing. Ioan Păuț

Lumina – între necesitate, știință, tehnologie și responsabilitate

Lumina reprezintă o condiție fundamentală a percepției vizuale, a siguranței, confortului și calității vieții. În societatea contemporană, iluminatul depășește simpla asigurare a unui nivel de iluminare, constituind un domeniu interdisciplinar la intersecția ingineriei electrice, fotometriei, arhitecturii, ergonomiei, automatizărilor și protecției mediului. Dezvoltarea tehnologiilor LED, a sistemelor inteligente de control și a simulărilor fotometrice impune o abordare integrată a proiectării și exploatării. Prezentul manual sistematizează principii, criterii și metode pentru realizarea unor instalații eficiente, sigure, sustenabile și conforme cu cerințele normative, de la definirea necesităților până la mentenanță și modernizare.

Necesitatea unei abordări moderne și unitare a tehnicii iluminatului

Progresul tehnologic, de la sursele tradiționale la iluminatul LED adaptiv, a îmbunătățit eficacitatea luminoasă și posibilitățile de control, fără a garanta automat calitatea soluțiilor. Performanța trebuie apreciată multidimensional: fotometric, prin iluminare, luminanță, uniformitate, limitarea orbirii și caracteristici cromatice; energetic, prin putere instalată, consum și reglare; funcțional și ergonomic, prin vizibilitate, confort și siguranță; economic, prin investiție și costuri pe ciclul de viață; ecologic, prin consum de resurse, durabilitate, reciclare și limitarea poluării luminoase; normativ, prin respectarea standardelor și a cerințelor de securitate. Principiul director este furnizarea luminii potrivite, în locul și momentul potrivit, în cantitatea necesară și cu utilizarea responsabilă a resurselor.

Eficiența energetică – de la performanța aparatului de iluminat la optimizarea întregului sistem

Eficacitatea luminoasă a unui aparat de iluminat, exprimată în lm/W, nu descrie singură eficiența unei instalații. Consumul efectiv depinde de distribuțiile fotometrice, echipamentele auxiliare, geometria spațiului, reflexia suprafețelor, factorul de menținere și programul de funcționare. Optimizarea presupune dimensionarea riguroasă a necesarului de lumină, selecția echipamentelor pe baza datelor verificabile, valorificarea luminii naturale, utilizarea senzorilor de prezență și iluminare, reglarea pe scenarii, monitorizarea consumului și mentenanța planificată. Economiile estimate în proiect trebuie confruntate cu rezultatele măsurate în exploatare. Reducerea energiei nu poate justifica diminuarea confortului vizual sau a siguranței.

Calitatea iluminatului și centralitatea factorului uman

Iluminatul este proiectat pentru oameni și pentru activități concrete. Atingerea unei valori prescrise a iluminării nu garantează o experiență vizuală adecvată. Sunt decisive distribuția luminanțelor, contrastul, controlul orbirii, redarea culorilor, spectrul, stabilitatea temporală a luminii și relația cu iluminatul natural. Proiectarea centrată pe utilizator corelează parametrii fotometrici cu destinația spațiului, sarcinile vizuale, siguranța și confortul. Calitatea mediului luminos constituie un obiectiv fundamental, nu un rezultat secundar al eficienței energetice.

Designul sustenabil și responsabilitatea față de mediul înconjurător

Sustenabilitatea privește întregul ciclu de viață: extracția materiilor prime, fabricația, transportul, instalarea, utilizarea, întreținerea și tratarea deșeurilor. Durata de utilizare, fiabilitatea, reparabilitatea, posibilitatea înlocuirii componentelor, interoperabilitatea și disponibilitatea pieselor de schimb trebuie incluse în alegerea soluțiilor. Un consum redus nu compensează întotdeauna durata scurtă de viață sau dificultățile de reparare. În iluminatul exterior, controlul distribuției fluxului luminos, al emisiilor către cer și al pătrunderii luminii în spații nedorite limitează poluarea luminoasă și efectele asupra mediului nocturn. Se urmărește echilibrul dintre eficiență, calitate, viabilitate economică și responsabilitate ecologică.

Conformitatea normativă – fundament al calității și responsabilității profesionale

Proiectarea și exploatarea instalațiilor trebuie să respecte cadrul tehnic și legislativ aplicabil. Conformitatea presupune înțelegerea domeniului standardelor, a metodelor de calcul și măsurare și a condițiilor de evaluare, nu doar verificarea formală a unor valori. Pentru iluminatul exterior, SR EN 13201 oferă repere privind clasele de iluminat, cerințele de performanță și evaluarea rezultatelor. Se vor verifica edițiile în vigoare, statutul juridic al documentelor și cerințele naționale suplimentare, diferențiind obligațiile legale de standardele voluntare, recomandările profesionale și condițiile contractuale. Respectarea normelor reprezintă baza calității, nu limita superioară a performanței.

Digitalizarea și sistemele inteligente – o nouă etapă în evoluția iluminatului

Transformarea digitală a infrastructurilor tehnice a deschis noi perspective în domeniul iluminatului. Integrarea surselor LED cu dispozitive electronice de comandă, senzori, rețele de comunicații și platforme informatice permite trecerea de la instalații cu funcționare predominant statică la sisteme adaptabile, monitorizabile și controlabile în timp real. În iluminatul public, tehnologiile de telegestiune pot permite monitorizarea punctelor luminoase, programarea regimurilor de funcționare, detectarea anumitor defecțiuni și colectarea datelor necesare optimizării exploatării. Protocoalele și interfețele de comunicație, precum DALI și DALI-2, KNX sau alte soluții compatibile cu cerințele proiectului, trebuie evaluate nu doar din perspectiva funcționalităților disponibile, ci și a interoperabilității, securității, scalabilității și costurilor de exploatare. Digitalizarea aduce însă și noi responsabilități tehnice. Un sistem inteligent nu este în mod necesar un sistem eficient, iar complexitatea suplimentară trebuie justificată prin beneficii măsurabile. Proiectarea unor asemenea soluții presupune evaluarea arhitecturii de control, a fiabilității comunicațiilor, a comportamentului în situații de avarie, a securității cibernetice, a protecției datelor și a posibilităților de mentenanță pe termen lung. În consecință, manualul va promova utilizarea tehnologiilor inteligente acolo unde acestea aduc valoare tehnică, energetică și operațională demonstrabilă.

De la proiectare la exploatare – importanța ciclului complet de viață

Performanța instalației se confirmă pe întreaga durată de utilizare, nu exclusiv la punerea în funcțiune. Ipotezele de proiectare, calitatea montajului și verificările de recepție trebuie corelate cu monitorizarea și mentenanța. Deprecierea fluxului luminos, murdărirea componentelor, schimbarea destinației spațiilor și defectările pot modifica rezultatele inițiale. Modernizarea instalațiilor existente necesită evaluarea compatibilității electrice și mecanice, a performanțelor fotometrice, a siguranței și a conformității ansamblului. Înlocuirea izolată a unei surse nu echivalează întotdeauna cu reabilitarea corectă. Deciziile trebuie fundamentate prin comparații tehnice, costuri pe ciclul de viață și verificarea economiilor realizate.

Rolul manualului și principiile metodologice

Manualul se adresează proiectanților, inginerilor, arhitecților, auditorilor energetici, administratorilor de infrastructuri, autorităților, consultanților, cercetătorilor și studenților. El urmărește corelarea fundamentelor teoretice cu practica, uniformizarea terminologiei și utilizarea unor indicatori verificabili. Metodologia propusă se bazează pe rigoare științifică, obiectivitate tehnică, abordare integrată, adaptare la aplicație, verificabilitatea rezultatelor, responsabilitate pe termen lung și actualizarea continuă a cunoștințelor. Soluțiile trebuie evaluate transparent, prin calcule, simulări, măsurări și date de exploatare, fără favorizarea unui producător sau a unei tehnologii comerciale.

Responsabilitatea profesională și misiunea lucrării

Expertiza în iluminat nu se reduce la alegerea produselor sau la operarea programelor de calcul. Specialistul trebuie să formuleze ipoteze corecte, să interpreteze critic rezultatele, să compare alternative și să anticipeze riscurile tehnice, economice și ambientale. Manualul promovează decizii explicabile, justificate și verificabile, precum și dialogul dintre mediul academic, proiectanți, producători, autorități și beneficiari. Valoarea unei soluții rezultă din echilibrul dintre cunoaștere științifică, competență inginerească, adecvare funcțională, eficiență energetică și respectul față de utilizator și mediu. Lumina trebuie proiectată, nu doar

instalată; energia gestionată, nu doar consumată; performanța demonstrată, nu doar declarată; iar sustenabilitatea integrată în fiecare etapă a procesului tehnic.

Introducere

Scopul Manualului

Prezentul ghid are ca obiectiv principal stabilirea unor repere clare și aplicabile pentru realizarea proiectelor aferente iluminatului de exterior. Accentul este pus pe obținerea unui echilibru perfect între performanța vizuală, confortul utilizatorilor și eficiența energetică maximă.

Grupul Țintă

Documentul este structurat pentru a deservi o gamă largă de specialiști, printre care:

- **Autorități locale și administratori publici:** Care coordonează rețelele urbane și iluminatul stradal.
- **Proiectanți și ingineri electricieni:** Care au nevoie de detalii privind conformitatea cu standardele europene și calculele de luminanță.
- **Arhitecți și urbaniști:** Pentru integrarea armonioasă a luminii în designul structural.

1. Mărimi, unități de măsură, legi – din luminotehnică *[Păuț I., Gălățanu C.]*

1.1. Mărimi și unități de măsură în luminotehnică

1.1.1. Luminotehnica

Luminotehnica este domeniul care studiază producerea, distribuția, măsurarea și utilizarea luminii, în special pentru iluminatul interior și exterior [1, 2, 3].

În practică, ne interesează întrebări precum:

- Câtă lumină produce o sursă de lumină?
- În ce direcție este emisă lumina?
- Câtă lumină ajunge pe o masă, podea, stradă sau o fațadă?
- Cât de luminoasă este o suprafață?
- Cât de uniform este iluminatul?
- Cât de orbitoare este o sursă de lumină?
- Ce cantitate de energie consumă instalația de iluminat?
- Ce culoare are lumina?
- Cum influențează distribuția luminii confortul vizual?

Pentru aceste întrebări se folosesc mai multe **mărimi fotometrice**.

1.1.2. Mărimile fotometrice fundamentale

Cele mai importante sunt:

Mărime	Simbol	Unitate SI	Ce descrie
Flux luminos	Φ	lumen (lm)	Cantitatea totală de lumină emisă
Intensitate luminoasă	I	candela (cd)	Cât flux este emis într-o anumită direcție
Iluminare	E	lux (lx)	Cât flux ajunge pe o suprafață
Luminanță	L	cd/m²	Cât de luminoasă apare o suprafață într-o direcție
Emitanță luminoasă	M	lm/m²	Cât flux pleacă de pe o suprafață
Energie luminoasă	Q	lm·s	Fluxul luminos acumulat în timp

Tabelul 1.1 – Mărimile fotometrice fundamentale

CIE [1] și BIPM [2] (Bureau international des poids et mesures) tratează fluxul luminos, intensitatea luminoasă, iluminarea și luminanța ca mărimile fotometrice fundamentale utilizate în mod curent.

1.1.3. Fluxul luminos – Φ

1.1.3.1. Definiție

Fluxul luminos reprezintă cantitatea de lumină emisă de o sursă, raportată la sensibilitatea vizuală umană.

Se notează:

$$\boxed{\Phi}$$

iar unitatea de măsură este:

$$\boxed{\text{lumen (lm)}}$$

Cu alte cuvinte:

Fluxul luminos spune „câtă lumină” produce o sursă.

CIE [1] descrie explicit măsurarea fluxului luminos și relația acestuia cu iluminarea, intensitatea luminoasă și luminanța.

1.1.3.2. Exemplu

Să presupunem că avem un aparat de iluminat cu:

$$\Phi = 4000\ lm$$

Înseamnă că acesta emite un flux luminos total de 4000 lumeni.

Atenție: **4000 lm nu înseamnă 4000 lx.** Aceasta este una dintre cele mai frecvente confuzii.

- lumen → câtă lumină produce sursa;
- lux → câtă lumină ajunge pe o suprafață.

1.1.4. Lumenul – lm

Lumenul este unitatea de măsură a fluxului luminos.

Relația fundamentală este:

$$\boxed{1\ lm = 1\ cd \cdot sr}$$

unde:

- cd = candela;
- sr = steradian.

BIPM [2] exprimă lumenul ca flux luminos derivat din candela și unghiul solid.

1.1.5. Unghiul solid – steradianul (sr)

Pentru a înțelege **candela**, trebuie să înțelegem **steradianul** [2, 3].

În geometria plană avem unghiul:

radian (rad)

În geometria spațială avem:

$$\boxed{\text{steradian (sr)}}$$

Un steradian este un unghi solid care, proiectat pe o sferă cu raza r, delimitează o suprafață:

$$A = r^2$$

De aici:

$$\Omega = \frac{A}{r^2}$$

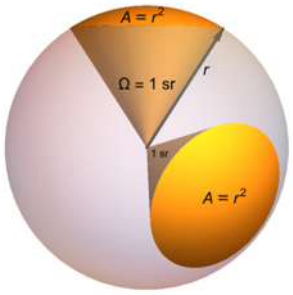


Figura 1.1 – Unghiul solid de 1 sr: suprafața A = r² interceptată pe sfera de rază r

unde:

- Ω= unghi solid [sr];
- A= suprafața interceptată pe sferă [m²];
- r= raza sferei [m].

Pentru o sferă completă:

$$\boxed{\Omega = 4\pi\ sr}$$

adică aproximativ:

$$12,566\ sr$$

Acest concept este extrem de important pentru înțelegerea distribuției luminii.

1.1.6. Intensitatea luminoasă – I

Intensitatea luminoasă reprezintă fluxul luminos emis într-o anumită direcție, într-un unghi solid infinit mic.

Se notează:

$$\boxed{\mathrm{I}}$$

Unitatea de măsură: $\boxed{cd}$ candela.

Formula:

$$\boxed{\mathrm{I} = \frac{d\Phi}{d\Omega}}$$

Pentru o sursă punctiformă care emite egal în toate direcțiile:

$$\mathrm{I} \approx \frac{\Phi}{\Omega}$$

CIE [1] definește intensitatea luminoasă ca raportul dintre fluxul luminos emis într-un element de unghi solid și acel element de unghi solid.

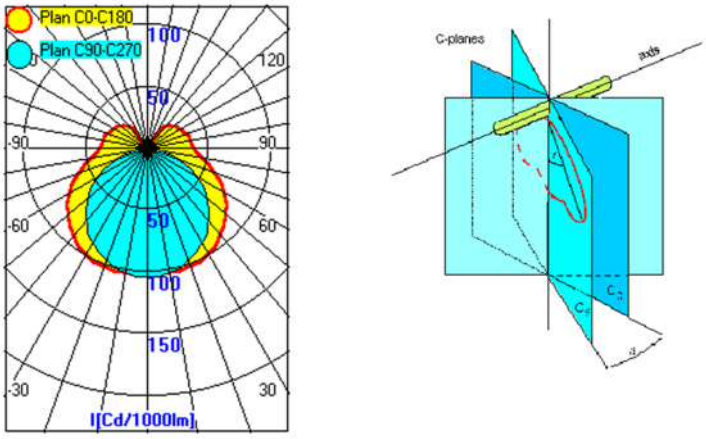


Figura 1.2 – Diagrama polară a intensității luminoase în planurile C0–C180 și C90–C270 și sistemul planurilor C

Figura 1.3 – Valori orientative ale intensității luminoase: lumânare, lampă incandescentă de 100 W, Soare

Este mărimea ce caracterizează aparatul de iluminat (așa cum fluxul caracterizează sursa de lumină). Distribuția spațială a intensității luminoase este definită ca reprezentarea, prin curbe (diagrame polare) sau tabele, a valorilor intensității luminoase a aparatului de iluminat în funcție de direcțiile din spațiu.

1.1.7. Ce înseamnă, intuitiv, candela?

Să presupunem două surse care au fiecare [2, 3]:

$$1000\ lm$$

Prima distribuie lumina aproape uniform în toate direcțiile. A doua concentrează lumina într-un fascicul foarte îngust. Ambele pot avea același flux luminos total:

$$1000\ lm$$

dar a doua poate avea o **intensitate luminoasă mult mai mare** în direcția fasciculului.

Prin urmare: **Lumenul spune câtă lumină avem în total, candela spune cât de concentrată este lumina într-o direcție.**

1.1.8. Candela – unitate fundamentală SI

Candela este una dintre cele **șapte unități de bază ale SI** [2, 3].

Este notată: $\boxed{cd}$ iar celelalte unități fotometrice importante pot fi derivate pornind de la ea.

Candela este intensitatea luminoasă, într-o direcție dată, a unei surse de lumină punctiforme care emite o radiație monocromatică, la o lungime de undă de 555 nm, cu frecvența de 540×10^{12} hertzi și a cărei intensitate energetică, în această direcție este de 1/683 dintr-un watt pe steradian.

1.1.9. Iluminarea – E

Probabil cea mai importantă mărime din proiectarea instalațiilor de iluminat este: $\boxed{E}$
numită **iluminare**.

Unitatea de măsură:

$$\boxed{lux\ (lx)}$$

Definiția este: iluminarea reprezintă densitatea fluxului luminos incident pe o suprafață.

Matematic:

$$\boxed{E = \frac{d\Phi}{dA}}$$

Pentru o distribuție uniformă:

$$\boxed{\mathrm{E} = \frac{\Phi}{A}}$$

CIE [1] definește iluminarea ca densitatea fluxului luminos incident raportată la suprafață, iar unitatea este luxul.

1.1.10. Ce înseamnă 1 lux?

$$\boxed{1\ lx = 1\ lm/m^2}$$

Deci: o suprafață de 1 m² pe care cade uniform un flux luminos de 1 lumen are o iluminare de 1 lux [3]. Aceasta este una dintre cele mai importante formule din luminotehnică:

$$\boxed{E = \frac{\Phi}{A}}$$

1.1.11. Exemplu de calcul al iluminării

Avem [1, 3, 4]:

$$\Phi = 3000\ lm$$

flux util, care ajunge uniform pe:

$$A = 10\ m^2$$

Atunci:

$$E = \frac{3000\ lm}{10\ m^2}\ \boxed{E = 300\ lx}$$

Deci suprafața este iluminată cu 300 lux.

1.1.12. De ce nu putem calcula întotdeauna luxul doar din lumeni?

Pentru că trebuie să știm **cum este distribuit fluxul luminos** [3].

Două aparate de iluminat pot avea:

$$\Phi_1 = \Phi_2 = 5000\ lm$$

dar:

- aparatul A poate distribui lumina pe o suprafață foarte mare;
- aparatul B poate concentra lumina într-o zonă mică.

Rezultatul poate fi:

$$E_A \ll E_B$$

chiar dacă:

$$\Phi_A = \Phi_B$$

1.1.13. Relația dintre lux și distanță

Pentru o sursă punctuală, în condițiile simplificate corespunzătoare, apare **legea inversului pătratului**:

$$\boxed{E = \frac{I}{r^2}}$$

valabilă pentru punctul de pe suprafața care este perpendiculară pe direcția razei, unde:

- E= iluminare [lx];
- I= intensitate luminoasă [cd];
- r= distanță [m].

NIST [3] (National Institute of Standards and Technology) include legea inversului pătratului printre principiile fundamentale ale fotometriei și radiometriei.

1.1.14. Luminanța – L_v

Luminanța este o mărime foarte importantă, dar adesea confundată cu iluminarea.

Se notează:

$$\boxed{\mathrm{L}}$$

Unitatea de măsură:

$$\boxed{cd/m^2}$$

Luminanța este intensitatea luminoasă emisă de o suprafață infinit mică, vizată de un observator sau senzor, într-un unghi solid infinit mic [1].

1.1.15. Diferența fundamentală dintre iluminare și luminanță

Iluminarea:

$$\boxed{E\ [lx]}$$

se referă la: **lumina care ajunge pe o suprafață** [3, 4]**.**

Luminanța:

$$\boxed{L\ [cd/m^2]}$$

se referă la: **lumina care pleacă de la o suprafață spre observator, amplasat într-un anumit punct.**

Această diferență este fundamentală.

Exemplu:

O suprafață a unei mese poate avea:

$$E = 500\ lx$$

dar nu înseamnă că acea suprafață are „500 cd/m²”.

Luminanța suprafeței depinde de proprietățile ei optice, adică de coeficientul de reflexie și de tipul de reflexie, precum și de direcția de observare.

1.1.16. De ce luminanța este importantă pentru vedere?

Ochiul nu „vede luxul” direct [3, 4]. Ochiul primește lumină provenită de la obiecte și suprafețe. Prin urmare, pentru percepția vizuală contează foarte mult:

$$\boxed{L\left[cd/m^2\right]}$$

De exemplu:

- ecran;
- hârtie;
- perete;
- drum;
- carosabil;
- panou publicitar;
- corp de iluminat;
- fațadă.

În proiectarea iluminatului rutier, luminanța carosabilului este deosebit de importantă deoarece observatorul percepe drumul prin lumina reflectată către ochi.

1.1.17. Luminanța și suprafața aparentă

Formula conceptuală poate fi exprimată [3, 4]:

$$\boxed{L = \frac{dI}{dA\cos\theta}}$$

unde:

- dI= intensitatea luminoasă într-o direcție;
- dA= suprafața;
- θ= unghiul dintre normala suprafeței și direcția de observare.

De aici apare noțiunea de suprafață aparentă sau proiectată (pe direcția observatorului):

$$A_{proiectată} = A\cos\theta$$

1.1.18. Emitanța luminoasă – M

Mai există o mărime importantă:

$$\boxed{\mathrm{M}}$$

numită **emitanță luminoasă** sau **exitanță luminoasă**.

Este fluxul luminos care **părăsește** o suprafață pe unitatea de suprafață.

$$\boxed{\mathrm{M} = \frac{d\Phi}{dA}}$$

Unitatea de măsură:

$$\boxed{lm/m^2}$$

Observație importantă. deși dimensional:

$$1\ lm/m^2 = 1\ lx$$

CIE [1] face distincție între cele două mărimi:

- **iluminare E** → flux care ajunge pe suprafață;
- **emitanță M** → flux care pleacă de pe suprafață.

Unitatea este aceeași ca expresie dimensională, dar **mărimea fizică este diferită**.

1.1.19. Energia luminoasă – Q

Fluxul luminos se referă la o rată în timp [1, 3, 5, 6].

Dacă vrem cantitatea totală de lumină furnizată într-un interval de timp, folosim:

$$\boxed{Q}$$

Energia luminoasă se poate scrie:

$$\boxed{\mathrm{Q} = \int \Phi(t)\, dt}$$

Unitatea de măsură:

$$\boxed{lm \cdot s}$$

În cazul unui flux constant:

$$\boxed{Q = \Phi t}$$

Exemplu:

O sursă produce:

$$1000\ lm$$

timp de:

$$10\ s$$

atunci:

$$\mathrm{Q} = 1000 \times 10 \boxed{Q = 10000\ lm \cdot s}$$

Mărimea este relevantă pentru expunerea luminoasă, problemă întâlnită în muzee, unde exponatele trebuie protejate.

1.1.20. Fotometrie versus radiometrie

Această distincție este esențială.

Fotometrie

Studiază lumina ponderată în funcție de sensibilitatea vizuală umană.

Unități:

- lm;
- cd;
- lx;
- cd/m².

Radiometrie – Radiometria este o ramură a fizicii care se ocupă cu măsurarea radiației electromagnetice, inclusiv a luminii vizibile, pe întreg spectrul lungimilor de undă. Măsoară radiația electromagnetică în termeni energetici.

Unități:

- W;
- W/sr;
- W/m²;
- W/(m²·sr).

CIE [1] și NIST [3] (National Institute of Standards and Technology) prezintă explicit corespondența dintre cele două sisteme.

1.1.21. Tabelul de corespondență fotometrie–radiometrie

Radiometrie	Unitate	Fotometrie	Unitate
Flux radiant	W	Flux luminos	lm
Intensitate radiantă	W/sr	Intensitate luminoasă	cd
Iradianță	W/m²	Iluminare	lx
Radiantă / radiance	W/(m²·sr)	Luminanță	cd/m²
Exitanță radiantă	W/m²	Emitanță luminoasă	lm/m²
Energie radiantă	J	Energie luminoasă	lm·s

Tabelul 1.2 – Corespondența dintre mărimile radiometrice și mărimile fotometrice

Această corespondență este prezentată și în literatura tehnică de fotometrie [3, 6].

1.1.22. De ce 1 W de lumină nu înseamnă întotdeauna același număr de lumeni?

Pentru că ochiul uman nu are aceeași sensibilitate la toate lungimile de undă. CIE [1] folosește funcții de eficacitate luminoasă spectrală, precum:

$$V(\lambda)$$

pentru vederea fotopică. La lungimea de undă de aproximativ 555 nm, sensibilitatea fotopică a ochiului este maximă. Prin urmare, aceeași putere radiantă poate produce valori fotometrice foarte diferite în funcție de spectru.

Relația generală este de forma:

$$\boxed{\Phi = K_m \int \Phi_{e,\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}$$

cu:

$$K_m = 683\ lm/W$$

în condiția de referință a fotometriei.

1.1.23. Eficacitatea luminoasă a radiației

Trebuie să distingem [3, 5]: **Eficacitatea luminoasă a radiației**

$$K = \frac{\Phi_v}{\Phi_e}$$

Unitatea de măsură:

$$\boxed{lm/W}$$

Aceasta spune cât flux luminos rezultă dintr-o anumită putere radiantă.

Eficacitatea luminoasă a unui aparat de iluminat

În practica iluminatului se utilizează frecvent:

$$\boxed{\varepsilon = \frac{\Phi}{P}}$$

unde:

- Φ= flux luminos [lm];
- P= putere electrică [W].

Unitatea:

$$\boxed{lm/W}$$

Aceasta este o caracteristică foarte importantă a surselor LED și a oricărei surse de lumină.

1.1.24. Exemplu de eficacitate

Un aparat de iluminat consumă [3, 6]:

$$P = 40\ W$$

și produce:

$$\Phi = 5000\ lm$$

Atunci:

$$\varepsilon = \frac{5000}{40} \boxed{\varepsilon = 125\ lm/W}$$

1.1.25. Atenție: lm/W nu este lux/W

Foarte important:

$$lm/W$$

descrie eficacitatea luminoasă [3].

Dar:

$$lx/W$$

poate descrie, într-un anumit context, iluminarea obținută raportată la puterea consumată, însă depinde de geometria instalației.

Două încăperi cu aceeași lampă pot avea valori complet diferite de lux/W din cauza:

- înălțimii;
- geometriei;
- factorilor de reflexie;
- distribuției corpului de iluminat;
- poziției corpurilor;
- suprafeței;
- factorilor de întreținere.

1.1.26. Factorul de reflexie

Pentru suprafețe este foarte important [3, 5]:

$$\boxed{\rho}$$

factorul de reflexie.

Definiția simplificată:

$$\boxed{\rho = \frac{\Phi_{\text{reflectat}}}{\Phi_{\text{incident}}}}$$

Este adimensional.

Exemplu:

Dacă o suprafață reflectă 70% din fluxul incident:

$$\rho = 0,70$$

sau:

$$70\%$$

1.1.27. Factorul de transmisie

Pentru materiale transparente sau translucide [3, 5]:

$$\boxed{\tau}$$

factorul de transmisie:

$$\boxed{\tau = \frac{\Phi_{\text{transmis}}}{\Phi_{\text{incident}}}}$$

De exemplu, dacă un material transmite 80%:

$$\tau = 0,8$$

1.1.28. Factorul de absorbție

Se poate introduce:

$$\boxed{\alpha}$$

iar, într-un model simplificat [3, 5]:

$$\boxed{\rho + \tau + \alpha = 1}$$

unde:

- ρ= reflexie;
- τ= transmisie;
- α= absorbție.

Pentru un material opac:

$$\tau \approx 0$$

deci:

$$\boxed{\rho + \alpha \approx 1}$$

1.1.29. Temperatura de culoare corelată – CCT

Pe lângă mărimile strict fotometrice, luminotehnica folosește și **mărimi colorimetrice** [1, 4, 5, 8].
Una dintre cele mai importante:

$$\boxed{CCT}$$

Correlated Color Temperature – temperatura de culoare corelată.
Unitatea de măsură: $\boxed{K}$, kelvin.
Exemple orientative:

- 2700 K → alb cald;
- 3000 K → alb cald;
- 4000 K → alb neutru;
- 5000–6500 K → alb rece.

Important: **Kelvinul nu măsoară cantitatea de lumină.**
Două aparate de iluminat pot avea:

$$3000\ K$$

și pot produce fluxuri complet diferite.

1.1.30. Indicele de redare a culorilor – CRI / R_a

Un alt parametru important este [4, 5]:

$$\boxed{R_a}$$

sau CRI.

El descrie cât de fidel sunt redate anumite culori în comparație cu un iluminant de referință, în cadrul metodei respective.Valoarea este exprimată pe o scară numerică, în mod uzual până la 100 pentru indicele general.

Exemplu:

$$R_a = 80$$

sau:

$$R_a = 90$$

Nu trebuie confundat cu:

- lux;
- lumen;
- candela;
- temperatura de culoare.

Este o **mărime de redare a culorilor**, nu o mărime a cantității de lumină.

1.1.31. Uniformitatea iluminării

Într-o încăpere nu este suficient să știm iluminarea medie [4, 5].

Trebuie să știm și cât de uniform este iluminatul.

O mărime uzuală este:

$$\boxed{U_0}$$

uniformitatea generală:

$$\boxed{U_0 = \frac{E_{\min}}{E_{\text{med}}}}$$

unde:

- $E_{\min}$= iluminarea minimă;
- E_{med}= iluminarea medie.

Exemplu:

$$E_{\min} = 300\ lx E_{\text{med}} = 500\ lx$$

atunci:

$$U_0 = \frac{300}{500} = 0,60$$

1.1.32. Iluminarea maximă

Putem defini:

$$E_{\max}$$

și astfel putem analiza raportul [8]:

$$\frac{E_{\max}}{E_{\min}}$$

sau alte criterii de uniformitate, în funcție de aplicație și standardul utilizat.

În proiectarea luminotehnică nu se urmărește doar „să avem suficienți lux", ci și **distribuția spațială** a acestora.

1.1.33. Iluminarea medie

Pentru un set de puncte de calcul [8]:

$$\boxed{E_{\text{med}} = \frac{E_1 + E_2 + \ldots + E_n}{n}}$$

De exemplu:

$$E_1 = 400\ lx E_2 = 500\ lx E_3 = 600\ lx$$

atunci:

$$E_{\text{med}} = \frac{400 + 500 + 600}{3} \boxed{E_{\text{med}} = 500\ lx}$$

1.1.34. Iluminarea cilindrică și semicilindrică

În anumite aplicații nu este suficientă iluminarea pe un plan orizontal [8].

Pentru percepția fețelor oamenilor, de exemplu, poate fi relevantă **iluminarea verticală** și alte forme de evaluare spațială.

Se pot utiliza:

- iluminarea orizontală;
- iluminarea verticală;
- iluminarea cilindrică;
- iluminarea semicilindrică.

Acestea sunt importante în special în:

- spații publice;
- iluminat arhitectural;
- iluminat rutier;
- iluminatul spațiilor de circulație;
- evaluarea recunoașterii faciale.

1.1.35. Unghiul de fascicul

Pentru aparatele de iluminat direcționale se utilizează [8]:

beam angle

sau unghiul de fascicul.

Acesta este exprimat în:

$$B^\circ$$

Nu este o unitate fotometrică, ci o mărime geometrică.

Exemple:

- 10° → fascicul îngust;
- 24° → fascicul relativ concentrat;
- 36° → mediu;
- 60° → larg;
- 90° → foarte larg.

Valoarea exactă și definiția unghiului trebuie interpretate conform metodei de măsurare folosite de producător.

1.1.36. Distribuția intensității luminoase

În proiectarea iluminatului este extrem de importantă distribuția [1, 3, 8]:

$$I(\theta,\varphi)$$

adică intensitatea luminoasă în funcție de direcție. Aceasta poate fi reprezentată prin:

- curbe polare;
- diagrame fotometrice;
- fișiere EULUMDAT;
- fișiere IES.

De exemplu, două corpuri pot avea:

$$\Phi_1 = \Phi_2 = 4000\ lm$$

dar distribuții $I(\theta,\varphi)$ foarte diferite.

Prin urmare, simplul flux luminos nu descrie complet comportamentul aparatului.

1.1.37. Curba fotometrică

O curbă fotometrică arată modul în care variază intensitatea luminoasă în diferite direcții [3, 8].

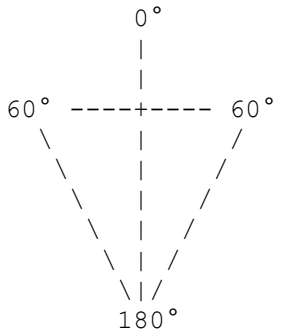
Pe diagramă putem avea:

$$I\ [cd]$$

în funcție de:

$$\theta\ [^\circ]$$

Exemplu conceptual:



Forma reală depinde de optica aparatului de iluminat.

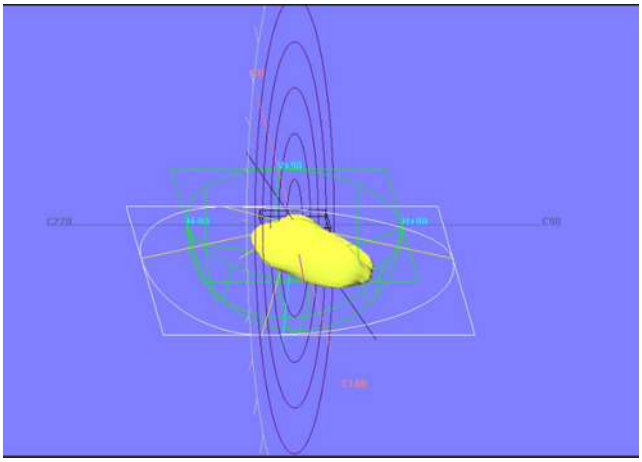


Figura 1.4 – Reprezentarea spațială a distribuției intensității luminoase a unui aparat de iluminat

1.1.38. Coeficientul de utilizare

În metodele clasice de calcul al iluminatului interior apare **factorul/coeficientul de utilizare**, care leagă fluxul emis de aparatele de iluminat de fluxul efectiv util pe suprafața de lucru [3].

Valoarea depinde de:

- geometria încăperii;
- reflectanța tavanului;
- reflectanța pereților;
- reflectanța pardoselii;
- distribuția aparatului de iluminat;
- poziția aparatelor.

1.1.39. Factorul de întreținere – MF

În timp, instalația își pierde din performanță [3, 8].

Apar:

- deprecierea fluxului sursei;

- murdărirea corpului de iluminat;
- murdărirea suprafețelor;
- îmbătrânirea materialelor;
- deprecierea sistemului optic.

Se introduce:

$$\boxed{MF}$$

Maintenance Factor.

Conceptual:

$$\boxed{E_{\text{menținut}} = E_{\text{inițial}} \cdot MF}$$

Dacă:

$$MF = 0,80$$

și iluminarea inițială este:

$$E_i = 625\ lx$$

atunci:

$$E_{\text{menținut}} = 625 \times 0,8 \boxed{E_{\text{menținut}} = 500\ lx}$$

Interpretarea acestui parametru este că se supradimensionează prin proiect fluxul instalat, pentru a compensa deprecierea în timp a fluxului emis.

1.1.40. UGR – Unified Glare Rating

În iluminatul interior apare frecvent [1, 4, 7, 8]:

$$\boxed{UGR}$$

Unified Glare Rating.

Este o metodă de evaluare a **disconfortului produs de orbire** în anumite condiții.

Este important de înțeles:

$$UGR \neq lx$$

și:

$$UGR \neq cd/m^2$$

Este un indicator specific evaluării orbirii/disconfortului vizual, nu o unitate SI.

1.1.41. De ce luminanța și orbirea sunt legate?

O sursă poate avea un flux total moderat, dar dacă acesta este emis de o suprafață mică cu luminanță foarte mare, poate deveni vizual deranjantă [4, 7].

De exemplu:

- LED-ul individual poate avea o luminanță foarte mare;
- un difuzor mare poate distribui aceeași lumină pe o suprafață aparentă mai mare.

Prin urmare, confortul vizual nu poate fi dedus doar din:

$$lm$$

sau:

$$lx$$

1.1.42. Intensitatea luminoasă vs. luminanță

Este o confuzie foarte frecventă [4].

Intensitatea luminoasă

$$\boxed{I_v\ [cd]}$$

descrie: fluxul emis într-o anumită direcție de o sursă, într-un unghi solid infinit mic.

Luminanța

$$\boxed{L_v\ [cd/m^2]}$$

descrie: intensitatea luminoasă raportată la suprafața proiectată a unei suprafețe/surse (vezi punctul 1.1.17).

Deci:

$$I_v$$

este asociată unei direcții de emisie, iar:

$$L_v$$

include și dimensiunea aparentă a suprafeței.

1.1.43. Relația fundamentală dintre principalele mărimi

Putem construi un „lanț" foarte util [4, 8]:

$$\boxed{\Phi_v \rightarrow I_v \rightarrow E_v \rightarrow L_v}$$

adică:

1. Sursa produce

$$\Phi_v\ [lm]$$

2. Fluxul se distribuie spațial

$$I_v\ [cd]$$

3. Lumina ajunge pe suprafață

$$E_v\ [lx]$$

4. Suprafața este percepută de observator

$$L_v\ [cd/m^2]$$

Această succesiune este una dintre cele mai bune modalități de a înțelege luminotehnica.

1.1.44. Un exemplu complet

Să presupunem că avem o hală [1, 2, 3, 8]:

$$10m \times 8m$$

Suprafața:

$$A = 80m^2$$

Dorim:

$$E_{\text{med}} = 500\ lx$$

Fluxul luminos util (ideal) necesar, dacă am presupune distribuție perfect uniformă și fără pierderi:

$$\Phi = E \cdot A \Phi = 500 \times 80 \boxed{\Phi = 40000\ lm}$$

Dar în instalația reală nu putem considera direct 40.000 lm instalați.

Trebuie să ținem cont de:

- coeficientul de utilizare;
- factorul de întreținere;
- geometrie;
- distribuția corpurilor;
- reflexiile;
- înălțimea de montaj.

1.1.45. Introducerea factorului de utilizare și a factorului de întreținere

O relație simplificată a metodei lumenilor este [3, 8]:

$$\boxed{E_{\text{med}} = \frac{N\Phi_L UFMF}{A}}$$

unde:

- N= numărul aparatelor;
- Φ_L= fluxul unui aparat;
- UF= coeficientul de utilizare;
- MF= factorul de menținere;
- A= suprafața.

Prin urmare:

$$\boxed{N = \frac{E_{\text{med}} A}{\Phi_L UFMF}}$$

1.1.46. Exemplu

Dorim:

$$E_{\text{med}} = 500\ lx$$

Avem:

$$A = 80m^2$$

fiecare aparat produce:

$$\Phi_L = 4000\ lm$$

presupunem:

$$UF = 0,70$$

și:

$$MF = 0,80$$

Atunci:

$$N = \frac{500 \times 80}{4000 \times 0,70 \times 0,80} N = \frac{40000}{2240} N \approx 17,86$$

Deci, într-o abordare simplificată, ar fi necesare aproximativ [3, 8]:

$$\boxed{\text{18 aparate de iluminat}}$$

După alegerea efectivă a corpurilor și dispunerea lor, se verifică iluminarea printr-un calcul fotometric punctual/grid. Utilizarea programelor de calcul a determinat inutilitatea acestui calcul.

1.1.47. Iluminarea nu este uniformă în mod automat

Chiar dacă avem:

$$18 \times 4000 = 72000\ lm$$

nu înseamnă că avem automat [3]:

$$900\ lx$$

pe toată suprafața.

Lumina se distribuie în spațiu. Pot exista puncte:

$$E_{\text{min}} = 300\ lx$$

și altele:

$$E_{\max} = 800\ lx$$

cu:

$$E_{\text{med}} = 500\ lx$$

Aceasta este motivul pentru care proiectarea luminotehnică utilizează **rețele de puncte de calcul**, nu doar o singură valoare medie

1.1.48. Unități de măsură vechi și unități non-SI

În literatura americană / imperială sau în anumite domenii pot apărea [2, 3]:

Foot-candle

$$\boxed{fc}$$

Relația:

$$\boxed{1\ fc \approx 10,764\ lx}$$

sau:

$$\boxed{1\ lx \approx 0,0929\ fc}$$

Phot, Unitate CGS pentru iluminare:

$$\boxed{1\ phot = 10^4\ lx}$$

În proiectarea modernă europeană se utilizează în principal:

$$\boxed{lx}$$

pentru iluminare.

1.1.49. „Lux", „lumen" și „candela" – comparația esențială

Descriem următoarea schemă [2, 3]:

Lumen $\boxed{lm}$

Câtă lumină produce sursa în total?

Candela $\boxed{cd}$

Cât de mult flux este emis într-o anumită direcție?

Lux $\boxed{lx = lm/m^2}$

Cât flux ajunge pe o suprafață?

Luminanță $\boxed{cd/m^2}$

Cât de luminoasă apare o suprafață într-o anumită direcție?

1.1.50. Recomandăm următorul Tabel pentru o înțelegere mai facilă

Mărime	Simbol	Unitate	Formula simplificată	Întrebarea la care răspunde
Flux luminos	Φ_v	Lm	—	Câtă lumină produce?
Intensitate luminoasă	I_v	cd	Φ/Ω	Cât de concentrată este într-o direcție?
Iluminare	E_v	lx	Φ/A	Câtă lumină ajunge pe suprafață?
Luminanță	L_v	cd/m²	$I/(A\cos\theta)$	Cât de luminoasă apare suprafața?
Emitanță	M_v	lm/m²	Φ/A	Cât flux părăsește suprafața?
Energie luminoasă	Q_v	lm·s	$\int \Phi\, dt$	Câtă lumină se acumulează în timp?

Tabelul 1.3 – Sinteza principalelor mărimi fotometrice

Aceste unități și relațiile lor sunt conforme cu sistemul fotometric CIE [1]/SI.

1.1.51. Vedere fotopică, mezopică și scotopică

Un aspect mai avansat este că răspunsul vizual nu este același în toate condițiile [1, 4, 5, 6].

CIE utilizează funcții de eficiență luminoasă diferite pentru:

- **fotopic** – vedere predominant diurnă;
- **scotopic** – vedere la niveluri foarte scăzute de luminanță;
- **mezopic** – domeniu intermediar.

Funcția fotopică este:

$$V(\lambda)$$

iar pentru vederea scotopică se utilizează:

$$V'(\lambda)$$

CIE precizează că mărimile fotometrice pot fi specificate în funcție de condiția vizuală relevantă.

1.1.52. De ce este important acest lucru în iluminatul rutier?

La iluminatul exterior, nivelurile de luminanță pot fi mult mai mici decât cele întâlnite în interiorul bine iluminat [4, 5]. În aceste condiții, adaptarea vizuală și spectrul sursei pot influența percepția.De aceea, nu este suficient să reducem luminotehnica la:

„câți lux avem?”

Trebuie să analizăm și:

- luminanța;
- uniformitatea;
- distribuția;
- orbirea;
- culoarea;
- condițiile de adaptare vizuală.

1.1.53. Propunem următoarea “Schema generală”

Poți privi întregul domeniu astfel [4, 5]:

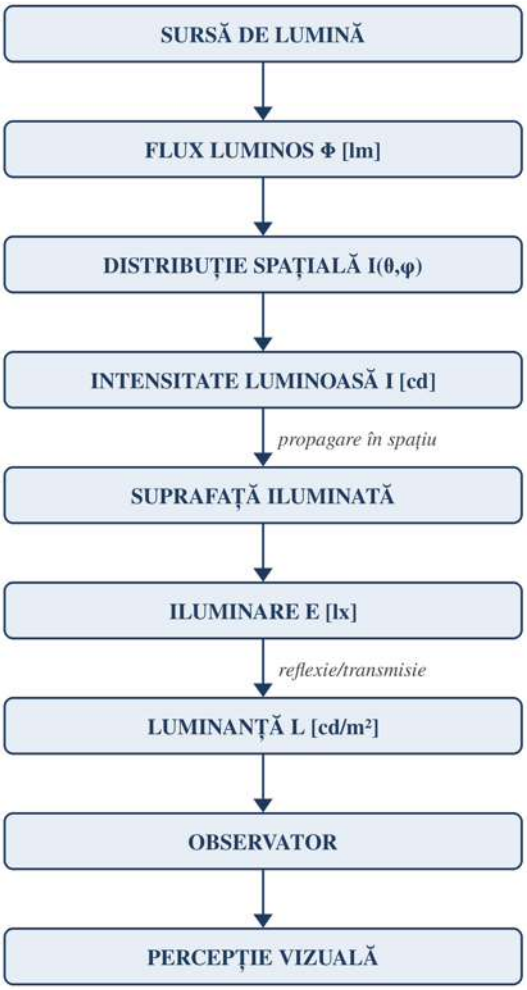


Figura 1.5 – Schema generală: de la sursa de lumină la percepția vizuală

Acesta este, practic, „firul logic" al unei gândiri luminotehnice.

1.2. Legi și teoreme fizice aplicate în luminotehnică

1.2.1. Natura fizică a luminii

Lumina este o formă de **radiație electromagnetică**. Din punct de vedere fizic, radiația electromagnetică poate fi descrisă atât prin natura sa ondulatorie, cât și prin natura corpusculară [9, 10, 14].

Pentru luminotehnică este foarte important domeniul vizibil al spectrului electromagnetic.

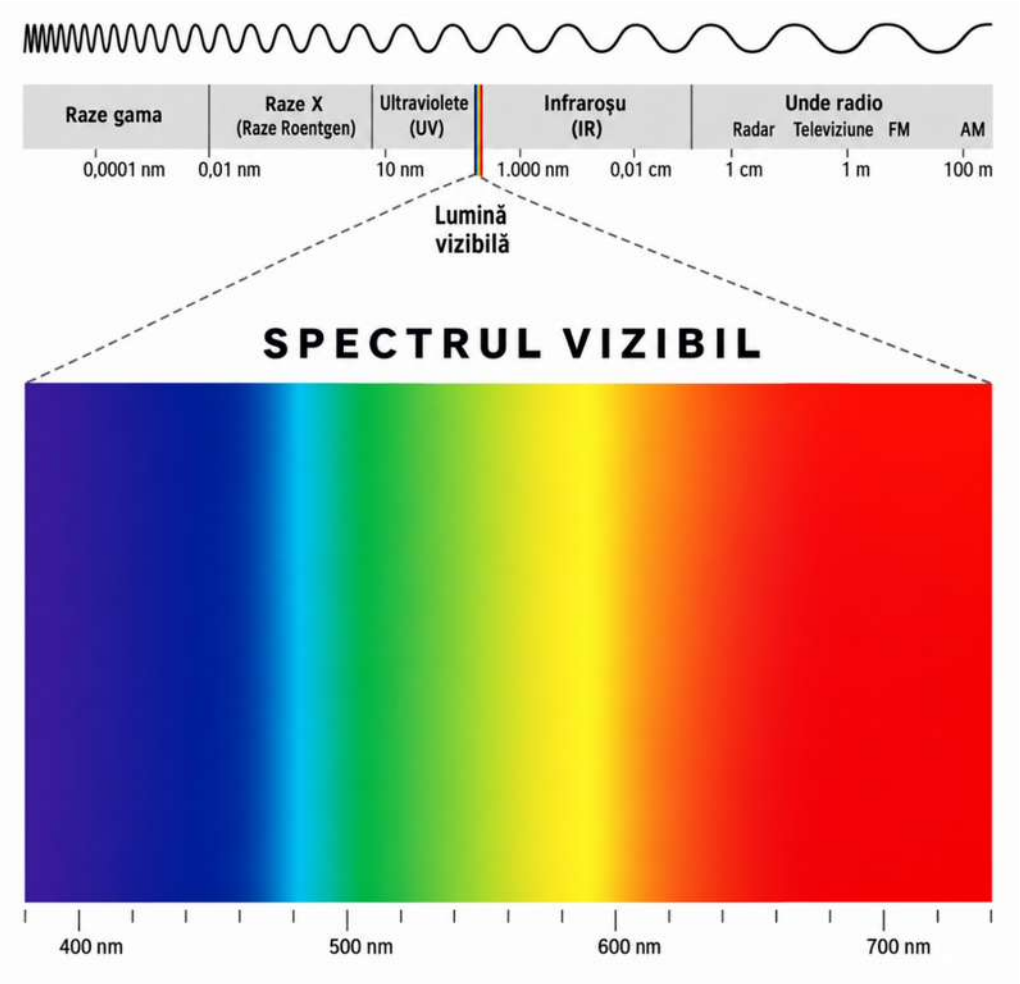


Figura 1.6 – Spectrul electromagnetic și domeniul radiației vizibile

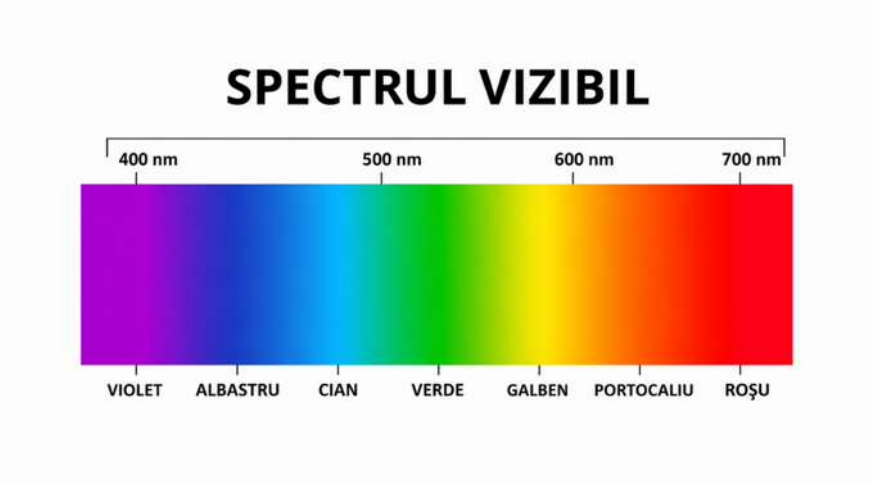


Figura 1.7 – Spectrul vizibil (aproximativ 400–700 nm)

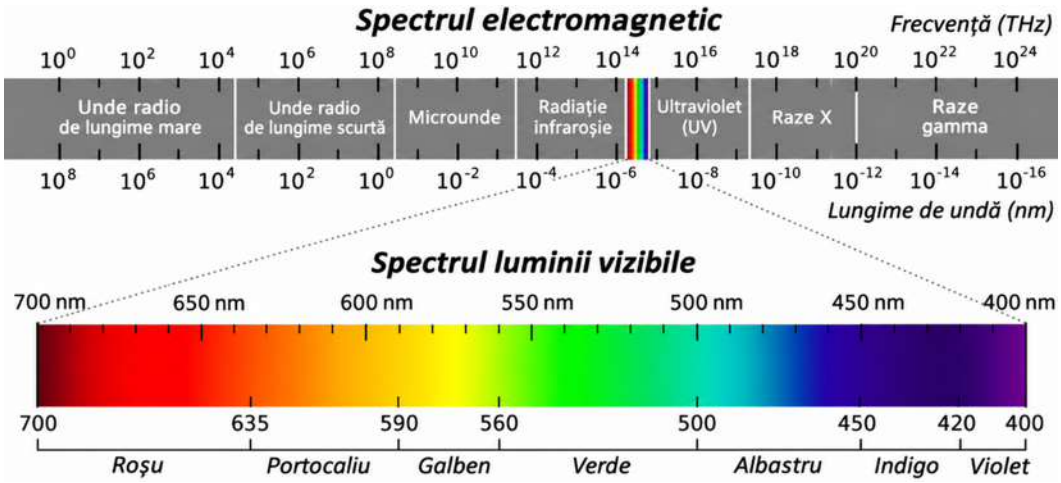


Figura 1.8 – Spectrul electromagnetic: frecvențe, lungimi de undă și spectrul luminii vizibile

Domeniul vizibil pentru ochiul uman este aproximativ:

$$\lambda \approx 380 - 780\, nm$$

unde:

- λ= lungimea de undă;
- nm= nanometru.

Spectrul luminos poate fi descris astfel:

Culoare	**Lungime de undă**
Violet	380–450 nm
Albastru	450–495 nm
Verde	495–570 nm
Galben	570–590 nm
Portocaliu	590–620 nm
Roșu	620–780 nm

Tabelul 1.4 – Domeniile aproximative de lungimi de undă ale culorilor spectrului vizibil

Aceste valori sunt aproximative, deoarece percepția culorii nu este determinată exclusiv de lungimea de undă, ci depinde și de fiecare observator sau de nivelul de iluminare.

1.2.2. Relația fundamentală dintre frecvență, lungime de undă și viteza luminii

Una dintre cele mai importante relații ale fizicii luminii este [9, 10]:

$$c = \lambda f$$

unde:

- c= viteza luminii în vid;
- λ= lungimea de undă;
- f= frecvența.

În vid:

$$c \approx 3 \cdot 10^8\, m/s$$

Prin urmare:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Exemplu

Pentru o radiație cu:

$$\lambda = 600\,nm = 600 \cdot 10^{-9} m$$

rezultă: $f = \frac{3 \cdot 10^8}{600 \cdot 10^{-9}}$

$$f \approx 5 \cdot 10^{14} Hz$$

Deci lumina cu lungimea de undă de 600 nm are o frecvență de aproximativ:

$$500\,THz$$

Această relație este importantă în luminotehnică atunci când se analizează **spectrul surselor de lumină**, LED-urile, lămpile cu descărcare și temperatura de culoare. Totuși, uzual se lucrează cu lungimea de undă.

1.2.3. Legile reflexiei luminii

Când lumina întâlnește o suprafață, o parte poate fi reflectată [9, 10, 11].
Legile reflexiei sunt:

Prima lege

Raza incidentă, raza reflectată și normala la suprafață se află în același plan.

A doua lege

Unghiul de incidență este egal cu unghiul de reflexie:

$$\boxed{i = r}$$

unde:

- i= unghiul de incidență;
- r= unghiul de reflexie.

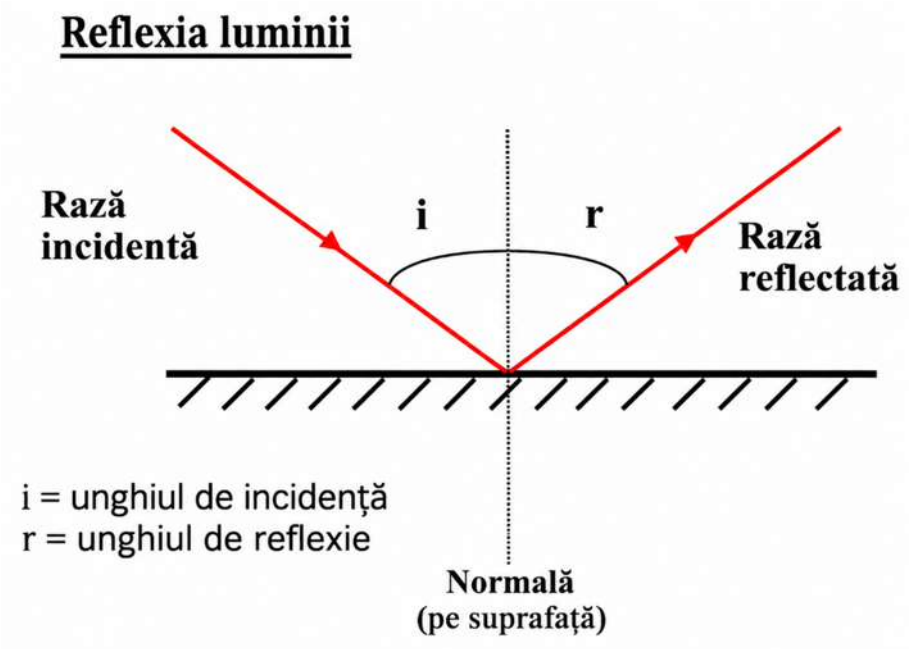


Figura 1.9 – Legea reflexiei: unghiul de incidență i și unghiul de reflexie r față de normală

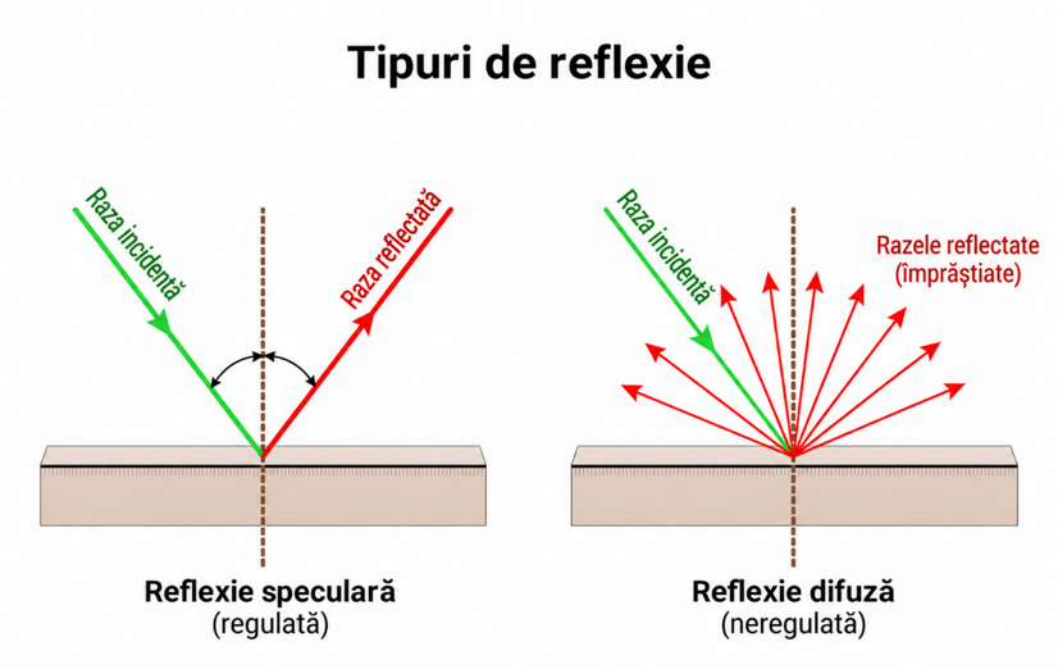


Figura 1.10 – Reflexia speculară (de tip oglindă) și reflexia difuză

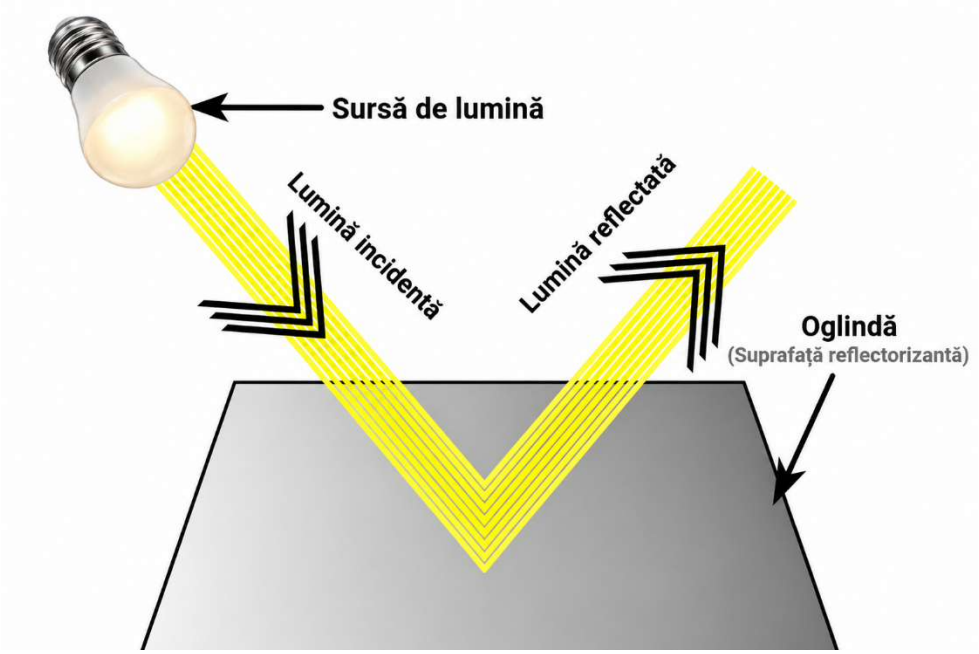


Figura 1.11 – Reflexia unui fascicul luminos pe o suprafață de tip oglindă

Aplicarea în luminotehnică

Reflexia este extrem de importantă deoarece suprafețele încăperilor modifică distribuția luminii.
De exemplu:

- un perete alb reflectă o cantitate mare de lumină;
- un perete negru absoarbe o mare parte din radiație;
- suprafețele lucioase pot produce reflexii deranjante;
- tavanele albe contribuie la iluminarea indirectă.

Într-o încăpere, lumina emisă de corpul de iluminat ajunge la suprafața de lucru atât **direct**, cât și după una sau mai multe reflexii.

1.2.4. Reflexia de tip oglindă și reflexia difuză

În luminotehnică este foarte importantă diferența dintre [9, 10]:

Reflexia de tip oglindă

Suprafața este relativ netedă, iar lumina este reflectată în direcții bine determinate, pentru a obține o distribuție spațială optimizată.

Exemple:

- oglinda propriu-zisă;
- metalul lustruit;
- suprafețele lucioase.

Reflexia difuză

Lumina este împrăștiată în mai multe direcții.

Exemple:

- hârtia mată;
- pereții zugrăviți mat;
- tavanul vopsit alb mat.

O suprafață reală poate prezenta simultan reflexie regulată (speculară) și reflexie difuză.

Această proprietate are o importanță deosebită în **controlul orbirii și al reflexiilor parazite**.

1.2.5. Legea refracției – legea lui Snell

Atunci când lumina trece dintr-un mediu transparent în altul, direcția sa se poate modifica [9, 10].

Legea lui Snell este:

$$\boxed{n_1 \sin i = n_2 \sin r}$$

unde:

- n_1= indicele de refracție al primului mediu;
- n_2= indicele de refracție al celui de-al doilea mediu;
- i= unghiul de incidență;
- r= unghiul de refracție.

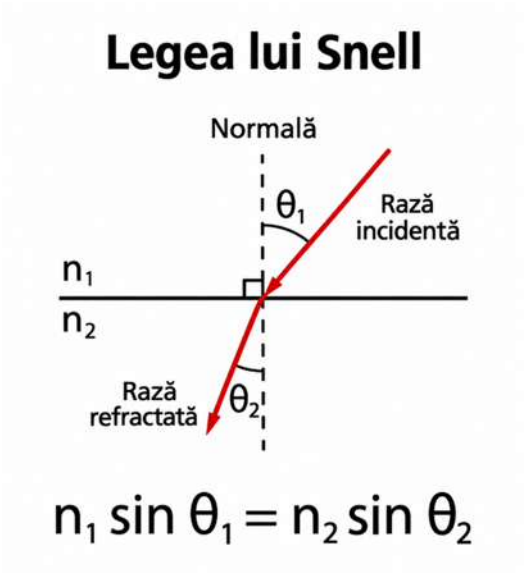


Figura 1.12 – Legea lui Snell: refracția la suprafața de separare a două medii

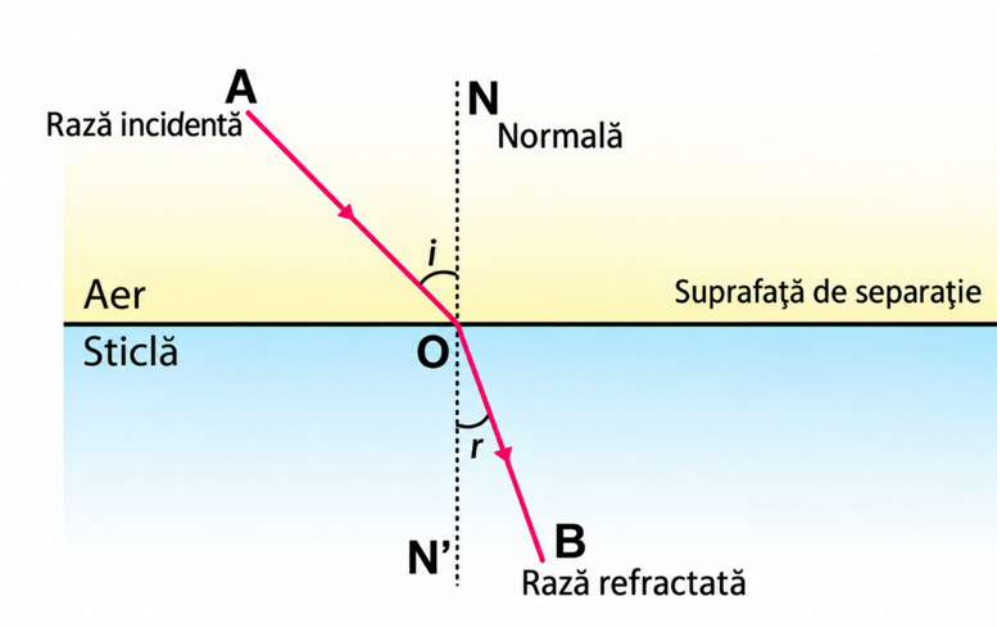


Figura 1.13 – Refracția unei raze de lumină la trecerea din aer în sticlă

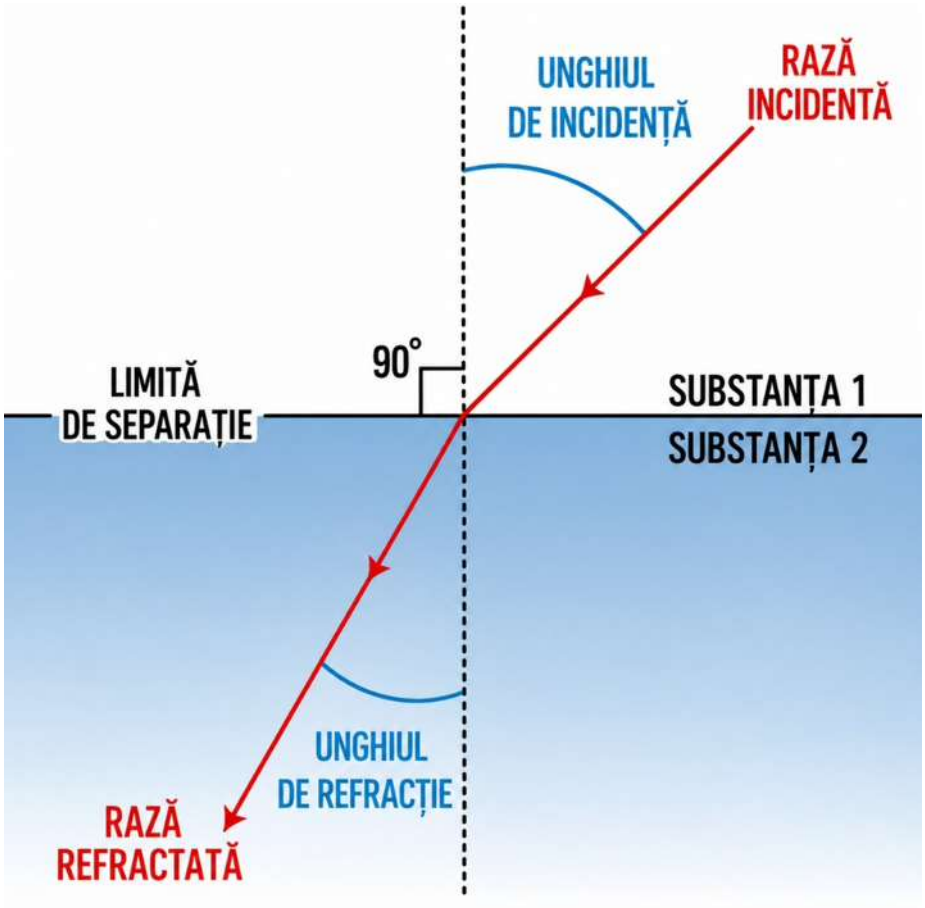


Figura 1.14 – Unghiul de incidență și unghiul de refracție la trecerea dintr-un mediu în altul

Indicele de refracție este:

$$n = \frac{c}{v}$$

unde v este viteza luminii în mediul respectiv.

Aplicare în luminotehnică

Fenomenul de refracție apare în:

- reflectoare care lucrează cu elemente optice transparente;
- aparate de iluminat;
- sisteme de iluminare direcționată;
- ghiduri (tuburi) de lumină;
- fibre optice.

1.2.6. Reflexia totală internă

Un fenomen important derivat din refracție este **reflexia totală internă** [9, 10].

Dacă lumina trece dintr-un mediu cu indice de refracție mai mare într-unul cu indice mai mic, iar unghiul de incidență depășește un anumit unghi critic, lumina nu mai trece în al doilea mediu, ci este reflectată integral.

Unghiul critic este:

$$\boxed{\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}}$$

pentru:

$$n_1 > n_2$$

Fenomenul este fundamental pentru:

- ghiduri de lumină;
- anumite sisteme optice;
- iluminat decorativ cu fibră optică.

1.2.7. Legea absorbției luminii

Atunci când lumina ajunge pe un material, energia sa poate fi [9, 10]:

- reflectată;
- transmisă (refractată);
- absorbită.

Într-o formă generală:

$$\boxed{\rho + \tau + \alpha = 1}$$

unde:

- ρ= factorul de reflexie;
- τ= factorul de transmisie;
- α= factorul de absorbție.

Pentru un material opac:

$$\tau = 0$$

deci:

$$\rho + \alpha = 1$$

Acest principiu este foarte important la alegerea culorilor și finisajelor interioare, deoarece nu trebuie să uităm că reflexia pereților de nuanțe deschise, ca și a mobilierului, are efect în creșterea nivelului de iluminare și, în consecință, asigură o eficiență energetică mai bună.

1.2.8. Legea Beer-Lambert

Pentru propagarea luminii printr-un mediu absorbant se utilizează legea Beer-Lambert [9, 10]:

$$\boxed{I = I_0 e^{-\alpha x}}$$

unde:

- I_0= intensitatea inițială;

- I= intensitatea după traversarea mediului;
- α= coeficient de absorbție;
- x= distanța parcursă prin material.

Această lege este relevantă mai ales în analiza transmisiei prin materiale, filtre și medii optice. Legea intervine atunci când lentilele aparatelor de iluminat își reduc transparența în timp, datorită faptului că nu rezistă la radiația UV.

1.2.9. Principiul lui Fermat

Principiul lui Fermat afirmă că lumina urmează între două puncte o traiectorie pentru care timpul de propagare este staționar în sens matematic, putând fi minim, maxim sau intermediar (dar constant) [9, 10]. Asta înseamnă că, din moment ce obținem o anumită distribuție a intensității luminoase, această distribuție nu se va schimba în timp.

Timpul de propagare poate fi exprimat prin:

$$t = \frac{s}{v}$$

sau, pentru un mediu cu indice de refracție:

$$t = \frac{ns}{c}$$

Principiul lui Fermat stă la baza explicației geometrice a:

- reflexiei;
- refracției;
- funcționării lentilelor;
- sistemelor optice.

1.2.10. Legile lentilelor

Lentilele sunt utilizate pentru modificarea direcției razelor luminoase [9, 10].

Există două categorii principale:

- lentile convergente;
- lentile divergente.

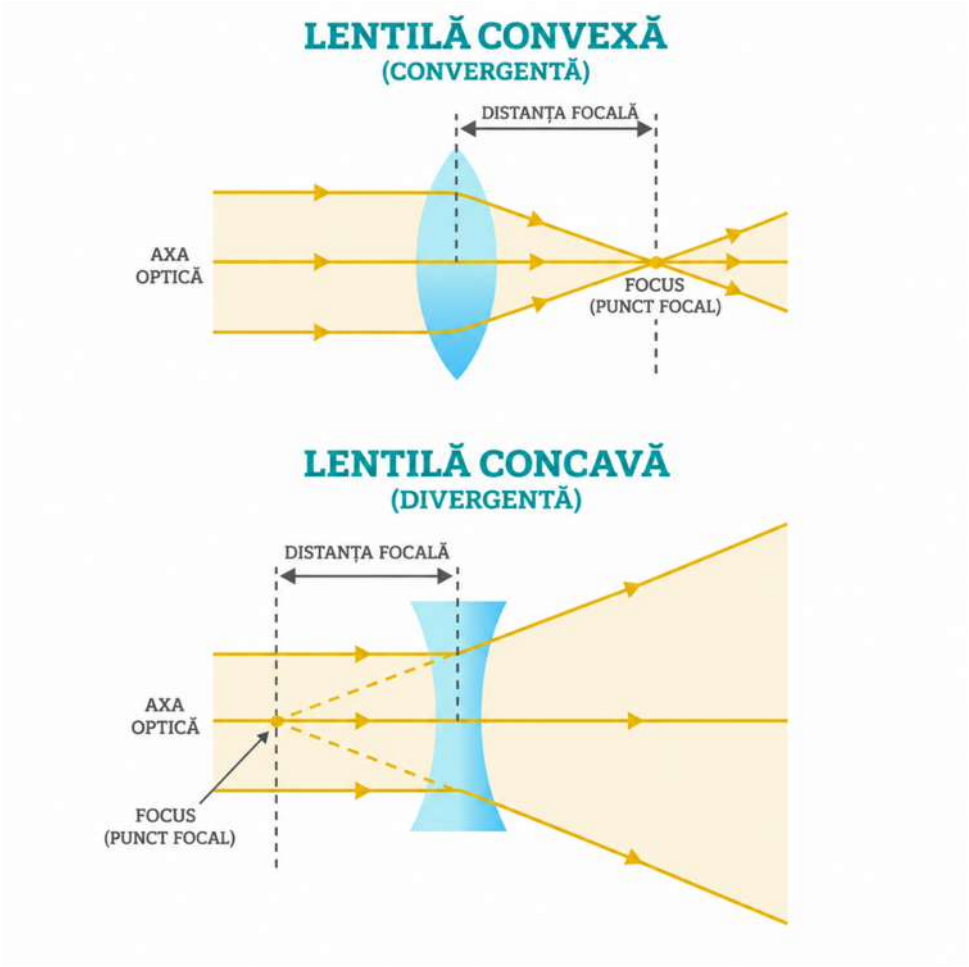


Figura 1.15 – Lentila convexă și lentila concavă: distanța focală și focarul

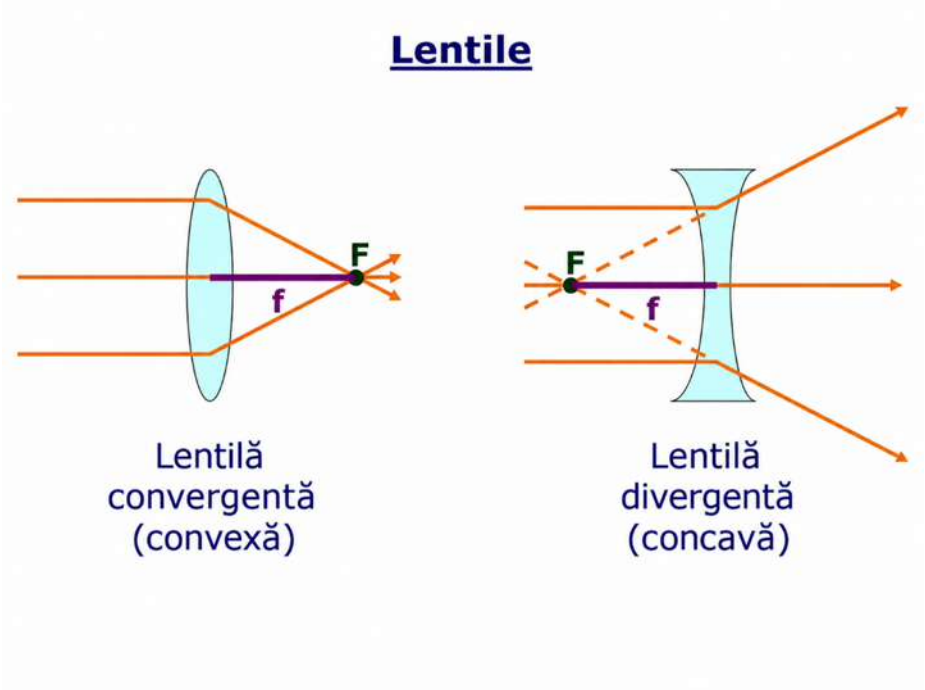


Figura 1.16 – Lentile convergente și lentile divergente

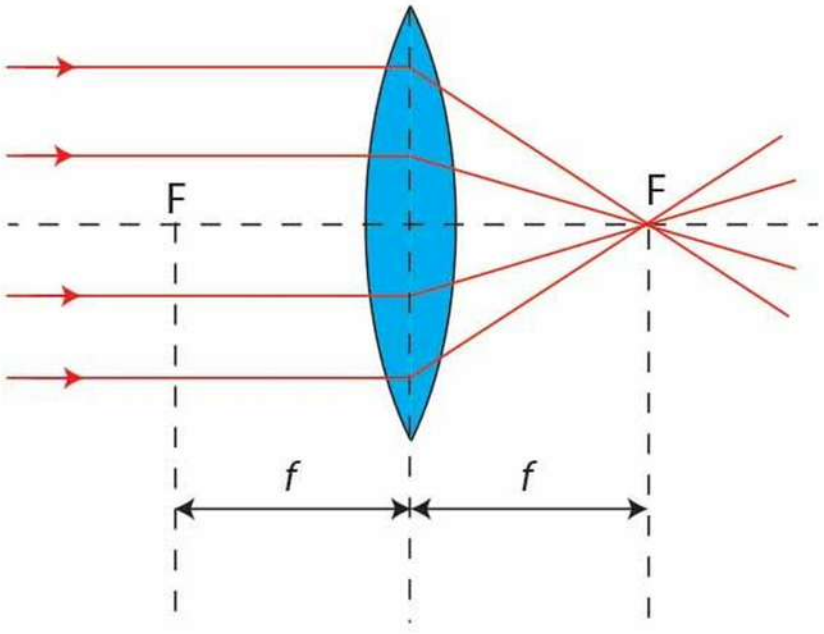


Figura 1.17 – Mersul razelor printr-o lentilă convergentă: focarele F și distanța focală f

Formula lentilei subțiri este:

$$\boxed{\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}}$$

unde:

- f= distanța focală;
- d_o= distanța obiectului;
- d_i= distanța imaginii.

În luminotehnică, lentilele utilizate au forme extrem de complicate, deoarece scopul lentilelor din aparatele de iluminat este să modifice distribuția sursei de lumină într-un scop bine definit (aparate pentru iluminat exterior, iluminat arhitectural etc.), de exemplu pentru:

- concentrarea fasciculului;
- dispersarea luminii;
- controlul unghiului de emisie;
- iluminarea unei zone determinate.

1.2.11. Principiul superpoziției

Dacă mai multe surse de lumină iluminează aceeași suprafață, contribuțiile lor se pot aduna [9, 13, 15].

În cazul iluminării:

$$\boxed{E_{total} = E_1 + E_2 + \cdots + E_n}$$

unde Eeste iluminarea. Iluminarea este o mărime scalară, poate fi descrisă printr-o singură valoare numerică.

Exemplu

Dacă trei corpuri de iluminat produc într-un punct:

$$E_1 = 200\ lx E_2 = 150\ lx E_3 = 100\ lx$$

atunci:

$$E_{total} = 200 + 150 + 100 = 450\ lx$$

Acesta este un principiu fundamental în calculul instalațiilor de iluminat, unde se poate calcula iluminarea produsă de fiecare corp de iluminat, apoi se adună valorile.

1.2.12. Legea pătratului invers al distanței

Una dintre cele mai importante legi practice în luminotehnică este **legea inversului pătratului distanței** [9, 13]. Legea este valabilă pentru iluminarea măsurată în punctul în care lumina este incidentă perpendicular pe suprafața măsurată.

Astfel, pentru o sursă punctuală:

$$\boxed{E = \frac{I}{r^2}}$$

unde:

- E= iluminarea măsurată în punctul de incidență normală a luminii;
- I= intensitatea luminoasă (presupusă egală în toate direcțiile);
- r= distanța până la suprafața iluminată.

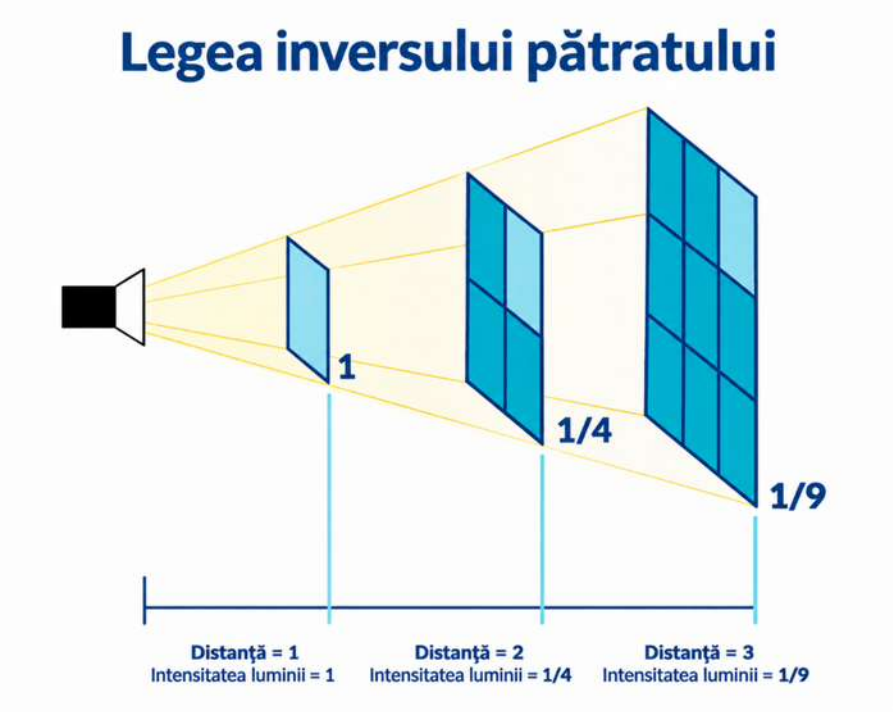


Figura 1.18 – Legea inversului pătratului distanței

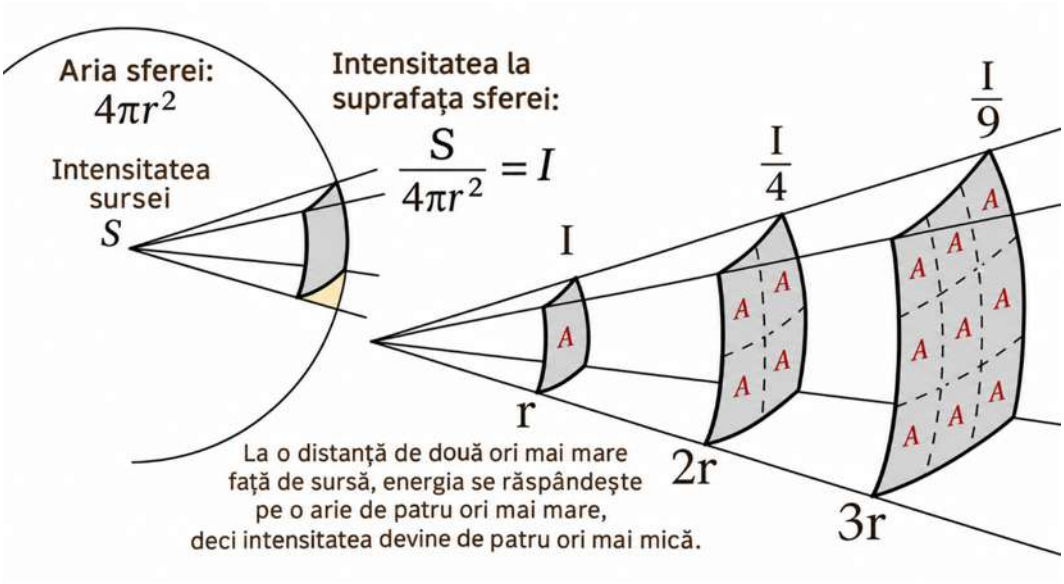


Figura 1.19 – Repartizarea energiei radiate pe suprafețe sferice aflate la distanțele r, 2r și 3r

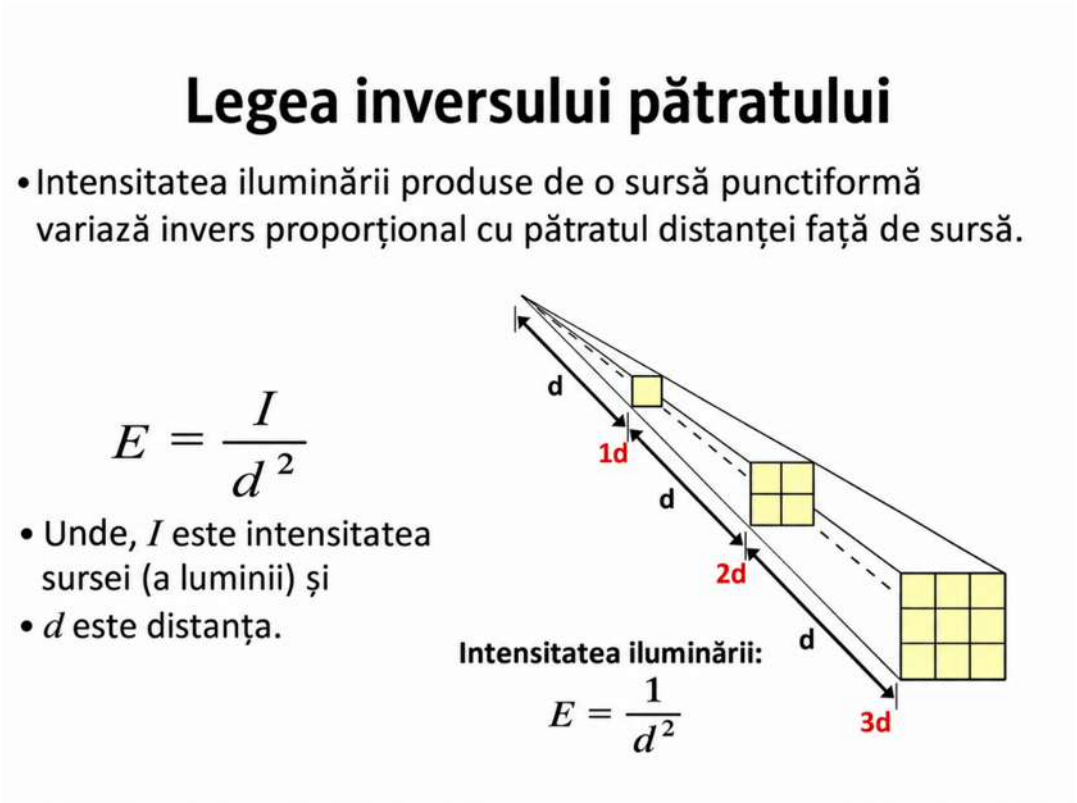


Figura 1.20 – Legea inversului pătratului distanței pentru o sursă punctiformă (sursa: Vijay Babu Raskar, B.E. Electrical)

În luminotehnică ne întâlnim mai rar cu această situație particulară.

1.2.13. Legea cosinusului lui Lambert

Dacă suprafața iluminată nu este perpendiculară pe direcția razelor (și acesta este cazul cel mai frecvent din practică), iluminarea depinde de cosinusul unghiului de incidență [9, 13].

Formula este:

$$\boxed{E = \frac{I \cos\theta}{r^2}}$$

unde θeste unghiul dintre direcția razei și normala la suprafață.

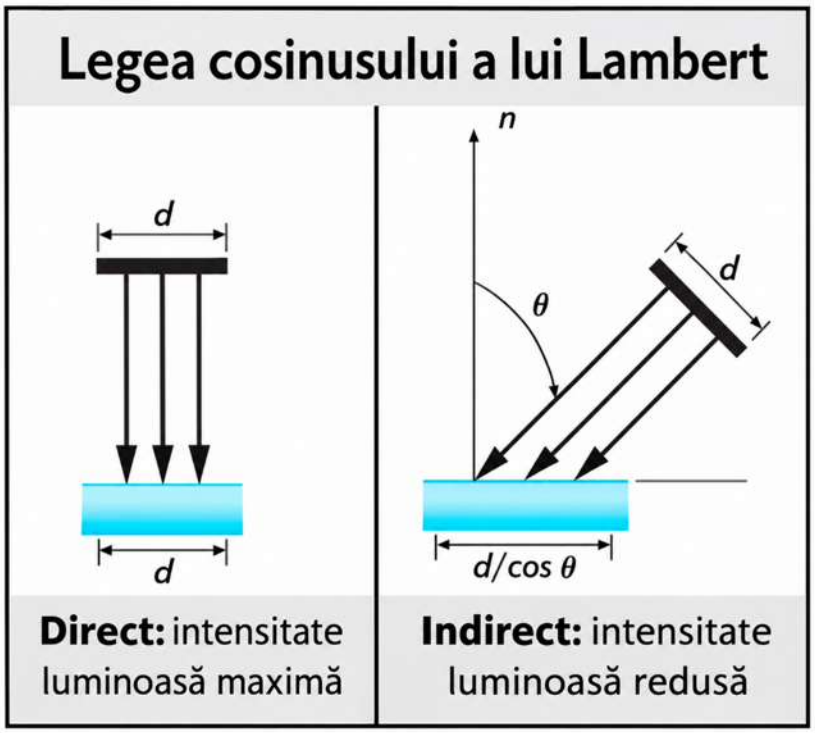


Figura 1.21 – Legea cosinusului a lui Lambert: incidență normală și incidență oblică

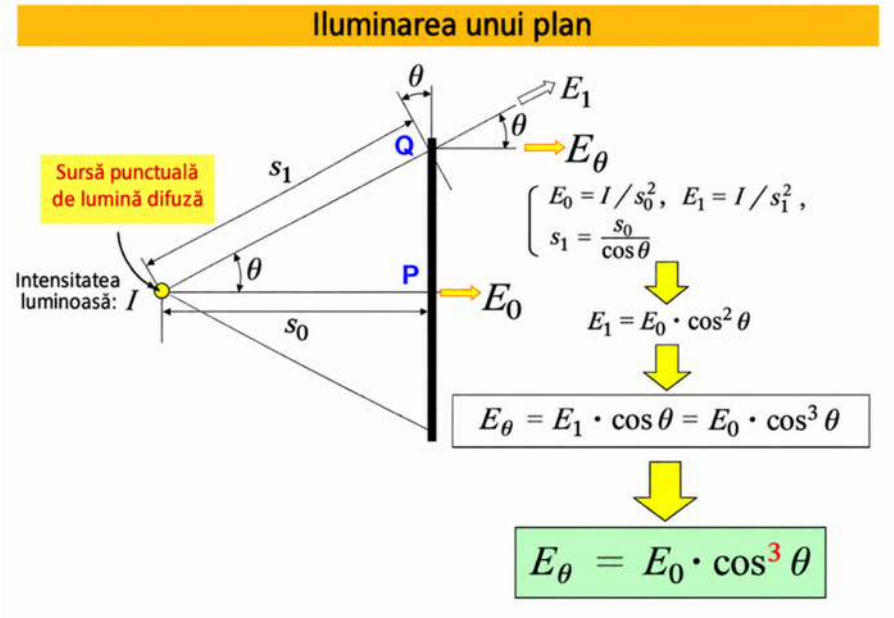


Figura 1.22 – Iluminarea unui plan produsă de o sursă punctiformă, în funcție de unghiul de incidență

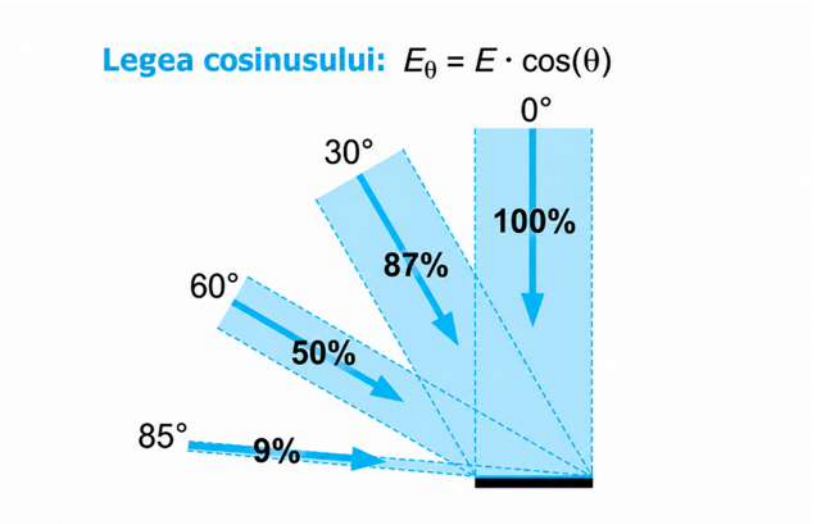


Figura 1.23 – Legea cosinusului: scăderea iluminării odată cu creșterea unghiului de incidență

Dacă:

$$\theta = 0^\circ$$

atunci:

$$\cos 0^\circ = 1$$

și iluminarea este maximă.

Dacă:

$$\theta = 60^\circ$$

atunci:

$$\cos 60^\circ = 0.5$$

deci iluminarea este redusă la jumătate față de cazul perpendicular, dacă distanța și intensitatea rămân aceleași. În luminotehnică acest fenomen se manifestă la sistemele de iluminat care luminează razant o suprafață. În iluminatul stradal această ipoteză este frecventă. Pentru a compensa această scădere, intensitatea luminoasă trebuie să fie mult mai mare pentru direcțiile spre puncte mai depărtate de stâlp. Din acest motiv, aparatele de iluminat stradal au o distribuție a intensității luminoase specială, adaptată la trama stradală.

1.2.14. Legea lui Lambert pentru suprafețe perfect difuze

O suprafață Lambertiană ideală emite sau reflectă lumină astfel încât luminanța nu depinde de direcția de observare [9, 13].

Pentru o suprafață perfect difuză:

$$\boxed{L = \frac{\rho E}{\pi}}$$

unde:

- L= luminanța;
- ρ= factorul de reflexie;
- E= iluminarea.

Această relație este foarte utilă pentru estimarea luminanței pereților și tavanelor mate.

1.2.15. Fotometria și funcția de sensibilitate a ochiului

Luminotehnica nu se ocupă de energia fizică a radiației, ci de modul **în care ochiul uman o percepe**. Ochiul nu este la fel de sensibil la toate lungimile de undă [13, 14, 15].

În vederea fotopică (de zi), sensibilitatea maximă a ochiului este în jurul:

$$\lambda \approx 555\, nm$$

De aceea două surse cu aceeași putere radiometrică pot produce fluxuri luminoase diferite (lampa care emite un flux luminos mai apropiat de curba de sensibilitate vizuală va avea un flux luminos mare, în timp ce o sursă cu incandescență, care emite mult în infraroșu, are un flux luminos redus, chiar foarte redus). Acest aspect explică de ce luminotehnica utilizează mărimi **fotometrice**, precum:

- lumen;
- candela;
- lux;
- cd/m².

1.2.16. Legea fundamentală a fotometriei

Legătura dintre radiația electromagnetică și percepția vizuală este descrisă prin funcția de eficacitate luminoasă spectrală [13, 14].

Pentru vederea fotopică:

$$V(\lambda)$$

este funcția de sensibilitate spectrală a ochiului.Fluxul luminos poate fi exprimat, conceptual, prin integrarea puterii spectrale ponderate cu sensibilitatea ochiului:

$$\boxed{\Phi_v = 683 \int V(\lambda)\Phi_{e,\lambda}\, d\lambda}$$

unde:

- Φ_v= flux luminos;
- $\Phi_{e,\lambda}$= distribuția spectrală a puterii radiometrice;
- $V(\lambda)$= sensibilitatea spectrală relativă;
- 683 lm/W = valoarea de referință fotometrică la 555 nm.

1.2.17. Conservarea energiei

Un principiu fundamental al fizicii aplicat iluminatului este **legea conservării energiei** [9, 12].

Energia nu se creează și nu dispare, ci se transformă.

Într-o sursă electrică de lumină:

$$E_{electrică} \rightarrow E_{luminoasă} + E_{termică} + alte\ forme$$

În cazul unei surse reale, doar o parte din energia electrică se transformă în radiație utilă pentru vedere. Această lege explică de ce o lampă nu poate transforma integral energia electrică în lumină vizibilă. Energia termică este produsă chiar și de sursele „reci”, iar alte forme de energie sunt regăsite în radiații UV sau infraroșu.

1.2.18. Efectul fotoelectric

Efectul fotoelectric constă în eliberarea electronilor dintr-un material atunci când acesta este iluminat cu radiație electromagnetică suficient de energetică [9, 12].

Energia fotonului este:

$$\boxed{E_f = hf}$$

sau:

$$\boxed{E_f = \frac{hc}{\lambda}}$$

unde:

- h= constanta lui Planck;
- f= frecvența;
- λ= lungimea de undă.

Cu cât lungimea de undă este mai mică, cu atât energia fotonului este mai mare.

Efectul fotoelectric stă la baza unor:

- fotocelule;
- senzori de lumină;
- fotodiode;
- sisteme automate de comandă a iluminatului.

Acest efect este implicat în sistemele de iluminat automatizate.

1.2.19. Interferența luminii

Interferența apare atunci când două sau mai multe unde luminoase se suprapun [9, 10].

Poate fi:

Interferență constructivă

Undele se amplifică reciproc.

Interferență distructivă

Undele se atenuează reciproc.

Condiția simplificată pentru interferență constructivă este:

$$\Delta = m\lambda$$

iar pentru interferență distructivă:

$$\Delta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

unde m este un număr întreg.

În luminotehnică, interferența nu este de regulă fenomenul principal utilizat la dimensionarea iluminatului general, însă este importantă în optică și în anumite sisteme optice.

1.2.20. Difracția

Difracția reprezintă devierea și răspândirea undelor atunci când acestea întâlnesc obstacole sau trec prin deschideri de dimensiuni comparabile cu lungimea de undă [9, 10].

Fenomenul este relevant pentru:

- sisteme optice;
- grile;
- instrumente de măsură;
- analiza limitelor de rezoluție ale sistemelor optice.

Fenomenul stă la baza spectrometrelor, care utilizează o grilă de difracție pentru a descompune lumina vizibilă, măsurând apoi nivelul fiecărei componente și putând vizualiza spectrul luminos.

1.2.21. Polarizarea

Lumina poate fi polarizată, ceea ce înseamnă că direcția de oscilație a câmpului electric nu mai este haotică, ci se petrece într-un plan bine definit [9, 10].

Polarizarea este folosită în:

- filtre optice;
- ochelari;
- instrumente optice;
- reducerea anumitor reflexii;
- sisteme speciale de afișare.

În iluminatul obișnuit, polarizarea are o importanță mai redusă decât reflexia, refracția și fotometria.

1.2.22. Legea lui Planck și radiația corpului negru

Pentru înțelegerea surselor de lumină și a temperaturii de culoare este importantă teoria radiației corpului negru [17].

Legea lui Planck descrie distribuția spectrală a radiației emise de un corp negru:

$$\boxed{B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5}\frac{1}{e^{hc/(\lambda kT)} - 1}}$$

unde:

- T= temperatura absolută;
- h= constanta lui Planck;
- c= viteza luminii;
- k= constanta lui Boltzmann.

Legea explică modul în care spectrul radiației se modifică odată cu temperatura.

1.2.23. Legea deplasării lui Wien

Poziția maximului spectrului de emisie a unui corp negru este aproximată prin [17]:

$$\boxed{\lambda_{max} T = b}$$

unde:

$$b \approx 2,898 \cdot 10^{-3}\, mK$$

Prin urmare:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

Când temperatura crește, lungimea de undă corespunzătoare maximului scade.

Acest fenomen este asociat cu trecerea aparentă de la nuanțe mai roșiatice la nuanțe mai albăstrui pe măsură ce temperatura de culoare crește.

Atenție: temperatura de culoare corelată a unei surse moderne, cum este un LED, nu înseamnă că LED-ul funcționează efectiv ca un corp negru la acea temperatură.

1.2.24. Legea Stefan-Boltzmann

Puterea totală radiată de un corp negru este [17]:

$$\boxed{P = \sigma A T^4}$$

unde:

- P= puterea radiată;
- σ= constanta Stefan-Boltzmann;
- A= suprafața;
- T= temperatura absolută.

Legea este relevantă pentru înțelegerea relației dintre temperatură și radiația termică. În cazul surselor incandescente, o parte importantă a energiei este emisă în infraroșu și se manifestă sub formă de căldură, ceea ce contribuie la eficiența luminoasă relativ redusă a acestora.

1.2.25. Legile lui Kirchhoff pentru radiația termică

În echilibru termic, proprietățile de emisie și absorbție ale unui material sunt legate [17].

Într-o formulare simplificată:

$$\boxed{\varepsilon = \alpha}$$

pentru aceeași lungime de undă, direcție și temperatură, în condițiile principiului Kirchhoff al radiației.

Acest principiu este important în studiul:

- materialelor reflectante;
- materialelor absorbante;
- radiației termice.

1.2.26. Principiul conservării fluxului luminos în aparate de iluminat

Într-un sistem optic ideal, energia luminoasă nu dispare. Într-un sistem real apar însă [13, 15, 18]:

- absorbție;
- reflexie;
- pierderi în materiale;
- pierderi în elementele optice;
- conversie în căldură.

De aceea fluxul util poate fi exprimat simplificat prin:

$$\Phi_{util} = \Phi_{sursă}\eta_{optică}$$

unde:

$$0 < \eta_{optică} < 1$$

În sistemele reale se pot considera succesiv mai mulți factori de pierdere:

$$\Phi_{util} = \Phi_{sursă}\eta_1\eta_2\eta_3 \dots$$

1.2.27. Metoda lumenului

Pentru dimensionarea aproximativă a iluminatului interior se poate utiliza metoda fluxului luminos [13, 15].

O formulă simplificată este:

$$\boxed{N = \frac{E \cdot A}{\Phi_L \cdot UF \cdot MF}}$$

unde:

- N= numărul aparatelor de iluminat;
- E= iluminarea dorită;
- A= suprafața încăperii (a planului util);
- Φ_L= fluxul luminos al unui aparat de iluminat;
- UF= factorul de utilizare;
- MF= factorul de mentenanță.

Această relație arată că dimensionarea reală nu se bazează doar pe numărul de lumeni înscris pe aparatul de iluminat. Factorul de utilizare indică procentul din fluxul luminos care produce iluminarea pe planul util. Metoda este depășită, multitudinea de programe de calcul specializate o face inutilă. În anumite situații, putem face estimări.

1.2.28. Exemplu de calcul

Considerăm o încăpere:

$$A = 50\, m^2$$

și dorim să avem:

$$E = 300\, lx$$

Aparatul de iluminat are [13, 15]:

$$\Phi_L = 4000\, lm$$

Presupunem:

$$UF = 0,7$$

(valoare regăsită în tabele specifice aparatului de iluminat, calculate pentru diverse geometrii ale încăperilor și diverși coeficienți de reflexie)
și:

$$MF = 0,8$$

Atunci:

$$N = \frac{300\ lx \cdot 50\ m^2}{4000\ lm \cdot 0,7 \cdot 0,8} N = \frac{15000}{2240} N \approx 6,7$$

În practică, nu putem instala 6,7 aparate, deci rezultatul trebuie transpus într-o configurație reală, de exemplu **7 aparate** sau chiar 8, după care trebuie verificată distribuția, uniformitatea și conformitatea proiectului. Acesta este doar un exemplu didactic; proiectarea finală trebuie făcută cu geometria reală și caracteristicile fotometrice ale aparatelor.

1.2.29. Concluzie

Luminotehnica este un domeniu interdisciplinar în care **legile opticii, fotometriei, termodinamicii, fizicii cuantice și electrotehnicii se întâlnesc într-o singură aplicație practică: obținerea și controlul luminii utile** [9, 13].

Cele mai importante relații pentru calculele luminotehnice sunt, în special:

$$\boxed{c = \lambda f} \quad \boxed{E = \frac{I \cos\theta}{r^2}} \quad \boxed{L = \frac{\rho E}{\pi}}$$

1.3. Bibliografie

Note bibliografice cap.1 – mărimi și unități de măsură

[1] Comisia Internațională de Iluminat (CIE), ILV: International Lighting Vocabulary, ediția a II-a, CIE S 017/E:2020. Sursă pentru definițiile mărimilor fotometrice, simbolurilor, unităților și terminologiei de specialitate. https://www.cie.co.at/publications/ilv-international-lighting-vocabulary-2nd-edition-0

[2] Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), The International System of Units (SI), Broșura SI, ediția a IX-a, 2019, cu actualizările publicate ulterior. Sursă pentru unitățile SI, definiția candelei și relațiile dintre unitățile fotometrice. https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/annex-1/luminous-intensity

[3] Ohno, Yoshihiro, „Chapter A.2.1 Photometry", în Handbook of Optoelectronics, 2006. Lucrare de referință privind fotometria, radiometria, mărimile și unitățile aferente, legea inversului pătratului și colorimetria. https://www.nist.gov/publications/chapter-a21-photometry-handbook-optoelectronics

[4] Ohno, Yoshihiro, „Photometry", în Handbook of Visual Optics, vol. 1, Taylor & Francis, 2017. Sursă pentru fluxul luminos, intensitatea luminoasă, iluminare, luminanță, eficiența luminoasă spectrală și temperatura de culoare corelată. https://www.nist.gov/publications/photometry-chapter-handbook-visual-optics

[5] International Organization for Standardization (ISO) și CIE, ISO/CIE 23539:2023 — Photometry: The CIE System of Physical Photometry, ediția 1, 2023. Standard privind sistemul fotometric CIE, mărimile și unitățile fotometrice și funcțiile de eficiență luminoasă spectrală. https://www.iso.org/standard/83178.html

[6] National Institute of Standards and Technology (NIST), „Photometry", material de referință privind măsurarea luminii în raport cu sensibilitatea vizuală umană și realizarea unităților fotometrice. https://www.nist.gov/programs-projects/photometry

[7] CIE, Discomfort Glare in Interior Lighting, CIE 117:1995. Referință pentru evaluarea disconfortului vizual produs de orbire și pentru metoda UGR (Unified Glare Rating). https://www.cie.co.at/publications/discomfort-glare-interior-lighting

[8] ISO/CIE, ISO/CIE 8995-1:2025 — Light and lighting — Lighting of work places — Part 1: Indoor, 2025. Standard pentru cerințele de iluminat în spațiile interioare de lucru, inclusiv cantitatea și calitatea iluminării. https://www.iso.org/standard/76342.html

2. Notele bibliografice aferente documentației cap.1 – mărimi și unități de măsură

Capitolele documentației	Note recomandate
1.1.1–1.1.10. Mărimi fotometrice, flux luminos, lumen, steradian, candela și iluminare	[1], [2], [3]

Capitolele documentației	Note recomandate
1.1.11–1.1.18. Calculul iluminării, legea inversului pătratului și luminanța	[1], [3], [4]
1.1.19–1.1.28. Energia luminoasă, fotometria, radiometria și eficacitatea luminoasă	[1], [3], [5], [6]
1.1.29–1.1.35. Temperatura de culoare, redarea culorilor și uniformitatea iluminării	[1], [4], [5], [8]
1.1.36–1.1.39. Curbe fotometrice, coeficientul de utilizare și factorul de întreținere	[1], [3], [8]
1.1.40–1.1.43. UGR, orbire, luminanță și percepție vizuală	[1], [4], [7], [8]
1.1.44–1.1.50. Exemple de calcul și sinteza mărimilor fotometrice	[1], [2], [3], [8]
1.1.51–1.1.53. Vedere fotopică, mezopică și scotopică; iluminat rutier	[1], [4], [5], [6]

Tabelul 1.5 – Corespondența dintre notele bibliografice și secțiunile 1.1

Note bibliografice aferente cap. 1 – Legi și teoreme din luminotehnică

Nr.	Referință bibliografică	Domeniul acoperit
[9]	Hecht, E., Optics, ediția a 5-a, Pearson, 2017.	Natura luminii, reflexie, refracție, interferență, difracție și polarizare
[10]	Born, M., Wolf, E., Principles of Optics, ediția a 7-a (extinsă), Cambridge University Press, 1999.	Optică geometrică și ondulatorie, principiul Fermat, sisteme optice
[11]	Pedrotti, F. L., Pedrotti, L. S., Pedrotti, L. M., Introduction to Optics, ediția a 3-a, Pearson, 2007.	Lentile, reflexie totală internă, propagarea luminii
[12]	Saleh, B. E. A., Teich, M. C., Fundamentals of Photonics, ediția a 3-a, Wiley, 2019.	Fotonică, surse de lumină, efect fotoelectric și dispozitive optoelectronice
[13]	CIE, International Lighting Vocabulary, CIE S 017/E:2020, International Commission on Illumination, Viena, 2020.	Terminologie fotometrică, flux luminos, intensitate luminoasă, iluminare și luminanță
[14]	CIE, Colorimetry, ediția a 4-a, CIE 015:2018, Viena, 2018.	Spectrul vizibil, percepția culorilor, colorimetrie
[15]	Illuminating Engineering Society, The Lighting Handbook, ediția a 10-a, IES, New York, 2011.	Principii de luminotehnică, calcule fotometrice, proiectarea iluminatului
[16]	DiLaura, D. L., Houser, K. W., Mistrick, R. G., Steffy, G. R. (editori), The Lighting Handbook, ediția a 10-a, IES, 2011.	Calculul și evaluarea sistemelor de iluminat; reprezintă aceeași lucrare ca [15], cu editorii precizați
[17]	Modest, M. F., Radiative Heat Transfer, ediția a 3-a, Academic Press, 2013.	Legea lui Planck, Wien, Stefan–Boltzmann și Kirchhoff
[18]	CEN, EN 12464-1:2021 – Light and lighting. Lighting of work places. Part 1: Indoor work places, 2021.	Cerințe privind iluminatul interior și verificarea soluțiilor de iluminat

Tabelul 1.6 – Note bibliografice aferente capitolului 1

2. Corespondența dintre bibliografie și capitolele documentului

Capitolele documentului	Referințe recomandate
1.2.1–1.2.2. Natura luminii și relația frecvență–lungime de undă	[9], [10], [14]
1.2.3–1.2.7. Reflexie, refracție, reflexie totală și absorbție	[9], [10], [11]
1.2.8–1.2.10. Beer–Lambert, Fermat și lentile	[9], [10], [11]
1.2.11–1.2.14. Superpoziție, legea pătratului invers și legile lui Lambert	[9], [13], [15]
1.2.15–1.2.16. Fotometrie și sensibilitatea spectrală a ochiului	[13], [14], [15]
1.2.17–1.2.18. Conservarea energiei și efect fotoelectric	[9], [12]
1.2.19–1.2.21. Interferență, difracție și polarizare	[9], [10], [11]
1.2.22–1.2.25. Legile Planck, Wien, Stefan–Boltzmann și Kirchhoff	[17]
1.2.26–1.2.28. Conservarea fluxului luminos și metoda lumenului	[13], [15], [18]

Capitolele documentului	Referințe recomandate
1.2.29. Concluzii	[9], [13], [15]

Tabelul 1.7 – Corespondența dintre bibliografie și secțiunile capitolului

2. Aparate de iluminat destinate iluminatului public *[Păuț I.]*

2.1. Proiectarea și construcția aparatelor de iluminat destinate iluminatului public

În mod uzual, un aparat de iluminat public modern cu LED poate fi analizat în următoarele subsisteme [1, 2]:

2.1.1. Carcasa

- corp principal din aluminiu turnat sub presiune sau profil de aluminiu extrudat sau alt material compozit [1, 2];
- capac/carenă;
- nervuri de rigidizare și de răcire;
- compartiment pentru aparataj;
- garnituri de etanșare;
- elemente de fixare din materiale rezistente la coroziune;
- tratament de suprafață, de exemplu vopsire în câmp electrostatic.

Calculul mecanic al carcasei

Carcasa trebuie să reziste la:

- propria greutate;
- vibrații;
- șocuri;
- vânt;
- variații de temperatură;
- manipulare;
- montare/demontare;
- solicitări ale suportului.

Pentru vânt se poate porni de la:

$$F = \frac{1}{2}\rho C_d A v^2$$

unde:

- ρ = densitatea aerului;
- C_d = coeficient aerodinamic;
- A = suprafața proiectată;
- v = viteza vântului.

Forța generează un moment în zona prinderii:

$$M = F \times L$$

unde L este brațul forței față de punctul de fixare.

Apoi se verifică:

- carcasa;
- suportul;
- șuruburile;
- zona de fixare;
- eventualele nervuri;
- concentrațiile de tensiune.

2.1.2. Sistemul optic

- module LED;

- plăci PCB cu LED-uri;
- lentile individuale sau matrice optică [1, 2];
- reflector, dacă este utilizat;
- geam de protecție, de regulă sticlă securizată sau policarbonat;
- distribuția fotometrică: simetrică/asimetrică, stradală, pietonală etc.;
- controlul unghiului de distribuție a intensităților luminoase și al uniformității acestora.

2.1.3. Compartiment aparataj

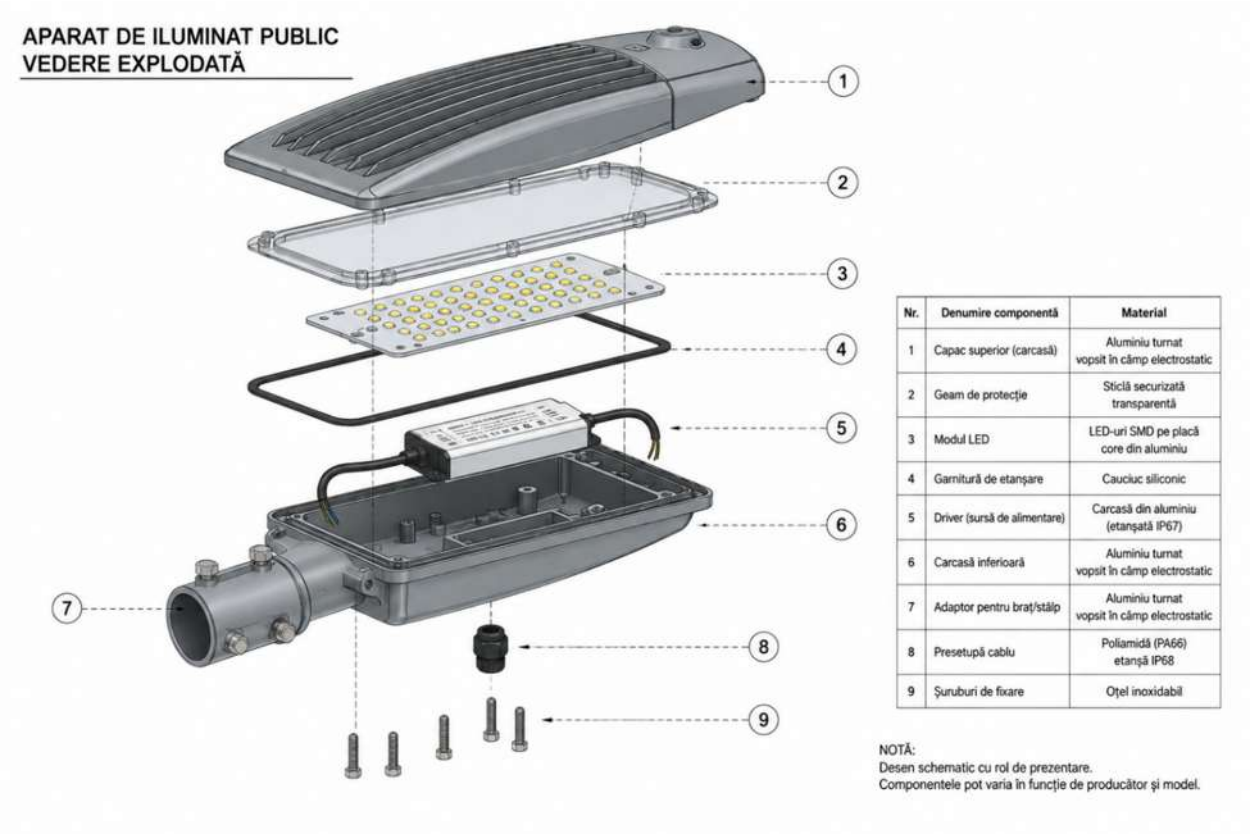
În cazul unui **aparat de iluminat public**, „compartimentul aparataj" este zona în care sunt montate componentele electrice necesare alimentării și funcționării sursei de lumină [1, 4]. În funcție de tipul aparatului (LED, cu lămpi HID etc.), poate conține:

- **Driver LED** – limitează și reglează curentul pentru sursa LED; la aparatele clasice poate fi balast electromagnetic/electronic.
- **Borne/cleme de alimentare** – pentru conectarea conductorilor de fază, nul și, după caz, protecție.
- **Siguranță/fuzibil** – protecția circuitului aparatului de iluminat.
- **Protecție la supratensiuni (SPD)** – foarte frecventă la aparatele LED moderne, pentru protecția driverului împotriva impulsurilor de tensiune.
- **Conectori și cablaj intern** – pentru legarea componentelor.
- **Dispozitiv de comandă/control** – de exemplu releu, modul de telegestiune sau interfață pentru fotocelulă/NEMA, dacă aparatul este prevăzut cu astfel de funcții.
- **Elemente de fixare și izolare** – suporturi, presetupe, garnituri și alte componente necesare menținerii protecției IP.

La un **aparat cu LED-uri modern**, schema simplificată este de regulă:

Rețea 230 V → bornă → protecție (siguranță/SPD) → driver LED → module LED

Figura 2.1 – Aparat de iluminat pentru iluminatul public: prezentarea componentelor, dimensiuni de gabarit și moduri de montare



Nr.	Denumire componentă	Material
1	Capac superior (carcasă)	Aluminiu turnat vopsit în câmp electrostatic
2	Geam de protecție	Sticlă securizată transparentă
3	Modul LED	LED-uri SMD pe placă core din aluminiu
4	Garnitură de etanșare	Cauciuc siliconic
5	Driver (sursă de alimentare)	Carcasă din aluminiu (etanșată IP67)
6	Carcasă inferioară	Aluminiu turnat vopsit în câmp electrostatic
7	Adaptor pentru braț/stâlp	Aluminiu turnat vopsit în câmp electrostatic
8	Presetupă cablu	Poliamidă (PA66) etanșă IP68
9	Șuruburi de fixare	Oțel inoxidabil

NOTĂ:
Desen schematic cu rol de prezentare.
Componentele pot varia în funcție de producător și model.

Figura 2.2 – Aparat de iluminat public: vedere explodată și materialele componentelor

2.2. Sursa de lumină LED

Sursa de lumină LED, este caracterizată prin [11]**:**

- LED-uri de putere;
- temperatura de culoare;
- indicele de redare a culorilor;
- fluxul luminos;
- eficacitatea luminoasă;
- curentul de funcționare;
- managementul termic al LED-urilor.

Într-un aparat modern de iluminat public, sursa de lumină este alcătuită, în esență, din:

- **LED-uri semiconductoare** propriu-zise;
- unul sau mai multe **module LED**;
- substratul pe care sunt montate LED-urile;
- sistemul de conectare electrică;
- **driverul LED**;
- sistemul de management termic;
- lentilele sau alte elemente optice;
- eventual sistemul de comandă și reglare a fluxului luminos.

Spre deosebire de aparatele tradiționale cu lămpi cu sodiu la înaltă presiune sau cu halogenuri metalice, unde lampa constituia o sursă relativ distinctă și înlocuibilă, la aparatele LED moderne sursa de lumină este, de regulă, **integrată în aparatul de iluminat**.

Această particularitate este foarte importantă din punct de vedere tehnic: nu este suficient să se specifice „aparat LED de 100 W”. Pentru caracterizarea corectă trebuie precizate performanțele **aparatului complet**, nu doar ale cipului LED.

Principiul de funcționare al LED-ului

LED-ul — *Light Emitting Diode* — este o diodă semiconductoare care emite radiație optică atunci când este polarizată în sens direct [11]. La nivel microscopic, procesul se bazează pe recombinarea electron-gol în materialul semiconductor. Energia eliberată în timpul recombinării este transformată în fotoni.

Simplificat:

energie electrică → recombinare electron-gol → fotoni → radiație optică → lumină utilizabilă

Lungimea de undă a radiației emise depinde de materialul semiconductor și de structura LED-ului. În iluminatul public se folosesc predominant LED-uri care generează lumină albă.

Cum se obține lumina albă

Există mai multe metode, însă în aparatele de iluminat public predomină LED-ul albastru combinat cu un material fotoluminescent, de regulă un **fosfor** [11, 13].

LED-ul produce inițial o radiație predominant albastră. O parte din această radiație este convertită de fosfor către lungimi de undă mai mari.

Rezultatul este un spectru combinat care este perceput de ochiul uman drept **lumină albă**.

Schema simplificată este:

LED albastru → strat de conversie fosforică → spectru alb → lentilă optică → carosabil

Acest lucru este important deoarece caracteristicile fosforului influențează direct:

- temperatura de culoare;
- indicele de redare a culorilor;
- eficacitatea luminoasă;
- distribuția spectrală a puterii;
- aspectul vizual al iluminatului;
- performanța în condiții de vedere mezopică.

Evaluarea calității culorilor pentru LED-uri

- LED-urile au revoluționat industria iluminatului, oferind posibilități vaste de aplicare și o gamă largă de performanță și calitate, inclusiv în redarea exactă a culorilor [13, 14]. Pentru a înțelege aceste aspecte, este esențial să analizăm evoluția standardelor de evaluare a sursei de lumină, cum ar fi CRI și TM-30-15 [13] [14].

Fundamentele CRI

- CRI (Indicele de Redare a Culorilor) este un parametru esențial în evaluarea unei surse de lumină, cu un maxim de 100 pentru sursele de lumină care imită perfect lumina zilei [13, 14]. Cu toate acestea, limitarea la evaluarea a doar opt culori a început să nu mai fie suficientă pentru a testa calitatea unei surse de lumină în mod complet, în special pentru tehnologiile noi de LED-uri.

Figura 2.3 – Comparație vizuală a redării culorilor pentru CRI 98, CRI 85 și CRI 70

Standardul CRI, stabilit de Comisia Internațională de Iluminare (CIE) în 1974, a fost creat pentru a standardiza modul în care diferite surse de lumină redau culorile. Acesta a devenit un instrument crucial în industria iluminatului pentru evaluarea calității luminii.

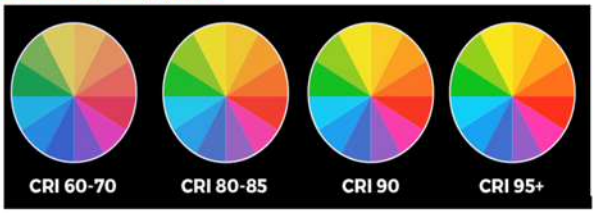


Figura 2.4 – Standardul CRI și aspectul culorilor pentru diferite valori ale indicelui de redare a culorilor

- Pentru a aborda această problemă, TM-30-15, propus de IES și DOE, oferă o abordare mai cuprinzătoare. Standardul TM-30-15 introduce doi indici principali: Indicele de Fidelitate (Fidelity Index - FI) și Indicele Gamut (Gamut Index - GI).

- Indicele de Fidelitate (FI) (Rf)

- FI măsoară cât de bine reproduce culorile o sursă de lumină comparativ cu un iluminator standard sau lumina zilei, folosind o evaluare a 99 de culori, spre deosebire de cele 8 utilizate de CRI. Acest lucru face ca testul să fie foarte precis.

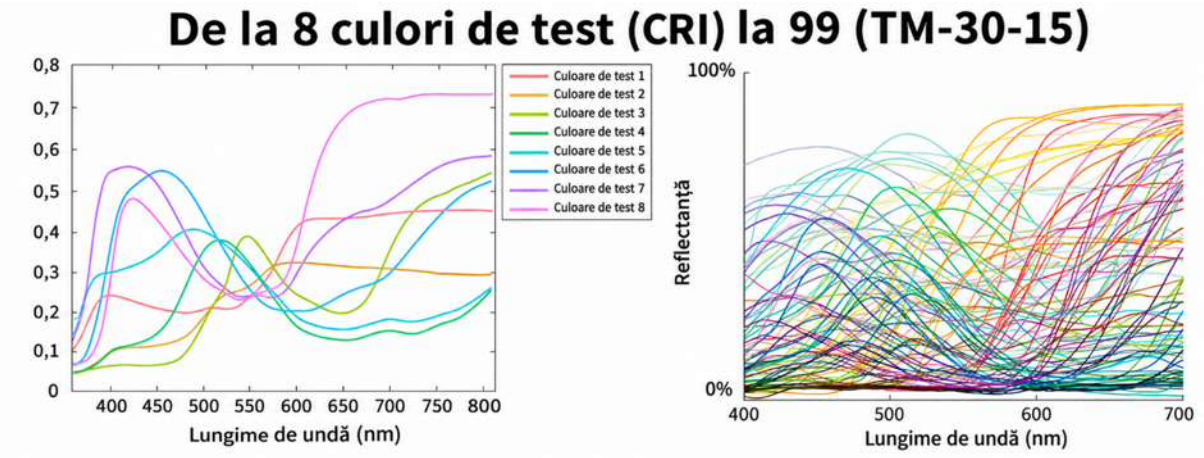


Figura 2.5 – Culorile de test: de la 8 culori (CRI) la 99 de culori (TM-30-15)

- Indicele Gamut (GI) (Rg)

GI măsoară gradul în care o sursă de lumină saturează sau desaturează culorile. Un GI de 100 înseamnă că nu există nici o supra-saturație sau desaturare semnificativă, în timp ce valori mai mari sau mai mici indică o modificare a saturației

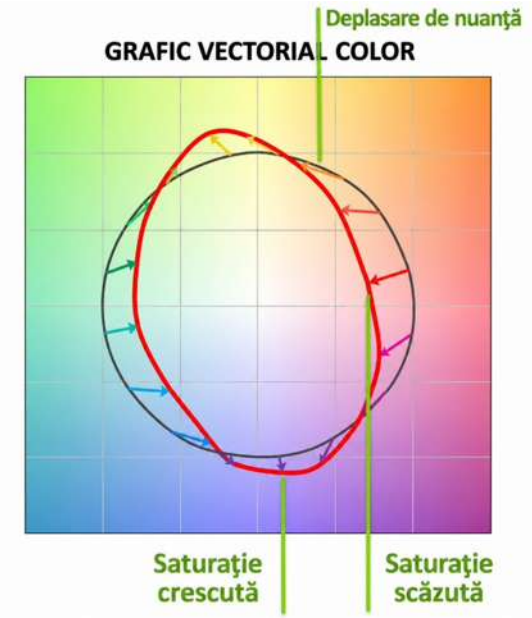


Figura 2.6 – Graficul vectorial de culoare: deplasarea nuanței, creșterea și scăderea saturației

Graficul vectorial de culoare. Valoarea Rg este un număr care reflectă subsaturația generală sau suprasaturația, dar nu indică zonele de culoare care sunt problematice. TM-30-15 remediază acest lucru cu un grafic vectorial circular suprapus peste un spațiu de culoare, reprezentând locul în care apar anomaliile de saturație a culorii. Rețineți că spațiul de culoare CAM02-USC este un spațiu 3D, dar a fost „aplatizat" pentru a afișa schimbările în dimensiunea de saturație

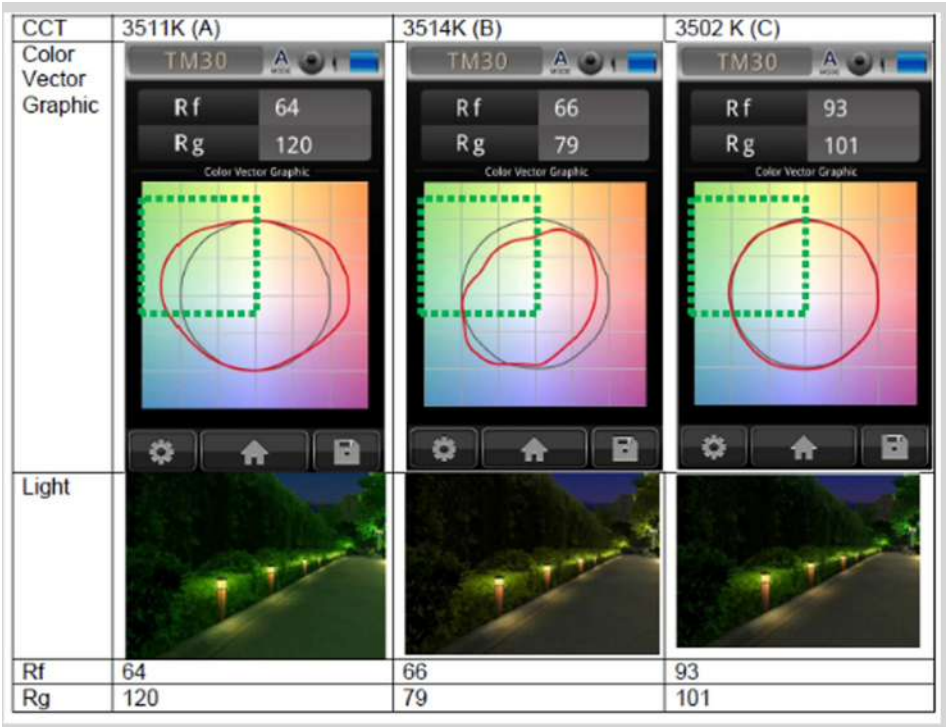


Figura 2.7 – Trei exemple de grafice vectoriale de culoare și valorile Rf/Rg corespunzătoare

Trei exemple de grafică vectorială color care arată unde apar anomaliile de saturație a culorii.

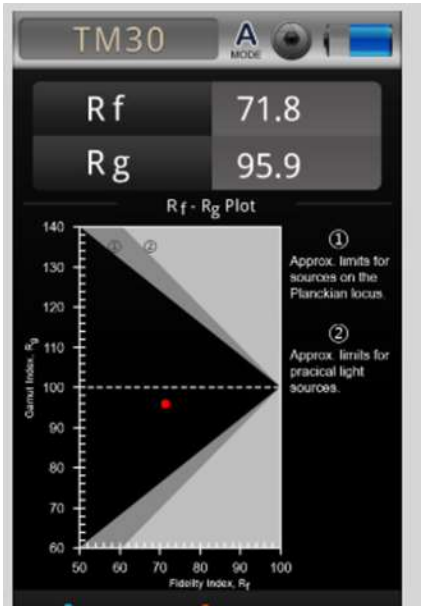


Figura 2.8 – Graficul Rf–Rg (TM-30) pentru evaluarea calității generale a redării culorilor

Acest grafic Rf-Rg arată calitatea generală a randării unei lumini (punct roșu). Dacă punctele se apropie de punctul de convergență (partea dreaptă), aceasta demonstrează o calitate mai bună a luminii.

Durata de viață a LED-urilor: standarde, teste și calitate

- LED-urile au revoluționat industria iluminatului, oferind o sursă de lumină durabilă și eficientă din punct de vedere energetic. Cu toate acestea, înțelegerea duratei de viață a LED-urilor poate fi complexă, mai ales când se compară cu sursele de lumină tradiționale [11, 12].
- Spre deosebire de sursele de iluminat tradiționale, cum ar fi sursele de lumină cu incandescență sau cele cu descărcări în vapori metalici, LED-urile pierd treptat din valoarea fluxului luminos într-un anumit progres, altfel decât sursele de lumină clasice, înainte de a se defecta complet. Acest fenomen este cunoscut sub numele de deprecierea fluxului luminos în timp. Depreciere ce se realizează diferit față de celelalte surse de lumină.
- Durata de viață a LED-urilor este adesea exprimată prin standardul L70, care reprezintă perioada de timp necesară pentru ca un LED să ajungă la 70% din fluxul său inițial. Acest punct fiind considerat sfârșitul vieții utile a LED-ului.
- Explicația fiind simplă: în aparatele de iluminat profesionale, LED-urile sunt doar cu “30% mai slabe” ca lumină decât în momentul inițial de punere în funcțiune.
- Pentru a măsura și a prezice durata de viață a LED-urilor, industria iluminatului folosește standarde specifice de testare: **IES LM-80-2008 și IES TM-21-2011.**
- Standardul LM80, "Măsurarea evoluției fluxului luminos a surselor de lumină LED", este metoda standard pentru testarea LED-urilor. Acest test se desfășoară pe o perioadă de 6.000 până la 10.000 de ore și implică măsurarea fluxului luminos la intervale regulate.

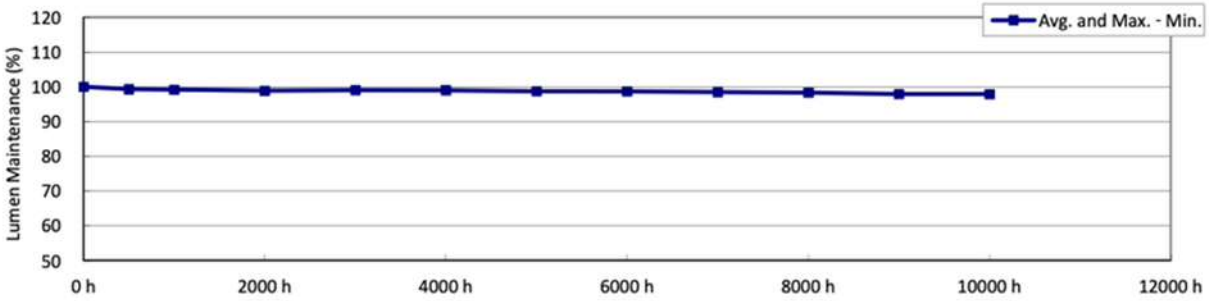


Figura 2.9 – Menținerea fluxului luminos măsurată conform LM-80 (0–10.000 h)

- IES TM21 se folosește pentru a estima evoluția fluxului luminos pe termen lung a LED-urilor. Acest standard utilizează datele LM80 pentru a proiecta menținerea fluxului luminos al unui LED pe o perioadă mai lungă.
- Durata de viață estimată a unui LED este calculată pe baza datelor obținute din teste LM80, extinzând aceste rezultate de 6 ori durata efectivă a testului. Astfel, un test de 10.000 de ore poate oferi o estimare a duratei de viață de 60.000 de ore.
- O condiție importantă a standardului TM21 este aceea că durata de viață maximă care poate fi estimată este de șase ori durata efectivă a testului**.**
- **Dacă durata testului este de doar 6000 de ore, durata maximă de viață care poate fi cotată este de 36.000 ore și ar fi menționată ca L70 (6K)> 36.000 ore. Dacă testul este de 10.000 de ore de testare, aceasta ar fi ca L70 (10K)> 60.000 ore.**
- În concluzie, durata de viață a LED-ului în conformitate cu LM-80 și TM-21 are două părți: testarea efectivă cu LM80 și proiecția timpului de testare 6x cu TM21

Exemplu

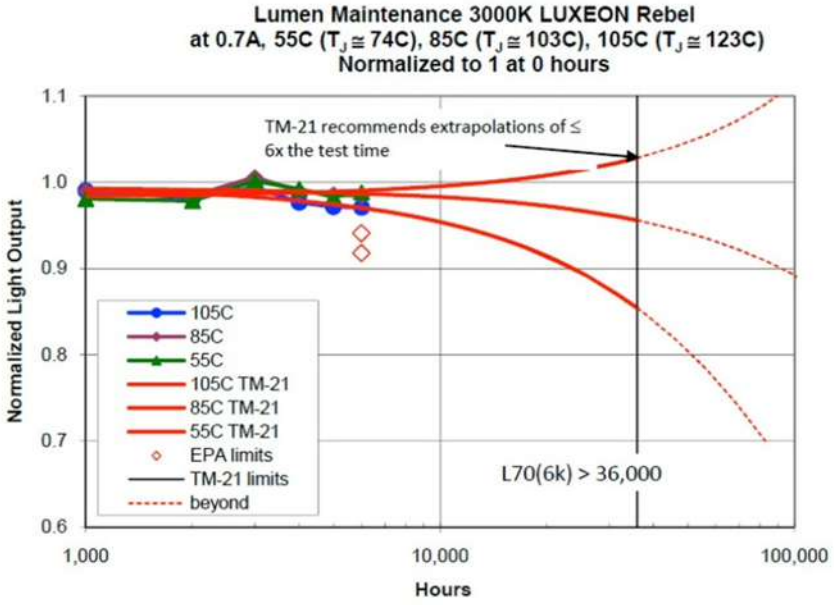


Figura 2.10 – Exemplu de extrapolare TM-21 a menținerii fluxului luminos: L70(6k) > 36.000 h

2.3. Tipuri de aparataje specifice aparatelor de iluminat destinate iluminatului public

2.3.1. Aparataj de alimentare

Bornierul de alimentare

- realizează conectarea conductorilor rețelei de iluminat la aparatul de iluminat [1, 4];
- poate fi cu șurub, arc, clemă etc.;
- trebuie să asigure o conexiune mecanică sigură și un contact electric stabil.

Conectori și mufe

- permit conectarea/deconectarea rapidă a aparatului;
- pot fi utilizați pentru alimentare, comandă sau comunicații;
- în iluminatul public sunt frecvent utilizați conectori cu protecție la apă și praf.

Cabluri și conductoare interne

- realizează legăturile între borne, driver, protecții și modulele LED;
- trebuie dimensionate pentru curentul, temperatura și condițiile de funcționare ale aparatului.

2.3.2. Aparataj de protecție

Siguranța fuzibilă Protejează circuitele interne împotriva supracurenților și scurtcircuitelor [4, 7]. La aparatele de iluminat poate exista o siguranță individuală sau o protecție asociată circuitului de alimentare.

Întreruptor automat Poate fi utilizat pentru protecția și separarea circuitului. În cazul aparatelor de iluminat stradal moderne, protecția principală este de regulă realizată la nivelul rețelei/tabloului, iar aparatul poate avea protecții locale suplimentare.

Protecția la supratensiuni – SPD Este una dintre cele mai importante protecții pentru iluminatul public. Protejează electronica aparatului împotriva impulsurilor de supratensiune provenite, de exemplu, din:

- descărcări atmosferice indirecte;
- comutații în rețeaua electrică;
- perturbări tranzitorii ale rețelei.

Poate fi realizată cu dispozitive SPD dedicate pentru circuitele de alimentare și, în anumite configurații, pentru liniile de comunicație.

Protecția termică Poate fi integrată în driver sau în alte componente electronice și are rolul de a limita/întrerupe funcționarea atunci când temperatura depășește limitele admise.

2.3.3. Aparataj de comandă

Driverul LED Driverul nu este doar o sursă de alimentare. Are funcții de control și parametrizare specifice iluminatului public:

NFC (comunicare în zonă apropiată) – permite configurarea fără contact direct prin interfața Near Field Communication.

ready2mains – permite configurarea driverului prin rețeaua de alimentare, folosind echipamentul de programare corespunzător.

chronoSTEP – permite programarea unor niveluri diferite de iluminare în funcție de intervalul orar. De exemplu, corpul poate funcționa la 100% la începutul nopții și poate reduce automat fluxul luminos în perioada cu trafic redus. Tridonic [17] utilizează această funcție în soluțiile sale pentru iluminat stradal.

eCLO (enhanced Constant Light Output) – permite compensarea în timp a scăderii fluxului luminos al LED-urilor, astfel încât iluminarea să rămână cât mai constantă pe durata de viață a instalației.

Protecții

Driverul include mai multe mecanisme de protecție, printre care:

- protecție la **supratemperatură**;
- protecție la **scurtcircuit**;
- protecție la **suprasarcină**;
- protecție în cazul **lipsei sarcinii/LED-urilor**;
- monitorizarea domeniului tensiunii de intrare;
- reducerea solicitării produse de supratensiuni;
- **Intelligent Temperature Guard (ITG)**;
- **Intelligent Voltage Guard Plus (IVG+)**.

Pentru aplicații outdoor, un aspect important este protecția la supratensiuni: această variantă este specificată pentru până la **10 kV asimetric**, pentru aparate în clasele I și II de protecție.

Exemplu de driver performant pentru iluminat public, de la firma Tridonic:

Pentru aparatele de iluminat stradale moderne există, de exemplu, **LCO 135W 200–1050mA 220V o4a NF C EXC3**. Acesta poate furniza până la **135 W**, are un randament de până la **93%** și permite configurarea curentului între 200 și 1050 mA. În plus față de NFC și ready2mains, dispune de interfața **one4all**, cu **DALI/DALI-2, DSI, switchDIM și corridorFUNCTION**.

Varianta respectivă suportă și **DALI-2 Parts 251, 252 și 253**, adică poate furniza date despre corpul de iluminat, informații energetice și informații de diagnostic/mentenanță.

Pe scurt, rolul driverului în aparatul de iluminat, schema funcțională este, în principiu:

230 V AC → driver Tridonic → curent constant DC → modul LED → lumină

Driverul adaptează energia de la rețea la caracteristicile matricei de LED-uri, menține curentul la valoarea programată și gestionează reglarea luminii, protecțiile și, în funcție de model, comunicația cu sistemul de telegestiune.

Un astfel de driver oferă inclusiv soluții **D4i pentru iluminat stradal**, care permit integrarea driverului cu senzori și sisteme de control inteligente.

2.3.4. Aparataj de comandă automată

Releul fotoelectric / fotocelula Comandă aprinderea și stingerea aparatului în funcție de nivelul iluminării naturale [4].

Senzorul crepuscular Detectează nivelul de lumină ambientală și transmite comanda de pornire/oprire.

Ceasul astronomic Comandă iluminatul în funcție de orele de răsărit și apus calculate pentru coordonatele geografice ale instalației.

Temporizatorul Permite stabilirea unor intervale de funcționare sau a unor trepte de reducere a fluxului luminos.

Releul de comandă Realizează comutarea circuitului de alimentare în funcție de semnalul primit de la fotocelulă, ceas astronomic, sistem de control etc.

2.3.5. Aparataj pentru telegestiune

În instalațiile moderne de iluminat public, aparatul poate fi echipat cu un **nod/controller de telegestiune** [4, 8].

Acesta poate realiza:

- pornirea și oprirea aparatului;
- reglarea individuală a fluxului luminos;
- monitorizarea consumului;
- detectarea defectelor;
- măsurarea tensiunii și curentului;
- monitorizarea temperaturii;
- transmiterea alarmelor;
- identificarea aparatului;
- comunicația cu centrul de control.

Comunicația poate utiliza, în funcție de sistem:

- RF;
- LoRaWAN;
- NB-IoT/LTE-M;
- GSM/4G/5G;
- PLC;
- alte protocoale de comunicație.

2.3.6. Aparataj de interfață și conectare la sistemul de control

Un aparat de iluminat poate avea interfețe standardizate pentru conectarea unui modul de comandă [1].

Exemple importante:

NEMA socket – interfață utilizată în numeroase instalații de iluminat exterior pentru conectarea fotocelulei sau a unui nod de telegestiune.

Zhaga Book 18 / Zhaga socket – sistem de interfață utilizat pentru module inteligente și senzori în aparate LED de exterior.

Acestea permit, în funcție de configurație, instalarea sau înlocuirea modulului de control fără modificarea aparatului propriu-zis.

2.3.7. Aparataj de compensare și filtrare

În special la aparatele cu tehnologii convenționale sau la anumite surse LED pot exista [7, 8]:

Condensator de compensare

- îmbunătățește factorul de putere al anumitor circuite;
- este întâlnit în special la instalațiile cu balast electromagnetic.

Filtre EMI/EMC

- limitează interferențele electromagnetice generate de electronica aparatului;
- contribuie la respectarea cerințelor de compatibilitate electromagnetică.

Bobine/inductanțe

Pot fi utilizate în circuitele de filtrare și în anumite configurații de alimentare.

2.3.8. Aparataj de protecție și separare pentru mentenanță

Pot exista:

- întrerupător de separare [1];
- separator;
- microîntrerupător;
- întrerupător pentru deschiderea capacului;
- contacte de siguranță;
- dispozitive de blocare.

Un **microîntrerupător de ușă/capac** poate întrerupe alimentarea atunci când compartimentul electric este deschis, în funcție de proiectarea aparatului.

2.3.9. Aparataj și componente pentru împământare/protecție la atingere

Borna PE

Este punctul de conectare a conductorului de protecție la carcasa metalică a aparatului [1].

Conductorul de protecție

Asigură continuitatea legăturii de protecție între elementele metalice accesibile și instalația de protecție.

Puncte de echipotențializare

Permit realizarea continuității electrice între diferitele componente metalice ale aparatului.

La aparatele cu **clasa de protecție II**, configurația este diferită: protecția împotriva șocului electric se bazează pe izolație dublă sau întărită, astfel încât aparatul nu necesită în mod normal conectarea unui conductor PE.

2.4. Elemente optice specifice aparatelor de iluminat destinate iluminatului public

În aparatele de iluminat cu LED destinate **iluminatului public** (aparate de iluminat stradal, pietonal, rutier, pentru parcări etc.), elementele optice principale sunt **sursa LED** și **sistemul optic/lentila** [15]. Acestea trebuie analizate împreună, deoarece performanța fotometrică a aparatului de iluminat rezultă din combinația dintre caracteristicile LED-urilor și geometria/parametrii lentilelor.

2.4.1. LED-ul – elementul electro-optic

LED-ul utilizat pentru iluminatul public este, în mod uzual, un **LED de putere**, montat pe o placă cu circuit imprimat cu rol de disipare termică (de exemplu, MCPCB cu bază metalică) [11, 13].

Caracteristicile optice relevante sunt:

- **Fluxul luminos:** exprimat în lumeni (lm), reprezintă cantitatea totală de lumină emisă de LED.
- **Eficacitatea luminoasă:** exprimată în lm/W și determinată din raportul dintre fluxul luminos și puterea electrică absorbită de LED.
- **Temperatura de culoare corelată (CCT):** exprimată în kelvini (K). Pentru iluminatul public sunt întâlnite frecvent valori precum **2.200–3.000 K** pentru lumină albă caldă și **3.000–4.000 K** pentru lumină albă neutră.
- **Indicele de redare a culorilor (CRI/Ra):** indică fidelitatea cu care sunt percepute culorile obiectelor iluminate. Pentru iluminatul public se utilizează frecvent LED-uri cu **Ra ≥ 70**, iar pentru anumite aplicații pot fi solicitate valori mai ridicate.
- **Distribuția spectrală a puterii:** spectrul emis de LED, relevant pentru aspectul luminii, redarea culorilor și anumite cerințe de mediu.
- **Fluxul luminos la temperatura de funcționare:** trebuie luat în considerare deoarece fluxul LED-ului variază cu temperatura joncțiunii.
- **Curentul de alimentare:** influențează fluxul luminos, eficacitatea, temperatura de funcționare și durata de viață.
- **Temperatura joncțiunii (Tj):** parametrul termic esențial al LED-ului. Menținerea acesteia în limitele recomandate de producător este necesară pentru stabilitatea fluxului și a culorii și pentru durata de viață.
- **Menținerea fluxului luminos în timp:** exprimată prin parametri de tip **L90, L80** etc., care indică procentul din fluxul inițial rămas după o anumită perioadă de funcționare, în condițiile specificate de producător.
- **MacAdam/SDCM:** precizează toleranța variației cromatice între LED-uri; o valoare SDCM mai mică înseamnă o uniformitate cromatică mai bună.

Într-un aparat de iluminat rutier modern, LED-urile sunt de regulă dispuse într-o **matrice**, iar fiecare LED sau grup de LED-uri poate avea propria lentilă secundară. Configurația permite obținerea unei distribuții luminoase adaptate geometriei drumului.

2.4.2. Lentila – elementul optic complementar

Lentila are rolul de a **prelua lumina emisă de LED și de a o redistribui controlat în spațiul iluminat** [15]. În iluminatul public, aceasta este esențială pentru obținerea distribuției fotometrice necesare, reducerea pierderilor și limitarea luminii emise în direcții nedorite.

Lentilele sunt realizate, în funcție de construcție și producător, din materiale optice precum:

- **PMMA (polimetilmetacrilat)**;
- **policarbonat (PC)**;
- alte materiale optico-tehnice, în funcție de aplicație și cerințele de temperatură/mediu.

Caracteristicile optice importante ale lentilei sunt:

- **forma și geometria suprafețelor optice**, care determină modul în care este refractată lumina;
- **unghiul de distribuție**, respectiv extinderea fasciculului luminos;
- **distribuția fotometrică rezultată**, care poate fi îngustă, medie, largă, asimetrică sau adaptată unei anumite configurații a drumului;
- **factorul de transmisie optică**, care indică proporția luminii care traversează lentila;
- **uniformitatea distribuției luminoase**;
- **controlul luminii deasupra orizontului**, important pentru limitarea poluării luminoase;

- **rezistența la radiații UV și la îmbătrânire**, pentru menținerea proprietăților optice în timp;
- **stabilitatea dimensională și termică**, deoarece variațiile de temperatură pot afecta poziția și geometria sistemului optic.

Model de lentila pentru un singur LED

Exemplu:

Figura 2.11 – Lentilă pentru un singur LED

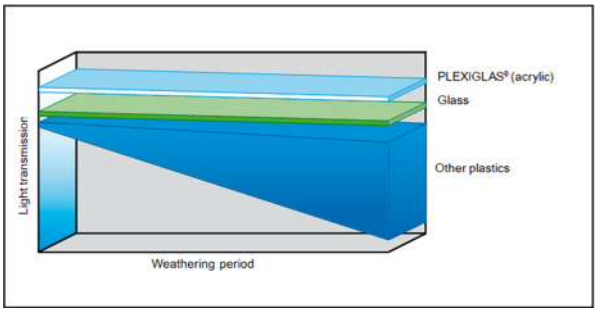


Figura 2.12 – Variația transmisiei luminii în timp pentru PMMA (acrilic), sticlă și alte materiale plastice

Model de lentila pentru un grup de LED-uri

Exemplu:

Figura 2.13 – Lentilă pentru un grup de LED-uri, de culoare chihlimbar

Cu noile lentile de culoare chihlimbar de la “LEDiL”, zona spectrală care conține lumină albastră poate fi complet eliminată, menținând în același timp un nivel bun de performanță optică

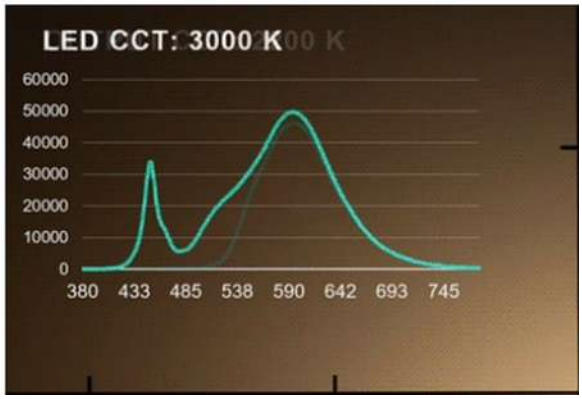


Figura 2.14 – Distribuția spectrală a unui LED cu temperatura de culoare de 3000 K

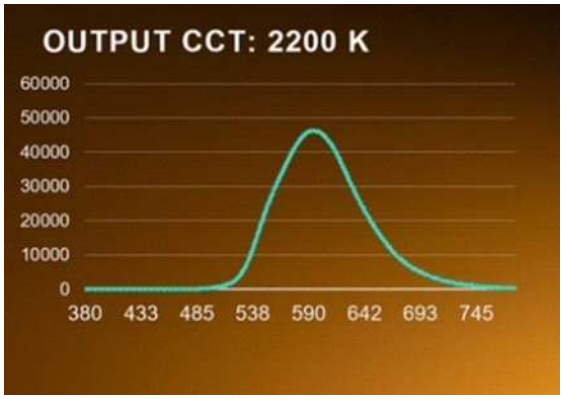


Figura 2.15 – Distribuția spectrală după lentila de culoare chihlimbar: temperatura de culoare de 2200 K

2.4.3. Tipul distribuției fotometrice

Spre deosebire de un aparat de iluminat interior, unde se urmărește adesea o distribuție relativ simetrică, un aparat de iluminat stradal trebuie să distribuie lumina **asimetric**, astfel încât să acopere zona de interes pe lungimea și lățimea necesare [15, 16].

Un sistem optic pentru iluminat rutier poate fi proiectat astfel încât să:

- direcționeze lumina **longitudinal**, de-a lungul axei drumului;
- distribuie lumina **transversal**, pentru acoperirea lățimii carosabilului;
- limiteze fluxul luminos către fațade și proprietăți;
- reducă lumina emisă în direcții nedorite;
- asigure uniformitatea necesară pe suprafața carosabilului.

În practică, producătorii oferă **mai multe tipuri de lentile/distribuții fotometrice** pentru același aparat de iluminat, alegerea făcându-se în funcție de lățimea drumului, înălțimea și distanța dintre stâlpi, consola corpului de iluminat, poziția față de carosabil și clasa de iluminare solicitată.

2.4.4. Ansamblul LED + lentilă

Pentru specificarea tehnică a unui aparat de iluminat public, nu este suficient să se precizeze doar „LED de X W” [15]. Trebuie descris **sistemul optic complet**, deoarece două aparate cu aceeași putere electrică și același număr de LED-uri pot avea performanțe fotometrice foarte diferite.

O descriere tehnică completă poate include:

LED: tip LED de putere, număr de LED-uri, putere nominală/curent de funcționare, flux luminos, eficacitate, CCT, CRI, toleranță cromatică și parametri de menținere a fluxului.

Lentilă: material, număr de elemente optice, tip de distribuție fotometrică, unghi/curbă de distribuție, transmisie optică și caracteristici de rezistență la UV și temperatură.

Sistem optic complet: flux luminos al aparatului, eficacitate luminoasă a aparatului de iluminat, curbă fotometrică, distribuție CIE, intensități luminoase, eventual clasificarea ULOR/DLOR și parametrii necesari calculului iluminării.

Important: pentru iluminatul public, performanța trebuie evaluată la nivelul **aparatului de iluminat**, nu doar la nivelul LED-ului. Fluxul LED-urilor individuale nu este egal cu fluxul luminos util al aparatului de iluminat, deoarece intervin pierderile optice, termice și electrice.

Gradul de protecție IP pentru aparatul de iluminat destinat iluminatului public

- **Gradul de protecție împotriva atingerii părților periculoase și pătrunderii corpurilor străine indicat de prima cifră:**
  • IP 0x - Nu este protejat.
  • IP 1x - Protejat împotriva pătrunderii corpurilor străine solide cu diametru 50 mm și mai mari (de ex. în fața contactului cu mâna).
  • IP 2x - Protejat împotriva pătrunderii corpurilor străine solide cu diametru 12,5 mm și mai mari (de ex. degete).
  • IP 3x - Protejat împotriva pătrunderii corpurilor străine solide cu diametru 2,5 mm și mai mari (de ex. scule și fire).
  • IP 4x - Protejat împotriva pătrunderii corpurilor străine solide cu diametru 1 mm și mai mari (de ex. unelte, fire).
  • IP 5x - Protejat împotriva contactelor cu fire și parțial împotriva prafului.
  • IP 6x - Protejat complet împotriva prafului [1].

- **Gradul de protecție împotriva pătrunderii apei indicat de a doua cifră:**
  • IP x0 - Nu este protejat.
  • IP x1 - Protecție împotriva picăturilor verticale de apă.
  • IP x2 - Protecție împotriva apei directe până la 15° față de verticală.
  • IP x3 - Protecție împotriva apei directe până la 60° față de verticală.
  • IP x4 - Protecție împotriva stropirii cu apa din toate direcțiile.
  • IP x5 - Protecție împotriva stropirii cu apă sub presiune din toate direcțiile.
  • IP x6 - Protecție împotriva inundării temporare cu apă.
  • IP x7 - Protecție împotriva scufundării temporare în apă (15 cm până la 1 m adâncime).
  • IP x8 - Protecție împotriva scufundării în apă. Dispozitivul este capabil de submersie continuă a apei.
• IP x9 - Protecție împotriva stropirii cu apă caldă de înaltă presiune.

Ce este gradul de protecție IK pentru aparatele de iluminat?

- Gradul de protecție IK sau protecția la impact reprezintă nivelul de rezistență al unei carcase și al elementului difuzant (lentilă sau difuzor) împotriva impactului mecanic [3].
- Gradul de protecție IK al unui aparat de iluminat contează foarte mult în alegerea acestuia, ce poate fi montat într-o locație care ar putea fi supusă unor acte de vandalism.
- Asupra aparatului de iluminat este aplicată o cantitate de energie, mai exact un set de greutăți care sunt eliberate de la anumite înălțimi și unghiuri asupra acestuia.

Numit după fizicianul James Prescott Joule. Joule-ul (J) este unitatea de măsură a energiei. Este folosit ca o unitate de măsură pentru lucrul mecanic, energie și căldură, și este folosit în mod uzual în aplicațiile științifice:

$$\mathrm{J} = \frac{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} = \mathrm{N} \cdot \mathrm{m}$$

„impactul unui măr de «dimensiuni mici» în cădere de la o înălțime de 1 metru”.

Dacă doriți să aflați protecția la impact a aparatului de iluminat, verificați în fișa tehnică a acestuia sau consultați catalogul de produse.

IK00 – fără protecție

IK01 – protecție împotriva unui șoc de 0,14 jouli (echivalentul impactului generat de o masă de 0,2 kg aruncată de la 7,5 cm înălțime)

IK02 – protecție împotriva unui șoc de 0,2 jouli (echivalentul impactului generat de o masă de 0,2 kg aruncată de la 10 cm înălțime)

IK03 – protecție împotriva unui șoc de 0,35 jouli (echivalentul impactului generat de o masă de 0,2 kg aruncată de la 17 cm înălțime)

IK04 – protecție împotriva unui șoc de 0,5 jouli (echivalentul impactului generat de o masă de 0,2 kg aruncată de la 25 cm înălțime)

IK05 – protecție împotriva unui șoc de 0,7 jouli (echivalentul impactului generat de o masă de 0,5 kg aruncată de la 35 cm înălțime)

IK06 – protecție împotriva unui șoc de 1 jouli (echivalentul impactului generat de o masă de 0,5 kg aruncată de la 20 cm înălțime)

IK07 – protecție împotriva unui șoc de 2 jouli (echivalentul impactului generat de o masă de 0,5 kg aruncată de la 20 cm înălțime)

IK08 – protecție împotriva unui șoc de 5 jouli (echivalentul impactului generat de o masă de 5 kg aruncată de la 10 cm înălțime)

IK09 – protecție împotriva unui șoc de 10 jouli (echivalentul impactului generat de o masă de 5 kg aruncată de la 20 cm înălțime)

IK10 – protecție împotriva unui șoc de 20 jouli (echivalentul impactului generat de o masă de 10 kg aruncată de la 40 cm înălțime)

Tabel cu gradele de protecție IK

Figura 2.16 – Gradele de protecție IK: rezistența la impact

2.5. Certificarea aparatelor de iluminat

Pentru aparatele de iluminat cu LED destinate **iluminatului public în România**, trebuie făcută o distincție importantă între [1, 9]:

1. **certificările/documentele obligatorii legal pentru introducerea pe piață și punerea în funcțiune**;
2. **standardele tehnice pe care produsul trebuie să le respecte**;

3. **rapoartele de încercări/certificatele de laborator** prin care producătorul demonstrează conformitatea;

Nu există, în general, o singură „certificare pentru aparat de iluminat public LED”. Conformitatea rezultă dintr-un **ansamblu de cerințe**, iar documentul juridic central este **Declarația UE de conformitate + marcajul CE**, susținute de documentația tehnică și rapoartele de încercări relevante. Pentru compatibilitatea electromagnetică, legislația română stabilește explicit cerințele și procedura de evaluare a conformității.

2.5.1. Marcajul CE – obligatoriu

Un aparat de iluminat LED alimentat la rețea trebuie, în mod normal, să poarte **marcaj CE** și să fie însoțit de **Declarație UE de conformitate**. Marcajul CE nu este, în sine, un „certificat CE” emis de o autoritate. În multe cazuri, producătorul efectuează evaluarea conformității pe baza controlului intern al producției și își asumă conformitatea prin declarație.

Pentru un aparat de iluminat public LED trebuie analizate cel puțin:

- **Directiva/cerințele privind echipamentele electrice de joasă tensiune (LVD)** – pentru siguranța electrică;
- **Directiva privind compatibilitatea electromagnetică (EMC)**;
- **RoHS** – restricționarea anumitor substanțe periculoase;
- **cerințele de ecodesign aplicabile sursei LED și echipamentului de control**, după caz.

În România, cerințele EMC sunt transpuse prin **HG nr. 487/2016** [10], care prevede inclusiv documentația tehnică, evaluarea EMC și declarația de conformitate.

2.5.2. Siguranța electrică – LVD

Pentru aparatul de iluminat alimentat, de regulă, la 230 V AC, trebuie demonstrată conformitatea cu cerințele de siguranță electrică.

Standardul fundamental pentru aparatele de iluminat este:

SR EN IEC 60598-1 [1] **– Corpuri de iluminat. Cerințe generale și încercări**. Iar pentru iluminatul rutier/public este relevant în special:

SR EN 60598-2-3 [2] **– Corpuri de iluminat. Partea 2-3: Cerințe particulare. Corpuri de iluminat pentru iluminatul rutier și iluminatul stradal.**

Într-o documentație serioasă de produs ar trebui să existe un **raport de încercări conform EN/IEC 60598-1 și EN 60598-2-3**, nu doar o declarație generică a producătorului.

Trebuie verificate, între altele:

- protecția împotriva șocului electric;
- rezistența de izolație;
- rigiditatea dielectrică;
- curenții de scurgere;
- împământarea/protecția de clasă I, dacă este cazul;
- distanțele de izolație și conturnare;
- încălzirea componentelor;
- rezistența la temperaturi anormale;
- protecția mecanică;
- construcția carcasei;
- conexiunile electrice;
- comportarea componentelor în condițiile de funcționare declarate.

Atenție: faptul că driverul LED are certificat CE sau IEC 61347 [4] **nu demonstrează automat conformitatea aparatului de iluminat ca ansamblu**.

2.5.3. Compatibilitatea electromagnetică – EMC

Este una dintre cele mai importante categorii pentru iluminatul public, deoarece driverul LED este un echipament electronic care poate genera perturbații în rețea și în mediul electromagnetic.

În documentația produsului trebuie să existe dovezi privind conformitatea cu cerințele EMC. Sunt relevante, în funcție de configurație și standardele aplicabile:

- **EN 55015** – limitele și metodele de măsurare ale caracteristicilor perturbatoare radio ale echipamentelor electrice de iluminat;
- **EN IEC 61000-3-2** [7] – emisii de curenți armonici;
- **EN 61000-3-3** – fluctuații de tensiune și flicker;
- **EN IEC 61547** [8] – cerințe de imunitate EMC pentru echipamente de iluminat.

În cazul unei documentații pentru achiziție publică, este prudent să se solicite **rapoarte de încercare EMC pentru modelul exact ofertat**, nu doar un certificat al producătorului de driver.

HG 487/2016 [10] cere ca producătorul să realizeze evaluarea compatibilității electromagnetice, să întocmească documentația tehnică și să identifice standardele aplicate.

2.5.4. Driverul LED – certificări distincte

Driverul este o componentă critică. Trebuie verificat dacă driver-ul utilizat este conform cu standardele aplicabile echipamentelor de control pentru iluminat, în special familia:

EN IEC 61347 [4] – Aparataj de control pentru lămpi

și, în funcție de tipul driverului:

EN IEC 61347-1 – cerințe generale și de securitate; plus partea specifică relevantă pentru tipul de control gear.

De asemenea, trebuie analizate:

- factorul de putere;
- THD;
- eficiența driverului;
- protecția la supratensiune;
- protecția la supratemperatură;
- protecția la scurtcircuit;
- protecția la supracurent;
- domeniul tensiunii de alimentare;
- durata de viață declarată;
- comportamentul la temperatură.

Pentru iluminatul public, **driverul nu trebuie tratat ca o simplă componentă fără importanță**. Un aparat cu surse de lumină LED poate avea LED-uri excelente, dar o sursă de alimentare slabă poate determina durata reală de viață și fiabilitatea întregului aparat.

2.5.5. Protecția la supratensiuni – foarte importantă pentru iluminatul public

Pentru aparatele instalate pe rețelele publice de iluminat este foarte importantă protecția împotriva supratensiunilor tranzitorii [4, 8]. În documentațiile tehnice se întâlnesc valori precum:

- 4 kV;
- 6 kV;
- 8 kV;
- 10 kV;
- 10 kV line-line / line-earth etc.

Dar **nu este suficient să menționăm „SPD 10 kV” în fișa tehnică**.

Trebuie solicitată documentația care demonstrează încercarea și conformitatea cu standardele aplicabile, precum și precizarea exactă a modului în care este definită valoarea declarată. Pentru iluminatul

public, recomandarea tehnică este ca specificația de achiziție să stabilească explicit nivelul minim de protecție la supratensiuni, în funcție de instalația existentă și de analiza de risc.

2.5.6. Protecția la praf și apă – IP

Pentru aparatul de iluminat montat în exterior trebuie declarat gradul **IP**, conform [1]:

EN 60529 – Degrees of protection provided by enclosures (IP Code).

Pentru iluminat public sunt uzuale valori precum:

- **IP65**
- **IP66**

Dar trebuie realizată o distincție între:

IP al compartimentului optic și **IP al compartimentului driverului/electric**.

Dacă producătorul declară IP66, trebuie să fie clar **ce parte a aparatului de iluminat beneficiază de acel grad IP** și în ce condiții.

2.5.7. Rezistența la impact – IK

Pentru aparatele montate în spații publice trebuie verificat și gradul **IK**, conform:

EN 62262 [3] – Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK Code).

În proiectele de iluminat public este frecvent solicitat cel puțin un anumit nivel IK, dar nivelul exact trebuie stabilit în funcție de amplasament.

Din nou, **„IP66 , IK08" scris în fișa tehnică nu este echivalent cu un raport de încercare**. Dacă produsul este utilizat într-un proiect tehnic de execuție, este bine să se solicite raportul de testare.

2.5.8. Siguranța fotobiologică – EN 62471

Pentru sursele LED trebuie luată în considerare și siguranța fotobiologică:

EN 62471 [5] – Photobiological safety of lamps and lamp systems.

Pentru anumite produse este relevantă și familia de standarde IEC/EN 62778 privind evaluarea riscului de lumină albastră.

În documentație trebuie să poată fi identificat **grupul de risc fotobiologic** și condițiile în care acesta este determinat. Pentru iluminatul public, acest aspect este important mai ales atunci când se compară corpuri cu:

- temperatură de culoare ridicată;
- flux luminos mare;
- luminanță ridicată a sursei;
- optici foarte concentrate.

2.5.9. Performanța fotometrică – nu este aceeași cu certificarea CE

Pentru un corp de iluminat public este esențial să existe un **raport fotometric**, preferabil realizat într-un laborator competent/acreditat. Trebuie să existe date precum:

- flux luminos al aparatului;
- eficacitate luminoasă a aparatului, în lm/W;
- randamentul luminos al aparatului de iluminat;
- distribuția intensității luminoase;
- curba fotometrică;
- CCT;
- CRI;
- puterea absorbită;

- factorul de putere;
- eventual UGR, unde este relevant;
- datele complete necesare calculului iluminatului rutier.

Pentru caracterizarea fotometrică sunt importante standardele din familia **EN 13032** [15], inclusiv metodologia de măsurare și prezentare a datelor fotometrice.

Foarte important: nu trebuie confundat:

„LED-ul are 180 lm/W" cu „aparatul de iluminat are 180 lm/W".

Într-un proiect tehnic de execuție trebuie solicitată eficacitatea **întregului aparat**, la temperatura și condițiile declarate, nu eficacitatea cipului LED.

2.5.10. LM-80 și TM-21 – ce sunt și ce NU sunt

În ofertele de iluminat LED apar frecvent:

- **LM-80** [11]
- **TM-21** [12]
- **L70**
- **L80**
- **L90**
- **50.000 h**
- **100.000 h**

Acestea sunt foarte utile, dar **nu reprezintă certificarea CE a aparatului de iluminat**.

LM-80 se referă la măsurarea menținerii fluxului luminos al anumitor componente LED, iar TM-21 este utilizat pentru extrapolarea menținerii fluxului pe baza datelor de testare. Pentru un aparat de iluminat public este mai relevant să se solicite:

Lxx la un anumit număr de ore și la o anumită temperatură, împreună cu metodologia și condițiile de calcul.

De exemplu:

L90 ≥ 100.000 h la Ta = 25°C, este o afirmație tehnică mult mai utilă decât simplul:

Durată de viață: 100.000 ore.

2.5.11. Ecodesign și eficiență energetică

Regulamentul (UE) **2019/2020** [9] stabilește cerințe de ecodesign pentru **surse de lumină și aparataj de control separat**, inclusiv atunci când acestea sunt introduse pe piață într-un produs care le conține. Acest aspect este important deoarece trebuie analizat **ce anume este considerat „light source" și ce anume este corpul de iluminat/containing product**. Regulamentul definește explicit aceste categorii. Prin urmare, într-o specificație tehnică nu este suficient să se scrie generic „conform ErP"; trebuie verificată aplicabilitatea concretă a regulamentului la configurația respectivă.

2.5.12. RoHS

Trebuie demonstrată conformitatea cu legislația **RoHS**, privind restricționarea anumitor substanțe periculoase în echipamentele electrice și electronice [20].

În practică, pentru un aparat LED ar trebui solicitată:

- declarație RoHS;
- identificarea producătorului;
- eventual documentația de conformitate a componentelor relevante.

Este important de verificat dacă declarația se referă la **produsul complet**, nu doar la driver sau la modulul LED.

2.5.13. WEEE / DEEE

Pentru echipamentele electrice și electronice se aplică și obligațiile privind **deșeurile de echipamente electrice și electronice (DEEE/WEEE)** [20].

Acest lucru este distinct de CE, RoHS și performanța fotometrică.

Într-o achiziție publică trebuie verificată și responsabilitatea operatorului economic privind punerea pe piață și gestionarea obligațiilor aferente DEEE, în funcție de rolul său în lanțul de distribuție.

Într-un proiect tehnic de execuție documentele minime ce trebuie solicitate sunt:

Document / dovadă	Ce demonstrează
Declarație UE de conformitate	Conformitatea legală a produsului
Marcaj CE	Îndeplinirea cerințelor UE aplicabile
Raport EN/IEC 60598-1	Siguranța generală a corpului
Raport EN 60598-2-3	Conformitatea pentru iluminat rutier/stradal
Raport EMC	Compatibilitatea electromagnetică
Raport EN 55015	Emisii electromagnetice
Raport EN IEC 61000-3-2	Armonici
Raport EN 61000-3-3	Flicker/fluctuații, unde aplicabil
Raport EN IEC 61547	Imunitate EMC
Raport IP conform EN 60529	Protecție la apă/praf
Raport IK conform EN 62262	Rezistență la impact
Raport EN 62471 / IEC 62778, după caz	Siguranță fotobiologică
Raport fotometric EN 13032	Performanța optică
Date LM-80/TM-21 sau echivalent	Menținerea fluxului LED
Fișa tehnică a driverului	Caracteristicile și siguranța driverului
Declarație RoHS	Restricția substanțelor periculoase
Documentație privind ecodesign	Conformitatea cu cerințele UE aplicabile
Fișă tehnică completă	Identificarea exactă a configurației ofertate

Tabelul 2.1 – Documentele minime solicitate într-un proiect tehnic de execuție

Certificare ENEC	Produsul este sigur și conform cu standardele aplicabile, iar producția este controlată
Certificare ENEC+	Sunt verificate și anumite caracteristici de performanță ale produsului LED

Tabelul 2.2 – Certificarea ENEC și certificarea ENEC+

2.5.14. Certificarea ENEC pentru aparatele de iluminat destinate iluminatului public

Pentru **aparatele de iluminat cu LED destinate iluminatului public** — aparate de iluminat stradal, rutier, pietonal, arhitectural etc. — certificarea **ENEC** este una dintre cele mai importante certificări europene de terță parte pentru demonstrarea conformității produsului, în special din punct de vedere al **siguranței electrice, construcției și controlului producției** [1, 2].

Un punct esențial de la început: **ENEC nu este același lucru cu marcajul CE**, iar faptul că un aparat de iluminat are CE nu înseamnă automat că este certificat ENEC. ENEC presupune evaluare și certificare de către un organism independent, în cadrul schemei europene ENEC.

2.5.14.1. Ce înseamnă, concret, ENEC?

ENEC vine de la **European Norms Electrical Certification** și reprezintă o marcă europeană de certificare pentru produse electrice care demonstrează conformitatea acestora cu standardele europene aplicabile [1, 2].

Schema ENEC este administrată în cadrul sistemului european de certificare și implică organisme de certificare și laboratoare de încercări recunoscute. Spre deosebire de o simplă declarație a producătorului, procesul presupune:

- încercarea produsului de către o terță parte;
- evaluarea documentației tehnice;
- verificarea producției;
- inspecții ale fabricii;
- teste de supraveghere ulterioare;
- menținerea certificării pe durata producției produsului.

În prezent, ENEC utilizează un model de certificare **ISO/IEC 17067, Type 5**, adică nu se limitează la testarea unui singur exemplar. Sunt combinate încercarea produsului cu supravegherea procesului de fabricație.

Asta este foarte important la iluminatul public. Un producător nu poate pur și simplu să ia un aparat de iluminat, să îl testeze într-un laborator și să spună „acest model este ENEC". Certificarea are în vedere **produsul și producția lui controlată**.

2.5.14.2. Ce standarde sunt relevante pentru un corp de iluminat public cu LED?

Pentru un aparat de iluminat rutier/stradal, nucleul certificării este familia **EN 60598**. În documentația oficială ENEC, pentru iluminatul rutier și stradal apare în mod explicit:

EN 60598-2-3 [2] **– Luminaires for road and street lighting**

iar acesta se utilizează împreună cu **EN 60598-1** [1] **– Luminaires – General requirements and tests**. Practic, pentru un corp LED destinat iluminatului public, trebuie gândită conformitatea astfel:

EN 60598-1 → cerințe generale pentru corpul de iluminat

EN 60598-2-3 → cerințe specifice pentru corpuri de iluminat pentru drumuri și străzi alte standarde aplicabile componentelor și caracteristicilor produsului → de exemplu LED module, driver, compatibilitate fotobiologică etc.

Pentru LED-uri, pot intra în discuție și standarde precum **EN 62031** [6] pentru module LED și **EN 62471** [5] **/ IEC TR 62778** pentru aspectele de siguranță fotobiologică.

2.5.14.3. Ce verifică ENEC la un aparat de iluminat public?

Aici este partea cea mai importantă [1, 2]. ENEC nu este doar o verificare de tipul:

„Se conectează aparatul de iluminat?"

Se verifică o multitudine de aspecte legate de **siguranța electrică și mecanică a aparatului**. Printre acestea se află, în funcție de produs și de standardul aplicabil:

A. Protecția împotriva electrocutării

Se verifică dacă utilizatorul/operatorul nu poate ajunge accidental la părți aflate sub tensiune. Se analizează, printre altele:

- izolarea;
- protecția împotriva atingerii directe;
- legarea la conductorul de protecție, atunci când este aplicabilă;
- distanțele de izolație;
- distanțele de conturnare;
- construcția carcasei;
- accesul la componentele electrice.

Pentru un aparat stradal, acesta este un aspect fundamental deoarece produsul este instalat în exterior și poate fi accesat de personalul de mentenanță.

2.5.14.4. Rezistența de izolație și rigiditatea dielectrică

Un aparat ENEC trebuie să treacă testele electrice corespunzătoare [1]. Se verifică faptul că izolația dintre diferitele circuite și părțile accesibile este suficient de sigură. Unul dintre testele de rutină este **electric strength / insulation resistance**, prevăzut în cadrul cerințelor EN 60598.

În termeni simpli:

se aplică o solicitare electrică controlată și se verifică dacă izolația aparatului rezistă fără străpungere sau comportament periculos.

Acest lucru este deosebit de relevant pentru aparatele echipate cu LED-uri cu:

- driver electronic;
- SPD;
- module LED;
- circuite de comandă;
- sisteme DALI/0-10 V;
- conectică externă;
- senzori sau sisteme de telegestiune.

2.5.14.5. Împământarea (legarea la pământ)

Dacă aparatul este **Clasa I**, ENEC verifică și continuitatea conductorului de protecție [1].

Documentația ENEC privind testele de rutină precizează explicit verificarea **earth continuity** pentru aparatele de Clasa I.

Pentru un aparat de iluminat public metalic, acest aspect este foarte important. De exemplu, dacă ai:

- carcasă din aluminiu;
- suport metalic;
- capac metalic;
- elemente metalice accesibile,

trebuie demonstrat că acestea sunt protejate corespunzător împotriva apariției unei tensiuni periculoase.

2.5.14.6. Protecția IP

Pentru iluminatul public, gradul IP este extrem de important [1].

Un corp montat pe un stâlp este expus la:

- ploaie;
- umezeală;
- condens;
- praf;
- variații mari de temperatură;
- îngheț/dezgheț;
- murdărire;
- jeturi de apă în anumite situații.

De aceea se verifică protecția carcasei împotriva pătrunderii corpurilor străine și a apei. În cadrul supravegherii ENEC sunt prevăzute inclusiv teste pentru **ingress of dust, solid objects and moisture**.

Important însă:

ENEC nu înseamnă automat că orice corp are IP66.

ENEC certifică faptul că produsul îndeplinește cerințele standardului aplicabil și ceea ce este declarat/certificat pentru produs. Dacă producătorul declară, de exemplu: **IP66** trebuie verificat în certificatul/raportul aferent că această clasificare este efectiv acoperită.

2.5.14.7. Protecția IK – rezistența la impact

La iluminatul public este foarte relevantă și rezistența mecanică a carcasei [3].

De exemplu:

- IK08;
- IK09;
- IK10.

Aceasta se referă la rezistența carcasei la impact mecanic. Trebuie însă făcută o distincție importantă:

un aparat nu devine automat IK10 doar pentru că are ENEC.

Dacă într-o specificație de achiziție se cere, de exemplu, **IP66 + IK10**, trebuie verificat că aceste caracteristici sunt efectiv testate și documentate pentru modelul ofertat.

Documentele ENEC prevăd inclusiv situația în care, dacă aparatul este certificat cu o clasificare IK, testul IP trebuie efectuat după verificarea IK.

2.5.14.8. Rezistența mecanică

Se verifică și diverse aspecte constructive [1]:

- fixarea componentelor;
- șuruburi;
- piulițe;
- elemente de prindere;
- capace;
- balamale;
- suporturi;
- rezistența mecanică a construcției.

În cadrul programelor ENEC de verificare sunt prevăzute, de exemplu, verificări privind **mechanical strength of screws and nuts**.

Pentru iluminatul public, acest lucru contează foarte mult deoarece corpul poate rămâne montat: **10–20 de ani**, în condiții exterioare dificile.

2.5.14.9. Comportarea termică

LED-ul este foarte eficient, dar asta nu înseamnă că temperatura nu este o problemă [1]. Dimpotrivă.

Un aparat LED are: **LED → căldură → placă PCB → radiator/carcasă → aer exterior**

Dacă disiparea este prost proiectată, temperatura poate crește excesiv și poate afecta:

- LED-urile;
- driverul;
- condensatorii;
- izolațiile;
- garniturile;
- materialele plastice;
- protecțiile;
- durata de viață.

În cadrul verificărilor ENEC există teste de temperatură în condiții normale și anormale. Așadar, ENEC are o componentă importantă de verificare a **siguranței termice a construcției**.

2.5.14.10. Testarea în condiții anormale

Nu este suficient ca aparatul să funcționeze bine atunci când totul este perfect [1]. Standardele de siguranță verifică și situații anormale relevante.

De exemplu, în funcție de construcția produsului, se pot analiza situații în care:

- o componentă se defectează;
- apare o temperatură anormală;
- anumite condiții de funcționare ies din regimul nominal;

- există defecte sau condiții care pot produce încălzire excesivă.

Scopul este foarte important:

un defect previzibil nu trebuie să transforme aparatul de iluminat într-un pericol de incendiu sau electrocutare.

2.5.14.11. Siguranța fotobiologică

La LED trebuie discutată separat și **siguranța fotobiologică**.

LED-urile emit lumină intensă și, în anumite condiții, poate exista un risc legat de expunerea oculară.

Pentru iluminat se utilizează standardele relevante, inclusiv **EN 62471** [5], iar documentația ENEC face referire și la **IEC TR 62778** pentru evaluarea riscului asociat luminii albastre.

În documentația ENEC este menționat explicit testul de **photobiological hazard**, inclusiv blue-light hazard, pentru corpurile de iluminat care conțin LED.

2.5.14.12. Dar ENEC verifică și producția, nu doar prototipul

Aici se află una dintre cele mai mari diferențe dintre o certificare serioasă de terță parte și o simplă declarație a producătorului [1]. ENEC este un sistem de certificare de tip **ISO Type 5**.

Asta înseamnă că avem, în esență:

1. încercarea produsului

↓

2. evaluarea fabricii/procesului de producție

↓

3. certificarea

↓

4. supravegherea continuă

↓

5. verificări/teste periodice

Intertek descrie schema ENEC ca incluzând testare și certificare de terță parte, inspecție anuală a fabricii și monitorizare continuă a produsului și producției.

Prin urmare, ENEC oferă o asigurare mai puternică decât simplul fapt că un anumit exemplar a fost testat.

2.5.14.13. Ce înseamnă „factory inspection”?

Organismul de certificare verifică și fabrica [1].

Se urmărește dacă producătorul are un sistem corespunzător de control al producției și dacă produsul fabricat în serie rămâne conform cu produsul testat.

De exemplu, pentru un corp LED certificat: **modelul testat** trebuie să fie reprezentativ pentru **modelele produse ulterior în serie**.

Dacă producătorul schimbă:

- driverul;
- LED-urile;
- PCB-ul;
- carcasa;
- materialele izolante;
- garniturile;
- sistemul de prindere;
- componentele de protecție;

- schimbarea poate deveni relevantă pentru certificare.

Nu este acceptabil, din punct de vedere al logicii certificării, să testezi un produs cu componente premium și să livrezi ulterior altă configurație, dacă aceasta afectează conformitatea certificată.

2.5.14.14. Testele de rutină – 100%

Un aspect foarte interesant pentru achizițiile publice este că documentația ENEC prevede **routine tests 100%** pentru produsele din domeniul EN 60598 [1].

Acestea includ, între altele:

- inspecție vizuală;
- verificarea funcționării;
- test de rezistență electrică / izolație;
- continuitatea conductorului de protecție pentru Clasa I.

Prin urmare, certificarea nu trebuie privită ca:

„Am testat un exemplar acum trei ani și atât.”

Există mecanisme de control al producției.

2.5.14.15. Există și “Product Verification Tests”

Pe lângă testele de rutină, documentația ENEC prevede **Product Verification Tests**, inclusiv cu frecvență de cel puțin anuală pentru anumite încercări [1].

Sunt prevăzute, între altele:

- teste de anduranță;
- protecția carcasei;
- rezistența mecanică;
- protecția împotriva șocului electric;
- distanțele de conturnare și izolație;
- siguranța fotobiologică, după caz.

Acesta este un element foarte important atunci când evaluăm un produs pentru un proiect de iluminat public de amploare.

2.5.14.16. ENEC și performanța fotometrică – aici apare o nuanță foarte importantă

Trebuie făcută o distincție între [15]:

ENEC

care este în primul rând o certificare de **siguranță și conformitate a produsului**, cu elemente de performanță acolo unde standardul/schema le impune, și:

performanța fotometrică

care răspunde la întrebări precum:

- câți lumeni produce?
- ce eficacitate are?
- care este distribuția fotometrică?
- ce flux luminos menținut poate fi garantat?
- cum se comportă optic?
- ce uniformitate poate produce într-o anumită geometrie de drum?

Pentru LED există schema **ENEC+**, care adaugă o componentă importantă de verificare a performanței LED/luminaire. Documentația ENEC descrie ENEC+ ca fiind asociată cu EN 62722-2-1 și cu verificarea datelor de performanță ale corpurilor LED.

2.5.14.17. ENEC vs ENEC+

Aceasta este o diferență pe care aș pune-o foarte clar într-un caiet de sarcini [1, 2].

ENEC

În principal:

„Produsul este sigur și conform cu standardele aplicabile, iar producția este controlată.”

ENEC+

În plus:

„Sunt verificate și anumite caracteristici de performanță ale produsului LED.”

Schema ENEC+ a fost dezvoltată tocmai pentru a răspunde particularităților tehnologiei LED și pentru a verifica datele de performanță declarate.

De aceea, dacă autoritatea contractantă dorește să se asigure nu numai că produsul este sigur, ci și că **parametrii fotometrici și de performanță declarați sunt credibili și verificați independent**, ENEC+ poate fi mult mai relevant decât ENEC simplu.

2.5.14.18. Ce NU dovedește ENEC?

Aici apar foarte multe confuzii în caietele de sarcini [1, 2].

Faptul că un corp are ENEC **nu înseamnă automat** că:

- are 150 lm/W;
- are IP66;
- are IK10;
- are 100.000 h durată de viață;
- are L90 > 100.000 h;
- are CCT 4000 K;
- are CRI > 70;
- are SPD 10 kV;
- are THD < 10%;
- are DALI;
- este compatibil Zhaga;
- este interoperabil cu orice sistem de telegestiune;
- îndeplinește o anumită clasă fotometrică;
- produce un anumit iluminat mediu pe carosabil.

Acestea trebuie **documentate separat**, prin standardele, rapoartele și certificatele corespunzătoare.

2.5.14.19. ENEC nu înlocuiește proiectarea iluminatului

Este un alt punct esențial [1, 2].

Să presupunem că ai un aparat de iluminat:

ENEC + ENEC+ + IP66 + IK10 + 150 lm/W.

Asta nu înseamnă automat că el este potrivit pentru orice stradă.

Trebuie verificat dacă, într-o anumită geometrie:

- lățimea carosabilului;
- înălțimea stâlpului;
- distanța dintre stâlpi;
- consolele;
- unghiul de înclinare;
- poziția corpului;
- lățimea trotuarelor;
- categoria drumului;
- nivelul de iluminare;

- uniformitatea;
- limitarea orbirii;

conduc la respectarea cerințelor de iluminat.
Cu alte cuvinte:

ENEC certifică produsul; nu certifică proiectul de iluminat.

2.5.14.20. Ce trebuie să ceri efectiv de la furnizor?

Dacă vorbim despre o **licitație pentru aparate de iluminat public cu LED**, nu ar fi suficientă formularea [1, 2]:

„Produsul este certificat ENEC."

Aș cere documente identificabile.

A. Certificatul ENEC

Trebuie să conțină, în mod verificabil:

- producătorul;
- fabrica;
- denumirea produsului;
- familia/modelul;
- numărul certificatului/licenței;
- standardele aplicabile;
- organismul de certificare;
- marca ENEC;
- domeniul certificării.

Schema ENEC dispune și de mecanisme de verificare a licențelor/certificatelor.

2.5.14.21. Foarte important: modelul certificat trebuie să corespundă produsului ofertat

Să spunem că furnizorul oferă [1, 2]:

Aparat cu LED X – 120 W

și prezintă un certificat ENEC. Trebuie verificat dacă certificatul se referă efectiv la:

X – 120 W

sau la o familie suficient de clar definită încât configurația ofertată să fie inclusă.
Nu este suficient să apară doar numele producătorului.
De asemenea, trebuie urmărită corespondența între:

- model;
- putere;
- configurația LED;
- driver;
- optic;
- carcasă;
- variantă constructivă;
- cod produs.

2.5.14.22. Atenție la „certificate" emise de producător

O situație frecventă este prezentarea unui document de genul [1, 2]:

„ENEC Compliance Certificate"

emis pe antetul producătorului.

Acesta nu trebuie confundat cu **certificarea ENEC emisă în cadrul schemei de către un organism de certificare competent**.

Trebuie identificat:

cine a emis certificatul?

și

care este numărul licenței/certificatului?

ENEC este tocmai o certificare de terță parte.

2.5.14.23. ENEC și CE – diferența esențială

Aș rezuma diferența astfel [9]:

CE	ENEC
Marcaj de conformitate legală	Marcă voluntară de certificare
În multe situații se bazează pe declarația producătorului	Implică terță parte
Este legat de cerințele legislației UE aplicabile	Este legat de standardele de siguranță și schema ENEC
Nu înseamnă automat testare independentă	Include testare independentă
Nu este o certificare de produs în sensul ENEC	Este certificare de produs
Nu demonstrează automat calitatea construcției în exploatare	Include verificări și supraveghere

Tabelul 2.3 – Diferențele dintre marcajul CE și certificarea ENEC

Intertek subliniază explicit această diferență: marcajul CE poate fi auto-declarat, în timp ce ENEC presupune testare și certificare independentă.

Dar atenție: CE este în continuare obligatoriu atunci când legislația UE îl impune. ENEC nu „înlocuiește” CE.

2.5.14.24. Ce înseamnă ENEC pentru beneficiarul unui sistem de iluminat public?

Pentru beneficiar, valoarea principală este reducerea riscului ca produsul cumpărat să fie [1, 2]:

- nesigur electric;
- prost izolat;
- periculos la atingere;
- slab construit;
- neconform cu standardele relevante;
- diferit între prototip și producția de serie;
- fabricat fără control suficient.

În cazul iluminatului public, acest lucru este foarte important deoarece vorbim despre produse:

- montate la exterior;
- conectate la rețeaua electrică;
- exploatate ani de zile;
- expuse intemperiilor;
- întreținute de personal;
- montate la înălțime;
- instalate în număr mare.

2.5.14.25. Ce aș considera „pachetul corect” pentru un corp de iluminat public LED

Pentru o achiziție serioasă, nu aș privi ENEC izolat. Aș analiza cel puțin următoarea structură:

1. CE → conformitatea legislativă aplicabilă.

2. ENEC → siguranță electrică + conformitate cu standardele aplicabile + controlul producției.

3. ENEC+, dacă este solicitată/justificată → verificări suplimentare privind performanța LED.

4. EN 60598-1 [1] **+ EN 60598-2-3** [2] → cerințele specifice corpului de iluminat general și rutier/stradal.

5. IP → protecția împotriva prafului și apei.

6. IK → rezistența la impact.

7. EN 62471 [5] **/ IEC TR 62778**, după caz → siguranță fotobiologică.

8. Documentație fotometrică → fișier LDT/IES, curbe fotometrice, flux, distribuție etc.

9. Date de performanță LED → eficacitate, flux, CCT, CRI, menținerea fluxului etc.

10. Date despre driver → producător, model, eficiență, protecții, temperatură, funcții de control.

11. Protecții la supratensiune → SPD și configurația efectivă a protecției.

12. Compatibilitate cu sistemul de telegestiune, dacă există.

2.5.14.26. O observație foarte importantă pentru licitațiile publice

Dacă redactezi un **caiet de sarcini pentru iluminat public**, recomand să nu formulezi cerința doar: „Aparatul de iluminat va fi certificat ENEC."

Este prea general. Mai corect ar fi să se solicite: certificare ENEC valabilă, emisă de un organism de certificare competent în cadrul schemei ENEC, pentru modelul/familia de corpuri de iluminat ofertată, cu acoperirea standardelor aplicabile corpului de iluminat pentru iluminat rutier/stradal, inclusiv EN 60598-1 [1] și EN 60598-2-3 [2], după caz.

Iar apoi să ceri separat dovezi pentru:

IP + IK + performanță fotometrică + performanță LED + driver + SPD + compatibilitate de telegestiune + durată de viață.

Asta evită o problemă foarte frecventă: un ofertant prezintă un certificat ENEC autentic, dar beneficiarul presupune că acel certificat demonstrează automat toate caracteristicile tehnice din fișa produsului. **Nu le demonstrează pe toate.**

2.5.14.27. Concluzia, pe scurt

Dacă ar trebui să explicăm ENEC unui beneficiar al unui proiect de iluminat public într-o singură frază:

ENEC este o certificare europeană de terță parte care demonstrează că un aparat de iluminat electric a fost evaluat conform standardelor europene aplicabile, că producția sa este supusă controlului și supravegherii și că produsul îndeplinește cerințele de siguranță prevăzute de schema de certificare.

Pentru un **aparat de iluminat LED rutier/stradal**, referința fundamentală este **EN 60598-1** [1] **+ EN 60598-2-3** [2].

Iar dacă obiectivul este să demonstrezi și **performanța tehnică/fotometrică a aparatului cu LED**, trebuie analizată suplimentar certificarea **ENEC+** și documentația de performanță aferentă.

Foarte important: ENEC este o certificare de produs și de producție, **nu o certificare a întregului sistem de iluminat public** și nici o garanție automată pentru fiecare parametru comercial declarat în fișa tehnică.

2.5.15. Certificarea ENEC + pentru aparatele de iluminat destinate iluminatului public

Pentru aparatele de iluminat cu LED destinate **iluminatului public** — aparate de iluminat stradal, rutier, pietonal, pentru parcări, piețe etc. — certificarea **ENEC+** este, în esență, o certificare independentă care adaugă peste certificarea de **siguranță ENEC** o verificare independentă a **performanțelor fotometrice, electrice și de durată declarate de producător** [13, 15].

Este importantă această distincție: **ENEC și ENEC+ nu sunt același lucru**, iar ENEC+ nu înseamnă pur și simplu „produs LED de calitate". Înseamnă că anumite caracteristici de performanță ale corpului de iluminat au fost verificate într-o schemă de certificare de terță parte.

Informațiile de mai jos sunt bazate în principal pe documentația oficială a schemei ENEC/ENEC+ și pe cerințele actuale publicate pentru corpurile de iluminat LED. În 2025 schema a fost actualizată, iar pentru LED luminaires documentul relevant este în prezent **EPRS 003:2025-04**, care aplică **EN IEC 62722-2-1:2023**.

2.5.15.1. Ce este, de fapt, ENEC+?

ENEC+ = ENEC Performance [15].

ENEC+ este o schemă europeană de certificare voluntară, independentă, destinată produselor de iluminat la care, pe lângă siguranța electrică, este esențială și **performanța produsului**.

Schema a fost dezvoltată pentru a răspunde unei probleme foarte importante apărute odată cu LED-urile: producătorii pot declara valori foarte atractive privind fluxul luminos, eficiența, durata de viață, temperatura de culoare, menținerea fluxului luminos etc., dar cumpărătorul are nevoie de o confirmare independentă că aceste declarații sunt reale și reproductibile.

Tocmai aceasta este funcția ENEC+: **verificarea independentă a declarațiilor de performanță ale producătorului**.

Pentru iluminatul public, acest aspect este extrem de important deoarece un corp de iluminat nu este evaluat doar după faptul că „se aprinde și este sigur". Trebuie să producă **cantitatea și calitatea de lumină declarate**, să aibă caracteristicile electrice declarate și să își păstreze în limite acceptabile performanțele în exploatare.

2.5.15.2. Diferența fundamentală dintre ENEC și ENEC+

Aceasta este probabil cea mai importantă idee.

ENEC

ENEC este, în primul rând, o certificare privind **siguranța și conformitatea produsului cu standardele europene aplicabile**.

Pentru corpuri de iluminat intră în discuție familia **EN 60598**, inclusiv cerințele generale EN IEC 60598-1 [1] și cerințele particulare aplicabile tipului respectiv de corp de iluminat. Domeniul ENEC include explicit aparatele de iluminat.

ENEC presupune, între altele:

- încercări de laborator;
- evaluarea produsului;
- evaluarea producției;
- supravegherea fabricii;
- retestări;
- controlul menținerii conformității.

Schema ENEC este descrisă ca o certificare de tip 5 conform ISO/IEC 17067, adică nu este doar o încercare unică a unui prototip. Există și supravegherea producției.

ENEC+

ENEC+ merge **un pas mai departe**. El verifică **performanța** aparatului de iluminat. Și aici există o regulă esențială:

Un produs nu poate primi ENEC+ dacă nu are mai întâi certificarea ENEC de siguranță.

Cu alte cuvinte:

ENEC+ = ENEC (siguranță) + verificarea performanței.

Această condiție este explicit prevăzută în schema ENEC+.

2.5.15.3. De ce este ENEC+ foarte relevant pentru iluminatul public?

Să presupunem că o primărie sau un administrator de drumuri cumpără un corp LED care are următoarele caracteristici declarate [15]:

- putere: **100 W**
- flux luminos: **16.000 lm**
- eficiență: **160 lm/W**
- CCT: **4.000 K**

- CRI: **≥70**
- durată de viață: **100.000 h**
- menținerea fluxului luminos: **L90**
- temperatură ambientală: **-40…+50 °C**

Fără o verificare independentă, aceste valori sunt, în esență, **declarațiile producătorului**.

ENEC+ introduce o verificare independentă a unor astfel de caracteristici. Asta este foarte important în licitațiile pentru iluminat public deoarece două corpuri de iluminat pot avea pe fișa tehnică:

- 150 lm/W unul;
- 170 lm/W altul;

dar întrebarea este:

Cine a verificat că acei 170 lm/W sunt într-adevăr obținuți de produsul finit și nu reprezintă doar o valoare teoretică a LED-ului utilizat?

Aici apare valoarea ENEC+. Schema este concepută tocmai pentru validarea independentă a afirmațiilor de performanță și pentru compararea obiectivă a produselor.

2.5.15.4. Ce se verifică la un aparat de iluminat LED?

Pentru aparatele de iluminat LED, schema actuală indică **EPRS 003:2025-04 – Luminaire Performance – LED Luminaires**, bazată pe **EN IEC 62722-2-1:2023** [15]. Pentru performanța generală a corpurilor de iluminat se utilizează și EPRS 002, bazată pe EN IEC 62722-1:2022.

În practică, pentru un aparat LED, interesează în special următoarele categorii.

A. Puterea electrică

Se verifică puterea electrică a aparatului de iluminat. Este o diferență foarte importantă între:

puterea LED-urilor

și

puterea totală consumată de aparatul de iluminat.

De exemplu, dacă modulele LED consumă 92 W, driverul, pierderile și celelalte componente pot conduce la o putere totală de 100 W.

Pentru un proiect de iluminat public contează **puterea totală a aparatului**, nu doar puterea nominală a LED-urilor.

2.5.15.5. Fluxul luminos al aparatului

Unul dintre cei mai importanți parametri [15]. Dacă producătorul declară:

$$\Phi = 15.000 \text{ lm}$$

ENEC+ urmărește verificarea acestei performanțe. Și aici trebuie făcută o distincție fundamentală:

fluxul LED-urilor ≠ fluxul aparatului de iluminat

Un producător poate utiliza LED-uri care, individual, produc un anumit flux luminos. Dar după:

- lentile;
- optic;
- temperatură;
- curent de alimentare;
- pierderi optice;
- carcasă;
- disiparea termică;
- fluxul efectiv emis de corpul de iluminat este mai mic.

Pentru proiectarea iluminatului stradal, ceea ce interesează este **fluxul luminos al aparatului de iluminat**, nu fluxul teoretic al LED-urilor.

2.5.15.6. Eficacitatea luminoasă a aparatului de iluminat

Se poate exprima, simplificat, prin [15]:

$$e = \frac{\text{flux luminos}}{\text{putere electrică}}$$

de exemplu:

$$\frac{15.000\ \text{lm}}{100\ \text{W}} = 150\ \text{lm/W}$$

Dar atenție:

150 lm/W pentru LED nu înseamnă automat 150 lm/W pentru aparatul de iluminat.

ENEC+ este relevant tocmai pentru faptul că se referă la performanța **produsului finit**. Pentru iluminatul public, eficiența aparatului are impact direct asupra:

- consumului anual;
- costului energiei;
- dimensionării instalației;
- economiilor față de iluminatul convențional;
- amortizării investiției.

2.5.15.7. Distribuția fotometrică

Pentru iluminatul public acesta este poate chiar mai important decât simplul număr de lumeni [15]. Un aparat stradal nu este bun doar pentru că are „20.000 lumeni”.

Contează **unde ajung acei lumeni**.

De exemplu, două aparate de iluminat pot avea ambele:

20.000 lm

dar unul poate ilumina corect carosabilul, iar celălalt poate trimite prea multă lumină:

- în sus;
- pe fațade;
- în zonele laterale;
- în afara carosabilului.

În iluminatul rutier contează distribuția fotometrică și rezultatele obținute pe suprafața efectiv iluminată. ENEC+ include verificarea caracteristicilor de performanță fotometrică relevante pentru aparatul de iluminat. Documentația ENEC+ indică explicit verificarea performanțelor produsului și a parametrilor declarați.

2.5.15.8. Temperatura de culoare – CCT

Un alt parametru important este **CCT – Correlated Colour Temperature** [15]. De exemplu:

- 2.700 K
- 3.000 K
- 4.000 K
- 5.000 K

Dacă producătorul declară 4.000 K, certificarea urmărește verificarea caracteristicii declarate. Pentru iluminatul public acest lucru este important deoarece CCT influențează:

- aspectul vizual al mediului urban;
- percepția culorilor;
- confortul vizual;
- politica municipală privind iluminatul;
- impactul asupra mediului nocturn.

CCT este unul dintre parametrii care pot apărea în datele de performanță verificate pentru produse ENEC+.

2.5.15.9. Indicele de redare a culorilor – CRI/Ra

Se poate verifica și **indicele de redare a culorilor** [13, 14]. De exemplu:

CRI/Ra ≥ 70

sau

CRI/Ra ≥ 80.

Pentru iluminatul rutier, cerința concretă trebuie stabilită în funcție de proiect și de standardele aplicabile, dar principiul este important:

ENEC+ nu se limitează la „câtă lumină produce aparatul”, ci poate valida și caracteristici ale calității luminii declarate de producător.

2.5.15.10. Temperatura ambientală admisibilă

Un aparat pentru iluminat public este montat în exterior și trebuie să funcționeze într-o gamă largă de temperaturi [15]. Producătorul poate declara, de exemplu:

Ta = -35 °C ... +50 °C

sau o altă valoare. ENEC+ include în informațiile de performanță și temperatura ambientală admisibilă a aparatului.

Este un aspect important deoarece temperatura influențează direct:

- LED-urile;
- driverul;
- fluxul luminos;
- durata de viață;
- stabilitatea parametrilor electrici.

2.5.15.11. Menținerea fluxului luminos și durata de viață

Aici trebuie făcută o precizare foarte importantă [15]. În domeniul LED se întâlnesc afirmații precum:

L70 100.000 h

L80 100.000 h

L90 100.000 h

Acestea nu trebuie interpretate ca: „aparatul de iluminat va funcționa exact 100.000 de ore fără nicio problemă”. Semnificația este legată de **menținerea fluxului luminos**.

De exemplu, în cazul unei afirmații L80: după perioada declarată, fluxul luminos este estimat/definit să rămână la cel puțin 80% din valoarea inițială, în condițiile și metodologia aplicabile.

2.5.15.12. De ce este important testul de anduranță?

ENEC+ nu se rezumă la o măsurare instantanee a luminii [11, 12]. Documentația ENEC+ prevede și teste de anduranță pentru produsele LED, iar schema menționează, de exemplu, un test de **1.000 de ore**, cu criterii privind pierderea maximă de performanță a LED-urilor. În documentația actuală EPRS 003 se precizează că testele de anduranță sunt aplicate conform EPRS 001.

Asta este foarte relevant pentru un aparat de iluminat stradal deoarece performanța LED-ului nu trebuie analizată numai „la rece”, imediat după aprindere.

2.5.15.13. Un aspect extrem de important: ENEC+ nu este o simplă declarație a producătorului

Aici este diferența majoră față de o simplă fișă tehnică. În cazul unei simple declarații:

„Aparatul de iluminat are 170 lm/W.”

avem afirmația producătorului. În cazul ENEC+ avem:

producător → laborator/certification body → încercări → evaluare → certificat → supraveghere.

ENEC+ este o certificare **independentă de terță parte**. Schema presupune laboratoare ENEC+ aprobate sau, în anumite condiții, laboratoare de performanță ale producătorului care funcționează sub supravegherea corespunzătoare.

2.5.15.14. Dar dacă producătorul are propriul laborator?

Acesta este un punct care poate genera confuzie.

ENEC+ permite utilizarea unor **Manufacturer Performance Laboratories – MPL**, dar acestea nu înseamnă pur și simplu:

„producătorul și-a făcut singur testele și le-a certificat".

Laboratorul producătorului trebuie să funcționeze în condițiile schemei și sub supravegherea organismului de certificare.

Documentația ENEC+ descrie explicit posibilitatea efectuării încercărilor în laboratoare de performanță ale producătorului, cu condițiile de supraveghere prevăzute de schemă.

2.5.15.15. ENEC+ presupune și controlul producției?

Da, iar acesta este un aspect foarte valoros. Nu este suficient să existe un prototip excelent într-un laborator, iar produsul de serie să fie diferit. Schema ENEC este o certificare de tip 5 conform ISO/IEC 17067, care include:

- încercarea de tip;
- evaluarea producției;
- supravegherea fabricii;
- eșantionarea;
- retestarea produselor.

Prin urmare, ENEC/ENEC+ oferă un nivel de încredere mult mai ridicat decât un simplu raport de încercări realizat o singură dată.

2.5.15.16. Ce NU înseamnă ENEC+?

Aici este foarte important să nu supraevaluăm certificarea.

ENEC+ **NU înseamnă automat** că:

- orice corp ENEC+ este potrivit pentru orice stradă;
- produsul respectă automat cerințele fotometrice ale unui anumit proiect;
- instalația de iluminat respectă automat EN 13201 [16];
- proiectul de iluminat este corect;
- aparatul este automat cel mai eficient de pe piață;
- corpul va funcționa garantat 100.000 de ore fără nicio defecțiune;
- toate componentele au individual certificat ENEC+;
- aparatul este automat potrivit pentru orice condiții climatice;
- aparatul este automat potrivit pentru orice sistem de telegestiune;
- ENEC+ înlocuiește marcajul CE.

Cu alte cuvinte:

ENEC+ certifică produsul și anumite performanțe ale lui, nu întregul proiect de iluminat public.

2.5.15.17. ENEC+ nu trebuie confundat cu EN 13201

Această diferență este crucială în cazul iluminatului public.

ENEC+

Răspunde în principal la întrebarea:

„Este corpul de iluminat ceea ce declară producătorul că este din punct de vedere al performanței și este această performanță verificată independent?”

EN 13201 [16]

Se referă la **iluminatul rutier ca instalație/proiect**, inclusiv cerințe și metode pentru:

- clase de iluminare;
- performanțe fotometrice;
- luminanță;
- iluminare;
- uniformitate;
- orbire;
- calcul/evaluare etc.

Prin urmare, poți avea un corp de iluminat cu ENEC+ perfect valid, dar dacă este instalat:

- la înălțimea greșită;
- cu distanța greșită între stâlpi;
- cu înclinarea greșită;
- cu optic nepotrivit;
- la puterea nepotrivită;

instalația poate să nu îndeplinească cerințele proiectului.

2.5.15.18. ENEC+ și CE sunt lucruri diferite

Aceasta este o altă confuzie frecventă [9].

CE este marcajul prin care producătorul declară conformitatea produsului cu legislația europeană aplicabilă.

ENEC+ este o schemă voluntară de certificare de produs realizată printr-un organism independent.

Prin urmare:

CE ≠ ENEC ≠ ENEC+

și nu trebuie tratate ca fiind echivalente. ENEC+ este o certificare suplimentară care oferă o confirmare independentă a performanței.

2.5.15.19. Ce înseamnă ENEC+ pentru o licitație de iluminat public?

Aici certificarea poate deveni extrem de interesantă. Într-o procedură de achiziție publică, problema este cum compari obiectiv:

Produs A

cu

Produs B

dacă fiecare producător își declară propriile valori?

De exemplu:

Parametru	Aparat A	Aparat B
Putere	100 W	100 W
Flux	15.000 lm	17.000 lm
Eficiență	150 lm/W	170 lm/W
CCT	4.000 K	4.000 K
CRI	>70	>70

Tabelul 2.4 – Exemplu de comparație între două aparate de iluminat

Dacă aceste valori provin doar din fișe comerciale, cumpărătorul trebuie să aibă încredere în declarațiile producătorilor.

Dacă performanțele sunt susținute de o certificare ENEC+, comparația devine mult mai solidă.

Schema ENEC+ a fost concepută inclusiv pentru a permite **compararea obiectivă a produselor de iluminat** și pentru utilizarea unor criterii de performanță în achiziții.

2.5.15.20. Ce trebuie verificat într-un certificat ENEC+?

Aș recomanda să nu fie suficientă afirmația:

„Produsul este ENEC+.”

Trebuie verificat certificatul/licența efectivă. În special:

1. Producătorul

Să corespundă exact cu producătorul declarat în documentația ofertei.

2. Modelul

Trebuie verificat **codul exact al aparatului de iluminat**. Nu este suficient ca producătorul să aibă alte modele ENEC+.

3. Varianta produsului

Atenție la:

- putere;
- optic;
- număr LED-uri;
- driver;
- CCT;
- CRI;
- curent LED;
- sistem de control.

Un certificat pentru o variantă nu trebuie presupus automat valabil pentru orice altă configurație.

4. Organismul de certificare

Trebuie să fie un organism care participă la schema ENEC/ENEC+.

5. Standardele aplicate

Pentru un aparat de iluminat cu LED trebuie urmărită versiunea aplicabilă a cerințelor ENEC+.

În prezent, pentru un aparat de iluminat cu LED, schema publicată indică **EPRS 003:2025-04**, aplicând **EN IEC 62722-2-1:2023**.

6. Valabilitatea certificatului

Nu este suficient ca documentul să fi existat cândva. Trebuie verificat dacă certificarea este valabilă la data evaluării ofertei.

2.5.15.21. Baza de date ENEC+ este foarte importantă

Un avantaj foarte interesant este că produsele certificate ENEC+ sunt incluse într-o **bază de date publică a produselor certificate**.

Asta permite verificarea independentă a afirmației producătorului. De exemplu, dacă un ofertant spune:

„Aparat de iluminat model XYZ – certificat ENEC+”

nu ar trebui să ne limităm la PDF-ul transmis de ofertant. Putem verifica:

producător → model → certificat/licență → domeniul certificării → statut.

Aceasta este una dintre cele mai importante funcții practice ale sistemului.

2.5.15.22. Ce înseamnă „independent” în ENEC+?

Înseamnă că certificarea nu este bazată exclusiv pe declarația producătorului.
Schema presupune:

producătorul declară performanțele → organismul/laboratorul competent le verifică → se emite certificarea → există supraveghere.

ENEC+ este descris oficial ca **independent third-party certification**. Aceasta este diferența dintre:

„Producătorul declară că produsul are 170 lm/W”

și:

„Performanța declarată a fost evaluată în cadrul unei scheme independente de certificare.”

2.5.15.23. Un exemplu concret pentru un aparat stradal

Să presupunem un aparat de iluminat:

LED street luminaire

- 120 W
- 18.000 lm
- 150 lm/W
- 4.000 K
- CRI ≥70
- IP66
- IK08
- -40...+50 °C
- ENEC
- ENEC+

Într-o documentație tehnică serioasă trebuie separate lucrurile.

ENEC Confirmă aspectele de siguranță și conformitate relevante pentru aparatul de iluminat.

ENEC+ Confirmă, în domeniul certificatului, performanțele declarate ale aparatului.

IP66 Se referă la protecția împotriva pătrunderii corpurilor solide și a apei.

IK08 Se referă la rezistența la impact mecanic.

EN 13201 [16] Se utilizează pentru a demonstra că instalația de iluminat rezultată îndeplinește cerințele proiectului.

Deci toate aceste lucruri sunt diferite.

2.5.15.24. Un aspect foarte important: ENEC+ nu certifică „calitatea întregului sistem de iluminat public”

Imaginează-ți următorul caz.
Ai:

Aparat A – ENEC+

și

Aparat B – fără ENEC+.

Nu înseamnă automat că, dacă alegi aparatul A, instalația este conformă. Trebuie în continuare să verifici:

- geometria drumului;
- lățimea carosabilului;
- înălțimea stâlpilor;
- interdistanța;
- brațul;
- unghiul de montaj;
- poziția corpului;
- distribuția fotometrică;
- factorii de întreținere;
- clasa de iluminare;
- luminanța/iluminarea;
- uniformitatea;
- orbirea;
- consumul;
- telegestiunea, dacă există;
- condițiile de mediu.

ENEC+ este certificarea corpului, nu certificarea proiectului.

2.5.15.25. De ce ENEC+ este mai relevant la LED decât la tehnologiile vechi?

Pentru că LED-ul a schimbat fundamental modul în care trebuie caracterizat un aparat de iluminat.

La o lampă tradițională, puteai separa relativ ușor:

lampă → aparat → balast → reflector.

La LED, foarte multe elemente sunt integrate:

LED + optic + PCB + driver + difuzor + carcasă + control termic + software/control, în funcție de produs.

Performanța finală este rezultatul interacțiunii dintre toate acestea.

De aceea, faptul că un LED individual are o eficacitate foarte mare nu înseamnă automat că **aparatul finit** are aceeași eficacitate.

ENEC+ este foarte util tocmai pentru caracterizarea produsului finit.

2.5.15.26. ENEC+ și „lifetime 100.000 h” – o capcană frecventă

Aș acorda o atenție deosebită acestui punct în evaluarea ofertelor.

Un producător poate scrie:

L90 > 100.000 h

Dar trebuie văzut:

- în ce condiții;
- la ce temperatură;
- la ce curent;
- pe baza cărei metodologii;
- pentru LED sau pentru corpul complet;
- ce reprezintă efectiv valoarea;
- ce document/certificare o susține.

Nu trebuie confundată: **durata de viață estimată a LED-ului** cu **durata de viață a corpului de iluminat complet**.

Driverul poate avea o durată de viață diferită. Condensatorii pot avea limitări. Temperaturile reale pot modifica semnificativ comportamentul.

2.5.15.27. Ce aduce ENEC+ unui beneficiar public?

Pentru un municipiu, operator de drumuri sau administrator al iluminatului public, beneficiile sunt în principal:

Reducerea riscului tehnic

Există o verificare independentă a performanțelor.

Comparabilitate

Produsele pot fi comparate pe baza unor caracteristici verificate.

Trasabilitate

Există certificat și bază de date.

Reducerea riscului de „marketing tehnic”

Este mai greu ca o simplă valoare comercială să fie prezentată drept performanță certificată.

Siguranță + performanță

ENEC+ presupune existența ENEC, deci beneficiarul are cele două componente:

siguranță + performanță.

Utilitate în achiziții

Poate fi un instrument foarte bun pentru definirea unor cerințe tehnice obiective, cu condiția ca cerințele din documentația de achiziție să fie formulate juridic și tehnic corect.

2.5.15.28. Dar ENEC+ este obligatoriu pentru iluminatul public?

În general, **nu trebuie confundată certificarea ENEC+ cu o cerință legală generală aplicabilă tuturor aparatelor de iluminat public**.

ENEC+ este o **schemă voluntară de certificare**.

Faptul că este voluntară nu înseamnă că este lipsită de valoare. Dimpotrivă, poate fi o cerință tehnică foarte relevantă într-o achiziție, dacă este justificată și formulată corespunzător.

Aici trebuie însă analizată separat legislația achizițiilor publice, principiul proporționalității, tratamentul egal al ofertanților și posibilitatea acceptării unor dovezi echivalente, în funcție de modul concret în care este redactată documentația.

2.5.15.29. Situația actuală a standardelor ENEC+

Un lucru important pentru documentațiile tehnice din 2026 este să nu se utilizeze orbește formulări foarte vechi de tipul [1, 2]:

„ENEC+ conform EN 62722-2-1”

fără să se verifice versiunea actuală a schemei.

Documentația ENEC publicată în prezent indică:

- **EPRS 002:2025-04** – Luminaire Performance – General, aplicarea EN IEC 62722-1:2022;
- **EPRS 003:2025-04** – Luminaire Performance – LED Luminaires, aplicarea EN IEC 62722-2-1:2023.

Prin urmare, pentru o specificație tehnică elaborată acum, trebuie verificată **ediția actuală a schemei ENEC+ și a documentelor EPRS**, nu doar o cerință preluată dintr-o licitație veche.

2.5.15.30. Concluzia, spusă foarte simplu

Dacă ar fi să explicăm ENEC+ unui beneficiar de iluminat public într-o singură frază:

ENEC+ este o certificare europeană independentă care confirmă că un aparat de iluminat LED, pe lângă faptul că este sigur și conform prin ENEC, a avut verificate independent și caracteristicile sale de performanță declarate de producător.

Sau, și mai simplu:

ENEC = „este sigur și conform".

ENEC+ = „este sigur și conform + performanțele declarate au fost verificate".

Concluzia practică

Pentru un aparat de iluminat public cu LED-uri în România, putem considera „nucleul" documentației de conformitate:

CE + Declarație UE de conformitate + LVD/siguranță electrică + EMC + RoHS + EN 60598-1 [1] **+ EN 60598-2-3** [2] **+ IP + IK + fotometrie + siguranță fotobiologică + conformitatea componentelor relevante + ecodesign, acolo unde este aplicabil +certificare ENEC, certificare ENEC+**

Regulamentul european privind ecodesignul trebuie analizat separat pentru sursa de lumină și aparatajul de control, deoarece regulamentul se aplică acestor elemente și atunci când sunt introduse pe piață într-un produs care le conține.

2.6. Bibliografie

Note bibliografice capitolul 2 – Aparate de iluminat

A. Standarde și reglementări tehnice

[1] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 60598-1 – Luminaires – Part 1: General requirements and tests. Standard de referință pentru cerințele generale de securitate și încercările corpurilor de iluminat.

[2] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 60598-2-3:2002 + AMD1:2011 – Luminaires – Part 2-3: Particular requirements – Luminaires for road and street lighting. Standard referitor la corpurile de iluminat pentru drumuri, străzi și alte aplicații de iluminat exterior.

[3] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 62262 – Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK Code). Standard relevant pentru clasificarea rezistenței carcaselor la impact mecanic.

[4] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 61347-1 – Controlgear for electric light sources – Part 1: General and safety requirements. Referință pentru cerințele generale și de securitate ale aparatajului de control al surselor de lumină.

[5] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 62471 – Photobiological safety of lamps and lamp systems. Referință pentru evaluarea securității fotobiologice a surselor de lumină.

[6] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 62031 – LED modules for general lighting – Safety specifications. Standard relevant pentru securitatea modulelor LED.

[7] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 61000-3-2 – Electromagnetic compatibility (EMC) – Limits for harmonic current emissions.

[8] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 61547 – Equipment for general lighting purposes – EMC immunity requirements.

[9] European Commission. Regulamentul (UE) 2019/2020 al Comisiei din 1 octombrie 2019 de stabilire a cerințelor în materie de proiectare ecologică aplicabile surselor de lumină și dispozitivelor de comandă separate. Textul și modificările sale pot fi consultate în baza legislativă oficială EUR-Lex.

[10] Guvernul României. Hotărârea Guvernului nr. 487/2016 privind compatibilitatea electromagnetică

B. Standarde pentru evaluarea performanței LED

[11] Illuminating Engineering Society (IES). (2021). ANSI/IES LM-80-21: Approved Method: Measuring Maintenance of Light Output Characteristics of Solid-State Light Sources. Metodă de măsurare a menținerii caracteristicilor fluxului luminos și ale culorii surselor LED.

[12] Illuminating Engineering Society (IES). (2021). ANSI/IES TM-21-21: Projecting Long-Term Luminous, Photon, and Radiant Flux Maintenance of LED Light Sources. Metodă de estimare pe termen lung a menținerii fluxului pe baza datelor de încercare LM-80.

[13] Illuminating Engineering Society (IES). (2024). ANSI/IES TM-30-24: Technical Memorandum: IES Method for Evaluating Light Source Color Rendition. Metodă de evaluare a redării culorilor, inclusiv fidelitatea culorilor, aria gamei cromatice și modificările locale de saturație și nuanță.

[14] International Commission on Illumination (CIE). (2017). CIE 224:2017 – CIE 2017 Colour Fidelity Index for accurate scientific use. Referință pentru evaluarea fidelității culorilor surselor de lumină.

[15] European Committee for Standardization (CEN). EN 13032 – Light and lighting – Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires. Standard relevant pentru măsurarea și prezentarea datelor fotometrice.

[16] European Committee for Standardization (CEN). EN 13201 – Road lighting. Standard relevant pentru cerințele de performanță, calculul și măsurarea iluminatului rutier.

C. Documentație tehnică a producătorilor

[17] Tridonic GmbH & Co KG. Documentația tehnică a driverelor LED pentru iluminat exterior și rutier. Se vor consulta fișele tehnice oficiale corespunzătoare modelului de driver utilizat, în special pentru reglarea curentului, funcțiile de control, protecțiile electrice și interfețele DALI/DALI-2.

[18] Illuminating Engineering Society (IES). IES Lighting Library – Standards Collection. Colecție de standarde și metode de încercare pentru iluminat, inclusiv LM-80 și TM-21. Disponibilă la: https://ies.org/standards/lighting-library/

[19] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC Webstore – International Standards. Catalog oficial pentru identificarea edițiilor și statutului standardelor electrotehnice. Disponibil la: https://webstore.iec.ch/

[20] Oficiul pentru Publicații al Uniunii Europene. EUR-Lex – Acces la legislația Uniunii Europene. Disponibil la: https://eur-lex.europa.eu/

2. Note bibliografice

Secțiunea documentului	Referințe recomandate
Proiectarea și construcția aparatelor de iluminat	IEC 60598-1; IEC 60598-2-3
Principiul de funcționare al LED-ului și obținerea luminii albe	IES LM-80; documentație tehnică a producătorilor de LED-uri
Evaluarea calității culorilor – CRI și TM-30	IES TM-30-24; CIE 224:2017
Durata de viață și deprecierea fluxului luminos	IES LM-80-21; IES TM-21-21
Tipuri de aparataj, driver LED și protecții	IEC 61347-1; IEC 61000-3-2; IEC 61547; fișele tehnice Tridonic
Caracteristici fotometrice și distribuția luminii	EN 13032; EN 13201
Protecția la impact – IK	IEC 62262
Securitatea fotobiologică	IEC 62471; IEC 62031, după caz
Ecodesign și eficiență energetică	Regulamentul (UE) 2019/2020
Certificare și documentația de conformitate	Standardele aplicabile produsului și documentele oficiale de certificare

Tabelul 2.5 – Corespondența dintre notele bibliografice și secțiunile capitolului 2

3. Măsurări luminotehnice de laborator specifice aparatelor de iluminat destinate iluminatului public *[Păuț I., Gălățanu C.]*

3.1. Instrumentele de măsură de laborator specifice aparatelor de iluminat public

Pentru încercarea completă a aparatelor de iluminat destinate iluminatului public, principalele instrumente de măsură sunt:

1. **Goniometru fotometric –** pentru determinarea curbelor de distribuție a intensităților luminoase și a fișierelor fotometrice, de exemplu IES sau LDT [1, 3, 4, 11].
2. **Sferă integratoare cu spectroradiometru –** Măsoară fluxul luminos total (lm), distribuția spectrală a radiației, temperatura de culoare corelată (CCT), indicele de redare a culorilor (CRI) și, în funcție de sistem, eficacitatea luminoasă (lm/W). Este potrivită pentru testarea aparatelor de iluminat LED
3. **Luxmetru etalonat –** pentru măsurări de iluminare și verificări.
4. **Luminanțmetru etalonat –** pentru măsurări de luminanțe și verificări
5. **Analizor de putere electrică –** Măsoară tensiunea, curentul, puterea activă (W), factorul de putere și alți parametri electrici. Împreună cu fluxul luminos măsurat, permite determinarea eficacității luminoase în lm/W
6. **Flickermetru -** sistem de măsurare a pâlpâirii – pentru evaluarea caracteristicilor temporale ale luminii.
7. **Senzori de temperatură și echipamente de monitorizare ambientală -** Monitorizează temperatura aparatului de iluminat și condițiile de testare, importante pentru stabilitatea fluxului luminos și repetabilitatea rezultatelor
8. **Sursă etalon de lumină și echipamente de calibrare -**Sunt utilizate pentru verificarea și calibrarea sistemelor fotometrice, cu trasabilitate metrologică adecvată.

3.1.1. Goniometru fotometric

Goniometru fotometric este un aparat folosit pentru a **măsura și analiza distribuția intensităților luminoase** emise de o sursă de lumină în diferite direcții [1, 2].

Pe scurt, el combină:

- **goniometrul** → rotește sursa de lumină sau detectorul la unghiuri precise;
- **fotometrul** → măsoară intensitatea luminoasă la fiecare unghi.

La ce se folosește?

Este utilizat, de exemplu, pentru testarea:

- aparatelor de iluminat;
- farurilor auto;
- proiectoarelor;
- LED-urilor;
- iluminatului stradal.

Prin măsurări succesive se poate obține **curba fotometrică** a unei surse de lumină, adică modul în care variază intensitatea luminoasă în funcție de direcție.

Figura 3.1 – Goniofotometru pentru aparate de iluminat – configurație de laborator

Figura 3.2 – Goniofotometru cu detector fix, amplasat în camera fotometrică

Figura 3.3 – Goniofotometru de mari dimensiuni pentru aparate de iluminat public

Exemplu: dacă vrei să verifici un aparat de iluminat pentru o stradă, goniometrul îl rotește pe diferite unghiuri, iar fotometrul măsoară câtă lumină ajunge în fiecare direcție. Rezultatul poate fi folosit pentru a calcula distribuția intensităților luminoase și pentru proiectarea iluminatului.

Cum funcționează concret un goniometru fotometric și care sunt componentele lui?

Cel mai simplu mod de a-l înțelege este să-l vezi ca pe un **sistem care rotește controlat o sursă de lumină și măsoară câtă lumină emite în fiecare direcție**.

3.1.1.1. Principiul de funcționare

Să presupunem că avem un aparat de iluminat montat în centrul aparatului de măsură.

1. **Sursa de lumină este alimentată** la parametrii stabiliți.
2. Un sistem mecanic o **rotește în jurul uneia sau mai multor axe**.
3. La fiecare poziție unghiulară, un **fotometru** măsoară intensitatea luminoasă.
4. Calculatorul înregistrează perechi de valori de forma:
   - unghi = 0° → intensitate = X cd
   - unghi = 10° → intensitate = Y cd
   - unghi = 20° → intensitate = Z cd
   - etc.
5. Din aceste măsurători se construiește **distribuția fotometrică** a aparatului de iluminat.

Astfel, aparatul de măsură răspunde practic la întrebarea:

„Câtă lumină emite aparatul de iluminat în direcția X?”

3.1.1.2. Componentele principale

A. Sursa de lumină / aparatul de iluminat

Este obiectul testat: LED, bec, proiector, aparat de iluminat stradal etc.
Acesta este montat pe un **suport mecanic**, într-o poziție bine definită.

B. Sistemul goniometric

Este partea mecanică responsabilă de **rotirea sursei sau a detectorului**.
Poate avea una sau două axe de rotație:

- **axa verticală** → permite măsurarea în jurul sursei;
- **axa orizontală** → permite măsurarea la diferite înclinații.

Unghiurile sunt controlate cu precizie de motoare și encodere.
De exemplu:

0° → 30° → 60° → 90° → 120° → ... → 360°

La fiecare poziție se face o măsurătoare.

C. Fotometrul

Este componenta care **măsoară intensitatea luminoasă**.
În funcție de sistem, poate măsura iluminarea și, cunoscând distanța până la sursă, se poate determina **intensitatea luminoasă în candela (cd)**.

Detectorul trebuie să fie suficient de sensibil și să aibă un răspuns spectral corespunzător măsurătorii fotometrice.

D. Detectorul fotometric

Este elementul sensibil la lumină, de obicei bazat pe un **fotodetector**. Lumina ajunge la detector:

sursă → propagare → detector → semnal electric

Semnalul electric este apoi prelucrat și transformat într-o valoare fotometrică.

E. Sistemul de control

Un controler coordonează:

- poziția unghiulară;
- viteza de rotație;
- momentul măsurării;
- achiziția datelor de la fotometru.

De exemplu:
Rotește la 15° → oprește → măsoară → înregistrează → rotește la 16° → măsoară → etc.

F. Calculatorul și software-ul

Software-ul primește toate măsurările și generează rezultatele.
Poate realiza:

- curbe fotometrice;
- distribuții de intensitate;
- tabele cu valori în cd;
- diagrame polare;
- fișiere fotometrice pentru programe de calcul al iluminatului.

3.1.1.3. Un exemplu concret

Considerăm un proiector echipat cu surse de lumină LED.
La **0°**, fotometrul măsoară: **1.000 cd**
La **30°**: **800 cd**
La **60°**: **300 cd**
La **90°**: **50 cd**

Rezultatul arată că proiectorul emite cea mai mare parte a luminii în apropierea direcției de 0°. Dacă reprezentăm aceste valori grafic, obținem **curba fotometrică**.

3.1.1.4. De ce trebuie rotită sursa?

Pentru că lumina nu este, în general, emisă uniform în toate direcțiile.

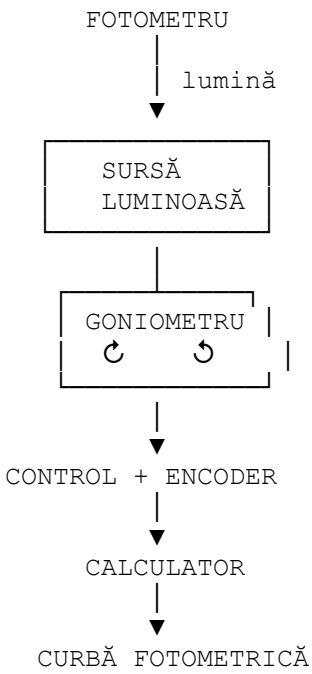
Un bec simplu poate avea o distribuție relativ largă, în timp ce un reflector LED poate concentra lumina într-un fascicul îngust.

Goniometrul „scanează” practic spațiul din jurul sursei:

direcția 1 → măsurare
direcția 2 → măsurare
direcția 3 → măsurare
...
direcția n → măsurare

Din toate aceste puncte se reconstruiește distribuția luminii.

3.1.1.5. Schema simplificată



Ideea esențială: goniometrul stabilește **„unde”** este măsurată lumina, iar fotometrul stabilește **„câtă”** lumină există în acea direcție.

3.1.2. Sferă integratoare cu spectroradiometru

O sferă integratoare cu spectroradiometru este un sistem de măsurare optică utilizat pentru caracterizarea surselor de lumină și a materialelor optice [3, 11]. Acesta combină o sferă cu interior reflectant difuz, care uniformizează lumina, cu un spectroradiometru, care măsoară distribuția spectrală a radiației optice.

Figura 3.4 – Sistem de măsurare cu sferă integratoare și spectroradiometru

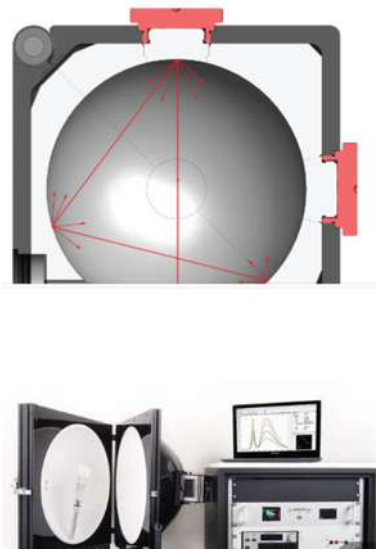


Figura 3.5 – Principiul sferei integratoare: reflexii multiple pe suprafața interioară; sferă deschisă pentru montarea probei

Sistemul este format dintr-o sferă cu interiorul acoperit cu un material foarte reflectant și difuz, conectată optic la un spectroradiometru. Principiul de funcționare este următorul:

1. Sursa luminoasă este introdusă în sferă sau montată la un port de măsurare, în funcție de geometria sistemului.
2. Lumina emisă suferă multiple reflexii pe suprafața interioară a sferei.
3. Reflexiile difuze produc un câmp luminos cât mai uniform, reducând dependența măsurării de direcția inițială a luminii.
4. O fracțiune din lumina integrată ajunge la detector printr-un port de prelevare sau printr-o fibră optică.
5. Spectroradiometrul separă lumina în funcție de lungimea de undă și măsoară semnalul spectral.
6. Software-ul aplică factorii de calibrare și calculează mărimile fotometrice și colorimetrice.

Ideea esențială: sfera colectează și integrează optic lumina emisă, iar spectroradiometrul determină cum este distribuită energia luminoasă în spectru. Componentele principale ale sistemului:

A. Sfera integratoare

Cavitate optică sferică, de regulă metalică, cu un strat interior reflectant și difuz. Materialul poate fi pe bază de PTFE sau alte acoperiri optice specializate. Diametrul sferei influențează capacitatea de măsurare a surselor de dimensiuni diferite.

Figura 3.6 – Sferă integratoare – vedere interioară

B. Spectroradiometrul

Instrumentul care măsoară intensitatea semnalului optic în funcție de lungimea de undă. Poate utiliza un monocromator sau o rețea de difracție și un detector de tip CCD, CMOS ori o matrice de fotodiode.

Figura 3.7 – Spectroradiometru

C. Sistemul de prelevare optică

Include fibra optică sau cuplajul optic dintre sferă și spectroradiometru. Trebuie să transmită semnalul spectral în domeniul de lungimi de undă specificat, fără pierderi sau variații necontrolate.

Figura 3.8 – Spectroradiometru cu fibră optică pentru prelevarea semnalului

D. Porturile, deflectoarele și suportul probei

Porturile permit introducerea sursei și prelevarea luminii. Deflectoarele împiedică lumina directă să ajungă la detector. Suportul poziționează repetabil sursa și, în cazul LED-urilor, trebuie să asigure și condiții electrice și termice controlate.

Figura 3.9 – Sferă integratoare deschisă, cu suportul probei

E. Software-ul de achiziție și analiză

Controlează achiziția, corecțiile spectrale, calibrarea și calculul parametrilor fotometrici și colorimetrici. Pentru măsurări absolute, este esențială utilizarea unei calibrări adecvate întregului sistem.

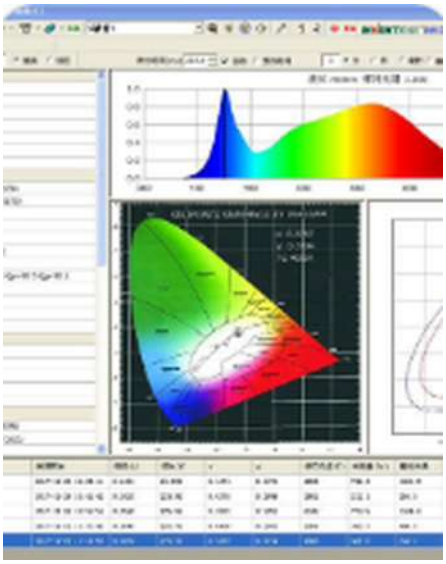


Figura 3.10 – Interfața software-ului de achiziție și analiză spectrală

Parametrii măsurați:

Parametru	**Simbol / unitate**	**Semnificație**
Flux luminos total	Φ_v, lm	Cantitatea totală de lumină vizibilă emisă
Flux radiant spectral	$\Phi_{e,\lambda}$, W/nm	Puterea radiantă pe unitatea de lungime de undă
Putere radiantă totală	Φ_e, W	Puterea optică totală în domeniul spectral măsurat
Temperatura de culoare corelată	CCT, K	Aspectul cald sau rece al luminii
Coordonate cromatice	x, $y$sau u', v'	Poziția culorii în spațiul cromatic
Indice de redare a culorilor	CRI / Ra	Capacitatea sursei de a reda culorile
Lungime de undă de vârf	λ_p, nm	Lungimea de undă la care semnalul spectral este maxim
Eficacitate luminoasă	lm/W	Fluxul luminos raportat la puterea electrică absorbită

Tabelul 3.1 – Parametrii măsurați cu sfera integratoare și spectroradiometrul

În funcție de spectroradiometru și software, se pot calcula și parametri precum TM-30, lungimea de undă dominantă, puritatea culorii și eficacitatea radiației fotosintetice, pentru aplicații horticole. Nu toți parametrii sunt disponibili sau relevanți pentru orice configurație.

Caracteristici tehnice care trebuie specificate:

Caracteristică	**Ce trebuie verificat**
Diametrul sferei	Adaptat dimensiunilor și fluxului surselor testate
Domeniul spectral	De exemplu, UV-VIS, VIS-NIR sau 380–780 nm pentru anumite aplicații de iluminat
Rezoluția spectrală	Capacitatea de a distinge caracteristici spectrale apropiate
Domeniul dinamic	Capacitatea de a măsura surse slabe și puternice fără saturare
Acuratețea lungimii de undă	Importantă pentru vârfuri spectrale și calcule colorimetrice
Repetabilitatea	Stabilitatea rezultatelor la măsurări repetate
Calibrarea	Trasabilitate metrologică și domeniu spectral acoperit
Corecții	Autoabsorbție, lumină parazită, neuniformitatea sferei și efecte termice
Interfața de măsurare	Suporturi pentru LED-uri, lămpi, module sau corpuri de iluminat
Software	Export de date, rapoarte și parametri fotometrici/colorimetrici

Tabelul 3.2 – Caracteristici tehnice care trebuie specificate pentru sfera integratoare și spectroradiometru

Diametrul nu se alege numai după dimensiunea probei: contează și fluxul emis, proporția suprafeței ocupate de porturi, geometria de măsurare și incertitudinea acceptată.

Calibrare și surse de eroare

Pentru o măsurare de laborator fiabilă, trebuie luate în calcul următoarele:

- Calibrarea spectrală și radiometrică: se utilizează standarde cu valori cunoscute și trasabilitate documentată.
- Autoabsorbția: suportul și sursa montată în interior pot absorbi o parte din lumina reflectată; efectul trebuie evaluat și corectat.
- Neuniformitatea sferei: deflectoarele, porturile și proprietățile stratului interior influențează răspunsul.
- Lumina parazită a spectroradiometrului: poate afecta măsurările, în special pentru surse cu emisii spectrale foarte diferite între regiuni.
- Temperatura și stabilizarea sursei: încălzirea poate modifica fluxul și culoarea LED-ului.
- Îmbătrânirea și contaminarea stratului reflectant: pot modifica sensibilitatea sistemului în timp.

Exemple de aplicații:

Figura 3.11 – Exemple de aplicații: iluminat LED; LED-uri UV și NIR

Figura 3.12 – Exemple de aplicații: optică și fotovoltaice; iluminat horticol

3.1.3. Luxmetru etalonat

Un luxmetru etalonat este un aparat de măsurare a iluminării care a fost verificat prin raportare la etaloane de referință, pentru a confirma că valorile indicate se încadrează în limitele de eroare admise [4].

Figura 3.13 – Luxmetru digital cu senzor separat

Caracteristici tehnice

- Denumire: luxmetru digital etalonat.
- Mărime măsurată: iluminarea unei suprafețe.
- Unitate de măsură: lux (lx).
- Componente principale: senzor fotosensibil, unitate electronică de măsurare și afișaj digital.
- Domeniu de măsurare: în funcție de model, de la câțiva lux până la zeci sau sute de mii de lux.
- Precizie: conform specificațiilor producătorului și certificatului de etalonare.
- Utilizare: verificarea iluminatului în spații de lucru, birouri, hale industriale, laboratoare, școli și alte incinte.

Ce presupune etalonarea?

Etalonarea constă în compararea indicațiilor luxmetrului cu valorile furnizate de un etalon de referință, în condiții controlate. Rezultatele sunt consemnate într-un certificat de etalonare, care poate include:

- identificarea aparatului și seria acestuia;
- data efectuării etalonării;
- valorile de referință și valorile indicate de aparat;
- erorile de măsurare și incertitudinea asociată;
- condițiile de efectuare a etalonării;
- identificarea laboratorului care a realizat operațiunea.

Important: etalonarea nu înseamnă automat că aparatul a fost reglat sau că respectă toate cerințele de precizie. Aceste aspecte trebuie verificate în documentația aferentă.

Cum se utilizează?

1. Se verifică starea aparatului și valabilitatea documentelor de etalonare, dacă există o perioadă stabilită pentru reetalonare.
2. Se poziționează senzorul în planul în care trebuie măsurată iluminarea.
3. Se evită umbrirea senzorului de către operator și influențele externe nedorite.
4. Se efectuează măsurătorile în punctele stabilite, în condiții reprezentative pentru activitatea evaluată.
5. Se înregistrează valorile măsurate și se compară cu nivelurile de iluminare cerute pentru activitatea respectivă.

3.1.4. Luminanțmetru etalonat

Un luminanțmetru etalonat este un aparat de măsurare a luminanței unei suprafețe, verificat și calibrat în raport cu un etalon de referință, astfel încât rezultatele măsurătorilor să fie precise și trasabile metrologic [4].

Ce măsoară luminanțmetrul?

- Mărimea măsurată: luminanța unei suprafețe sau a unei surse luminoase.
- Simbol: *L*.
- Unitatea de măsură: candela pe metru pătrat (cd/m²).
- Utilizare: verificarea iluminării și a ecranelor, evaluarea suprafețelor luminoase, controlul iluminatului rutier și industrial.

Ce înseamnă „etalonat”?

Etalonarea presupune compararea indicațiilor aparatului cu valorile unui etalon de referință, în condiții controlate, pentru a determina erorile de măsurare.

Un certificat de etalonare ar trebui să conțină, după caz:

- identificarea aparatului și seria acestuia;
- producătorul și modelul;
- domeniul de măsurare;
- valorile de referință și indicațiile aparatului;
- erorile sau corecțiile determinate;
- incertitudinea de măsurare;
- metoda și condițiile de etalonare;
- data etalonării și identificarea laboratorului.

Important: etalonarea nu înseamnă automat că aparatul este conform cu toate toleranțele impuse. Conformitatea se stabilește separat, prin compararea rezultatelor cu cerințele aplicabile.

Cum se verifică documentele aparatului?

Pentru a confirma că luminanțmetrul este etalonat, verificați dacă certificatul este valabil conform cerințelor aplicabile, dacă identificarea aparatului corespunde seriei înscrise pe acesta și dacă laboratorul are competența necesară pentru măsurarea luminanței.

Frecvența etalonării se stabilește în funcție de utilizare, recomandările producătorului, cerințele sistemului de management și reglementările aplicabile.

Formulare tehnică recomandată

„Luminanțmetru cu certificat de etalonare, destinat măsurării luminanței în cd/m², cu domeniu de măsurare adecvat aplicației și cu incertitudine de măsurare documentată.”

3.1.5. Analizor de putere electrică

Un analizor de putere electrică este un instrument de măsură utilizat pentru monitorizarea, măsurarea și analiza parametrilor electrici ai unei instalații, echipamente sau rețele electrice monofazate ori trifazate [11].

Figura 3.14 – Analizoare de putere electrică portabile

Ce parametri măsoară?

Parametru	**Simbol**	**Unitate**
Tensiune electrică	U	V
Curent electric	I	A
Putere activă	P	W, kW
Putere reactivă	Q	var, kvar
Putere aparentă	S	VA, kVA
Factor de putere	PF / cosφ	Fără unitate
Frecvență	f	Hz
Energie activă	E	Wh, kWh
Distorsiuni armonice	THD	%

Tabelul 3.3 – Parametrii măsurați de analizorul de putere electrică

În funcție de model, analizorul poate măsura și dezechilibrul fazelor, armonicile individuale, factorul de creastă, variațiile de tensiune și evenimentele de calitate a energiei.

Cum funcționează?

1. Preluarea semnalelor: Tensiunea se măsoară prin intrări de tensiune, iar curentul prin sonde, clești ampermetrici sau transformatoare de curent.
2. Procesarea semnalelor: Aparatul eșantionează tensiunea și curentul și calculează puterea, factorul de putere și, dacă este disponibilă funcția, armonicile

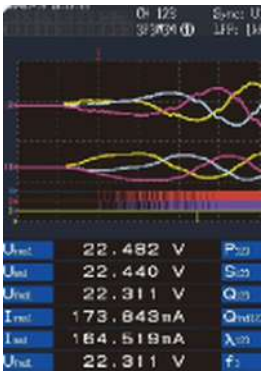


Figura 3.15 – Afișajul unui analizor de putere: forme de undă și valori măsurate

3. Afisarea și înregistrarea: Rezultatele sunt afișate pe ecran și pot fi salvate sau transmise către un calculator prin USB, Ethernet, RS-485 ori alte interfețe, în funcție de model.

Figura 3.16 – Analizor de putere pentru montaj în panou

3.1.6. Flickermetru

Flickermetrul este un instrument de măsurare utilizat pentru evaluarea variațiilor temporale ale fluxului luminos, variații percepute de ochiul uman sub forma pâlpâirii luminii (flicker) [11]. Acesta permite determinarea intensității și frecvenței fluctuațiilor luminoase, precum și evaluarea disconfortului vizual pe care acestea îl pot provoca. Este utilizat în special pentru verificarea calității energiei electrice, deoarece variațiile tensiunii de alimentare pot determina modificări ale luminozității surselor de lumina.

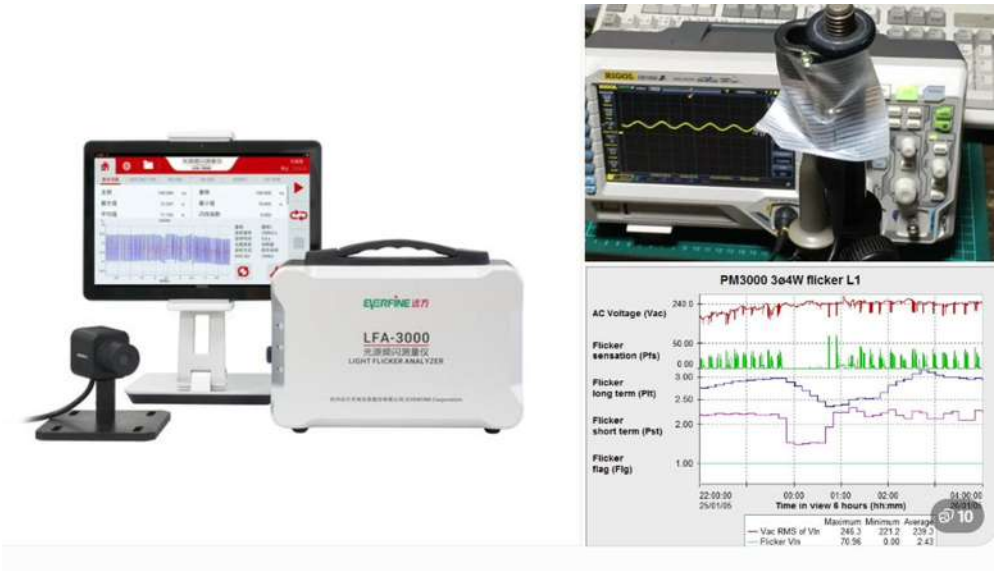


Figura 3.17 – Echipamente pentru măsurarea pâlpâirii luminii (flickermetre)

Ce este “pâlpâirea luminii”?

Pâlpâirea reprezintă o variație repetitivă sau neregulată a intensității luminii în timp. Aceasta poate fi provocată de:

- fluctuațiile tensiunii rețelei electrice;

- variațiile rapide ale sarcinilor electrice, de exemplu motoare, aparate de sudură sau echipamente industriale;
- sursele de alimentare necorespunzătoare ale corpurilor de iluminat cu LED;
- modularea curentului prin lămpi;
- funcționarea unor sisteme de reglare a intensității luminoase.

Pâlpâirea poate fi vizibilă direct sau poate fi prea rapidă pentru a fi observată conștient, dar poate influența confortul vizual și poate produce efecte stroboscopice în anumite condiții.

Principiul de funcționare al flickermetrului

Flickermetrul măsoară variațiile unui semnal electric sau optic și le evaluează printr-un model care aproximează răspunsul sistemului vizual uman.

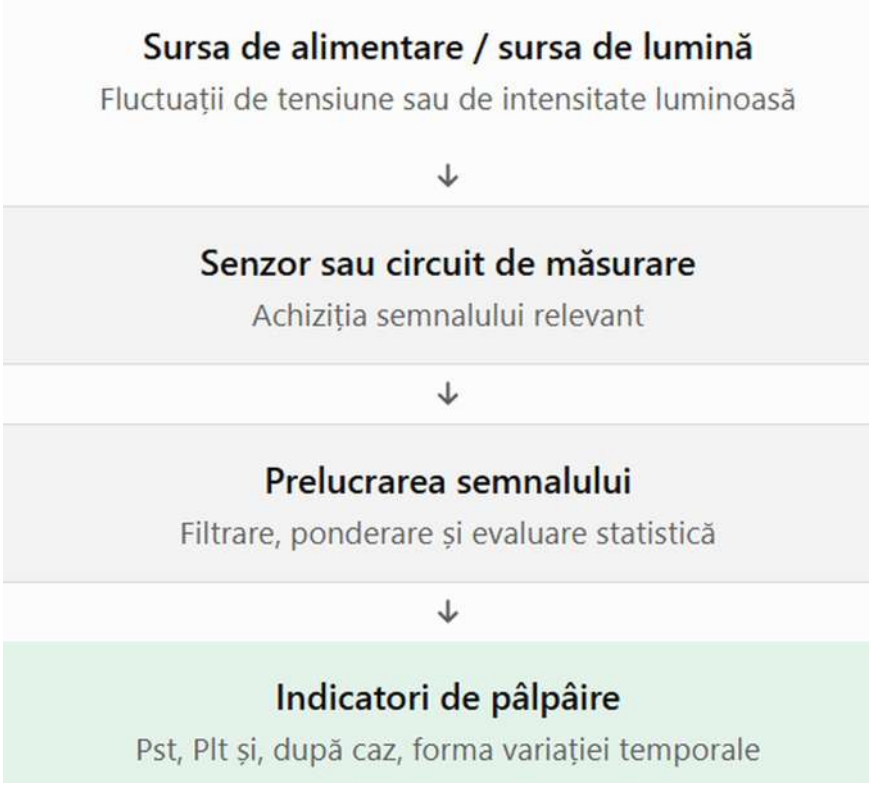


Figura 3.18 – Principiul de funcționare al flickermetrului

În cazul unui flickermetru destinat evaluării calității energiei electrice, procesul este realizat conform unui model standardizat. Un analizor de pâlpâire poate utiliza direct tensiunea electrică măsurată pentru a estima efectul fluctuațiilor acesteia asupra luminozității unei lămpi de referință. Pentru măsurarea directă a pâlpâirii unei surse LED, se poate folosi și un fotodetector, împreună cu un sistem de achiziție a datelor.

Parametri principali măsurați:

Parametru	**Semnificație**
P_{st}	Indicatorul de severitate a pâlpâirii pe termen scurt, evaluat de regulă pe o perioadă de 10 minute.
P_{lt}	Indicatorul de severitate a pâlpâirii pe termen lung, calculat de regulă din 12 valori Pst consecutive, corespunzătoare unui interval total de 2 ore.
Frecvența fluctuațiilor	Numărul variațiilor periodice pe secundă, exprimat în Hz.
Amplitudinea fluctuațiilor	Mărimea variației tensiunii sau a intensității luminoase.
Forma de undă	Reprezentarea grafică a semnalului în funcție de timp.

Tabelul 3.4 – Parametrii principali măsurați de flickermetru

Pst și Plt sunt indicatori ponderați și statistici, nu simple măsurători ale amplitudinii pâlpâirii. Formula uzuală de calcul pentru pâlpâirea pe termen lung este:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^{12} P_{st,i}^3}{12}}$$

Aceasta combină valorile Pst măsurate în 12 intervale consecutive de câte 10 minute.

Standarde relevante

- IEC 61000-4-15 – definește cerințele funcționale și principiile de proiectare pentru flickermetrele utilizate în evaluarea fluctuațiilor de tensiune și a pâlpâirii.
- IEC 61000-3-3 – stabilește limite pentru fluctuațiile de tensiune și pâlpâire produse de anumite echipamente conectate la rețelele publice de joasă tensiune.
- IEC 61000-3-11 – tratează fluctuațiile de tensiune și pâlpâirea pentru echipamente supuse unor condiții specifice de conectare la rețea.

Trebuie făcută distincția între flickermetrul utilizat pentru calitatea energiei electrice și sistemele fotometrice care caracterizează direct modularea temporală a luminii emise de lămpi.

3.1.7. Senzori de temperatură și echipamente de monitorizare ambientală

Senzorii de temperatură și echipamentele de monitorizare ambientală sunt esențiale în laboratoarele de testare a aparatelor de iluminat, deoarece permit supravegherea și controlul parametrilor termici și de mediu care influențează performanțele fotometrice și electrice ale acestora. Utilizarea lor contribuie la stabilitatea fluxului luminos, la evaluarea corectă a comportamentului termic și la asigurarea repetabilității și comparabilității rezultatelor experimentale.

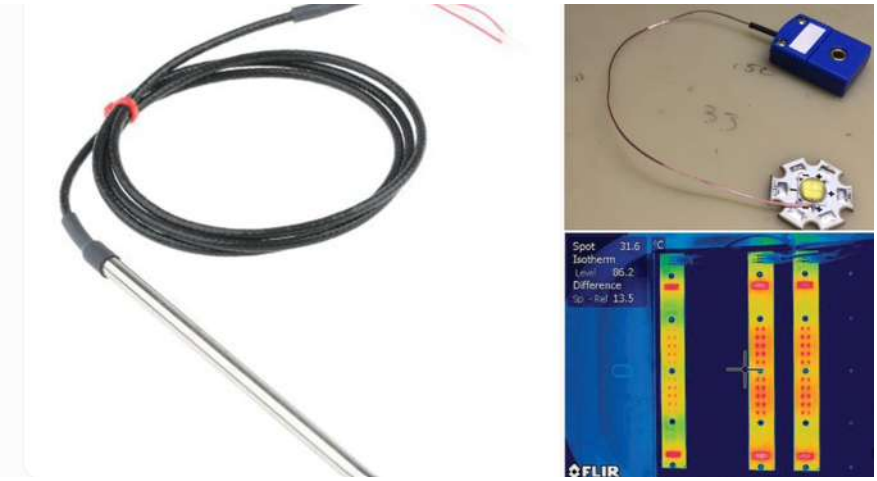


Figura 3.19 – Senzori de temperatură: sondă RTD, termocuplu și termografie în infraroșu

Acești senzori sunt utilizați pentru măsurarea temperaturii în diferite puncte ale aparatului de iluminat, precum radiatorul, carcasa, placa de circuit imprimat, modulul LED sau alte componente care generează ori disipează căldură. Principalele categorii de senzori sunt:

- Termorezistențe RTD (Pt100 și Pt1000): oferă precizie și stabilitate ridicate, fiind potrivite pentru monitorizarea temperaturii în teste de laborator.
- Termocupluri (tip K sau T): permit măsurarea temperaturii într-un interval larg și sunt utile pentru urmărirea variațiilor termice în timpul funcționării.
- Senzori cu infraroșu: măsoară temperatura suprafețelor fără contact direct, fiind utili pentru identificarea zonelor cu încălzire neuniformă.
- Camere termografice: permit vizualizarea distribuției temperaturii pe suprafața corpului de iluminat și identificarea punctelor fierbinți.

Alegerea senzorului depinde de domeniul de temperatură, precizia necesară, timpul de răspuns și metoda de fixare. Pentru măsurători precise, trebuie luate în considerare calibrarea senzorului, contactul termic cu suprafața și influența firelor sau a sistemului de fixare asupra transferului de căldură.

Figura 3.20 – Echipamente de monitorizare a condițiilor ambientale

Pe lângă temperatura aparatului de iluminat, este necesară monitorizarea mediului în care se desfășoară testarea. Parametrii ambientali pot influența atât funcționarea sursei de lumină, cât și condițiile în care sunt efectuate măsurătorile fotometrice.

Parametru monitorizat	**Echipament utilizat**	**Importanță în testare**
Temperatura ambientală	Termometru digital sau senzor RTD	Influențează răcirea corpului de iluminat și echilibrul termic.
Umiditatea relativă	Higrometru sau senzor combinat temperatură-umiditate	Ajută la evaluarea condițiilor de mediu și la identificarea riscului de condens.
Viteza aerului	Anemometru	Permite verificarea influenței curenților de aer asupra răcirii.
Presiunea atmosferică	Barometru	Poate fi relevantă în anumite condiții de testare și pentru caracterizarea mediului.
Stabilitatea temporală a parametrilor	Sistem de achiziție de date și înregistrator (data logger)	Permite identificarea variațiilor în timpul testului și documentarea condițiilor experimentale.

Tabelul 3.5 – Parametrii ambientali monitorizați în timpul testării

Influența temperaturii asupra fluxului luminos

Temperatura de funcționare reprezintă un factor important pentru performanța aparatelor de iluminat, în special a celor cu LED. Creșterea temperaturii joncțiunii LED poate determina reducerea fluxului luminos, modificarea parametrilor electrici și accelerarea proceselor de degradare în timp.

Trebuie diferențiate trei mărimi:

- Temperatura ambientală (T_a) – temperatura aerului din jurul corpului de iluminat.
- Temperatura punctului de măsurare (T_s) – temperatura carcasei, radiatorului sau a unui punct definit de producător ori de procedura de testare.
- Temperatura joncțiunii LED (T_j) – temperatura internă a joncțiunii semiconductorului, care influențează direct performanța LED-ului și care nu poate fi determinată întotdeauna prin măsurarea directă a carcasei.

Monitorizarea acestor temperaturi permite identificarea momentului în care aparatul de iluminat atinge un regim termic stabil. Dacă fluxul luminos este măsurat înainte de stabilizarea termică, rezultatele pot varia semnificativ de la o măsurare la alta.

Achiziția și înregistrarea datelor

Pentru obținerea unor rezultate reproductibile, senzorii pot fi conectați la un sistem automatizat de achiziție a datelor, care înregistrează simultan temperatura aparatului de iluminat, temperatura ambientală și, după caz, umiditatea, viteza aerului și parametrii electrici.

Un sistem adecvat permite:

- monitorizarea continuă a temperaturii pe durata testului;
- înregistrarea valorilor la intervale de timp prestabilite;
- identificarea variațiilor bruște și a depășirii limitelor admise;
- corelarea variațiilor de temperatură cu modificările fluxului luminos;
- arhivarea datelor pentru compararea testelor efectuate în momente diferite.

Frecvența de eșantionare trebuie aleasă în funcție de dinamica termică a echipamentului și de cerințele procedurii de testare. De asemenea, senzorii trebuie calibrați sau verificați metrologic, iar incertitudinea măsurării trebuie luată în considerare în analiza rezultatelor.

Asigurarea repetabilității și a trasabilității măsurătorilor

Pentru ca rezultatele să fie comparabile, condițiile de testare trebuie menținute cât mai constante. În practică, se recomandă:

1. Stabilirea și documentarea temperaturii ambientale țintă și a toleranței admise.
2. Poziționarea senzorilor în puncte definite și reproducibile.
3. Utilizarea aceleiași configurații de montaj și a aceleiași orientări a corpului de iluminat.
4. Respectarea unei perioade de stabilizare termică înainte de măsurarea fluxului luminos.
5. Înregistrarea temperaturii, a timpului de funcționare și a condițiilor ambientale pentru fiecare test.
6. Verificarea calibrării instrumentelor și păstrarea evidențelor de măsurare.
7. Repetarea testelor în condiții echivalente și evaluarea variației rezultatelor.

În funcție de tipul testului, cerințele pot fi raportate la standardele aplicabile, precum CIE S 025/E:2015 [11], pentru testarea fotometrică și colorimetrică a lămpilor și aparatelor de iluminat cu LED, și seria IEC 60598 [12], pentru cerințele de siguranță ale corpurilor de iluminat. Condițiile exacte trebuie stabilite conform standardului aplicabil produsului și metodei de încercare utilizate.

3.1.8. Sursă etalon de lumină și echipamente de calibrare

Principalele categorii de echipamente sunt:

- Surse etalon de lumină: lămpi etalon cu incandescență, surse LED etalon și surse cu spectru controlat, utilizate pentru verificarea intensității luminoase, a fluxului luminos și a caracteristicilor spectrale [9].
- Etaloane de intensitate luminoasă și flux luminos: utilizate pentru verificarea și calibrarea fotometrelor, luxmetrelor și goniofotometrelor.
- Spectroradiometre etalon: permit măsurarea distribuției spectrale a radiației optice și verificarea răspunsului spectral al instrumentelor.
- Luxmetre și fotometre de referință: utilizate pentru compararea rezultatelor măsurătorilor și verificarea performanțelor echipamentelor fotometrice.
- Sisteme de calibrare și accesorii: includ surse de alimentare stabilizate, sfere integratoare, bancuri optice, sisteme de poziționare și echipamente pentru controlul condițiilor de măsurare.

Cerințe privind trasabilitatea metrologică

Pentru asigurarea unor rezultate fiabile, echipamentele trebuie să îndeplinească următoarele cerințe:

1. Să dețină certificate de calibrare emise de laboratoare competente, preferabil acreditate conform SR EN ISO/IEC 17025 [13].
2. Să prezinte o trasabilitate metrologică documentată către Sistemul Internațional de Unități (SI) [10], prin etaloane naționale sau alte referințe metrologice recunoscute.

3. Să aibă incertitudini de măsurare documentate și adecvate domeniului de utilizare.
4. Să permită verificarea stabilității sursei, a repetabilității măsurărilor și a răspunsului spectral.
5. Să fie utilizate conform procedurilor de calibrare, condițiilor de mediu și intervalelor de verificare stabilite.

Formulare recomandată pentru o specificație tehnică:

„Sursele etalon de lumină și echipamentele de calibrare vor fi adecvate verificării și calibrării sistemelor fotometrice și vor asigura trasabilitatea metrologică la Sistemul Internațional de Unități (SI). Acestea vor fi însoțite de certificate de calibrare valabile, care să precizeze valorile de referință, incertitudinile de măsurare și condițiile de utilizare, emise de laboratoare competente, acreditate conform SR EN ISO/IEC 17025, după caz.”

3.2. Metode de măsurări fotometrice destinate aparatelor de iluminat public

Pentru un aparat de iluminat destinat iluminatului public, măsurarea fotometrică de laborator a **intensității luminoase** urmărește determinarea valorii acesteia în funcție de direcția de emisie, adică obținerea **curbei/diagramei fotometrice**. Metoda diferă ca geometrie și interpretare în funcție de distribuția **simetrică** sau **asimetrică** a aparatului de iluminat.

3.2.1. Ce se măsoară, de fapt

Intensitatea luminoasă este mărimea fotometrică:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

unde:

- I= intensitatea luminoasă, în **candela [cd]**;
- Φ= fluxul luminos, în **lumeni [lm]**;
- Ω= unghiul solid, în **steradiani [sr]**.

Pentru un aparat de iluminat, nu există o singură valoare de intensitate luminoasă [5]. Intensitatea depinde de direcția în care privești aparatul:

$$I = I(\gamma,\ C)$$

sau, în anumite sisteme de coordonate:

$$I = I(\theta, \varphi)$$

Prin urmare, scopul măsurării este obținerea distribuției spațiale a intensității luminoase. Pentru iluminatul public, această distribuție este extrem de importantă deoarece trebuie să permită obținerea iluminării necesare pe carosabil, trotuare și alte suprafețe, limitând simultan orbirea și lumina emisă în direcții nedorite.

3.2.2. Instalația fotometrică de laborator

Măsurarea se realizează într-un **laborator fotometric**, de regulă utilizând un **goniometru fotometric** împreună cu un detector fotometric [1].

Schema conceptuală este:

aparat de iluminat → propagare liberă a luminii → detector fotometric

Aparatul este montat pe un sistem mecanic care permite modificarea controlată a orientării sale față de detector.

Componentele principale sunt:

1. **aparatul de iluminat testat (DUT – Device Under Test);**
2. **sursa de alimentare stabilizată/programabilă;**
3. **goniometrul fotometric;**
4. **fotometrul/detectorul fotometric;**
5. **sistemul de achiziție a datelor;**

6. **camera fotometrică sau spațiul întunecat;**
7. **sistemul de măsurare a temperaturii;**
8. **eventual, sistemul de control al poziției și software-ul de prelucrare fotometrică.**

În cazul aparatelor LED moderne, este foarte important ca alimentarea electrică și temperatura să fie controlate, deoarece fluxul și intensitatea luminoasă ale LED-urilor variază cu temperatura și curentul de alimentare.

3.2.3. Principiul metodei goniometrice

Principiul fundamental este foarte simplu: **detectorul rămâne într-o poziție cunoscută, iar aparatul este rotit succesiv în diferite direcții; pentru fiecare direcție se măsoară iluminarea produsă de aparat la detector** [1, 2]**.**

Din iluminarea măsurată se determină intensitatea luminoasă.

Relația fundamentală este:

$$E = \frac{I}{r^2}$$

de unde:

$$I = E\,r^2$$

unde:

- E= iluminarea la detector [lx];
- I= intensitatea luminoasă în direcția detectorului [cd];
- r= distanța dintre centrul fotometric al aparatului și detector [m].

Această relație este valabilă în condițiile aproximării sursei ca sursă fotometrică punctuală, ceea ce presupune o distanță suficient de mare între aparat și detector.

De exemplu, dacă detectorul măsoară:

$$E = 2,5 \text{ lx}$$

la: $r = 20$ m

atunci:

$$I = 2,5 \cdot 20^2 I = 2,5 \cdot 400 = 1000 \text{ cd}$$

Prin urmare, în direcția respectivă aparatul are o intensitate luminoasă de aproximativ **1000 cd**.

3.2.4. De ce este necesară măsurarea la distanță mare

Un aparat de iluminat public nu poate fi considerat, strict vorbind, o sursă punctuală [1, 2]. Are dimensiuni fizice considerabile.

Pentru aplicarea relației:

$$E = \frac{I}{r^2}$$

este necesar ca distanța fotometrică să fie suficient de mare în raport cu dimensiunea aparatului.

În plus, la distanțe insuficiente pot apărea erori datorate:

- dimensiunii aparatului;
- distribuției neuniforme pe suprafața detectorului;
- diferențelor de distanță dintre diferitele puncte ale aparatului și detector;
- geometriei lentilelor;
- efectelor de câmp apropiat.

De aceea, în laborator se utilizează de regulă o **distanță fotometrică mare**, iar pentru măsurări precise trebuie respectate cerințele standardului aplicabil și condițiile recomandate de producătorul goniometrului.

3.2.5. Goniometrul fotometric

Goniometrul este elementul central al măsurării [1]. El permite modificarea controlată a orientării aparatului în raport cu detectorul. Există mai multe configurații de goniometre, dar pentru aparatele de iluminat public interesează în special sistemele care permit măsurarea distribuției în:

- planuri C;
- unghiuri γ;
- sau echivalent, în coordonate $\theta,\ \varphi$.

Un sistem tipic permite:

$$C = 0°...360°$$

și

$$\gamma = 0°...180°$$

în funcție de sistemul de coordonate utilizat.

În timpul măsurării, software-ul comandă goniometrul să deplaseze aparatul la un anumit unghi, așteaptă stabilizarea poziției și apoi înregistrează valoarea fotometrică.

Procesul se repetă pentru toate punctele de măsurare.

3.2.6. Detectorul fotometric

Detectorul transformă radiația optică în semnal electric proporțional cu iluminarea [4].

Într-un fotometru de laborator se utilizează un receptor cu răspuns spectral apropiat de **funcția de eficacitate luminoasă fotopică** $V(\lambda)$ a ochiului uman.

Ideal:

$$S(\lambda) \sim V(\lambda)$$

în domeniul fotopic.

Detectorul trebuie să fie:

- calibrat;
- stabil;
- liniar în domeniul de măsurare;
- suficient de sensibil;
- cu răspuns spectral corespunzător fotometriei;
- prevăzut, după caz, cu corecție spectrală.

În practică, fotometrul furnizează direct o valoare în lux, care este apoi convertită în intensitate luminoasă utilizând distanța fotometrică.

3.2.7. Pregătirea aparatului de iluminat

Înainte de măsurarea propriu-zisă, aparatul trebuie pregătit [7, 11].

Se verifică:

Alimentarea electrică

Se stabilesc:

- tensiunea;
- frecvența;
- curentul;
- puterea;
- factorul de putere, după caz.

Pentru un aparat LED alimentat în curent constant, se verifică inclusiv curentul furnizat de driver.

Stabilizarea termică

Aparatul nu trebuie măsurat imediat după pornire dacă parametrii fotometrici se modifică în timpul încălzirii.

Fluxul luminos al LED-urilor depinde de: T_j unde T_j este temperatura joncțiunii LED.

În consecință, temperatura influențează:

- fluxul;
- eficacitatea luminoasă;
- intensitatea luminoasă;
- distribuția fotometrică, într-o anumită măsură.

Măsurarea trebuie începută după atingerea stării termice stabilizate, conform procedurii aplicabile.

3.2.8. Poziționarea aparatului

Aparatul se montează pe goniometru într-o poziție care reproduce poziția sa fotometrică de referință [1].

Este foarte important să se stabilească **centrul fotometric** al aparatului. Acesta este punctul față de care se definesc direcțiile și distanțele fotometrice. Dacă poziția centrului fotometric este greșită, apar erori de geometrie care se propagă în toate valorile determinate. De asemenea, trebuie stabilite:

- axa longitudinală a aparatului;
- axa transversală;
- axa verticală;
- direcția de referință;
- unghiul de montaj.

3.2.9. Măsurarea pentru un aparat cu distribuție simetrică

Să considerăm un aparat cu distribuție **simetrică de revoluție** sau aproximativ simetrică în jurul axei sale [1, 6]. În acest caz:

$$I(\gamma, C) \approx I(\gamma)$$

adică intensitatea depinde predominant de unghiul γ, nu de azimutul C.

Acest lucru simplifică foarte mult măsurarea. Aparatul este poziționat pe goniometru.

Se fixează un anumit plan fotometric C, de exemplu: $C = 0°$

Apoi aparatul este rotit succesiv în unghiul γ: $0°$, $5°$, $10°$, $15°$, ..., $180°$ sau cu alt pas de măsurare stabilit de procedură.

Pentru fiecare unghi se măsoară: $E(\gamma)$ iar intensitatea se calculează:

$$I(\gamma) = E(\gamma)\, r^2$$

Se obține astfel tabelul:

γ	E [lx]	I [cd]
0°	…	…
5°	…	…
10°	…	…
15°	…	…
…	…	…
180°	…	…

Tabelul 3.6 – Valorile măsurate și calculate pentru un aparat cu distribuție simetrică

Din aceste date se poate construi **curba polară a intensității luminoase**.

3.2.10. Verificarea simetriei

Chiar dacă aparatul este declarat „simetric”, în laborator nu trebuie presupus automat că simetria este perfectă [1].

Se pot măsura mai multe planuri:

$$C = 0^\circ$$

$$C = 90^\circ$$

$$C = 180^\circ$$

$$C = 270^\circ$$

Dacă distribuțiile coincid în limitele toleranței experimentale, se poate considera că aparatul prezintă simetria corespunzătoare.

Se poate defini, de exemplu, o abatere relativă între două planuri:

$$\delta = \frac{|I_1 - I_2|}{I_{\text{ref}}} \cdot 100\%$$

Aceasta permite cuantificarea diferenței dintre planurile fotometrice.

3.2.11. Aparatul cu distribuție asimetrică

Aici situația este mult mai complexă [1, 6]. Pentru un aparat de iluminat public cu distribuție asimetrică:

$$I = I(C, \gamma)$$

Deci intensitatea depinde atât de unghiul vertical, cât și de direcția azimutală. Acesta este cazul foarte frecvent al aparatelor de iluminat rutier.

Un aparat rutier poate avea o distribuție intenționat diferită în direcția:

- longitudinală a drumului;
- transversală;
- spre trotuar;
- spre partea opusă a carosabilului.

Prin urmare, măsurarea într-un singur plan nu este suficientă.

3.2.12. Măsurarea în sistemul de coordonate C–γ

Pentru fotometria aparatelor de iluminat exterior se utilizează în mod obișnuit sistemul de coordonate **C–γ** [6]. Un punct fotometric este definit prin:

$$(C, \gamma)$$

unde:

- C definește planul azimutal;
- γ definește unghiul în acel plan.

Se poate realiza o scanare bidimensională. De exemplu: $C = 0^\circ,\ 5^\circ,\ 10^\circ,\ \ldots,\ 355^\circ$ iar pentru fiecare C : $\gamma = 0^\circ,\ 2^\circ,\ 5^\circ,\ 10^\circ,\ \ldots,\ 180^\circ$

În fiecare punct:

$$E(C, \gamma)$$

este măsurat și transformat în:

$$I(C, \gamma) = E(C, \gamma)\, r^2$$

Rezultatul este o **matrice fotometrică**.

3.2.13. Exemplu de matrice fotometrică

Pentru simplificare, să presupunem că s-au măsurat doar trei planuri:

γ	C=0°	C=90°	C=180°
0°	8500 cd	8500 cd	8500 cd
15°	7200 cd	6100 cd	7000 cd
30°	5000 cd	3400 cd	4800 cd
45°	3100 cd	1800 cd	2900 cd
60°	1500 cd	600 cd	1300 cd
75°	400 cd	100 cd	350 cd
90°	50 cd	10 cd	40 cd

Tabelul 3.7 – Exemplu de matrice fotometrică pentru trei planuri C

Se observă imediat că: $I(C,\gamma)$ este diferită de la un plan la altul [6]. Aceasta este caracteristica distribuției asimetrice.

3.2.14. De ce este importantă asimetria pentru iluminatul public

Un aparat de iluminat rutier nu trebuie să emită aceeași cantitate de lumină în toate direcțiile [6]. Dimpotrivă, optica aparatului este proiectată astfel încât lumina să fie direcționată către suprafața care trebuie iluminată. De exemplu, aparatul poate avea:

- intensitate mare la un anumit unghi longitudinal;
- intensitate diferită în direcția transversală;
- intensitate redusă deasupra orizontului;
- intensitate foarte mică în direcții în care ar produce disconfort sau poluare luminoasă.

De aceea, pentru un aparat rutier asimetric, **curba fotometrică trebuie determinată în mai multe planuri**.

3.2.15. Distanța fotometrică

Distanța r dintre centrul fotometric și detector este una dintre cele mai importante mărimi experimentale [2].

Dacă:

$$E = \frac{I}{r^2}$$

atunci orice eroare asupra lui r influențează direct intensitatea calculată.

Avem:

$$I = E\,r^2$$

iar variația relativă aproximativă este:

$$\frac{\Delta I}{I} \approx \frac{\Delta E}{E} + 2\frac{\Delta r}{r}$$

Această relație este foarte utilă pentru analiza incertitudinii.

Observăm că eroarea relativă a distanței este multiplicată cu 2. De exemplu, o eroare de: 1% asupra distanței poate produce aproximativ: 2% eroare în intensitatea calculată, dacă eroarea detectorului este neglijată.

3.2.16. Etapele efective ale măsurării

O procedură de laborator poate fi organizată astfel:

Etapa 1 – verificarea echipamentului

Se verifică:

- goniometrul;
- detectorul;

- sursa de alimentare;
- sistemul de achiziție;
- calibrarea;
- temperatura ambiantă;
- absența luminii parazite.

Etapa 2 – montarea aparatului de iluminat

Aparatul se fixează rigid pe goniometru [1, 6]. Se aliniază:
- centrul fotometric;
- axele;
- direcția de referință.

Etapa 3 – alimentarea

Se aplică parametrii electrici nominali.

Etapa 4 – stabilizarea

Se lasă aparatul să atingă starea stabilă de funcționare.

Etapa 5 – verificarea detectorului

Se verifică zero-ul și domeniul de măsurare.

Etapa 6 – stabilirea distanței

Se determină: "r" între centrul fotometric și receptor.

Etapa 7 – măsurarea

Goniometrul parcurge unghiurile prestabilite. Pentru fiecare punct se înregistrează: $C,\ \gamma,\ E$

Etapa 8 – calculul intensității

Pentru fiecare punct:

$$I(C,\gamma) = E(C,\gamma)\, r^2$$

Etapa 9 – corecții

Dacă procedura o impune, datele se corectează pentru:
- răspuns spectral;
- zero;
- lumină parazită;
- temperatură;
- calibrare;
- factorii specifici echipamentului.

Etapa 10 – validarea datelor

Se verifică:
- continuitatea distribuției;
- eventualele puncte anormale;
- simetria;
- repetabilitatea;
- eventualele erori de poziționare.

Etapa 11 – generarea rezultatului

Se generează:
- tabelul fotometric;

- curbele polare;
- diagrama carteziană;
- matricea $C-\gamma$;
- fișierul fotometric electronic, dacă este necesar.

3.2.17. Curba de distribuție a intensităților luminoase în coordonate polare

Pentru o distribuție simplă, rezultatele pot fi reprezentate într-o diagramă polară [6].

Pe diagramă:

- raza reprezintă intensitatea luminoasă;
- unghiul reprezintă direcția de emisie.

Astfel, dacă: $I(0°) = 10000$ cd și: $I(60°) = 2000$ cd curba va avea o extensie mare în direcția $0°$ și una mult mai mică la $60°$.

Pentru distribuțiile asimetrice se pot reprezenta mai multe curbe:

$$I_{C=0°}(\gamma) I_{C=90°}(\gamma) I_{C=180°}(\gamma)$$

etc.

3.2.18. Diagrama fotometrică 3D

Pentru un aparat asimetric, o reprezentare mai completă este suprafața: $I(C,\gamma)$ Aceasta poate fi reprezentată tridimensional [6]. Fiecare direcție din spațiu are asociată o valoare de intensitate. În acest fel se poate vedea foarte clar „forma" fasciculului luminos. Pentru un aparat rutier asimetric, suprafața nu este de regulă o formă regulată de revoluție, ci este alungită și orientată preferențial.

3.2.19. Măsurarea în condiții fotometrice standardizate

Un aspect foarte important este că rezultatul fotometric trebuie să fie **comparabil** [6, 7]. De aceea, trebuie precizate cel puțin:

- aparatul testat;
- sursa de lumină;
- temperatura;
- tensiunea de alimentare;
- curentul;
- puterea;
- poziția de montare;
- distanța fotometrică;
- sistemul de coordonate;
- pasul unghiular;
- detectorul utilizat;
- condițiile de stabilizare.

În cazul unui aparat LED, rezultatul poate fi foarte diferit dacă se schimbă temperatura sau curentul de funcționare.

3.2.20. Influența temperaturii

Pentru LED-uri:

$$\Phi = f\left(T_j, I_F\right)$$

unde:

- T_j= temperatura joncțiunii;
- I_F= curentul LED.

Dacă temperatura crește, în multe cazuri fluxul luminos scade [7, 11].

Prin urmare, dacă măsurarea este începută la rece și continuată pe durata încălzirii aparatului, se poate obține o variație aparentă a intensității: $I_1 > I_2$ fără ca geometria aparatului să se fi modificat.

De aceea, stabilizarea termică este esențială.

3.2.21. Lumina parazită

În laborator trebuie eliminată sau redusă cât mai mult lumina care nu provine de la aparatul testat [1]. Detectorul măsoară practic:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{DUT}} + E_{\text{ambient}}$$

Prin urmare:

$$E_{\text{DUT}} = E_{\text{total}} - E_{\text{ambient}}$$

Dacă lumina parazită este semnificativă, intensitatea calculată va fi supraestimată. De aceea, se poate efectua o măsurare de fond cu aparatul oprit.

3.2.22. Liniaritatea fotometrului

Detectorul trebuie să funcționeze în domeniul său liniar [4].

Dacă semnalul fotometric este prea mare, receptorul poate intra în saturație.

În acest caz: $E_{\text{măsurat}}$ este diferit de E_{real}

și, implicit: I_{calculat} este diferit de I_{real}

De aceea se utilizează domeniul adecvat al fotometrului sau filtre/atenuatoare calibrate.

3.2.23. Rezoluția unghiulară

Alegerea pasului unghiular este importantă [1].

Dacă aparatul are o distribuție foarte îngustă, de exemplu un fascicul cu variații rapide, un pas prea mare poate rata maximul.

De exemplu, dacă se măsoară la: $0^\circ,\ 10^\circ,\ 20^\circ,\ \ldots$

se poate rata un maxim situat la: 14°

În acest caz valoarea maximă reală poate fi mai mare decât cea observată experimental.

Prin urmare, zonele în care distribuția variază rapid trebuie măsurate cu o rezoluție unghiulară mai bună.

3.2.24. Intensitatea maximă

Din matricea fotometrică se poate determina: $I_{\text{max}} = \max\{I(C,\gamma)\}$

Aceasta reprezintă intensitatea luminoasă maximă măsurată [6]. De asemenea, se poate determina direcția în care apare: $(C_{\text{max}}, \gamma_{\text{max}})$ Aceste informații sunt importante pentru caracterizarea opticii aparatului.

3.2.25. De la intensitate la iluminare pe carosabil

Un avantaj fundamental al măsurării fotometrice este că datele de intensitate pot fi ulterior utilizate pentru calculul iluminării [6]. Pentru un punct de pe carosabil:

$$E = \frac{I(\gamma, C)}{r^2}$$

în forma simplificată.

Într-o geometrie reală, trebuie ținut cont și de unghiul de incidență. Iluminarea normală pe suprafață poate fi exprimată prin:

$$E = \frac{I(\gamma, C)\cos\alpha}{r^2}$$

unde α este unghiul dintre direcția luminii și normala la suprafața iluminată.

Acesta este motivul pentru care simpla valoare a fluxului luminos al aparatului nu este suficientă pentru proiectarea iluminatului rutier.

Două aparate cu același flux: $\Phi_1 = \Phi_2$ pot avea performanțe foarte diferite pe carosabil dacă:

$$I_1(C,\gamma) \neq I_2(C,\gamma)$$

3.2.26. Diferența esențială dintre distribuția simetrică și asimetrică

Distribuție simetrică

Poate fi aproximată prin: $I = I(\gamma)$

Măsurarea este relativ simplă deoarece un singur plan poate fi reprezentativ, cu condiția verificării simetriei [1, 6]. Rezultatul poate fi reprezentat printr-o singură curbă polară.

Distribuție asimetrică

Este descrisă prin: $I = I(C,\gamma)$

Este necesară măsurarea în mai multe planuri. Rezultatul este o matrice de valori: $I_{ij} = I\left(C_i, \gamma_j\right)$ care poate fi transformată în:

- curbe fotometrice;
- suprafețe 3D;
- tabele;
- fișiere fotometrice.

3.2.27. Un exemplu numeric complet

Să presupunem că avem un aparat LED rutier și: $r = 30$ m La: $C = 90^\circ$, $\gamma = 45^\circ$ fotometrul indică: $E = 1,8$ lx

Atunci: $I = E\,r^2$

$$I = 1,8 \times 30^2 I = 1,8 \times 900 I = 1620 \text{ cd}$$

La altă direcție:

$$C = 0^\circ, \quad \gamma = 45^\circ$$

să presupunem:

$$E = 3,5 \text{ lx}$$

Rezultă:

$$I = 3,5 \cdot 900 \boxed{I = 3150 \text{ cd}}$$

Avem:

$$I(0^\circ, 45^\circ) = 3150 \text{ cd}$$

și:

$$I(90^\circ, 45^\circ) = 1620 \text{ cd}$$

Prin urmare, aparatul este evident **asimetric** în aceste două planuri [1].

3.2.28. Incertitudinea măsurării

Un rezultat de laborator serios nu trebuie privit doar ca: $I = 2500$ cd ci, ideal, sub forma: $I = (2500 \pm U)$ cd unde U este incertitudinea extinsă [9].

Surse de incertitudine pot fi:

- calibrarea fotometrului;
- repetabilitatea detectorului;
- poziționarea aparatului;
- precizia unghiului;
- măsurarea distanței;
- stabilitatea alimentării;

- temperatura;
- lumina parazită;
- neliniaritatea detectorului;
- repetabilitatea montării;
- variația fluxului LED;
- precizia sistemului goniometric.

3.2.29. Ce trebuie să conțină rezultatul final al laboratorului

Pentru un aparat de iluminat public, un raport fotometric complet ar trebui să includă cel puțin [6, 8, 9]:

1. identificarea aparatului;
2. tipul sursei LED;
3. puterea electrică;
4. tensiunea și curentul de alimentare;
5. temperatura de măsurare;
6. poziția de montare;
7. centrul fotometric;
8. distanța fotometrică;
9. tipul goniometrului;
10. tipul fotometrului;
11. datele de calibrare;
12. sistemul de coordonate;
13. pasul unghiular;
    - valorile $E(C,\gamma)$;
    - valorile calculate $I(C,\gamma)$;
14. curbele fotometrice;
15. intensitatea maximă;
16. direcția intensității maxime;
17. eventualele verificări de simetrie;
18. incertitudinea măsurării;
19. fișierul fotometric electronic, dacă este solicitat.

3.2.30. Standardele relevante

Într-un laborator real, metoda nu trebuie stabilită doar „după formula $I = E\,r^2$" [1, 6, 8]. Trebuie raportată la standardele fotometrice aplicabile aparatului și laboratorului.

Pentru aparatele de iluminat, sunt relevante în special standarde din familia **CIE**, **EN/IEC** și standardele specifice performanței aparatelor de iluminat și măsurărilor fotometrice. Pentru rezultate de laborator trasabile, laboratorul trebuie să lucreze cu proceduri validate și echipamente calibrate.

Un punct important este că **fișierul fotometric** (de tip IES, EULUMDAT/LDT etc.) nu reprezintă măsurarea în sine, ci este o modalitate standardizată de a transmite rezultatele distribuției fotometrice către programele de calcul specifice.

3.3. Standarde specifice măsurărilor de laborator ale aparatelor de iluminat public

Pentru **măsurarea fotometrică de laborator a distribuțiilor intensității luminoase** (curbe polare, IES/LDT, intensitate în cd pe direcții, flux etc.), standardele relevante se pot grupa în patru zone: **definiții fotometrice, metode de măsurare, aparatură/trasabilitate și reprezentarea datelor** [1, 5, 6].

3.3.1. Standardele fundamentale de fotometrie

CIE S 017 [5] – International Lighting Vocabulary

Este baza terminologică pentru mărimi precum:

- intensitate luminoasă I[cd];
- flux luminos Φ[lm];
- iluminanță E[lx];
- luminanță L[cd/m²];
- unghi solid;
- sisteme de coordonate fotometrice.

Este important deoarece o măsurare de laborator trebuie să precizeze exact ce mărime este măsurată și în ce sistem de coordonate.

SI Brochure [10] / definiția candela

Candela este unitatea SI pentru intensitatea luminoasă, iar fotometria modernă este legată de definiția radiometrică a candelei și de funcția fotopică $V(\lambda)$.

3.3.2. Standardul principal pentru măsurarea distribuției intensității

Unul dintre cele mai importante documente este:

CIE 121:1996 [1] – The Photometry and Goniophotometry of Luminaires

Acesta este un reper major pentru **goniometrie și fotometria corpurilor de iluminat**. Tratează:

- principiile măsurării fotometrice;
- goniofotometre;
- sisteme de coordonate;
- poziționarea corpului de iluminat;
- măsurarea intensității în funcție de direcție;
- distanța de măsurare;
- influența mediului de măsurare;
- erori și incertitudini;
- determinarea distribuției spațiale a intensității.

Pentru o curbă $I(\theta,\varphi)$, acesta este unul dintre standardele pe care le-aș considera esențiale.

3.3.3. CIE 121 trebuie completat cu standardele pentru goniofotometre

CIE 70 [2] – The Measurement of Absolute Luminous Intensity Distributions

Este foarte relevant pentru determinarea **distribuției absolute a intensității luminoase**.

În practică trebuie făcută distincția între:

- distribuție **relativă**: $I/I_{\max}$, I/I_0;
- distribuție **absolută**: intensitatea exprimată efectiv în candela.

Pentru caracterizarea de laborator a unui produs, distribuția absolută este de regulă cea mai utilă, deoarece permite calcularea ulterioară a fluxului și a altor parametri fotometrici.

3.3.4. EN/IEC 13032 – măsurarea proprietăților fotometrice și colorimetrice

Pentru produse de iluminat moderne, familia:

EN 13032 [6] – Light and lighting – Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires

este foarte importantă.

Aceasta tratează **măsurarea și prezentarea datelor fotometrice**, inclusiv:

- flux luminos;
- distribuția intensității;
- sisteme de coordonate;
- condiții de măsurare;
- date fotometrice pentru lămpi și corpuri de iluminat;
- prezentarea rezultatelor.

Este deosebit de relevantă dacă rezultatul final trebuie furnizat într-un format utilizabil de software de calcul luminotehnic.

3.3.5. EN 13032-4 – LED și module LED

Pentru surse LED, trebuie acordată atenție părților dedicate LED-urilor din seria EN 13032 [6].

Acestea devin relevante deoarece LED-urile au particularități precum:

- distribuții foarte direcționale;
- dependență de temperatură;
- stabilizare în timp;
- sensibilitate la curentul de alimentare;
- distribuții care pot fi diferite între LED, modul și aparatul de iluminat final.

Prin urmare, **nu este suficient să măsori doar LED-ul ca sursă**, dacă obiectivul este caracterizarea aparatului de iluminat complet.

3.3.6. CIE 84 – măsurarea fluxului luminos

Pentru determinarea fluxului luminos:

CIE 84 [3] – Measurement of Luminous Flux

este relevant.

Există o legătură directă între distribuția intensității și flux:

$$\Phi = \int_{\Omega} I(\theta,\varphi)\, d\Omega$$

iar pentru coordonate sferice:

$$\Phi = \int_{0}^{2\pi} \int_{0}^{\pi} I(\theta,\varphi) \sin\theta \, d\theta \, d\varphi$$

Prin urmare, dacă ai măsurat $I(\theta,\varphi)$pe o rețea angulară suficient de densă, poți determina fluxul prin integrarea distribuției.

3.3.7. Standarde pentru performanța fotometrelor

Dacă discutăm strict despre **lanțul de măsurare**, trebuie luate în considerare standardele referitoare la fotometre.

Un reper important este:

CIE 69 [4] – Methods of Characterizing Illuminance Meters and Luminance Meters

Acesta tratează caracteristicile instrumentelor fotometrice, inclusiv aspecte precum:

- răspuns spectral;
- răspuns unghiular;
- liniaritate;
- sensibilitate;
- erori;
- caracteristici ale detectorului.

Într-un laborator serios, fotometrul nu este considerat doar „un senzor care citește lux”; caracteristicile lui influențează direct rezultatul $I(\theta,\varphi)$.

3.3.8. Spectrul și corecția fotopică

Pentru măsurări fotometrice este fundamentală corespondența dintre detector și **funcția de eficacitate luminoasă spectrală fotopică** $V(\lambda)$ [5, 10].

Aici intră standardele/recomandările CIE privind:

- funcția $V(\lambda)$;
- fotometria fotopică;
- fotometre și colorimetre;
- răspunsul spectral al detectorului.

Acest aspect este foarte important la LED-uri, deoarece spectrul lor poate fi foarte diferit de cel al surselor tradiționale.

3.3.9. Sistemele de coordonate fotometrice

Pentru distribuția intensității, nu este suficient să spui:

„Am măsurat 1000 cd.”

Trebuie să știi **în ce direcție**.

Se folosesc în principal sistemele de coordonate:

- **C-γ**;
- **A-α**;
- **B-β**,

în funcție de tipul sursei/corpului de iluminat și de aplicație.

Pentru un corp de iluminat convențional, sistemul **C-γ** este foarte frecvent. Distribuția poate fi exprimată, de exemplu, ca:

$$I(C,\gamma)$$

unde:

- C= planul azimutal;
- γ= unghiul față de axa de referință.

Această informație trebuie păstrată și în fișierul fotometric.

3.3.10. Formatul datelor: EULUMDAT și IES

După măsurare, rezultatul este frecvent exportat ca:

EULUMDAT (.LDT) – utilizat în special în Europa;

IES (.IES) – utilizat pe scară largă în SUA și internațional.

Pentru IES, standardul relevant este:

ANSI/IES LM-63 [8] – IES Standard File Format for the Electronic Transfer of Photometric Data

Acesta definește modul de reprezentare electronică a datelor fotometrice.

Important: **fișierul IES/LDT nu este metoda de măsurare**. Este formatul în care sunt transferate rezultatele măsurării.

3.3.11. Condițiile fizice ale laboratorului

Aici apar unele dintre cele mai importante surse de eroare [1]. Pentru o măsurare goniofotometrică trebuie controlate, între altele:

Distanța

Într-o configurație de tip câmp îndepărtat, detectorul trebuie să fie suficient de departe încât geometria fasciculului să fie corespunzătoare aproximării fotometrice.

Dacă sursa are dimensiunea D, iar distanța este R, trebuie evaluată condiția de câmp îndepărtat și eroarea asociată.

Reflexiile

Pereții, podeaua și structura goniofotometrului pot produce lumină reflectată către detector. De aceea sunt importante:

- pereți negri/mat;
- controlul reflexiilor;
- eliminarea luminii parazite;
- geometria adecvată a laboratorului.

Lumina ambientală

Trebuie să fie suficient de mică în raport cu semnalul măsurat.

Temperatura

Pentru LED-uri este critică. Intensitatea și fluxul pot varia semnificativ cu temperatura joncțiunii și, indirect, cu temperatura aparatului de iluminat.

3.3.12. Alimentarea electrică

Pentru o măsurare reproductibilă trebuie controlate:

- tensiunea;
- curentul;
- frecvența;
- forma de undă;
- factorul de putere;
- temperatura;
- timpul de stabilizare.

La LED-uri este deosebit de important să se specifice **condiția de alimentare** [7, 11].

De exemplu, rezultatul:

$$I(0°) = 1250\ cd$$

nu este complet caracterizat dacă nu știm în ce condiții electrice și termice a fost obținut.

3.3.13. Stabilizarea sursei

Înaintea scanării goniofotometrice trebuie stabilit dacă sursa a ajuns la regimul termic stabil [7].

Pentru LED-uri, acest lucru poate fi esențial deoarece:

$$T_j \uparrow \ \Rightarrow \ \Phi \downarrow$$

în multe configurații LED.

Dacă măsori prima jumătate a distribuției la o temperatură și a doua jumătate după încălzirea sursei, poți obține o distribuție artificial „asimetrică”.

3.3.14. Incertitudinea de măsurare

Dacă rezultatul este destinat unui laborator acreditat, standardul foarte important este:

ISO/IEC 17025 [9] – General requirements for the competence of testing and calibration laboratories

Nu este un standard de fotometrie propriu-zis, ci unul pentru **competența laboratorului**. În cadrul lui trebuie tratată și incertitudinea de măsurare.

Pentru intensitatea luminoasă, bugetul de incertitudine poate include:

$$u_I = f\left(u_{\text{detector}}, u_R, u_{\text{alignment}}, u_{\text{spectral}}, u_{\text{temperature}}, u_{\text{electrical}}, u_{\text{stray}}, u_{\text{repeatability}}, \ldots\right)$$

unde apar, de exemplu:

- incertitudinea detectorului;
- incertitudinea distanței;
- alinierea mecanică;
- răspunsul spectral;
- temperatura;
- stabilitatea alimentării;
- lumina parazită;
- repetabilitatea.

Trasabilitatea metrologică

Pentru rezultate de laborator serioase, lanțul ar trebui să fie trasabil la **SI**.
În practică:

standard național/internațional → etalon fotometric → fotometru → goniofotometru → probă

Trebuie să existe certificate de calibrare și să fie cunoscute incertitudinile fiecărui element relevant.
În Europa, pentru laboratoare acreditate, **ILAC G8 / G17** [14], documentele EA și cerințele organismului național de acreditare pot deveni relevante în funcție de domeniul exact al acreditării.

3.3.15. Standardele pe care le-aș considera „nucleul" unui laborator

Dacă ar trebui să definim o **procedură de laborator pentru măsurarea distribuției intensității luminoase a unui aparat de iluminat**:

Domeniu	Standard/document
Fotometrie/goniofotometrie	**CIE 121**
Distribuția absolută a intensității	**CIE 70**
Măsurarea fluxului	**CIE 84**
Măsurarea/prezentarea datelor	**EN 13032**
Fotometre	**CIE 69**
Format date IES	**ANSI/IES LM-63**
Competența laboratorului	**ISO/IEC 17025**
SI / candela	**SI Brochure / BIPM**
Surse LED	**seria EN 13032 + standardele LED aplicabile**

Tabelul 3.8 – Standardele care formează nucleul unui laborator fotometric

3.4. Bibliografie

Bibliografie aferentă capitolului 3 – Măsurări luminotehnice de laborator

Bibliografia cuprinde standarde internaționale și europene, publicații tehnice și documente de referință privind măsurarea intensității luminoase, utilizarea goniofotometrelor, caracterizarea surselor LED, etalonarea instrumentelor și trasabilitatea metrologică.

1. Standarde și documente normative de referință

Nr.	Referință bibliografică	Domeniul de aplicare
[1]	CIE 121:1996 – The Photometry and Goniophotometry of Luminaires	Metode de măsurare goniofotometrică a aparatelor de iluminat
[2]	CIE 70 – The Measurement of Absolute Luminous Intensity Distributions	Determinarea distribuției absolute a intensității luminoase
[3]	CIE 84 – The Measurement of Luminous Flux	Determinarea fluxului luminos

Nr.	Referință bibliografică	Domeniul de aplicare
[4]	CIE 69 – Methods of Characterizing Illuminance Meters and Luminance Meters	Caracterizarea luxmetrelor și luminanțmetrelor
[5]	CIE S 017 – International Lighting Vocabulary	Terminologia internațională în iluminat și fotometrie
[6]	EN 13032 – Light and lighting – Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires	Măsurarea și prezentarea datelor fotometrice
[7]	EN 13032-4 – Light and lighting – Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires – Part 4: LED lamps, modules and luminaires	Măsurarea parametrilor fotometrici ai produselor LED
[8]	ANSI/IES LM-63 – IES Standard File Format for the Electronic Transfer of Photometric Data	Structura și transferul fișierelor fotometrice IES
[9]	ISO/IEC 17025 – General requirements for the competence of testing and calibration laboratories	Competența laboratoarelor, etalonare și trasabilitate
[10]	BIPM – The International System of Units (SI Brochure)	Definirea unităților fotometrice și a candelei

Tabelul 3.9 – Standarde și documente normative de referință pentru capitolul 3

2. Referințe normative suplimentare

În documentul privind instrumentele de măsură sunt menționate și următoarele standarde:

[11] CIE S 025/E:2015 – Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules. Referință pentru încercările fotometrice și colorimetrice ale produselor LED.

[12] IEC 60598 – Luminaires. Serie de standarde privind cerințele de siguranță ale aparatelor de iluminat.

[13] SR EN ISO/IEC 17025 – versiunea națională a standardului privind competența laboratoarelor de încercări și etalonări.

[14] ILAC G8 și ILAC G17 – documente de orientare privind regulile de decizie, raportarea și incertitudinea măsurării, în contextul acreditării laboratoarelor.

3. Producători de instrumente de măsură relevanți pentru laborator

Tabelul următor oferă o listă orientativă de producători și documentații oficiale care pot fi consultate la fundamentarea dotării laboratorului.

Linkurile trimit către paginile producătorilor sau către documentații tehnice specifice.

Instrument de măsură	Producător / documentație oficială
Goniofotometru fotometric	LISUN — Goniofotometre și ghidul ANSI/IES LM-75 https://www.lisungroup.com/standards/ansi-ies-lm-75-19.html
Sferă integratoare și spectroradiometru	Labsphere — Sisteme illumiaPlus2 https://www.labsphere.com/product/illumiaplus2-integrating-sphere-spectroradiometers/
Sferă integratoare și sisteme de testare LED	GL Optic — Sfere integratoare https://gloptic.com/products/integrating-spheres/
Sferă integratoare și spectroradiometru	LISUN — Sisteme de măsurare optică https://gl.lisungroup.com/produtos/esfera-integradora/
Luxmetru etalonat	Konica Minolta — Luxmetre https://sensing.konicaminolta.eu/mi-en/products/light-and-display-measurement/illuminance-meters
Luminanțmetru etalonat	Konica Minolta — Luminanțmetre https://sensing.konicaminolta.eu/mi-en/products/light-and-display-measurement/luminance-meters
Analizor de putere electrică	Yokogawa — Analizoare de putere https://tmi.yokogawa.com/solutions/products/power-analyzers/
Flickermetru pentru pâlpâirea luminii	Labsphere — Sisteme de măsurare a flickerului https://www.labsphere.com/product/flicker-test-accessory/

Instrument de măsură	Producător / documentație oficială
Senzori de temperatură și achiziție de date	Fluke — Sisteme de achiziție a datelor https://www.fluke.com/en/products/calibration-tools/data-acquisition-and-general-test/data-acquisition
Surse etalon, sfere și echipamente de calibrare optică	Labsphere — Surse și echipamente optice https://www.labsphere.com/
Instrumente de măsurare optică și calibrare	Gigahertz-Optik — Site oficial https://www.gigahertz-optik.com/en-us/

Tabelul 3.10 – Producători de instrumente de măsură relevanți pentru laborator

Pentru definirea caracteristicilor tehnice și a cerințelor de performanță ale instrumentelor utilizate la încercarea aparatelor de iluminat public au fost avute în vedere standardele și publicațiile de specialitate ale Comisiei Internaționale de Iluminat (CIE), standardele Comisiei Electrotehnice Internaționale (IEC), precum și documentațiile tehnice publicate de producătorii de echipamente de măsurare optică, fotometrică, electrică și termică.

Dintre producătorii relevanți pentru dotarea unui laborator de încercări putem să menționăm: LISUN, Labsphere, GL Optic, Konica Minolta, Yokogawa, Fluke și Gigahertz-Optik. Portofoliile acestora includ, în funcție de producător, goniofotometre, sfere integratoare, spectroradiometre, luxmetre, luminanțmetre, analizoare de putere, sisteme de măsurare a flickerului și echipamente pentru monitorizarea temperaturii.

Selectarea instrumentelor se va realiza pe baza specificațiilor tehnice, a domeniilor de măsurare, a incertitudinilor declarate, a compatibilității cu metodele de încercare aplicabile și a posibilității de asigurare a trasabilității metrologice. Pentru echipamentele utilizate în măsurări de referință se vor solicita documente de calibrare sau etalonare corespunzătoare și, după caz, dovezi privind competența laboratorului emitent, inclusiv acreditarea conform SR EN ISO/IEC 17025.

4. Corelarea bibliografiei cu documentele atașate

Document	Referințe prioritare
Instrumente de măsură specifice de laborator	CIE 121, CIE 69, CIE 84, CIE S 025, IEC 60598, ISO/IEC 17025
Metode de măsurare fotometrică – laborator	CIE 121, CIE 70, EN 13032, ANSI/IES LM-63
Documentația privind standardele fotometrice	CIE S 017, CIE 121, CIE 70, CIE 84, CIE 69, EN 13032, ISO/IEC 17025

Tabelul 3.11 – Corelarea bibliografiei cu secțiunile capitolului 3

4. Proiectarea sistemelor de iluminat destinate iluminatului public *[Păuț I., Tănasie A., Ichim G., Cozma S.]*

4.1. Calculul sistemelor de iluminat *[Păuț I.]*

Pentru o cale de circulație rutieră, sistemul de iluminat trebuie să îndeplinească simultan mai multe condiții:

1. **nivelul de iluminare/luminanță**;
2. **uniformitatea iluminării/luminanței**;
3. **limitarea orbirii**;
4. **iluminarea zonelor adiacente**, unde este relevant;
5. **eficiența energetică**;
6. **puterea instalată**;
7. **consumul anual**;
8. **funcționarea în regim normal și eventual adaptiv**;
9. **siguranța electrică și mecanică a instalației**.

Pentru drumurile destinate traficului auto, calculul se bazează frecvent pe **luminanța suprafeței carosabilului**, deoarece ceea ce percepe conducătorul auto este luminanța drumului, nu pur și simplu cantitatea de lumină incidentă. CIE 140 descrie metodologia de calcul și grilele de puncte utilizate pentru aceste verificări [2].

4.1.1. Schema generală a unui calcul

În practică, fluxul de proiectare este:

date drum → alegerea clasei de iluminat → alegerea aparatului de iluminat → geometria stâlpilor → calcul fotometric → verificarea criteriilor → optimizare → calcul electric → calcul energetic

Mai concret:

Pasul 1

Se determină:

- categoria străzii;
- viteza de circulație;
- volumul traficului;
- lățimea carosabilului;
- numărul de benzi;
- existența trotuarelor;
- piste de biciclete;
- parcări;
- intersecții;
- treceri de pietoni;
- zone conflictuale.

Pasul 2

Se determină **clasa de iluminat necesară**.

Pasul 3

Se aleg:

- aparatul de iluminat;
- fluxul luminos;
- puterea;

- distribuția fotometrică;
- temperatura de culoare;
- indicele de redare a culorilor;
- factorul de menținere.

Pasul 4

Se stabilește geometria:
- H = înălțimea de montaj;
- S = interdistanța dintre stâlpi;
- W = lățimea carosabilului;
- D = distanța corpului față de marginea carosabilului;
- unghiul brațului;
- lungimea consolei;
- înclinarea corpului.

Pasul 5

Se realizează calculul luminotehnic al sistemului de iluminat.

Pasul 6

Se verifică:

$$L_{av} \geq L_{min,\,cerut} U_o = \frac{L_{min}}{L_{av}} U_l = \frac{L_{min}}{L_{max}}$$

și criteriul de orbire.

Pasul 7

Se optimizează instalația.

Pasul 8

Se calculează partea electrică:
- putere;
- curent;
- secțiunea conductorului;
- căderea de tensiune;
- protecțiile;
- tabloul de iluminat;
- împământarea;
- protecția la supratensiuni.

Pasul 9

Se calculează consumul energetic.

4.1.2. Iluminare versus luminanță

Aceasta este una dintre cele mai importante distincții.

Iluminarea

Iluminarea se notează:

$$E$$

și se măsoară în:

$$[lx]$$

Definiția este:

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

unde:

- E= iluminarea;
- Φ= flux luminos;
- A= suprafața iluminată.

De exemplu, dacă pe o suprafață de 10 m² ajung 1.000 lm:

$$E = \frac{1000}{10} = 100\ lx$$

4.1.3. Luminanța

Luminanța se notează:

$$L$$

și se măsoară în:

$$cd/m^2$$

Pentru un drum, luminanța este foarte importantă deoarece caracterizează **strălucirea aparentă a suprafeței carosabile pentru observator**.

Într-o aproximație simplificată pentru o suprafață difuză:

$$L = \frac{\rho E}{\pi}$$

unde:

- L= luminanța;
- ρ= reflectanța;
- E= iluminarea;
- π= 3,14159.

CIE atrage însă atenția că suprafața reală a carosabilului nu este un reflector difuz ideal, iar luminanța drumului depinde de material, starea suprafeței, direcția de observare și poziția corpurilor de iluminat.

De aceea, pentru un **proiect serios de iluminat rutier**, nu este suficient să folosim:

$$L = \frac{\rho E}{\pi}$$

ci trebuie folosite datele fotometrice ale carosabilului și ale aparatului de iluminat.

4.1.4. Alegerea clasei de iluminat

Înainte să alegem LED-ul, trebuie să știm **ce performanță trebuie să obținem**.

CIE 115 utilizează clase precum [1]:

- **M** – trafic motorizat;
- **C** – zone conflictuale;
- **P** – pietoni și bicicliști.

Alegerea clasei ține de caracteristicile drumului și de sarcina vizuală. CIE 115 include și posibilitatea iluminatului adaptiv, în care nivelul de iluminare poate varia în funcție de trafic, vreme sau alte variabile [1].

În România, însă, pentru un proiect real trebuie verificată **ediția în vigoare a standardelor SR EN 13201 și cerințele/normativele naționale aplicabile proiectului**, nu trebuie copiate mecanic valori din CIE [4–8, 11].

4.1.5. Datele geometrice ale străzii

Să presupunem că avem:

- carosabil: 7 m;
- două benzi;
- lățimea unei benzi: 3,5 m;
- stâlpi: 10 m;
- corpul montat la 9 m;
- stâlpii aflați la 30 m unul de altul.

Avem:

$$W = 7\,m \quad H = 9\,m \quad S = 30\,m$$

Raportul fundamental este:

$$\frac{S}{H}$$

adică:

$$\frac{30}{9} = 3,33$$

Acest raport este extrem de important.

Dacă mărim foarte mult:

$$\frac{S}{H}$$

Aparatele de iluminat devin prea îndepărtate și iluminarea dintre stâlpi poate deveni insuficientă.Dacă micșorăm exagerat interdistanța, obținem o instalație performantă, dar cu:

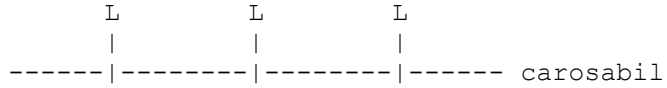
- prea mulți stâlpi;
- cost de investiție crescut;
- putere instalată mai mare;
- costuri de mentenanță mai mari.

Prin urmare, proiectarea este o **optimizare**, nu simpla maximizare a iluminării.

4.1.6. Tipul de dispunere

A. Unilaterală

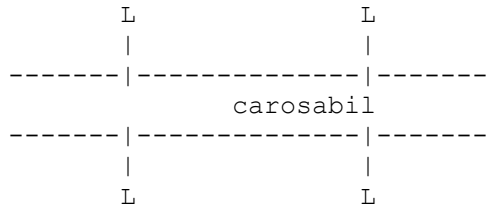
Stâlpii sunt pe aceeași parte:



Este simplă și foarte utilizată.

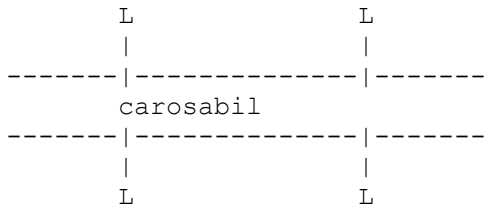
B. Alternată

Stâlpii sunt alternativ pe cele două părți:



Poate fi avantajoasă pentru anumite geometrii.

C. Față în față



Se utilizează frecvent la drumuri mai late.

D. Mediană

Aparatele de iluminat pot fi montate pe stâlpi amplasați în zona mediană. Această configurație trebuie analizată atent din punct de vedere fotometric și al siguranței.

4.1.7. Datele fotometrice ale aparatului echipat cu LED

Aici începe partea cu adevărat importantă. Un aparat de iluminat nu este caracterizat doar prin: „30.000 lumeni, 150 W”. Pentru calcul avem nevoie de **fișierul fotometric**, de regulă:

- .ldt;
- .ies;
- sau alt format compatibil cu programul de calcul.

Acesta conține distribuția intensității luminoase.

Practic, trebuie să știm:

$$I(C,\gamma)$$

unde:

- C= planul fotometric;
- γ= unghiul fotometric;
- I= intensitatea luminoasă în cd.

CIE subliniază importanța datelor fotometrice ale corpului pentru predicția performanței instalației.

4.1.8. Calculul iluminării într-un punct

Pentru o aproximare punctuală, iluminarea orizontală produsă de o sursă este:

$$E = \frac{I(\gamma)\cos^3\gamma}{H^2}$$

în forma simplificată pentru o suprafață orizontală, unde:

- $I(\gamma)$= intensitatea aparatului în direcția punctului;
- H= înălțimea corpului;
- γ= unghiul dintre verticală și direcția către punct.

O formă mai generală pornește de la:

$$E = \frac{I(\gamma)\cos\theta}{r^2}$$

unde:

- r= distanța sursă–punct;
- θ= unghiul dintre raza luminoasă și normala suprafeței.

Pentru un punct de pe carosabil, fiecare corp contribuie cu o anumită iluminare.

4.1.9. Principiul superpoziției

Dacă avem mai mulți stâlpi:

$$E_{total} = E_1 + E_2 + E_3 + \cdots + E_n$$

De exemplu:

$$E_1 = 5\ lx E_2 = 12\ lx E_3 = 7\ lx$$

atunci:

$$E_{total} = 24\ lx$$

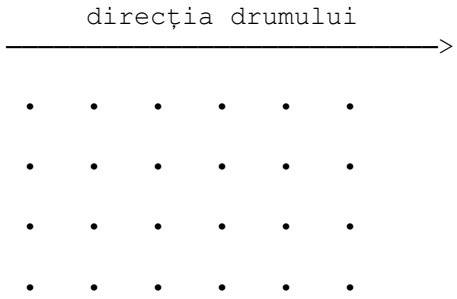
Acesta este principiul fundamental al calculului punct-cu-punct.

Pentru un proiect real se calculează iluminarea în **foarte multe puncte ale carosabilului**, nu doar într-un singur punct.

4.1.10. Grila de calcul

Se definește o grilă pe suprafața drumului.

De exemplu:



Pentru fiecare punct:

$$E_{ij} = \sum_k E_{ij,k}$$

unde:

- i, j identifică punctul din grilă;
- k identifică fiecare corp de iluminat.

Din toate punctele obținem:

$$E_{min},\quad E_{max}$$

și:

$$E_{avg}$$

CIE 140 tratează explicit convențiile privind grilele de calcul și calculul luminanței, iluminanței și uniformităților [2].

4.1.11. Iluminarea medie

Dacă avem $n$puncte:

$$E_{avg} = \frac{E_1 + E_2 + \cdots + E_n}{n}$$

De exemplu, pentru:

$$10,\ 12,\ 15,\ 14,\ 9$$

avem:

$$E_{avg} = \frac{10 + 12 + 15 + 14 + 9}{5} E_{avg} = 12\ lx$$

4.1.12. Uniformitatea generală

Una dintre cele mai importante mărimi:

$$U_o = \frac{E_{min}}{E_{avg}}$$

De exemplu:

$$E_{min} = 6\ lx E_{avg} = 12\ lx$$

atunci:

$$U_o = \frac{6}{12} = 0,50$$

sau:

$$U_o = 50\%$$

O instalație poate avea o iluminare medie foarte bună și totuși să fie necorespunzătoare dacă are zone întunecate.

4.1.13. Uniformitatea longitudinală

Pentru drumuri se urmărește și uniformitatea de-a lungul axei:

$$U_l = \frac{L_{min}}{L_{max}}$$

unde valorile sunt luate pe direcția de observare relevantă.

CIE descrie uniformitatea globală și uniformitatea longitudinală ca parametri esențiali ai calității iluminatului rutier.

4.1.14. De ce contează distribuția fotometrică?

Două corpuri pot avea:

- aceeași putere: 100 W;
- același flux: 15.000 lm;

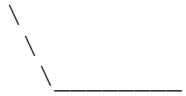
dar pot produce rezultate complet diferite.

Aparatul A

Trimite multă lumină aproape vertical:

Aparatul B

Trimite lumina mai departe:



Pentru o stradă, aparatul B poate fi mult mai potrivit.

De aceea **nu alegem aparatul după W sau lm**, ci după:

fotometrie + geometrie + criteriile de iluminat

4.1.15. Factorul de mentenanță

În timp, instalația nu mai produce performanța inițială. Apar:

- îmbătrânirea LED-urilor;
- murdărirea opticii;
- degradarea componentelor;
- deprecierea fluxului luminos.

Se introduce un **factor de mentenanță**:

$$MF$$

Într-o abordare simplificată:

$$E_{maint} = E_{initial} \times MF$$

Dacă:

$$E_{initial} = 30\ lx$$

și:

$$MF = 0,80$$

atunci:

$$E_{maint} = 30 \times 0,80 = 24\ lx$$

În proiectare trebuie verificat nivelul cerut **în condiția de întreținere relevantă**, nu doar imediat după montaj.

4.1.16. Exemplu conceptual complet

Să luăm o stradă ipotetică:

Geometrie

$$W = 7\ mH = 9\ mS = 30\ m$$

Dispunere:
unilaterală
Aparat:

$$P = 80\ W$$

Flux:

$$\Phi = 12.000\ lm$$

Factor de mentenanță:

$$MF = 0,80$$

Calculul energetic brut

Puterea unui aparat:

$$P = 80W$$

Dacă avem stâlpi la 30 m, pe 1 km:

$$N = \frac{1000}{30} \approx 33,33$$

Deci aproximativ:

$$34\ \text{aparate}/km$$

Puterea instalată:

$$P_{inst} = 34 \times 80P_{inst} = 2720W$$

sau:

$$2,72\ kW/km$$

Atenție: acesta este doar un calcul energetic preliminar. Nu înseamnă că soluția este corectă fotometric.

4.1.17. Consumul anual

Dacă instalația funcționează, de exemplu [8]:

$$t = 4.000h/an$$

atunci:

$$E_{an} = P_{inst} \times tE_{an} = 2,72 \times 4000E_{an} = 10.880\ kWh/an$$

Dacă există reducere de putere pe timp de noapte, calculul devine:

$$E_{an} = P_1 t_1 + P_2 t_2 + P_3 t_3 + \dots$$

De exemplu:

- 100% putere → 2.500 h;
- 70% putere → 1.000 h;
- 50% putere → 500 h.

Atunci:

$$E_{an} = P(2500,+,07 \times 1000 + 05 \times 500) E_{an} = P \times 3450$$

Deci controlul adaptiv poate reduce substanțial consumul.

CIE 115 menționează explicit posibilitatea iluminatului adaptiv pentru trafic motorizat, zone conflictuale și pietoni [1].

4.1.18. Calculul căderii de tensiune

După calculul fotometric vine partea electrică.

Pentru un circuit trifazat, aproximativ:

$$\Delta U = \sqrt{3}\, I\big(R \cos\varphi + X \sin\varphi\big) L$$

Pentru circuit monofazat:

$$\Delta U = 2I\big(R \cos\varphi + X \sin\varphi\big) L$$

unde:

- I= curentul;
- R= rezistența conductorului;
- X= reactanța;
- L= lungimea;
- $\cos\varphi$= factorul de putere.

Rezistența conductorului:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

unde:

- ρ= rezistivitatea;
- L= lungimea;
- S= secțiunea conductorului.

Pentru conductoare de cupru și aluminiu se folosesc valorile corespunzătoare materialului și temperaturii de calcul.

4.1.19. Curentul unui aparat LED

Într-o aproximație:

$$I = \frac{P}{U \cos\varphi}$$

Dacă avem:

$$P = 80WU = 230V \cos\varphi = 0,95$$

rezultă:

$$I = \frac{80}{230 \times 0,95} I \approx 0,366A$$

Dar în proiectare trebuie luate în considerare și:

- curenții de pornire;

- driverul LED;
- armonicile;
- protecția la supratensiuni;
- caracteristicile reale ale echipamentului.

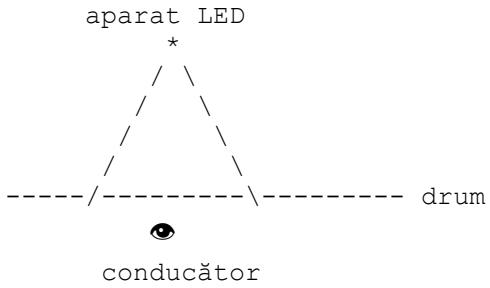
4.1.20. Orbirea

Nu este suficient ca strada să fie luminată. Dacă un corp trimite prea multă lumină către ochii conducătorului auto, poate produce **orbire**. CIE tratează separat:

- discomfort glare;
- disability glare.

Pentru iluminatul rutier se utilizează, între altele, **Threshold Increment – TI**.

Conceptual:



O distribuție fotometrică bună trebuie să trimită lumina:

pe drum, nu direct în ochii șoferului.

4.1.21. Iluminarea trotuarului

Dacă avem:

nu trebuie verificat doar carosabilul.

În funcție de categoria zonei și cerințele aplicabile, poate fi necesară verificarea:

- iluminării trotuarului;
- iluminării verticale;
- zonelor adiacente;
- pistelor de biciclete.

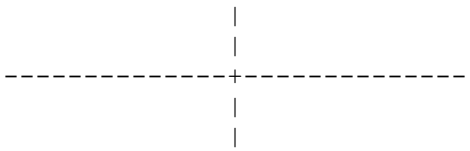
CIE 136 tratează separat iluminarea zonelor urbane, inclusiv drumuri rezidențiale, zone pietonale, piste de biciclete și aspecte de confort și mediu [3].

4.1.22. Intersecțiile

La intersecții nu putem pur și simplu continua aceeași geometrie. Trebuie analizate:

- zona conflictuală;
- direcțiile de circulație;
- trecerile de pietoni;
- semnalizarea;
- obstacolele;
- vizibilitatea.

Într-o intersecție:



pot exista cerințe de iluminare diferite față de tronsonul drept.

4.1.23. Trecerile de pietoni

Aici calculul devine și mai interesant. Trebuie analizată nu numai iluminarea orizontală, ci și **vizibilitatea pietonului**.

Contează:

- iluminarea verticală;
- direcția luminii;
- contrastul;
- poziția corpului;
- poziția conducătorului auto;
- fundalul.

Simpla montare a unui aparat foarte puternic exact deasupra trecerii nu garantează vizibilitatea optimă.

4.1.24. Calculul unui proiect real

Într-un proiect profesional, recomand să lucrăm cu următoarele date:

Date geometrice

Parametru	**Simbol**
Lățime carosabil	W
Număr benzi	n
Lățime bandă	b
Înălțime montaj	H
Interdistanță	S
Consolă	c
Retragere față de carosabil	d
Unghi montaj	α

Tabelul 4.1 – Datele geometrice ale proiectului

Date aparat

Parametru	**Simbol**
Putere	P
Flux	Φ
Eficiență	lm/W
CCT	K
CRI	Ra
Factor putere	cosφ
Protecție	IP
Rezistență mecanică	IK
Factor mentenanță	MF
Fișier fotometric	LDT/IES

Tabelul 4.2 – Datele aparatului de iluminat

Date drum

- trafic;
- viteza admisă;
- tip carosabil;
- reflectanța;
- stare suprafață;
- categorie drum;
- zone pietonale;
- intersecții;
- treceri de pietoni.

4.1.25. Ce trebuie să iasă din programul de calcul

Un raport fotometric bun trebuie să permită verificarea unor valori precum [5, 6]:

$$L_{avg}L_{min}L_{max}U_oU_lTI$$

și, unde este cazul:

$$E_{avg}E_{min}E_{max}U_E$$

plus distribuția grafică a valorilor.

CIE 140:2019 a actualizat inclusiv tratamentul intensităților luminoase pentru corpuri LED și metoda de calcul a threshold increment [2].

4.1.26. Un lucru foarte important: calculul „manual" versus software

Pentru înțelegerea principiului putem calcula manual. Dar pentru un proiect real, metoda corectă este:

model geometric + fișier fotometric real + calcul pe grilă + verificarea criteriilor normative.

CIE chiar precizează că metodele de calcul pentru proiectarea iluminatului rutier necesită, în forma lor completă, utilizarea calculatorului, iar metodele simplificate sunt mai degrabă utile în etapele preliminare.

Programe uzuale pot calcula:

- DIALux;
- Relux;
- Calculux
- alte programe specializate.

Important este ca **fișierul fotometric și geometria introduse să fie corecte**. Un raport frumos generat de software nu repară datele de intrare greșite.

4.1.27. Ordinea corectă de optimizare

Eu aș aborda un proiect astfel:

Etapa 1 – cerința

Stabilim:

Clasa de iluminat

Etapa 2 – geometria

Alegem:

$$H,\ S,\ d,\ c, \alpha$$

Etapa 3 – aparatul

Alegem distribuția:

$$I(C,\gamma)$$

Etapa 4 – calculul

Calculăm:

$$L/E$$

în toate punctele.

Etapa 5 – verificarea

Verificăm:

$$L_{avg} U_o U_l TI$$

etc.

Etapa 6 – optimizare

Variem:

$$S$$

$$H$$

$$P$$

și distribuția fotometrică.

Etapa 7 – electric

Calculăm:

$$I,\ \Delta U,\ S_{cablu},\ P_{inst}$$

Etapa 8 – energetic

Calculăm:

$$kWh/an$$

și eventual:

$$lei/an$$

4.1.28. Formula fundamentală a proiectării

În esență, problema poate fi privită ca o optimizare:

$$\boxed{\text{Minimizează costul/energia}}$$

cu condițiile:

$$L_{avg} \geq L_{req} U_o \geq U_{o,req} U_l \geq U_{l,req} TI \leq TI_{max}$$

și celelalte cerințe aplicabile.

Adică nu vrem:

cât mai multă lumină

ci: **exact câtă lumină este necesară, distribuită cât mai uniform, cu orbire controlată și consum minim.**

4.2. Evaluarea calitativă a distribuției luminanțelor *[Păuț I.]*

4.2.1. Introducere și definiție

Evaluarea calitativă a distribuției luminanțelor în iluminatul public reprezintă analiza modului în care luminanța este repartizată pe suprafața carosabilului, pe trotuare și în câmpul vizual al utilizatorilor drumului, în condiții de iluminare nocturnă.

Luminanța este mărimea fotometrică ce caracterizează lumina emisă, reflectată sau transmisă de o suprafață în direcția observatorului. Aceasta determină, în mare măsură, cât de luminoasă pare o suprafață pentru conducătorul auto sau pentru pieton.

Se notează cu L și se măsoară în candele pe metru pătrat (cd/m^2).

În iluminatul rutier, distribuția luminanțelor este importantă deoarece influențează:

- vizibilitatea obstacolelor, a pietonilor și a marcajelor rutiere;
- capacitatea de identificare a obiectelor și a pericolelor;
- confortul vizual al participanților la trafic;
- adaptarea ochiului la diferențele de luminozitate;
- siguranța circulației pe timp de noapte.

Evaluarea calitativă nu urmărește numai dacă drumul este suficient de luminos, ci și dacă luminozitatea este distribuită uniform, fără zone excesiv de luminoase sau prea întunecate și fără surse de orbire.

4.2.2. Principiul fizic al luminanței

Luminanța unei suprafețe depinde de iluminarea acesteia, de proprietățile de reflexie ale materialului și de direcția din care este privită.

În cazul unei suprafețe difuzante ideale, luminanța poate fi exprimată prin relația:

$$L = \frac{\rho E}{\pi}$$

unde:

- L = luminanța suprafeței, în $\mathrm{cd/m^2}$;
- ρ = coeficientul de reflexie al suprafeței;
- E = iluminarea suprafeței, în lux.

Această relație este valabilă pentru o suprafață lambertiană ideală (suprafață perfect difuză). În practică, carosabilul nu reflectă lumina perfect difuz, ci prezintă proprietăți de reflexie direcțională. Prin urmare, luminanța observată depinde și de poziția aparatului de iluminat, de poziția observatorului și de caracteristicile suprafeței rutiere.

De exemplu, două porțiuni de drum iluminate cu aceeași valoare a iluminării pot avea luminanțe diferite dacă materialele din care sunt realizate reflectă lumina în mod diferit.

4.2.3. Criterii de evaluare calitativă a distribuției luminanțelor

Evaluarea se realizează prin analizarea mai multor criterii fotometrice și vizuale.

4.2.3.1. Uniformitatea luminanței

Uniformitatea exprimă gradul în care luminanța este distribuită în mod echilibrat pe suprafața carosabilului.

O distribuție uniformă permite conducătorului auto să observe mai ușor obstacolele și să evite adaptările vizuale repetate între zone foarte luminoase și zone întunecate.

Se disting două forme principale:

- Uniformitatea generală – caracterizează variația luminanței pe întreaga suprafață de evaluare.
- Uniformitatea longitudinală – caracterizează variația luminanței de-a lungul direcției de deplasare, pe o bandă de circulație.

Uniformitatea generală se exprimă, de regulă, prin raportul [2]:

$$U_o = \frac{L_{\min}}{L_{\mathrm{med}}}$$

unde $L_{\min}$ este luminanța minimă, iar L_{med} este luminanța medie a carosabilului.

Uniformitatea longitudinală se exprimă prin:

$$U_l = \frac{L_{\text{min,long}}}{L_{\text{max,long}}}$$

unde valorile minime și maxime sunt determinate de-a lungul liniei de observare analizate.

Valorile necesare ale acestor indicatori depind de clasa de iluminat și de condițiile de evaluare. O uniformitate redusă poate produce alternanțe deranjante între porțiunile luminoase și cele întunecate ale drumului.

4.2.3.2. Contrastul luminanțelor

Contrastul reprezintă diferența de luminanță dintre un obiect și fondul pe care acesta este observat.

De exemplu, un pieton îmbrăcat în haine închise la culoare poate fi dificil de observat pe un fundal întunecat, chiar dacă drumul este iluminat.

Contrastul de luminanță poate fi exprimat prin:

$$C = \frac{L_o - L_f}{L_f}$$

unde:

- L_o = luminanța obiectului;
- L_f = luminanța fondului.

Un contrast pozitiv indică un obiect mai luminos decât fondul, iar unul negativ indică un obiect mai întunecat decât acesta.

În iluminatul public, contrastul depinde de iluminarea obiectului, proprietățile sale de reflexie, poziția observatorului și distribuția luminii în mediul înconjurător. Un contrast suficient facilitează detectarea obiectelor, însă efectul său trebuie analizat împreună cu dimensiunea obiectului, distanța de observare și timpul disponibil pentru reacție.

4.2.3.3. Orbirea produsă de sistemul de iluminat

Orbirea apare atunci când sursele luminoase sau diferențele excesive de luminanță din câmpul vizual afectează capacitatea de observare ori confortul vizual.

În iluminatul public se analizează în principal:

- Orbirea de incapacitate – reduce capacitatea vizuală, de exemplu prin lumina parazită care se împrăștie în interiorul ochiului.
- Orbirea de disconfort – produce senzație de deranj vizual, chiar dacă nu determină neapărat o reducere măsurabilă a performanței vizuale.

Sursele de orbire pot fi aparatele de iluminat montate prea jos, unghiurile necorespunzătoare de instalare sau intensitățile luminoase ridicate în direcția observatorului.

În proiectarea iluminatului rutier, limitarea orbirii este esențială, deoarece aceasta poate întârzia identificarea pietonilor, a obstacolelor și a altor participanți la trafic.

4.2.3.4. Distribuția luminanțelor în câmpul vizual

Evaluarea nu trebuie să se limiteze la carosabil. Trebuie analizate și trotuarele, bordurile, fațadele, vegetația și celelalte suprafețe vizibile din zona drumului.

O distribuție echilibrată a luminanțelor în câmpul vizual ajută la identificarea reperelor și la orientarea vizuală. Diferențele foarte mari între luminanța carosabilului și cea a suprafețelor învecinate pot reduce confortul vizual.

Trebuie evitate:

- petele luminoase intense sub aparatele de iluminat;
- zonele întunecate dintre stâlpi;
- tranzițiile bruște între sectoarele iluminate și cele ne iluminate;
- reflexiile deranjante pe carosabilul umed;
- suprafețele excesiv de luminoase care distrag atenția.

Figura 4.1 – Exemplu ilustrativ: distribuție uniformă a luminanțelor pe carosabil

Figura 4.2 – Exemplu ilustrativ: distribuție neuniformă a luminanțelor

Figura 4.3 – Exemplu ilustrativ: reflexii pe carosabil umed

Exemple ilustrative: distribuție uniformă, distribuție neuniformă și reflexii pe carosabil umed.

4.2.3.5. Adaptarea vizuală

Ochiul uman are nevoie de timp pentru a se adapta la schimbările de luminanță. Dacă un conducător auto trece de la o zonă foarte luminoasă la una întunecată, capacitatea sa de identificare a obiectelor poate scădea temporar.

În consecință, evaluarea calitativă trebuie să urmărească:

- continuitatea iluminării pe traseu;
- evitarea diferențelor bruște de luminanță;
- iluminarea adecvată a intersecțiilor și trecerilor pentru pietoni;
- reducerea efectelor produse de farurile vehiculelor și de sursele luminoase din apropiere.

4.2.4. Metode de evaluare a distribuției luminanțelor

Evaluarea poate fi realizată prin metode vizuale, măsurări fotometrice și simulări computerizate.

Figura 4.4 – Măsurarea distribuției luminanțelor prin imagini calibrate

4.2.4.1. Evaluarea vizuală

Se realizează prin observarea drumului din poziții reprezentative pentru utilizatorii acestuia. Se identifică zonele prea întunecate, petele luminoase, sursele de orbire și eventualele reflexii deranjante. Metoda este utilă pentru o inspecție preliminară, dar nu înlocuiește măsurătorile cantitative.

Figura 4.5 – Cameră de măsurare a luminanței (luminanțmetru imagistic)

4.2.4.2. Măsurarea luminanței

Se utilizează un luminanțmetru sau un sistem de măsurare a luminanței prin imagini calibrate. Măsurările se efectuează din poziții de observare definite și în condiții controlate, pentru a determina luminanța medie, minimă și distribuția acesteia pe carosabil [7].

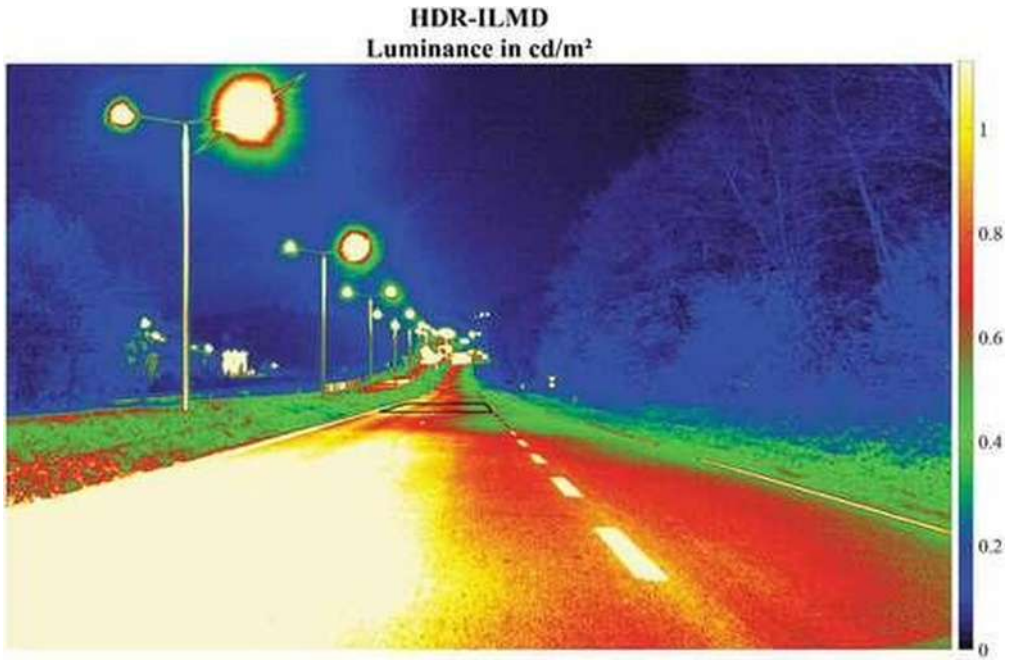


Figura 4.6 – Grilă de calcul în perspectivă pentru evaluarea luminanței carosabilului

4.2.4.3. Simularea fotometrică

Se utilizează programe de calcul specializate pentru modelarea aparatelor de iluminat, a geometriei drumului și a proprietăților de reflexie ale carosabilului. Rezultatele pot fi prezentate prin hărți de luminanță, curbe izoluminanță și valori calculate în puncte de evaluare.

Pentru rezultate corecte, trebuie cunoscute geometria instalației, înălțimea și distanța dintre stâlpi, caracteristicile fotometrice ale aparatelor de iluminat, tipul carosabilului și condițiile de observare.

4.2.5. Factori care influențează distribuția luminanțelor

Factor	Influența asupra distribuției
Înălțimea stâlpilor	Modifică extinderea și repartizarea luminii pe carosabil.
Distanța dintre stâlpi	Poate produce alternanțe între zone luminoase și întunecate.
Optica aparatului de iluminat	Determină distribuția intensității luminoase în diferite direcții.
Tipul și starea carosabilului	Influențează reflexia luminii și luminanța observată.
Puterea și fluxul luminos	Influențează nivelul de iluminare, fără a garanta singure uniformitatea.
Înclinarea corpului de iluminat	Poate modifica distribuția luminii și riscul de orbire.
Condițiile meteorologice	Ploaia și carosabilul umed pot modifica reflexiile și pot crea zone de luminanță ridicată.
Îmbătrânirea instalației	Depunerile, degradarea opticii și schimbările de performanță pot modifica distribuția în timp.

Tabelul 4.3 – Factorii care influențează distribuția luminanțelor

4.2.6. Standarde și criterii tehnice de referință

În evaluarea iluminatului public rutier sunt relevante standardele din seria EN 13201, în special [4–8]:

- EN 13201-2 – cerințe de performanță pentru clasele de iluminat [5];
- EN 13201-3 – calculul performanțelor de iluminat [6];

- EN 13201-4 – metode de măsurare a performanțelor de iluminat [7];
- EN 13201-5 – indicatori de performanță energetică [8].

4.2.7. Concluzii

Evaluarea calitativă a distribuției luminanțelor constituie o etapă importantă în proiectarea, verificarea și modernizarea instalațiilor de iluminat public. Calitatea iluminatului nu este determinată exclusiv de cantitatea de lumină furnizată, ci și de modul în care aceasta este distribuită și percepută de utilizatori. O instalație corespunzătoare trebuie să asigure o distribuție echilibrată a luminanțelor, uniformitate adecvată, contraste suficiente pentru identificarea obiectelor și limitarea orbirii. Analiza vizuală, măsurările fotometrice și simulările computerizate se completează reciproc pentru a identifica deficiențele și a stabili măsurile de îmbunătățire.

4.3. Proiectarea sistemelor de iluminat destinate căilor de circulație rutieră *[Păuț I.]*

4.3.1. Introducere

Iluminatul căilor de circulație rutieră reprezintă o componentă importantă a infrastructurii urbane și rutiere, având ca scop principal asigurarea unor **condiții corespunzătoare de vizibilitate și siguranță** pentru participanții la trafic pe timpul nopții sau în condiții de vizibilitate redusă.

Un sistem de iluminat rutier bine proiectat trebuie să permită conducătorilor auto:

- identificarea din timp a traseului;
- observarea obstacolelor și a altor participanți la trafic;
- aprecierea corectă a distanțelor;
- perceperea schimbărilor de direcție;
- identificarea intersecțiilor, trecerilor de pietoni și a altor puncte speciale;
- menținerea unei viteze și a unei traiectorii corespunzătoare condițiilor de drum.

În același timp, iluminatul trebuie să răspundă și necesităților pietonilor și bicicliștilor, în special în zonele urbane.

Proiectarea nu urmărește pur și simplu obținerea unei anumite cantități de lumină. Un sistem performant trebuie să asigure **distribuția corectă a luminii în spațiu**, limitarea fenomenului de orbire, uniformitate suficientă și un consum energetic cât mai redus

4.3.2. Scopul iluminatului rutier

Scopul fundamental al iluminatului rutier este **crearea unui mediu vizual care permite participanților la trafic să perceapă corect și în timp util elementele relevante ale drumului**. În timpul zilei, iluminarea naturală este suficientă pentru realizarea acestui obiectiv. Noaptea însă, contrastul dintre obiectele aflate pe carosabil și fundalul acestora poate deveni insuficient. Prin instalarea unui sistem de iluminat artificial se urmărește:

a) Creșterea siguranței circulației

Iluminatul permite identificarea:

- autovehiculelor;
- pietonilor;
- bicicliștilor;
- obstacolelor;
- bordurilor;
- insulelor de separare;
- indicatoarelor;
- curbelor;
- intersecțiilor.

b) Creșterea confortului vizual

Un sistem de iluminat neuniform sau excesiv poate produce:

- oboseală vizuală;
- orbire;
- dificultăți de adaptare vizuală;
- reducerea capacității de identificare a obstacolelor.

Prin urmare, trebuie urmărit un echilibru între nivelul de iluminare și calitatea distribuției luminii.

c) Reducerea riscului de accidente

O iluminare adecvată contribuie la identificarea mai rapidă a situațiilor periculoase și la creșterea timpului disponibil pentru reacția conducătorului auto.

d) Orientarea participanților la trafic

Iluminatul contribuie la perceperea configurației drumului și la identificarea punctelor de interes.

e) Creșterea securității în spațiul public

În zonele urbane, iluminatul stradal are și rolul de a îmbunătăți percepția vizuală a spațiului și sentimentul de siguranță al pietonilor.

4.3.3. Particularitățile iluminatului rutier

Sistemele de iluminat rutier diferă de sistemele utilizate în interiorul clădirilor sau în spațiile industriale. Într-o încăpere, suprafețele sunt relativ apropiate de sursele de lumină, iar geometria este bine definită.

În cazul unei șosele:

- suprafața iluminată este foarte extinsă;
- observatorul este în mișcare;
- poziția observatorului se modifică permanent;
- condițiile atmosferice se modifică;
- carosabilul poate fi umed;
- proprietățile fotometrice ale carosabilului diferă;
- există surse de lumină concurente;
- viteza de deplasare este ridicată.

Aceste caracteristici fac ca proiectarea iluminatului rutier să fie o problemă complexă de **fotometrie, geometrie, electricitate, siguranță rutieră și eficiență energetică**.

4.3.4. Clasificarea căilor de circulație

Înainte de dimensionarea instalației de iluminat trebuie stabilită categoria drumului [1, 4]. În funcție de caracteristicile traficului, putem întâlni:

- autostrăzi;
- drumuri expres;
- drumuri naționale;
- drumuri județene;
- drumuri comunale;
- străzi urbane;
- artere principale;
- artere secundare;
- străzi rezidențiale;
- zone pietonale;

- piste pentru biciclete;
- pasaje;
- tuneluri;
- intersecții;
- sensuri giratorii;
- poduri.

Fiecare categorie poate avea cerințe diferite privind performanța iluminatului.

4.3.5. Parametrii fotometrici principali

Pentru proiectarea iluminatului rutier sunt importanți mai mulți parametri fotometrici.

4.3.5.1. Fluxul luminos

Fluxul luminos, notat de regulă cu:

$$\Phi$$

se măsoară în **lumeni (lm)**.

El reprezintă cantitatea de lumină emisă de o sursă în unitatea de timp, ponderată în funcție de sensibilitatea ochiului uman.

O lampă LED poate avea, de exemplu, un flux luminos de ordinul miilor sau zecilor de mii de lumeni, în funcție de puterea și configurația aparatului de iluminat.

4.3.5.2. Intensitatea luminoasă

Intensitatea luminoasă se notează:

$$I$$

și se măsoară în **candela (cd)**.

Relația fundamentală este:

$$I = d\Phi/d\Omega$$

unde:

- I– intensitatea luminoasă;
- $d\Phi$– fluxul luminos;
- $d\Omega$– unghiul solid.

În iluminatul rutier, distribuția intensității luminoase este extrem de importantă deoarece corpul de iluminat trebuie să trimită lumina predominant către zona utilă a carosabilului.

4.3.5.3. Iluminarea

Iluminarea este una dintre mărimile fotometrice fundamentale.

Se notează:

$$E$$

și se măsoară în **lux (lx)**.

Definiția este:

$$E = \Phi/A$$

unde:

- E– iluminarea;
- Φ– fluxul luminos incident;
- A– suprafața iluminată.

Un lux reprezintă un lumen distribuit pe o suprafață de un metru pătrat:

$$1"" \ lx = 1"" \ lm/m\text{^}2$$

În proiectarea rutieră se poate utiliza iluminarea medie, minimă și maximă.

4.3.5.4. Luminanța

Pentru iluminatul rutier, **luminanța carosabilului** este adesea mai relevantă decât simpla iluminare.

Luminanța se notează:

$$L$$

și se măsoară în:

$$cd/m^2$$

Ea descrie, simplificat, cât de „luminoasă” apare o suprafață pentru observator. Acest aspect este foarte important deoarece conducătorul auto nu „vede luxul”, ci percepe lumina reflectată de carosabil și de obiectele din jur.

În consecință, proprietățile de reflexie ale carosabilului influențează direct rezultatul.

4.3.5.5. Uniformitatea iluminării/luminanței

Nu este suficient ca valoarea medie să fie corespunzătoare.

De exemplu, două drumuri pot avea aceeași iluminare medie:

$$E_med = 20"\ "\ lx$$

dar unul poate avea o distribuție uniformă, iar celălalt poate avea alternanțe puternice între zone foarte luminoase și zone întunecate.

Uniformitatea se poate exprima, în funcție de criteriul utilizat, prin raporturi de tipul:

$$U_0 = L_min/L_med$$

unde:

- L_min– luminanța minimă;
- L_med– luminanța medie.

Se pot analiza și uniformități longitudinale, de exemplu:

$$U_l = L_min/L_max$$

în cadrul unor criterii specifice.

Uniformitatea bună contribuie la reducerea zonelor întunecate și a efectului de „bandă” produs de succesiunea corpurilor de iluminat.

4.3.6. Orbirea

Unul dintre cele mai importante aspecte ale iluminatului rutier este controlul **orbirii**.

Orbirea poate apărea atunci când ochiul este expus unei luminanțe excesive sau unor surse de lumină aflate într-o poziție nefavorabilă în câmpul vizual. În iluminatul rutier trebuie evitate:

- vederea directă a LED-urilor;
- distribuțiile luminoase prea deschise;
- montarea necorespunzătoare a aparatelor;
- înclinarea excesivă a corpurilor;
- contrastul excesiv între zone;
- luminanțele foarte mari în câmpul vizual.

Orbirea este deosebit de periculoasă deoarece poate reduce capacitatea conducătorului auto de a identifica obstacolele.

4.3.7. Tipuri de aparate de iluminat rutier

În prezent, soluția predominantă pentru instalațiile noi și pentru modernizări este utilizarea aparatelor de iluminat cu LED.

Un aparat de iluminat rutier LED este alcătuit, în general, din:

- module LED;
- lentile optice;
- reflector, dacă este cazul;
- carcasă;
- radiator;
- driver electronic;
- dispozitive de protecție;
- sistem de fixare;
- elemente de etanșare.

Figura 4.7 – Aparat de iluminat rutier cu LED

Figura 4.8 – Aparat de iluminat rutier cu LED, montat pe stâlp

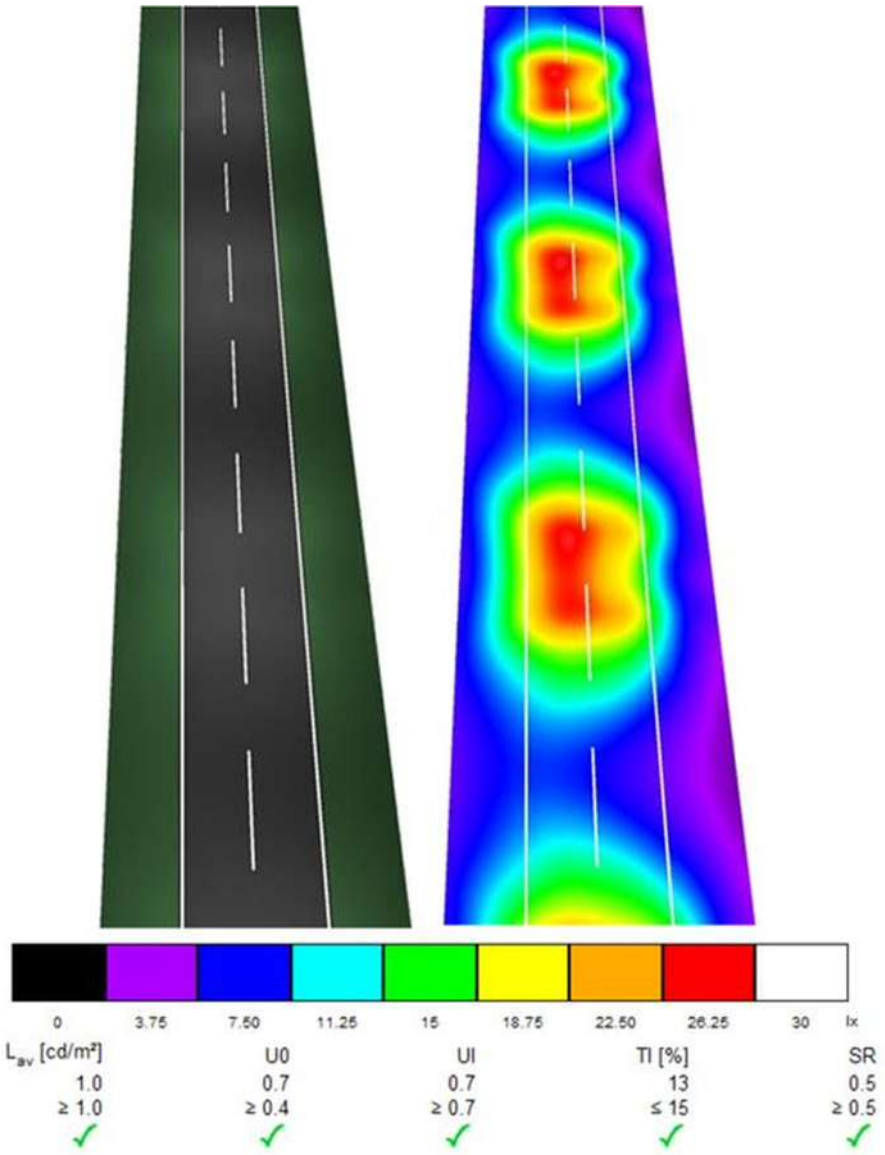


Figura 4.9 – Rezultatul unui calcul luminotehnic: distribuția luminanței în culori false și verificarea criteriilor

4.3.8. Avantajele tehnologiei LED

Comparativ cu soluțiile tradiționale, LED-ul prezintă numeroase avantaje:

Consum energetic redus

Puterea instalată poate fi semnificativ redusă pentru obținerea aceleiași performanțe fotometrice, dacă sistemul este proiectat corect.

Durată de viață ridicată

Sursele LED au o durată de funcționare mare, ceea ce reduce frecvența intervențiilor de mentenanță.
Aprindere instantanee: LED-urile nu necesită perioade semnificative de încălzire.

Posibilitate de reglare

Puterea poate fi controlată prin:

- dimming;
- control centralizat;
- programare pe intervale orare;
- senzori;
- sisteme inteligente de management.

Direcționarea precisă a luminii

Optica modernă permite distribuții luminoase adaptate geometriei drumului.

4.3.9. Geometria instalației de iluminat

Dimensionarea sistemului depinde puternic de geometria amplasării.
Parametrii principali sunt:

- lățimea carosabilului;
- numărul de benzi;
- înălțimea stâlpului;
- distanța dintre stâlpi;
- poziția laterală a stâlpului;
- lungimea brațului;
- unghiul de înclinare;
- retragerea față de bordură;
- tipul corpului de iluminat.

O configurație simplificată poate fi reprezentată astfel:

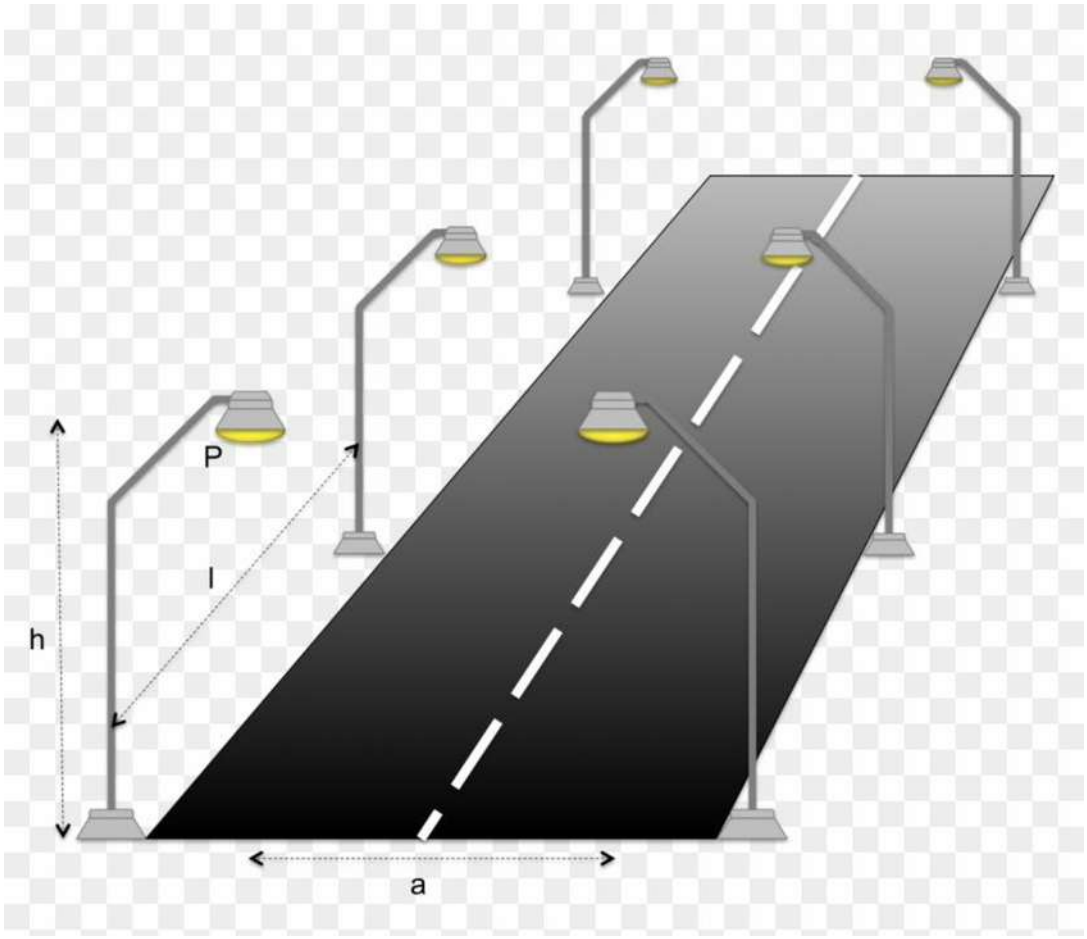


Figura 4.10 – Geometria instalației: înălțimea de montaj h și lățimea carosabilului a

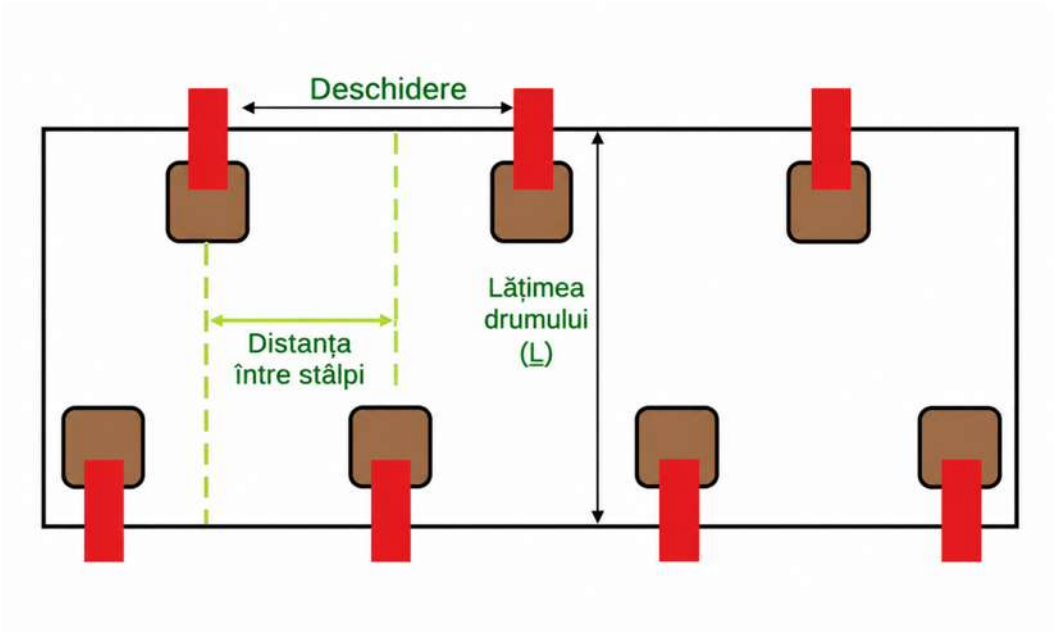


Figura 4.11 – Distanța dintre stâlpi și lățimea drumului, în vedere în plan

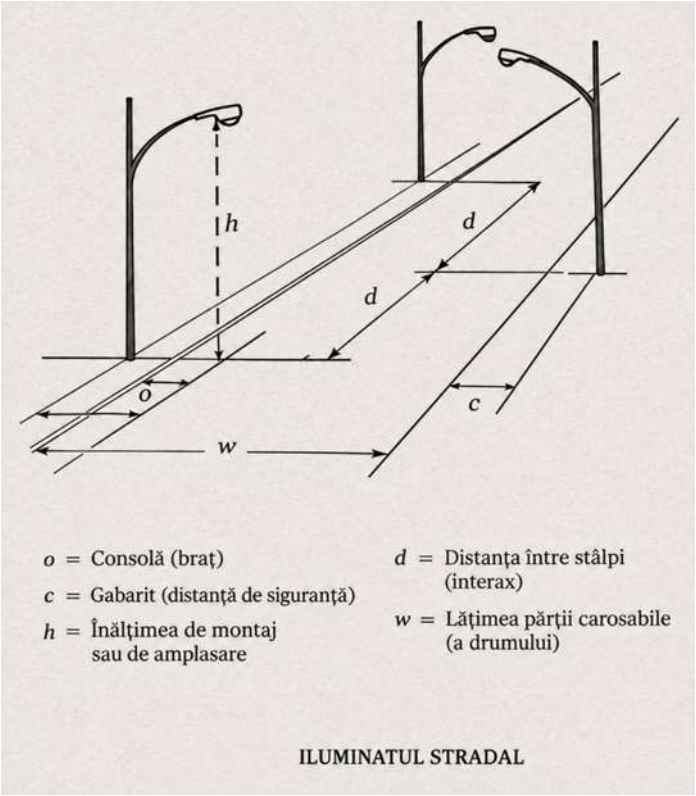


Figura 4.12 – Mărimile geometrice ale instalației: consola, retragerea, distanța dintre stâlpi, lățimea carosabilului, înălțimea de montaj

4.3.10. Înălțimea de montaj

Înălțimea de montaj reprezintă distanța verticală dintre suprafața carosabilului și centrul fotometric al aparatului de iluminat.

În practică pot fi întâlnite valori de ordinul:

- 6–8 m pentru străzi secundare;
- 8–12 m pentru străzi urbane;
- 10–15 m sau mai mult pentru artere importante.

Valorile efective trebuie stabilite în funcție de:

- lățimea drumului;
- distribuția fotometrică;
- clasa de iluminat;
- distanța dintre stâlpi;
- condițiile de orbire;
- caracteristicile arhitecturale;
- costul instalației.

Un stâlp prea jos poate produce o distribuție neuniformă și orbire mai mare, în timp ce un stâlp prea înalt poate necesita un flux luminos mai mare și poate crește costurile.

4.3.11. Distanța dintre stâlpi

Distanța dintre stâlpi este un parametru fundamental.

Dacă stâlpii sunt prea apropiați:

- crește numărul de aparate;
- crește puterea instalată;
- cresc costurile de investiție;
- cresc costurile de mentenanță.

Dacă sunt prea depărtați:

- uniformitatea scade;
- apar zone întunecate;
- pot apărea variații mari ale luminanței;
- se poate reduce confortul vizual.

4.3.12. Configurații de amplasare

Există mai multe variante uzuale.

A. Amplasare unilaterală

Toate corpurile sunt amplasate pe aceeași parte a drumului. Este o soluție simplă și economică. Este adecvată în special pentru drumuri relativ înguste.

B. Amplasare bilaterală opusă

Corpurile sunt montate alternativ sau față în față pe cele două laturi ale drumului. Avantajul este obținerea unei iluminări mai uniforme pentru drumurile mai late.

C. Amplasare bilaterală alternată

Corpurile de iluminat sunt dispuse în zig-zag. Poate permite obținerea unei distribuții corespunzătoare utilizând o geometrie mai flexibilă.

D. Amplasare centrală

Aparatele de iluminat sunt amplasate pe o mediană sau pe un stâlp central. Este utilizată în special pentru anumite artere cu sensuri separate.

4.3.13. Distribuția fotometrică

Un aparat de iluminat rutier nu emite aceeași cantitate de lumină în toate direcțiile. Distribuția fotometrică descrie modul în care intensitatea luminoasă este distribuită în spațiu. Pentru iluminatul rutier se urmărește ca lumina să fie:

- distribuită longitudinal pe direcția drumului;
- distribuită transversal pe lățimea carosabilului;
- limitată în direcțiile nedorite;
- controlată în zona de deasupra orizontului;

- suficient de uniformă.

Distribuția este descrisă prin curbe fotometrice și fișiere de calcul, cum ar fi fișierele de tip **IES** sau **LDT/EULUMDAT**.

Acestea pot fi importate în programe de calcul luminotehnic.

4.3.14. Calculul luminotehnic

În faza de proiectare se definește mai întâi geometria drumului [2, 6]. De exemplu:

- lățime: 8 m;
- două benzi;
- lungime analizată: 100 m;
- stâlpi: 10 m;
- distanță între stâlpi: 35 m;
- corp LED: 80 W.

Programul de calcul determină distribuția luminii pe o rețea de puncte. Se poate obține o matrice de forma:

Punct	Iluminare
P1	17 lx
P2	21 lx
P3	24 lx
P4	20 lx
P5	18 lx

Tabelul 4.4 – Matricea iluminărilor în punctele grilei de calcul

Din aceste valori se determină:

$$E_med = (\sum \square E_i\ )/n$$

precum și:

$$E_min$$

și:

$$E_max.$$

Apoi se verifică uniformitatea.

4.3.15. Factorii de mentenanță

În timp, performanța instalației scade. Motivele principale sunt:

- îmbătrânirea sursei LED;
- depunerea de praf;
- murdărirea opticii;
- degradarea materialelor;
- deteriorarea suprafețelor;
- modificarea proprietăților carosabilului.

Pentru acest motiv se introduce un **factor de mentenanță**. Într-o abordare simplificată:

$$E_(men"ţ"\ inut) = E_(ini"ţ"\ ial) \cdot MF$$

unde:

$$MF < 1.$$

De exemplu, dacă:

$$E_(ini"ţ"\ ial) = 30""\ lx$$

și:

$$MF = 0,80,$$

atunci:

$$E_(men"ţ"\ inut) = 30 \cdot 0,80 = 24"\ "\ lx.$$

Prin urmare, proiectarea trebuie realizată astfel încât performanța să rămână în limitele admise și după degradarea normală a instalației.

4.3.16. Influența carosabilului

Un element extrem de important este caracteristica suprafeței rutiere. Carosabilul nu este un reflector perfect difuz. O parte din lumină este reflectată diferit în funcție de:

- tipul asfaltului;
- granulație;
- culoare;
- gradul de uzură;
- umezeală;
- textura suprafeței.

Un carosabil umed poate modifica semnificativ distribuția luminii și poate produce reflexii deranjante. Din acest motiv, în proiectarea luminotehnică trebuie utilizate caracteristici fotometrice corespunzătoare suprafeței rutiere și metodologiei de calcul aplicabile.

4.3.17. Iluminatul în condiții de carosabil umed

Această situație este importantă deoarece ploaia poate modifica proprietățile de reflexie. Pe suprafața carosabilului se formează o peliculă de apă. Aceasta poate:

- modifica distribuția luminii reflectate;
- crește reflexiile;
- reduce contrastul;
- produce zone strălucitoare;
- afecta percepția marcajelor și obstacolelor.

Prin urmare, un sistem proiectat doar pentru condiții de carosabil uscat poate avea performanțe diferite în timpul ploilor.

4.3.18. Iluminatul intersecțiilor

Intersecțiile reprezintă zone critice. La o intersecție trebuie asigurată identificarea:

- vehiculelor care intră în intersecție;
- pietonilor;
- insulelor;
- semnelor;
- direcției de deplasare;
- schimbării geometriei drumului.

De multe ori este necesară o analiză separată față de tronsonul de drum. La proiectare trebuie analizate:

- intersecțiile în cruce;
- intersecțiile în T;
- sensurile giratorii;
- ramificațiile;
- bretelele;
- trecerile pentru pietoni.

4.3.19. Iluminatul trecerilor pentru pietoni

Trecerile de pietoni necesită o atenție specială. Obiectivul nu este doar iluminarea marcajului rutier, ci mai ales **vizibilitatea pietonului pentru conducătorul auto**.

În funcție de soluția adoptată, poate fi utilizat iluminat special conceput pentru trecerile de pietoni, cu distribuții fotometrice care favorizează iluminarea verticală a pietonului.

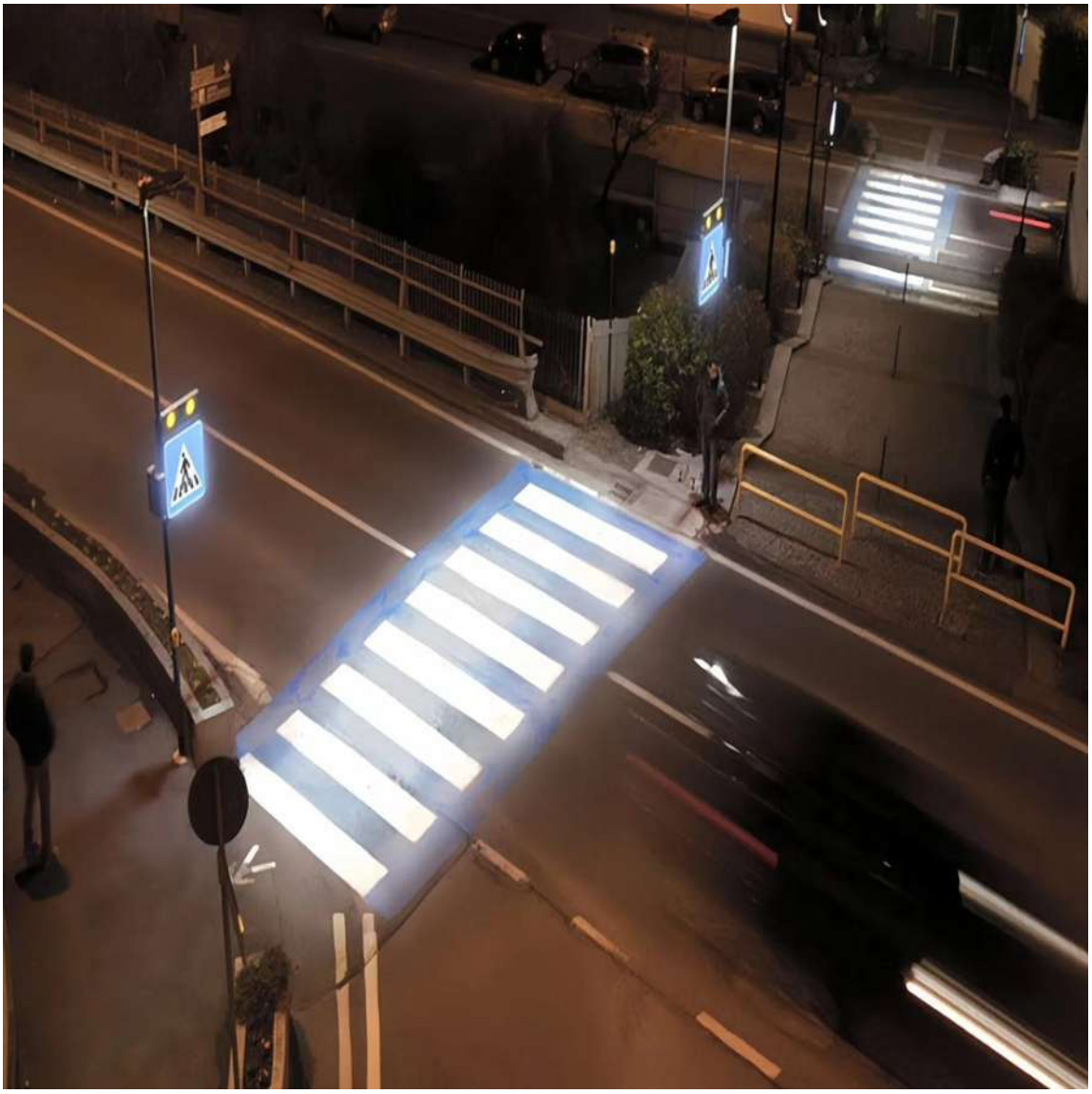


Figura 4.13 – Trecere de pietoni cu iluminat dedicat

Figura 4.14 – Trecere de pietoni iluminată, cu stâlpi amplasați înaintea trecerii

Figura 4.15 – Trecere de pietoni cu iluminat dedicat și indicatoare iluminate

Trebuie evitată amplasarea care produce orbire conducătorului auto.

4.3.20. Iluminatul curbelor

În curbe, geometria drumului se schimbă. Este important ca iluminatul să permită identificarea:

- schimbării direcției;
- marginii carosabilului;
- parapetelor;
- obstacolelor;
- altor vehicule.

În curbe strânse, simpla extrapolare a distanței dintre stâlpi de pe un tronson drept poate fi insuficientă.

4.3.21. Alimentarea electrică

Sistemul de iluminat rutier trebuie proiectat și din punct de vedere electric. Schema generală poate conține:

rețea de alimentare → punct de delimitare/alimentare → tablou de iluminat → protecții → circuit → aparate de iluminat.

Trebuie determinate:

- puterea instalată;
- curentul nominal;
- căderea de tensiune;
- secțiunea conductoarelor;
- protecția la scurtcircuit;
- protecția la suprasarcină;
- protecția împotriva atingerilor indirecte;
- continuitatea conductorului de protecție;
- împământarea;
- protecția la supratensiuni.

4.3.22. Determinarea puterii instalate

Dacă avem $n$corpuri de iluminat, fiecare cu puterea P_L, puterea totală este:

$$P_inst = n \cdot P_L$$

De exemplu, pentru:

$$n = 50$$

și:

$$P_L = 80"\ "\ W,$$

rezultă:

$$P_inst = 50 \cdot 80 = 4000"\ "\ W$$

sau:

$$P_inst = 4"\ "\ kW.$$

Într-un calcul real trebuie luat în considerare și consumul echipamentelor auxiliare/driverelor, după caz.

4.3.23. Consumul energetic

Dacă instalația funcționează $t$ore pe an [8]:

$$W = P \cdot t$$

De exemplu:

$$P = 4"\ "\ kW$$

și:

$$t = 4000"\ "\ h/an$$

atunci:

$$W = 4 \cdot 4000 = 16000"\ "\ kWh/an.$$

Prin utilizarea sistemelor de telegestiune și reducerea fluxului luminos în anumite intervale, consumul poate fi diminuat.

4.3.24. Telegestiunea iluminatului

Sistemele moderne permit controlul individual sau pe grup al aparatelor. Funcțiile pot include:

- pornire/oprire;
- reducerea fluxului luminos;
- monitorizarea consumului;
- identificarea defectelor;
- transmiterea alarmelor;
- programarea scenariilor;
- monitorizarea parametrilor electrici.

Un exemplu de strategie este:

seara: 100% flux;

noaptea: 70–80%;

în intervalul cu trafic foarte redus: 50–60%.

Valorile efective trebuie stabilite în funcție de cerințele de performanță și de reglementările aplicabile.

4.3.25. Eficiența energetică

Un sistem eficient nu înseamnă neapărat utilizarea celui mai mic corp de iluminat posibil. Obiectivul este:

$$"performanţ"\ \ "a"\ ⊥^{\smile}\ "luminotehnic"\ \ "a"\ ⊥^{\smile}\ "cerut"\ \ "a"\ ⊥^{\smile}$$

cu un

$$"consum\ energetic\ minim\ rezonabil".$$

Un indicator simplu este:

$$\eta = \Phi / P$$

unde:

- η– eficacitatea luminoasă;
- Φ– fluxul luminos;
- P– puterea electrică.

Unitatea este:

$$lm/W.$$

Totuși, pentru un sistem rutier trebuie evaluat întregul sistem, nu doar eficiența sursei.

4.3.26. Poluarea luminoasă

Iluminatul rutier poate contribui la poluarea luminoasă dacă lumina este emisă inutil către:

- cer;
- fațade;
- proprietăți private;
- ferestre;
- zone care nu necesită iluminare.

Un proiect modern trebuie să limiteze lumina emisă în direcții nedorite.

Se urmărește:

- reducerea luminii deasupra orizontului;

- controlul fluxului luminos;
- alegerea opticii corespunzătoare;
- utilizarea unor aparate bine ecranate.

4.3.27. Temperatura de culoare

LED-urile pot avea diferite temperaturi de culoare corelate, exprimate în Kelvin.

Exemple:

- 2200 K – lumină foarte caldă;
- 2700 K – caldă;
- 3000 K – alb cald;
- 4000 K – alb neutru;
- 5000–6500 K – alb rece.

Pentru iluminatul rutier modern, alegerea temperaturii de culoare trebuie făcută în funcție de:

- mediul urban;
- cerințele vizuale;
- confort;
- impactul asupra mediului;
- cerințele beneficiarului;
- reglementările locale.

Nu este corect să se considere că o temperatură de culoare mai mare este automat „mai bună”.

4.3.28. Indicele de redare a culorilor

Indicele de redare a culorilor, CRI sau R_a, caracterizează capacitatea sursei de a reda culorile comparativ cu o sursă de referință.

În iluminatul rutier poate fi important pentru:

- identificarea pietonilor;
- recunoașterea obiectelor;
- camere de supraveghere;
- percepția mediului urban.

Totuși, CRI nu trebuie analizat separat de celelalte caracteristici ale sursei.

4.3.29. Protecția mecanică și climatică

Aparatele de iluminat sunt expuse:

- ploii;
- zăpezii;
- prafului;
- înghețului;
- radiației UV;
- variațiilor de temperatură;
- vibrațiilor;
- poluanților atmosferici.

Din acest motiv, aparatele trebuie selectate în funcție de gradul adecvat de protecție la pătrunderea corpurilor solide și a apei. De asemenea, trebuie analizată rezistența mecanică și compatibilitatea cu mediul de instalare.

4.3.30. Protecția la supratensiuni

Aparatele LED conțin componente electronice sensibile. Rețeaua de iluminat poate fi afectată de:

- descărcări atmosferice;

- comutații;
- supratensiuni tranzitorii;
- perturbații din rețea.

Din acest motiv se utilizează dispozitive de protecție la supratensiuni, dimensionate corespunzător instalației. Protecția trebuie analizată la nivelul:

- tabloului;
- circuitului;
- aparatului de iluminat.

4.3.31. Stâlpii de iluminat

Stâlpii pot fi executați din:

- oțel;
- aluminiu;
- beton;
- materiale compozite.

Pentru stâlpii metalici se verifică:

- rezistența mecanică;
- stabilitatea;
- acțiunea vântului;
- masa aparatului;
- suprafața expusă;
- brațul;
- fundația;
- coroziunea.

4.3.32. Fundațiile

Stâlpul trebuie fixat într-o fundație dimensionată corespunzător. Fundația trebuie să reziste la:

- greutatea proprie;
- greutatea aparatului;
- acțiunea vântului;
- momentele de încovoiere;
- solicitările dinamice;
- condițiile geotehnice.

Dimensionarea fundației nu trebuie făcută doar după o regulă aproximativă; trebuie luate în considerare caracteristicile reale ale terenului și solicitările mecanice.

4.3.33. Cablurile și conductoarele

Pentru alimentare pot fi utilizate cabluri montate:

- subteran;
- în tuburi de protecție;
- în canale;
- în anumite situații, aerian.

La alegerea secțiunii conductorului trebuie verificate simultan:

1. capacitatea de transport a curentului;
2. protecția la scurtcircuit;
3. căderea de tensiune;
4. condițiile de pozare;
5. temperatura;

6. gruparea cablurilor;
7. rezistența mecanică;
8. cerințele de protecție.

4.3.34. Căderea de tensiune

Pentru un circuit monofazat, într-o aproximare simplificată:

$$\Delta U = 2I\rho \ L/S$$

unde:

- I– curentul;
- ρ– rezistivitatea conductorului;
- L– lungimea traseului;
- S– secțiunea conductorului.

Pentru circuite trifazate relația este diferită. Căderea de tensiune trebuie menținută în limitele admise de standardele și prescripțiile aplicabile.

4.3.35. Comanda iluminatului

Comanda poate fi:

Manuală: Operatorul pornește/oprește instalația.

Automatizată, utilizează:

- fotocelule;
- ceasuri astronomice;
- relee programabile.

Inteligentă

Utilizează sisteme de telegestiune și comunicații. Una dintre cele mai eficiente soluții pentru iluminatul public este utilizarea unui **ceas astronomic**, deoarece momentul de răsărit și apus variază de-a lungul anului.

4.3.36. Ciclul zilnic de funcționare

Un sistem modern poate avea mai multe scenarii. xemplu:

Interval	Nivel flux
Apus – 22:00	100%
22:00 – 00:00	80%
00:00 – 05:00	60%
05:00 – răsărit	80–100%

Tabelul 4.5 – Exemplu de reducere a fluxului luminos pe intervale orare

Aceste procente sunt **exemplificative**, nu valori universale. Orice reducere a fluxului trebuie verificată astfel încât cerințele de iluminare și siguranță să rămână îndeplinite.

4.3.37. Software pentru proiectarea iluminatului

Proiectarea modernă se realizează cu ajutorul programelor de calcul luminotehnic. Unul dintre programele utilizate în domeniu este DIALux evo.

Acesta permite:

- definirea geometriei drumului;
- introducerea stâlpilor;
- introducerea aparatelor;
- importarea fișierelor fotometrice;
- calcularea iluminării;

- calcularea luminanței;
- verificarea uniformității;
- simularea diferitelor variante;
- generarea documentației.

Alte programe pot fi utilizate în funcție de producător și de metodologia de proiectare.

4.3.38. Etapele proiectării

Proiectarea unui sistem de iluminat rutier poate fi structurată astfel:

Etapa 1 – Colectarea datelor

Se stabilesc:
- lungimea drumului;
- lățimea;
- numărul de benzi;
- viteza de circulație;
- traficul;
- configurația geometrică;
- intersecțiile;
- trecerile de pietoni;
- zonele speciale.

Etapa 2 – Stabilirea clasei de iluminat

Se determină cerințele luminotehnice aplicabile.

Etapa 3 – Alegerea tehnologiei

Se selectează:
- tipul aparatului de iluminat;
- puterea;
- fluxul;
- optica;
- temperatura de culoare;
- sistemul de control.

Etapa 4 – Alegerea geometriei

Se determină:
- înălțimea;
- distanța dintre stâlpi;
- poziția;
- brațul;
- înclinarea aparatului.

Etapa 5 – Calculul luminotehnic

Se verifică:

$$Lmed,\ \ Lmin, U0, Ul$$

și ceilalți parametri relevanți.

Etapa 6 – Calculul electric

Se determină:
- puterea;

- curentul;
- secțiunile;
- protecțiile;
- căderile de tensiune.

Etapa 7 – Verificarea energetică

Se calculează consumul anual.

Etapa 8 – Verificarea economică

Se analizează:
- investiția inițială;
- costurile de energie;
- mentenanța;
- durata de viață;
- costul total de proprietate.

Etapa 9 – Documentația

Se întocmesc:
- planuri;
- scheme;
- calcule;
- liste de materiale;
- specificații tehnice;
- detalii de montaj.

4.3.39. Exemplu simplificat de proiectare

Considerăm o stradă cu:
- lungime: 500 m;
- lățime: 8 m;
- două benzi;
- stâlpi de 9 m;
- distanță inițială între stâlpi: 30 m;
- aparat LED: 70 W.

Numărul aproximativ de aparate de iluminat este:

$$n \approx 500/30 \approx 16,7$$

deci ar putea fi necesare aproximativ 17–18 aparate, în funcție de poziționarea terminală.

Dacă utilizăm 18 aparate:

$$P_inst = 18 \cdot 70 = 1260"\ "\ W$$

adică:

$$P_inst = 1,26"\ "\ kW.$$

Dacă instalația funcționează 4.000 h/an:

$$W = 1,26 \cdot 4000W = 5040"\ "\ kWh/an.$$

Atenție: acest calcul stabilește doar o estimare energetică. Nu demonstrează că 18 aparate de iluminat de 70 W îndeplinesc cerințele luminotehnice. Acest lucru trebuie demonstrat prin calcul fotometric folosind distribuția reală a aparatului.

4.3.40. Optimizarea proiectului

Proiectantul poate analiza mai multe variante:

Varianta A

- stâlp 8 m;
- 25 m între stâlpi;
- corp 60 W.

Varianta B

- stâlp 9 m;
- 30 m între stâlpi;
- corp 70 W.

Varianta C

- stâlp 10 m;
- 35 m între stâlpi;
- corp 90 W.

Pentru fiecare variantă se calculează:

- performanța luminotehnică;
- consumul;
- numărul de stâlpi;
- investiția;
- mentenanța.

Varianta optimă nu este neapărat cea cu cea mai mică putere a aparatului, ci cea care oferă **cel mai bun compromis între performanță, siguranță, consum și cost pe durata de viață**.

4.3.41. Costul total pe durata de viață

Pentru o analiză serioasă se recomandă utilizarea conceptului:

$$LCC = C_i + C_e + C_m + C_r$$

unde:

- C_i– costul investiției;
- C_e– costul energiei;
- C_m– costul mentenanței;
- C_r– costuri de înlocuire/reparații.

Un aparat mai scump poate fi mai avantajos dacă:

- consumă mai puțin;
- are durată de viață mai mare;
- necesită mai puțină mentenanță;
- are un control mai bun al fluxului luminos.

4.3.42. Întreținerea sistemului

Pentru menținerea performanțelor sunt necesare:

- verificarea periodică a aparatelor;
- curățarea, dacă este necesară;
- verificarea stâlpilor;
- verificarea fundațiilor;
- verificarea conexiunilor;
- verificarea protecțiilor;

- monitorizarea consumului;
- înlocuirea aparatelor defecte.

În sistemele inteligente, mentenanța poate trece de la una predominant **reactivă** la una **predictivă**, deoarece defectele pot fi detectate și raportate automat.

4.3.43. Documentația tehnică

Un proiect complet de iluminat rutier ar trebui să includă, în funcție de faza de proiectare:

Piese scrise

- memoriu tehnic;
- breviar de calcul;
- calcule luminotehnice;
- calcule electrice;
- specificații tehnice;
- liste de cantități;
- deviz;
- instrucțiuni de exploatare.

Piese desenate

- plan de situație;
- amplasarea stâlpilor;
- traseele cablurilor;
- scheme electrice;
- tablouri;
- detalii fundații;
- detalii de montaj;
- detalii de conectare.

4.3.44. Normative și standarde

Într-un proiect real trebuie utilizate **versiunile în vigoare** ale standardelor și reglementărilor aplicabile la data proiectării.

În domeniul iluminatului rutier sunt relevante, între altele, standardele europene/naționale din familia **EN 13201 – Iluminatul rutier**, împreună cu reglementările naționale privind instalațiile electrice, iluminatul public, drumurile și siguranța circulației [4–9, 11].

Pentru România, documentația trebuie corelată cu:

- standardele SR/EN aplicabile;
- reglementările tehnice românești în vigoare;
- cerințele administratorului drumului;
- cerințele distribuitorului/operatorului de rețea;
- cerințele autorității locale;
- legislația privind eficiența energetică;
- cerințele privind protecția mediului și poluarea luminoasă, acolo unde sunt aplicabile.

Important: valorile concrete de luminanță, iluminare, uniformitate, orbire și ceilalți parametri nu trebuie preluate generic dintr-un exemplu; ele trebuie stabilite în funcție de clasificarea reală a zonei și de ediția în vigoare a standardului aplicabil.

4.3.45. Greșeli frecvente în proiectare

Greșeala 1 – Alegerea aparatului de iluminat doar după putere

„Am nevoie de un aparat de 100 W” nu este o metodă suficientă. Două aparate de iluminat de 100 W pot avea distribuții fotometrice complet diferite.

Greșeala 2 – Utilizarea exclusivă a iluminării medii

O valoare medie bună nu garantează uniformitate bună.

Greșeala 3 – Ignorarea carosabilului

Caracteristicile de reflexie ale suprafeței influențează rezultatul.

Greșeala 4 – Ignorarea orbirii

Un sistem poate fi foarte luminos, dar necorespunzător din punct de vedere vizual.

Greșeala 5 – Distanțe prea mari între stâlpi

Acest lucru poate genera zone întunecate și uniformitate slabă.

Greșeala 6 – Supradimensionarea

Un sistem excesiv de puternic:

- consumă inutil;
- crește poluarea luminoasă;
- poate produce orbire;
- crește costurile.

Greșeala 7 – Lipsa analizei energetice

Un proiect bun trebuie să țină cont de consumul pe întreaga perioadă de exploatare.

4.3.46. Principiul general al proiectării

În esență, proiectarea poate fi privită ca un proces iterativ:

$$("\boldsymbol{Date\ drum}" \rightarrow "\boldsymbol{Cerințe}" \rightarrow "\boldsymbol{Aparat\ de\ iluminat\ LED}" \rightarrow "\boldsymbol{Geometrie}" \rightarrow "\boldsymbol{Calcul\ luminotehnic}" \rightarrow "\boldsymbol{Calcul\ electric}" \rightarrow "\boldsymbol{Optimizare}")$$

Dacă rezultatele nu sunt satisfăcătoare, se revine la:

- tipul aparatului;
- puterea aparatului;
- optică;
- înălțime;
- distanță;
- poziționare;
- unghi de înclinare.

Procesul se repetă până când sunt satisfăcute simultan cerințele luminotehnice, electrice, economice și de siguranță.

4.3.47. Concluzii

Proiectarea sistemelor de iluminat destinate căilor de circulație rutieră este o activitate multidisciplinară, care combină **luminotehnica, electrotehnica, construcțiile, infrastructura rutieră, siguranța circulației și eficiența energetică**.

Un sistem performant trebuie să asigure:

1. **vizibilitate corespunzătoare** pentru conducătorii auto;
2. **siguranță pentru pietoni și bicicliști**;

3. **uniformitate suficientă** a iluminării/luminanței;
4. **limitarea orbirii**;
5. **consum energetic redus**;
6. **fiabilitate ridicată**;
7. **protecție electrică și mecanică corespunzătoare**;
8. **costuri reduse de exploatare și mentenanță**;
9. **limitarea poluării luminoase**;
10. **posibilitatea controlului și monitorizării inteligente**.

4.4. Proiectarea sistemelor de iluminat destinate trecerilor de pietoni *[Cozma S., Ichim G.]*

4.4.1. Introducere și obiective

Scopul iluminatului dedicat trecerilor de pietoni este detectarea timpurie și recunoașterea pietonului de către conducătorul auto. Iluminarea marcajului nu este suficientă: trebuie evaluată și iluminarea verticală a corpului pietonului, contrastul cu fundalul, orbirea și zonele de așteptare.

În România, Legea nr. 278/2022, care completează OUG nr. 195/2002 privind circulația pe drumurile publice (art. 72 alin. (8)), obligă administratorul drumului să asigure iluminarea corespunzătoare a trecerilor nesemaforizate de pe drumurile europene, naționale și județene din intravilan, cu sisteme inteligente de iluminat cu LED și lumină asimetrică. Manualul urmează succesiunea logică a proiectului: evaluarea necesității iluminării, determinarea clasei de iluminat, alegerea și amplasarea sistemului, recepția și întreținerea.

Etapele tratate în manual sunt:

- Analiza amplasamentului și a riscurilor
- Stabilirea criteriilor fotometrice și electrice
- Modelarea și verificarea pe ambele sensuri
- Execuția, măsurarea și recepția
- Mentenanța și evaluarea în exploatare

4.4.2. Principii fotometrice

4.4.2.1. Contrastul pietonului

Contrastul Weber: $C = (Lp - Lf) / Lf$, unde Lp este luminanța pietonului și Lf luminanța fundalului (cd/m²). Exemplu: $Lp = 3{,}6$ cd/m² și $Lf = 1{,}2$ cd/m² → $C = +2$ (200%). Pentru $Lp = 0{,}3$ cd/m² și același fundal, $C = -0{,}75$ (−75%). Semnul contrastului nu determină singur detectabilitatea.

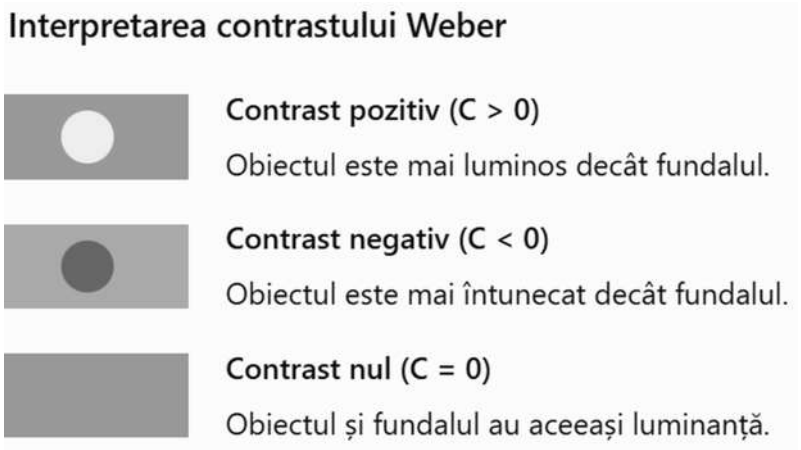


Figura 4.16 – Interpretarea contrastului Weber

Contrastul nul (Lp ≈ Lf) este situația cea mai defavorabilă, deoarece pietonul se confundă cu fundalul. Iluminatul dedicat urmărește obținerea unui contrast pozitiv, prin creșterea luminanței siluetei pietonului față de luminanța carosabilului din spatele acestuia.

Legătura dintre iluminarea verticală și contrast este dată, pentru o suprafață difuză, de relația $Lp = \rho \times Ev / \pi$, unde ρ este factorul de reflexie al îmbrăcămintei. Pentru ρ = 0,20 și Ev = 30 lx rezultă $Lp = 0,20 \times 30 / \pi \approx 1,91$ cd/m², iar pentru Lf = 1,2 cd/m² contrastul este C ≈ +0,59. Pentru ρ = 0,10, aceeași iluminare conduce la Lp ≈ 0,95 cd/m² și C ≈ −0,20. Exemplul arată că o valoare minimă a lui Ev nu garantează, singură, contrastul pozitiv pentru orice îmbrăcăminte și că luminanța fundalului trebuie controlată.

4.4.2.2. Iluminarea orizontală și verticală

Iluminarea orizontală Eh descrie lumina incidentă pe carosabil; iluminarea verticală Ev descrie lumina incidentă pe un plan vertical orientat către observator. O trecere poate avea Eh = 40 lx și Ev = 8 lx, caz în care marcajul este vizibil, dar pietonul poate rămâne insuficient iluminat.

Formula punctuală: $E = I(C,\gamma) \times \cos(\theta) / r^2$; I(C,γ) este intensitatea luminoasă în direcția definită de planul C și unghiul γ, citită din fișierul fotometric (cd), θ unghiul față de normala suprafeței, r distanța (m).

4.4.3. Cadrul tehnic și normativ

Referință	Utilizare
SR EN 13201-2	Cerințe de performanță ale iluminatului rutier; anexa B tratează informativ trecerile pietonale
SR EN 13201-3	Calcul fotometric
SR EN 13201-4	Metode de măsurare
SR EN 13201-5	Indicatori energetici
SR CEN/TR 13201-1	Selectarea claselor de iluminat
NP 062/2002, aprobat prin Ordinul nr. 938/2002 și modificat prin Ordinul MDLPA nr. 2837/2022	Normativ național pentru iluminat rutier și pietonal
EN 60598-1 / EN 60598-2-3	Cerințe pentru corpuri de iluminat
EN 60529 / EN 62262	Protecție IP și IK
Norme electrice aplicabile	Alimentare, protecții, verificări și execuție
Legea nr. 278/2022 (completarea OUG nr. 195/2002)	Obligația iluminării trecerilor nesemaforizate pe drumurile E, naționale și județene din intravilan
SR 1848-1 / SR 1848-7	Indicatoare și marcaje rutiere, inclusiv indicatorul cu semnalizare luminoasă
SR EN 12767	Siguranța pasivă a stâlpilor amplasați lângă carosabil
CIE 115:2010 / CIE 140:2019 / CIE 154:2003 / CIE 194:2011	Clase de iluminat, calcul, factor de menținere, măsurare în teren

Tabelul 4.6 – Documentele de referință și utilizarea lor

Se vor verifica edițiile și amendamentele în vigoare, avizele și cerințele administratorului drumului. Nu există o valoare unică universală de Ev aplicabilă tuturor trecerilor.

4.4.3.1. Clasele de iluminat pentru treceri de pietoni

Pentru trecerile cu iluminat dedicat se utilizează clasa suplimentară PC, care completează clasele din SR EN 13201-2 și se aplică trecerilor iluminate cu aparate cu distribuție asimetrică. Nivelul PC se stabilește din clasa de iluminat a segmentului de drum (M sau C, conform SR EN 13201-2), determinată înainte și după trecere – prin măsurare pe 100 m pentru clasele M și pe 50 m pentru clasele C, la drumurile existente, sau prin calcul, la drumurile proiectate. Dacă rezultă clase diferite, pentru alegerea nivelului PC se adoptă clasa superioară.

Clasa drumului (M / C)	Clasa PC	Ev,med [lx]	U0v	Eh,med [lx]	U0h	Ev,min A–F [lx]
M1 / C0	–	iluminat dedicat opțional*				
M2 / C1	PC1	75	0,40	75	0,40	5,0
M3 / C2	PC2	50	0,40	50	0,40	4,0
M4 / C3	PC3	35	0,40	35	0,40	4,0
M5 / C4	PC4	25	0,40	25	0,40	3,0
M6 / C5	PC5	15	0,40	15	0,40	2,0

Tabelul 4.7 – Clasele PC pentru treceri de pietoni și valorile minime menținute

Valorile sunt minime menținute. * Pentru drumurile din clasa M1 (C0), iluminatul dedicat se prevede numai dacă beneficiarul îl consideră necesar, de exemplu prin schimbarea temperaturii de culoare. Pentru limitarea orbirii și a consumului, iluminarea medie reală menținută nu trebuie să depășească de 3 ori valoarea clasei PC. Ev se determină în plan vertical, separat pentru fiecare sens de circulație; Ev,min se verifică în punctele de la extremități A–F. Dacă trecerea are refugiu sau bandă de separație cu lățimea de cel puțin 2,0 m, fiecare parte poate fi analizată ca trecere independentă.

4.4.3.2. Ținte didactice adoptate

Indicator	Țintă exemplificativă
Ev minimă menținută	≥ 20 lx
Ev medie menținută	≥ 30 lx
Uniformitate Ev = Ev,min / Ev,med	≥ 0,40
Eh medie menținută	≥ 30 lx
Uniformitate Eh	≥ 0,40
Factor de menținere MF	0,80

Tabelul 4.8 – Ținte didactice adoptate pentru exemplele de calcul

Pentru Ev, țintele didactice se situează între clasele PC4 (25 lx) și PC3 (35 lx); valoarea de 30 lx coincide cu referința germană DIN 67523-1 (Ēv = 30 lx la 1 m înălțime, Ev,min ≥ 4 lx). Într-un proiect real, țintele se înlocuiesc cu valorile clasei PC rezultate din clasa drumului (secțiunea 3.1).

4.4.4. Analiza amplasamentului

- Geometrie: benzi, lățime carosabil, marcaj, trotuare, refugii, rampe
- Trafic: viteze legale și operaționale, flux, trafic greu
- Pietoni: copii, persoane cu mobilitate redusă, școli, spitale, stații
- Iluminat existent: amplasări, fotometrii, regimuri de reducere
- Obstacole: copaci, mobilier urban, publicitate, rețele
- Electric: punct de alimentare, trasee, protecții, împământare
- Riscul de accident: clasa Rm (sub un accident nocturn în ultimii trei ani) sau RM (peste un accident); pentru RM se analizează și măsuri suplimentare – refugiu, semnalizare luminoasă, markeri LED
- Poziția trecerii față de iluminatul existent, pentru fiecare sens: în amonte, în aval, în interiorul zonei iluminate sau în zonă neiluminată
- Clasa de iluminat a drumului înainte și după trecere, ca bază pentru alegerea clasei PC
- Zonele de așteptare: minimum 1 m pe fiecare parte; cel puțin 2 m lângă școli, grădinițe, centre comerciale și sportive, gări, lăcașe de cult, în zone cu trafic pietonal intens sau când lipsește iluminarea laterală

4.4.4.1. Studiul de caz A

Parametru	Valoare
Carosabil	7,0 m, două benzi, bidirecțional
Lățime trecere	4,0 m
Viteză legală	50 km/h
Soluție preliminară	2 aparate LED asimetrice × 80 W
Montaj	7,0 m
Flux luminos per corp	11.200 lm
Temperatură culoare	3.000 K
IP / IK	IP66 / IK08
Configurație de amplasare	câte un aparat cu optică dreapta înaintea trecerii, pe fiecare sens, în diagonală (Figura 4.19)
Distanța față de marginea trecerii	1,5 m (interval recomandat 1–2 m)
Clasa drumului / clasa PC	de stabilit prin analiză (exemplu: M4 → PC3)

Tabelul 4.9 – Datele de intrare pentru studiul de caz A

Distanța simplificată de oprire: $D = v \times tr + v^2/(2a)$. La 50 km/h, v = 13,89 m/s, tr = 1,5 s și a = 5 m/s²: $D = 13{,}89 \times 1{,}5 + 13{,}89^2/10 \approx 40{,}1$ m. Aceasta nu substituie distanțele normative de vizibilitate și nu include condiții nefavorabile de aderență.

4.4.5. Amplasarea și selecția corpurilor

Pentru trecerea bidirecțională se poate analiza câte un corp înaintea trecerii, pe fiecare sens de apropiere, cu optică asimetrică orientată pentru iluminarea suprafeței pietonului vizibile șoferului. Pozițiile exacte se determină prin simulare și verificare în teren.

- Nu se selectează corpuri doar după wați sau lumeni; se utilizează fișiere IES/LDT.
- Se verifică înălțimea, retragerea, înclinarea, rotația și obstacolele.
- Se verifică orbirea și compatibilitatea cu iluminatul rutier existent.
- Se includ zonele de așteptare și refugiile.

4.4.5.1. Reguli de amplasare

- Aparatele se montează înaintea trecerii, pe direcția de circulație, separat pentru fiecare sens. Pe străzile cu sens unic se montează pe o singură parte; când există mai multe benzi, se recomandă două aparate, pe ambele părți ale carosabilului, cu optică dreapta și stânga.
- Stâlpii se amplasează în afara carosabilului, la 1–2 m înaintea marginii trecerii. Se recomandă console care aduc aparatul deasupra marginii carosabilului, astfel încât stâlpul să rămână retras față de bordură; siguranța pasivă a stâlpilor se verifică conform SR EN 12767.
- Se folosesc aparate cu distribuție dedicată, cu optică „dreapta” sau „stânga” în funcție de poziția față de sensul de circulație. Nu se folosesc aparate cu distribuție stradală și nu se montează aparate dedicate central, deasupra axei trecerii.
- Distanța exactă față de trecere și înălțimea de montaj (uzual 6–8 m) depind de fotometria aparatului și se stabilesc prin calcul; nu există o valoare universală.
- Se evită iluminarea inutilă a fațadelor cu ferestre ale clădirilor de locuit.
- Pentru diferențiere vizuală se poate alege o temperatură de culoare diferită de a iluminatului stradal (de exemplu 4.000 K față de 3.000 K).
- Pe drumurile neiluminate se prevede o zonă de tranziție de minimum 100 m înainte și după trecere, iluminată în clasa recomandată C3, pentru limitarea orbirii și iluminarea zonelor de acces.

- Iluminatul trecerii nu se oprește pe timpul nopții. Se recomandă funcționarea adaptivă: la trafic redus, cel mult două clase sub nivelul de referință, cu revenire la 100% la detectarea pietonilor; senzorii se orientează spre zonele de așteptare, nu spre carosabil.

4.4.5.2. Geometria recomandată

Figura 4.17 prezintă geometria de principiu, în secțiune longitudinală. Pentru un aparat montat la H = 7 m, la 1,5 m înaintea trecerii (3,5 m până la axa unei treceri de 4 m), punctele de calcul ale lui Ev la 1,0 m înălțime sunt văzute sub unghiuri γ de circa 30° lângă bordura apropiată și până la circa 67° la bordura opusă a unui carosabil de 14 m. Pentru o intensitate dată, poziția optimă a aparatului față de un punct aflat în dreptul stâlpului rezultă la aproximativ 2,2 m înaintea marginii trecerii, ceea ce confirmă intervalul recomandat de 1–2 m. Unghiurile mari necesare pentru partea opusă a carosabilului explică de ce fasciculul principal al unei optici dedicate trebuie plasat la γ ≈ 45–65°.

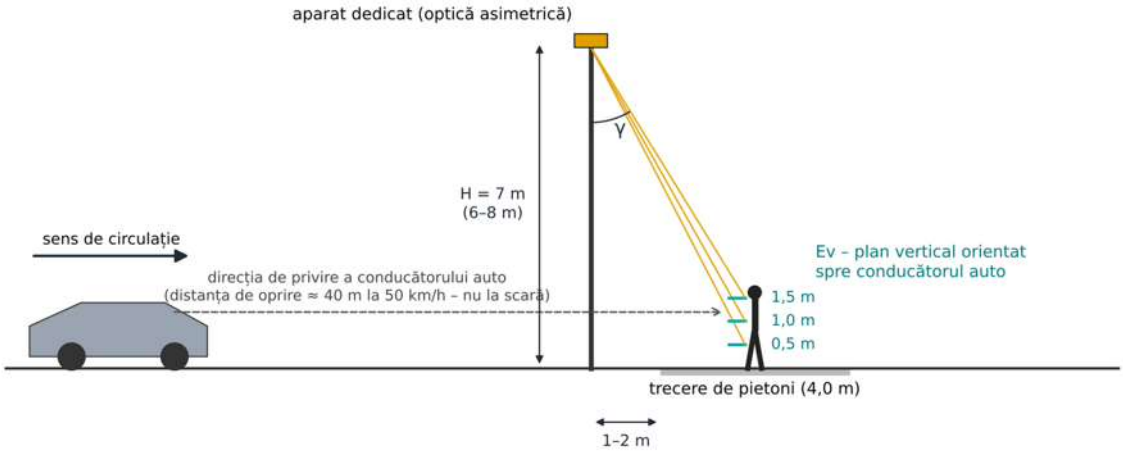


Figura 4.17 – Secțiune longitudinală: aparat dedicat montat înaintea trecerii; Ev se evaluează în plan vertical orientat spre conducătorul auto, la 0,5 m, 1,0 m și 1,5 m

4.4.5.3. Distribuția fotometrică recomandată

Figura 4.18 prezintă forma recomandată a diagramei polare pentru un aparat dedicat trecerilor de pietoni. La selecția aparatului se urmăresc următoarele caracteristici:

- distribuție puternic asimetrică, cu fasciculul principal la γ ≈ 45–60° (în exemplu: circa 880 cd/klm la γ ≈ 50° în planul C0–C180 și circa 525 cd/klm la γ ≈ 55–60° în planul C90–C270), orientat înainte, spre trecere, și transversal, peste carosabil;
- emisie redusă spre spate – spre conducătorul auto care se apropie – și spre fațade (în exemplu, sub circa 40 cd/klm pentru γ > 40° în semiplanele opuse);
- intensitate controlată la unghiuri mari (γ ≥ 70°), unde se află ochii conducătorilor auto din sensul opus; clasa de intensitate luminoasă G* (SR EN 13201-2, anexa A) și creșterea de prag TI se verifică prin calcul;
- versiuni simetrice în oglindă (optică dreapta și stânga), cu fișiere fotometrice LDT/IES certificate pentru fiecare variantă.

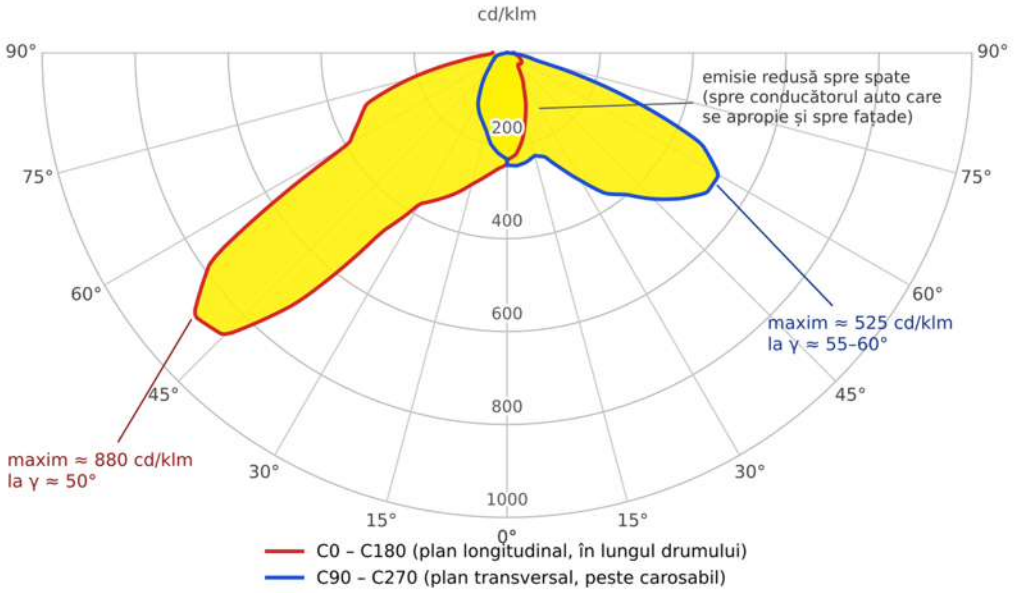


Figura 4.18 – Diagramă polară recomandată (model de referință) pentru un aparat dedicat cu distribuție asimetrică; intensități în cd/klm

Valorile sunt exprimate în cd/klm: pentru un aparat de 11.200 lm, maximul de 880 cd/klm corespunde unei intensități de circa 9.860 cd. Diagrama are rol orientativ; denumirea planurilor C urmează convenția din fișierul fotometric al producătorului, iar conformitatea se demonstrează numai prin calcul cu fișierul LDT/IES real.

4.4.5.4. Configurații de amplasare

Pentru un drum cu două sensuri și câte o bandă pe sens (studiul de caz A), configurația recomandată este: câte un aparat cu optică dreapta înaintea trecerii pe fiecare sens, în diagonală față de trecere (Figura 4.19).

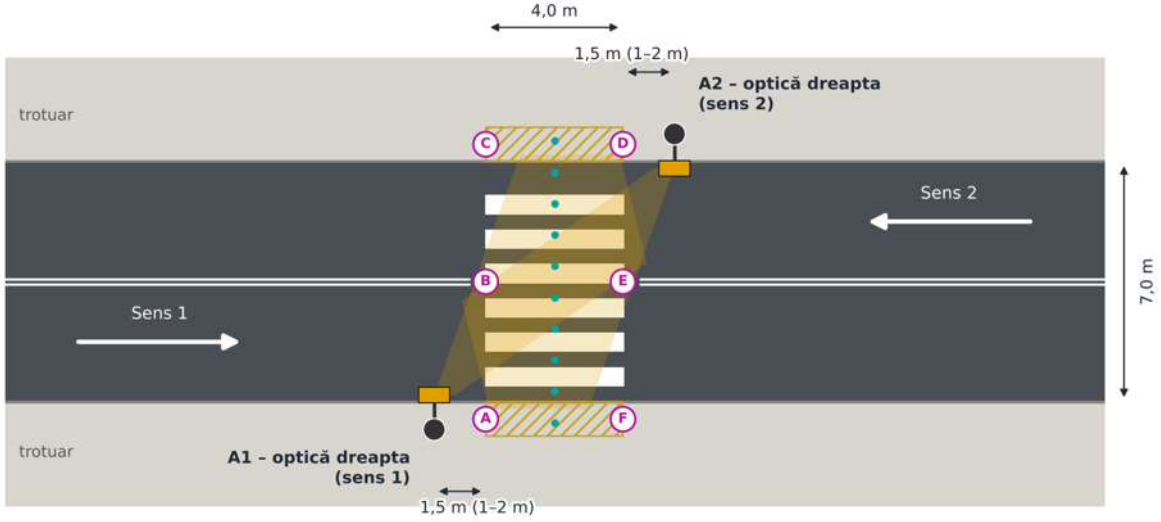


Figura 4.19 – Amplasare propusă pentru studiul de caz A: carosabil de 7 m, două sensuri, câte o bandă pe sens

Pentru un carosabil de 14 m cu două benzi pe sens, fără refugiu (studiul de caz B), soluția minimă uzuală este câte un aparat cu optică dreapta pe fiecare sens (Figura 4.20a). Calculul geometric arată însă că, pentru a obține la bordura opusă Ev ≥ 0,4 × Ev,med (PC3, MF = 0,80, adică 17,5 lx inițial), un singur aparat ar trebui să emită circa 19.000 cd la γ ≈ 67°, adică aproximativ 1.700 cd/klm pentru 11.200 lm – aproape dublul maximului diagramei din Figura 4.18. De aceea, pentru treceri lungi fără refugiu se recomandă varianta cu patru aparate (Figura 4.20b): pe fiecare sens, un aparat cu optică dreapta pe bordura din dreapta și unul cu optică stânga pe

bordura opusă, ambele înaintea trecerii. În acest caz, pentru a atinge media PC3 în centrul carosabilului sunt suficiente circa 6.000 cd (≈ 535 cd/klm) de la fiecare aparat, valoare compatibilă cu diagrama recomandată.

Aparatele cu optică stânga emit spre conducătorii din sensul opus aflați pe benzile apropiate, de aceea limitarea intensității la $\gamma \geq 70°$ și verificarea TI pentru ambele sensuri sunt obligatorii. Când se realizează un refugiu de cel puțin 2 m – măsură recomandată pentru siguranța rutieră –, fiecare jumătate se tratează ca trecere independentă, iar aparatele cu optică stânga se pot monta pe refugiu (soluție folosită uzual și la drumurile cu bandă despărțitoare).

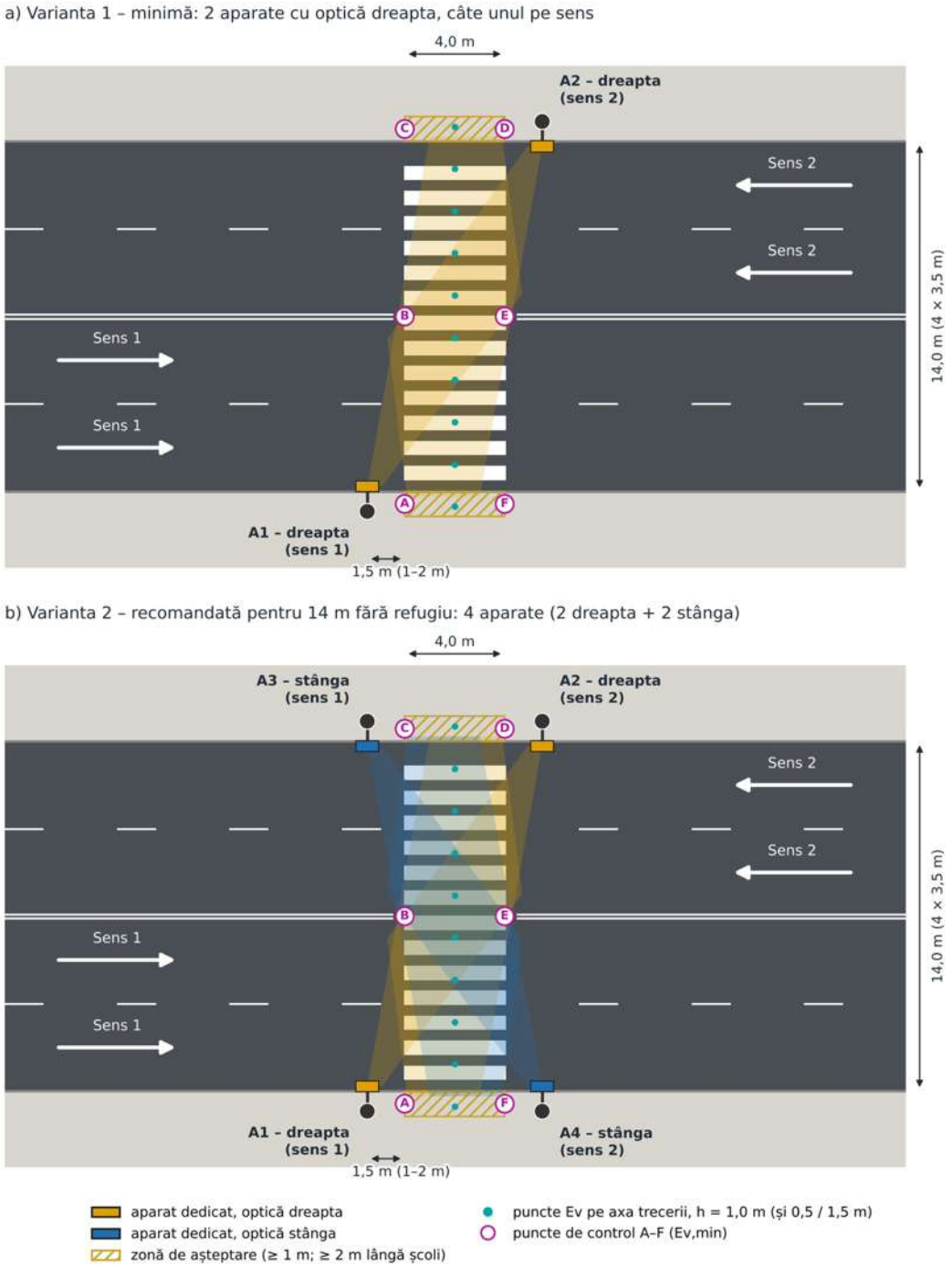


Figura 4.20 – Amplasare propusă pentru studiul de caz B: carosabil de 14 m, două benzi pe sens, fără refugiu. a) varianta minimă, cu două aparate; b) varianta recomandată cu patru aparate

4.4.6. Exemple de calcul luminotehnic

4.4.6.1. Iluminare orizontală

Pentru H = 7 m, d = 4 m și I(C,γ) = 3.500 cd: r = √(7² + 4²) = √65 = 8,062 m. Eh = I × H / (H²+d²)^(3/2) = 3.500×7 / 65^(3/2) = 46,75 lx inițial. Cu MF = 0,80: Eh,menținută = 37,40 lx. Este o contribuție punctuală, nu media trecerii.

4.4.6.2. Iluminare verticală

Plan vertical la 1,0 m deasupra carosabilului; diferență verticală 6 m, distanță orizontală perpendiculară pe plan 4 m, I = 3.500 cd. r = √(6²+4²) = √52 = 7,211 m. Ev = I×4/r³ = 37,34 lx inițial; Ev,menținută = 29,87 lx. În practică I variază cu unghiul, iar toate corpurile contribuie la iluminare.

4.4.6.3. Uniformitate și menținere

Uniformitatea generală: U0 = Emin / Emed. Exemplu: 22 / 36 = 0,611. Factor de menținere ilustrativ: MF = LLMF × LSF × LMF = 0,90 × 0,98 × 0,91 = 0,8026 ≈ 0,80, unde LLMF este factorul de menținere a fluxului sursei, LSF factorul de supraviețuire a sursei, iar LMF factorul de menținere a aparatului (CIE 154). Factorii se justifică prin datele producătorului și programul de mentenanță.

4.4.7. Modelare fotometrică

În DIALux evo, RELUX sau program echivalent se introduc geometria reală, aparatele existente și propuse, fișierele IES/LDT, pozițiile, orientările, factorii de menținere și regimurile de comandă. Se definesc grile orizontale și grile verticale orientate separat spre fiecare sens de apropiere, la înălțimi relevante pentru copii și adulți. Se verifică iluminarea, uniformitatea, orbirea și zonele de așteptare.

Grilele de calcul recomandate sunt: Eh pe suprafața trecerii, inclusiv zonele de așteptare, în câte 10 puncte pe marginile k1 și k2 și pe axă; Ev în plane verticale orientate separat spre fiecare sens, la 0,5 m, 1,0 m și 1,5 m; punctele de control A–F la 1,0 m. Lungimea analizată este lățimea carosabilului plus zonele de așteptare.

4.4.7.1. Grilă didactică verticală: calcul menținut

Rând	P1	P2	P3	P4	P5
1	30	34	37	35	31
2	33	39	43	40	34
3	32	38	42	39	33
4	29	34	37	35	30

Tabelul 4.10 – Grilă didactică verticală: valori menținute calculate [lx]

Suma = 705 lx; media = 705/20 = 35,25 lx; minim = 29 lx; U0 = 29/35,25 = 0,823. Aceste valori sunt sintetice și reprezintă numai o direcție de observare.

4.4.8. Dimensionarea electrică și energia

Putere instalată: P = 2 × 80 W = 160 W = 0,16 kW. Curent monofazat la 230 V, cos φ = 0,95: I = 160/(230×0,95) = 0,732 A.

Cădere de tensiune orientativă pentru circuit Cu de 60 m, S = 2,5 mm², ρ = 0,0225 Ω·mm²/m: ΔU ≈ 2ρLIcosφ/S = 0,75 V ≈ 0,33%. Dimensionarea finală include încălzire, scurtcircuit, curenți de pornire, protecția la șoc electric și condiții de pozare.

Consum anual la 4.100 h: W = 0,16 × 4.100 = 656 kWh/an. La un tarif ipotetic de 1 leu/kWh: 656 lei/an. Indicatorii energetici se evaluează suplimentar conform EN 13201-5.

4.4.9. Execuția și punerea în funcțiune

- Trasarea stâlpilor și verificarea rețelelor subterane

- Fundații, ancoraje și verificări structurale
- Pozarea cablurilor și montarea protecțiilor
- Montarea corpurilor la înălțimile și unghiurile proiectate
- Verificări electrice inițiale, documentate
- Verificare nocturnă a comenzilor și a orbirii
- Măsurări fotometrice și reglaje finale, cu reevaluare

4.4.10. Protocol de măsurare după implementare

Se utilizează luxmetru adecvat, cu etalonare documentată, răspuns fotopic și corecție cosinus. Se consemnează modelul, seria, certificatul, incertitudinea, starea carosabilului, lumina ambientală, regimul de funcționare, poziția detectorului și siguranța operațiunilor în trafic.

Pentru Eh detectorul este orizontal la nivelul de referință. Pentru Ev detectorul este vertical, cu normala spre direcția de apropiere a șoferului. Se repetă pentru fiecare sens și pentru înălțimile definite. Se măsoară și zonele de așteptare.

Măsurările se efectuează noaptea, cu instalația complet funcțională, la cel puțin o oră după pornire, pe vreme bună (fără ceață, ploaie sau zăpadă) și după operațiile de întreținere necesare. Sursele intruzive – farurile vehiculelor, reclamele luminoase, iluminatul fațadelor – se elimină sau se consemnează. Iluminatul dedicat rămâne aprins, iar dispozitivele care nu fac parte din sistemul de bază se opresc. Recepția se efectuează de o echipă independentă de contractant, iar raportul precizează explicit dacă specificațiile proiectului sunt îndeplinite. Metodele de măsurare și cerințele privind aparatura sunt cele din SR EN 13201-4.

4.4.10.1. Exemplu de măsurări inițiale simulate

Rând	P1	P2	P3	P4	P5
1	32	36	39	37	33
2	35	41	45	42	36
3	34	40	44	41	35
4	31	36	39	37	32

Tabelul 4.11 – Măsurări inițiale simulate pe grila verticală [lx]

Suma = 745 lx; Ev,med,măsurată = 745/20 = 37,25 lx; Ev,min = 31 lx; U0 = 31/37,25 = 0,832. Sunt date simulate, nu rezultate reale de teren.

4.4.10.2. Comparația calcul–măsurare pe aceeași bază

Indicator	Calcul menținut	Măsurare inițială
Ev medie	35,25 lx	37,25 lx
Ev minimă	29 lx	31 lx
U0	0,823	0,832

Tabelul 4.12 – Comparația dintre calculul menținut și măsurarea inițială

Compararea directă a calculului menținut cu măsurarea inițială este metodologic incorectă. Media inițială calculată, presupunând scalarea prin MF, este 35,25/0,80 = 44,06 lx. Diferența relativă măsurat față de calcul inițial este (37,25−44,06)/44,06 × 100 ≈ −15,5%. Se investighează orientarea, fotometria, alimentarea, geometria, contribuțiile externe și incertitudinea.

Comparația corectă, pe bază inițială, este:

Indicator	Calcul inițial (menținut ÷ MF)	Măsurare inițială	Abatere
Ev medie	44,06 lx	37,25 lx	−15,5%
Ev minimă	36,25 lx	31 lx	−14,5%
U0	0,823	0,832	–

Tabelul 4.13 – Comparația calcul–măsurare pe bază inițială

În raport cu țintele didactice, grila măsurată, adusă pe bază menținută (× MF = 0,80: Ev,med ≈ 29,8 lx; Ev,min ≈ 24,8 lx), satisface pragurile de minim (20 lx) și de uniformitate (0,40), dar nu și ținta de medie (30 lx). În plus, recepția integrală necesită ambele sensuri, Eh, zonele de așteptare, orbirea și verificările electrice.

4.4.10.3. Incertitudine și regulă de decizie

Exemplu: E = (20,1 ± 1,0) lx, incertitudine extinsă. Valoarea se află aproape de pragul de 20 lx; decizia de conformitate trebuie să urmeze regula de decizie aprobată și nu se bazează numai pe valoarea centrală.

Regula de decizie se stabilește înainte de măsurare – de exemplu acceptare simplă sau cu bandă de gardă, conform ILAC-G8 și ISO/IEC Guide 98-4 – și se menționează în raportul de recepție.

4.4.11. Studiu de caz B: carosabil cu patru benzi

Indicator	2 aparate	4 aparate
Carosabil	14 m	14 m
Putere instalată	240 W (2 × 120 W)	320 W (4 × 80 W)
Ev medie menținută	29 lx	39 lx
Ev minimă menținută	11 lx	25 lx
Uniformitate	0,38	0,64
Consum la 4.100 h	984 kWh/an	1.312 kWh/an

Tabelul 4.14 – Studiul de caz B: comparația variantelor cu două și cu patru aparate de iluminat

Datele sunt ipotetice. Varianta cu patru aparate îndeplinește țintele didactice, cu un consum suplimentar de 328 kWh/an. Nu se poate deduce că orice trecere cu patru benzi necesită patru aparate: optimul depinde de fotometrie și geometrie.

Varianta cu două aparate corespunde amplasării din Figura 4.20a, iar varianta cu patru aparate amplasării din Figura 4.20b. Rezultatele ipotetice sunt coerente cu analiza geometrică din secțiunea 5.4: la 14 m, un singur aparat pe sens nu poate asigura iluminarea verticală la bordura opusă fără intensități foarte mari la unghiuri $\gamma > 60°$.

4.4.12. Erori frecvente

Eroare	Măsură de prevenire
Doar iluminare orizontală	Se verifică Ev pentru ambele sensuri
Alegere după wați	Se analizează IES/LDT și orientarea
Orbire ignorată	Se evaluează direcțiile critice
Zone de așteptare omise	Se extind grilele de evaluare
Confuzie inițial/menținut	Se compară condiții echivalente
Măsurări fără protocol	Se documentează grila și instrumentul
Reducere nocturnă nevalidată	Se verifică fiecare regim de comandă
Aparat dedicat montat central, deasupra axei trecerii	Se montează înaintea trecerii, separat pe fiecare sens
Optică stradală folosită ca optică dedicată	Se aleg optici dedicate dreapta/stânga
Iluminare excesivă și orbire	Iluminarea medie menținută ≤ 3 × valoarea clasei PC

Tabelul 4.15 – Erori frecvente și măsuri de prevenire

4.4.13. Exploatare și mentenanță

Interval orientativ	Acțiune
Lunar	Verificare funcționare și alarme

Interval orientativ	Acțiune
Trimestrial	Inspecție vizuală și vegetație
Semestrial	Orientare, curățenie și comenzi
Anual	Verificări conform planului de mentenanță
După intervenții	Reverificare electrică și fotometrică după caz
Cel puțin o dată la 5 ani	Măsurări de control Ev și Eh pe o grilă simplificată, cu raport semnat de o persoană calificată

Tabelul 4.16 – Intervale orientative de exploatare și mentenanță

Intervalele sunt orientative și se adaptează obligațiilor aplicabile, condițiilor de mediu și instrucțiunilor producătorului.

Administratorul ține o evidență actualizată a trecerilor iluminate, de preferință într-un sistem GIS, în care rezultatele recepției constituie datele inițiale, iar măsurările de control formează istoricul instalației. Unde este posibil, se recomandă telegestiunea, cu semnalarea automată a defectelor.

4.4.14. Model de fișă de verificare fotometrică

Câmp	Completare
Amplasament	_____
Data / ora	_____
Instrument / serie / etalonare	_____
Condiții meteo / carosabil	_____
Regim de comandă	_____
Sens de observare / înălțime	_____
Ev minimă / medie / U0	_____
Eh minimă / medie / U0	_____
Ev,min în punctele A–F / sens	_____
Clasa drumului / clasa PC	_____
Tip optică, înălțime, distanță față de trecere	_____
Temperatura de culoare	_____
Incertitudine și regulă de decizie	_____
Neconformități / remedieri	_____
Responsabil / semnătură	_____

Tabelul 4.17 – Model de fișă de verificare fotometrică

Se anexează grilele cu date brute, planul punctelor, fotografii, verificările electrice și comparația cu proiectul.

Fișa se folosește atât la recepție, cât și la măsurările periodice de control, astfel încât rezultatele să poată fi comparate în timp.

4.4.15. Listă de control finală

- Releveu și analiza riscurilor complete
- Norme și criterii aprobate
- Clasa drumului și clasa PC determinate și justificate
- Configurația de amplasare și tipul opticii (dreapta/stânga) conforme cu regulile din capitolul 5
- Iluminarea medie menținută limitată la cel mult 3 × valoarea clasei PC
- Fotometrii și simulări pentru ambele sensuri
- Verificarea orbirii și a zonelor de așteptare

- Calcule electrice și documentație de execuție
- Concordanță as-built cu proiectul
- Măsurări cu instrumente trasabile și incertitudine documentată
- Analiza abaterilor și decizie de conformitate
- Plan de mentenanță și responsabilități

4.4.16. Concluzii

Un sistem de iluminat pentru treceri de pietoni este corespunzător când permite detectarea timpurie a pietonului, asigură iluminare verticală adecvată pe ambele sensuri, controlează orbirea, acoperă zonele de așteptare și își menține performanța. Rezultatele trebuie demonstrate prin calcule reproductibile și măsurări documentate, nu doar prin puterea instalată.

4.4.17. Referințe pentru aprofundare

- SR EN 13201, părțile 2–5, în edițiile aplicabile
- SR CEN/TR 13201-1
- NP 062/2002 și modificările aplicabile (inclusiv Ordinul MDLPA nr. 2837/2022)
- EN 60598-1, EN 60598-2-3, EN 60529, EN 62262
- Asociația Română pentru Iluminat (ARI) – Ghid îndrumător. Iluminatul trecerilor de pietoni, februarie 2025
- Legea nr. 278/2022 pentru completarea OUG nr. 195/2002 privind circulația pe drumurile publice
- SR 1848-1, SR 1848-7, SR EN 12767
- CIE 115:2010, CIE 140:2019, CIE 154:2003, CIE 194:2011
- DIN 67523-1 – Iluminatul trecerilor de pietoni cu iluminat suplimentar (referință comparativă)
- ILAC-G8:09/2019 – Reguli de decizie și declarații de conformitate

4.4.18. Studiu tehnic: iluminatul unei treceri de pietoni pe o stradă cu patru benzi

4.4.18.1. Obiectul studiului și geometria

Trecere pietonală nesemaforizată pe arteră urbană cu patru benzi (două pe sens), fără refugiu median. Lățime bandă: 3,50 m; lățime carosabil: 14,00 m; lățime trecere: 4,00 m; viteză de referință: 50 km/h; zonă rutieră analizată: 30 m longitudinal. Pentru analiza iluminatului, lungimea trecerii include și zonele de așteptare (minimum 1 m pe fiecare parte; cel puțin 2 m lângă școli sau în zone cu trafic pietonal intens): 14 + 2 × 1 = 16 m.

$$A_t = 14 \times 4 = 56\ \text{m}^2; \quad A_z = 14 \times 30 = 420\ \text{m}^2; \quad A_{tz} = 16 \times 4 = 64\ \text{m}^2$$

O trecere de 14 m fără refugiu central necesită și evaluarea măsurilor de siguranță rutieră: refugiu, semaforizare, reducerea vitezei, vizibilitate și semnalizare. Iluminatul nu substituie aceste măsuri. Dacă se realizează un refugiu cu lățimea de cel puțin 2,0 m, trecerea poate fi analizată ca două treceri independente.

4.4.18.2. Reglementări și criterii de proiectare

Se consultă NP 062/2002, modificat prin Ordinul MDLPA nr. 2837/2022, în special prevederile și tabelul normativ aplicabil trecerilor. Seria SR EN 13201 fundamentează selectarea clasei, calculul, măsurarea și evaluarea energetică. Legea 278/2022 privește obligații specifice pentru anumite categorii de drumuri; nu se presupune aplicarea automată oricărei străzi municipale.

Pentru iluminatul dedicat al trecerilor de pietoni se utilizează clasa suplimentară PC, care completează clasele din SR EN 13201-2 și se aplică trecerilor iluminate cu aparate cu distribuție asimetrică. Clasa PC se stabilește din clasa de iluminat a drumului, determinată înainte și după trecere (tabelul de mai jos; valori minime menținute). Pentru o arteră urbană cu 50 km/h, clasa drumului rezultă din procedura SR CEN/TR 13201-1; în acest studiu se adoptă ipoteza de lucru M4, care conduce la PC3, de confirmat prin măsurări pe 100 m înainte și după trecere.

Clasa drumului (M / C)	Clasa PC	Ev,med [lx]	U0v	Eh,med [lx]	U0h	Ev,min A–F [lx]
M1 / C0	–	iluminat dedicat opțional				
M2 / C1	PC1	75	0,40	75	0,40	5,0
M3 / C2	PC2	50	0,40	50	0,40	4,0
M4 / C3	PC3	35	0,40	35	0,40	4,0
M5 / C4	PC4	25	0,40	25	0,40	3,0
M6 / C5	PC5	15	0,40	15	0,40	2,0

Tabelul 4.18 – Clasele PC și valorile minime menținute pentru trecerea studiată

Iluminarea medie reală menținută nu trebuie să depășească de 3 ori valoarea clasei PC (limitarea orbirii și a consumului).

Indicator	Țintă, nu prag normativ universal
E_h medie menținută	≥ 40 lx
E_h minimă menținută	≥ 25 lx
U0 orizontal	≥ 0,40
E_v medie menținută / sens	≥ 30 lx
E_v minimă menținută / sens	≥ 20 lx
Factor menținere MF	0,80
Ev,min în punctele A–F / sens (PC3)	≥ 4 lx
Înălțimea planului vertical de referință	1,0 m (verificări la 0,5 m și 1,5 m)
Limită superioară	Eh,med și Ev,med ≤ 3 × valoarea clasei PC

Tabelul 4.19 – Indicatorii-țintă pentru trecerea de 14 m

4.4.18.3. Soluție constructivă ipotetică

Parametru	Valoare presupusă
Aparate LED asimetrice	4 bucăți, două pentru fiecare sens: optică dreapta pe bordura din dreapta și optică stânga pe bordura opusă (Figura 4.21b)
Putere unitară	80 W
Flux unitar	11.200 lm
Eficacitate	140 lm/W
Înălțime montaj	7 m
Alimentare	230 V monofazat
Factor de putere	0,95
Protecție carcasă propusă	IP66; IK08 sau superior
Culoare / redare culori	3.000 K; Ra ≥ 70
Distanța față de marginea trecerii	1,5 m înaintea trecerii, pe direcția de mers (interval recomandat: 1–2 m)
Montaj	pe console; stâlpi în afara carosabilului, retrași față de bordură (SR EN 12767)
Orbire	clasa G* și TI verificate pentru ambele sensuri

Tabelul 4.20 – Soluția constructivă ipotetică: parametrii aparatelor

Amplasarea pe stâlpi și orientarea opticilor sunt conceptuale; pozițiile și consolele finale se determină din geometria reală și simulare fotometrică, evitând orbirea.

3.1 Amplasarea propusă a aparatelor de iluminat

Pentru un drum cu două sensuri și două benzi pe sens, fără bandă despărțitoare, soluția minimă uzuală este câte un aparat cu optică dreapta înaintea trecerii, pe fiecare sens (Figura 4.21a). Pentru trecerea analizată, de 14 m fără refugiu, se propune varianta cu patru aparate (Figura 4.21b):

A1 (sens 1) – optică dreapta, pe bordura din dreapta sensului 1, la 1,5 m înaintea marginii trecerii;

A3 (sens 1) – optică stânga, pe bordura opusă, la 1,5 m înaintea marginii trecerii pe direcția sensului 1;

A2 (sens 2) și A4 (sens 2) – amplasare simetrică față de centrul trecerii, cu optică dreapta, respectiv stânga;

înălțimea de montaj 7 m, pe console care aduc aparatul deasupra bordurii; stâlpii rămân retrași față de bordură, iar unghiurile de montaj sunt cele din fișierul fotometric (de regulă 0°), fără înclinări care cresc orbirea.

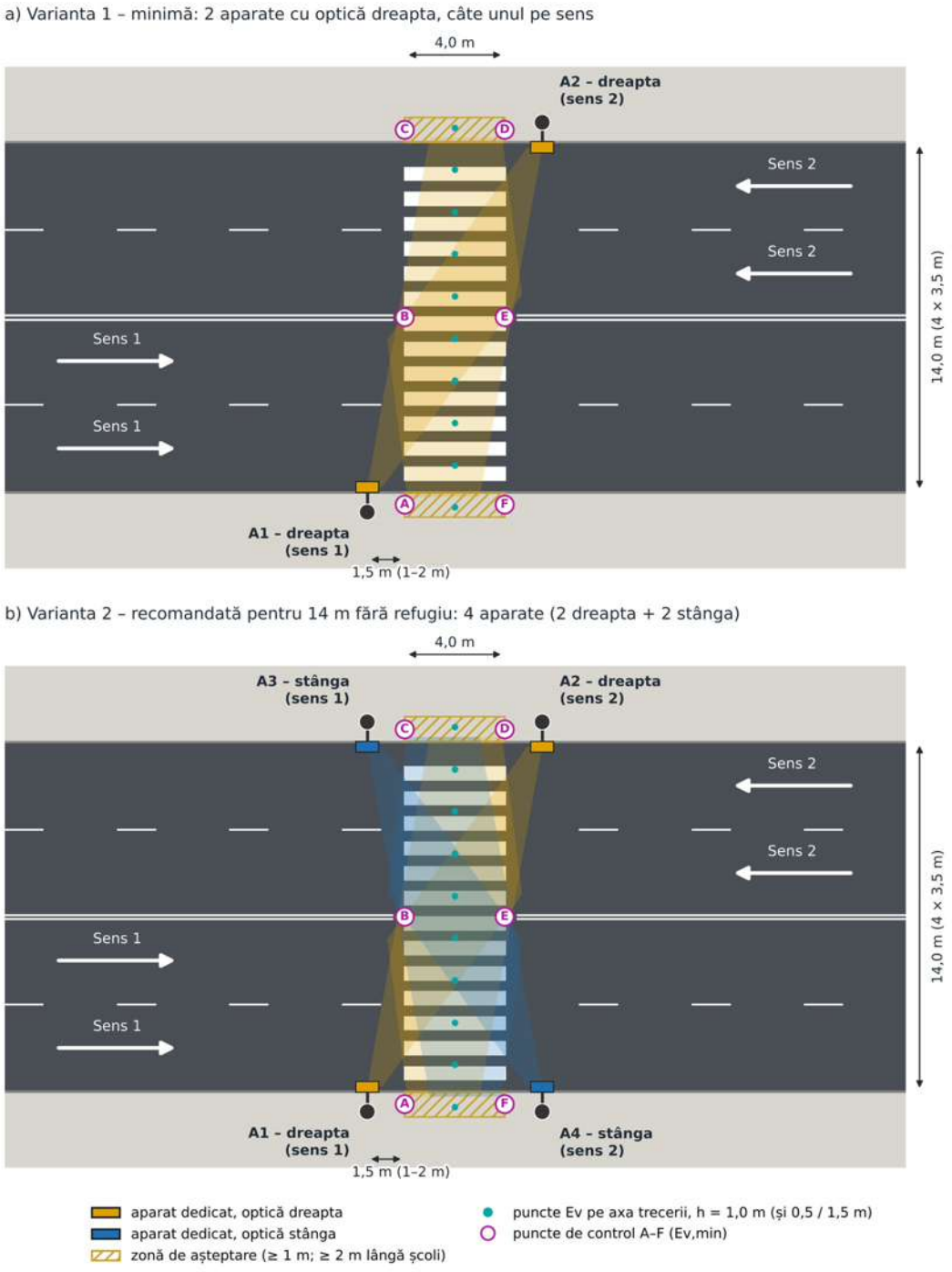


Figura 4.21 – Amplasarea aparatelor pentru trecerea de 14 m: a) varianta minimă, cu două aparate; b) varianta propusă, cu patru aparate

Justificarea geometrică este prezentată în tabelul de mai jos, pentru H = 7 m, plan de calcul la 1,0 m și aparat la 3,5 m de axa trecerii (1,5 m înaintea marginii unei treceri de 4 m). Factorul Ev/I arată iluminarea verticală obținută pentru fiecare 1.000 cd emise spre punctul respectiv: Ev = I(C,γ) × (Ev/I).

Poziția pe axa trecerii	**γ față de A1**	**Ev/I – A1 [lx/1.000 cd]**	**γ față de A3**	**Ev/I – A3 [lx/1.000 cd]**	**Ev/I total – Varianta 2**
−1,0 m (zona de așteptare)	31,2°	10,13	68,7°	0,77	10,90
0 (bordura apropiată)	30,3°	10,44	67,4°	0,92	11,36
3,5 m	39,5°	7,44	61,5°	1,75	9,19
7,0 m (axa drumului)	52,5°	3,65	52,5°	3,65	7,30
10,5 m	61,5°	1,75	39,5°	7,44	9,19
14,0 m (bordura opusă)	67,4°	0,92	30,3°	10,44	11,36
15,0 m (zona de așteptare)	68,7°	0,77	31,2°	10,13	10,90

Tabelul 4.21 – Factorul geometric Ev/I în lungul axei trecerii

În varianta 1, la bordura opusă factorul geometric este de circa 11 ori mai mic decât lângă stâlp (0,92 față de 10,44 lx/1.000 cd). Pentru Ev ≥ 0,4 × 43,75 = 17,5 lx inițial (PC3, MF = 0,80) ar fi necesare circa 19.100 cd la γ ≈ 67°, adică aproximativ 1.700 cd/klm pentru 11.200 lm – aproape dublul maximului diagramei recomandate (Figura 4.23). În varianta 2, factorul total nu scade sub 7,3 lx/1.000 cd, iar în centrul carosabilului sunt suficiente circa 6.000 cd (≈ 535 cd/klm) de la fiecare aparat pentru a atinge media clasei PC3.

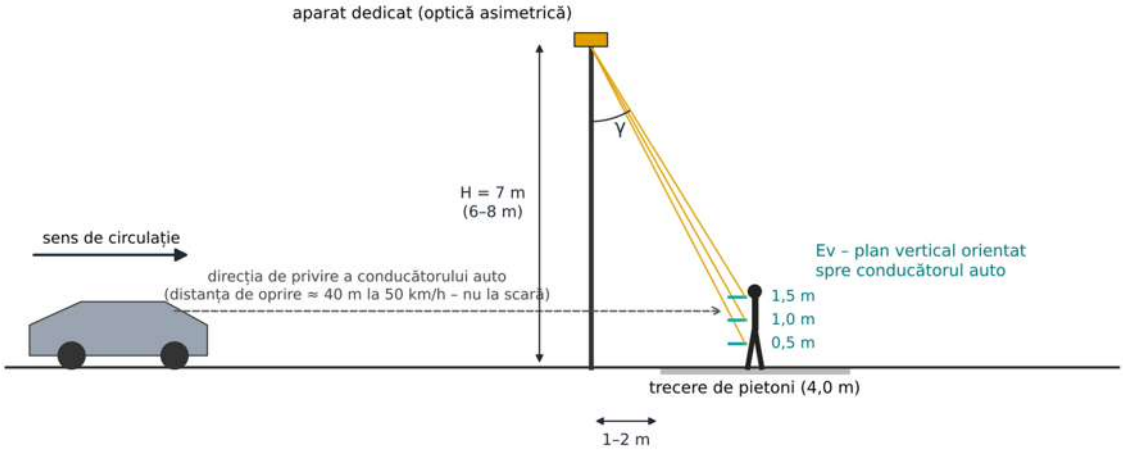


Figura 4.22 – Secțiune longitudinală: aparat dedicat montat înaintea trecerii; Ev se evaluează în plan vertical orientat spre conducătorul auto

Diagrama polară recomandată (Figura 4.23) are fasciculul principal la γ ≈ 45–60°, domeniu care acoperă zona centrală a trecerii (γ ≈ 50–60° în tabelul de mai sus), emisie redusă spre spate (spre conducătorul auto care se apropie și spre fațade) și intensitate controlată la γ ≥ 70°. Aparatele cu optică stânga (A3, A4) emit spre conducătorii din sensul opus aflați pe benzile apropiate, astfel că limitarea intensității la unghiuri mari și verificarea TI pentru ambele sensuri sunt obligatorii.

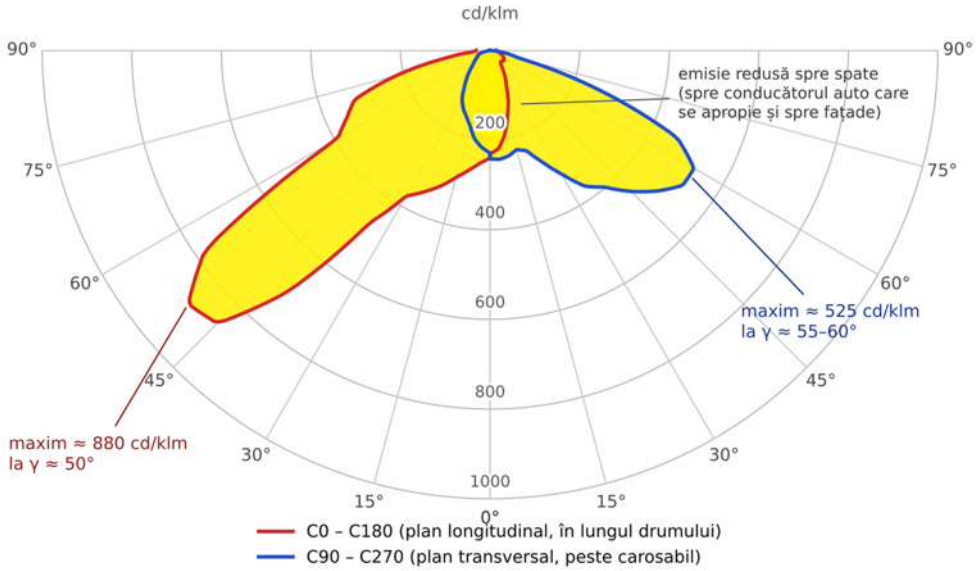


Figura 4.23 – Diagramă polară recomandată (model de referință) pentru aparatele dedicate; intensități în cd/klm. Verificarea finală se face cu fișierul LDT/IES real

Dacă se realizează un refugiu de cel puțin 2 m, fiecare jumătate a trecerii se tratează independent, iar aparatele cu optică stânga se pot monta pe refugiu. Pentru drumuri neiluminate se adaugă zone de tranziție de minimum 100 m, iluminate în clasa C3.

4.4.18.4. Predimensionarea fluxului luminos

$$E_{h,med} = N \times \Phi \times UF \times MF/A$$

Ipoteze: N=4, Φ=11.200 lm, UF=0,08, MF=0,80, A=56 m².

$$E_{h,med} = 4 \times 11.200 \times 0,08 \times 0,80/56 = 51,20 \text{ lx}$$

$$\Phi_{necesar} = 40 \times 56/(4 \times 0,08 \times 0,80) = 8.750 \text{ lm/corp}$$

$$\text{Rezervă flux} = (11.200 - 8.750)/8.750 \times 100 = 28\%$$

UF este doar presupus și trebuie preluat din curba factorului de utilizare a aparatului. Rezultatul nu verifică iluminarea verticală, uniformitatea, orbirea sau contrastul pietonului. Cu zonele de așteptare incluse (A = 64 m²), aceeași ipoteză conduce la E_h,med = 44,8 lx.

4.4.18.5. Calcul punctual fotometric

$$E = I(C,\gamma) \times \cos(\theta)/r^2$$

Pentru suprafață orizontală, h=7 m, d=5 m, r=√74=8,602 m, cosγ=7/8,602=0,814 și intensitate ipotetică I=4.000 cd:

$$E_h = 4.000 \times 0,814/74 = 44,0 \text{ lx}; \quad E_{h,\text{menținut}} = 35,2 \text{ lx}$$

Pentru plan vertical orientat către proiecția sursei, calculat la nivelul carosabilului (doar ca exemplu numeric):

$$E_v = (4.000/74) \times (5/8,602) = 31,42 \text{ lx}$$

$$E_{v,\text{menținut}} = 31,42 \times 0,80 = 25,14 \text{ lx}$$

La înălțimea de referință de 1,0 m (ca în Manual și în DIN 67523-1), diferența de nivel este 7 − 1 = 6 m: r = √(6² + 5²) = √61 = 7,810 m și, pentru aceeași intensitate ipotetică, E_v = 4.000 × 5 / 7,810³ = 41,98 lx; E_v,menținut = 33,58 lx. Diferența față de calculul la nivelul carosabilului arată că înălțimea planului de evaluare trebuie declarată explicit.

La evaluarea verticală la 0,5 m sau 1,5 m deasupra carosabilului se folosește diferența reală de nivel (de exemplu 7 − 1,5 = 5,5 m). Intensitatea se citește din fișierul fotometric în planul C și unghiul γ corespunzătoare. Contribuțiile corpurilor se însumează doar pentru același plan de evaluare.

Exemplu suprapunere contribuții orizontale menținute: 21+12+8+5=46 lx.

4.4.18.6. Grila fotometrică orizontală demonstrativă

Grilă didactică de 7 coloane × 5 rânduri (35 puncte). Pas transversal Δx=14/6=2,333 m; pas longitudinal Δy=4/4=1 m. Nu reprezintă neapărat grila normativă.

y / x	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Y1	35	39	43	48	43	39	35
Y2	40	45	49	54	49	45	40
Y3	43	49	54	58	54	49	43
Y4	40	45	49	54	49	45	40
Y5	35	39	43	48	43	39	35

Tabelul 4.22 – Grilă didactică orizontală: iluminări calculate [lx]

Suma = 1558 lx; E_h,med = 1558/35 = 44,51 lx; E_h,min = 35 lx; U0 = 35/44,5143 = 0,786.

Grila a fost construită independent de metoda fluxului (51,2 lx); diferența nu reprezintă o validare fotometrică.

4.4.18.7. Grile verticale demonstrative

Punct	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
Sens A	25	31	36	40	37	32	26
Sens B	24	30	35	39	36	31	25

Tabelul 4.23 – Grile verticale demonstrative pentru cele două sensuri [lx]

Sens A: medie 32,43 lx; minim 25 lx; U0=0,771. Sens B: medie 31,43 lx; minim 24 lx; U0=0,764.

Planurile verticale se orientează spre fiecare direcție de apropiere, la înălțimile prescrise. Se evaluează și marginile trecerii și zonele de așteptare.

Ev se evaluează la 0,5 m, 1,0 m și 1,5 m, iar valoarea minimă se verifică suplimentar în punctele A–F de la extremitățile trecerii (Figura 4.21), cu pragul de 4 lx pentru PC3. Față de PC3 (Ev,med ≥ 35 lx), mediile demonstrative de 32,43 lx și 31,43 lx nu ar fi conforme; ele satisfac clasa PC4 (≥ 25 lx).

4.4.18.8. Contrast, orbire și siguranță rutieră

$$C_{Weber} = \left(L_p - L_f\right)/L_f$$

Exemplu ipotetic: luminanță pieton 2,4 cd/m², fundal 1,2 cd/m² → contrast pozitiv C=1,0. Vizibilitatea depinde și de reflectanța îmbrăcămintei, geometrie, fundal și adaptarea ochiului. Orbirea și, unde este aplicabil, TI se verifică separat. Pentru aparatele dedicate se verifică intensitatea spre conducătorii din sensul opus (γ ≥ 70°), iar iluminarea medie menținută nu trebuie să depășească de 3 ori valoarea clasei PC.

Distanța simplificată de oprire: D = v×t_r + v²/(2a), cu t_r=1,5 s, a=5 m/s².

Viteză	Reacție	Frânare	Total
30 km/h	12,5 m	6,9 m	19,4 m
50 km/h	20,8 m	19,3 m	40,1 m
70 km/h	29,2 m	37,8 m	67,0 m

Tabelul 4.24 – Distanța de oprire în funcție de viteză

4.4.18.9. Dimensionarea electrică preliminară

$$P_{inst} = 4 \times 80 = 320\ \text{W}$$

$$I_b = 320/(230 \times 0,95) = 1,464 \text{ A}$$

Ipoteză de traseu: 100 m, cupru 2,5 mm², sarcina concentrată la capăt, ρ = 0,0225 Ω·mm²/m (cupru la temperatura de funcționare, ca în Manual), cos φ = 0,95.

$$\Delta U \approx 2\rho L I_b \cdot \cos\varphi / S = 2 \times 0,0225 \times 100 \times 1,464 \times 0,95/2,5 = 2,50 \text{ V}$$

$$\Delta U\% \approx 2,50/230 \times 100 = 1,09\%$$

Valoarea se compară cu limita adoptată pentru circuitele de iluminat – de exemplu 3% pentru instalațiile alimentate direct din rețeaua publică de joasă tensiune, conform anexei G a SR HD 60364-5-52 –, în corelare cu normativul I7.

La dimensionarea finală se verifică temperatura conductorului, reactanța, sarcinile distribuite, curentul admisibil, curenții de pornire ai driverelor, protecția la supracurent, bucla de defect, timpul de deconectare, sistemul de împământare, SPD și selectivitatea. Condiția generală: I_b ≤ I_n ≤ I_z.

4.4.18.10. Analiza energetică

$$W_{an} = 0,320 \text{ kW} \times 4.100 \text{ h} = 1.312 \text{ kWh/an}$$

$$\text{Cost ipotetic} = 1.312 \times 1,10 \text{ lei/kWh} = 1.443,20 \text{ lei/an}$$

Scenariu ipotetic dimare: 2.100 h la 100% și 2.000 h la 70% din putere.

$$W_{dim} = 0,320 \times 2.100 + 0,224 \times 2.000 = 1.120 \text{ kWh/an}$$

$$\text{Economie} = 192 \text{ kWh/an} = 14,63\%$$

Dimarea nu se aplică dacă scade performanța sub cerințele de siguranță; relația dintre comandă și putere se verifică din datele driverului. Reducerea nu coboară cu mai mult de două clase sub nivelul de referință (de exemplu de la PC3 la PC5), cu revenire la 100% la detectarea pietonilor de senzori orientați spre zonele de așteptare, iar oprirea iluminatului pe timpul nopții trebuie evitată.

4.4.18.11. Procedura măsurărilor la recepție

Se documentează: data, ora, vremea, carosabilul uscat/umed, iluminatul de fond, luxmetrul și calibrarea, pozițiile și orientarea senzorului, tensiunea, starea driverelor, regimul stabilizat, geometria grilei și incertitudinea. Măsurarea orizontală se face în planul definit prin procedură, fără umbrirea senzorului. Pentru iluminarea verticală se orientează senzorul către sensul de apropiere și se repetă pentru ambele sensuri.

Măsurările se efectuează noaptea, la cel puțin o oră după pornire, pe vreme bună, cu sursele de lumină intruzive eliminate, separat pentru fiecare sens, de o echipă independentă de contractant.

4.4.18.12. Buletin demonstrativ de măsurători după execuție

ATENȚIE: toate valorile următoare sunt FICTIVE, nu măsurători efectuate.

y / x	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Y1	44	49	54	60	54	49	44
Y2	50	56	61	67	61	56	50
Y3	54	61	68	73	68	61	54
Y4	50	56	61	67	61	56	50
Y5	44	49	54	60	54	49	44

Tabelul 4.25 – Valori fictive de recepție pe grila orizontală [lx]

Suma = 1949 lx; medie inițială = 55,69 lx; minim = 44 lx; uniformitate = 0,790.

Conversie orientativă MF=0,80: medie menținută ≈ 44,55 lx; minim menținut ≈ 35,20 lx. Aceasta NU reprezintă o măsurare viitoare.

Punct	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
Sens A	33	40	46	51	47	41	34
Sens B	31	38	44	49	45	39	32

Tabelul 4.26 – Valori fictive de recepție pe grilele verticale [lx]

Sens A: medie inițială 41,71 lx; medie menținută estimată 33,37 lx; minim menținut estimat 26,40 lx.
Sens B: medie inițială 39,71 lx; medie menținută estimată 31,77 lx; minim menținut estimat 24,80 lx.

4.4.18.13. Comparația proiect–recepție

Indicator	Proiect simulat	Recepție simulată, menținut estimat
E_h medie	44,51 lx	44,55 lx
E_h minimă	35,00 lx	35,20 lx
U0 orizontal	0,786	0,790
E_v medie sens A	32,43 lx	33,37 lx
E_v medie sens B	31,43 lx	31,77 lx
E_v minimă sens A	25,00 lx	26,40 lx
E_v minimă sens B	24,00 lx	24,80 lx

Tabelul 4.27 – Comparația proiect simulat – recepție simulată

$$\text{Abatere medie } E_h = (44,55 - 44,5143)/44,5143 \times 100 = 0,08\%$$

Se compară punctele omoloage, pe aceeași bază (inițială sau menținută). Un rezultat apropiat al mediilor nu demonstrează singur conformitatea.

Comparația confirmă metodologia, dar conformitatea se judecă față de clasa PC adoptată: pentru PC3 (Ev,med ≥ 35 lx), valorile verticale menținute estimate (33,37 lx și 31,77 lx) nu ar fi conforme; pentru PC4 (≥ 25 lx) ar fi.

4.4.18.14. Incertitudinea măsurărilor

Exemplu didactic: componente standard independente 2% calibrare, 2% poziționare, 1% repetabilitate.

$$u_c = \sqrt{2^2 + 2^2 + 1^2} = 3\%; \quad U(k = 2) = 6\%$$

Pentru 50 lx:

$$E = (50 \pm 3)\ \text{lx},\ k = 2$$

Laboratorul trebuie să utilizeze propriul buget de incertitudine, nu aceste ipoteze.

4.4.18.15. Verificări electrice la recepție

Se documentează continuitatea PE, rezistența de izolație, impedanța buclei de defect, timpii de deconectare și funcționarea protecțiilor, tensiunea și puterea sub sarcină, factorul de putere, sistemul de comandă, SPD și legarea la pământ. Limitele depind de sistemul real și de reglementările aplicabile.

4.4.18.16. Deviz orientativ, fără caracter de ofertă

Element	Cost ipotetic
4 aparate LED	8.000 lei
Stâlpi, console, accesorii	12.000 lei
Fundații și lucrări civile	10.000 lei
Cabluri și protecții	6.000 lei
Comandă și automatizare	3.500 lei
Montaj și punere în funcțiune	6.000 lei
Proiectare și verificări	4.500 lei
TOTAL	50.000 lei

Tabelul 4.28 – Deviz orientativ, cu costuri ipotetice

Nu sunt incluse obligatoriu TVA, avize, relocări de utilități, managementul traficului sau branșament nou.

4.4.18.17. Mentenanță și documente finale

Planul de mentenanță include inspecții vizuale, curățarea opticilor, verificarea orientării, a conexiunilor, a comenzilor și remăsurări conform programului aprobat. La recepție se predau memoriul tehnic, planurile, breviarul, fișierele IES/LDT, raportul DIALux/Relux, schemele electrice, buletinele reale de măsurări și documentația as-built, planul de amplasare cu tipul opticii (dreapta/stânga), distanțele față de trecere și unghiurile de montaj, precum și fișele de recepție completate.

4.4.18.18. Concluzii

Soluția cu patru aparate de iluminat echipate cu LED asimetrice de 80 W este o variantă de predimensionare plauzibilă pentru analiza unei treceri de 14 m. Grilele demonstrează metodologia de prelucrare a iluminării, nu performanța unui aparat real. Proiectul executabil necesită plan topografic, clasa drumului, fotometrie certificată, modelare 3D, evaluarea orbirii și verificarea normativă și electrică.

Această soluție corespunde variantei 2 din secțiunea 3.1. Varianta minimă, cu două aparate, poate fi acceptată numai dacă fotometria reală demonstrează iluminarea verticală la bordura opusă. Pentru siguranța rutieră, realizarea unui refugiu de cel puțin 2 m rămâne prima recomandare.

4.4.18.19. Bibliografie normativă și tehnică

NP 062/2002, cu modificările ulterioare, inclusiv Ordinul MDLPA nr. 2837/2022 — https://legislatie.just.ro/

Legea nr. 278/2022 — https://legislatie.just.ro/

Asociația Română pentru Iluminat (ARI) — Ghid îndrumător. Iluminatul trecerilor de pietoni, februarie 2025

SR CEN/TR 13201-1 — Iluminat public. Partea 1: Ghid pentru selectarea claselor de iluminat

SR EN 13201-2 — Iluminat public. Partea 2: Cerințe de performanță

SR EN 13201-3 — Iluminat public. Partea 3: Calculul performanțelor

SR EN 13201-4 — Iluminat public. Partea 4: Metode de măsurare a performanțelor fotometrice

SR EN 13201-5 — Iluminat public. Partea 5: Indicatori de performanță energetică

SR EN 60598-1 și SR EN 60598-2-3 — Securitatea corpurilor de iluminat

SR EN 62471 — Siguranța fotobiologică

SR EN 60529 — Grade de protecție IP

SR EN 62262 — Rezistență la impact IK

SR EN 40 — Stâlpi pentru iluminat

SR EN 12767 — Siguranța pasivă a structurilor-suport

SR 1848-1 și SR 1848-7 — Semnalizare rutieră: indicatoare și marcaje

SR HD 60364 și normativul I7, în domeniul lor de aplicare

CIE 115:2010 — Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic

CIE 140:2019 — Road Lighting Calculations

CIE 154:2003 — The Maintenance of Outdoor Lighting Systems

CIE 194:2011 — On Site Measurement of the Photometric Properties of Road and Tunnel Lighting

DIN 67523-1 — Iluminatul trecerilor de pietoni cu iluminat suplimentar (referință comparativă)

Notă: edițiile în vigoare, amendamentele și aplicabilitatea standardelor trebuie confirmate în catalogul ASRO și în legislația actualizată.

4.5. Proiectarea sistemelor de iluminat destinate intersecțiilor *[Tănasie A.]*

Proiectarea iluminatului pentru intersecțiile rutiere reprezintă o etapă importantă în realizarea infrastructurii de transport, având ca scop creșterea siguranței circulației pe timp de noapte, îmbunătățirea vizibilității participanților la trafic și reducerea riscului de accidente. Un sistem de iluminat rutier trebuie să

asigure vizibilitatea vehiculelor, pietonilor, indicatoarelor și marcajelor, precum și identificarea din timp a geometriei intersecției și a eventualelor obstacole.

4.5.1. Scopul și obiectivele iluminatului intersecțiilor

Principalele obiective sunt:

- Siguranța rutieră: identificarea rapidă a vehiculelor care se apropie, virează sau traversează intersecția.
- Vizibilitatea pietonilor și bicicliștilor: recunoașterea acestora de către conducătorii auto, inclusiv în zonele de traversare.
- Orientarea vizuală: evidențierea insulelor de separare, a refugiilor, a benzilor de viraj și a zonelor de conflict.
- Uniformitatea iluminării: evitarea alternanțelor puternice între zone foarte luminoase și zone întunecate.
- Confortul vizual: limitarea orbirii produse de aparatele de iluminat.
- Eficiența energetică: utilizarea aparatelor LED, a comenzilor automate și a sistemelor de reglare a fluxului luminos, acolo unde sunt adecvate.

Iluminatul trebuie proiectat în raport cu tipul intersecției, volumul de trafic, viteza de circulație, geometria drumurilor și nivelul de iluminat al sectoarelor de drum adiacente.

4.5.2. Clasificarea intersecțiilor din punctul de vedere al iluminatului

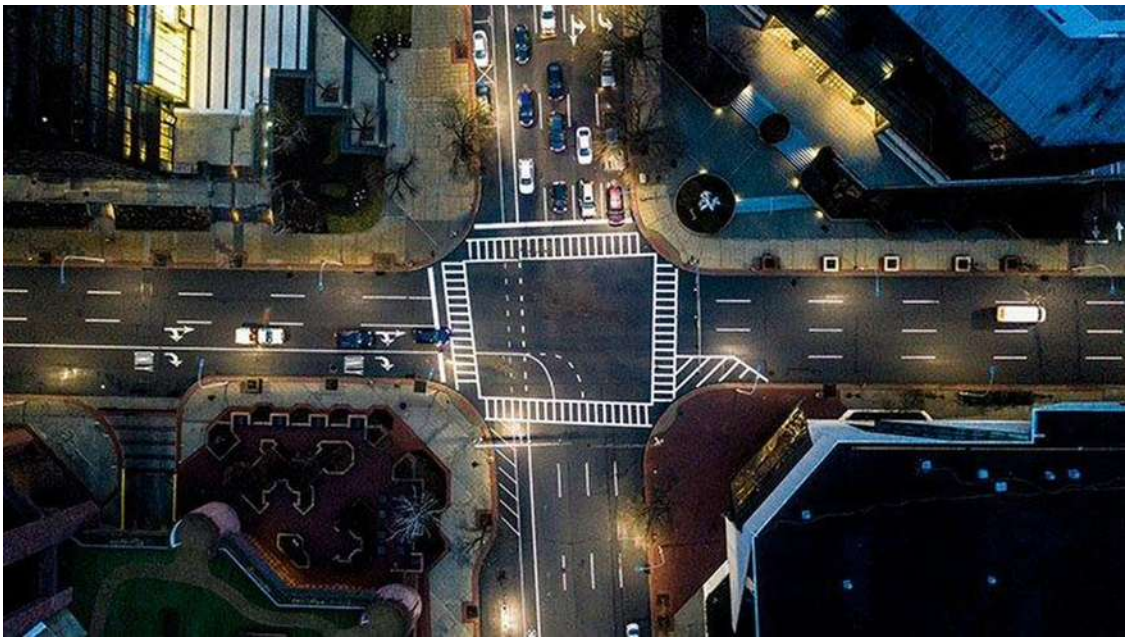


Figura 4.24 – Intersecție la nivel, cu patru brațe

4.5.2.1. Intersecții la nivel, cu trei sau patru brațe

Sunt întâlnite în localități și pe drumuri cu trafic mixt. Iluminatul trebuie să acopere zona centrală, apropierea de intersecție, benzile de viraj și trecerile de pietoni.

Figura 4.25 – Intersecție giratorie iluminată

4.5.2.2. Intersecții giratorii

Se urmărește evidențierea insulei centrale, a intrărilor și ieșirilor, a traiectoriilor de circulație și a traversărilor pentru pietoni.

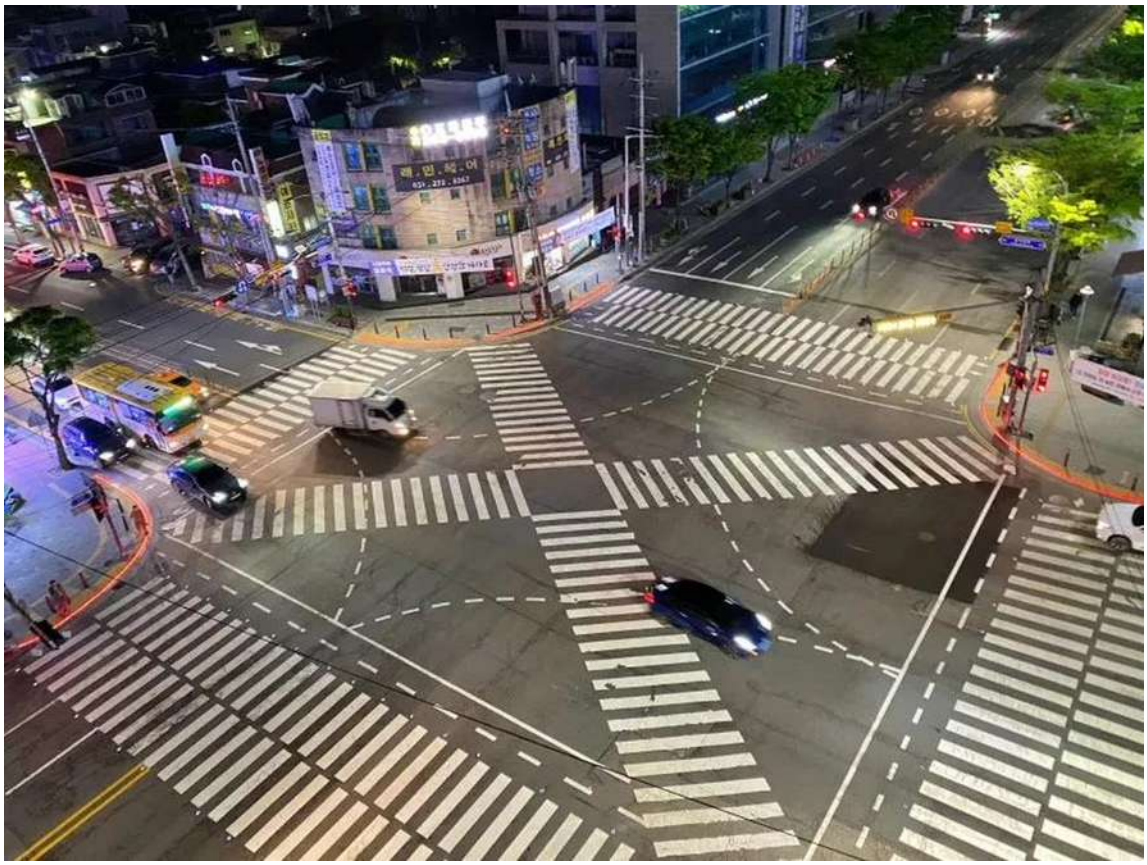


Figura 4.26 – Intersecție semaforizată cu treceri de pietoni

4.5.2.3. Intersecții semaforizate

Se acordă atenție zonelor de oprire, benzilor de viraj, traversărilor și vizibilității participanților care se intersectează.

Figura 4.27 – Nod rutier denivelat

4.5.2.4. Noduri rutiere denivelate

Necesită o analiză a rampelor, bretelelor, zonelor de convergență și divergență, a curbelor și a diferențelor de nivel.

Intersecțiile cu trafic intens, geometrie complexă sau frecvență ridicată a conflictelor necesită o analiză fotometrică mai riguroasă decât intersecțiile simple, cu trafic redus.

4.5.3. Cadrul normativ și standardele aplicabile în România

Proiectarea trebuie realizată pe baza reglementărilor tehnice în vigoare la data elaborării proiectului. Principalele documente de referință sunt:

- NP 062/2002, în forma modificată și completată prin Ordinul nr. 2837/2022 – normativ pentru proiectarea sistemelor de iluminat rutier și pietonal [9, 10].
- SR CEN/TR 13201-1 – selectarea claselor de iluminat [4].
- SR EN 13201-2 – cerințe de performanță [5].
- SR EN 13201-3 – calculul performanțelor luminotehnice [6].
- SR EN 13201-4 – metode de măsurare a performanțelor fotometrice [7].
- SR EN 13201-5 – indicatori de performanță energetică [8].

În funcție de amplasament, se verifică și cerințele privind instalațiile electrice, protecția împotriva șocurilor electrice, împământarea, fundațiile stâlpilor, protecția la supratensiuni și compatibilitatea cu infrastructura rutieră.

Referințele de mai sus trebuie verificate în edițiile și cu amendamentele aplicabile proiectului concret; enumerarea lor nu înlocuiește verificarea normativă de specialitate.

4.5.4. Alegerea clasei de iluminat

Alegerea clasei de iluminat este una dintre cele mai importante etape. Nu se stabilește numai după lățimea intersecției sau puterea corpurilor de iluminat, ci după condițiile reale de utilizare.

În sistemul SR EN 13201 sunt relevante trei categorii principale [4–8, 11]:

Clase M – trafic motorizat. Criteriu principal: luminanța carosabilului, exprimată în cd/m². Se folosesc pentru sectoarele de drum unde predomină vehiculele motorizate și vitezele de deplasare sunt relevante pentru evaluarea vizibilității. Clase C – zone de conflict Criteriu principal: iluminarea orizontală, exprimată în lx. Sunt relevante pentru zona centrală a intersecției, intersectarea fluxurilor de trafic, schimbarea direcției și zonele în care coexistă mai multe categorii de utilizatori.

Clase P – pietoni și bicicliști. Criterii de iluminare adaptate utilizării pietonale. Sunt relevante pentru trotuare, piste, refugii și zone pietonale, în funcție de clasificarea și condițiile amplasamentului. Clasificarea zonelor și alegerea cerințelor fotometrice trebuie făcute conform standardelor aplicabile, nu prin atribuirea automată a unei clase doar pe baza tipului intersecției.

Parametrii care se analizează includ:

- viteza de circulație și volumul traficului;
- proporția vehiculelor grele, a bicicliștilor și a pietonilor;
- numărul de brațe și benzile de viraj;
- existența semafoarelor, a trecerilor de pietoni și a refugiilor;
- luminanța ambientală și ghidajul vizual;
- nivelul iluminării pe drumurile de acces și tranziția către intersecție.

4.5.5. Studiul amplasamentului și datele de intrare

Înainte de efectuarea calculelor se realizează o analiză a amplasamentului. Date geometrice necesare:

1. Planul topografic, cu scara și sistemul de coordonate.
2. Lățimea fiecărei căi de circulație și numărul benzilor.
3. Raza curbelor, insulele direcționale și refugiile.
4. Poziția trecerilor de pietoni și a pistelor pentru biciclete.
5. Amplasarea indicatoarelor, semafoarelor și a obstacolelor.
6. Poziția rețelelor subterane și aeriene și a eventualelor construcții care pot produce umbre.

Date de trafic și mediu:

- viteza de proiectare și vitezele practicate;
- intensitatea traficului pe fiecare braț;
- proporția utilizatorilor vulnerabili;
- nivelul iluminatului existent;
- condițiile de ploaie, murdărire și depuneri;
- condițiile de mediu relevante pentru limitarea luminii intruzive.

Rezultatul acestei etape este planul de situație pe care se vor amplasa stâlpii și se vor defini suprafețele de calcul luminotehnic.

4.5.6. Stabilirea poziției stâlpilor și a aparatelor de iluminat

Amplasarea aparatelor de iluminat trebuie să asigure acoperirea întregii zone de conflict și să nu creeze obstacole periculoase pentru circulație.

Figura 4.28 – Amplasarea aparatelor de iluminat într-o intersecție

Figura 4.29 – Iluminatul unei intersecții cu treceri de pietoni și benzi de viraj

4.5.6.1. Principii de amplasare

- Stâlpii se poziționează, de regulă, în afara suprafețelor de circulație, în funcție de zona de siguranță și de geometria drumului.
- Se evită amplasarea în dreptul vizibilității necesare la intrarea în intersecție.
- Se urmărește iluminarea uniformă a zonei centrale și a zonelor de apropiere.
- Se verifică dacă brațele laterale și corpurile nu interferează cu indicatoarele sau semafoarele.

- Se evită situațiile în care vegetația, clădirile sau vehiculele de mari dimensiuni produc umbre semnificative.
- Pentru trecerile de pietoni se analizează separat vizibilitatea pietonului, inclusiv contrastul față de fundal.

4.5.6.2. Înălțimea de montaj

Înălțimea stâlpilor se alege în funcție de lățimea suprafeței de iluminat, fotometria corpului, distanța dintre stâlpi și cerințele de limitare a orbirii. O înălțime mai mare poate ajuta la uniformizarea iluminării, dar nu garantează automat un rezultat mai bun. În mod similar, montarea unor corpuri mai puternice pe stâlpi joși poate produce pete luminoase și orbire.

4.5.6.3. Dispunerea aparatelor de iluminat

Soluțiile uzuale sunt:

- dispunere unilaterală, pe o singură parte a drumului;
- dispunere bilaterală, pe părți opuse;
- dispunere alternată;
- amplasare pe stâlpi înalți sau console multiple, pentru intersecții largi;
- iluminare dedicată pentru traversări, refugii sau puncte cu risc ridicat.

Alegerea finală se face prin calcul fotometric, nu numai prin reguli geometrice generale.

4.5.7. Alegerea aparatelor de iluminat

În proiectele moderne se utilizează frecvent corpuri de iluminat cu tehnologie LED, datorită eficienței energetice, duratei de viață și posibilității de reglare a fluxului luminos.

Figura 4.30 – Aparat de iluminat rutier cu LED și componentele sale

4.5.7.1. Flux luminos și putere electrică

Fluxul luminos, exprimat în lumeni (lm), trebuie ales în funcție de distribuția fotometrică, înălțimea de montaj și suprafața de calcul. Puterea electrică, exprimată în wați (W), determină consumul, dar nu este suficientă pentru a aprecia performanța luminotehnică.

Figura 4.31 – Modul LED cu lentile pentru controlul distribuției intensității luminoase

4.5.7.2. Distribuția intensității luminoase

Se selectează o optică adecvată iluminării carosabilului, astfel încât lumina să ajungă în zonele necesare fără dispersie excesivă spre proprietățile învecinate sau spre cer.

Figura 4.32 – Aparat de iluminat rutier cu LED deschis: compartimentul aparatajului electric

4.5.7.3. Protecția și fiabilitatea

Se verifică gradul de protecție la praf și apă, rezistența mecanică, protecția la supratensiuni, compatibilitatea electrică și condițiile de exploatare. Valorile necesare se stabilesc prin specificația tehnică și condițiile amplasamentului.

Alți parametri importanți sunt temperatura de culoare, indicele de redare a culorilor, factorul de menținere a fluxului luminos, posibilitatea de dimare și compatibilitatea cu sistemul de comandă.

4.5.8. Calculul luminotehnic

Calculul luminotehnic demonstrează că soluția aleasă satisface cerințele clasei de iluminat. Se utilizează un program specializat, precum DIALux evo sau un instrument echivalent, pe baza fișierelor fotometrice ale corpurilor de iluminat, de tip IES sau LDT.

4.5.8.1. Iluminarea medie

Iluminarea medie a unei suprafețe se definește prin relația:

$$E_{\text{med}} = \frac{1}{A} \int_A E(x, y)\, dA$$

unde:

- E_{med} – iluminarea medie, în lux (lx);
- $E(x, y)$ – iluminarea într-un punct al suprafeței;
- A – aria suprafeței analizate, în m².

Pentru o evaluare nu este suficientă valoarea medie. Se verifică și iluminarea minimă, uniformitatea și, după caz, iluminarea verticală sau semicilindrică pentru zonele pietonale.

4.5.8.2. Uniformitatea iluminării

Uniformitatea generală a iluminării poate fi exprimată prin:

$$U_0 = \frac{E_{\text{min}}}{E_{\text{med}}}$$

unde E_{min} este iluminarea minimă calculată, iar E_{med} este iluminarea medie.

Un raport mai mare indică o distribuție mai uniformă a iluminării. Valoarea necesară trebuie să respecte cerințele clasei selectate și ale standardului aplicabil. Pentru clasele M se analizează, în principal, luminanța carosabilului și uniformitățile aferente, iar pentru clasele C sunt relevante cerințele bazate pe iluminare. Prin urmare, formula de mai sus nu înlocuiește toate criteriile de performanță.

4.5.8.3. Luminanța carosabilului

Luminanța, exprimată în cd/m², descrie luminozitatea aparentă a suprafeței privite de conducătorul auto. Ea depinde atât de iluminare, cât și de proprietățile de reflexie ale îmbrăcămintii rutiere și de direcția de observare. În funcție de clasa de iluminat, se verifică [2]:

- luminanța medie;
- uniformitatea generală și longitudinală;
- orbirea fiziologică;
- iluminarea zonelor de conflict și a zonelor pietonale.

4.5.8.4. Factorul de menținere

Pentru ca instalația să își păstreze performanțele pe durata exploatării, calculul ia în considerare deprecierea fluxului luminos și murdărirea corpurilor.

Într-o abordare simplificată:

$$E_{\text{menținut}} = E_{\text{inițial}} \cdot MF$$

unde MF este factorul de menținere, cu valoarea stabilită pe baza caracteristicilor echipamentelor, a mediului și a planului de întreținere.

4.5.8.5. Orbirea

Se analizează poziția observatorului, distribuția intensității luminoase și direcțiile din care corpurile pot produce disconfort sau reducerea capacității de percepție. Este importantă în special la apropierea de intersecție și la schimbarea direcției de mers.

Metodologia și criteriile concrete de calcul se stabilesc în funcție de clasa de iluminat și de ediția standardului aplicabil.

4.5.9. Exemplu orientativ de calcul pentru o intersecție

Se consideră o intersecție urbană cu patru brațe, fără denivelări, cu treceri de pietoni și iluminat LED.

Date ipotetice de proiectare

Valorile de mai jos sunt doar un exemplu de calcul preliminar, nu cerințe normative.

Tip intersecție	La nivel, cu patru brațe
Lățimea carosabilului pe fiecare braț	7 m
Zona centrală analizată	20 × 20 m
Aria zonei centrale	400 m²
Înălțimea inițial analizată	8–10 m
Tehnologie	LED, optică rutieră

Tabelul 4.29 – Date ipotetice de proiectare pentru intersecția din exemplu

Pentru a ilustra relația dintre iluminare și fluxul luminos, să presupunem, exclusiv didactic, o iluminare medie țintă de 20 lx pentru suprafața de 400 m².

Fluxul luminos util pe suprafață ar fi:

$$\Phi_{\text{util}} = E_{\text{med}} \cdot A\Phi_{\text{util}} = 20 \cdot 400 = 8\,000 \text{ lm}$$

Dacă s-ar presupune, tot orientativ, un factor global de utilizare de 0,40 și un factor de menținere de 0,80, fluxul total instalat necesar conform acestei aproximări ar fi:

$$\Phi_{\text{inst}} = \frac{8\,000}{0,40 \cdot 0,80} = 25\,000 \text{ lm}$$

Acest rezultat nu reprezintă dimensionarea finală a intersecției. El nu stabilește numărul de aparate de iluminat și nu demonstrează conformitatea cu o clasă C. Distribuția luminii, geometria celor patru brațe, uniformitatea, orbirea și iluminarea trecerilor de pietoni pot impune o soluție diferită.

Etapele de verificare în programul luminotehnic

1. Se modelează intersecția și suprafețele de calcul.
2. Se introduc pozițiile și înălțimile preliminare ale stâlpilor.
3. Se importă fișierul fotometric real al aparatului de iluminat cu LED.
4. Se calculează parametrii fotometrici ceruți.
5. Se modifică pozițiile, orientarea, optica sau numărul aparatelor de iluminat.
6. Se repetă calculul până când toate criteriile aplicabile sunt îndeplinite.
7. Se exportă planul de amplasare, rezultatele și raportul de calcul.

4.5.10. Proiectarea instalației electrice

Pe lângă calculul luminotehnic, trebuie proiectată instalația electrică de alimentare și protecție.

Schema funcțională de principiu este:

Rețea de alimentare

Rețeaua publică sau sursa autorizată
Tablou electric de iluminat
Protecții, comandă și monitorizare
Circuite de alimentare
Cabluri, conductoare de protecție și conexiuni
Aparate de iluminat cu LED
Protecție electrică

4.5.10.1. Dimensionarea circuitelor

Se determină puterea totală instalată:

$$P_{\text{inst}} = \sum_{i=1}^{n} P_i$$

Pentru un circuit trifazat echilibrat, curentul se estimează cu relația:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\, U \cos\varphi\, \eta}$$

unde U este tensiunea între faze, $\cos\varphi$ este factorul de putere, iar η reprezintă randamentul, dacă acesta nu este deja inclus în puterea electrică declarată. Pentru circuite LED trebuie analizați și curenții de pornire.

Dimensionarea finală a cablurilor și protecțiilor ține cont de curentul admisibil, lungimea circuitului, căderea de tensiune, modul de pozare, condițiile de scurtcircuit și selectivitatea protecțiilor.

4.5.10.2. Măsuri de protecție

Proiectul va prevedea, după caz:

- protecție la supracurenți și scurtcircuit;
- protecție împotriva șocurilor electrice;
- conductor de protecție și legături echipotențiale;
- protecție împotriva supratensiunilor;
- verificarea prizei de pământ și a continuității conductoarelor de protecție;
- tablouri și echipamente adecvate mediului exterior.

Valorile și soluțiile se stabilesc prin proiectul de specialitate, conform reglementărilor electrice aplicabile.

4.5.11. Automatizarea și eficiența energetică

Un sistem modern poate integra:

- senzori crepusculari pentru pornirea și oprirea iluminatului;
- programatoare astronomice;
- reglarea fluxului luminos în funcție de intervalul orar;
- telegestiune pentru monitorizarea consumului și a defecțiunilor;
- senzori de trafic, dacă soluția adaptivă este justificată tehnic.

Reducerea fluxului luminos este permisă numai în limitele în care sunt păstrate cerințele de performanță și siguranță aplicabile. Iluminatul unei intersecții nu trebuie redus arbitrar în perioadele cu trafic scăzut.

Consumul anual se poate estima preliminar prin:

$$W_{\text{an}} = \frac{P_{\text{med}} \cdot t}{1000}$$

unde P_{med} este puterea medie absorbită, în wați, iar t este numărul anual de ore de funcționare. Rezultatul se exprimă în kWh/an.

4.5.12. Verificarea, recepția și întreținerea

După executarea instalației se verifică atât partea electrică, cât și performanțele luminotehnice.

1. Verificări electrice: continuitatea conductoarelor de protecție, izolația, protecțiile, conexiunile și funcționarea tabloului.
2. Verificări geometrice: poziția stâlpilor, înălțimea de montaj și orientarea corpurilor.
3. Măsurători fotometrice: măsurarea iluminării în punctele de calcul, potrivit metodei și criteriilor aplicabile.
4. Compararea cu proiectul: verificarea rezultatelor măsurate și a configurației efectiv executate față de soluția aprobată.
5. Plan de întreținere: curățarea corpurilor, verificarea conexiunilor, înlocuirea echipamentelor defecte și monitorizarea degradării fluxului luminos.

Măsurătorile la fața locului sunt importante deoarece rezultatele reale pot fi influențate de reflexia carosabilului, obstacole, vegetație și diferențele dintre echipamentele montate și cele modelate.

4.5.13. Documentația finală a proiectului

Un proiect complet de iluminat al unei intersecții ar trebui să includă:

Document	Conținut principal
Memoriu tehnic	Descrierea amplasamentului, soluției și criteriilor de proiectare
Plan de situație	Poziția stâlpilor, aparatelor și traseelor de cabluri
Studiu luminotehnic	Clase de iluminat, suprafețe de calcul și rezultate
Fișe tehnice	Aparate LED, stâlpi, console și echipamente de comandă
Scheme electrice	Alimentare, circuite, tablouri și protecții
Detalii de execuție	Fundații, montaj, conexiuni și traversări
Breviar de calcul	Dimensionarea electrică și justificarea soluției
Plan de întreținere	Operații periodice și intervenții corective

Tabelul 4.30 – Conținutul documentației finale a proiectului

Documentația se completează cu liste de cantități, devize și documentele de verificare tehnică prevăzute pentru categoria proiectului.

4.5.14. Concluzie

Proiectarea unui sistem de iluminat pentru o intersecție rutieră presupune corelarea geometriei drumului, a traficului, a clasei de iluminat, a distribuției fotometrice și a instalației electrice. Soluția corectă nu este neapărat cea cu cele mai multe aparate de iluminat sau cu cea mai mare putere, ci aceea care îndeplinește cerințele de vizibilitate, uniformitate, limitarea orbirii, siguranță electrică și eficiență energetică.

4.6. Proiectarea sistemelor de iluminat destinate podurilor rutiere *[Păuț I.]*

4.6.1. Considerații generale

Iluminatul podurilor rutiere reprezintă o componentă importantă a sistemelor de iluminat exterior destinate infrastructurii de transport. Rolul principal al instalației de iluminat este de a asigura condiții corespunzătoare de vizibilitate pe timpul nopții și în condiții de vizibilitate redusă, astfel încât conducătorii autovehiculelor să poată percepe în timp util traseul drumului, marcajele, obstacolele, ceilalți participanți la trafic și elementele constructive ale podului.

Spre deosebire de un sector obișnuit de drum, un pod constituie o zonă cu particularități geometrice și constructive proprii. Pe pod pot apărea modificări ale lățimii platformei, schimbări de direcție, variații ale declivității, parapete, rosturi de dilatație, elemente metalice, stâlpi, cabluri, grinzi sau alte componente structurale. În plus, în cazul podurilor situate peste cursuri de apă, iluminatul poate avea efecte asupra mediului nocturn și asupra zonelor învecinate.

Prin urmare, proiectarea iluminatului unui pod nu trebuie privită izolat, ci ca parte a **sistemului de iluminat al întregului traseu rutier**. O tranziție bruscă între nivelul de iluminare al drumului și cel al podului poate produce variații importante ale condițiilor vizuale și poate reduce confortul și siguranța conducătorilor auto.

Cadrul european pentru proiectarea iluminatului rutier este asociat în principal familiei de standarde **EN/SR EN 13201**, iar recomandările CIE constituie o referință importantă pentru stabilirea și evaluarea criteriilor fotometrice. CIE 115:2010 utilizează, în funcție de situație, clase de iluminat pentru traficul motorizat, zone conflictuale și pietoni/cicliști [1, 4–8, 11].

4.6.2. Obiectivele sistemului de iluminat

Proiectarea instalației de iluminat pentru un pod rutier trebuie să urmărească realizarea mai multor obiective simultan.

Principalele obiective sunt:

1. **asigurarea vizibilității suficiente a carosabilului;**
2. **asigurarea unei distribuții uniforme a luminanței/iluminării;**
3. **limitarea fenomenului de orbire;**
4. **evidențierea traseului rutier și a eventualelor schimbări de direcție;**
5. **asigurarea vizibilității obstacolelor și participanților la trafic;**
6. **asigurarea continuității vizuale între drumul de acces și pod;**
7. **asigurarea iluminării corespunzătoare a zonelor pietonale și a pistelor pentru biciclete, dacă acestea există;**
8. **limitarea consumului de energie;**
9. **reducerea necesarului de întreținere;**
10. **limitarea poluării luminoase;**
11. **asigurarea funcționării instalației în condiții meteorologice dificile;**
12. **asigurarea unei durate de viață cât mai mari a echipamentelor.**

În cazul unui pod rutier, obiectivul nu este pur și simplu „să existe lumină”, ci să fie obținută **o distribuție controlată a luminii**, astfel încât aceasta să ajungă în principal pe suprafețele care trebuie iluminate.

4.6.3. Particularitățile iluminatului podurilor rutiere

Podurile prezintă o serie de particularități care trebuie introduse încă din faza de proiectare.

a) Geometria diferită față de un sector normal de drum

Podul poate avea:

- carosabil cu una sau mai multe benzi;
- sensuri de circulație separate sau nesperate;
- trotuare;
- piste pentru biciclete;
- parapete;
- grinzi;
- cabluri;
- pile;
- elemente de susținere;
- rosturi de dilatație;
- zone de racordare cu terasamentele.

Toate aceste elemente influențează amplasarea aparatelor de iluminat și distribuția fluxului luminos.

b) Expunerea la condiții meteorologice

Un pod este, în general, mult mai expus decât un sector de drum protejat de construcții sau vegetație. Echipamentele sunt supuse:

- ploii;
- zăpezii;
- înghețului;
- variațiilor de temperatură;
- vântului;
- radiației solare;
- condensului;
- prafului;
- aerosolilor și, în anumite situații, atmosferei corozive.

Prin urmare, alegerea aparatelor de iluminat trebuie să țină cont nu numai de performanțele fotometrice, ci și de condițiile reale de exploatare.

c) Posibilitatea apariției reflexiilor

Suprafața carosabilului umed poate reflecta puternic lumina provenită de la aparatele de iluminat. În anumite configurații, aceste reflexii pot genera zone foarte luminoase și zone întunecate.

CIE subliniază faptul că proprietățile de reflexie ale suprafeței drumului reprezintă un element important în calculul luminanței carosabilului.

4.6.4. Alegerea clasei de iluminat

Una dintre primele etape ale proiectării este stabilirea **clasei de iluminat**.

În cazul traficului motorizat, standardele moderne de iluminat rutier utilizează în principal clasele **M**, iar în anumite zone în care calculul bazat pe luminanța carosabilului nu este adecvat se pot utiliza clasele **C**. Clasele M sunt asociate drumurilor cu viteze de circulație medii sau ridicate, iar clasele C pot fi utilizate în zone conflictuale sau în situații în care calculul luminanței nu este practic.

Alegerea clasei trebuie să țină cont de:

- viteza de proiectare;
- intensitatea traficului;
- categoria drumului;
- geometria traseului;
- complexitatea intersecțiilor;
- prezența pietonilor și bicicliștilor;
- existența unor zone conflictuale;
- riscul de accidente;
- caracteristicile mediului;
- necesitatea unui iluminat adaptiv.

CIE 115 propune tocmai o abordare bazată pe caracteristicile utilizatorilor și ale drumului, cu posibilitatea utilizării claselor M, C și P [1].

4.6.5. Luminanța carosabilului

Pentru drumurile destinate traficului motorizat, unul dintre cele mai importante criterii este **luminanța carosabilului**.

Luminanța reprezintă, simplificat, cantitatea de lumină percepută de observator provenită de la suprafața iluminată.

Se exprimă în:

$$L\ \left[cd/m^2\right]$$

În cazul claselor M, criteriile principale sunt:

- luminanța medie a carosabilului L_{av};
- uniformitatea generală U_o;
- uniformitatea longitudinală U_l;

- indicele de orbire TI;
- raportul iluminării zonei marginale EIR.

În documentația actuală asociată EN 13201-2 sunt prezentate, de exemplu, clasele M1–M6, cu valori de luminanță medie menținută de la 2,00 cd/m² pentru M1 până la 0,30 cd/m² pentru M6, însoțite de cerințe privind uniformitatea și orbirea. Clasa efectivă trebuie însă stabilită pentru cazul concret și conform cerințelor naționale aplicabile proiectului [5].

4.6.6. Uniformitatea iluminatului

Un sistem de iluminat nu este corespunzător dacă asigură numai o valoare medie suficientă.

De exemplu, să presupunem că două instalații asigură aceeași luminanță medie:

$$L_{med} = 1,0\ cd/m^2$$

În primul caz, luminanța este relativ constantă pe carosabil.

În al doilea caz, există alternativ zone foarte luminoase și zone foarte întunecate.

Din punct de vedere al confortului și siguranței, prima instalație este evident preferabilă.

Uniformitatea generală se poate exprima prin:

$$U_o = \frac{L_{min}}{L_{med}}$$

unde:

- L_{min}= luminanța minimă;
- L_{med}= luminanța medie.

Pentru clasele M, uniformitatea generală este unul dintre criteriile fundamentale de evaluare. Standardul actualizat precizează că uniformitatea generală indică modul în care suprafața carosabilului poate constitui un fundal vizual pentru marcaje, obiecte și ceilalți participanți la trafic.

Uniformitatea longitudinală poate fi exprimată prin:

$$U_l = \frac{L_{min,long}}{L_{max,long}}$$

Aceasta este importantă în special pe sectoarele lungi și neîntrerupte de drum, deoarece influențează apariția succesivă a zonelor luminoase și întunecate.

4.6.7. Fenomenul de orbire

Una dintre cele mai importante probleme ale iluminatului rutier este **orbirea produsă de aparatele de iluminat**.

Orbirea poate reduce capacitatea conducătorului auto de a observa:

- pietoni;
- bicicliști;
- vehicule;
- obstacole;
- semne de circulație;
- modificări ale traseului.

În cazul aparatelor de iluminat amplasate pe pod, problema poate fi mai accentuată deoarece acestea pot intra direct în câmpul vizual al conducătorului auto.

Pentru caracterizarea orbirii se utilizează, în cadrul claselor M, **Threshold Increment – TI**, exprimat procentual.

În forma actuală a criteriilor pentru clasele M, valorile maxime ale TI sunt de ordinul 10–20%, în funcție de clasă.

Prin urmare, nu este recomandată utilizarea unor corpuri de iluminat cu flux luminos foarte mare și distribuție necontrolată doar pentru a „lumina mai bine” podul.

4.6.8. Distribuția fotometrică

Alegerea aparatului de iluminat trebuie făcută în funcție de **curba fotometrică**, nu numai în funcție de puterea electrică.

Două aparate de iluminat de 60 W pot avea rezultate complet diferite dacă au distribuții fotometrice diferite.

Trebuie analizate:

- fluxul luminos;
- intensitatea luminoasă;
- distribuția longitudinală;
- distribuția transversală;
- unghiul de emisie;
- intensitatea luminoasă în direcția observatorului;
- eficiența optică;
- controlul luminii spre exteriorul podului.

Pentru un pod poate fi avantajoasă o distribuție asimetrică sau specializată, astfel încât lumina să fie concentrată pe carosabil și trotuare.

4.6.9. Stabilirea înălțimii de montaj

Înălțimea stâlpului sau a suportului influențează direct:

- suprafața iluminată;
- uniformitatea;
- orbirea;
- distanța dintre corpuri;
- puterea necesară;
- accesul pentru mentenanță.

Într-o primă aproximare, pentru un aparat de iluminat amplasat la înălțimea h, iluminarea într-un punct poate fi exprimată prin legea inversului pătratului distanței:

$$E = \frac{I(\gamma)}{r^2} \cos \gamma$$

unde:

- E= iluminarea în punctul considerat [lx];
- $I(\gamma)$= intensitatea luminoasă în direcția punctului [cd];
- r= distanța dintre corp și punct [m];
- γ= unghiul de incidență.

Formula este utilă pentru înțelegerea fenomenului, însă proiectarea reală trebuie realizată utilizând **datele fotometrice ale aparatului de iluminat și un model de calcul al întregii instalații**. CIE 140:2019 este dedicat tocmai calculelor de iluminat rutier și tratează calculul luminanței, iluminării, uniformității, TI și EIR [2].

4.6.10. Distanța dintre aparatele de iluminat

Distanța dintre corpuri se determină în funcție de:

- înălțimea de montaj;
- lățimea carosabilului;
- distribuția fotometrică;
- fluxul luminos;
- clasa de iluminat;
- configurația podului;

- tipul parapetului;
- poziția aparatelor.

Într-o schemă simplificată:

aparat – aparat

trebuie să producă o suprapunere suficientă a distribuțiilor fotometrice.

Dacă distanța este prea mare, apar zone întunecate. Dacă distanța este prea mică, instalația poate deveni:

- mai scumpă;
- mai energofagă;
- mai dificil de întreținut;
- inutil de densă.

Prin urmare, distanța optimă se stabilește iterativ prin calcul fotometric.

4.6.11. Amplasarea aparatelor de iluminat pe pod

Există mai multe configurații posibile.

Amplasare unilaterală

Corpurile sunt amplasate pe o singură parte a drumului. vantaje:

- instalație simplă;
- număr redus de stâlpi;
- cost mai mic.

Dezavantaje:

- uniformitate transversală potențial mai slabă;
- poate necesita distribuții fotometrice speciale;
- poate genera zone cu luminanță neuniformă.

Amplasare bilaterală opusă

Corpurile sunt amplasate alternativ sau față în față pe ambele părți ale carosabilului. Avantaje:

- uniformitate mai bună;
- iluminare mai echilibrată.

Dezavantaje:

- mai multe echipamente;
- cost mai mare;
- necesită analizarea atentă a parapetelor și a structurii podului.

Amplasare axială

Aparatele sunt amplasate în zona mediană, dacă geometria podului permite. Această soluție poate fi interesantă pentru podurile cu două sensuri separate, dar trebuie analizate:

- impactul asupra vizibilității;
- posibilitatea montării;
- protecția la impact;
- accesul pentru mentenanță;
- efectul asupra traficului.

4.6.12. Integrarea iluminatului podului cu iluminatul drumului

Aceasta este una dintre cele mai importante probleme. Podul nu trebuie iluminat ca un „obiect separat”.

Dacă drumul înaintea podului are un anumit nivel de luminanță, iar pe pod se introduce brusc un nivel mult mai mare, conducătorul auto poate percepe o zonă foarte luminoasă urmată de o zonă mai întunecată.

Trebuie urmărită continuitatea:

$$Drum \rightarrow Racordare \rightarrow Pod \rightarrow Racordare \rightarrow Drum$$

Prin urmare, proiectantul trebuie să verifice împreună:

- sectorul anterior podului;
- zona de acces;
- podul;
- zona de ieșire;
- eventualele intersecții;
- zonele de conflict.

4.6.13. Iluminatul în zona de acces la pod

Zona de acces este critică deoarece poate include:

- schimbarea pantei;
- schimbarea direcției;
- parapete;
- indicatoare;
- marcaje;
- rampe;
- intersecții;
- treceri pentru pietoni.

În această zonă, iluminatul trebuie să permită identificarea din timp a configurației drumului. Dacă podul are o curbă, de exemplu, amplasarea aparatelor nu trebuie stabilită numai după un pas geometric constant. Este necesară verificarea fotometrică pe întreaga curbă.

4.6.14. Iluminarea parapetelor și a elementelor constructive

Parapetul rutier are un rol major în percepția vizuală a marginilor carosabilului. Iluminatul trebuie să permită identificarea clară a:

- limitei carosabilului;
- parapetului;
- obstacolelor;
- capetelor de parapet;
- elementelor verticale.

Trebuie însă evitată iluminarea excesivă a parapetului dacă aceasta generează contraste puternice față de carosabil.

4.6.15. Trotuarele și pistele pentru biciclete

Dacă podul include trotuare sau piste de biciclete, acestea trebuie tratate separat în proiectarea iluminatului.

Nu este suficient să se considere că lumina destinată carosabilului va asigura automat condiții adecvate pentru pietoni.

Pentru zonele destinate pietonilor și bicicliștilor pot fi aplicabile clase specifice de iluminat.

CIE 115 include clase dedicate utilizatorilor pietonali și cicliștilor și introduce, pe lângă iluminarea orizontală, concepte precum iluminarea verticală și iluminarea semicilindrică, relevante în situațiile în care recunoașterea persoanelor este importantă [1].

4.6.16. Alegerea sursei LED

În instalațiile moderne de iluminat rutier, soluția predominantă este reprezentată de aparatele de iluminat cu LED.

Avantajele LED-urilor sunt:

- eficiență energetică ridicată;

- durată de viață mare;
- pornire instantanee;
- posibilitatea reglării fluxului luminos;
- control electronic;
- distribuție fotometrică precisă;
- posibilitatea monitorizării;
- reducerea costurilor de exploatare.

Puterea electrică nu trebuie însă aleasă înaintea calculului fotometric.

4.6.17. Temperatura de culoare și redarea culorilor

Pentru iluminatul rutier trebuie aleasă corespunzător temperatura de culoare a LED-urilor. În funcție de proiect pot fi utilizate, de exemplu:

- 2200–2700 K;
- 3000 K;
- 4000 K.

Temperatura de culoare mai redusă poate fi avantajoasă în zone unde se dorește limitarea impactului asupra mediului nocturn, în timp ce temperaturile mai ridicate pot produce o percepție vizuală diferită și o redare bună a detaliilor.

Alegerea nu trebuie făcută numai din considerente estetice. Trebuie analizate:

- mediul;
- siguranța traficului;
- redarea culorilor;
- efectele asupra faunei;
- poluarea luminoasă;
- cerințele beneficiarului.

CIE atrage atenția că proiectarea iluminatului exterior trebuie să ia în calcul și aspectele de mediu, nu numai nivelurile de iluminare.

4.6.18. Factorul de mentenanță

În timp, performanța instalației scade ca urmare a:

- îmbătrânirii LED-urilor;
- depunerilor de praf;
- murdăririi difuzoarelor;
- degradării componentelor;
- temperaturilor de funcționare;
- factorilor atmosferici.

De aceea, proiectarea trebuie făcută pe baza **valorilor menținute**, nu doar a valorilor inițiale. În termeni simplificați:

$$E_{menținut} = E_{inițial} \cdot MF$$

unde: MFeste factorul de mentenanță.

Rezultă:

$$E_{inițial} = \frac{E_{menținut}}{MF}$$

De exemplu, dacă este necesară o iluminare menținută de 10 lx și se consideră:

$$MF = 0,80$$

atunci instalația trebuie dimensionată astfel încât valoarea inițială să fie aproximativ:

$$E_{inițial} = \frac{10}{0,80} = 12,5\ lx$$

4.6.19. Protecția la apă și praf

Pentru un pod, gradul de protecție al corpului de iluminat reprezintă un criteriu esențial. Este necesară verificarea clasei IP, de exemplu:

$$IP65$$

în funcție de condițiile de exploatare și specificațiile proiectului. Prima cifră se referă la protecția împotriva pătrunderii corpurilor solide și a prafului, iar a doua la protecția împotriva apei.

În cazul unui pod expus direct precipitațiilor, trebuie acordată o atenție deosebită etanșeității.

4.6.20. Rezistența mecanică și la coroziune

Pe lângă protecția IP, echipamentele trebuie să fie corespunzătoare din punct de vedere mecanic.

Se analizează:

- rezistența la vânt;
- vibrațiile;
- șocurile mecanice;
- coroziunea;
- radiația UV;
- variațiile de temperatură.

În cazul unui pod peste apă, poate exista o umiditate ridicată, iar în anumite situații pot apărea condiții mai agresive de coroziune.

Materialele utilizate pentru:

- carcase;
- console;
- stâlpi;
- șuruburi;
- accesorii

trebuie alese corespunzător mediului.

4.6.21. Alimentarea electrică

Instalația de iluminat trebuie alimentată astfel încât să asigure:

- continuitatea serviciului;
- protecția persoanelor;
- protecția împotriva defectelor;
- selectivitatea protecțiilor;
- protecția la supratensiuni;
- posibilitatea mentenanței.

Schema simplificată poate fi:

Rețea → punct de alimentare → tablou de iluminat → protecții → circuite → aparate LED

Pentru podurile importante se poate analiza și:

- alimentarea din două surse;
- circuite separate;
- automatizarea iluminatului;
- monitorizarea defectelor.

4.6.22. Protecția la supratensiuni

Aparatele de iluminat echipate cu LED conțin componente electronice sensibile.

Podurile sunt amplasate în spații expuse, iar instalația poate fi afectată de:

- supratensiuni atmosferice;
- comutații în rețea;
- descărcări electrice indirecte.

Prin urmare, protecția la supratensiuni trebuie analizată în proiect.

O schemă conceptuală este:

$$Rețea \rightarrow Protecțieprincipală \rightarrow SPD \rightarrow Protecțiicircuit \rightarrow DriverLED \rightarrow LED$$

4.6.23. Împământarea și protecția împotriva electrocutării

Toate elementele metalice accesibile ale instalației trebuie integrate în sistemul de protecție electrică în conformitate cu normele aplicabile.

Se verifică:

- conductorul de protecție;
- continuitatea acestuia;
- legarea la pământ;
- protecția automată;
- condițiile de deconectare;
- rezistența de dispersie, după caz.

Pentru un pod, problema este cu atât mai importantă deoarece există numeroase elemente metalice structurale.

4.6.24. Iluminatul adaptiv

O soluție modernă este utilizarea **iluminatului adaptiv**.

Conceptul presupune modificarea nivelului de iluminare în funcție de:

- ora;
- volumul traficului;
- condițiile meteorologice;
- evenimente;
- lucrări;
- accidente;
- condiții speciale.

De exemplu:

$$100\% \rightarrow 70\% \rightarrow 50\%$$

în perioadele în care traficul scade, cu revenire la un nivel superior atunci când condițiile o impun.

CIE 115:2010 menționează explicit posibilitatea iluminatului adaptiv și a utilizării variabilelor dependente de timp, precum volumul traficului sau condițiile meteorologice [1].

4.6.25. Telegestiunea

Pentru podurile importante poate fi prevăzut un sistem de telegestiune.

Acesta poate permite:

- pornirea/oprirea instalației;
- reglarea fluxului;
- detectarea corpurilor defecte;
- monitorizarea consumului;
- programarea scenariilor;

- transmiterea alarmelor;
- înregistrarea parametrilor de funcționare.

O arhitectură simplificată:

Centru de control ↓ Gateway/Controller ↓ Tablou ↓ Aparate LED

sau, în cazul unui sistem individualizat:

Server ↔ Controler ↔ Aparat LED

4.6.26. Poluarea luminoasă

La proiectarea unui pod trebuie evitată iluminarea inutilă a:

- apei;
- malurilor;
- vegetației;
- proprietăților învecinate;
- cerului nocturn.

Lumina trebuie direcționată în principal către suprafața care trebuie iluminată.

Acest lucru este important în special pentru podurile aflate în:

- zone naturale;
- apropierea ariilor protejate;
- zone cu habitate sensibile;
- zone rezidențiale.

Prin urmare, proiectarea trebuie să urmărească reducerea fluxului luminos emis inutil în afara zonei de interes.

4.6.27. Iluminarea arhitecturală a podului

Trebuie făcută o distincție clară între:

iluminatul rutier și **iluminatul arhitectural/decorativ.**

Iluminatul rutier urmărește în primul rând:

siguranța + vizibilitate + confort

în timp ce iluminatul arhitectural urmărește:

evidențierea formei + estetica + identitate vizuală

Cele două sisteme pot coexista, însă iluminatul decorativ nu trebuie să afecteze negativ siguranța circulației.

De exemplu, iluminarea puternică a unei grinzi poate crea un contrast vizual important pentru șofer și poate reduce vizibilitatea unui obiect aflat în apropiere.

4.6.28. Calculul fotometric

Calculul fotometric reprezintă etapa centrală a proiectării.

Se introduc în programul de calcul:

- geometria podului;
- lățimea carosabilului;
- numărul benzilor;
- poziția trotuarelor;
- poziția parapetelor;
- înălțimea corpurilor;
- distanțele dintre corpuri;
- orientarea aparatelor;

- datele fotometrice;
- proprietățile suprafeței carosabilului;
- factorul de mentenanță;
- condițiile de observare.

Se determină apoi:

$$L_{med} U_o U_l TIEIR$$

și, după caz:

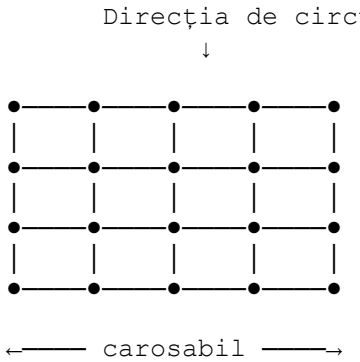
$$E_{med} E_{min} U_o = \frac{E_{min}}{E_{med}}$$

Pentru clasele M, CIE 140:2019 furnizează metode de calcul pentru criteriile fotometrice utilizate în proiectarea iluminatului rutier [2].

4.6.29. Grila de calcul

Carosabilul este împărțit într-o rețea de puncte de calcul.

De exemplu:



În fiecare punct se calculează iluminarea/luminanța. Pe baza valorilor se determină:

- valoarea minimă;
- valoarea maximă;
- valoarea medie;
- uniformitatea;
- eventualele zone critice.

4.6.30. Influența suprafeței carosabilului

Un aspect foarte important este că **aceeași instalație de iluminat poate produce luminanțe diferite pe două suprafețe de drum diferite**.

Motivul îl constituie proprietățile de reflexie ale carosabilului. În calculul luminanței intervin:

- culoarea suprafeței;
- textura;
- rugozitatea;
- gradul de uzură;
- umezeala;
- proprietățile de reflexie.

CIE/PIARC tratează explicit relația dintre caracteristicile fotometrice ale suprafețelor rutiere și construcția acestora.

4.6.31. Verificarea în condiții de carosabil umed

Aceasta este o problemă deosebit de relevantă pentru poduri. În condiții de ploaie, pelicula de apă de pe carosabil modifică proprietățile de reflexie.

Pot apărea:

- reflexii speculare;
- zone foarte luminoase;
- zone întunecate;
- reducerea uniformității.

Standardele actuale permit/prevăd, în funcție de cerințele aplicabile, evaluarea suplimentară a uniformității în condiții umede.

Prin urmare, pentru un pod expus frecvent la precipitații, verificarea condițiilor umede poate fi deosebit de importantă.

4.6.32. Exemplu conceptual de dimensionare

Considerăm un pod rutier cu:

- lungimea: $L_p = 180\,m$;
- lățimea carosabilului: $B = 8\,m$;
- două benzi de circulație;
- iluminat bilateral;
- corpuri LED;
- înălțime de montaj: $h = 9\,m$.

Se presupune, pentru exemplificare, o distanță inițială între corpuri:

$$S = 30\,m$$

Numărul aproximativ de poziții pe fiecare parte poate fi estimat prin:

$$N \approx \frac{180}{30} + 1$$

rezultând aproximativ:

$N \approx 7$poziții pe fiecare parte.

În total:

$N_{total} \approx 14$aparate

Atenție: acesta este numai un exemplu de predimensionare. Nu rezultă că 14 aparate sunt suficiente pentru orice pod de 180 m. Numărul real se stabilește numai după calculul fotometric.

Se testează apoi:

$$L_{med} U_o U_l TI$$

și celelalte criterii relevante.

Dacă uniformitatea este insuficientă:

$$U_o < U_{o,min}$$

se poate interveni prin:

- micșorarea distanței dintre aparatele de iluminat;
- modificarea înălțimii;
- schimbarea opticii;
- modificarea orientării;
- schimbarea tipului de aparat;
- modificarea poziției laterale.

4.6.33. Puterea instalată

După stabilirea numărului de corpuri și a puterii individuale:

$$P_{inst} = N \cdot P_c$$

unde:

- N= numărul corpurilor;
- P_c= puterea unui corp.

Dacă avem, de exemplu:

$$N = 14$$

și:

$$P_c = 60\,W$$

rezultă:

$$P_{inst} = 14 \cdot 60 = 840\,W$$

adică:

$$P_{inst} = 0,84\,kW$$

La care trebuie adăugate eventualele consumuri ale echipamentelor de comandă și control.

4.6.34. Consumul anual de energie

Energia anuală poate fi estimată prin [8]:

$$W = P \cdot t$$

unde:

- W= energia consumată;
- P= puterea;
- t= timpul de funcționare.

Pentru o instalație cu:

$$P = 0,84\,kW$$

și un timp ipotetic de funcționare:

$$t = 4000\,h/an$$

rezultă:

$$W = 0,84 \cdot 4000W = 3360\,kWh/an$$

Dacă se introduce iluminatul adaptiv, consumul poate fi redus prin funcționarea la flux redus în perioadele cu trafic scăzut.

4.6.35. Optimizarea energetică

Optimizarea nu trebuie făcută prin simpla reducere a puterii LED. Procedura corectă este:

1. se stabilește clasa de iluminat;
2. se stabilesc criteriile fotometrice;
3. se selectează aparatul;
4. se realizează calculul;
5. se verifică uniformitatea și orbirea;
6. se optimizează geometria;
7. se optimizează puterea;
8. se introduce, dacă este justificat, reglajul fluxului luminos;
9. se verifică energia anuală.

Astfel se poate obține simultan:

$$\text{siguranță} + \text{calitate vizuală} + \text{eficiență energetică}$$

4.6.36. Mentenanța instalației

Un proiect bun trebuie să ia în considerare și modul în care instalația va fi întreținută.

Trebuie prevăzut acces pentru:

- verificarea aparatelor;
- curățare;
- înlocuirea componentelor;
- verificarea conexiunilor;
- verificarea tablourilor;
- măsurători electrice.

La poduri, accesul poate fi dificil și costisitor.

De aceea, alegerea unui aparat LED cu durată mare de viață și protecție adecvată poate reduce semnificativ costurile de exploatare.

4.6.37. Criterii de verificare a proiectului

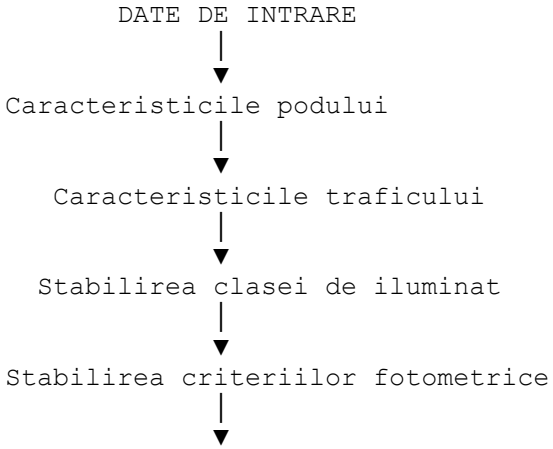
La finalul proiectării trebuie verificat cel puțin:

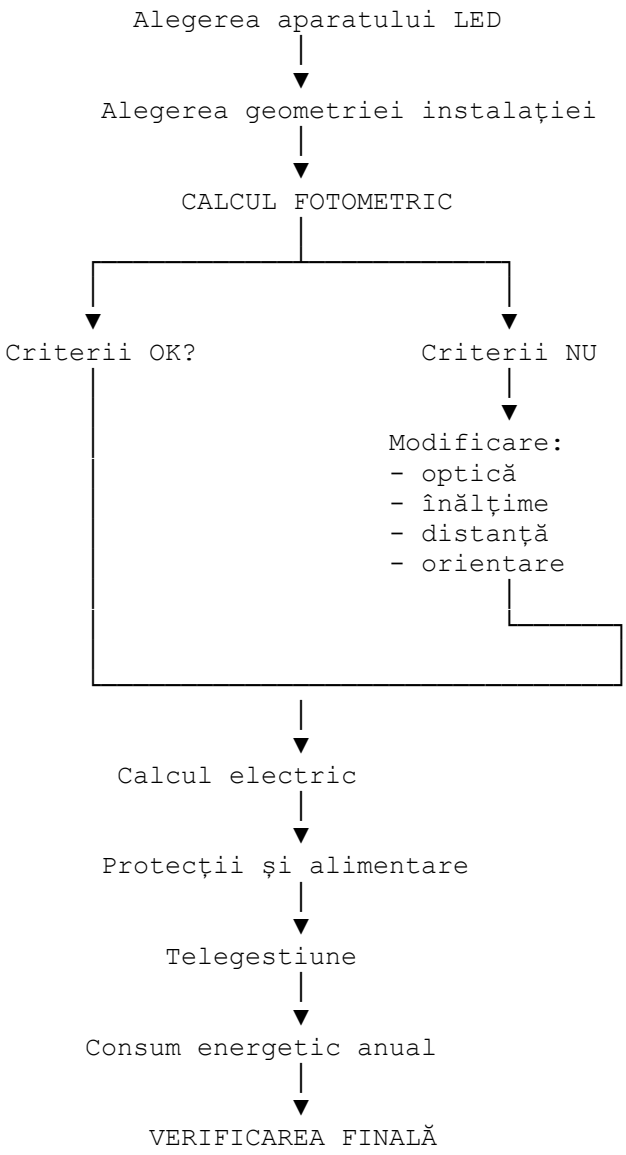
Criteriu	**Parametru**
Nivelul iluminatului	L_{med}/ E_{med}
Uniformitate generală	U_o
Uniformitate longitudinală	U_l
Orbire	TI
Zona marginală	EIR
Carosabil umed	U_{ow}, dacă este aplicabil
Consum	kWh/an
Putere instalată	kW
Protecție	IP/IK și protecții electrice
Mentenanță	factor de mentenanță
Poluare luminoasă	flux în afara zonei utile
Continuitate	racordare cu drumurile adiacente

Tabelul 4.31 – Criterii de verificare a proiectului

4.6.38. Fluxul general de proiectare

Într-o lucrare tehnică, întregul proces poate fi prezentat astfel:





4.6.39. Aspecte specifice unui proiect pentru pod

În cazul unui proiect tehnic real, pe lângă calculul fotometric trebuie analizate și următoarele:

Din punct de vedere geometric

- lungimea podului;
- lățimea platformei;
- numărul benzilor;
- lățimea trotuarelor;
- pistele de biciclete;
- parapetele;
- consolele;
- grinzile;
- pilele;
- poziția rosturilor;
- racordarea la terasamente.

Din punct de vedere rutier

- viteza de proiectare;
- categoria drumului;

- intensitatea traficului;
- trafic greu;
- curbe;
- rampe;
- intersecții;
- treceri pentru pietoni;
- semnalizare rutieră.

Din punct de vedere electric

- tensiunea de alimentare;
- puterea instalată;
- lungimea circuitelor;
- căderea de tensiune;
- curentul de scurtcircuit;
- protecția la suprasarcină;
- protecția la scurtcircuit;
- protecția diferențială, unde este necesară;
- protecția la supratensiuni;
- împământarea.

Din punct de vedere fotometric

- luminanță;
- iluminare;
- uniformitate;
- TI;
- EIR;
- temperatură de culoare;
- flux luminos;
- distribuție fotometrică.

Din punct de vedere al mediului

- poluare luminoasă;
- lumină spre apă;
- lumină spre zonele locuite;
- impact asupra faunei;
- lumină ascendentă;
- temperatură de culoare.

4.6.40. Concluzie

Proiectarea sistemelor de iluminat destinate podurilor rutiere reprezintă un proces multidisciplinar în care trebuie corelate cerințele de **iluminat rutier, siguranță a circulației, instalații electrice, construcții, protecția mediului și eficiență energetică**.

Un sistem performant nu este caracterizat exclusiv printr-o valoare mare a iluminării. Criteriul fundamental este obținerea unei **distribuții controlate și uniforme a luminii**, cu limitarea orbirii și cu asigurarea continuității condițiilor vizuale pe traseul rutier.

În cazul traficului motorizat, criteriile bazate pe luminanța carosabilului, uniformitatea generală și longitudinală, orbirea și iluminarea zonelor marginale constituie elemente centrale ale evaluării. EN 13201 și documentele CIE oferă cadrul tehnic pentru aceste evaluări [4–8].

În plus, proiectarea unui pod trebuie să ia în considerare condițiile particulare de exploatare: **expunerea la intemperii, carosabilul umed, coroziunea, vibrațiile, accesul dificil pentru mentenanță și proximitatea unor zone naturale sau acvatice**.

4.7. Proiectarea sistemelor de iluminat destinate iluminatului arhitectural *[Cozma S.]*

Iluminatul arhitectural reprezintă utilizarea controlată a luminii artificiale pentru evidențierea volumelor, formelor, texturilor și elementelor decorative ale clădirilor și spațiilor urbane. Acesta contribuie atât la valoarea estetică a construcțiilor, cât și la orientarea, siguranța și confortul vizual al utilizatorilor.

Legea nr. 230/2006 a serviciului de iluminat public include iluminatul arhitectural printre componentele serviciului de iluminat public, alături de iluminatul stradal-rutier, stradal-pietonal, ornamental și ornamental-festiv [1]. Regulamentele serviciului, elaborate pe baza regulamentului-cadru, îl definesc ca iluminatul destinat punerii în evidență a monumentelor de artă sau istorice ori a obiectivelor de importanță publică sau culturală pentru comunitatea locală [1, 2]. Prin urmare, iluminatul arhitectural nu este un simplu element decorativ: este o investiție publică, cu costuri de exploatare pe termen lung, care trebuie justificată, proiectată și întreținută ca orice altă componentă a sistemului de iluminat public.

În orașele care dispun de un plan director de iluminat (masterplan), obiectivele care se ilumineză, nivelurile de luminanță și culoarea luminii se stabilesc unitar, la nivel de oraș, iar proiectul unei clădiri se încadrează în această ierarhie [6]. În lipsa unui plan director, proiectantul trebuie să analizeze singur contextul: ce alte clădiri sunt iluminate în zonă, de unde este privită clădirea și cât de luminos este fondul pe care apare.

4.7.1. Scopul și obiectivele proiectării

Proiectarea unui sistem de iluminat arhitectural urmărește:

- evidențierea fațadelor, coloanelor, arcadelor, cornișelor și a altor elemente arhitecturale;
- accentuarea volumetriei și a texturilor materialelor;
- obținerea unui efect vizual armonios, adaptat stilului clădirii;
- reducerea consumului de energie electrică;
- limitarea orbirii, a poluării luminoase și a luminii intruzive;
- asigurarea fiabilității și a mentenanței facile a instalației.

Obiectivele de mai sus se traduc în câteva principii de bună practică, valabile indiferent de tipul clădirii:

- **lumina urmează arhitectura** — se pun în valoare elementele care definesc clădirea (ordinea coloanelor, ritmul ferestrelor, cornișa, acoperișul), nu toată suprafața în mod egal;
- **ierarhie vizuală** — se stabilesc unul sau două elemente principale, puternic accentuate, și un fond mai puțin luminos; o fațadă iluminată uniform devine plată și își pierde volumetria;
- **imaginea de noapte nu copiază imaginea de zi** — lumina vine de jos sau din direcții neobișnuite, iar umbrele se inversează; proiectul trebuie să construiască o lectură nocturnă coerentă, nu să reproducă iluminarea solară;
- **distanța de observare** — de la distanță se citesc silueta și volumele principale, de aproape se citesc detaliile; proiectul tratează ambele scări;
- **mai puțină lumină, mai bine plasată** — nivelul de luminanță se corelează cu luminozitatea zonei; o clădire supra-iluminată deranjează, consumă inutil și contribuie la poluarea luminoasă [4, 8].

4.7.2. Tipuri de iluminat arhitectural

Figura 4.33 – Iluminat de accent pe o fațadă cu ordin clasic: coloanele, arcadele și ancadramentele sunt evidențiate față de planul fațadei

4.7.2.1. Iluminat de accent

Pune în valoare detalii arhitecturale, sculpturi, coloane, ancadramente sau elemente ornamentale, folosind proiectoare cu fascicul îngust sau mediu.

Figura 4.34 – Iluminarea unui perete de piatră cu aparate liniare montate în sol, de-a lungul bazei peretelui

4.7.2.2. Iluminat prin spălarea fațadei (wall washing)

Asigură o distribuție relativ uniformă a luminii pe suprafețe verticale mari, pentru evidențierea culorii și a geometriei fațadei.

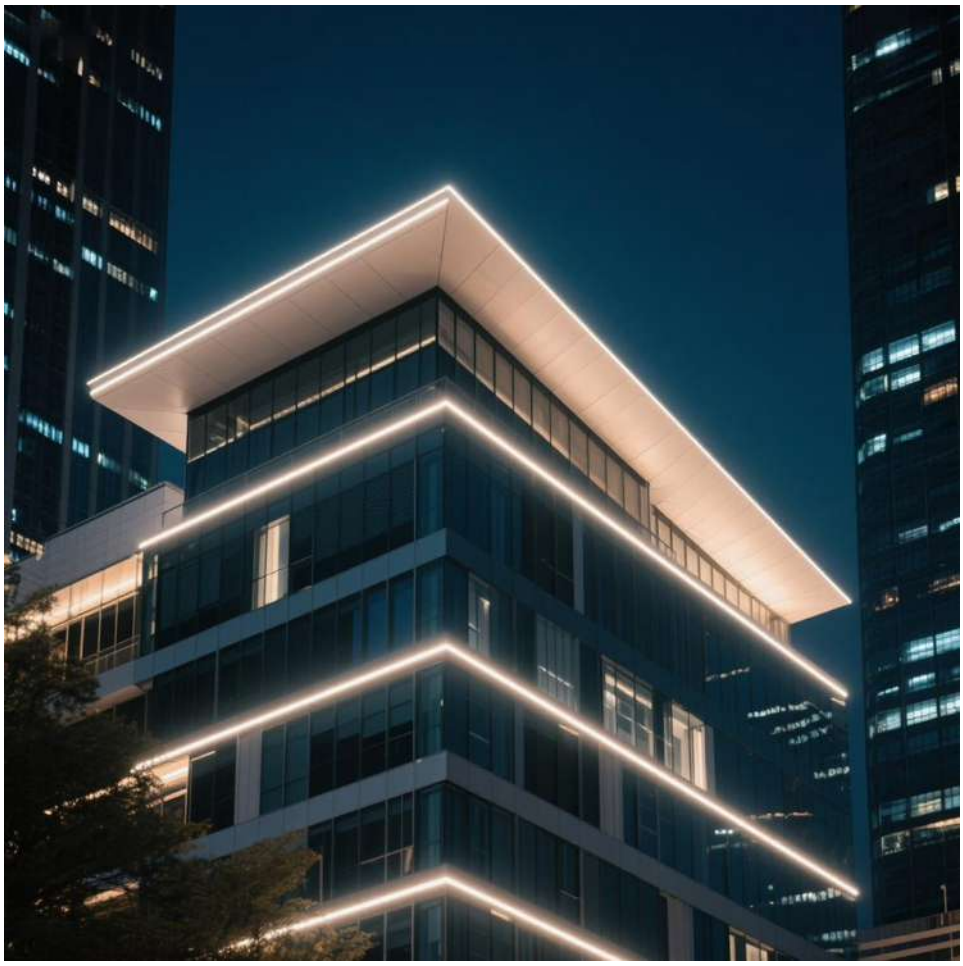


Figura 4.35 – Iluminat liniar de contur pe o clădire contemporană: liniile planșeelor și ale copertinei sunt trasate cu profile LED

4.7.2.3. Iluminat liniar și de contur

Utilizează aparate LED liniare pentru evidențierea muchiilor, cornișelor, profilelor și liniilor dominante ale construcției.

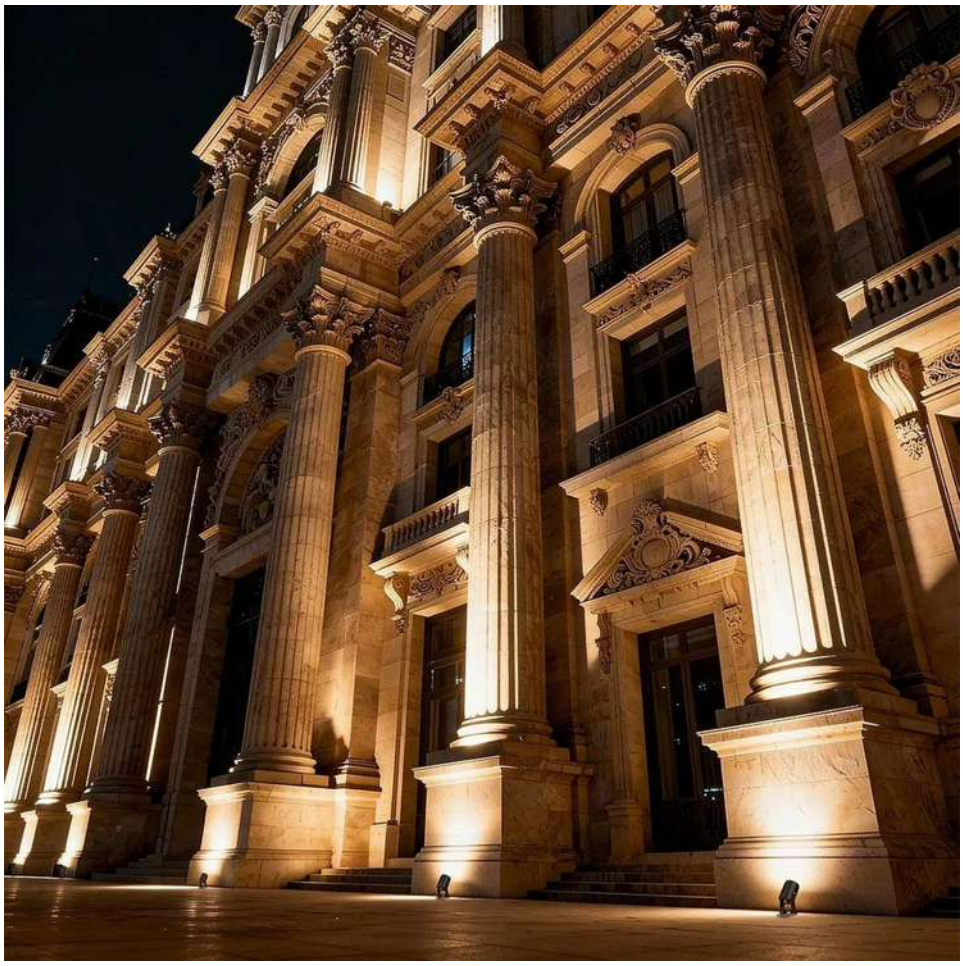


Figura 4.36 – Iluminat ascendent al unei fațade cu coloane, cu aparate amplasate la nivelul solului

4.7.2.4. Iluminat ascendent (uplighting)

Aparatele de iluminat montate la nivelul solului proiectează lumina în sus, accentuând înălțimea clădirii și reliefurile fațadei. Necesită control atent al orbirii și al luminii dispersate spre cer.

4.7.2.5. Iluminat rasant (grazing)

Aparatele se montează foarte aproape de perete, la 0,2–0,5 m, cu fasciculul aproape paralel cu suprafața. Lumina razantă accentuează puternic textura: rosturile zidăriei, piatra spartă, tencuiala decorativă sau lemnul. Este tehnica potrivită pentru suprafețe cu relief fin, dar evidențiază la fel de puternic și defectele suprafeței (denivelări, reparații, pete), de aceea se verifică întotdeauna printr-o probă la fața locului.

4.7.2.6. Iluminat descendent și iluminat din interior

Iluminatul descendent (downlighting), cu aparate montate sub cornișe, balcoane sau copertine, are avantajul că fluxul este orientat spre sol, iar lumina dispersată spre cer este minimă. Iluminatul din interior (prin ferestre, vitraje sau elemente translucide) pune în valoare clădirea prin golurile ei, fără aparate pe fațadă; este frecvent folosit la clădirile de birouri cu fațade cortină și la lăcașurile de cult cu vitralii. Cele două tehnici se combină adesea cu iluminatul de accent și sunt preferabile în zonele cu cerințe stricte privind lumina intruzivă [4, 8].

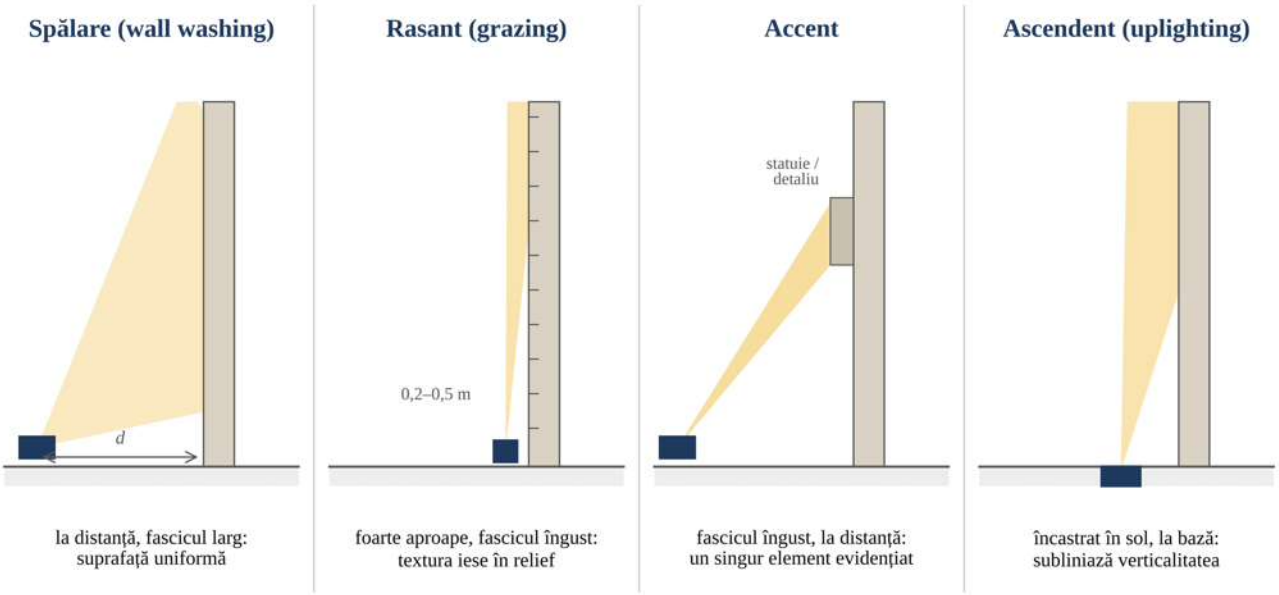


Figura 4.37 – Tehnicile de bază ale iluminatului de fațadă: poziția aparatului față de perete și efectul obținut (schemă de principiu, în secțiune)

Tehnică	Poziția aparatului	Fascicul tipic	Efect	Riscuri principale
Accent	Pe sol, pe stâlpi sau pe clădirile vecine, la distanță	Îngust sau foarte îngust	Evidențiază detalii, statui, coloane	Orbire, dacă aparatul este vizibil din direcția de observare
Spălare (wall washing)	La distanță de perete, de regulă 1/3–1/2 din înălțimea zonei iluminate	Larg sau asimetric	Suprafață luminoasă relativ uniformă, redă culoarea materialului	Aplatizarea volumelor, flux pierdut peste cornișă
Rasant (grazing)	Foarte aproape de perete, 0,2–0,5 m	Îngust sau eliptic	Accentuează textura și relieful	Evidențiază defectele suprafeței
Ascendent (uplighting)	Încastrat în sol sau pe sol, la baza fațadei	Îngust până la mediu	Subliniază verticalitatea și înălțimea	Lumină dispersată spre cer, orbire a pietonilor
Liniar și de contur	Pe muchii, cornișe, profile	Liniar, direcționat sau difuz	Desenează silueta și liniile dominante	Aspect de „reclamă” dacă este folosit excesiv
Descendent (downlighting)	Sub cornișe, balcoane, copertine	Mediu	Pune în valoare golurile, ritmul fațadei	Puncte luminoase vizibile ziua

Tabelul 4.32 – Comparația tehnicilor de iluminat arhitectural

4.7.3. Cadrul normativ și criteriile de proiectare

În România nu există încă un standard dedicat exclusiv iluminatului arhitectural. Proiectarea se sprijină pe documente internaționale ale Comisiei Internaționale de Iluminat (CIE), pe standardele europene adoptate ca SR EN și pe legislația națională privind serviciul de iluminat public și monumentele istorice:

- **CIE 094:1993** — ghidul pentru iluminatul prin proiectoare (floodlighting), care tratează strict iluminatul cu scop estetic și decorativ [3]; documentul este în curs de revizuire, deoarece se referă în mare parte la surse și tehnici înlocuite de LED;
- **CIE 150:2017** — ghidul pentru limitarea efectelor luminii intruzive produse de instalațiile de iluminat exterior, care introduce zonele de mediu E0–E4 și limitele asociate [4];
- **CIE 126** — recomandările pentru limitarea strălucirii cerului (sky glow) [5];
- **CIE 234:2019** — ghidul pentru planurile directoare de iluminat urban [6];

- **SR EN 12464-2** — iluminatul locurilor de muncă exterioare, care preia aceleași criterii de limitare a luminii intruzive [7];
- **Legea nr. 230/2006** și **Legea nr. 422/2001** — cadrul legal pentru serviciul de iluminat public, respectiv pentru intervențiile asupra monumentelor istorice [1, 9].

4.7.3.1. Zonele de mediu

Nivelul de luminanță acceptabil pentru o fațadă și limitele de lumină intruzivă depind de luminozitatea zonei în care se află clădirea. CIE 150:2017 împarte teritoriul în cinci zone de mediu [4, 8]. Dacă un obiectiv se află la limita dintre două zone, se aplică limitele zonei mai restrictive [8].

Zonă	Mediul luminos	Exemple
E0	Protejat, întunecat	Rezervații de cer întunecat, observatoare astronomice
E1	Natural, intrinsec întunecat	Parcuri naționale, zone naturale protejate
E2	Rural, luminozitate scăzută	Sate, zone periurbane relativ întunecate
E3	Suburban, luminozitate medie	Orașe mici, centre de cartier, zone suburbane
E4	Urban, luminozitate ridicată	Centre de orașe cu activitate nocturnă intensă

Tabelul 4.33 – Zonele de mediu pentru limitarea luminii intruzive, conform CIE 150:2017 [4, 8]

4.7.3.2. Limitele pentru lumina intruzivă

Pentru fiecare zonă se recomandă patru tipuri de limite: proporția de flux emisă direct spre cer (ULR), iluminarea verticală pe ferestrele proprietăților vecine (E_v), intensitatea luminoasă a fiecărui aparat în direcțiile potențial deranjante (I) și luminanța medie a clădirii iluminate (L_b). Limitele pentru E_v și I sunt diferențiate înainte și după ora de reducere a iluminatului (curfew), stabilită de autoritatea locală [4, 8].

Zonă	ULR max. [%]	E_v înainte de curfew [lx]	E_v după curfew [lx]	I înainte de curfew [cd]	I după curfew [cd]	L_b medie [cd/m²]
E0	0	0	0	0	0	0
E1	0	2	0 (1*)	2 500	0	0
E2	2,5	5	1	7 500	500	5
E3	5	10	2	10 000	1 000	10
E4	15	25	5	25 000	2 500	25

Tabelul 4.34 – Limitele recomandate pentru lumina intruzivă, conform CIE 150:2017 și ILP GN01/21 [4, 8]. (*) Valoarea de 1 lx se admite numai dacă sursa este iluminatul public rutier.

Coloana L_b are o consecință directă pentru iluminatul arhitectural: o fațadă iluminată nu trebuie să depășească, în medie, 5 cd/m² în zona E2, 10 cd/m² în zona E3 și 25 cd/m² în zona E4. În zonele E0 și E1, iluminatul de fațadă nu este recomandat. Valorile sunt limite superioare, nu ținte: în multe cazuri, un contrast bine construit se obține cu luminanțe mai mici, mai ales când fondul este întunecat.

4.7.3.3. Monumentele istorice și zonele protejate

Montarea aparatelor de iluminat, a cablurilor și a suporturilor pe un monument istoric este o intervenție asupra monumentului. Conform Legii nr. 422/2001, intervențiile asupra monumentelor istorice se fac numai pe baza și cu respectarea avizului Ministerului Culturii sau, după caz, al serviciilor sale deconcentrate [9, 10]. Avizul este necesar și pentru intervențiile asupra imobilelor din zonele de protecție ale monumentelor [11]. Documentația de avizare se pregătește din faza de concept și include, pe lângă calculele luminotehnice, detaliile de prindere și traseele de cabluri (vezi 4.7.8).

4.7.4. Etapele proiectării sistemului de iluminat

1. Analiza obiectivului arhitectural. Se studiază geometria clădirii, materialele fațadei, culorile, funcțiunea, vecinătățile și condițiile de observare.

2. Stabilirea conceptului luminotehnic. Se aleg zonele care trebuie evidențiate, direcțiile de iluminare, contrastele și temperatura de culoare.
3. Selectarea aparatelor de iluminat. Se analizează fluxul luminos, distribuția fotometrică, puterea, eficacitatea luminoasă, indicele de redare a culorilor (CRI), gradul de protecție IP și rezistența mecanică.
4. Calculul luminotehnic. Se determină poziția, numărul și orientarea corpurilor, iluminarea sau luminanța necesară și uniformitatea distribuției luminii.
5. Proiectarea instalației electrice și a controlului. Se dimensionează circuitele, protecțiile, cablurile, împământarea și sistemele de comandă și reglare a fluxului luminos.
6. Verificarea și punerea în funcțiune. Se verifică efectul vizual nocturn, parametrii electrici, orientarea proiectoarelor, consumul și respectarea cerințelor de mediu.

În practică, etapele de mai sus se materializează în livrabile distincte, care permit beneficiarului și autorităților să verifice proiectul înainte de execuție:

Etapă	Livrabile	Cine verifică
Analiza obiectivului	Releveu al fațadelor, fotografii de zi și de noapte, măsurători ale luminanței existente și ale fondului, încadrarea în zona de mediu	Beneficiar, arhitect
Concept luminotehnic	Schițe sau randări nocturne, ierarhia elementelor, temperatura de culoare, luminanțe țintă	Beneficiar, arhitectul clădirii, după caz comisia de urbanism
Probă la fața locului	Test nocturn cu 2–4 aparate, pe porțiuni reprezentative, cu fotografii documentate	Beneficiar, arhitect, reprezentantul Ministerului Culturii (pentru monumente)
Calcul și proiect tehnic	Calcule fotometrice pe fișiere IES/LDT, verificarea luminii intruzive, planuri de amplasare și orientare, detalii de prindere, schema electrică și de comandă	Verificator de proiecte, avizatori
Punere în funcțiune	Reglajul nocturn al orientării, programarea scenariilor, măsurători, documentația as-built	Beneficiar, dirigintele de șantier

Tabelul 4.35 – Livrabilele etapelor de proiectare a iluminatului arhitectural

Proba la fața locului este etapa cea mai valoroasă și cea mai des omisă. Calculele și randările nu redau corect textura, culoarea reală a materialului îmbătrânit și efectul luminilor din jur. Un test de o seară, cu aparatele propuse, evită cele mai multe greșeli costisitoare de alegere a opticii și a temperaturii de culoare.

4.7.5. Alegerea echipamentelor și a parametrilor luminotehnici

În proiectarea iluminatului arhitectural se utilizează, în principal, aparate LED, datorită eficienței energetice, duratei de viață și posibilității de reglare a intensității luminoase.

Parametru	Rol în proiectare
Flux luminos (lm)	Indică cantitatea totală de lumină emisă.
Putere electrică (W)	Determină consumul de energie.
Eficacitate (lm/W)	Exprimă eficiența conversiei energiei electrice în lumină.
Temperatura de culoare (K)	Definește aspectul cald, neutru sau rece al luminii.
CRI (Ra)	Indică fidelitatea redării culorilor materialelor.
IP	Indică protecția împotriva pătrunderii prafului și apei.
IK	Indică rezistența la impact mecanic.
Distribuția fotometrică	Determină forma și direcția fasciculului luminos.

Tabelul 4.36 – Parametrii aparatelor de iluminat și rolul lor în proiectare

Temperatura de culoare se selectează în funcție de material și de efectul urmărit. Lumina caldă, de aproximativ 2700–3000 K, este utilizată frecvent pentru clădiri istorice și materiale precum piatra sau cărămida,

în timp ce lumina neutră poate fi potrivită pentru arhitectura contemporană. Valorile sunt orientative, iar alegerea finală depinde de conceptul arhitectural.

4.7.5.1. Optica și controlul fasciculului

Alegerea opticii este decisivă: același flux luminos poate produce o fațadă bine construită sau o pată de lumină risipită peste cornișă. Producătorii nu folosesc o clasificare unică a unghiurilor de deschidere, de aceea valorile din tabelul de mai jos sunt orientative și se verifică întotdeauna pe fișierul fotometric al aparatului.

Tip de fascicul	Unghi de deschidere orientativ	Utilizare tipică
Foarte îngust	sub 10°	Accente punctuale la distanță mare: statui, turle, detalii de cornișă
Îngust	10–20°	Coloane, pilaștri, iluminat ascendent pe înălțimi mari
Mediu	20–40°	Zone de fațadă de dimensiuni medii, ancadramente
Larg	peste 40°	Spălarea suprafețelor apropiate
Eliptic sau asimetric	de exemplu 10° × 60°	Spălare și rasant pe suprafețe lungi, cu flux pierdut redus

Tabelul 4.37 – Tipuri de fascicul și utilizarea lor în iluminatul arhitectural

Accesoriile optice — viziere și voleți (barndoors), grile de tip fagure (honeycomb), tuburi antiorbire și lentile de difuzie — permit tăierea precisă a fasciculului la limita elementului iluminat. Ele reduc atât orbirea observatorilor, cât și fluxul care trece peste muchia clădirii spre cer. Aparatele trebuie să permită blocarea mecanică a orientării după reglaj, pentru ca vântul, vibrațiile sau intervențiile de întreținere să nu modifice efectul.

4.7.5.2. Culoarea luminii și redarea culorilor

Temperatura de culoare corelată (CCT) se alege după material, după contextul urban și după cerințele de mediu. Pe lângă indicele general de redare a culorilor (Ra), pentru materialele cu tonuri roșii (cărămidă, teracotă) contează și indicele special R9, iar metoda IES TM-30 (fidelitatea Rf și saturația Rg) oferă o imagine mai completă asupra redării culorilor [12].

Material	CCT orientativă	Redarea culorilor	Observații
Piatră calcaroasă, gresie, travertin	2700–3000 K	Ra ≥ 80	Tonul cald al pietrei este pus în valoare
Cărămidă, teracotă	2700–3000 K	Ra ≥ 90, R9 ridicat	Lumina rece face cărămida să pară gri-maronie
Marmură albă, tencuieli albe	3000–4000 K	Ra ≥ 80	Lumina neutră păstrează albul; nu se urcă inutil CCT
Beton aparent, metal, sticlă	3000–4000 K	Ra ≥ 80	Arhitectură contemporană; se evită contrastele de culoare nejustificate
Lemn	2700–3000 K	Ra ≥ 90	Redă căldura materialului
Vegetație de lângă clădire	3000–4000 K	Ra ≥ 80	Se limitează fluxul spre coroane, pentru protecția faunei

Tabelul 4.38 – Alegerea temperaturii de culoare după material (valori orientative)

Pe aceeași fațadă, toate aparatele trebuie să aibă aceeași CCT și o abatere cromatică mică între ele (de regulă cel mult 3 trepte MacAdam, SDCM ≤ 3). În caz contrar, diferențele de nuanță între zonele vecine sunt vizibile și dau impresia unei instalații neîngrijite. Lumina colorată saturată și efectele dinamice se folosesc rar, numai pentru evenimente, și se stabilesc prin planul director de iluminat, unde există [6].

4.7.5.3. Construcția aparatelor și condițiile de montaj

Aparatele de iluminat arhitectural lucrează în condiții dificile: sunt expuse intemperiilor, sunt montate în locuri greu accesibile și, de multe ori, la îndemâna publicului. Tabelul de mai jos rezumă cerințele minime uzuale; valorile se adaptează condițiilor locale.

Loc de montaj	Grad IP minim uzual	Grad IK uzual	Cerințe suplimentare
Pe fațadă, la înălțime	IP65	IK06–IK08	Prinderi din oțel inoxidabil, acces pentru întreținere
Pe sol sau pe stâlpi, accesibil publicului	IP66	IK08–IK10	Viziere antiorbire, șuruburi antivandal
Încastrat în sol	IP67 sau IP68	IK08–IK10	Sarcină statică și temperatura suprafeței conform SR EN 60598-2-13; drenaj sub corp
Lângă fântâni, în zone inundabile	IP68	IK08	Alimentare la foarte joasă tensiune de securitate, unde este posibil

Tabelul 4.39 – Gradele de protecție IP și IK orientative, în funcție de locul de montaj [13, 14, 15]

Aparatele încastrate în sol se aleg după clasificarea din SR EN 60598-2-13, care ține seama de sarcina statică admisă, de înălțimea cu care aparatul iese din pardoseală și de temperatura suprafeței exterioare [14, 16]. În zonele în care suprafața poate fi atinsă sau călcată cu piciorul gol (locuri de joacă, zone pietonale aglomerate), se aleg aparate cu temperatura suprafeței limitată, de ordinul a 40 °C [16].

Alte cerințe constructive importante sunt rezistența la coroziune (aluminiu cu protecție corespunzătoare, prinderi din oțel inoxidabil, evitarea contactului direct dintre metale diferite), protecția la supratensiuni a driverelor și durata de viață declarată a sursei LED (de exemplu L80B10 la un număr dat de ore). Protecțiile electrice ale circuitelor sunt tratate în capitolul 10.

4.7.6. Calculul luminotehnic

Pentru iluminarea unei suprafețe se poate utiliza metoda fluxului luminos, în etapa preliminară:

$$N = \frac{E_m \cdot A}{\Phi \cdot UF \cdot MF}$$

unde:

- N – numărul estimat de aparate de iluminat;
- E_m – iluminarea medie urmărită, în lux;
- A – suprafața iluminată, în m²;
- Φ – fluxul luminos al unui aparat, în lumeni;
- UF – factorul de utilizare;
- MF – factorul de menținere.

Pentru iluminatul arhitectural al fațadelor, calculul bazat exclusiv pe iluminarea medie nu este întotdeauna suficient. Se recomandă utilizarea fișierelor fotometrice ale aparatelor și simularea distribuției iluminării și, după caz, a luminanței fațadei. Numărul final de aparate se stabilește după verificarea uniformității, contrastului și efectului vizual.

4.7.6.1. Relația dintre iluminare și luminanță

Ochiul nu percepe iluminarea, ci luminanța fațadei. Pentru materialele poroase (piatră, cărămidă, tencuială), care reflectă lumina aproximativ difuz, luminanța se poate estima din iluminare și din factorul de reflexie al materialului:

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi} \qquad \Rightarrow \qquad E = \frac{\pi \cdot L}{\rho}$$

unde:

- L – luminanța medie a fațadei, în cd/m²;

- ρ – factorul de reflexie al materialului, adimensional;
- E – iluminarea medie pe fațadă, în lux.

Relația arată de ce nu se poate prescrie o iluminare unică pentru toate fațadele: pentru aceeași luminanță, o fațadă din cărămidă închisă la culoare are nevoie de câteva ori mai multă lumină decât una din tencuială albă. Factorul de reflexie se ia din măsurători pe material sau, în faza preliminară, din valori orientative:

Material de fațadă	**Factor de reflexie ρ orientativ**
Tencuială sau vopsea albă	0,70–0,85
Piatră calcaroasă deschisă	0,35–0,55
Marmură lustruită	0,30–0,70
Gresie	0,20–0,40
Beton aparent	0,20–0,40
Granit	0,20–0,25
Cărămidă roșie	0,10–0,15
Sticlă clară	0,08–0,15 (reflexie speculară)

Tabelul 4.40 – Factori de reflexie orientativi ai materialelor de fațadă

Valorile scad odată cu murdărirea și îmbătrânirea materialului, iar la materialele lucioase și la sticlă reflexia este speculară: lumina proiectoarelor nu face fațada luminoasă, ci se reflectă spre cer sau spre clădirile vecine. Fațadele vitrate se pun în valoare mai bine prin iluminat din interior sau prin iluminarea structurii, nu prin proiectoare îndreptate spre sticlă.

Combinând relația de mai sus cu limitele de luminanță din Tabelul 4.34 se obține iluminarea medie la care fațada atinge limita zonei de mediu:

Factor de reflexie ρ	**E pentru $L = 5$ cd/m^2 (E2) [lx]**	**E pentru $L = 10$ cd/m^2 (E3) [lx]**	**E pentru $L = 25$ cd/m^2 (E4) [lx]**
0,80	20	39	98
0,60	26	52	131
0,45	35	70	175
0,30	52	105	262
0,15	105	209	524

Tabelul 4.41 – Iluminarea medie care corespunde limitei de luminanță a fiecărei zone de mediu

4.7.6.2. Metoda punct cu punct

Metoda fluxului dă numărul de aparate, dar nu și distribuția luminii pe fațadă. Pentru verificarea unui punct de ochire se folosește legea inversului pătratului distanței, corectată cu unghiul de incidență:

$$E_P = \frac{I_\gamma \cdot \cos\alpha}{d^2}$$

unde:

- E_P – iluminarea în punctul P al fațadei, în lux;
- I_γ – intensitatea luminoasă a aparatului în direcția punctului P, în cd;
- α – unghiul dintre direcția razei și normala la fațadă;
- d – distanța de la aparat la punctul P, în m.

Când aparatul este aproape de fațadă și luminează în sus, unghiul α este mare, iar $\cos\alpha$ este mic: iluminarea scade rapid cu înălțimea. De aceea, pentru fațade înalte se folosesc aparate cu fascicul mai îngust pentru partea superioară și aparate cu fascicul mai larg pentru partea inferioară. Calculul complet se face cu un program de calcul care folosește fișierele fotometrice ale aparatelor.

4.7.6.3. Uniformitate și contrast

Spre deosebire de iluminatul rutier, în iluminatul arhitectural uniformitatea perfectă nu este un obiectiv. Variația controlată a luminanței creează adâncime, iar elementele principale trebuie să fie vizibil mai luminoase decât fondul. Ca orientare practică, un raport de luminanță de aproximativ 3:1 între element și fondul imediat este perceput ca accent, iar un raport de peste 10:1 produce un efect dramatic. Variațiile bruște și nejustificate (pete luminoase, umbre ale aparatelor vecine) se evită însă, deoarece sunt percepute ca defecte de execuție.

4.7.6.4. Exemplu de calcul pentru o fațadă

Date de intrare (ipoteze de calcul):

- fațadă cu lățimea de 30 m și înălțimea de 15 m, $A = 450\ \mathrm{m}^2$, din piatră calcaroasă ușor îmbătrânită, $\rho = 0,45$;
- clădire situată într-un centru de oraș mic, zona de mediu E3, cu limita $L_b = 10\ \mathrm{cd/m}^2$;
- luminanța medie aleasă prin concept: $L = 8\ \mathrm{cd/m}^2$, sub limita zonei;
- proiectoare LED de 4 500 lm și 38 W, cu factorul de utilizare $UF = 0,65$ (fracțiunea din flux care ajunge pe fațadă) și factorul de menținere $MF = 0,80$.

Iluminarea medie necesară:

$$E_m = \frac{\pi \cdot L}{\rho} = \frac{\pi \cdot 8}{0,45} \approx 56\ \mathrm{lx}$$

Numărul de proiectoare:

$$N = \frac{E_m \cdot A}{\Phi \cdot UF \cdot MF} = \frac{56 \cdot 450}{4500 \cdot 0,65 \cdot 0,80} \approx 10,8$$

Se adoptă 12 proiectoare, amplasate pe sol în 6 poziții, la 5 m de fațadă și la 5 m unul de altul. În fiecare poziție se montează un proiector cu fascicul larg, ochit la 4 m înălțime, pentru partea inferioară, și unul cu fascicul îngust, ochit la 11 m înălțime, pentru partea superioară.

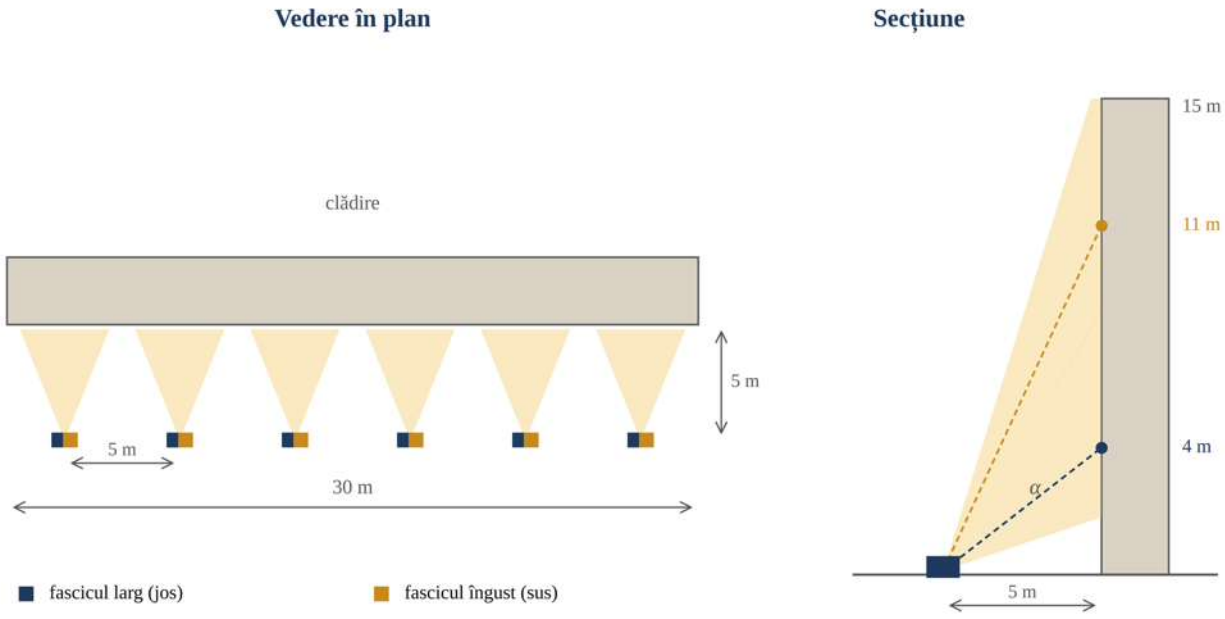


Figura 4.38 – Amplasarea proiectoarelor în exemplul de calcul: vedere în plan și secțiune prin fațadă

Verificarea punct cu punct a punctelor de ochire. Se cere intensitatea luminoasă necesară pentru a obține iluminarea medie de 56 lx în punctele de ochire:

Proiector	Înălțimea punctului de ochire [m]	Distanța d [m]	Unghiul α [°]	$\cos\alpha$	I necesar [cd]
Fascicul larg, partea inferioară	4	6,4	38,7	0,78	≈ 2 900
Fascicul îngust, partea superioară	11	12,1	65,6	0,41	≈ 19 800

Tabelul 4.42 – Intensitatea luminoasă necesară în punctele de ochire

Rezultatul confirmă alegerea a două tipuri de optică: proiectorul pentru partea superioară trebuie să concentreze fluxul într-un fascicul îngust, cu intensitate maximă de ordinul a 20 000 cd, în timp ce pentru partea inferioară este suficient un fascicul larg. Valorile se compară cu fișierele fotometrice ale aparatelor alese.

Verificarea luminanței și a luminii intruzive. Cu 12 proiectoare, iluminarea medie inițial calculată crește la aproximativ 62 lx, iar luminanța medie devine:

$$L = \frac{\rho \cdot E_m}{\pi} = \frac{0,45 \cdot 62}{\pi} \approx 8,9 \text{ cd/m}^2 \leq 10 \text{ cd/m}^2$$

Valoarea se încadrează în limita zonei E3. Pentru a reveni exact la ținta de 8 cd/m², fluxul se reglează la aproximativ 90% prin sistemul de comandă, ceea ce reduce și consumul.

Pentru o fereastră a clădirii din fața fațadei, aflată la 25 m de proiectoare, intensitatea limită după curfew în zona E3 este de 1 000 cd (Tabelul 4.34). Chiar la această intensitate maximă admisă, iluminarea verticală pe fereastră ar fi $E_v = 1000/25^2 = 1,6$ lx, sub limita de 2 lx. În practică, proiectoarele sunt orientate spre fațadă și prevăzute cu viziere, iar intensitatea spre fereastră este mult mai mică.

Puterea instalată și energia. Puterea instalată este $P = 12 \times 38 \text{ W} = 456 \text{ W}$, adică aproximativ 1,0 W pe metru pătrat de fațadă. Dacă instalația funcționează la 100% de la amurg până la ora 23:00 (în medie circa 4 ore pe noapte), apoi la 50% până la ora 24:00 și se stinge după miezul nopții, consumul anual este:

$$W = 0,456 \text{ kW} \cdot (4 + 0,5 \cdot 1) \text{ h} \cdot 365 \approx 749 \text{ kWh/an}$$

Aceeași instalație, lăsată aprinsă la 100% de la amurg la zori (în medie circa 12 ore pe noapte), ar consuma aproximativ $0,456 \text{ kW} \times 4380 \text{ h} \approx 1997 \text{ kWh/an}$. Programul de funcționare reduce consumul cu circa 62%, fără nicio modificare a aparatelor.

Observație importantă. Factorul de utilizare $UF = 0,65$ înseamnă că 35% din flux, adică circa 19 000 lm, nu ajunge pe fațadă. O parte se pierde spre cer, peste cornișă. Cu optici eliptice și viziere care cresc factorul de utilizare la 0,80, numărul de proiectoare scade la 9, iar puterea instalată la 342 W. Calitatea opticii are deci un efect direct atât asupra consumului, cât și asupra poluării luminoase.

4.7.7. Schema funcțională a sistemului

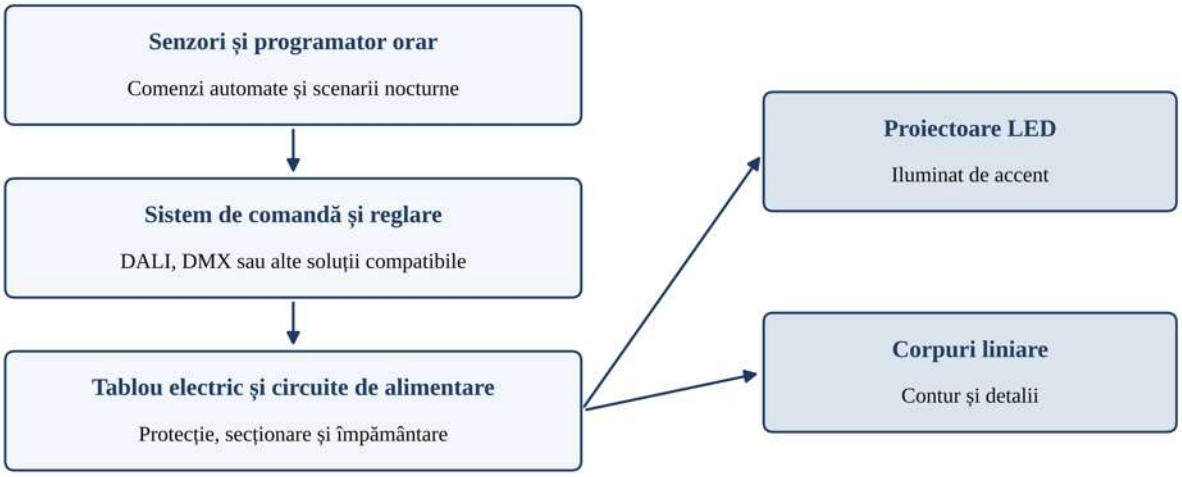


Figura 4.39 – Schema funcțională a sistemului de iluminat arhitectural

Schema este funcțională și orientativă; configurația efectivă depinde de clădire și de soluția tehnică aleasă.

4.7.7.1. Protocoale de comandă

Alegerea protocolului de comandă depinde de complexitatea efectelor dorite. Pentru o fațadă cu lumină albă și câteva niveluri de reglare, un sistem DALI este suficient; pentru efecte dinamice și culori controlate pe fiecare aparat, se folosește DMX.

Protocol	Standard	Utilizare tipică	Observații
DALI-2	IEC 62386	Reglarea fluxului, scenarii statice, lumină albă reglabilă (DT8)	Comunicație bidirecțională, adresare individuală, raportarea defectelor
DMX512-A cu RDM	ANSI E1.11, ANSI E1.20	Efecte dinamice, culoare RGBW, sincronizare rapidă	512 canale pe linie; RDM permite configurarea și diagnosticarea aparatelor
DMX prin rețea IP (sACN, Art-Net)	ANSI E1.31	Fațade mari, multe linii DMX distribuite	Folosește rețea Ethernet; necesită măsuri de securitate cibernetică
0–10 V	ANSI E1.3	Reglare simplă, pe grupuri	Fără adresare individuală și fără raportare
Comandă la nivel de circuit	—	Instalații mici, aprindere și stingere	Integrare cu telegestiunea punctului de aprindere (capitolele 6 și 7)

Tabelul 4.43 – Protocoale de comandă utilizate în iluminatul arhitectural

4.7.7.2. Scenarii de funcționare

Sistemul de comandă trebuie să permită cel puțin un scenariu de funcționare obișnuită, un scenariu redus după ora de curfew și stingerea completă. Scenariile se programează pe ceas astronomic, iar evenimentele speciale se programează din calendar, cu revenire automată la programul obișnuit.

Scenariu	Interval orientativ	Nivel	Observații
Obișnuit	De la amurg la ora 23:00	100%	Imaginea de bază a clădirii
Redus	Ora 23:00–24:00	30–50%	Se păstrează doar elementele principale
Stins	După miezul nopții, până la amurg	0%	Respectă limitele după curfew

Scenariu	Interval orientativ	Nivel	Observații
Eveniment sau sărbătoare	După calendar	100%, eventual culoare	Durată limitată, revenire automată
Mentenanță	La cerere	100% pe grupuri	Pentru verificarea aparatelor

Tabelul 4.44 – Scenarii de funcționare recomandate

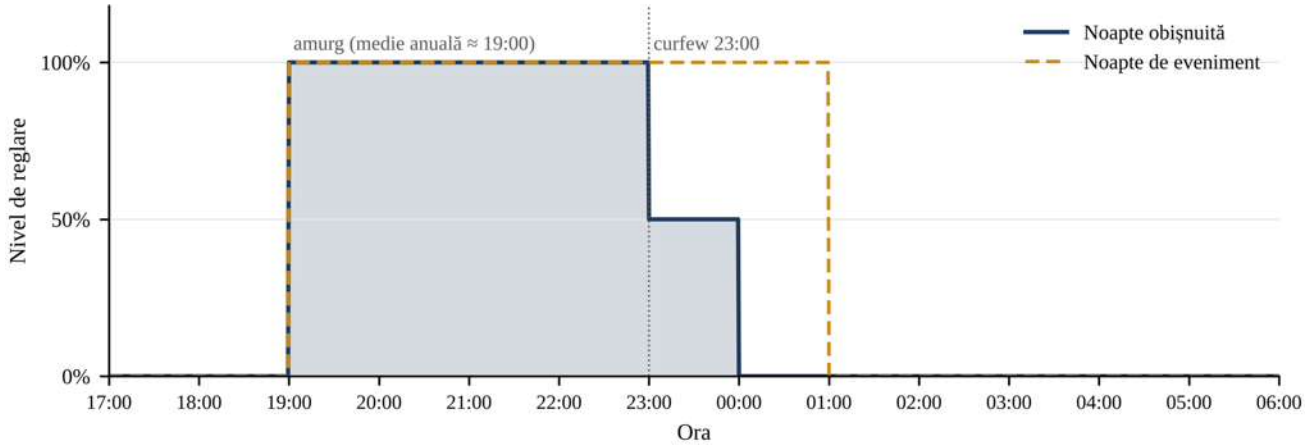


Figura 4.40 – Profilul de funcționare al instalației din exemplul de la 4.7.6.4, într-o noapte obișnuită și într-o noapte de eveniment

Comanda iluminatului arhitectural se integrează în sistemul de telegestiune al iluminatului public, acolo unde acesta există (capitolele 6 și 7). Funcțiile de protecție rămân însă independente de software: siguranța persoanelor și a instalației nu depinde de controler, ci de dispozitivele de protecție certificate (capitolul 10).

4.7.8. Iluminatul clădirilor istorice și al monumentelor

Monumentele istorice sunt obiectivele cele mai frecvent iluminate și, în același timp, cele mai vulnerabile. Proiectul trebuie să pună în valoare clădirea fără să o deterioreze și fără să-i schimbe caracterul. Pe lângă avizul obligatoriu (4.7.3.3), se recomandă următoarele reguli de bună practică:

- **prinderi reversibile** — aparatele și suporturile se fixează, unde este posibil, în rosturile zidăriei sau prin coliere și cleme, nu prin găuri în piatra de talie sau în elementele decorative; orice prindere trebuie să poată fi demontată fără urme;
- **trasee de cabluri ascunse** — cablurile urmăresc burlanele, cornișele și liniile de umbră ale fațadei, în tuburi de culoarea materialului; nu se traversează ornamentele;
- **impact vizual de zi minim** — aparatele mici, vopsite în culoarea fațadei, amplasate în locuri cu vizibilitate redusă; aparatele încastrate în sol sunt de preferat celor montate pe fațadă;
- **lectura istorică** — lumina pune în valoare compoziția originală a clădirii; se evită culorile saturate și efectele dinamice permanente pe monumente;
- **încărcarea termică și radiația UV** — sursele LED moderne emit foarte puțină radiație ultravioletă și infraroșie în fascicul, ceea ce le face potrivite pentru materiale sensibile, cum sunt picturile murale exterioare și lemnul vechi;
- **acces pentru întreținere** — se prevede de la început modul de acces la fiecare aparat (platformă, nacelă, acces din pod), fără schele și fără deteriorarea fațadei;
- **colaborarea cu restauratorul** — proiectul se coordonează cu arhitectul restaurator și, unde este cazul, cu specialiștii în conservarea materialelor.

Clădirile istorice, în special turnurile, podurile și acoperișurile, adăpostesc frecvent lilieci și păsări. Iluminarea directă a adăposturilor și a traseelor de zbor le poate afecta grav. În aceste situații se evită iluminarea

zonelor respective, se reduce nivelul și durata de funcționare, iar culoarea luminii se alege cât mai caldă. Pentru protecția liliecilor există ghiduri specializate, care recomandă evaluarea ecologică înainte de proiectare.

4.7.9. Cerințe de eficiență energetică, siguranță și mediu

Proiectul trebuie să prevadă:

- corpuri cu eficacitate luminoasă ridicată și surse LED cu durată mare de viață;
- reglarea fluxului luminos în funcție de intervalul orar și de necesități;
- orientarea precisă a fasciculelor pentru evitarea orbirii și a iluminării ferestrelor vecine;
- limitarea fluxului luminos emis direct către cer și a poluării luminoase;
- protecție la intemperii și coroziune, corespunzătoare locului de montaj;
- acces sigur pentru curățare, verificare și înlocuirea echipamentelor;
- protecție electrică, legare la pământ și protecție la supratensiuni, conform condițiilor instalației.

Proiectarea trebuie să țină cont de standardele și reglementările aplicabile, inclusiv cerințele relevante din seria SR EN 12464, unde domeniul de aplicare este pertinent, precum și de standardele pentru instalații electrice și de cerințele locale privind iluminatul exterior.

Pentru compararea soluțiilor și pentru urmărirea instalației în exploatare se recomandă doi indicatori simpli: densitatea de putere raportată la suprafața iluminată, în W/m², și consumul anual raportat la suprafață, în kWh/(m²·an). În exemplul de la 4.7.6.4, densitatea de putere este de aproximativ 1,0 W/m², iar consumul anual este de aproximativ $749/450 \approx 1,7\ \mathrm{kWh/(m^2 \cdot an)}$. Indicatorii permit identificarea rapidă a instalațiilor supradimensionate sau care funcționează în afara programului stabilit.

Factorul de menținere se stabilește prin calcul, nu prin presupunere. El depinde de scăderea fluxului sursei LED în timp, de rata de defectare, de murdărirea aparatului și de intervalul de curățare. Pentru aparatele încastrate în sol și pentru cele orientate în sus, murdărirea este mai rapidă (praf, frunze, apă stagnantă), de aceea intervalul de curățare trebuie să fie mai scurt.

4.7.10. Punerea în funcțiune, mentenanța și verificarea

4.7.10.1. Punerea în funcțiune

Iluminatul arhitectural nu se poate recepționa numai pe baza calculelor. Punerea în funcțiune se face noaptea, în prezența proiectantului, și cuprinde:

1. verificarea vizuală a efectului din principalele direcții de observare, de aproape și de la distanță;
2. reglajul final al orientării fiecărui aparat, montarea vizierelor și blocarea mecanică a reglajului;
3. măsurarea luminanței fațadei cu un luminanțmetru sau, preferabil, cu o cameră de măsurare a luminanței, și compararea cu valorile din proiect;
4. verificarea luminii intruzive la ferestrele vecine și în direcțiile de circulație;
5. programarea și testarea tuturor scenariilor, inclusiv revenirea după o cădere de tensiune;
6. măsurătorile electrice prevăzute de normative (capitolul 10) și predarea documentației as-built: planuri de amplasare, fișa de reglaj a fiecărui aparat, fotografii de noapte de referință.

Fișa de reglaj, care consemnează pentru fiecare aparat poziția, unghiurile de orientare, accesoriile montate și nivelul de reglare, este documentul cel mai util pentru exploatare. Fără ea, după prima înlocuire a unui aparat, efectul inițial se pierde.

4.7.10.2. Mentenanța

Activitate	Frecvență orientativă	Observații
Inspecție vizuală nocturnă	Lunar	Aparate stinse, orientări modificate, pete sau zone întunecate
Curățarea aparatelor încastrate în sol	De 2–4 ori pe an	Frunze, praf, apă; verificarea drenajului
Curățarea aparatelor de pe fațadă	Anual	Odată cu verificarea prinderilor

Activitate	Frecvență orientativă	Observații
Verificarea orientării față de fișa de reglaj	Anual și după intervenții	Corectarea abaterilor
Verificarea programării și a ceasului astronomic	La schimbarea orei și după întreruperi	Respectarea orei de curfew
Măsurarea luminanței	La 2–3 ani	Comparare cu valorile de la recepție
Verificări electrice	Conform programului din capitolul 10	Izolație, protecții, SPD

Tabelul 4.45 – Planul de mentenanță recomandat pentru o instalație de iluminat arhitectural

4.7.11. Greșeli frecvente și listă de verificare

Greșeală	Consecință	Practica corectă
Fațada iluminată uniform, „ca ziua”	Clădirea devine plată, consum mare	Ierarhie vizuală, accente și fond
Luminanța aleasă fără raportare la zona de mediu	Supra-iluminare, conflict cu vecinii	Încadrarea în zona E2–E4 și respectarea limitei L_b (Tabelul 4.34)
Aceeași iluminare prescrisă pentru materiale diferite	Cărămida pare întunecată, tencuiala orbitoare	Calcul pe luminanță, cu factorul de reflexie al materialului
Proiectoare îndreptate spre sticlă	Fațada rămâne întunecată, lumina merge spre cer	Iluminat din interior sau al structurii
Fascicul care trece peste cornișă	Lumină spre cer, poluare luminoasă	Optici adecvate, viziere, ochire sub muchie
Aparate vizibile din direcțiile de observare	Orbire, imagine neîngrijită	Amplasare ascunsă, accesorii antiorbire
CCT diferite pe aceeași fațadă	Pete de culoare	Aceeași CCT, SDCM ≤ 3
Găuri în piatra de talie a monumentelor	Deteriorare ireversibilă, lipsa avizului	Prinderi reversibile în rosturi, aviz conform Legii nr. 422/2001
Instalația aprinsă toată noaptea	Consum de 2–3 ori mai mare, lumină intruzivă	Scenarii cu reducere și stingere după curfew
Lipsa fișei de reglaj	Efectul se pierde după prima intervenție	Fișă de reglaj pentru fiecare aparat, actualizată

Tabelul 4.46 – Greșeli frecvente în proiectarea iluminatului arhitectural

Lista de verificare poate fi folosită de proiectant și de beneficiar la analiza proiectului:

- ☐ Obiectivul se încadrează în planul director de iluminat sau, în lipsa acestuia, contextul nocturn al zonei este analizat.
- ☐ Zona de mediu (E0–E4) este stabilită și justificată.
- ☐ Luminanțele țintă sunt sub limita L_b a zonei și sunt corelate cu luminanța fondului.
- ☐ Factorii de reflexie ai materialelor sunt măsurați sau justificați.
- ☐ Calculul fotometric folosește fișierele aparatelor alese, iar factorul de menținere este calculat.
- ☐ Lumina intruzivă $(\text{ULR},\ E_v,\ I)$ este verificată pentru vecinătăți.
- ☐ CCT și redarea culorilor sunt alese după material, cu aceeași CCT pe toată fațada.
- ☐ Gradele IP și IK corespund locului de montaj; aparatele încastrate în sol respectă SR EN 60598-2-13.
- ☐ Pentru monumente și zone protejate există avizul Ministerului Culturii, iar prinderile sunt reversibile.
- ☐ Impactul asupra faunei (lilieci, păsări) este evaluat, acolo unde este cazul.
- ☐ Scenariile de funcționare includ reducerea și stingerea după ora de curfew.
- ☐ Proba la fața locului este făcută și documentată.

- ☐ Protecțiile electrice respectă capitolul 10.
- ☐ Fișa de reglaj și planul de mentenanță fac parte din documentația predată.

4.7.12. Concluzii

Proiectarea sistemelor de iluminat arhitectural presupune integrarea soluțiilor estetice cu cele luminotehnice, electrice și energetice. Alegerea corectă a aparatelor de iluminat cu LED, calculul fotometric, controlul distribuției luminii și utilizarea sistemelor inteligente de comandă permit evidențierea arhitecturii, reducerea consumului de energie și limitarea efectelor negative asupra mediului.

Pe scurt: o instalație de iluminat arhitectural reușită pornește de la arhitectura clădirii și de la contextul ei nocturn, folosește exact atâta lumină cât este necesară pentru zona de mediu, își verifică efectul printr-o probă la fața locului și se exploatează după un program care o stinge atunci când nu mai este privită.

4.7.13. Bibliografie

[1] Parlamentul României. Legea nr. 230/2006 a serviciului de iluminat public, cu modificările și completările ulterioare. legislatie.just.ro

[2] Autoritatea Națională de Reglementare pentru Serviciile Comunitare de Utilități Publice (ANRSC). Ordinul nr. 86/2007 pentru aprobarea Regulamentului-cadru al serviciului de iluminat public.

[3] CIE 094:1993 — Guide for floodlighting. Commission Internationale de l'Éclairage, Viena.

[4] CIE 150:2017 — Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations, 2nd Edition. Commission Internationale de l'Éclairage, Viena.

[5] CIE 126 — Guidelines for minimizing sky glow. Commission Internationale de l'Éclairage, Viena.

[6] CIE 234:2019 — A Guide to Urban Lighting Masterplanning. Commission Internationale de l'Éclairage, Viena. cie.co.at

[7] SR EN 12464-2 — Lumină și iluminat. Iluminatul locurilor de muncă. Partea 2: Locuri de muncă exterioare.

[8] Institution of Lighting Professionals (ILP). Guidance Note GN01/21 — The Reduction of Obtrusive Light, 2021. theilp.org.uk

[9] Parlamentul României. Legea nr. 422/2001 privind protejarea monumentelor istorice, republicată, cu modificările și completările ulterioare.

[10] Ministerul Culturii. Normele metodologice și procedurile de avizare a intervențiilor asupra monumentelor istorice și în zonele lor de protecție, în vigoare la data proiectării.

[11] Guvernul României. Ordonanța nr. 10/2016 pentru modificarea și completarea Legii nr. 422/2001 privind protejarea monumentelor istorice, aprobată prin Legea nr. 248/2016.

[12] ANSI/IES TM-30 — Method for Evaluating Light Source Color Rendition, ediția în vigoare. Illuminating Engineering Society.

[13] SR EN 60598-2-5 — Aparate de iluminat. Partea 2-5: Cerințe particulare. Proiectoare.

[14] SR EN 60598-2-13 — Aparate de iluminat. Partea 2-13: Cerințe particulare. Aparate de iluminat încastrate în sol.

[15] SR EN 60529 și SR EN 62262 — Grade de protecție asigurate prin carcase (cod IP); protecția la impact mecanic (cod IK).

[16] Performance in Lighting. EN 60598-2-13 — Installation areas for in-ground and linear recessed luminaires (notă tehnică de producător). performanceinlighting.com

4.8. Proiectarea sistemelor de iluminat decorativ festiv *[Cozma S.]*

Iluminatul decorativ și cel festiv completează iluminatul funcțional al spațiului public cu o componentă estetică, simbolică și socială. Spre deosebire de iluminatul rutier, care răspunde unor criterii de vizibilitate cuantificabile, și de iluminatul arhitectural (subcapitolul 4.7), care pune în valoare forma construită, iluminatul decorativ și festiv creează o ambianță: marchează sărbători și evenimente, accentuează trasee pietonale și comerciale sau spații de întâlnire, prin elemente luminoase care sunt ele însele obiectul privirii.

Tocmai această particularitate – sursa de lumină este vizibilă direct și privită intenționat – face ca proiectarea să fie mai delicată decât pare. Elementele decorative sunt, în cea mai mare parte, surse neecranate, montate la înălțimi reduse, în câmpul vizual al pietonilor și al conducătorilor auto, iar instalațiile festive

funcționează în perioada anului cu cele mai lungi nopți. În lipsa unui proiect, rezultatul tipic este o instalație supradimensionată, cu luminanțe excesive, culori care concurează cu semnalizarea rutieră, consum inutil și o contribuție vizibilă la poluarea luminoasă.

Subcapitolul de față tratează proiectarea instalațiilor de iluminat decorativ permanent și a celor festive, temporare, amplasate în spațiul public, cu accent pe limitarea orbirii, a luminii intruzive și a poluării luminoase. Aspectele generale privind poluarea luminoasă sunt dezvoltate în capitolul 5, iar comanda și controlul iluminatului, în capitolele 6 și 7.

4.8.1. Definiții și domeniu de aplicare

Legea nr. 230/2006 a serviciului de iluminat public definește două noțiuni relevante pentru acest subcapitol [1]:

- **iluminatul ornamental** – „iluminatul zonelor destinate parcurilor, spațiilor de agrement, piețelor, târgurilor și altora asemenea” (art. 3 lit. d);
- **iluminatul ornamental-festiv** – „iluminatul temporar utilizat cu ocazia sărbătorilor și altor evenimente festive” (art. 3 lit. e).

Aceeași lege include marcarea evenimentelor festive și a sărbătorilor legale sau religioase printre nevoile de utilitate publică pe care le acoperă serviciul (art. 6 lit. c). În sensul prezentului manual se disting două categorii de instalații:

- **iluminatul decorativ permanent** – elemente luminoase instalate durabil, cu rol estetic sau de identitate: în parcuri, piețe, pe alei, fântâni, poduri pietonale, mobilier urban sau instalații artistice;
- **iluminatul festiv (temporar)** – instalații montate pentru o perioadă limitată: sărbătorile de iarnă, zilele orașului, festivaluri, târguri sau alte evenimente.

Diferența față de iluminatul arhitectural este una de principiu. În iluminatul arhitectural, obiectul privirii este suprafața iluminată – fațada, volumul, detaliul –, iar sursa rămâne, de regulă, ascunsă. În iluminatul decorativ, **sursa sau elementul luminos este chiar obiectul privirii**. Există și situații mixte, de exemplu proiecțiile festive pe fațade (video mapping), pentru care se aplică simultan criteriile din subcapitolul 4.7 și cele din prezentul subcapitol.

Reclamele și panourile publicitare luminoase nu fac obiectul acestui subcapitol, dar criteriile de limitare a luminii intruzive prezentate în continuare li se aplică în aceeași măsură.

Criteriu	Funcțional (rutier, pietonal)	Arhitectural	Decorativ / festiv
Scop	vizibilitate, siguranță, orientare	punerea în valoare a construcției	ambianță, identitate, marcarea evenimentelor
Obiectul privirii	suprafața iluminată, obstacolele	fațada, volumul, detaliul	sursa sau elementul luminos
Criterii cuantificabile	L, E, U_o, TI (SR EN 13201)	E, L fațadă, contrast	luminanța elementului, flux instalat, ULR, E_v la ferestre
Durata funcționării	toată noaptea, cu reglaj	seara, până la ora-limită	seara, într-o perioadă limitată
Ecranarea sursei	optică dirijată, flux ascendent ≈ 0	proiectoare orientate	adesea imposibilă – surse omnidirecționale
Riscuri principale	orbire, neuniformitate	flux spre cer, lumină intruzivă	orbire, distragere, poluare luminoasă, siguranță electrică și mecanică

Tabelul 4.47 – Comparație între iluminatul funcțional, arhitectural și decorativ/festiv

4.8.2. Scopul și obiectivele proiectării

Proiectarea unei instalații de iluminat decorativ sau festiv urmărește simultan:

1. **crearea unei ambianțe nocturne coerente**, adaptate identității locului și naturii evenimentului;
2. **integrarea în ierarhia luminoasă a orașului**, fără a concura cu iluminatul funcțional;

3. **menținerea siguranței circulației** – fără orbire, distragerea atenției sau confuzie cu semnalizarea rutieră;
4. **limitarea poluării luminoase** – a fluxului emis spre cer, a luminii intruzive și a impactului asupra faunei;
5. **siguranța electrică și mecanică a persoanelor**, în spații frecventate de public numeros, inclusiv de copii;
6. **consum energetic redus** și funcționare limitată în timp;
7. **montaj, exploatare și demontare sigure**, cu impact minim asupra infrastructurii și a vegetației;
8. **reutilizarea echipamentelor** și gestionarea responsabilă a deșeurilor.

În iluminatul decorativ, criteriul de reușită nu este cantitatea de lumină, ci **lizibilitatea efectului într-un mediu întunecat**. Ochiul adaptat la nivelurile reduse ale iluminatului nocturn percepe distinct elemente cu luminanțe moderate; creșterea luminanței peste un anumit prag nu mai sporește efectul estetic, ci doar disconfortul vizual, consumul și lumina dispersată în mediu.

4.8.3. Tipologia instalațiilor de iluminat decorativ și festiv

Fiecare tip de instalație are un profil de risc propriu, care determină criteriile de verificare prioritare.

Tip de instalație	Exemple	Aspecte critice de proiectare
Motive montate pe stâlpi	figuri plane din profile metalice cu furtun luminos sau LED, stele, fulgi	încărcarea suplimentară a stâlpului (greutate, vânt); poziția față de aparatul de iluminat public; orbirea
Traversări stradale	ghirlande, cortine și motive suspendate pe cabluri între stâlpi sau clădiri	gabaritul liber pe înălțime; ancorarea; cablurile purtătoare; câmpul vizual al conducătorilor auto
Iluminarea arborilor	ghirlande înfășurate, perdele luminoase, proiectoare la sol	protecția vegetației; perturbarea faunei; siguranța electrică la nivelul solului
Ghirlande și perdele pe fațade	cortine LED, contururi de cornișe și ferestre	lumina intruzivă în locuințe; fixarea pe clădiri și acordul proprietarilor
Instalații volumetrice	brazi luminoși, tuneluri, sfere, sculpturi luminoase 3D	stabilitatea; protecția împotriva accesului; fluxurile de public
Proiecții și efecte dinamice	proiectoare gobo, video mapping, efecte de culoare și mișcare	luminanța fațadei; lumina intruzivă; efectele intermitente; orbirea
Iluminat decorativ permanent	elemente încastrate în pavaj, fântâni, mobilier urban luminos, benzi LED pe parapeți	orbirea la nivelul ochiului; malurile apelor; mentenanța
Fascicule spre cer	proiectoare de tip sky beam, lasere	contribuție directă la strălucirea cerului; siguranța aeronautică – soluții de evitat

Tabelul 4.48 – Tipuri de instalații și aspectele critice de proiectare

4.8.4. Cadrul normativ și documentele de referință

Nu există un standard dedicat exclusiv iluminatului decorativ sau festiv. Proiectarea se sprijină pe mai multe categorii de documente, care acoperă separat cerințele luminotehnice, de mediu, electrice, mecanice și de produs.

a) Legislație și reglementări naționale

- Legea nr. 230/2006 a serviciului de iluminat public [1] și Regulamentul-cadru aprobat prin Ordinul ANRSC nr. 86/2007 [2];
- Legea nr. 121/2014 privind eficiența energetică [3];
- OUG nr. 195/2002 privind circulația pe drumurile publice, care interzice amplasarea în zona drumului public a dispozitivelor ce pot fi confundate cu indicatoarele sau cu alte mijloace de semnalizare rutieră, ori care distrag atenția participanților la trafic (art. 30 alin. (7) lit. a) [4];

- NP 062-02, cu modificările aduse prin Ordinul nr. 2837/2022, pentru iluminatul rutier și pietonal adiacent [5];
- Normativul I 7-2011 pentru instalațiile electrice [6] și Codul CR 1-1-4/2012 pentru acțiunea vântului [7].

Legislația națională nu conține, la data redactării, un cadru dedicat explicit poluării luminoase, iar Legea nr. 230/2006 nu utilizează acest termen. În consecință, limitele privind lumina intruzivă și fluxul emis spre cer se stabilesc pe baza recomandărilor europene și internaționale prezentate în continuare.

b) Legislație europeană privind produsele

- marcajul CE, în baza directivelor privind echipamentele de joasă tensiune, compatibilitatea electromagnetică, restricțiile de substanțe periculoase (RoHS) și deșeurile de echipamente electrice și electronice (DEEE) [12];
- Regulamentul (UE) 2019/2020 privind proiectarea ecologică a surselor de lumină [10]. Potrivit Comisiei Europene, ghirlandele și benzile luminoase, inclusiv cele decorative, intră în domeniul de aplicare dacă emit mai mult de 60 lm pe lungimea totală a produsului; produsele alimentate exclusiv de la baterii sunt exceptate;
- Regulamentul (UE) 2024/1781 privind proiectarea ecologică a produselor durabile [11], care orientează achizițiile spre produse durabile, reparabile și reutilizabile;
- criteriile UE pentru achizițiile publice ecologice în iluminatul rutier [13], utile ca referință pentru temperatura de culoare și reglajul fluxului.

c) Standarde

- seria SR EN 13201 pentru iluminatul public adiacent [16] și EN 12464-2:2024, care conține limite ale luminii intruzive pentru locurile de muncă exterioare, utilizabile ca referință [17];
- EN IEC 60598-2-20:2024 (ghirlande luminoase) [18], EN 60598-2-21 (furtun luminos) [19], EN 60598-2-5 (proiectoare) [20] și EN IEC 60598-1 (cerințe generale) [21];
- EN 62471 și IEC TR 62778 pentru siguranța fotobiologică [22]; EN 60529 și EN 62262 pentru gradele de protecție IP și IK [23];
- HD 60364-7-714 (instalații de iluminat exterior), HD 60364-7-740 (instalații temporare pentru structuri și standuri în târguri și parcuri de distracții) și HD 60364-7-711 (expoziții, spectacole și standuri) [24–26];
- EN 40-3-1 pentru încărcările stâlpilor de iluminat și EN 1991-1-4 pentru acțiunea vântului [27, 28];
- EN 60825-1 pentru siguranța produselor laser [29] și ISO 9241-391:2016 privind reducerea riscului de crize fotosensibile [30].

d) Recomandări CIE

- CIE 150:2017 – ghidul de referință pentru limitarea efectelor luminii intruzive, cu zonele de mediu E0–E4 [31];
- CIE 126:1997 (strălucirea cerului), CIE 234:2019 (planuri directoare de iluminat urban), CIE 136:2000 (iluminatul zonelor urbane) și CIE 094:1993 (iluminatul cu proiectoare) [32–35];
- CIE 115:2010 și CIE 243:2021 pentru iluminatul rutier și orbirea de disconfort [36, 37]; CIE 206:2014 privind distribuția spectrală în zonele urbane și pietonale [38]; CIE TN 006:2016 privind artefactele luminii modulate în timp [39].

e) Reglementări și practici din alte state europene

Mai multe state au adoptat reglementări dedicate, utile ca repere: Franța, prin ordinul ministerial (arrêté) din 27 decembrie 2018 privind prevenirea, reducerea și limitarea efectelor negative ale luminii artificiale (nuisances lumineuses) [14], și Croația, prin legea privind protecția împotriva poluării luminoase (NN 14/2019) [15]. Ghidul ILP GN01/21 [41], construit pe baza CIE 150, este larg utilizat în practica europeană.

Referințele de mai sus trebuie verificate în edițiile și cu amendamentele aplicabile la data proiectării; enumerarea lor nu înlocuiește verificarea normativă de specialitate pentru proiectul concret.

4.8.5. Conceptul luminotehnic și integrarea în planul director de iluminat

Iluminatul decorativ și cel festiv nu ar trebui proiectate ca intervenții izolate, ci derivate dintr-un **plan director de iluminat** al localității, care stabilește ierarhia spațiilor, nivelurile de luminozitate admise pe zone, paleta de culori și zonele întunecate care trebuie protejate [33, 34].

Analiza contextului

- stabilirea **zonei de mediu** (E0–E4, conform CIE 150 [31]) – de la arii protejate și zone naturale până la centre urbane cu activitate nocturnă intensă;
- inventarierea nivelurilor de luminanță existente: iluminat public, vitrine, reclame, iluminat arhitectural;
- identificarea observatorilor – pietoni, conducători auto, locatari – și a direcțiilor principale de privire;
- identificarea **receptorilor sensibili**: ferestrele locuințelor, spitalele, căminele, parcurile, malurile apelor, habitatele faunei;
- relația cu semnalizarea rutieră, cu trecerile de pietoni și cu intersecțiile.

Principii de concepție

- **lumina strict necesară efectului** – efectul decorativ depinde de contrastul față de mediul înconjurător; într-o zonă E2 sunt suficiente luminanțe sensibil mai mici decât într-o zonă E4;
- **concentrarea efectelor** în câteva puncte-cheie (piața centrală, axa pietonală principală), în locul distribuirii uniforme pe toate străzile; intervalele întunecate dau ritm și lizibilitate compoziției;
- **coordonarea cu iluminatul arhitectural** – se evită suprapunerea efectelor; pe durata perioadei festive se poate reduce iluminatul arhitectural din aceeași zonă;
- **prioritatea iluminatului funcțional și a semnalizării** – elementele decorative nu umbresc carosabilul, nu obturează indicatoarele și nu modifică vizibilitatea pietonilor;
- **paletă cromatică controlată** – alb cald și auriu ca dominantă, culori saturate utilizate punctual; la București, de exemplu, regulamentul programului festiv recomandă albul și auriul și utilizarea cu moderație a verdelui, roșului și portocaliului, pentru a evita confuzia cu semafoarele [9].

Percepția vizuală în spațiul public pe timp de noapte se desfășoară, în mare parte, în regim mezopic, în care sensibilitatea spectrală a ochiului diferă de cea fotopică. Alegerea spectrului influențează atât percepția luminozității, cât și efectele asupra mediului [38].

4.8.6. Parametrii luminotehnici specifici

4.8.6.1. Luminanța elementelor și intensitatea luminoasă

Elementele decorative se caracterizează prin **luminanța suprafeței luminoase** [cd/m²], prin **intensitatea luminoasă** în direcția observatorului [cd] și prin **fluxul luminos total al instalației** [lm]. Iluminarea, parametrul central al iluminatului funcțional, are aici un rol secundar.

Pentru o sursă de dimensiuni mici, luminanța aparentă poate fi estimată prin:

$$L \approx \frac{I}{A_{\text{ap}}}$$

unde:

- L – luminanța aparentă a sursei [cd/m²];
- I – intensitatea luminoasă în direcția observatorului [cd];
- A_{ap} – aria aparentă a suprafeței luminoase, văzută de observator [m²].

Relația explică de ce LED-urile neprotejate sunt percepute ca orbitoare chiar la intensități mici. Un LED cu I = 0,5 cd și o suprafață emisivă de aproximativ 1 mm² are o luminanță de ordinul:

$$L \approx \frac{0,5}{1 \cdot 10^{-6}} = 5 \cdot 10^{5}\ \text{cd/m}^2$$

Aceeași intensitate, distribuită pe un difuzor opal sferic cu diametrul de 20 mm (arie aparentă ≈ $3{,}1 \cdot 10^{-4}$ m²), conduce la aproximativ 1 600 cd/m², adică de circa 300 de ori mai puțin. De aceea se preferă **elemente cu difuzor și un număr mare de puncte de intensitate redusă**, în locul unui număr mic de puncte foarte strălucitoare.

CIE 150 nu formulează limite dedicate elementelor festive. În lipsa acestora, limitele recomandate pentru luminanța medie a panourilor luminoase (L_s, Tabelul 4.49) pot fi utilizate, prin analogie, ca **valori maxime** pentru suprafețele luminoase decorative [31]. Ele nu sunt valori-țintă: într-o stradă cu iluminat funcțional moderat, efectul decorativ rămâne lizibil la niveluri mult inferioare, ceea ce justifică prevederea posibilității de reglare a fluxului.

4.8.6.2. Luminanța suprafețelor iluminate

Atunci când elementul decorativ constă în iluminarea unei suprafețe – proiecții pe fațade, iluminarea arborilor sau a unor obiecte –, pentru suprafețe cu reflexie difuză se poate utiliza relația:

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi}$$

unde:

- L – luminanța medie a suprafeței [cd/m²];
- ρ – factorul de reflexie al suprafeței;
- E – iluminarea medie a suprafeței [lx].

De exemplu, pentru o fațadă dintr-o zonă E3, în care luminanța medie recomandată nu depășește 10 cd/m² [31], iluminarea medie necesară rezultă:

$$E = \frac{\pi \cdot L}{\rho} = \frac{\pi \cdot 10}{0{,}5} \approx 63 \text{ lx} \quad \text{pentru} \quad \rho = 0{,}5$$

iar pentru o suprafață mai întunecată, cu ρ = 0,3, aproximativ 105 lx. Suprafețele deschise la culoare necesită, deci, mai puțină lumină pentru același efect. Limita se aplică luminanței medii a fațadei, inclusiv contribuției proiecțiilor festive; proiecțiile cu luminanțe ridicate se limitează la durata evenimentului. Pentru alegerea și orientarea proiectoarelor rămân valabile principiile din subcapitolul 4.7 și din CIE 094 [35].

4.8.6.3. Temperatura de culoare și culoarea luminii

- pentru elementele în lumină albă se recomandă **alb cald, 2200–3000 K**; ghirlandele în alb rece (5000–6500 K), frecvente pe piață, accentuează orbirea și strălucirea cerului;
- lumina cu conținut ridicat de radiație cu lungime de undă scurtă (albastru, violet, alb rece) este difuzată mai puternic în atmosferă, atrage mai multe insecte și are un efect melanopic mai pronunțat [38, 40, 50];
- criteriile UE pentru achizițiile publice ecologice recomandă temperaturi de culoare sub 3000 K în zonele rezidențiale [13], iar reglementarea franceză limitează la 3000 K iluminatul clădirilor și la 2700 K sau 2400 K iluminatul parcurilor și al ariilor protejate [14];
- în zonele sensibile din punct de vedere ecologic (E0–E1, malurile apelor, parcurile cu vegetație bogată) se preferă lumina ambră sau alb foarte cald și fluxuri minime;
- în apropierea semafoarelor, a trecerilor de pietoni și pe direcțiile de vizibilitate ale conducătorilor auto **se evită roșul, verdele și galbenul-portocaliu**, în special în regim intermitent [9, 44];
- indicele de redare a culorilor are o importanță redusă pentru elementele privite direct, dar pentru iluminarea vegetației sau a obiectelor se recomandă $R_a \geq 80$.

4.8.6.4. Efecte dinamice, intermitență și modulația temporală

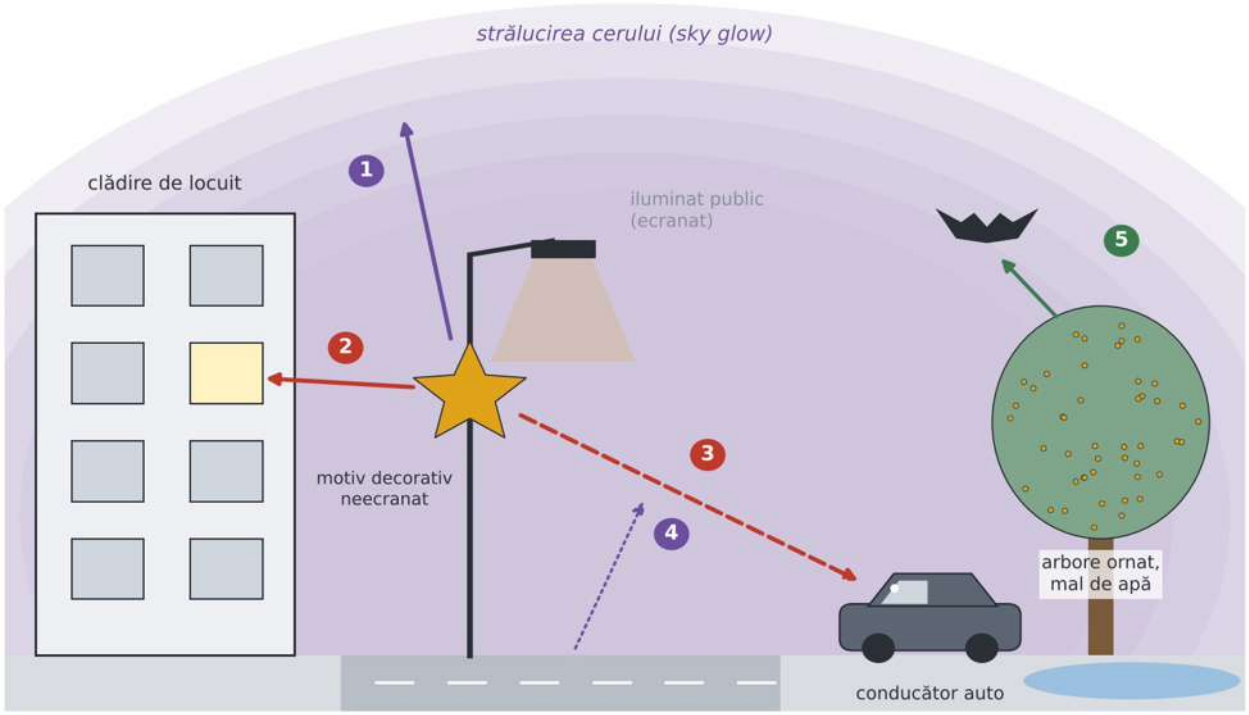
Efectele dinamice – sclipire, „fugă” de lumină, schimbări de culoare – atrag atenția mai puternic decât elementele statice. Tocmai de aceea, în vecinătatea drumurilor ele pot distrage atenția conducătorilor auto. Pe arterele de circulație se recomandă elemente statice sau tranziții lente, de ordinul secundelor, iar efectele rapide se rezervă spațiilor exclusiv pietonale.

- **riscul de crize fotosensibile**: se evită clipirile cu frecvențe cuprinse aproximativ între 3 Hz și 30 Hz, în special cele în roșu saturat și cele care ocupă o porțiune mare a câmpului vizual (de exemplu, fațade întregi în video mapping) [30];
- **artefactele luminii modulate în timp** (pâlpâire, efect stroboscopic), produse de reglajul prin modulație în lățime a impulsurilor la frecvență joasă, se evaluează prin indicatorii P_{st}^{LM} și SVM [39]; Regulamentul (UE) 2019/2020 impune, pentru sursele de lumină alimentate de la rețea, $P_{st}^{LM} \leq 1{,}0$ și SVM $\leq 0{,}4$ [10], valori care pot fi preluate în caietele de sarcini.

4.8.7. Poluarea luminoasă

4.8.7.1. Componente și efecte

Poluarea luminoasă reprezintă ansamblul efectelor negative ale luminii artificiale emise în afara zonei și a intervalului în care este necesară. În cazul iluminatului decorativ și festiv, componentele ei sunt ilustrate în Fig. 4.8.1.



1 – flux emis direct deasupra orizontalei; 2 – lumină intruzivă pe fereastră; 3 – orbire a conducătorului auto;
4 – flux reflectat de suprafețe spre cer; 5 – perturbarea faunei (lilieci, insecte, păsări) și a habitatelor riverane

Figura 4.41 – Componentele poluării luminoase generate de o instalație de iluminat decorativ

- **strălucirea cerului** (sky glow) – rezultă din fluxul emis direct deasupra orizontalei și din fluxul reflectat de suprafețe, difuzate de moleculele și aerosolii din atmosferă [32]. Potrivit atlasului mondial al strălucirii artificiale a cerului, peste 80 % din populația lumii și peste 99 % din populația Europei și a Statelor Unite trăiesc sub un cer poluat luminos [46]; observațiile cetățenilor indică o creștere a luminozității cerului de aproximativ 9,6 % pe an în perioada 2011–2022 [47];
- **lumina intruzivă** – lumina care pătrunde pe proprietăți și în locuințe, caracterizată prin iluminarea verticală E_v pe planul ferestrelor și prin intensitatea luminoasă a surselor vizibile din locuințe [31];
- **orbirea** – tratată în detaliu în subcapitolul 4.8.8;
- **efectele ecologice** – lumina artificială pe timp de noapte modifică orientarea, hrănirea, reproducerea și ritmurile biologice ale numeroaselor specii [48, 49, 51] și este considerată un factor al declinului insectelor [50]. Ghidul EUROBATS recomandă evitarea iluminării

adăposturilor și a coridoarelor de zbor ale liliecilor, a apelor și a vegetației riverane, utilizarea unor spectre fără componente ultraviolete și albastre și limitarea duratei de funcționare [42].

4.8.7.2. Particularitatea instalațiilor festive: sursa neecranată

Pentru iluminatul funcțional, principala măsură de limitare a strălucirii cerului este optica: aparatele moderne emit un flux practic nul deasupra orizontalei. Majoritatea elementelor festive sunt însă **surse omnidirecționale neecranate**, care emit aproximativ jumătate din flux deasupra orizontalei (Fig. 4.8.2, a). Raportul de flux ascendent al instalației se definește prin:

$$\mathrm{ULR} = \frac{\Phi_{\mathrm{sus}}}{\Phi_{\mathrm{tot}}}$$

unde:

- Φ_{sus} – fluxul luminos emis de instalație deasupra planului orizontal [lm];
- Φ_{tot} – fluxul luminos total emis de instalație [lm].

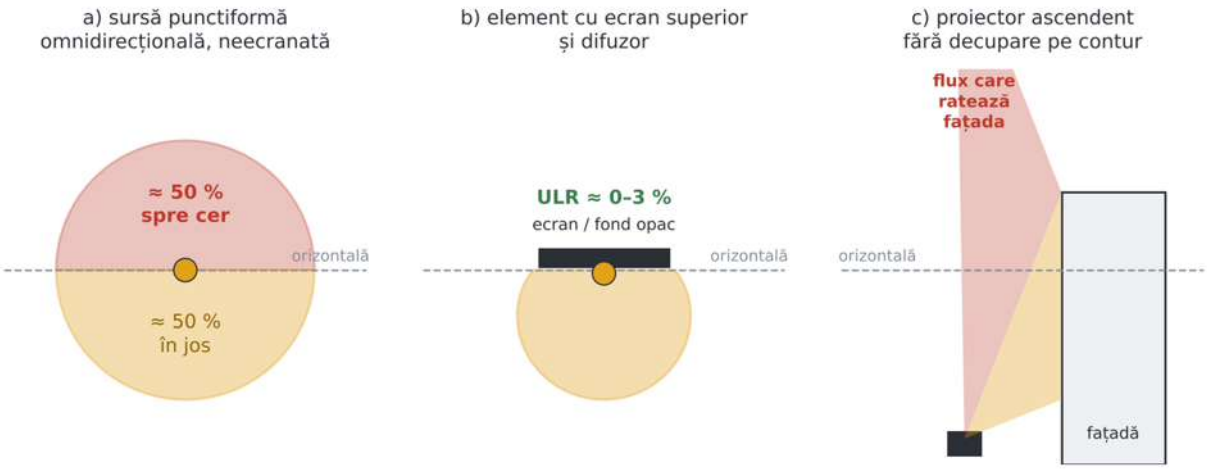


Figura 4.42 – Repartiția fluxului luminos în raport cu orizontala pentru trei tipuri de elemente decorative

Deoarece ULR-ul elementelor omnidirecționale nu poate fi redus prin optică, controlul poluării luminoase se realizează în principal prin:

1. **limitarea fluxului luminos total instalat** – un număr mai mic de elemente, cu intensitate redusă și bine amplasate;
2. **limitarea duratei de funcționare** – perioada sezonului și ora-limită zilnică;
3. **alegerea elementelor cu fond opac sau ecran superior** și, acolo unde este posibil, a LED-urilor orientate în jos (Fig. 4.8.2, b);
4. **amplasarea sub copertine, streașini sau coroane de arbori**, care interceptează o parte din fluxul ascendent;
5. **renunțarea la proiectoarele ascendente nedecupate pe contur și la fasciculele dirijate spre cer** (Fig. 4.8.2, c).

Trebuie avut în vedere că instalațiile festive de iarnă funcționează în perioada nopților celor mai lungi și, frecvent, pe un sol acoperit de zăpadă. Factorul de reflexie al zăpezii proaspete, de ordinul 0,8–0,9, este de mai multe ori mai mare decât al îmbrăcăminților asfaltice, astfel încât componenta reflectată a fluxului spre cer crește semnificativ.

4.8.7.3. Valori limită recomandate

Tabelul 4.49 prezintă valorile maxime recomandate de CIE 150:2017 pentru limitarea luminii intruzive, preluate și în ghidul ILP GN01 [31, 41]. Valorile se diferențiază pe zone de mediu și, pentru iluminarea

ferestrelor și intensitatea surselor, înainte și după ora-limită (curfew), stabilită de autoritatea locală; în lipsa unei decizii, ghidurile sugerează ora 23:00.

Zonă	Caracterul zonei	ULR [%]	E_v [lx] înainte / după	I [cd] înainte / după	L_b [cd/m²]	L_s [cd/m²]
E0	protejată (rezervații de cer întunecat)	0	0 / 0	0 / 0	0	–
E1	naturală, intrinsec întunecată (parcuri naturale, arii protejate)	0	2 / 0 (1*)	2 500 / 0	0	50
E2	rurală, luminozitate redusă (sate, periferii)	2,5	5 / 1	7 500 / 500	5	400
E3	suburbană, luminozitate medie (orașe mici, cartiere)	5	10 / 2	10 000 / 1 000	10	800
E4	urbană, luminozitate ridicată (centre de orașe mari)	15	25 / 5	25 000 / 2 500	25	1 000

Tabelul 4.49 – Valori maxime recomandate pentru limitarea luminii intruzive (CIE 150:2017)

E_v – iluminarea verticală pe planul ferestrei; I – intensitatea luminoasă a fiecărei surse în direcția zonei protejate; L_b – luminanța medie a fațadelor; L_s – luminanța medie a panourilor luminoase; (1) – valoarea de 1 lx este admisă numai pentru iluminatul public rutier; „–" – valoare neprecizată; în zona E0 nu se recomandă elemente decorative luminoase. Valorile se verifică în ediția în vigoare a documentelor de referință.*

4.8.7.4. Măsuri de limitare

- stabilirea și justificarea zonei de mediu și aplicarea limitelor din Tabelul 4.49;
- **oprirea la ora-limită**, cu excepția nopților cu program special stabilite de autoritatea locală; reglementarea franceză, de exemplu, impune oprirea iluminatului clădirilor cel târziu la ora 01:00 [14];
- **reducerea fluxului** după primele ore ale serii, când fluxurile de pietoni scad;
- **evitarea fasciculelor spre cer și a laserelor**. Pe lângă contribuția directă la strălucirea cerului, acestea pot afecta siguranța zborurilor și necesită coordonare cu autoritatea aeronautică [43] și respectarea cerințelor de siguranță laser [29]. Franța interzice proiectoarele cu flux de peste 100 000 lm și fasciculele laser în ariile naturale protejate și în siturile Natura 2000 [14];
- **neiluminarea directă a apelor** și a vegetației riverane – interdicție prevăzută explicit în reglementarea franceză, cu excepții limitate [14];
- temperatura de culoare ≤ 3000 K și lumină ambră în zonele sensibile;
- verificarea prin calcul a luminii intruzive la ferestrele cele mai expuse.

4.8.7.5. Exemplu de verificare a luminii intruzive

Iluminarea verticală produsă pe planul unei ferestre de o sursă cu intensitatea I, aflată la distanța d, se estimează prin legea inversului pătratului distanței:

$$E_v = \frac{I \cdot \cos\theta}{d^2}$$

unde:

- I – intensitatea luminoasă a sursei în direcția ferestrei [cd];
- θ – unghiul dintre direcția razei și normala la planul ferestrei;
- d – distanța dintre sursă și fereastră [m].

Se consideră un proiector decorativ cu intensitatea de 3 000 cd în direcția unei ferestre aflate la 15 m, pe direcția normalei (θ = 0), într-o zonă E3:

$$E_v = \frac{3000}{15^2} \approx 13{,}3 \text{ lx} > 10 \text{ lx}$$

Deși intensitatea sursei (3 000 cd) se încadrează în limita de 10 000 cd, iluminarea ferestrei depășește valoarea recomandată înainte de ora-limită (10 lx) și, cu atât mai mult, pe cea de după ora-limită (2 lx). Pentru conformare, intensitatea spre fereastră trebuie redusă la cel mult 2 250 cd înainte de ora-limită și la cel mult 450 cd după aceasta – prin reorientare, ecranare, reducerea fluxului sau oprire. Exemplul arată că **ambele criterii trebuie verificate**: respectarea limitei de intensitate nu garantează respectarea limitei de iluminare la fereastră.

4.8.8. Orbirea și siguranța circulației

4.8.8.1. Orbirea fiziologică și orbirea de disconfort

Orbirea fiziologică (de incapacitate) reduce capacitatea de a percepe obiectele, ca urmare a difuziei luminii în ochi, care suprapune peste imaginea retiniană o luminanță de voal. În iluminatul rutier se cuantifică prin creșterea pragului de contrast, TI [16, 36]. **Orbirea de disconfort** produce senzația de jenă vizuală, fără a reduce neapărat vizibilitatea, și este tratată, pentru iluminatul rutier și urban, în CIE 243:2021 [37]. Ambele efecte se accentuează odată cu vârsta observatorului.

Elementele decorative sunt surse cu luminanță ridicată pe un fond întunecat, plasate adesea aproape de axa privirii. Atunci când sunt montate deasupra sau în lungul carosabilului, în câmpul vizual al conducătorilor auto, contribuția lor la luminanța de voal ar trebui inclusă în verificarea TI, tratându-le ca surse suplimentare în calculul efectuat conform SR EN 13201-3. Ghidul ILP recomandă limitarea creșterii pragului produse de instalațiile exterioare care nu servesc iluminatului rutier la 15 % [41].

4.8.8.2. Distragerea atenției și confuzia cu semnalizarea rutieră

- dispozitivele care pot fi confundate cu indicatoarele sau cu alte mijloace de semnalizare rutieră, ori care distrag atenția participanților la trafic, sunt interzise în zona drumului public [4];
- în practica unor administrații europene nu se admit elemente intermitente roșii, galbene sau verzi la mai puțin de 10 m de semafoare și de trecerile pentru pietoni, ori pe direcțiile de vizibilitate ale conducătorilor auto [44];
- nu se montează elemente decorative pe stâlpii care susțin indicatoare, semafoare sau echipamente de control al traficului și nu se obturează vizibilitatea acestora;
- în intersecții se păstrează liberă zona de vizibilitate necesară la apropiere (subcapitolul 4.5).

4.8.8.3. Influența asupra trecerilor de pietoni

Elementele decorative strălucitoare amplasate în spatele trecerii, pe direcția de privire a conducătorului auto, ridică luminanța fundalului și pot reduce contrastul până la valori apropiate de zero, situație în care pietonul devine greu de distins. Prin urmare:

- se evită elementele strălucitoare în fundalul trecerilor de pietoni, privite din direcția de apropiere a vehiculelor;
- nu se montează elemente decorative pe stâlpii dedicați iluminatului trecerilor de pietoni;
- măsurătorile de verificare a iluminatului funcțional se efectuează cu sursele de lumină intruzivă oprite, inclusiv iluminatul festiv .

4.8.8.4. Reguli de amplasare

- motivele montate pe stâlpi se poziționează la o distanță suficientă sub aparatul de iluminat public – practica unor administrații indică cel puțin 1 m –, astfel încât să nu umbrească distribuția acestuia [45];
- marginea inferioară a elementelor de pe stâlpi se amplasează, orientativ, la cel puțin 2,5 m deasupra trotuarului, în afara zonei accesibile publicului [45];
- pentru traversările stradale, gabaritul liber pe înălțime se stabilește cu administratorul drumului, ținând seama de vehiculele cu gabarit special și, unde există, de rețelele de contact pentru tramvai sau troleibuz, cu acordul operatorului acestora;

- proiectoarele decorative se orientează astfel încât fasciculul să nu intersecteze direcțiile de privire ale conducătorilor auto și ferestrele locuințelor.

4.8.9. Alegerea echipamentelor

Echipamentele festive sunt expuse unor condiții severe – frig, umezeală, zăpadă, vânt, montări și demontări repetate –, într-un spațiu frecventat de public numeros. Alegerea lor se face pe baza unei specificații tehnice, nu numai după aspect și preț.

Parametru	Recomandare	Observații
Conformitate	marcaj CE; EN IEC 60598-2-20, EN 60598-2-21 sau EN 60598-2-5, după tip	declarație de conformitate și rapoarte de încercări
Destinație	marcare explicită pentru utilizare în exterior	produsele de interior nu se utilizează în exterior
Grad de protecție IP	≥ IP44 pentru elemente suspendate; IP65–IP67 pentru elemente expuse direct, la sol și pentru conexiuni	unele administrații impun IP66 pentru toate componentele [44, 45]
Rezistență la impact IK	≥ IK08 pentru elementele accesibile publicului	IK10 în zone cu risc de vandalism
Protecție electrică	clasa II sau III; tensiune foarte joasă de securitate (SELV) pentru elementele la îndemâna publicului	instalații 3D accesibile, tuneluri, arbori ornați la nivelul solului
Temperatura de funcționare	cel puțin −25 °C … +40 °C	comportarea cablurilor și a conectorilor la frig
Cabluri	cabluri flexibile cu manta de cauciuc, de tip H07RN-F sau echivalent	mantalele din PVC se rigidizează și se fisurează la temperaturi scăzute
Structură	aluminiu, oțel zincat, policarbonat stabilizat UV	greutate redusă, rezistență la coroziune
Sursă LED	CCT 2200–3000 K pentru alb; dispersie redusă a culorii între loturi	culorile saturate, utilizate punctual
Siguranță fotobiologică	grupa de risc RG0 sau RG1 (EN 62471)	relevant pentru proiectoare și elemente la nivelul ochilor
Modulație temporală	$P_{st}^{LM} \leq 1{,}0$; SVM ≤ 0,4	conform Regulamentului (UE) 2019/2020 [10]
Reglaj și comandă	compatibilitate cu sistemul de comandă (DALI, DMX, 0–10 V sau reglaj pe circuit)	capitolele 6 și 7
Date mecanice	greutate și suprafață expusă vântului declarate pentru fiecare element	necesare verificării stâlpilor
Reparabilitate	componente înlocuibile, conectori standardizați, piese de schimb	condiție pentru reutilizarea pe mai multe sezoane

Tabelul 4.50 – Parametri recomandați pentru echipamentele de iluminat decorativ și festiv

Elementele festive sunt frecvent procurate prin închiriere sau sponsorizare. În aceste situații, specificația tehnică și obligațiile de montaj, exploatare și demontare trebuie incluse în contract, iar echipamentele se verifică la recepție.

4.8.10. Alimentarea electrică și protecția

4.8.10.1. Sursa de alimentare

Alimentarea din rețeaua de iluminat public prezintă avantajul sincronizării naturale cu funcționarea pe timp de noapte, dar necesită acordul operatorului serviciului. La București, de exemplu, operatorul emite avizele tehnice, supraveghează montajul și efectuează probele de conectare, funcționare și deconectare [9]. Înainte de racordare se verifică:

- capacitatea disponibilă a circuitelor și a cablurilor existente;

- căderea de tensiune la capătul circuitelor;
- selectivitatea protecțiilor.

Se recomandă **circuite separate, cu protecții proprii**, astfel încât un defect al unui element decorativ – frecvent în condiții de umezeală – să nu deconecteze iluminatul funcțional al străzii. Se recomandă, de asemenea, **măsurarea separată a energiei** consumate de instalația festivă, pentru evidența consumurilor și a costurilor. Schema funcțională de principiu este prezentată în Fig. 4.8.3.

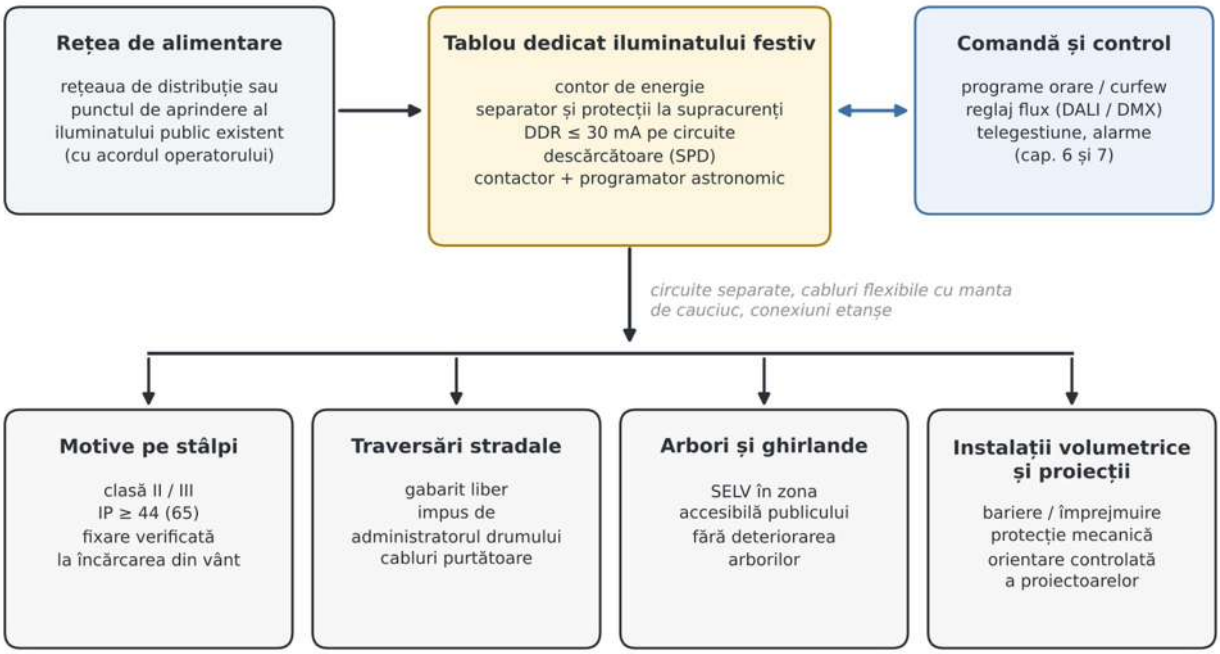


Figura 4.43 – Schema funcțională de principiu a alimentării și comenzii unei instalații de iluminat festiv

4.8.10.2. Măsuri de protecție

- protecție la supracurenți și la scurtcircuit, cu selectivitate față de protecțiile din amonte;
- protecție suplimentară prin **dispozitive diferențiale cu curent rezidual nominal de cel mult 30 mA**, în acord cu prevederile HD 60364-7-714 și HD 60364-7-740, aplicabile după natura instalației [24, 25]; practica unor administrații impune DDR de 30 mA la originea fiecărei instalații festive [45];
- continuitatea conductorului de protecție și legături de echipotențializare pentru stâlpii metalici și structurile din clasa I; se preferă elementele din clasa II;
- **tensiune foarte joasă de securitate (SELV)** pentru elementele aflate la îndemâna publicului, cu transformatoarele de siguranță amplasate în afara zonei accesibile;
- conexiuni în cutii etanșe amplasate deasupra solului sau conectori cu grad de protecție IP68; se evită conexiunile pe sol în zone cu zăpadă sau apă stagnantă; cablurile se prevăd cu bucle de scurgere și dispozitive de preluare a eforturilor de tracțiune;
- descărcătoare de supratensiune în tablou și protecții integrate în surse;
- pentru standurile târgurilor de sărbători și pentru structurile temporare se aplică cerințele HD 60364-7-711 și HD 60364-7-740 [25, 26].

Un aspect adesea neglijat este **curentul de pornire al surselor LED**. Conectarea simultană a unui număr mare de surse electronice produce vârfuri de curent de scurtă durată, care pot declanșa intempestiv întrerupătoarele automate. Se recomandă alegerea corespunzătoare a caracteristicii de declanșare, contactoare adecvate sarcinilor capacitive, limitatoare de curent de pornire sau conectarea eșalonată a circuitelor.

4.8.10.3. Dimensionarea circuitelor

Puterea instalată se determină prin însumarea puterilor tuturor elementelor:

$$P_{\text{inst}} = \sum_i N_i \cdot P_i$$

unde:

- N_i – numărul elementelor de tipul i;
- P_i – puterea unui element de tipul i, inclusiv pierderile în sursă [W].

Pentru un circuit trifazat echilibrat, curentul de calcul se estimează cu relația:

$$I_c = \frac{P_{\text{inst}}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}$$

Dimensionarea finală a cablurilor și a protecțiilor ține seama de curentul admisibil, de căderea de tensiune, de modul de pozare și de condițiile de scurtcircuit. Sursele electronice au, la sarcini reduse, un factor de putere mai mic și generează armonici, care pot încărca suplimentar conductorul neutru al circuitelor trifazate.

4.8.11. Încărcări mecanice, fixare și protecția infrastructurii

Stâlpii de iluminat sunt dimensionați pentru aparatul de iluminat și, eventual, pentru o anumită suprafață suplimentară (indicatoare, console). Un motiv decorativ adaugă greutate și, mai ales, suprafață expusă vântului, care produce un moment încovoietor suplimentar la baza stâlpului și solicitări de oboseală. Încărcarea suplimentară se verifică de producătorul stâlpului sau de un inginer structurist, conform EN 40-3-1 [27], cu acțiunea vântului stabilită conform CR 1-1-4/2012 și EN 1991-1-4 [7, 28]. Starea stâlpului – coroziunea la bază, vechimea, deformațiile – se verifică înainte de montaj (capitolul 9).

Într-o abordare simplificată, forța din vânt asupra unui element decorativ și momentul la baza stâlpului se estimează prin:

$$F_w = q_p \cdot c_f \cdot A_{\text{ref}}, \qquad M = F_w \cdot h$$

unde:

- q_p – presiunea de vârf a vântului la înălțimea elementului [kN/m²];
- c_f – coeficientul de forță al elementului;
- A_{ref} – aria de referință expusă vântului [m²];
- h – înălțimea centrului de presiune față de baza stâlpului [m].

Pentru un motiv cu A_{ref} = 0,35 m², c_f = 1,8 și q_p = 0,6 kN/m² (valori ipotetice, numai pentru exemplificare), montat cu centrul la h = 5 m:

$$F_w = 0,6 \cdot 1,8 \cdot 0,35 \approx 0,38 \text{ kN}, \qquad M = 0,38 \cdot 5 \approx 1,9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momentul suplimentar se compară cu rezerva de capacitate a stâlpului, nu cu capacitatea totală a acestuia. Pentru orientare, unele administrații europene limitează greutatea unui motiv la 10 kg și suprafața expusă vântului la 0,35 m² pentru stâlpi de 6 m, respectiv 0,25 m² pentru stâlpi de 8 m [45], nu admit cabluri purtătoare între stâlpi decât dacă aceștia au fost proiectați pentru astfel de încărcări și interzic ancorarea cablurilor de arbori [44].

Traversări stradale și fixări pe clădiri

- ancorajele pe fațade necesită acordul proprietarilor și verificarea capacității elementului de construcție;
- cablurile purtătoare se dimensionează cu coeficienți de siguranță adecvați și se prevăd cu cablu secundar de siguranță împotriva căderii;
- se inspectează după fenomene meteorologice severe.

Protecția arborilor

- nu se utilizează cuie, șuruburi sau sârme care strâng trunchiul ori ramurile;
- fixările se fac lejer, cu elemente care permit creșterea, și se îndepărtează la sfârșitul sezonului;
- alimentarea se realizează de la nivelul solului;
- pentru arborii valoroși se consultă un specialist arborist.

Lucrările de montaj și demontare implică lucru la înălțime în spațiul public și se planifică în afara orelor de vârf, cu organizarea circulației și cu personal autorizat.

4.8.12. Comanda, controlul și programarea funcționării

Programul de funcționare este, prin efectul său asupra consumului și asupra poluării luminoase, cel mai eficient instrument de care dispune proiectantul. Un program tipic pentru iluminatul festiv cuprinde (Fig. 4.8.4):

- aprinderea la amurg, sincronizată cu iluminatul public, prin programator astronomic sau prin sistemul de telegestiune;
- funcționarea la flux nominal în primele ore ale serii, când fluxurile de pietoni sunt maxime;
- reducerea fluxului, de exemplu la 50–70 %, până la ora-limită;
- oprirea la ora-limită, de exemplu între 23:00 și 24:00;
- program extins în nopțile cu caracter special (24/25 decembrie, 31 decembrie/1 ianuarie) și comandă manuală pentru evenimente;
- funcționare într-o perioadă limitată, stabilită prin calendarul aprobat de autoritatea locală.

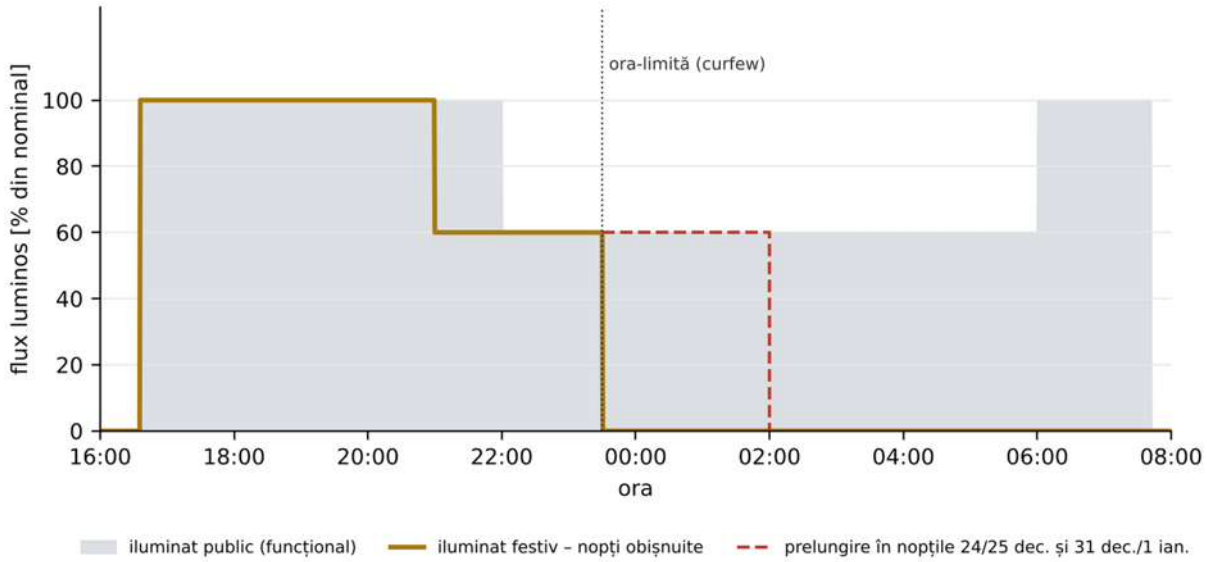


Figura 4.44 – Exemplu de profil nocturn de funcționare a iluminatului festiv, comparativ cu iluminatul public

Sistemul de comandă trebuie să permită semnalizarea defectelor și monitorizarea consumului. Efectele dinamice se comandă, de regulă, prin protocoale de tip DMX, iar elementele distribuite, prin DALI sau prin reglaj la nivel de circuit; arhitecturile și protocoalele sunt tratate în capitolele 6 și 7.

4.8.13. Exemplu orientativ de dimensionare energetică

Se consideră iluminatul festiv al unui bulevard central, cu componentele din Tabelul 4.51. Valorile sunt ipotetice și au rol exclusiv didactic.

Element	Număr	Putere unitară [W]	Putere totală [kW]
Motive montate pe stâlpi	60	45	2,70
Traversări stradale	10	150	1,50
Arbori ornați (ghirlande)	30	60	1,80
Instalație volumetrică (brad, 12 m)	1	1 200	1,20
Total			**7,20**

Tabelul 4.51 – Componentele instalației festive considerate în exemplu

Curentul de calcul pentru alimentarea trifazată, cu U = 400 V și cos φ = 0,90, este:

$$I_c = \frac{7200}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0{,}90} \approx 11{,}5 \text{ A}$$

Perioada de funcționare se consideră 1 decembrie – 7 ianuarie, adică 38 de nopți. Energia consumată se calculează prin:

$$W = P_{\text{inst}} \cdot t_{\text{ech}}\,, \qquad t_{\text{ech}} = \sum_j t_j \cdot k_j$$

unde:

- t_{ech} – durata echivalentă de funcționare la putere nominală [h];
- t_j – durata intervalului j de funcționare [h];
- k_j – raportul dintre puterea absorbită în intervalul j și puterea nominală.

Scenariu	Program de funcționare	t_{ech} [h]	W [kWh/sezon]	Reducere
A	toată noaptea, sincron cu iluminatul public (≈ 15 h/noapte)	570	4 104	–
B	de la amurg până la 23:30 (≈ 7 h/noapte), plus 2 nopți extinse cu câte 2,5 h	271	1 951	−52 %
C	ca B, cu reducere la 60 % după ora 21:00	231	1 663	−59 %

Tabelul 4.52 – Consumul de energie pe sezon pentru trei scenarii de funcționare

Scenariul C: 38 × (4,5 h × 1,0 + 2,5 h × 0,6) + 2 × 2,5 h × 0,6 = 231 h. S-a admis că puterea absorbită de sursele LED variază aproximativ proporțional cu fluxul; în realitate, pierderile în surse fac ca reducerea efectivă să fie ceva mai mică.

Rezultatul confirmă că programul orar are un efect mai mare decât orice optimizare a echipamentelor: limitarea funcționării la intervalul de seară reduce consumul la mai puțin de jumătate. Aceeași reducere se aplică și cantității de lumină emise în mediu, exprimată în lumeni-oră.

Pentru ordinul de mărime, la București consumul iluminatului festiv din decembrie 2021 a reprezentat aproximativ 0,5 % din consumul lunar al iluminatului public [9]. Ponderea energetică redusă a instalațiilor LED nu trebuie interpretată însă ca un impact redus asupra mediului: fiind surse neecranate, montate la înălțime mică, contribuția lor la lumina intruzivă și la strălucirea cerului este disproporționat de mare în raport cu energia consumată.

4.8.14. Exploatarea, mentenanța și siguranța în funcționare

Înainte de montaj

- inspecția vizuală și încercarea electrică a fiecărui element (rezistența de izolație, continuitatea conductorului de protecție, starea cablurilor și a conectorilor);
- etichetarea elementelor și evidența încercărilor.

La punerea în funcțiune

- verificarea instalației conform normativului I 7 și standardelor aplicabile: rezistența de izolație, funcționarea dispozitivelor diferențiale, continuitatea conductoarelor de protecție, rezistența prizei de pământ, după caz;
- verificarea orientării proiectoarelor și a programului de funcționare;
- întocmirea documentelor de recepție.

În perioada de funcționare

- inspecții vizuale periodice – unele administrații impun inspecții săptămânale consemnate în registru [44];
- inspecții suplimentare după vânt puternic, ninsoare abundentă sau acte de vandalism;
- intervenție rapidă în caz de defect, cu deconectarea elementelor periculoase.

După sezon

- demontarea într-un termen stabilit prin contract sau prin autorizație;
- verificarea, repararea, curățarea și depozitarea în spații uscate;
- inventarierea elementelor și evidența defectelor, ca bază pentru planificarea sezonului următor.

4.8.15. Sustenabilitate și economie circulară

Instalațiile festive sunt, prin natura lor, sezoniere, iar tentația de a le înlocui anual pentru a „înnoi" imaginea orașului generează un volum important de deșeuri electronice. Proiectarea responsabilă urmărește:

- **reutilizarea pe mai multe sezoane**, cu durata de viață estimată și costul total pe ciclul de viață luate în considerare la achiziție (subcapitolul 4.3);
- **concepția modulară** – structuri reutilizabile cu panouri sau motive interschimbabile, care permit schimbarea temei fără înlocuirea întregului element;
- **reparabilitatea** – conectori standardizați, surse și module înlocuibile, disponibilitatea pieselor de schimb, în spiritul Regulamentului (UE) 2024/1781 [11];
- **contracte de închiriere cu preluarea echipamentelor** la sfârșitul perioadei de utilizare;
- predarea echipamentelor scoase din uz către operatori autorizați de colectare a DEEE [12];
- evitarea elementelor alimentate de la baterii de unică folosință.

4.8.16. Documentația proiectului

Document	Conținut principal
Memoriu tehnic	conceptul, zona de mediu, criteriile aplicate, perioada și programul de funcționare
Plan de amplasare	poziția elementelor, stâlpii utilizați, traversările, punctele de alimentare
Fișe tehnice	elementele decorative, certificatele și rapoartele de încercări, greutățile și suprafețele expuse vântului
Studiu luminotehnic	luminanțele elementelor, intensitățile și iluminările la ferestre, fluxul instalat, estimarea fluxului ascendent, verificarea orbirii, unde este cazul
Verificare structurală	stâlpii, ancorajele, cablurile purtătoare
Scheme electrice	tablou, circuite, protecții, DDR, alimentări SELV, măsurarea energiei
Program de funcționare	calendar, orar, ora-limită, scenarii de reglaj
Plan de montaj și demontare	etape, organizarea circulației, lucrul la înălțime
Plan de exploatare și mentenanță	inspecții, intervenții, responsabilități, depozitare
Avize și acorduri	operatorul iluminatului public, administratorul drumului, proprietarii clădirilor, operatorii rețelelor de contact și, după caz, autoritățile de mediu sau aeronautice

Tabelul 4.53 – Conținutul recomandat al documentației unui proiect de iluminat decorativ / festiv

4.8.17. Greșeli frecvente în proiectare

Greșeala 1 – „Mai multă lumină înseamnă un efect mai bun"

Luminanțele excesive produc orbire și disconfort, fără un câștig estetic; efectul decorativ depinde de contrast, nu de cantitate.

Greșeala 2 – Ghirlande în alb rece și culori albastre saturate

Cresc orbirea, strălucirea cerului și impactul asupra faunei.

Greșeala 3 – Elemente intermitente lângă semafoare și treceri de pietoni

Pot fi confundate cu semnalizarea și distrag atenția conducătorilor auto.

Greșeala 4 – Funcționarea toată noaptea

Dublează consumul și lumina emisă în mediu, fără beneficiu pentru utilizatori.

Greșeala 5 – Racordarea la circuitele de iluminat public fără protecții separate

Un defect al unui element decorativ poate lăsa strada fără iluminat funcțional.

Greșeala 6 – Ignorarea încărcării suplimentare a stâlpilor

Suprafața expusă vântului poate depăși rezerva de capacitate a stâlpului.

Greșeala 7 – Utilizarea produselor de interior sau necertificate

Risc de electrocutare și de incendiu.

Greșeala 8 – Proiectoare ascendente și fascicule spre cer

Contribuție directă la strălucirea cerului și risc pentru siguranța zborurilor.

Greșeala 9 – Deteriorarea arborilor

Fixările strânse și cuiele rănesc arborii; elementele lăsate pe tot parcursul anului împiedică creșterea.

Greșeala 10 – Lipsa planului de reutilizare

Achizițiile anuale generează costuri și deșeuri electronice evitabile.

4.8.18. Criterii de verificare a proiectului

La finalul proiectării se verifică cel puțin criteriile din Tabelul 4.54.

Criteriu	Parametru verificat
Zona de mediu	zona E0–E4 stabilită și justificată
Lumina intruzivă	E_v la ferestre și I spre receptorii sensibili, înainte și după ora-limită
Luminanța elementelor	sub valorile de referință pentru zona de mediu; posibilitatea de reglaj
Orbirea	poziția față de câmpul vizual al conducătorilor auto; TI, unde este cazul
Semnalizarea rutieră	absența confuziei de culoare, a intermitenței și a obturării
Trecerile de pietoni	contrastul pietonului nemodificat
Spectrul	CCT, culori, conținutul de albastru în zonele sensibile
Programul	perioada, ora-limită, scenariile de reglaj
Energia	P_{inst}, kWh/sezon, măsurarea separată a consumului
Siguranța electrică	DDR ≤ 30 mA, SELV, grade IP și IK, clasa de protecție
Siguranța structurală	stâlpi, ancoraje, acțiunea vântului
Mediul	arbori, ape, coridoare pentru faună
Mentenanța și reutilizarea	plan de exploatare, inventar, gestionarea DEEE

Tabelul 4.54 – Lista criteriilor de verificare

4.8.19. Concluzii

Proiectarea iluminatului decorativ și festiv este, în aparență, domeniul cel mai liber al iluminatului public. În realitate, faptul că sursa de lumină este privită direct, de aproape, în nopțile cele mai lungi ale anului, impune o disciplină cel puțin la fel de riguroasă ca în iluminatul funcțional.

O instalație reușită se recunoaște prin:

1. **efect vizual obținut prin contrast**, nu prin cantitatea de lumină;
2. **luminanțe moderate**, elemente cu difuzor și puncte luminoase numeroase, de intensitate redusă;
3. **lumină albă caldă** și culori saturate utilizate cu discernământ, departe de semnalizarea rutieră;
4. **funcționare limitată în timp** – sezon definit, oră-limită și reglaj al fluxului;
5. **respectarea limitelor de lumină intruzivă** stabilite pe zone de mediu;

6. **siguranță electrică și mecanică** adecvate unui spațiu public aglomerat;
7. **echipamente durabile, reparabile și reutilizabile**.

Recomandările CIE 150, standardele de produs și de instalații și experiența unor reglementări europene recente oferă cadrul tehnic necesar, chiar în absența unei reglementări naționale dedicate. Aplicarea lor permite ca iluminatul decorativ și festiv să-și păstreze rolul social și estetic, fără a compromite siguranța circulației, confortul locuitorilor și calitatea mediului nocturn.

4.8.20. Bibliografie

Legislație și reglementări naționale

[1] Legea nr. 230/2006 a serviciului de iluminat public, cu modificările și completările ulterioare.

[2] Ordinul ANRSC nr. 86/2007 pentru aprobarea Regulamentului-cadru al serviciului de iluminat public.

[3] Legea nr. 121/2014 privind eficiența energetică, cu modificările și completările ulterioare.

[4] Ordonanța de urgență a Guvernului nr. 195/2002 privind circulația pe drumurile publice, republicată, cu modificările și completările ulterioare.

[5] NP 062-02 – Normativ pentru proiectarea sistemelor de iluminat rutier și pietonal, cu modificările și completările aduse prin Ordinul nr. 2837/2022.

[6] I 7-2011 – Normativ pentru proiectarea, execuția și exploatarea instalațiilor electrice aferente clădirilor.

[7] CR 1-1-4/2012 – Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii vântului asupra construcțiilor.

[9] Primăria Municipiului București – Regulamentul programului „Sărbători de iarnă, împreună, în București", ediția 2022–2023.

Legislație și documente europene

[10] Regulamentul (UE) 2019/2020 al Comisiei din 1 octombrie 2019 de stabilire a cerințelor în materie de proiectare ecologică pentru sursele de lumină și pentru dispozitivele de comandă separate.

[11] Regulamentul (UE) 2024/1781 al Parlamentului European și al Consiliului din 13 iunie 2024 de instituire a unui cadru pentru stabilirea cerințelor în materie de proiectare ecologică pentru produse durabile.

[12] Directiva 2014/35/UE (echipamente electrice de joasă tensiune); Directiva 2014/30/UE (compatibilitate electromagnetică); Directiva 2011/65/UE (RoHS); Directiva 2012/19/UE (DEEE).

[13] Comisia Europeană – EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and Traffic Signals, 2018.

[14] Arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses, Journal officiel de la République française.

[15] Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja, Narodne novine nr. 14/2019, Republica Croația.

Standarde

[16] SR EN 13201-1…5 – Iluminat public (seria de standarde).

[17] EN 12464-2:2024 – Light and lighting – Lighting of work places – Part 2: Outdoor work places.

[18] EN IEC 60598-2-20:2024 + A11:2024 – Luminaires – Part 2-20: Particular requirements – Lighting chains.

[19] EN 60598-2-21 – Luminaires – Part 2-21: Particular requirements – Rope lights.

[20] EN 60598-2-5 – Luminaires – Part 2-5: Particular requirements – Floodlights.

[21] EN IEC 60598-1 – Luminaires – Part 1: General requirements and tests.

[22] EN 62471 – Photobiological safety of lamps and lamp systems; IEC TR 62778 – Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires.

[23] EN 60529 – Degrees of protection provided by enclosures (IP Code); EN 62262 – Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code).

[24] HD 60364-7-714 – Low-voltage electrical installations – Part 7-714: Requirements for special installations or locations – External lighting installations.

[25] HD 60364-7-740 – Low-voltage electrical installations – Part 7-740: Requirements for special installations or locations – Temporary electrical installations for structures, amusement devices and booths at fairgrounds, amusement parks and circuses.

[26] HD 60364-7-711 – Low-voltage electrical installations – Part 7-711: Requirements for special installations or locations – Exhibitions, shows and stands.

[27] EN 40-3-1 – Lighting columns – Part 3-1: Design and verification – Specification for characteristic loads.

[28] EN 1991-1-4 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions.

[29] EN 60825-1 – Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements.

[30] ISO 9241-391:2016 – Ergonomics of human-system interaction – Part 391: Requirements, analysis and compliance test methods for the reduction of photosensitive seizures.

Publicații CIE

[31] CIE 150:2017 – Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations, 2nd Edition.

[32] CIE 126:1997 – Guidelines for minimizing sky glow.

[33] CIE 234:2019 – A Guide to Urban Lighting Masterplanning.

[34] CIE 136:2000 – Guide to the lighting of urban areas.

[35] CIE 094:1993 – Guide for floodlighting.

[36] CIE 115:2010 – Lighting of roads for motor and pedestrian traffic, 2nd Edition.

[37] CIE 243:2021 – Discomfort Glare in Road Lighting and Vehicle Lighting.

[38] CIE 206:2014 – The Effect of Spectral Power Distribution on Lighting for Urban and Pedestrian Areas.

[39] CIE TN 006:2016 – Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems – Definitions and Measurement Models.

[40] CIE S 026/E:2018 – CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light.

Ghiduri și bune practici

[41] Institution of Lighting Professionals – GN01/21 Guidance Note 1 for the Reduction of Obtrusive Light, Rugby, 2021.

[42] ICAO – Doc 9815, Manual on Laser Emitters and Flight Safety, Montreal, 2003.

4.9. Bibliografie

A. Bibliografie aferentă documentației capitolului

[1] CIE. CIE 115:2010 – Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic. Viena: Commission Internationale de l'Éclairage, 2010.

[2] CIE. CIE 140:2019 – Road Lighting Calculations, 2nd Edition. Viena: Commission Internationale de l'Éclairage, 2019.

[3] CIE. CIE 136:2000 – Guide to the Lighting of Urban Areas. Viena: Commission Internationale de l'Éclairage, 2000.

[4] CEN. CEN/TR 13201-1:2014 – Road Lighting. Part 1: Guidelines on Selection of Lighting Classes.

[5] CEN. EN 13201-2:2015 – Road Lighting. Part 2: Performance Requirements.

[6] CEN. EN 13201-3:2015 – Road Lighting. Part 3: Calculation of Performance.

[7] CEN. EN 13201-4:2015 – Road Lighting. Part 4: Methods of Measuring Lighting Performance.

[8] CEN. EN 13201-5:2015 – Road Lighting. Part 5: Energy Performance Indicators.

[9] NP 062-2002 – reglementare tehnică națională menționată în documentul privind intersecțiile rutiere; titlul și forma consolidată trebuie confruntate cu publicația oficială.

[10] Ordinul nr. 2837/2022 – act normativ menționat în documentația atașată; titlul oficial și efectele asupra reglementărilor aplicabile necesită verificare.

[11] ASRO. Seria SR EN 13201 / SR CEN/TR 13201-1 – adoptări naționale ale documentelor europene pentru iluminat rutier; edițiile aplicabile trebuie confirmate.

[12] ASRO. Seria SR EN 12464 – Lumină și iluminat. Iluminatul locurilor de muncă; utilizare numai unde domeniul de aplicare este relevant.

[13] CIE. CIE 150:2017 – Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations. Viena: CIE, 2017.

[14] CIE. CIE 094:1993 – Guide for Floodlighting. Viena: CIE, 1993.

5. Poluarea luminoasă în iluminatul public *[Păuț I., Manolescu A.]*

Pentru a trata **riguros,** poluarea luminoasă în iluminatul public, este util să nu o reducem la ideea de „prea multă lumină”. Problema trebuie analizată ca **lumină artificială emisă sau reflectată în diverse direcții, momente și spectre în care nu este necesară**, cu efecte asupra vizibilității, oamenilor, mediului nocturn, astronomiei și consumului de energie.

Cadrul internațional cel mai util este **CIE 150:2017**, care tratează efectele luminii obtruzive asupra mediului și stabilește parametri și limite recomandate; CIE a publicat și o poziție actualizată în 2025 privind *obtrusive light and light pollution* [1].

5.1. Ce înseamnă „poluare luminoasă”?

În iluminatul public putem separa cel puțin **cinci fenomene** [1, 3]:

1. **Lumina emisă în sus** → contribuie la *sky glow*.
2. **Lumina care ajunge în afara zonei ce trebuie iluminată** → *light spill / light trespass*.
3. **Lumina excesivă sau distribuită necorespunzător în câmpul vizual** → *glare*.
4. **Lumina care pătrunde în locuințe sau alte spații unde nu este dorită** → *light intrusion*.
5. **Suprailuminarea generală** → niveluri de iluminare/luminanță mai mari decât cele necesare funcției drumului sau spațiului.

CIE subliniază că efectele pot privi atât mediul natural, cât și oamenii, utilizatorii transportului, rezidenții și astronomia.

5.2. Sky glow – luminozitatea artificială a cerului

Figura 5.1 – Strălucirea artificială a cerului (sky glow) deasupra unei zone urbane

Figura 5.2 – Influența ecranării aparatelor de iluminat asupra cerului nocturn, de la aparate neecranate la aparate complet ecranate

Figura 5.3 – Cer afectat de poluarea luminoasă, comparativ cu cerul nocturn natural

Este probabil cea mai vizibilă formă de poluare luminoasă la scară urbană [1, 3].

Mecanismul este:

aparat de iluminat → lumină emisă direct în sus / reflectată de carosabil și suprafețe → atmosferă → împrăștiere → luminarea cerului nocturn.

Important este că **nu numai lumina emisă direct în emisfera superioară produce sky glow**. Și lumina emisă în jos poate fi reflectată de carosabil, trotuare, fațade etc., apoi împrăștiată în atmosferă.

CIE tratează separat problema sky glow și recomandă reducerea pe cât posibil a luminii care contribuie la acesta.

Parametri importanți

Un parametru clasic este **ULOR – Upward Light Output Ratio**:
unde:

$$ULOR = \frac{\Phi_{\uparrow}}{\Phi_{total}} \times 100\%$$

- $\Phi_{\uparrow}$ = fluxul luminos emis direct de aparatul de iluminat în emisfera superioară;
- Φ_{total} = fluxul luminos total emis de aparat.

Dar trebuie făcută o distincție foarte importantă:

ULOR = 0 nu înseamnă automat zero poluare luminoasă.

Dacă asfaltul primește foarte multă lumină, o parte este reflectată în sus. De aceea, pentru evaluări mai complete sunt relevanți și **ULR/UFR**, care iau în considerare lumina emisă sau ajunsă în sus la nivelul instalației.

5.3. Ce reprezintă B.U.G. în poluarea luminoasă?

B.U.G. (Backlight–Uplight–Glare) este un sistem de clasificare a distribuției fotometrice a unui aparat de iluminat exterior, utilizat pentru evaluarea efectelor nedorite ale iluminatului: **lumina pătrunde pe proprietăți/zone adiacente, lumina emisă spre cer și orbirea**. Metodologia provine din **IES TM-15**, iar pragurile de clasificare sunt stabilite pe baza fluxurilor luminoase zonale [2].

Un aspect important: **BUG nu este, strict vorbind, un singur „coeficient" calculat ca o formulă B+U+G**. Rezultatul este o clasificare de forma, de exemplu, **B1–U0–G2**. Fiecare dintre cele trei componente se determină separat.

5.3.1. Ce înseamnă B.U.G.?

B – Backlight

Reprezintă fluxul luminos emis **în spatele aparatului de iluminat**, adică în direcția opusă zonei care trebuie iluminată.

Este relevant în special pentru:

- Lumina care pătrunde pe proprietăți vecine;
- iluminarea nedorită a fațadelor și ferestrelor;
- disconfort introdus zonelor rezidențiale;
- limitarea luminii laterale/în spatele stâlpului.

Backlight-ul este împărțit în zone verticale și se evaluează prin fluxuri luminoase în aceste zone.

U – Uplight

Reprezintă fluxul luminos emis **deasupra planului orizontal** și este componenta cea mai direct legată de **sky glow – strălucirea artificială a cerului**.

Pentru BUG, zonele U sunt deosebit de importante în apropierea orizontalei, deoarece lumina emisă la unghiuri mici deasupra orizontalei poate contribui semnificativ la lumina artificială a cerului.

G – Glare

Reprezintă componenta asociată cu **orbirea/disconfortul vizual**, în special lumina emisă la unghiuri mari față de direcția utilă de iluminare.

G ia în considerare anumite zone de **frontlight și backlight la unghiuri verticale mari**.

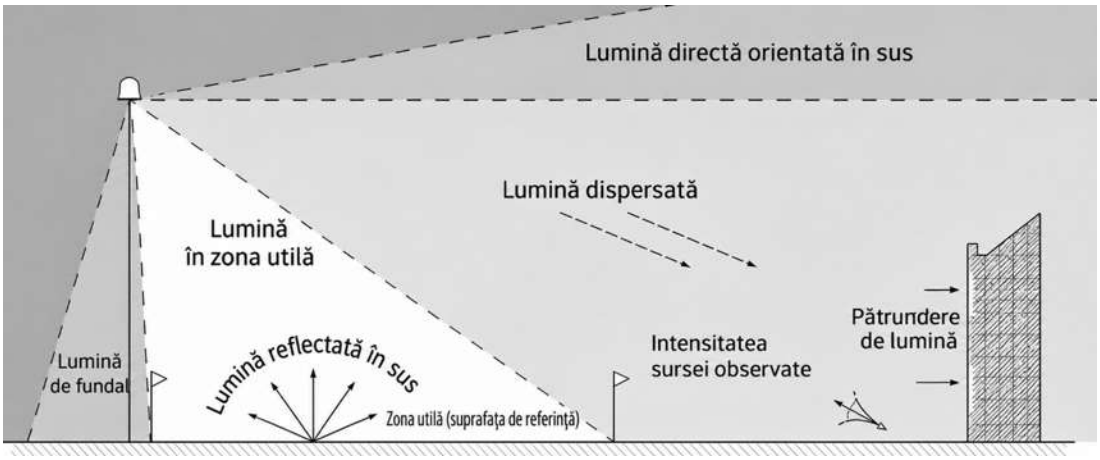


Figura 5.4 – Exemplu de reprezentare corectă a distribuției luminoase pe suprafața utilă

Exemplu de iluminat stradal eficient: Luminanțe care minimizează valoarea coeficientului BUG vor reduce atât poluarea luminoasă, cât și consumul de energie

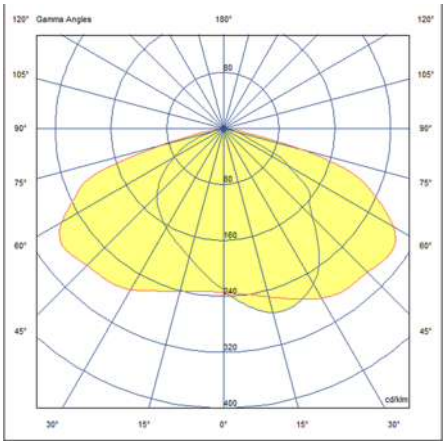
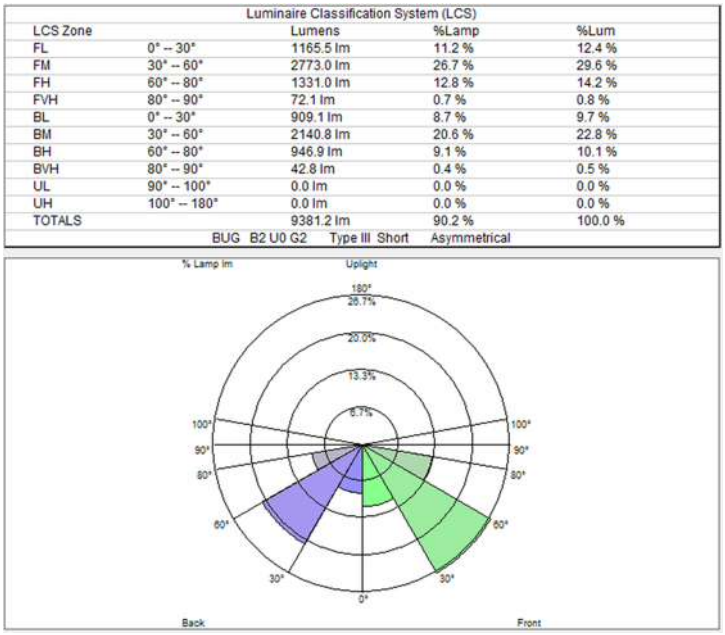


Figura 5.5 – Diagrama polară a intensității luminoase a unui aparat de iluminat stradal [cd/klm]



Luminaire Classification System (LCS)

LCS Zone		Lumens	%Lamp	%Lum
FL	0° -- 30°	1165.5 lm	11.2 %	12.4 %
FM	30° -- 60°	2773.0 lm	26.7 %	29.6 %
FH	60° -- 80°	1331.0 lm	12.8 %	14.2 %
FVH	80° -- 90°	72.1 lm	0.7 %	0.8 %
BL	0° -- 30°	909.1 lm	8.7 %	9.7 %
BM	30° -- 60°	2140.8 lm	20.6 %	22.8 %
BH	60° -- 80°	946.9 lm	9.1 %	10.1 %
BVH	80° -- 90°	42.8 lm	0.4 %	0.5 %
UL	90° -- 100°	0.0 lm	0.0 %	0.0 %
UH	100° -- 180°	0.0 lm	0.0 %	0.0 %
TOTALS		9381.2 lm	90.2 %	100.0 %

BUG B2 U0 G2 Type III Short Asymmetrical

Figura 5.6 – Fluxurile luminoase pe zonele LCS și clasificarea B.U.G. rezultată (B2 U0 G2)

B mic: Minimizarea luminanței retro-proiectate.
U mic: Prevenirea iluminării cerului.
G mic: Reducerea disconfortului vizual (efectul de orbire fiziologică)

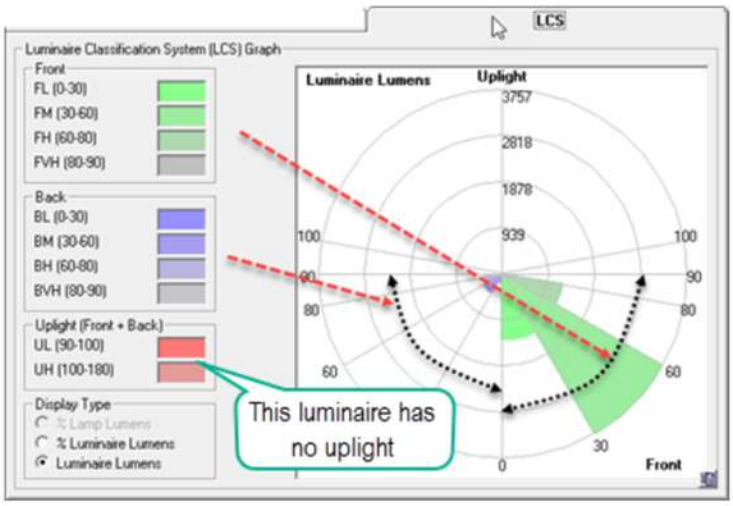


Figura 5.7 – Graficul LCS al unui aparat de iluminat fără flux ascendent (uplight)

5.3.2. De unde se iau datele pentru calcul?

Pentru un calcul BUG real nu este suficient să cunoaștem puterea aparatului, de exemplu: aparat cu LED = 100 W

Nici fluxul total, de exemplu: Φ = 15.000 lm. Trebuie cunoscută **distribuția fotometrică tridimensională** a aparatului.

În practică se utilizează fișierul fotometric:

- **IES**;
- **LDT/EULUMDAT**;

sau raportul de încercare fotometrică.

BUG se bazează pe **fluxurile luminoase zonale** determinate din distribuția fotometrică.

Pentru determinarea BUG, datele fotometrice trebuie să permită determinarea fluxului în zonele unghiulare corespunzătoare; metodologia recomandă o densitate suficientă a măsurătorilor și interpolarea atunci când este necesar.

5.3.3. Împărțirea spațiului în zone

Împărțirea spațiului în zone reprezintă etapa esențială a calculului.

Sistemul BUG nu analizează pur și simplu „câți lumeni ies în sus”. Spațiul din jurul corpului de iluminat este împărțit în **zone unghiulare**, iar fluxul din fiecare zonă este calculat.

Pentru **Backlight** avem, în principal:

- **BL – Backlight Low**
- **BM – Backlight Medium**
- **BH – Backlight High**
- **BVH – Backlight Very High**

Pentru **Uplight**:

- **UL – Uplight Low**
- **UH – Uplight High**
- plus componentele foarte înalte asociate distribuțiilor front/back.

Pentru **Glare** sunt relevante în special:

- **FH – Forward High**
- **FVH – Forward Very High**
- **BH**

- **BVH**.

Aceste zone sunt definite în metodologia IES TM-15 [2].

5.3.4. Calculul fluxului luminos zonal

Matematic, dacă avem distribuția fotometrică a aparatului, fluxul într-o anumită zonă se poate determina prin integrarea intensității luminoase:

$$\Phi = \int_{\Omega} I(\theta, \varphi)\, d\Omega$$

unde:

- Φ = flux luminos [lm];
- $I(\theta, \varphi)$ = intensitatea luminoasă în direcția respectivă [cd];
- $d\Omega$ = unghiul solid elementar [sr].

Dacă interesează doar o **zonă** din spațiul iluminat, se calculează:

$$\boxed{\Phi_Z = \int_{\Omega_Z} I(\theta, \varphi)\, d\Omega}$$

5.3.5. Determinarea indicelui B

După ce avem valorile fluxului luminos, fiecare dintre aceste valori se compară cu pragurile din tabelul BUG.

Un exemplu simplificat din tabelele IES este:

Zona	B0	B1	B2	B3	B4	B5
BH [lm]	110	500	1.000	2.500	5.000	>5.000
BM [lm]	220	1.000	2.500	5.000	8.500	>8.500
BL [lm]	110	500	1.000	2.500	5.000	>5.000

Tabelul 5.1 – Valorile limită ale fluxului luminos zonal pentru indicele B (backlight)

Valorile din tabelul 5.1 reprezintă pragurile de clasificare din metodologia BUG; în edițiile/metodologiile utilizate trebuie verificată exact versiunea aplicabilă a TM-15 [2].

5.3.6. Calculul U

Pentru determinarea valorii indicelui U procedura este similară.

Se determină fluxurile luminoase în zonele de uplight: și acestea se compară cu pragurile U. În sistemul BUG, valorile mici ale U indică un control mai bun al luminii emise în emisfera superioară.

De exemplu, în tabelele istorice TM-15, pentru anumite zone U apar praguri de ordinul [2]:

U rating	UH	UL
U0	0 lm	0 lm
U1	10 lm	10 lm
U2	100 lm	75 lm
U3	500 lm	150 lm
...	...	...

Tabelul 5.2 – Valorile limită ale fluxului luminos zonal pentru indicele U (uplight)

Valorile exacte trebuie preluate din **ediția TM-15 aplicată proiectului**, deoarece tabelele au fost actualizate între ediții/addenda [2].

5.3.7. Calculul G

G este ceva mai interesant deoarece nu este pur și simplu „lumina peste orizontală”.

Se iau în calcul zonele cu lumină la unghiuri verticale mari, inclusiv:

- FH;

- FVH;
- BH;
- BVH.

Se determină fluxul în fiecare zonă și se face clasificarea pe baza tabelului G.

5.3.8. Rezultatul final

La sfârșit avem trei clasificări independente și rezultatul se scrie:

- **B2** – control moderat al luminii în spatele aparatului;
- **U0** – practic fără uplight direct;
- **G2** – nivelul de control al luminii de mare unghi corespunzător clasei G2.

Cu cât numărul este mai mic, cu atât controlul luminii nedorite este, în general, mai bun. Sistemul are clase **0–5**.

5.3.9. Foarte important: poziția aparatului contează

La **B** apare o particularitate foarte importantă pentru iluminatul public. Clasificarea poate depinde de **poziția aparatului față de limita proprietății/zonei protejate**. De exemplu, același aparat de iluminat poate avea o limită BUG diferită dacă este:

- la 0,5 × înălțimea de montaj față de limita proprietății;
- la 1 × H;
- la 2 × H;
- mai departe de 2 × H.

Cu cât aparatul este mai aproape de limita proprietății, cu atât cerința privind backlight-ul poate deveni mai strictă.

De aceea, pentru un proiect de iluminat public nu este suficient să scriem:

„Aparat de iluminat: BUG = B2-U0-G2.”

Trebuie verificat și **contextul în care este instalat aparatul**.

5.3.10. Ce trebuie cerut de la producător pentru verificarea BUG

Pentru o verificare serioasă într-un proiect de iluminat public, aș cere cel puțin:

1. **Fișierul IES sau LDT** al aparatului de iluminat;
2. fluxul luminos inițial al aparatului;
3. puterea electrică;
4. curba fotometrică;
5. distribuția C-γ;
6. documentul/raportul fotometric;
7. **BUG rating declarat**, dacă producătorul îl furnizează;
8. temperatura de culoare;
9. poziția și unghiul de montaj;
10. înălțimea stâlpului;
11. distanța până la limita proprietății/zonei protejate.

Producătorii publică adesea direct clasificarea BUG, dar atunci când aceasta nu este disponibilă sau nu corespunde poziției de montaj, ea poate fi calculată din datele fotometrice.

5.3.11. Atenție la o confuzie frecventă!

BUG ≠ procent de poluare luminoasă.

Este o **clasificare pe niveluri**, obținută prin compararea fluxurilor zonale cu pragurile IES. De asemenea, BUG descrie în primul rând **performanța aparatului de iluminat**, nu întregul efect al unei instalații

asupra mediului. Lumina reflectată de carosabil, trotuare, fațade și alte suprafețe nu este reprezentată integral de BUG; există și alte metode de evaluare a componentei de sky glow la nivelul instalației.

Exemplu de calculul pentru un proiect concret

Pentru aceasta avem **calculul BUG pas cu pas, cu formule și tabel de calcul**, pornind de la un **fișier fotometric .IES sau .LDT** al aparatului de iluminat.

Dacă avem un fișier bine definit, se poate extrage distribuția fotometrică și se poate construi un tabel de forma:

BL / BM / BH / BVH → B
UL / UH / FVH / BVH → U
FH / FVH / BH / BVH → G
→ BUG final

și pot explica inclusiv **cum se calculează numeric fluxul în fiecare zonă din valorile C-γ**, ceea ce este partea cea mai utilă dacă ai nevoie de justificarea tehnică într-un proiect de iluminat public.

Light spill / light trespass

Este lumina care **părăsește zona pentru care instalația a fost proiectată**.

Exemplu:

Un aparat de iluminat trebuie să ilumineze carosabilul, dar o parte din fluxul luminos ajunge:

- pe fațada unei case;
- în ferestre;
- în curtea unei proprietăți;
- într-o zonă verde;
- într-un habitat natural;
- pe un teren agricol;
- pe un alt drum unde nu este necesară.

Aici apare o diferență fundamentală:

un aparat de iluminat poate avea o eficiență energetică excelentă și totuși să producă poluare luminoasă.

De exemplu, un aparat LED de 150 lm/W poate fi eficient energetic, dar dacă optica sa proiectează lumina în ferestrele locuințelor, instalația rămâne prost controlată.

5.4. Glare – orbirea/disconfortul produs de iluminat

Aici problema devine mai subtilă [1, 3, 4].

Glare-ul apare atunci când sursa este excesiv de luminoasă în raport cu fondul vizual sau se află într-o poziție nefavorabilă.

În iluminatul rutier avem două categorii importante:

Discomfort glare

Produce senzație de disconfort, dar utilizatorul poate continua să vadă.

Disability glare

Este mai grav din punct de vedere al siguranței. Lumina provenită de la surse foarte luminoase produce împrăștiere în ochi și poate reduce contrastul obiectelor observate.

Simplificat: unde reprezintă luminanța de voal (*veiling luminance*). Astfel, paradoxul iluminatului prost proiectat este:

mai multă lumină nu înseamnă neapărat vizibilitate mai bună.

Un aparat de iluminat cu LED cu o suprafață luminoasă foarte mică și luminanță foarte mare poate fi mai deranjant decât o sursă mai mare, cu aceeași putere totală.

5.5. Lumina intruzivă în locuințe

Aici putem vorbi de **iluminarea verticală**, adică iluminarea măsurată pe un plan vertical [1, 3, 4]. De exemplu, pentru o fereastră:

Unitatea este: CIE 150 utilizează zone de mediu **E0–E4**, în funcție de caracterul și luminozitatea ambientală. E0 este mediul intrinsec întunecat, iar E4 reprezintă mediile urbane foarte luminoase [1].

Ca exemplu de ordin de mărime, valorile prezentate în literatura tehnică pentru iluminarea verticală sunt:

Zonă	Caracter	pre-curfew	post-curfew
E0	întuneric intrinsec	—	—
E1	întunecat	2 lx	<0,1 lx
E2	luminozitate redusă	5 lx	1 lx
E3	luminozitate medie	10 lx	2 lx
E4	luminozitate ridicată	25 lx	5 lx

Tabelul 5.3 – Iluminarea verticală maximă pe ferestre (lumina intruzivă), înainte și după ora de reducere (curfew)

Aceste valori sunt asociate CIE 150/EN 12464-2 în sursa tehnică citată și trebuie interpretate împreună cu categoria zonei, ora și tipul instalației [1].

5.6. Zonarea ZL0–ZL4 este extrem de importantă

Unul dintre principiile cele mai importante este [1, 3, 4]:

Aceeași instalație nu trebuie evaluată după aceleași criterii indiferent unde este amplasată.

CIE clasifică mediile aproximativ astfel:

- **ZL-0** – întuneric intrinsec;
- **ZL-1** – zone întunecate;
- **ZL-2** – luminozitate ambientală redusă;
- **ZL-3** – luminozitate ambientală medie;
- **ZL-4** – luminozitate ambientală ridicată.

Zona de iluminare 0: Se referă la zonele în care nu există un sistem de iluminat permanent, iar când acesta exista, este limitat nivelul de iluminare și perioada de funcționare. ZL-0 include de obicei zone nedezvoltate și în spațiu deschis, parcuri și rezervații, zone din apropierea observatoarelor astronomice sau orice altă zonă în care protecția unui mediu întunecat este critică. Ar trebui să fie necesară o revizuire specială pentru orice iluminare permanentă în această zonă. Unele comunități rurale pot alege să adopte ZL-0 pentru zonele rezidențiale.

Zona de iluminare 1: se referă la zonele în care avem niveluri de iluminare scăzute. Acestea includ în mod obișnuit comunități rezidențiale cu un număr mic de locuințe, parcuri de agrement și alte zone comerciale sau industriale/de depozitare, de obicei, cu activitate limitată pe timp de noapte.

Zona de iluminare 2: se referă la zonele cu nivel moderat de iluminare ambientală. Acestea includ în mod obișnuit spații rezidențiale multifamiliale, utilizări rezidențiale instituționale, școli, biserici, spitale, hoteluri/moteluri, zone comerciale și/sau de afaceri cu activități de seară încorporate în zone predominant rezidențiale, terenuri de recreere și de joacă pentru cartier și/sau cu utilizare mixtă.

Zona de iluminare 3: se referă la zonele cu niveluri de iluminare moderat ridicate. Acestea includ în mod obișnuit coridoare comerciale, zone comerciale suburbane de mare intensitate, centre ale orașelor, zone cu utilizare mixtă, utilizări industriale și șantiere de transport maritim și feroviar cu activitate nocturnă intensă,

terenuri de agrement și de joacă cu utilizare intensă, centre comerciale regionale, dealeri de mașini, benzinării și alte zone comerciale exterioare active pe timp de noapte.

Zona de iluminare 4: se referă la zonele cu niveluri foarte ridicate de iluminare ambientală. ZL-4 ar trebui utilizat numai pentru cazuri speciale și nu este adecvat pentru majoritatea orașelor. ZL-4 poate fi utilizat pentru instalații extrem de neobișnuite, cum ar fi cartierele de divertisment de mare densitate și utilizări industriale grele.

De exemplu:

10 lx de lumină intruzivă într-un mediu rural foarte întunecat nu au aceeași semnificație ca 10 lx într-un centru urban deja foarte luminos.

Asta este esențial în proiectare.

5.7. Spectrul – de ce temperatura de culoare contează?

Aici trebuie să evităm o simplificare frecventă [3, 5, 11]:

„LED-ul cu temperatură de culoare mare este automat poluant."

Nu este chiar atât de simplu. Două surse pot avea același flux luminos total, dar distribuții spectrale diferite. De exemplu:

- 2200 K;
- 2700 K;
- 3000 K;
- 4000 K;
- 5000 K.

Pot produce efecte diferite asupra:

- percepției umane;
- ritmului circadian;
- insectelor;
- unor specii de păsări;
- vegetației;
- atmosferei;
- percepției cerului nocturn.

CIE menționează explicit perturbarea somnului și a ritmurilor circadiene, precum și efectele asupra reproducerii, migrației și polenizării.

Prin urmare, analiza serioasă trebuie să includă **SPD – Spectral Power Distribution**, nu numai CCT.

5.8. De ce LED-ul nu a „rezolvat" poluarea luminoasă

Aceasta este una dintre cele mai importante concluzii [3, 5, 11]. Trecerea de la sodiu la LED poate reduce consumul, dar: LED-ul permite control mult mai bun asupra:

- fluxului;
- distribuției;
- intensității;
- CCT;
- dimării;
- temporizării;
- orientării.

Dar dacă se montează un LED:

- prea puternic;
- prea alb;
- prost orientat;
- cu optică nepotrivită;
- fără dimare nocturnă;
- cu distribuție prea largă,

rezultatul poate fi **mai multă lumină inutilă**, chiar dacă factura energetică per lumen este mai mică.

CIE subliniază tocmai necesitatea proiectării corecte și a adaptării iluminatului la necesitățile spațiului și momentului.

5.9. Supradimensionarea iluminatului

O problemă foarte frecventă în iluminatul public este proiectarea cu „rezervă" excesivă [1, 3, 4].

Să presupunem că pentru o anumită categorie de drum luminanța medie recomandată este de o anumită valoare, dar instalația de iluminat realizată conduce la o valoare dublă a luminanței:

Nu înseamnă automat că iluminatul este „de două ori mai sigur".

Trebuie analizate simultan:

- uniformitatea;
- TI/glare;
- luminanța;
- iluminarea zonelor adiacente;
- vizibilitatea pietonilor;
- viteza traficului;
- geometria drumului;
- categoria drumului;
- condițiile meteo.

În multe cazuri, **uniformitatea și controlul glare-ului sunt mai importante decât creșterea brută a nivelului mediu**.

5.10. Dimarea este una dintre cele mai puternice metode de reducere

Ora 19:00 și ora 03:00 nu reprezintă neapărat aceeași nevoie de iluminat. Un sistem inteligent poate avea:

unde fluxul luminos variază în funcție de timp.

De exemplu, conceptual, în funcție de:

- trafic;
- pietoni;
- interval orar;
- condiții meteo;
- evenimente;
- securitate;
- categoria drumului.

CIE recomandă explicit **adaptabilitatea soluțiilor de iluminat la diferite cerințe în momente diferite**.

5.11. Poluarea luminoasă trebuie analizată pe mai multe „axe”

O evaluare riguroasă a unei străzi ar trebui să arate aproximativ așa:

A. Fotometrie

- iluminare [lx];
- luminanță [cd/m²];
- uniformitate;
- distribuția fotometrică;
- intensități pe direcții;
- glare;
- TI, unde este aplicabil.

B. Geometrie

- înălțime stâlp;
- interdistanță;
- braț;
- unghi de montaj;
- orientare;
- înclinarea corpului;
- lățimea carosabilului;
- poziția clădirilor.

C. Flux

- flux instalat;
- flux util;
- flux emis lateral;
- flux emis în sus;
- flux reflectat.

D. Spectru

- CCT;
- SPD;
- componente spectrale;
- proporția de energie în domeniul albastru;
- eventual metrici spectrale relevante.

E. Timp

- ora pornirii;
- ora opririi;
- nivelul nocturn;
- dimare;
- evenimente;
- detectarea traficului.

F. Mediu

- zonă ZL0–ZL4;
- locuințe;
- zone naturale;
- cursuri de apă;

- arii protejate;
- coridoare ecologice;
- observatoare astronomice.

G. Efecte

- oameni;
- șoferi;
- pietoni;
- faună;
- floră;
- cer nocturn;
- consum energetic.

5.12. Un indicator foarte util: raportul dintre lumina necesară și lumina produsă

Conceptual, putem defini:

Cu cât raportul este mai mic, cu atât o parte mai mare din flux este „cheltuită” în zone care nu contribuie la obiectivul iluminatului.

Dar acest indicator trebuie utilizat cu grijă, pentru că **fluxul util nu este singurul criteriu fotometric**.

De exemplu, un proiect cu distribuție foarte îngustă poate avea un raport aparent bun, dar uniformitate proastă. Prin urmare, optimizarea trebuie să fie multi-obiectiv:

sub condiția:

Asta este, în esență, abordarea inginerească corectă.

5.13. Cum ar trebui realizată o evaluare completă a unei străzi

1. Caracterizarea zonei

- urban / suburban / rural
- E0–E4
- clădiri și ferestre
- zone naturale
- trafic
- pietoni [1, 3, 4]

2. Caracterizarea instalației

- tip aparat
- putere
- flux
- CCT
- SPD
- fotometrie IES/LDT
- înălțime
- unghi
- distanță între stâlpi

3. Simulare fotometrică

- uniformitate
- glare

- zonele adiacente

4. Analiza luminii intruzive

- pe fațade/ferestre
- lumină pe proprietăți
- lumină în zone naturale

5. Analiza sky glow

- ULOR/ULR/UFR
- flux emis superior
- flux reflectat
- contribuția instalației la luminozitatea cerului

6. Analiza spectrală

- CCT
- SPD
- componentă albastră
- impact potențial asupra mediului nocturn

7. Analiza temporală

- programul de funcționare
- dimare
- niveluri după anumite ore

8. Analiza energetică

- și apoi compararea cu scenarii cu dimare.

9. Măsurări în teren

- luxmetru/fotometru calibrat
- luminanță
- iluminare verticală
- imagini HDR, unde metodologia o permite
- măsurători spectrale
- caracterizarea cerului nocturn

10. Măsuri de remediere

- schimbarea opticii
- reducerea fluxului
- schimbarea orientării
- ecranare
- reducerea CCT
- dimare
- control adaptiv
- eliminarea corpurilor inutile.

5.14. Criteriul fundamental: „Right light, right place, right time”

O formulare foarte bună pentru principiul de proiectare este:

lumina potrivită, în locul potrivit, la momentul potrivit și în cantitatea potrivită.

Institutul britanic ILP formulează principiul practic foarte asemănător: iluminatul bun înseamnă lumina potrivită, la momentul potrivit, în locul potrivit, controlată prin sistemul potrivit.

Iar CIE, în poziția sa din 2025, pune problema exact în această perspectivă: iluminatul nocturn are beneficii reale, dar trebuie evitate efectele nedorite disproporționate [3].

5.15. GESTIONAREA DEȘEURILOR ÎN ILUMINATUL PUBLIC

Ce deșeuri generează iluminatul public?

Într-un sistem de iluminat public putem avea [7–10]:

- aparate de iluminat complet echipate;
- module LED;
- drivere/surse de alimentare;
- lămpi cu vapori de sodiu, mercur, halogenuri metalice sau fluorescente, în sistemele vechi;
- condensatori;
- aparataj electric și dispozitive de comandă;
- cabluri și conductori;
- componente electronice;
- carcase metalice;
- dispersoare/difuzoare din sticlă sau materiale plastice;
- stâlpi și console, atunci când sunt înlocuite;
- baterii/acumulatori, dacă există sisteme autonome;
- ambalajele echipamentelor noi.

O parte importantă intră în categoria **DEEE**. Legislația privind DEEE include explicit echipamentele de iluminat, iar în clasificarea europeană apar atât aparatele de iluminat, cât și diferite tipuri de lămpi.

Cum se gestionează corect generarea deșeurilor?

Abordarea corectă nu este doar „cumpărăm LED și reciclăm aparatele vechi”. Trebuie aplicată o **ierarhie a gestionării deșeurilor**.

Etapa 1 – Prevenirea generării deșeurilor

Prima măsură este să nu generezi deșeul inutil.
În cazul iluminatului public, aceasta înseamnă:

a. alegerea unor aparate de iluminat cu durată mare de viață

Nu trebuie selectat un produs doar după prețul de achiziție. În documentația tehnică ar trebui urmărite:

- durata de viață a aparatului de iluminat;
- durata de viață a modulului LED;
- durata de viață a driverului;
- posibilitatea înlocuirii driverului;
- posibilitatea înlocuirii modulului LED;
- disponibilitatea pieselor de schimb;
- garanția;
- posibilitatea reparării.

Astfel, când se defectează driverul, nu trebuie aruncat automat întregul corp de iluminat.

b. proiectarea pentru mentenanță și reparare

Un aparat de iluminat modular poate genera mult mai puține DEEE decât unul care trebuie înlocuit integral la prima defecțiune.

Aici apare legătura directă cu economia circulară:

defecțiune → reparare → reutilizare → înlocuire componentă → abia ulterior casare.

Prevenirea poluării luminoase trebuie inclusă în achiziție

Aceasta este o parte foarte importantă. În România există deja criterii ecologice pentru sistemele de iluminat rutier care tratează explicit **trei impacturi asupra mediului: consumul de energie, poluarea luminoasă și generarea de deșeuri**.

Mai mult, criteriile prevăd pentru corpurile noi cerințe privind **lumina emisă în direcția superioară**. Documentul indică, pentru criteriul respectiv, un randament luminos normalizat superior (RULO) de **0,0%**, inclusiv atunci când corpul trebuie înclinat.

Practic, într-o procedură de achiziție publică ar trebui să existe cerințe precum:

- flux luminos direcționat către zona care trebuie iluminată;
- evitarea emisiei directe de lumină către cer;
- limitarea luminii intruzive către clădiri;
- evitarea supradimensionării fluxului luminos;
- posibilitatea reducerii fluxului în perioadele cu trafic redus;
- temperatură de culoare adecvată;
- telegestiune/dimare, acolo unde este justificată.

Deci **reducerea poluării luminoase începe în faza de proiectare și achiziție**, nu după instalarea corpurilor.

Colectarea separată a aparatelor scoase din funcțiune

Când un aparat de iluminat este înlocuit și devine deșeu, nu trebuie tratat ca deșeu municipal obișnuit.

OUG nr. 5/2015 privind DEEE stabilește cadrul pentru prevenirea și reducerea efectelor negative ale generării și gestionării DEEE. Actul transpune Directiva 2012/19/UE [7, 8].

Pentru administrația publică/operatorul iluminatului, practic trebuie să existe o procedură de tip:

demontare → identificare → colectare separată → depozitare temporară corespunzătoare → predare către operator autorizat → tratare/valorificare → documente de trasabilitate.

Nu este recomandabilă depozitarea aparatelor de iluminat într-un spațiu comun cu deșeurile municipale sau abandonarea lor.

Atenție la lămpile vechi cu mercur

Aici apare un risc de mediu mai important.

În echipamentele vechi pot exista componente și lămpi care conțin substanțe periculoase. OUG nr. 5/2015 prevede explicit, pentru DEEE colectate separat, îndepărtarea unor componente, inclusiv **componentele care conțin mercur și lămpile cu descărcare în gaze**. Pentru lămpile cu descărcare în gaze este prevăzută îndepărtarea mercurului [8].

Prin urmare, într-un program de modernizare a iluminatului public trebuie făcută **inventarierea tipurilor de surse existente înainte de înlocuire**.

De exemplu:

Echipament vechi	Gestionare
Aparat cu LED defect	DEEE; reparare dacă este posibil
Driver electronic	DEEE/componente electronice
Lampă cu vapori de mercur	DEEE cu gestionare corespunzătoare a componentelor periculoase
Lampă cu sodiu	DEEE; predare pentru tratare
Corp metalic	recuperare/valorificare materială, după caz
Cabluri	colectare separată și valorificare
Sticlă	valorificare, dacă este acceptată de fluxul respectiv

Echipament vechi	Gestionare
Stâlp metalic	reutilizare/valorificare metalică, dacă este scos din sistem

Tabelul 5.4 – Gestionarea echipamentelor scoase din funcțiune

Cine suportă costurile deșeurilor?

Pentru iluminatul public este importantă diferența dintre **gospodării** și **utilizatorii non-casnici**. OUG nr. 5/2015 prevede că, pentru DEEE provenite de la alți utilizatori decât gospodăriile particulare, costurile de colectare, tratare, valorificare și eliminare în condiții de protecție a mediului sunt, în anumite situații, suportate de producători; pentru deșeurile istorice există reguli distincte [8].

Așadar, într-un contract de modernizare a iluminatului public trebuie stabilit foarte clar:

- cine deține echipamentele vechi;
- cine devine deținătorul deșeurilor;
- cine organizează colectarea;
- cine plătește transportul;
- cine asigură tratarea;
- cine asigură valorificarea;
- cine păstrează documentele de trasabilitate.

Acest lucru trebuie prevăzut **contractual**, nu lăsat la interpretarea ulterioară.

OUG 92/2021 privind regimul deșeurilor

Pe lângă legislația specială pentru DEEE, se aplică și cadrul general al deșeurilor: **OUG nr. 92/2021 privind regimul deșeurilor**, aprobată prin **Legea nr. 17/2023** [9].

Un principiu esențial introdus/clarificat în acest cadru este **prevenirea și reducerea cantităților de deșeuri**. Prin urmare, pentru iluminatul public trebuie să urmărești nu doar: „Câte aparate de iluminat am reciclat?" ci și:

„Câte deșeuri am prevenit să apară?"

De exemplu, dacă în loc să schimbi 1.000 de aparate de iluminat complet la fiecare defecțiune poți înlocui separat 300 de drivere, cantitatea de DEEE poate fi redusă semnificativ.

Legătura directă dintre poluarea luminoasă și deșeuri

Cele două probleme sunt legate prin **proiectarea sistemului**. Un sistem prost proiectat poate avea:

prea multă lumină → consum energetic inutil → funcționare inutilă → uzură → înlocuiri mai frecvente → mai multe DEEE.

Un sistem bine proiectat urmărește:

iluminare necesară → flux luminos controlat → dimare/telegestiune → durată de viață mai mare → mentenanță predictivă → mai puține înlocuiri → mai puține DEEE.

Așadar, **reducerea poluării luminoase poate contribui indirect și la reducerea generării de deșeuri**, prin reducerea supradimensionării și a timpului/intensității de funcționare.

Ce legislație se aplică?

Pentru România, aș considera următorul nucleu legislativ:

1. OUG nr. 5/2015 privind DEEE

Este actul principal pentru corpurile și sursele de iluminat ajunse deșeuri. Reglementează colectarea, tratarea, valorificarea, responsabilitățile producătorilor/utilizatorilor și gestionarea componentelor.

OUG nr. 5/2015 – Portal Legislativ [8]

2. OUG nr. 92/2021 privind regimul deșeurilor + Legea nr. 17/2023

Este cadrul general pentru:

- prevenirea generării deșeurilor;
- reducerea cantităților;
- reutilizare;
- reciclare;
- valorificare;
- eliminare;
- trasabilitate.

Legea nr. 17/2023 – Portal Legislativ [9]

Directiva 2012/19/UE privind DEEE

Este legislația europeană care stă la baza OUG nr. 5/2015. Echipamentele de iluminat sunt expres incluse în domeniul DEEE [8].

Ordinul nr. 2.837/2022 – NP 062/2002

Reglementează **proiectarea sistemelor de iluminat rutier și pietonal** și trebuie avut în vedere la proiectarea/modernizarea infrastructurii. Ordinul actualizează normativul NP 062/2002 și face trimitere inclusiv la cerința fundamentală privind „igiena, sănătatea și mediul înconjurător” și la utilizarea sustenabilă a resurselor [6].

Ordinul nr. 2.837/2022 – Portal Legislativ [6]

Criteriile ecologice pentru sistemele de iluminat rutier

Sunt deosebit de relevante pentru **achizițiile publice**, deoarece tratează explicit:

- consumul de energie;
- poluarea luminoasă;
- generarea de deșeuri;
- specificații tehnice;
- factori de evaluare;
- clauze contractuale.

Documentul oficial din 2024 este foarte util dacă pregătești o documentație pentru o primărie sau o procedură de achiziție.

Criteriile ecologice pentru sistemele de iluminat rutier – Portal Legislativ [10]

Ordinul nr. 2.490/2024

Ghidul pentru programul privind creșterea eficienței energetice a infrastructurii de iluminat public este relevant pentru proiectele finanțate prin programul respectiv. Ghidul menționează explicit utilizarea corpurilor LED pentru **eficiență energetică ridicată și poluare luminoasă minimă**.

Ce ar trebui să facă efectiv un beneficiar al sistemului de iluminat?

Dacă discutăm despre un **sistem real de iluminat public**, recomand o procedură în 8 pași:

1. **Inventarierea tuturor aparatelor de iluminat existente**
   - tip;
   - putere;
   - sursă;
   - an instalare;
   - stare;
   - locație.
2. **Identificarea echipamentelor cu substanțe periculoase**, în special sistemele vechi cu lămpi cu mercur.

3. **Audit luminotehnic**
   - niveluri de iluminare;
   - uniformitate;
   - lumină emisă în sus;
   - lumină intruzivă;
   - zone suprailuminate.
4. **Stabilirea necesarului real de iluminare**, pentru a nu înlocui un aparat de iluminat supradimensionat cu un aparat cu LED supradimensionat.
5. **Achiziția unor aparate reparabile și eficiente**, cu cerințe privind poluarea luminoasă și generarea de deșeuri.
6. **Implementarea dimării/telegestiunii**, unde este justificată tehnic.
7. **Plan de gestionare a DEEE rezultate din modernizare**
   - colectare separată;
   - stocare;
   - transport;
   - operator autorizat;
   - tratare;
   - valorificare;
   - documente de trasabilitate.
8. **Indicatori anuali**, de exemplu:
   - kg DEEE generate;
   - kg DEEE valorificate;
   - % componente reutilizate;
   - număr aparate reparate;
   - număr aparate înlocuite;
   - kWh economisiți;
   - reducerea fluxului luminos nocturn;
   - reducerea luminii emise în sus.

Concluzia importantă

Gestionarea deșeurilor nu trebuie tratată separat de combaterea poluării luminoase. Pentru iluminatul public, soluția corectă este o abordare de tip **ciclu de viață**:

proiectare → achiziție ecologică → iluminare corect dimensionată → control/dimare → mentenanță și reparare → înlocuirea doar a componentelor necesare → colectarea separată a DEEE → reutilizare/reciclare → eliminare controlată.

Și există deja o bază legislativă destul de clară pentru această abordare: **OUG 92/2021 + Legea 17/2023 pentru deșeuri, OUG 5/2015 pentru DEEE, NP 062 pentru proiectarea iluminatului și criteriile ecologice din 2024, care leagă explicit iluminatul public de consumul de energie, poluarea luminoasă și generarea de deșeuri.** [6, 9, 10]

5.16. Evaluarea poluării luminoase influențată de lumina albastră

Evaluarea poluării luminoase și a influenței componentei albastre a luminii

Dacă secțiunea se referă în special la efectele LED-urilor și ale iluminatului artificial cu temperatură de culoare ridicată, a doua variantă este mai potrivită [3, 5, 11, 12].

Pentru o evaluare **precisă și reproductibilă**, nu este suficient să măsurăm doar nivelul de iluminare. Trebuie să separăm **cantitatea totală de lumină**, **componenta spectrală albastră** și, dacă este relevant, **direcția luminii către cer**.

5.16.1. Ce trebuie măsurat

Pentru fiecare punct de măsurare, recomand să determinăm cel puțin:

- **Iluminarea** E_v, (lx) — măsoară lumina ponderată după sensibilitatea ochiului uman.
- **Spectrul luminii**, aproximativ 380–780 nm — permite identificarea componentei albastre.
- **Iradianța spectrală** $E_{e,\lambda}(\lambda)$, în W/m²/nm — este preferabilă atunci când vrei să cuantifici fizic energia luminii albastre.
- **Temperatura de culoare corelată (CCT)**, [K] — utilă pentru caracterizarea sursei, dar **nu trebuie folosită singură** pentru a cuantifica poluarea luminoasă.
- Pentru poluarea luminoasă propriu-zisă: **luminanța cerului nocturn** sau **strălucirea cerului**, măsurată în direcții standardizate.

5.16.2. Cum izolăm influența luminii albastre

Definim mai întâi un interval spectral pentru „albastru”. O alegere practică este **400–500 nm**, dar trebuie menționat explicit în metodologie deoarece literatura de specialitate folosește uneori alte limite. Din spectrul măsurat calculăm energia din domeniul albastru:

$$E_{blue} = \int_{400}^{500} E_{e,\lambda}(\lambda)\, d\lambda$$

Apoi putem calcula **fracția albastră**:

$$F_{blue} = \frac{\int_{400}^{500} E_{e,\lambda}(\lambda)\, d\lambda}{\int_{380}^{780} E_{e,\lambda}(\lambda)\, d\lambda}$$

Aceasta ne spune ce proporție din energia optică măsurată se află în domeniul albastru. Un alt indicator foarte util este **raportul dintre componenta albastră și iluminarea totală**:

$$R_{blue} = \frac{E_{blue}}{E_v}$$

Acesta permite compararea unor surse diferite, dar trebuie interpretat cu atenție deoarece luxul și W/m² reprezintă mărimi fotometrice, respectiv radiometrice.

5.16.3. Instrumente de măsură

Spectroradiometru calibrat → măsurarea spectrului → integrarea domeniului albastru → calcularea indicilor de mai sus.

Un simplu luxmetru nu este suficient pentru această analiză, deoarece două surse pot produce aceeași iluminare, dar pot avea distribuții spectrale foarte diferite.

Pentru caracterizarea cerului nocturn putem utiliza, de exemplu, un **sky quality meter** sau un sistem fotometric/spectrometric calibrat. Important este ca instrumentul și metoda de măsurare să fie aceleași pentru toate punctele și toate nopțile comparate.

5.16.4. Stabilirea punctelor de măsurare

Împărțim zona de studiu într-o rețea de puncte, de exemplu:

- zone centrale;
- zone rezidențiale;
- zone comerciale;
- zone industriale;
- periferie;
- zone de referință cu iluminare artificială redusă.

În fiecare punct măsurăm în aceleași condiții:

1. aceeași poziție și înălțime a instrumentului;

2. aceeași orientare;
3. aceeași perioadă a nopții;
4. condiții meteorologice comparabile;
5. fără lună sau cu faza Lunii înregistrată;
6. fără ceață, nori sau precipitații, dacă obiectivul este compararea directă a poluării luminoase artificiale.

5.16.5. Măsurarea efectivă

Pentru fiecare punct putem realiza, de exemplu, **3–5 măsurări consecutive**, apoi calculăm media:

$$\overline{E} = \frac{E_1 + E_2 + \cdots + E_n}{n}$$

și abaterea standard:

$$s = \sqrt{\frac{\sum\left(E_i - \overline{E}\right)^2}{n-1}}$$

Acest lucru este important deoarece nu trebuie să prezentăm o singură valoare fără incertitudine.

5.16.6. Cum demonstrăm că lumina albastră influențează poluarea luminoasă

Aici este partea cea mai importantă. Nu este suficient să spunem:

„Sursa are multă lumină albastră, deci produce mai multă poluare luminoasă."

Trebuie să verificăm experimental dacă există o **asociere între componenta spectrală albastră și nivelul de strălucire a cerului**. Pentru fiecare punct vom avea, de exemplu:

Punct	**CCT**	E_v **(lx)**	E_{blue} **(W/m²)**	F_{blue} **(%)**	**Strălucirea cerului**
P1	3000 K	...	...	...	...
P2	4000 K	...	...	...	...
P3	5000 K	...	...	...	...

Tabelul 5.5 – Exemplu de date de măsurare pentru fiecare punct

Apoi analizăm relația dintre F_{blue} sau R_{blue} și indicatorul de poluare luminoasă.
Putem calcula coeficientul de corelație Pearson:

$$r = \frac{\mathrm{cov}(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$$

unde:

- X = componenta albastră;
- Y = indicatorul poluării luminoase.

Coeficientul de corelație **Pearson** (notat de obicei cu **r**) măsoară **cât de puternică și în ce direcție este relația liniară dintre două variabile**.

Pe scurt

Valoarea lui r este întotdeauna între **−1 și +1**:

- **r = +1** → corelație pozitivă perfectă: când X crește, Y crește proporțional.
- **r = −1** → corelație negativă perfectă: când X crește, Y scade proporțional.
- **r = 0** → nu există **relație liniară** între X și Y.

Ca regulă orientativă:

Valoarea lui r	**Interpretare**
0 – 0,19	foarte slabă

Valoarea lui r	Interpretare
0,20 – 0,39	slabă
0,40 – 0,59	moderată
0,60 – 0,79	puternică
0,80 – 1,00	foarte puternică

Tabelul 5.6 – Interpretarea coeficientului de corelație Pearson r

Același lucru se aplică și valorilor negative dar în sens invers.

Dacă datele nu au distribuție normală sau există valori extreme, putem utiliza **corelația Spearman**.Corelația **Spearman** (sau **coeficientul de corelație Spearman, ρ / rho** este o măsură statistică care arată **cât de puternic și în ce direcție există o relație monotonică între două variabile**.Pe scurt, este similară cu corelația Pearson, dar Spearman lucrează pe **ranguri (ordine)** și nu presupune că datele sunt distribuite normal.

Cum se interpretează?

Coeficientul Spearman are valori între **−1 și +1**:

ρ (rho)	Interpretare
+1	corelație pozitivă perfectă
0	nu există o relație monotonică
−1	corelație negativă perfectă
~0,7 – 1	corelație pozitivă puternică
~0,3 – 0,7	corelație pozitivă moderată
~0 – 0,3	corelație pozitivă slabă

Tabelul 5.7 – Interpretarea coeficientului de corelație Spearman ρ

5.16.7. Trebuie controlate și alte variabile

Aceasta este esențială pentru o concluzie corectă. Poluarea luminoasă nu depinde numai de albastru.
Trebuie să înregistrăm, pe cât posibil:

- numărul și tipul aparatelor de iluminat;
- puterea acestora;
- fluxul luminos;
- CCT;
- înălțimea corpurilor;
- orientarea și unghiul de emisie;
- distanța față de punctul de măsurare;
- iluminanța orizontală și/sau verticală;
- condițiile atmosferice;
- umiditatea;
- nebulozitatea;
- faza Lunii;
- ora;
- traficul și activitatea urbană.

Într-o analiză statistică mai avansată putem utiliza o **regresie multiplă**, de forma:

$$L_{sky} = \beta_0 + \beta_1 E_{blue} + \beta_2 E_v + \beta_3 H + \beta_4 RH + \beta_5 N + \varepsilon$$

unde L_{sky} este indicatorul strălucirii cerului, iar ceilalți termeni reprezintă factorii de control.

Astfel putem estima mai bine **contribuția componentei albastre independent de cantitatea totală de lumină și de condițiile atmosferice**.

5.16.8. Un aspect foarte important: "împrăștierea atmosferică"

Influența luminii albastre este legată de faptul că **împrăștierea Rayleigh este mai puternică la lungimi de undă mai scurte**. Într-o aproximare simplificată:

$$I_{scattering} \propto \frac{1}{\lambda^4}$$

Prin urmare, radiația din domeniul albastru este împrăștiată mai eficient în atmosferă decât radiația cu lungimi de undă mai mari.

Dar atenție: această relație nu înseamnă că poți calcula direct poluarea luminoasă urbană numai din $\frac{1}{\lambda^4}$. În condiții reale intervin aerosoli, umiditate, nori, particule atmosferice, geometria sursei și proprietățile suprafețelor.

Ce este "Împrăștierea Rayleigh": este fenomenul prin care **lumina este deviată în mai multe direcții atunci când interacționează cu particule foarte mici**, mult mai mici decât lungimea ei de undă. Un exemplu foarte cunoscut este **culoarea albastră a cerului**. Lumina Soarelui conține mai multe culori, iar moleculele din atmosferă împrăștie mai puternic lumina cu lungime de undă mică, în special **albastrul și violetul**, decât lumina roșie.

Pe scurt:

- 🌐 **Albastru** → lungime de undă mai mică → se împrăștie mai puternic.
- 🔴 **Roșu** → lungime de undă mai mare → se împrăștie mai puțin.
- De aceea, privind în direcții diferite ale cerului, vedem predominant **lumina albastră împrăștiată**.

Un detaliu interesant: violetul se împrăștie chiar mai puternic decât albastrul, dar ochiul uman este mai sensibil la albastru, iar o parte din violet este absorbită în atmosferă.

5.16.9. Ce rezultat ar trebui să obținem?

La final, pentru fiecare zonă putem determina un **profil spectral al poluării luminoase** și compara zonele.

De exemplu, concluzia poate avea forma:

Zonele în care iluminatul artificial prezintă o proporție mai ridicată a radiației în domeniul 400–500 nm au prezentat, în condiții atmosferice comparabile, valori mai ridicate ale strălucirii cerului. Relația dintre componenta albastră și strălucirea cerului a fost evaluată statistic prin coeficientul de corelație și printr-un model de regresie care a inclus iluminarea totală și factorii meteorologici drept variabile de control.

Pe scurt, metodologia corectă este:

surse de lumină → măsurare spectrală → cuantificarea componentei 400–500 nm → măsurarea strălucirii cerului → repetarea măsurătorilor → controlul condițiilor atmosferice → analiză statistică → estimarea contribuției luminii albastre.

5.17. Bibliografie

[1] Pentru definiția poluării luminoase, lumina intruzivă, sky glow și limitele efectelor nedorite ale iluminatului exterior: Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations, CIE 150:2017, ediția a II-a. Sursa oficială CIE.

[2] Pentru clasificarea B.U.G. (Backlight–Uplight–Glare), fluxurile luminoase zonale și caracterizarea fotometrică a aparatelor de iluminat exterior: Illuminating Engineering Society (IES), ANSI/IES TM-15-20: Luminaire Classification System for Outdoor Luminaires, 2020. Sursa oficială IES.

[3] Pentru principiile actuale de prevenire și reducere a poluării luminoase, adaptarea iluminatului la necesități și efectele asupra oamenilor și mediului: CIE, CIE PS 003:2025 – CIE Position Statement on Obtrusive Light and Light Pollution, prima ediție, 2025. Document oficial.

[4] Pentru cerințele de proiectare și evaluarea performanței iluminatului rutier: Comitetul European de Standardizare (CEN), seria de standarde EN 13201, Road lighting, cu aplicarea părților relevante pentru clasificarea iluminatului, cerințe de performanță, calcul și măsurare.

[5] Pentru efectele luminii artificiale nocturne asupra mediului, biodiversității și organismelor vii, inclusiv importanța spectrului luminos: Gaston, K. J.; Sánchez de Miguel, A., „Environmental Impacts of Artificial Light at Night”, Annual Review of Environment and Resources, vol. 47, 2022, pp. 373–398. DOI: 10.1146/annurev-environ-112420-014438.

[6] Pentru cadrul tehnic național privind proiectarea iluminatului rutier și pietonal: Ministerul Dezvoltării, Lucrărilor Publice și Administrației, Ordinul nr. 2.837 din 2 noiembrie 2022, privind modificarea și completarea normativului NP 062/2002. Portalul Legislativ – act oficial.

[7] Pentru prevenirea, colectarea, tratarea și valorificarea deșeurilor de echipamente electrice și electronice: Parlamentul European și Consiliul Uniunii Europene, Directiva 2012/19/UE din 4 iulie 2012 privind deșeurile de echipamente electrice și electronice (DEEE), cu modificările ulterioare. EUR-Lex – text oficial.

[8] Pentru reglementarea națională privind DEEE și responsabilitățile aferente gestionării acestora: Guvernul României, Ordonanța de urgență nr. 5/2015 privind deșeurile de echipamente electrice și electronice, în forma consolidată aplicabilă.

[9] Pentru prevenirea generării deșeurilor, reutilizare, reciclare, valorificare și trasabilitate: Guvernul României, Ordonanța de urgență nr. 92/2021 privind regimul deșeurilor, aprobată prin Legea nr. 17/2023. Portalul Legislativ – Legea nr. 17/2023.

[10] Pentru criteriile ecologice aplicabile sistemelor de iluminat rutier, inclusiv consumul energetic, poluarea luminoasă și generarea de deșeuri: Criteriile ecologice pentru sistemele de iluminat rutier, publicate în Portalul Legislativ în 2024. Document oficial.

[11] Pentru evaluarea componentei spectrale albastre și a efectelor luminii artificiale asupra mediului nocturn: Gaston, K. J.; Sánchez de Miguel, A., „Environmental Impacts of Artificial Light at Night”, Annual Review of Environment and Resources, vol. 47, 2022, pp. 373–398, DOI: 10.1146/annurev-environ-112420-014438.

[12] Pentru metodologia experimentală, măsurarea spectrului și analiza statistică a relației dintre componenta albastră și strălucirea cerului: se vor cita împreună literatura științifică privind iluminatul artificial nocturn, documentele CIE relevante și, dacă se realizează efectiv măsurări, procedura experimentală și datele originale ale studiului.

6. Comanda și controlul iluminatului *[Păuț I., Oprițescu C., Epure A., Ichim G.]*

Capitolul prezintă sistemul de telegestiune a iluminatului public pe baza unui model arhitectural de referință cu cinci niveluri – driverul, controlerul sau nodul, rețelele de comunicații, gateway-ul și platforma centrală – și echipamentele specifice comenzii și controlului: interfețele de montaj standardizate, controlerele de aparat, senzorii pentru control adaptiv, interfața DALI și automatizarea punctelor de aprindere.

6.1. Modelul arhitectural de referință — nivelurile sistemului de telegestiune *[Păuț I.]*

6.1.1. Nivelul 1 — Driver aparat de iluminat sursă de putere

În iluminatul public modern, **driverul LED al aparatului de iluminat** nu mai trebuie privit doar ca o „sursă de alimentare pentru LED-uri”. El este, în practică, **una dintre componentele-cheie ale aparatului de iluminat inteligent**, deoarece face conversia energiei electrice, controlează curentul LED-urilor, permite reglarea fluxului luminos și, în cazul driverelor DALI/D4i, furnizează către sistemul de telegestiune informații despre funcționarea aparatului.

Mai jos detaliez subiectul din perspectivă **tehnică, funcțională și de proiectare a unui sistem de iluminat public cu telegestiune**.

Driverul aparatului de iluminat – sursă de putere și interfață esențială cu sistemul de telegestiune

6.1.1.1. Ce este, de fapt, driverul LED?

Un aparat de iluminat public LED este alimentat, de regulă, de la rețeaua de joasă tensiune, de exemplu:

230 V c.a. → driver LED → LED-uri

LED-ul nu poate fi conectat pur și simplu la rețeaua de 230 V. El necesită o alimentare controlată, cu parametri electrici adecvați.

Driverul LED, denumit și **balast electronic / LED control gear**, are rolul de a transforma energia electrică disponibilă la intrarea aparatului într-o formă de energie adecvată modulelor LED.

În funcție de arhitectura aparatului, driverul poate realiza:

- redresarea tensiunii alternative;
- corecția factorului de putere – PFC;
- limitarea și stabilizarea curentului;
- conversia tensiunii;
- reglarea puterii transmise LED-urilor;
- protecția împotriva supracurentului și supratensiunii;
- controlul temperaturii;
- pornirea și oprirea controlată;
- reglarea fluxului luminos;
- comunicarea cu sistemul de control;
- memorarea și transmiterea unor date de funcționare.

Prin urmare, driverul este **veriga dintre rețeaua electrică și sursa de lumină**, dar, într-un aparat modern, și **veriga dintre sursa de lumină și sistemul digital de control**.

6.1.1.2. De ce este atât de important DRIVER-ul în iluminatul public?

Într-un aparat LED clasic, putem simplifica arhitectura astfel:

Rețea 230 V

↓

Protecții electrice

↓

DRIVER LED
↓
Module LED
↓
Lumină

Într-un aparat modern, cu telegestiune, schema devine:

Rețea 230 V
↓
Protecții
↓
DRIVER LED inteligent DALI/D4i
↕
Controler / nod de telegestiune
↕
Rețea de comunicație
↕
Platformă centrală de telegestiune
↓
Operator / dispecerat

În această a doua arhitectură, driverul nu mai este doar un convertor de energie.
l devine o **componentă activă a sistemului de automatizare**.

Standardul D4i este conceput tocmai pentru a aduce funcționalități de date și alimentare în interiorul aparatului de iluminat, iar ecosistemul Zhaga-D4i urmărește interoperabilitatea dintre aparatele de iluminat și nodurile de comunicație/senzorii montați pe acestea.

6.1.1.3. Cele două funcții fundamentale ale driverului

Putem împărți rolul driverului în două mari categorii.

A. Funcția energetică

Driverul:

- primește energia de la rețea;
- o adaptează;
- controlează curentul LED;
- asigură funcționarea modulelor LED;
- controlează puterea absorbită;
- menține parametrii electrici în limitele proiectate.

B. Funcția de control și comunicație

Un driver inteligent poate:

- primi comenzi de aprindere/stingere;
- primi comenzi de dimare;
- transmite nivelul de putere;
- transmite consumul de energie;
- transmite orele de funcționare;
- transmite numărul de porniri;
- transmite anumite stări de defect;
- furniza date despre driver și aparat;
- comunica cu un controler local.

Acest lucru este deosebit de important pentru telegestiune.

6.1.1.4. Driverul și reglarea fluxului luminos

Una dintre cele mai importante funcții ale driverului într-un sistem de iluminat public inteligent este **dimarea**.

De exemplu, în loc ca aparatul să funcționeze toată noaptea la 100%:

100% → 100% → 100% → 100% → 100%

putem avea o curbă de funcționare:

100% → 80% → 70% → 50% → 70% → 100%

Valorile efective trebuie stabilite prin proiectul luminotehnic și în funcție de condițiile de trafic, clasificarea drumului și cerințele beneficiarului.

Driverul este componenta care transformă această comandă de reglare într-o modificare efectivă a puterii furnizate LED-urilor.

Astfel:

Comandă telegestiune
→ controler
→ DALI/D4i
→ driver
→ modificarea curentului LED
→ modificarea fluxului luminos

Aceasta este una dintre cele mai importante interacțiuni dintre driver și telegestiune.

6.1.1.5. De ce nu este suficient să spunem „driver dimabil”?

Într-o specificație de proiect tehnic de execuție, simpla mențiune:

„driver LED **dimabil**”

este insuficientă.

Trebuie precizat **prin ce interfață și prin ce protocol** se realizează dimarea.

Pot exista, de exemplu:

- 1–10 V;
- DALI;
- DALI-2;
- D4i;
- PWM;
- interfețe proprietare;
- alte metode de control.

Pentru un sistem modern de telegestiune, DALI/D4i prezintă avantaje importante deoarece nu se limitează la transmiterea unei simple valori de dimare, ci permit și schimbul de date între echipamente.

DALI-2 se bazează pe IEC 62386, iar D4i extinde această abordare către cerințe specifice pentru aparate LED inteligente, inclusiv date despre aparat și energie.

6.1.1.6. Ce înseamnă D4i în acest context?

D4i poate fi privit ca o extensie a ecosistemului DALI pentru aparate LED inteligente.

Un driver D4i poate pune la dispoziție date care nu există la un driver LED simplu.

Printre acestea pot fi:

- date despre driver;
- date despre aparatul de iluminat;
- ore de funcționare;
- energie;

- informații de diagnostic;
- anumite informații despre sursa LED;
- stări și contoare de funcționare.

DALI Alliance prezintă explicit D4i ca o soluție pentru aparate de iluminat inteligente și conectate, cu capabilități de alimentare și date.

6.1.1.7. Driverul ca „senzor” al stării aparatului

Un concept foarte important este următorul:

Sistemul de telegestiune nu trebuie să știe numai dacă lampa este aprinsă.

Într-un sistem modern, acesta trebuie să poată afla **cum funcționează aparatul**. De exemplu:

- Aparat nr. 1234
- Driver: funcționare normală
- Putere: 47 W
- Nivel dimare: 70%
- Ore funcționare: 18.430 h
- Energie acumulată: X kWh
- Număr porniri: X
- Sursă LED: funcționare normală

Această abordare transformă aparatul de iluminat dintr-un simplu consumator într-un **element monitorizat al infrastructurii urbane**.

6.1.1.8. Diagnosticarea defectelor

Driverul inteligent poate avea un rol major în diagnostic.
Spre exemplu, un sistem poate identifica:

Defect de alimentare

Dacă nu mai există tensiune la aparat, nodul de telegestiune poate identifica pierderea alimentării.

Defect al driverului

Driverul poate indica o stare anormală.

Defect al sursei LED

În funcție de arhitectură și de datele disponibile, sistemul poate identifica o problemă a sarcinii LED.

Supratemperatură

Driverul poate reduce automat puterea pentru protecție sau poate transmite o stare de avertizare.

Funcționare anormală

Valorile de funcționare pot indica o degradare sau o anomalie înainte ca aparatul să se stingă complet.
Acest lucru este extrem de important pentru mentenanța preventivă.

6.1.1.9. Diferența dintre defect și alarmă

Este importantă o distincție tehnică.

Alarmă:

„Există o situație anormală care trebuie analizată.”

Defect:

„Funcția respectivă nu mai poate fi realizată în parametrii acceptați.”

De exemplu, o creștere progresivă a temperaturii poate reprezenta un **avertisment**, în timp ce oprirea driverului din cauza unei protecții poate reprezenta un **eveniment critic**.

Un sistem de telegestiune bine proiectat trebuie să poată clasifica evenimentele.

6.1.1.10. Driverul și consumul de energie

O altă funcție foarte importantă este monitorizarea energiei.

În iluminatul public, beneficiarul este interesat nu doar de:

„Câte aparate sunt în funcțiune?”

ci și de:

„Câtă energie consumă fiecare aparat și cât consumă sistemul?”

În funcție de capabilitățile driverului și ale sistemului, pot fi disponibile date privind:

- puterea;
- energia;
- durata de funcționare;
- nivelul de dimare;
- numărul de porniri;
- anumite valori de diagnostic.

D4i include în mod specific funcții pentru date energetice și de diagnostic.

6.1.1.11. Relația dintre driver și nodul de telegestiune

Trebuie făcută o distincție foarte importantă:

driverul nu este neapărat sistemul de telegestiune.

De regulă avem:

Driverul

controlează efectiv LED-urile.

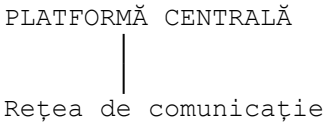
Nodul de telegestiune

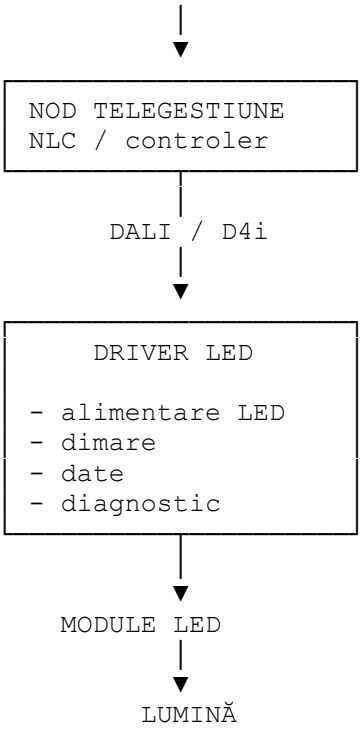
realizează comunicarea cu sistemul exterior.

Platforma centrală

permite operatorului să monitorizeze și să controleze infrastructura.

Schema poate fi reprezentată simplificat astfel:





Aceasta este o arhitectură foarte relevantă pentru iluminatul public inteligent.

6.1.1.12. Zhaga Book 18 – unde intervine?

Pentru aparatele de iluminat public moderne este foarte relevantă și interfața **Zhaga Book 18**.

Zhaga Book 18 definește interfața dintre aparatul de iluminat exterior și modulele de senzorizare/comunicație, incluzând aspecte mecanice, electrice și de comunicație.

Într-o arhitectură Zhaga-D4i putem avea:

Driver D4i în interiorul aparatului

- soclu Zhaga Book 18
- nod de telegestiune D4i
- comunicație către platforma centrală

Această arhitectură permite ca nodul de comunicație să fie înlocuit sau modernizat fără înlocuirea întregului aparat de iluminat.

Acesta este unul dintre motivele pentru care conceptul este considerat **future-proof**. Zhaga precizează că interoperabilitatea este garantată în cadrul programului de certificare atunci când atât aparatul de iluminat, cât și modulul de conectivitate/senzor sunt certificate corespunzător.

6.1.1.13. De ce este importantă interoperabilitatea?

Să presupunem că un oraș instalează 20.000 de aparate. Dacă aparatul, driverul și nodul de telegestiune folosesc interfețe proprietare, beneficiarul poate ajunge dependent de un singur producător. În schimb, o arhitectură bazată pe interfețe și protocoale standardizate urmărește separarea:

aparat de iluminat de driver de nod de comunicație de platforma software.

Aceasta poate reduce dependența de un singur furnizor și facilitează mentenanța și modernizarea. Totuși, este important să nu se confunde „folosește DALI” cu „este automat interoperabil”. Pentru proiectele care cer Zhaga-D4i, trebuie urmărite efectiv cerințele și certificările corespunzătoare.

6.1.1.14. Driverul și protecția termică

LED-urile și electronica sunt sensibile la temperatură.

Un driver performant poate monitoriza temperatura și poate implementa funcții de protecție.

Într-un aparat montat pe stâlp, vara se poate ajunge la temperaturi interne semnificative.

Dacă temperatura crește excesiv, driverul poate, în funcție de proiectare:

100% → 80% → 60% → protecție

Acest mecanism poate preveni deteriorarea componentelor.

Prin urmare, driverul contribuie nu numai la eficiență, ci și la **durata de viață a aparatului**.

6.1.1.15. Driverul și eficiența energetică

Un driver de calitate trebuie să aibă o eficiență ridicată. Puterea consumată de la rețea este:

$$P_{total} = P_{LED} + P_{driver} + P_{auxiliare}$$

Dacă driverul este ineficient, o parte importantă din energie se transformă inutil în căldură. De aceea trebuie analizate:

- eficiența driverului;
- factorul de putere;
- THD;
- consumul în standby;
- comportamentul la dimare;
- randamentul în diferite puncte de funcționare.

6.1.1.16. Factorul de putere

Într-un sistem cu mii sau zeci de mii de aparate, factorul de putere devine foarte important. Un driver modern trebuie să asigure un comportament corespunzător față de rețeaua electrică. Un factor de putere ridicat înseamnă, simplificat, că energia electrică este utilizată mai eficient din perspectiva relației dintre puterea activă și puterea aparentă.

De aceea, în documentația tehnică este recomandabil să nu fie specificată doar puterea nominală a driverului.

Trebuie analizate și:

- PF;
- THD;
- curentul de intrare;
- curentul de pornire;
- eficiența;
- domeniul tensiunii de alimentare.

6.1.1.17. Protecția la supratensiuni

Iluminatul public este instalat în exterior și este expus la perturbații ale rețelei și la fenomene tranzitorii. Driverul trebuie analizat împreună cu sistemul de protecție la supratensiuni al aparatului. Trebuie făcută distincția între:

SPD / protecție la supratensiuni

și

protecțiile interne ale driverului.

Nu trebuie presupus că un driver „cu protecție” înlocuiește automat un SPD dimensionat corespunzător pentru aparatul și instalația respectivă.

6.1.1.18. De ce contează curentul LED?

LED-urile sunt controlate în principal prin curent. Driverul trebuie să asigure curentul corespunzător modulului LED. De exemplu, un modul poate fi proiectat pentru un anumit curent nominal. Dacă driverul furnizează:

- prea puțin curent → flux luminos insuficient;

- prea mult curent → solicitare termică și electrică excesivă.

De aceea, compatibilitatea:

driver ↔ modul LED

este esențială.

Nu este suficient ca ambele componente să fie „LED”.

6.1.1.19. Driverul și durata de viață a aparatului

În practică, durata de viață a unui aparat LED nu este determinată exclusiv de LED-uri. Avem mai multe componente:

- module LED;
- driver;
- condensatori;
- protecții;
- conectori;
- garnituri;
- componente electronice;
- sistem de disipare termică.

Driverul este adesea una dintre componentele critice. De aceea, pentru un proiect de iluminat public, trebuie analizate:

- durata de viață declarată;
- temperatura ambiantă;
- temperatura carcasei;
- temperatura maximă admisă;
- numărul de cicluri pornit/oprit;
- compatibilitatea cu profilul de dimare;
- condițiile de garanție.

6.1.1.20. Driverul și profilul de dimare

Un sistem de telegestiune poate transmite, de exemplu:

00:00 → 60%
02:00 → 50%
04:00 → 60%
06:00 → 100%

Driverul trebuie să execute aceste comenzi în mod repetabil și stabil. De asemenea, este important să existe o strategie pentru cazul în care comunicația cu platforma centrală este pierdută. De exemplu:

„Dacă legătura cu sistemul de telegestiune este pierdută, aparatul continuă să funcționeze conform ultimului program valid.”

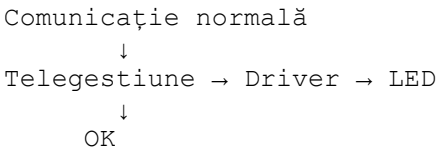
sau:

„Aparatul trece pe un profil local prestabilit.”

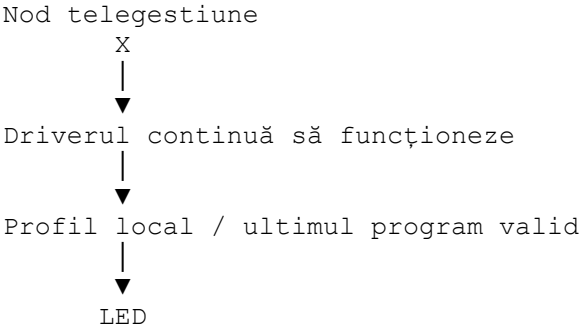
Aceste funcții trebuie definite explicit în specificația sistemului.

6.1.1.21. Ce se întâmplă dacă nodul de telegestiune se defectează?

Aceasta este o întrebare esențială în proiectarea unui sistem critic. Trebuie să existe o strategie de **fail-safe**. De exemplu:



Dacă nodul de comunicație se defectează:



Astfel, defectarea sistemului de comunicație nu trebuie să conducă automat la stingerea întregului sistem de iluminat.

Această filozofie este foarte importantă în infrastructura publică.

6.1.1.22. Driverul ca element de „edge intelligence”

Într-un sistem modern, inteligența nu trebuie să fie exclusiv în centrul de comandă.

O parte din funcții poate exista local:

Driver + controler + senzori

pot lua anumite decizii local, în timp ce platforma centrală gestionează strategia generală.

De exemplu:

senzor → detectează trafic → controler → comandă DALI → driver → crește fluxul luminos.

Nu este obligatoriu ca fiecare reacție să parcurgă serverul central. Acest lucru poate reduce latența și poate crește robustețea sistemului.

6.1.1.23. Driverul într-un sistem adaptiv de iluminat

Aici apare una dintre cele mai interesante aplicații. Imaginează-ți un drum pe care:

- la ora 01:00 traficul este redus;
- la ora 02:00 nu există trafic;
- la ora 05:30 traficul începe să crească.

Sistemul poate utiliza:

senzor de trafic / prezență
↓
nod de control
↓
DALI/D4i
↓
driver
↓
modificare flux luminos

În locul unui program rigid:

„La 00:00 reducem la 50% indiferent de situație.”

putem avea:

„Menținem nivelul economic în absența traficului și creștem iluminatul când este necesar.”

Aceasta este baza conceptului de **iluminat adaptiv**.

6.1.1.24. Două niveluri de comunicație

Este util să separăm:

Nivelul 1 – comunicația în interiorul aparatului

De exemplu:

DALI / D4i

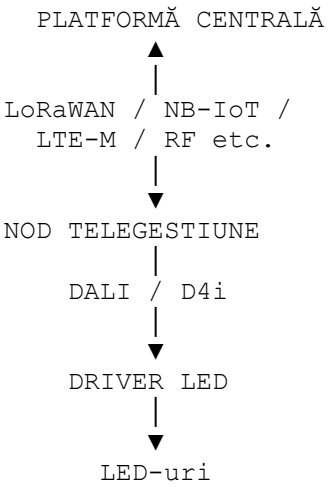
Driver ↔ controler/senzor.

Nivelul 2 – comunicația către exterior

De exemplu:

- LoRaWAN;
- NB-IoT;
- LTE-M;
- RF mesh;
- alte tehnologii.

Schema devine:



Zhaga-D4i este relevant tocmai pentru această arhitectură, deoarece permite integrarea nodurilor de comunicație/senzorilor cu aparatul de iluminat.

6.1.1.25. De ce este importantă alimentarea auxiliară?

În arhitecturile Zhaga-D4i outdoor, există și conceptul de **alimentare auxiliară (AUX)** pentru dispozitivele de control.

Documentația DALI Alliance arată că, în Zhaga Book 18, dispozitivele de tip A sunt alimentate de o sursă auxiliară de 24 V și sunt utilizate, tipic, pentru comunicația dintre aparat și rețeaua externă.

Acest aspect este foarte important deoarece nodul de telegestiune nu trebuie alimentat improvizat.

În proiect trebuie precizat:

- tensiunea AUX;
- puterea disponibilă;
- curentul maxim;
- comportamentul la scurtcircuit;
- protecția;
- compatibilitatea cu nodul ales.

6.1.1.26. Driverul poate deveni „registrul electronic” al aparatului

Un avantaj important al driverelor inteligente este posibilitatea de a păstra sau furniza informații despre aparat.

În loc să ai doar o etichetă fizică:

Aparat nr. 001245
poți avea electronic informații asociate echipamentului.
De exemplu:

- producător;
- model;
- date de identificare;
- caracteristici;
- ore de funcționare;
- energie;
- date de diagnostic;
- informații despre sursa LED.

D4i include explicit categorii de date pentru driver, aparat, energie și diagnostic.
Acest lucru este extrem de valoros pentru **asset management**.

6.1.1.27. Beneficiul pentru mentenanță

Într-un sistem tradițional, operatorul poate afla:

„Avem un aparat de iluminat nefuncțional”

O echipă trebuie să meargă pe teren și să investigheze. Într-un sistem bine proiectat, operatorul poate primi:

„Aparatul 001245 – eroare driver.”

sau:

„Aparatul 001245 – pierdere comunicație.”

sau:

„Aparatul 001245 – anomalie de alimentare.”

Acest lucru permite trecerea de la:

mentenanță reactivă

la:

mentenanță preventivă / predictivă.

6.1.1.28. Ce trebuie cerut într-o specificație tehnică?

Dacă vorbim despre achiziția unui aparat de iluminat public cu telegestiune, recomand să nu fie cerut simplu:

„Aparatul va fi echipat cu driver dimabil și telegestiune.”

Este prea vag. Ar trebui să existe cerințe pentru:

Driver

- tip;
- putere;
- domeniu de tensiune;
- curent de ieșire;
- eficiență;
- PF;
- THD;
- protecții;

- temperatură de funcționare;
- durată de viață;
- garanție.

Control

- DALI/DALI-2;
- D4i, dacă este cerut;
- compatibilitate cu sistemul de telegestiune;
- domeniu de dimare;
- comportament la pierderea comunicației.

Date

- energie;
- ore de funcționare;
- porniri;
- diagnostic;
- identificare;
- stări de defect.

Interfață

- Zhaga Book 18;
- Zhaga-D4i, dacă aceasta este arhitectura aleasă;
- număr de interfețe;
- alimentare AUX;
- compatibilitatea nodului.

Zhaga recomandă chiar includerea unor texte standardizate privind Zhaga Book 18 și Zhaga-D4i în documentațiile de achiziție, tocmai pentru a evita ambiguitățile privind interoperabilitatea.

6.1.1.29. O cerință foarte importantă: „driver D4i" ≠ „sistem de telegestiune"

Este o confuzie frecventă. Faptul că aparatul are driver D4i **nu înseamnă automat că aparatul este conectat la internet sau la platforma primăriei**.

D4i poate furniza interfața și datele intra-aparat. Pentru conectarea la sistemul central este necesar un:

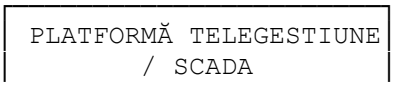
NLC – Network Lighting Controller

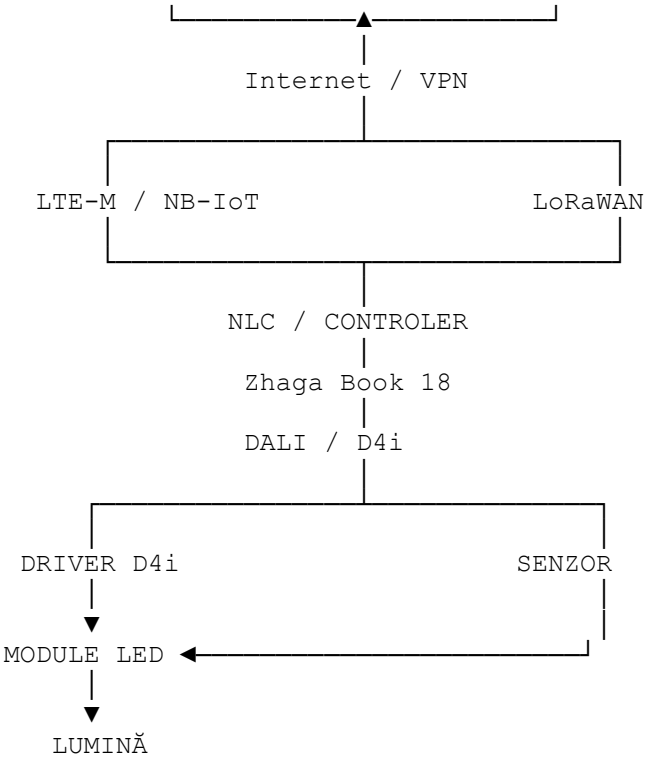
sau nod de telegestiune compatibil.

Acesta poate comunica, de exemplu, printr-o rețea radio/celulară către platforma centrală. DALI Alliance descrie dispozitivele de tip A din Zhaga Book 18 ca fiind utilizate tipic pentru comunicația dintre aparat și rețeaua externă și le identifică drept Network Lighting Controllers.

6.1.1.30. O arhitectură completă recomandată

Pentru un sistem modern, arhitectura poate fi:





În această arhitectură:

Driverul = energie + control local + date

NLC = comunicație + comandă

Platforma = management + vizualizare + analiză

6.1.1.31. Avantajul economic

Un asemenea sistem poate produce economii din mai multe surse.

1. Eficiența LED

LED-ul este mai eficient decât tehnologiile convenționale.

2. Dimarea

Reducerea fluxului luminos reduce consumul.

3. Programarea

Aparatul poate funcționa diferit în funcție de oră.

4. Iluminatul adaptiv

Nivelul poate fi corelat cu necesarul real.

5. Mentenanța

Defectele pot fi identificate mai rapid.

6. Managementul activelor

Operatorul poate urmări starea infrastructurii. Economia reală nu rezultă deci numai din:

„LED consumă mai puțin.”

Ci din combinația:

LED + driver eficient + dimare + control + monitorizare + mentenanță inteligentă.

6.1.1.32. Un exemplu numeric simplificat

Să presupunem că utilizăm un aparat de:

100 W

care funcționează 4.000 h/an.

Fără dimare:

$$100\ \text{W} \times 4.000\ \text{h} = 400\ \text{kWh/an}$$

Dacă printr-un profil de dimare consumul mediu efectiv ajunge la 70 W:

$$70\ \text{W} \times 4.000\ \text{h} = 280\ \text{kWh/an}$$

Economia este:

120 kWh/aparat/an

La 10.000 de aparate:

1.200.000 kWh/an

adică:

1,2 GWh/an

Bineînțeles, calculul real trebuie realizat pe profilul efectiv de funcționare, nu pe o medie presupusă.

6.1.1.33. Un alt avantaj: monitorizarea puterii

Să presupunem că un aparat ar trebui să consume:

80 W

dar sistemul observă:

95 W

fără o modificare a nivelului de dimare.

Această abatere poate genera o investigație. La fel, dacă aparatul ar trebui să consume 80 W și sistemul indică:

20 W

poate exista o problemă la sursa LED, driver sau comandă.

Astfel, datele driverului pot fi folosite pentru **detectarea anomaliilor**.

6.1.1.34. Ce înseamnă „smart luminaire”?

Un aparat inteligent nu înseamnă doar:

„Are Wi-Fi.”

Un aparat poate fi considerat parte a unei infrastructuri inteligente atunci când există:

- sursă LED controlabilă
- driver inteligent
- interfață standardizată
- controler
- comunicație
- date
- platformă software
- algoritmi de control
- diagnostic

Zhaga-D4i este unul dintre ecosistemele dezvoltate tocmai pentru această combinație de interoperabilitate, conectivitate și funcționalitate inteligentă.

6.1.1.35. Concluzia tehnică

Dacă ar trebui să rezumăm rolul driverului într-o singură schemă:

Driver LED convențional:

Rețea → Driver → LED

Driver LED inteligent:

Rețea → Driver ↔ Controler ↔ Telegestiune → Operator

iar driverul îndeplinește simultan trei funcții:

1. Sursă de putere

Furnizează LED-urilor energia electrică în parametrii necesari.

2. Element de control

Reglează curentul și, implicit, puterea și fluxul luminos.

3. Sursă de date / interfață intra-aparat

În cazul driverelor DALI/D4i, furnizează informații privind funcționarea, energia și diagnosticul și permite integrarea cu dispozitivele de control.

Prin urmare, **într-un sistem modern de iluminat public cu telegestiune, alegerea driverului este la fel de importantă ca alegerea modulului LED**. Un aparat cu LED-uri performante, dar cu un driver slab, incompatibil sau fără posibilități reale de integrare, poate compromite întregul concept de iluminat inteligent.

Iar pentru o infrastructură nouă, arhitectura **driver D4i + interfață Zhaga Book 18 + nod de telegestiune certificat + platformă centrală** este o abordare deosebit de interesantă pentru interoperabilitate și posibilitatea de modernizare ulterioară. Zhaga Book 18 ediția 4.0, lansată în octombrie 2025, extinde în continuare ecosistemul pentru aplicații exterioare, inclusiv corpuri decorative și soluții conectate.

Sistemul de telegestiune se descrie pe cinci niveluri funcționale:

Nivelul 1 – driverul,

Nivelul 2 – controlerul sau nodul,

Nivelul 3 – rețelele de comunicații,

Nivelul 4 – gateway-ul și

Nivelul 5 – platforma centrală.

6.1.3. Rețelele de comunicații

Introducere

Un sistem de telegestiune poate fi administrat de la distanță numai dacă fiecare aparat de iluminat primește comenzile și transmite înapoi informațiile despre starea sa. Legătura dintre punctele luminoase din teren și platforma centrală este asigurată de rețeaua de comunicații – al treilea nivel al modelului arhitectural de referință.

Subcapitolul prezintă rolul acestei rețele, noțiunile de bază, modul în care sunt organizate legăturile și soluțiile de rețea cele mai întâlnite în telegestiunea iluminatului public, atât la nivel internațional, cât și în România. Pentru fiecare soluție sunt arătate principiul de funcționare, avantajele și limitele, urmate de o recomandare pentru alegerea soluției și de greșelile care trebuie evitate la proiectare și implementare.

Detaliile fizice ale fiecărei tehnologii radio sau prin cablu sunt tratate în subcapitolele 7.1 și 7.6.

6.1.3.1. Rolul și poziționarea Nivelului 3

Nivelul 3 cuprinde mediile de transmisie, echipamentele și protocoalele care transportă mesajele între controlerele/nodurile de la aparatele de iluminat (Nivelul 2), gateway-uri (Nivelul 4) și platforma centrală (Nivelul 5). Transportul este bidirecțional: pe traseul descendent circulă comenzi, programe, configurații și actualizări de firmware; pe traseul ascendent circulă confirmări, stări, măsurători și alarme (figura 6.1).

Figura 6.1 – Poziția rețelelor de comunicații în arhitectura de referință

Rețeaua nu decide cum funcționează iluminatul; ea livrează mesajele. Serviciul pe care îl asigură se descrie prin șase caracteristici:

acoperirea – fiecare nod poate fi atins;

adresarea – mesajul ajunge la nodul, grupul sau zona corectă;

capacitatea – volumul de date transportat simultan;

întârzierea – timpul dintre emiterea și livrarea mesajului;

fiabilitatea – proporția mesajelor livrate;

protecția – integritatea și confidențialitatea datelor pe traseu.

Într-un sistem corect proiectat, iluminatul funcționează și atunci când rețeaua este indisponibilă, deoarece nodurile execută programul memorat local sau valoarea de rezervă (6.1.2, secțiunea 5). Rețeaua influențează capacitatea de administrare a instalației, nu existența iluminatului.

6.1.3.2. Termeni tehnici utilizați

Domeniul comunicațiilor folosește numeroși termeni și acronime în limba engleză, preluați ca atare în documentațiile producătorilor și în practica de proiectare. Tabelul 6.1 explică termenii utilizați în acest subcapitol; la prima utilizare în text este dată și echivalența în limba română.

Termen	Denumire completă	Explicație
Gateway	poartă de comunicație	Echipamentul care face legătura între rețeaua nodurilor din teren și rețeaua IP prin care se ajunge la platformă. Primește mesajele de la noduri, le convertește în formatul rețelei IP și le transmite mai departe; în sens invers distribuie comenzile către noduri. Poate fi un echipament separat, montat în punctul de aprindere, sau poate fi integrat într-un controler montat pe aparat.
Nod	–	Controlerul de la aparatul de iluminat, privit ca participant la rețea, cu adresă proprie (6.1.2).

Termen	Denumire completă	Explicație
Mesh	rețea tip plasă	Rețea în care fiecare nod poate primi și retransmite mesajele altor noduri. Un mesaj ajunge la destinație „din nod în nod”, iar dacă un nod se defectează, rețeaua găsește automat un alt traseu (autovindecare).
Salt (hop)	–	Porțiunea de traseu dintre două noduri vecine. Un mesaj care trece prin trei noduri intermediare parcurge patru salturi.
Backhaul	rețea de transport	Legătura de mare capacitate dintre gateway și platforma centrală (4G/LTE, fibră optică, Ethernet).
ISM	Industrial, Scientific and Medical	Benzi de frecvență care pot fi utilizate fără licență individuală, cu respectarea unor limite de putere și de utilizare. Banda de 2,4 GHz este o bandă ISM disponibilă la nivel mondial.
SRD	Short Range Devices – dispozitive cu rază scurtă de acțiune	Categorie de echipamente radio de mică putere pentru care, în Europa, sunt stabilite benzi și reguli comune de utilizare (de exemplu, banda 863–870 MHz).
Duty cycle	ciclu de emisie	Procentul maxim din timp în care un echipament are voie să emită într-o anumită bandă. Un ciclu de emisie de 1 % înseamnă cel mult 36 de secunde de emisie într-o oră.
LoRa / LoRaWAN	Long Range / Long Range Wide Area Network	LoRa este tehnica de modulație radio care permite legături pe distanțe mari cu consum redus. LoRaWAN este protocolul de rețea construit pe LoRa, specificat de LoRa Alliance.
Network server	server de rețea	Componenta software a unei rețele LoRaWAN care administrează nodurile, filtrează mesajele duplicate primite prin mai multe gateway-uri și le livrează aplicației.
NB-IoT / LTE-M	Narrowband IoT / LTE for Machines	Tehnologii celulare pentru dispozitive conectate, definite de organizația de standardizare 3GPP și operate de operatorii de telefonie mobilă. NB-IoT are debit mic și pătrundere bună a semnalului; LTE-M are debit mai mare și întârzieri mai mici.
3GPP	3rd Generation Partnership Project	Organismul internațional care elaborează standardele rețelelor mobile (4G, 5G, NB-IoT, LTE-M).
LTE Cat-1	LTE categoria 1	Clasă de modem 4G cu debit moderat, utilizată frecvent pentru gateway-uri și echipamente industriale.
SIM / eSIM	Subscriber Identity Module / embedded SIM	Modulul care identifică abonatul în rețeaua mobilă. SIM-ul clasic este o cartelă detașabilă; eSIM-ul este un circuit lipit pe placa echipamentului, al cărui profil de operator poate fi încărcat sau schimbat de la distanță, fără intervenție fizică.
PLC	Power Line Communication – comunicație pe liniile de alimentare	Transmiterea datelor prin conductoarele rețelei electrice, prin suprapunerea unui semnal de înaltă frecvență peste tensiunea de alimentare. A nu se confunda cu automatul programabil, notat tot PLC.
OTA	Over-The-Air – de la distanță	Actualizarea firmware-ului (programul intern al echipamentului) prin rețea, fără deplasare în teren.
VPN / TLS	Virtual Private Network / Transport Layer Security	Mecanisme care creează un canal criptat prin rețele publice, astfel încât datele să nu poată fi citite sau modificate pe traseu.
Store-and-forward	stocare și retransmitere	Funcția prin care un echipament memorează datele atunci când legătura lipsește și le transmite automat după restabilirea acesteia.
Broadcast / multicast	difuzare / transmisie de grup	Transmiterea unui singur mesaj către toate nodurile (broadcast) sau către un grup de noduri (multicast), în loc de mesaje individuale.
RSSI	Received Signal Strength Indicator	Nivelul puterii semnalului recepționat, exprimat în dBm. Valorile mai apropiate de zero indică un semnal mai puternic.
SNR / LQI	Signal-to-Noise Ratio / Link Quality Indicator	Raportul dintre semnalul util și zgomot, respectiv un indicator sintetic al calității legăturii radio. Arată cât de „curat” este semnalul, nu doar cât de puternic.

Termen	Denumire completă	Explicație
PDR	Packet Delivery Ratio – rata de livrare	Proporția mesajelor ajunse la destinație din totalul mesajelor transmise, în procente.
Latență	întârziere	Timpul scurs între emiterea unui mesaj și primirea lui, respectiv între emiterea unei comenzi și confirmarea execuției.
Wi-SUN FAN	Wireless Smart Utility Network – Field Area Network	Standard deschis de rețea mesh sub 1 GHz, bazat pe IEEE 802.15.4g, utilizat de utilități și în iluminatul public.
IEEE 802.15.4	–	Standardul internațional care definește nivelul radio al multor rețele mesh de mică putere, inclusiv în banda de 2,4 GHz.

Tabelul 6.1 – Termeni și acronime

6.1.3.3. Cele două segmente ale rețelei

În majoritatea sistemelor de telegestiune, drumul unui mesaj traversează două segmente cu cerințe diferite, legate prin gateway (figura 6.2).

6.1.3.3.1. Rețeaua de acces

Rețeaua de acces este segmentul care ajunge până la fiecare punct luminos și leagă nodurile de la aparate de gateway. Termenul provine din telecomunicații, unde desemnează porțiunea de rețea care deservește direct utilizatorii finali; în literatura de specialitate în limba engleză este denumită și FAN (Field Area Network) sau „last mile”.

Rețeaua de acces are un număr mare de noduri, montate la înălțime pe stâlpi și dispuse de regulă liniar de-a lungul străzilor, la distanțe de câteva zeci de metri. Poate fi radio (mesh în 2,4 GHz, mesh sub 1 GHz, LoRaWAN) sau prin cablu (PLC). În acest segment se decid, în cea mai mare măsură, performanța și costul de exploatare al sistemului.

6.1.3.3.2. Rețeaua de transport

Rețeaua de transport (backhaul) conectează gateway-ul la platforma centrală printr-o rețea IP: 4G/LTE, 5G, fibră optică sau Ethernet, protejată printr-un canal criptat (VPN sau TLS). Numărul de conexiuni este mic – câte una pentru fiecare gateway – astfel încât costul recurent rămâne redus chiar atunci când se utilizează rețeaua unui operator.

6.1.3.3.3. Arhitectura fără gateway

În arhitectura celulară directă (NB-IoT/LTE-M), fiecare nod are propriul modem și propria cartelă SIM sau eSIM și comunică direct cu rețeaua operatorului mobil. Cele două segmente se contopesc în infrastructura operatorului: beneficiarul nu mai deține o rețea proprie, dar plătește câte un abonament pentru fiecare punct luminos.

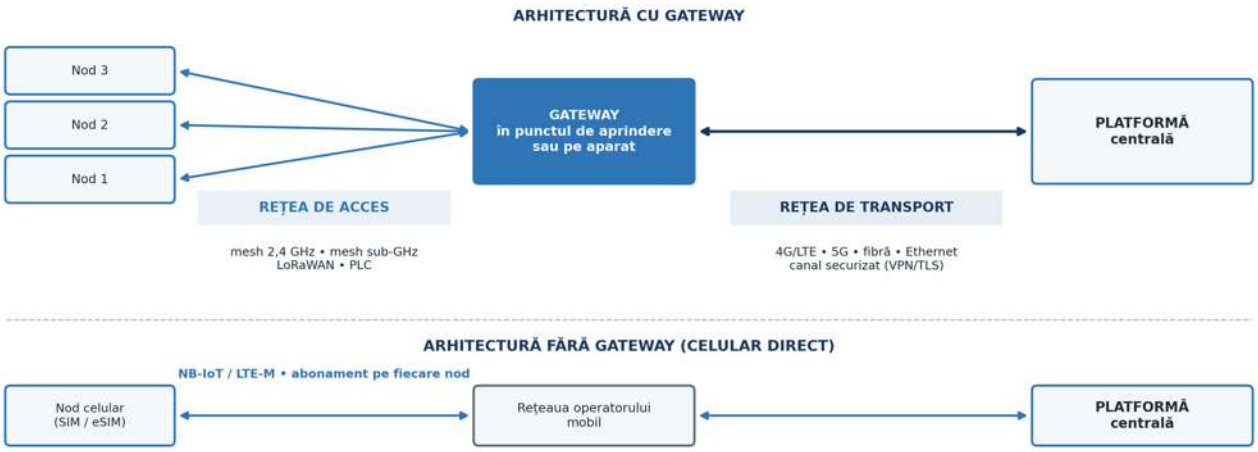


Figura 6.2 – Rețeaua de acces și rețeaua de transport; comparație cu arhitectura celulară directă

Segment	Ce leagă	Tehnologii uzuale	Cine o deține / operează	Cost recurent de comunicație
Rețea de acces	noduri – gateway	mesh 2,4 GHz, mesh sub 1 GHz, LoRaWAN, PLC	beneficiarul (rețea privată) sau un operator (LoRaWAN public)	de regulă nul la rețeaua privată
Rețea de transport	gateway – platformă	4G/LTE, 5G, fibră optică, Ethernet	operator de telecomunicații sau rețea municipală	un abonament pentru fiecare gateway
Celular direct	nod – platformă	NB-IoT, LTE-M	operatorul de telefonie mobilă	un abonament pentru fiecare nod

Tabelul 6.2 – Segmentele rețelei de comunicații

Fereastra de alimentare. În numeroase instalații din România circuitul de iluminat este alimentat numai pe durata nopții, prin contactorul din punctul de aprindere. Nodurile de pe un astfel de circuit sunt accesibile doar în această fereastră și trebuie să se reconecteze la rețea la fiecare alimentare. Citirea datelor, comenzile de seară și actualizările de firmware se planifică în consecință, indiferent de soluția de rețea aleasă.

6.1.3.4. Topologii de rețea

Topologia descrie modul în care nodurile sunt legate între ele. Topologiile prezentate mai jos sunt cele mai întâlnite în rețelele de telegestiune a iluminatului, atât la nivel internațional, cât și în România. Aceeași tehnologie poate fi utilizată în topologii diferite, iar fiecare topologie are consecințe directe asupra acoperirii, fiabilității și întârzierilor (figura 6.3, tabelul 6.3).

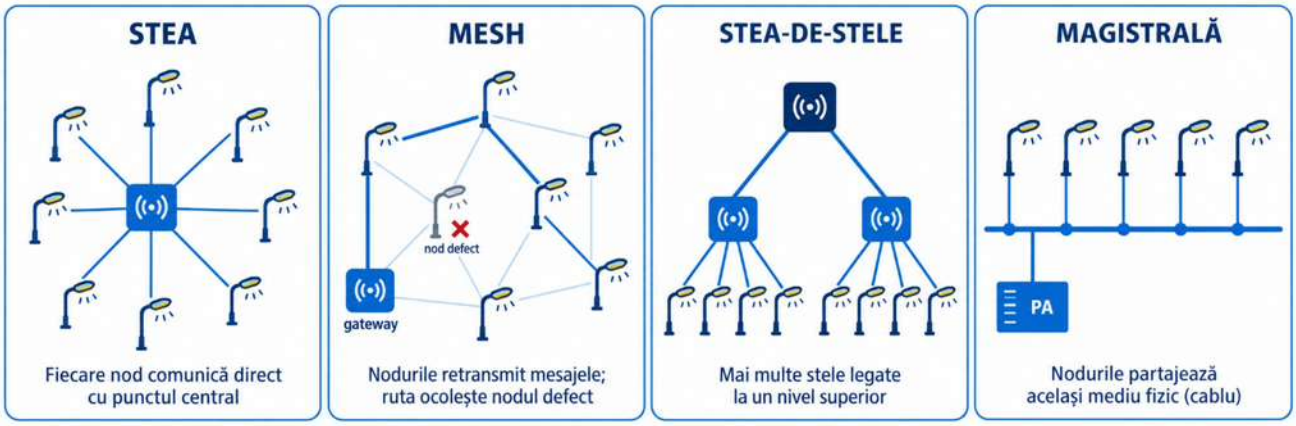


Figura 6.3 – Topologiile utilizate în rețelele de telegestiune a iluminatului

Topologie	Principiu	Punct forte	Punct slab	Exemple
Stea	fiecare nod comunică direct cu un punct central	simplitate, întârziere previzibilă	un nod fără legătură directă rămâne izolat	LoRaWAN, NB-IoT/LTE-M
Mesh	nodurile retransmit mesajele vecinilor	autovindecare; acoperirea crește odată cu numărul de stâlpi	necesită densitate suficientă de noduri; întârzierea crește cu numărul de salturi	mesh 2,4 GHz, Wi-SUN [53] FAN
Stea-de-stele	mai multe stele legate la un nivel superior	scalabilitate	dependența de nodurile de agregare	gateway-uri LoRaWAN legate la network server
Magistrală	nodurile partajează același mediu fizic	folosește cablul existent, fără radio	calitatea depinde de starea rețelei electrice	PLC pe circuitul de iluminat

Tabelul 6.3 – Comparația topologiilor

În iluminatul public, stâlpii formează în mod natural un șir continuu de puncte aflate la distanțe mici. Această dispunere favorizează topologia mesh: fiecare stâlp echipat devine un punct de retransmisie, iar densitatea stâlpilor creează trasee alternative.

6.1.3.5. Soluții de rețea în telegestiunea iluminatului public

Combinarea segmentelor, topologiilor și tehnologiilor conduce la patru soluții de rețea, care sunt și cele mai răspândite în proiectele de telegestiune a iluminatului public, atât la nivel internațional, cât și pe piața din România (figura 6.4). Pentru soluția mesh este analizat separat și locul în care se amplasează gateway-ul, deoarece acesta influențează direct performanța, costurile și modul de exploatare.

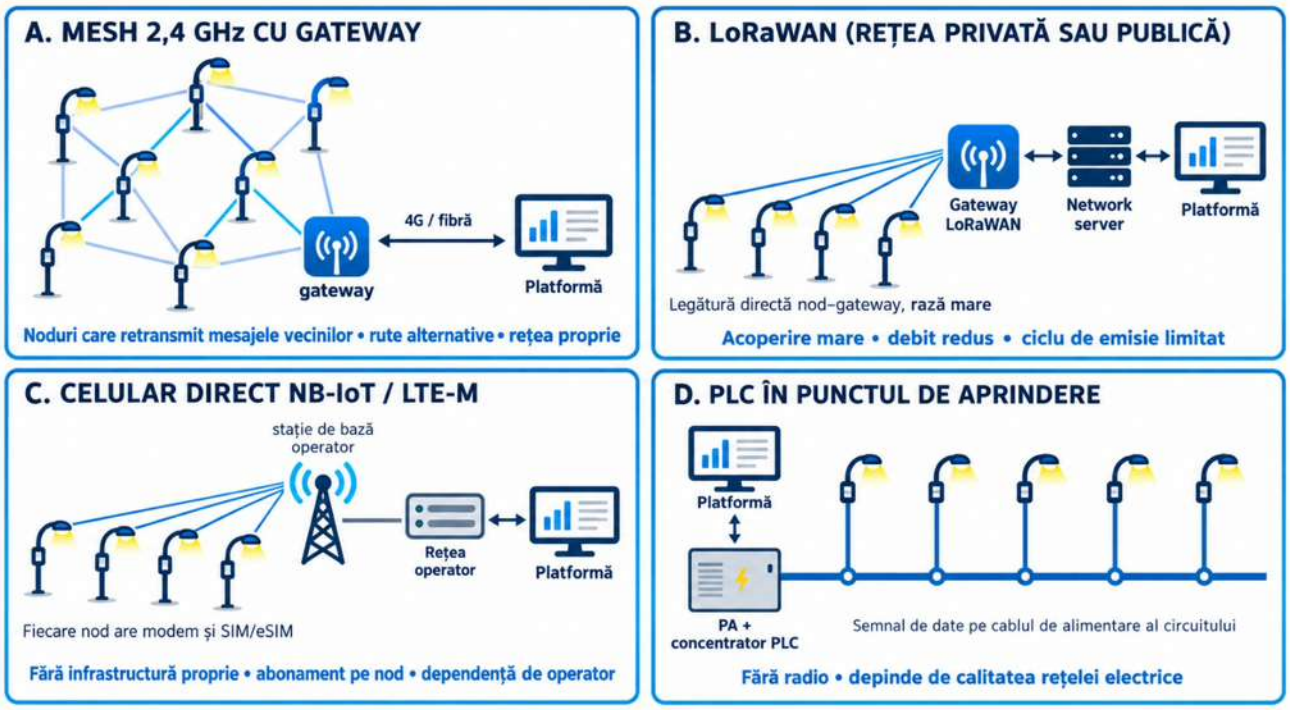


Figura 6.4 – Soluțiile de rețea utilizate în telegestiunea iluminatului public

Soluția A – rețea mesh în 2,4 GHz cu gateway

Nodurile de la aparate formează o rețea mesh în banda ISM de 2,4 GHz, disponibilă fără licență la nivel mondial; în Uniunea Europeană, cerințele radio pentru această bandă sunt stabilite de standardul ETSI EN 300 328 [48]. Fiecare nod poate retransmite mesajele vecinilor, iar traseele se refac automat la defectarea sau îndepărtarea unui nod. Debitele sunt de ordinul sutelor de kbit/s – de exemplu, 250 kbit/s la nivel fizic pentru IEEE 802.15.4 [52] – iar distanța acoperită pe un salt este de ordinul zecilor până la sutelor de metri, în funcție de antene și de mediu. Soluția este larg utilizată în orașele europene și în proiectele de modernizare din România.

Principalele avantaje ale soluției sunt:

- răspuns rapid la comenzile individuale și de grup, potrivit pentru control adaptiv și pentru intervenții din dispecerat;
- capacitate suficientă pentru transmiterea frecventă a datelor și pentru actualizări de firmware de la distanță (OTA);
- lipsa abonamentului pentru fiecare nod – rețeaua de acces este proprietatea beneficiarului;
- independență față de acoperirea și politica comercială a operatorilor la nivelul punctelor luminoase;
- densitatea stâlpilor creează trasee redundante și permite autovindecarea rețelei;
- module compacte, integrabile în interfețele standardizate Zhaga Book 18 [32] sau ANSI C136.41 [33] (6.2).

Limită	Cauză	Măsură de proiectare
Distanță mai mică pe salt decât în benzile sub 1 GHz	atenuare mai mare la 2,4 GHz	planificarea densității nodurilor; noduri de retransmisie la goluri (intersecții largi, poduri, parcuri)
Bandă partajată	Wi-Fi, Bluetooth și alte echipamente în 2,4 GHz	alegerea canalelor, schimbarea automată a frecvenței, retransmisii, măsurători în teren
Gateway ca punct de agregare	traficul unei zone trece prin același echipament	zone de gateway suprapuse, stocare și retransmitere, program local la noduri
Atenuare prin vegetație și obstacole	coroane de arbori, clădiri, relief	studiu de acoperire înainte de montaj și verificare la punerea în funcțiune

Tabelul 6.4 – Limitele soluției mesh 2,4 GHz și măsurile de proiectare

Amplasarea gateway-ului în rețeaua mesh

Funcția de gateway poate fi realizată de un echipament separat, montat în punctul de aprindere, sau de un controler montat pe aparatul de iluminat, care preia pe lângă comanda propriului aparat și rolul de coordonare a nodurilor din jur. Ambele variante sunt utilizate în practică, adesea în aceeași instalație (figura 6.5).

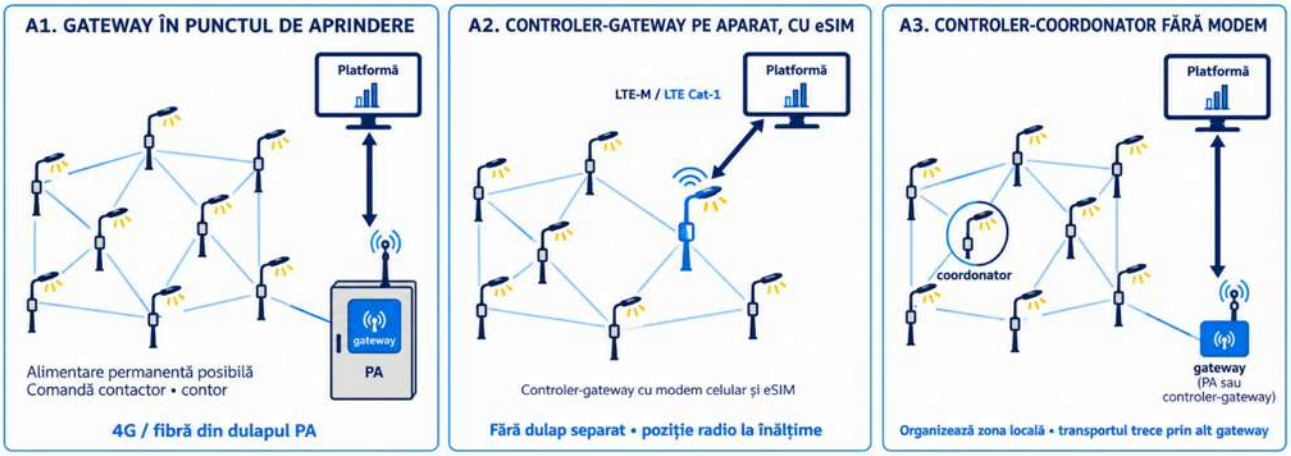


Figura 6.5 – Variante de amplasare a gateway-ului în rețeaua mesh

A1. Gateway în punctul de aprindere

Gateway-ul este montat în dulapul punctului de aprindere, cu antenă exterioară, și se leagă la platformă prin 4G/LTE sau fibră optică. Poate fi alimentat permanent, independent de starea circuitelor de iluminat, și se integrează cu automatizarea punctului de aprindere: comanda contactoarelor, citirea contorului și semnalizarea avariilor de circuit (6.6). Are resurse de procesare și memorie mai mari și poate deservi un număr mare de noduri. Accesul pentru mentenanță se face de la sol.

Limitele variantei țin de amplasament: dulapul metalic atenuează semnalul dacă antena nu este montată în exterior, poziția punctului de aprindere nu coincide întotdeauna cu poziția optimă din punct de vedere radio, iar pe unele străzi punctul de aprindere nu este accesibil sau aparține altui operator.

Figura 6.6 – Gateway montat în punctul de aprindere, într-o rețea mesh 2,4 GHz: (a) dulapul punctului de aprindere, cu gateway-ul și contorul de energie; (b) zona deservită de gateway, figurată pe harta platformei (fotografie din teren și captură din platformă;

Figura 6.7 – Legăturile radio directe dintre gateway și nodurile din vecinătatea lui, afișate în platformă; nodurile mai îndepărtate comunică prin retransmisie

A2. Controler-gateway montat pe aparat, cu modem celular și eSIM integrat

Un controler montat pe aparat, în soclu Zhaga/NEMA sau integrat în aparat, conține pe lângă funcțiile de nod un modem celular (de regulă LTE-M sau LTE Cat-1) și un eSIM. Controlerul coordonează nodurile mesh din zona sa și transmite datele direct către platformă. eSIM-ul elimină cartela detașabilă, rezistă mai bine la vibrații și umiditate și permite schimbarea de la distanță a profilului de operator, ceea ce reduce dependența de un singur operator pe durata de viață a instalației.

Varianta nu necesită dulap sau echipament separat, se montează ca un nod obișnuit și poate fi amplasată în poziția cea mai favorabilă din punct de vedere radio – la înălțime, fără obstacolul carcasei metalice. Este potrivită pentru străzi fără punct de aprindere adecvat, pentru extinderi ale unei rețele existente și pentru instalații mici, de câteva zeci de aparate, unde poate înlocui complet gateway-ul din punctul de aprindere. Rețeaua crește modular, prin adăugarea câte unui controler-gateway pentru fiecare zonă.

Limitele variantei sunt legate de amplasarea pe stâlp:

- resursele de procesare și memorie, mai reduse decât ale unui gateway din punctul de aprindere, limitează numărul de noduri deservite;
- controlerul este alimentat din circuitul aparatului, deci pe circuitele alimentate numai noaptea legătura cu platforma există doar în această fereastră;
- echipamentul este expus la temperaturi extreme, supratensiuni și descărcări atmosferice, iar intervenția necesită autospecială;

- fiecare controler-gateway are propriul abonament, însă numărul acestora rămâne mic în raport cu numărul de noduri;
- funcțiile punctului de aprindere – comanda contactorului și contorizarea – nu sunt preluate și rămân la automatizarea acestuia.

A3. Controler-coordonator fără modem celular

Controlerul montat pe aparat organizează nodurile din zona locală – adresare, rutare, sincronizarea timpului – dar nu are legătură proprie cu platforma. Datele sunt transmise prin rețeaua mesh către un gateway din punctul de aprindere sau către un controler-gateway cu eSIM și, mai rar, printr-o conexiune prin cablu disponibilă pe stâlp. Varianta extinde capacitatea și acoperirea rețelei fără costuri recurente suplimentare, dar depinde de existența unui gateway accesibil prin rețea.

Criteriu	**A1. Gateway în PA**	**A2. Controler-gateway cu eSIM**	**A3. Controler-coordonator fără modem**
Amplasare	dulapul punctului de aprindere	pe aparat (soclu Zhaga/NEMA sau integrat)	pe aparat (soclu Zhaga/NEMA sau integrat)
Alimentare	poate fi permanentă	din circuitul aparatului	din circuitul aparatului
Legătura cu platforma	4G/LTE, fibră, Ethernet	LTE-M / LTE Cat-1 prin eSIM	prin alt gateway, din rețeaua mesh
Capacitate	mare	medie	limitată la zona locală
Funcții de punct de aprindere	da (contactor, contor, avarii circuit)	nu	nu
Condiții radio	depind de antena exterioară	favorabile – la înălțime	favorabile – la înălțime
Instalare și mentenanță	de la sol, în dulap	la înălțime, cu autospecială	la înălțime, cu autospecială
Cost recurent	un abonament pe gateway	un abonament pe controler-gateway	fără abonament
Utilizare potrivită	zone cu PA automatizat și alimentat permanent	zone fără PA adecvat, extinderi, instalații mici	extinderea acoperirii și a capacității unei zone

Tabelul 6.5 – Comparația variantelor de amplasare a gateway-ului

Soluția B – LoRaWAN

Nodurile utilizează modulația LoRa în banda SRD de 863–870 MHz și comunică direct cu unul sau mai multe gateway-uri LoRaWAN, într-o topologie stea-de-stele; gateway-urile transmit traficul unui network server, care îl livrează platformei. Rețeaua poate fi privată, a beneficiarului, sau publică, a unui operator. Raza de acoperire poate ajunge la kilometri în condiții favorabile. Soluția este larg răspândită la nivel internațional în aplicațiile de oraș inteligent și este întâlnită și în România, în special pentru rețele de senzori.

Avantajele principale sunt acoperirea mare cu puține gateway-uri, adecvarea pentru zone rarefiate și pentru senzori alimentați din baterii, precum și un ecosistem deschis. Limitele țin de debitul redus – de la sute de biți pe secundă la câțiva kbit/s – și de regulile de utilizare a spectrului: în benzile SRD sunt impuse limite de ciclu de emisie, aplicabile și gateway-ului atunci când transmite către noduri. Numărul maxim de mesaje pe care un echipament le poate emite într-o oră rezultă din relația:

$$N_{max} = \frac{\delta \cdot 3600}{t_{aer}} \qquad (6.1)$$

în care N_{max} este numărul maxim de mesaje pe oră, δ – ciclul de emisie admis, ca fracțiune (de exemplu, 0,01 pentru 1 %), iar t_{aer} – timpul în aer al unui mesaj, în secunde.

Exemplu de calcul. În sub-banda 868,0–868,6 MHz ciclul de emisie admis este de 1 %, adică 36 de secunde de emisie pe oră. Dacă un mesaj ocupă 0,5 s în aer, N_{max} = 0,01 × 3 600 / 0,5 = 72 de mesaje pe oră; dacă ocupă 2 s, doar 18. Limita se aplică și gateway-ului: un singur gateway care trebuie să confirme sau să comande sute de noduri își consumă rapid timpul de emisie. În consecință, comenzile descendente, confirmările

către un număr mare de noduri și actualizările de firmware devin lente sau trebuie fragmentate. Timpul în aer al unui mesaj LoRa este calculat în subcapitolul 7.1.3.

Soluția C – celular direct NB-IoT/LTE-M

Fiecare nod conține un modem celular conform specificațiilor 3GPP (NB-IoT sau LTE-M) și o cartelă SIM sau un eSIM și comunică direct cu stațiile de bază ale operatorului. Nu există gateway local și nici rețea de acces proprie. Soluția este întâlnită frecvent la nivel internațional și în România, mai ales în proiecte de dimensiuni mici sau cu puncte luminoase dispersate.

Soluția se pune rapid în funcțiune, fără infrastructură proprie, și este potrivită pentru puncte luminoase izolate. Limitele sunt de natură economică și strategică: abonamentul se plătește pentru fiecare nod pe toată durata de viață a instalației; performanța depinde de acoperirea operatorului în fiecare punct; comenzile de grup se transformă în mesaje individuale; ciclul de viață al tehnologiei este decis de operator, nu de beneficiar. Închiderea rețelelor 2G și 3G, inclusiv în România, arată că o tehnologie celulară poate dispărea înaintea aparatelor de iluminat pe care le deservește. Utilizarea eSIM atenuează dependența de un singur operator, dar nu elimină costul pe nod.

Soluția D – PLC în punctul de aprindere

Semnalul de date este suprapus pe conductoarele circuitului de alimentare, între un concentrator montat în punctul de aprindere și nodurile de la aparate; în Uniunea Europeană se utilizează benzile de frecvență definite pentru semnalizarea pe rețelele de joasă tensiune (SR EN 50065-1 [56]). Soluția nu folosește radio și nici abonamente și utilizează cablul existent. Este cunoscută de mult timp în Europa, în special în telecitirea contoarelor, și este întâlnită și în iluminatul public.

Calitatea comunicației depinde de starea rețelei electrice: zgomotul generat de drivere și de alți consumatori, lungimea și secțiunea cablurilor, îmbinările și derivațiile, precum și prezența transformatoarelor, pe care semnalul nu le traversează. Nodurile de pe un circuit deconectat nu comunică. Controlul la nivel de circuit, fără noduri la aparate, este tratat în subcapitolul 7.2.

6.1.3.6. Recomandări pentru alegerea soluției

Alegerea soluției de rețea pornește de la configurația reală a instalației și de la modul în care beneficiarul intenționează să o exploateze pe o durată de 12–15 ani. Pentru iluminatul public cu control individual al aparatelor se recomandă următoarele:

- **Rețeaua mesh în 2,4 GHz cu gateway** este soluția recomandată pentru localitățile urbane și comunale, unde stâlpii sunt dispuși continuu. Oferă răspuns rapid, capacitate pentru actualizări, lipsa abonamentelor pe nod și controlul beneficiarului asupra propriei rețele.
- **Gateway-ul în punctul de aprindere (A1)** se alege acolo unde punctul de aprindere este automatizat, alimentat permanent și poate integra comanda circuitelor și contorizarea.
- **Controlerul-gateway cu eSIM montat pe aparat (A2)** se alege pentru zonele fără punct de aprindere adecvat, pentru extinderi și pentru instalațiile mici; **controlerul-coordonator (A3)** completează acoperirea și capacitatea unei zone. În instalațiile mari, combinarea variantelor A1, A2 și A3 este frecventă.
- **LoRaWAN** este potrivit pentru rețele extinse de senzori alimentați din baterii și pentru zone foarte rarefiate, unde comenzile rapide nu sunt esențiale.
- **Celularul direct** se justifică pentru puncte luminoase izolate, departe de alte echipamente ale rețelei.
- **PLC** se folosește acolo unde utilizarea radio nu este posibilă și rețeaua electrică este în stare bună.

Soluțiile pot coexista în aceeași instalație, administrate din aceeași platformă. Decizia finală se sprijină pe măsurători în teren (6.1.3.8) și pe comparația costurilor pe durata de viață, tratată în subcapitolul 7.11.

6.1.3.7. Rețeaua în condiții de solicitare

6.1.3.7.1. Comenzi de grup și evenimente simultane

Cele mai mari solicitări nu apar în funcționarea obișnuită, ci în momentele în care multe noduri trebuie să comunice simultan: o comandă de trecere a unei zone întregi la alt nivel de dimare, revenirea tensiunii după

o întrerupere – când mii de noduri se reconectează și raportează în același timp – sau o actualizare de firmware. Figura 6.8 arată cum aceeași intenție de comandă este tratată de cele patru soluții.

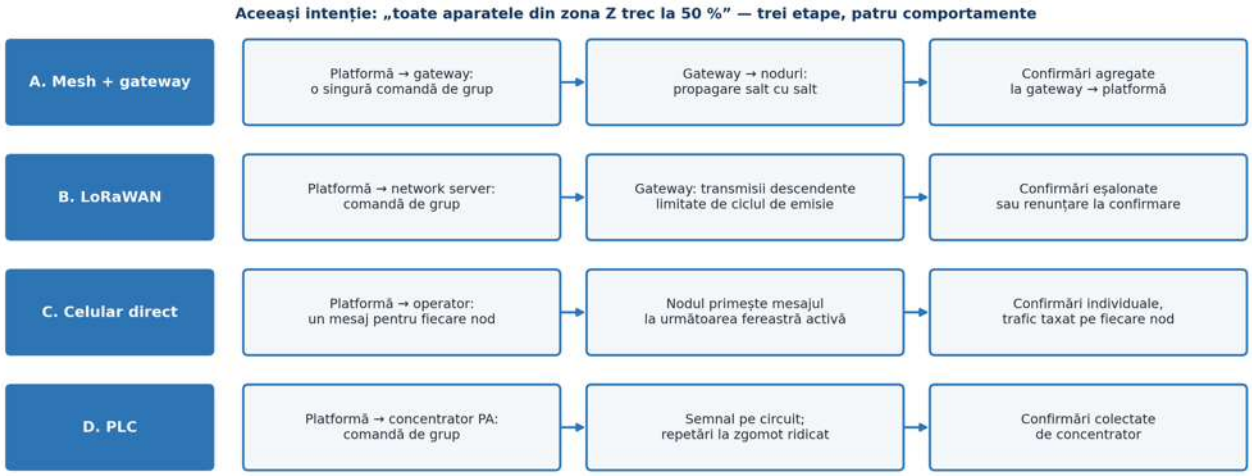


Figura 6.8 – Parcursul unei comenzi de grup în cele patru soluții de rețea

Congestia se evită prin câteva reguli de proiectare. Programele de funcționare se execută local la nod, iar comanda prin rețea modifică programul, fără a înlocui ceasul local. Raportările după alimentare sau după o întrerupere se transmit cu întârzieri aleatoare, pentru a evita avalanșa de mesaje. Acolo unde protocolul permite, se folosesc comenzi adresate grupurilor sau zonelor (multicast), în locul mesajelor individuale repetate. Confirmările se agregă la gateway și se transmit platformei ca rezumat, iar actualizările de firmware se desfășoară etapizat, pe grupuri, cu verificarea rezultatului înaintea etapei următoare.

6.1.3.7.2. Pierderi, întârzieri și ordinea mesajelor

Orice rețea poate pierde, întârzia sau livra mesajele în altă ordine decât cea de emitere. Pentru ca aceste situații să nu producă efecte greșite asupra iluminatului, mesajele poartă marcă temporală, număr de secvență și termen de valabilitate, iar controlerul refuză comenzile expirate (6.1.2, secțiunea 4). Platforma trebuie să distingă între mesaj transmis, mesaj livrat, comandă executată și stare confirmată.

6.1.3.7.3. Securitatea pe traseu

Mesajele se protejează prin autentificare și criptare, astfel încât numai echipamentele autorizate să poată emite comenzi și citi datele. De la 1 august 2025, echipamentele radio introduse pe piața Uniunii Europene trebuie să respecte cerințele esențiale de securitate cibernetică ale Directivei 2014/53/UE privind echipamentele radio, activate prin Regulamentul delegat (UE) 2022/30; standardele armonizate aplicabile sunt seria EN 18031. Regulamentul (UE) 2024/2847 privind reziliența cibernetică extinde progresiv obligațiile producătorilor de produse cu elemente digitale. Subiectul este tratat în detaliu în subcapitolul 7.9.

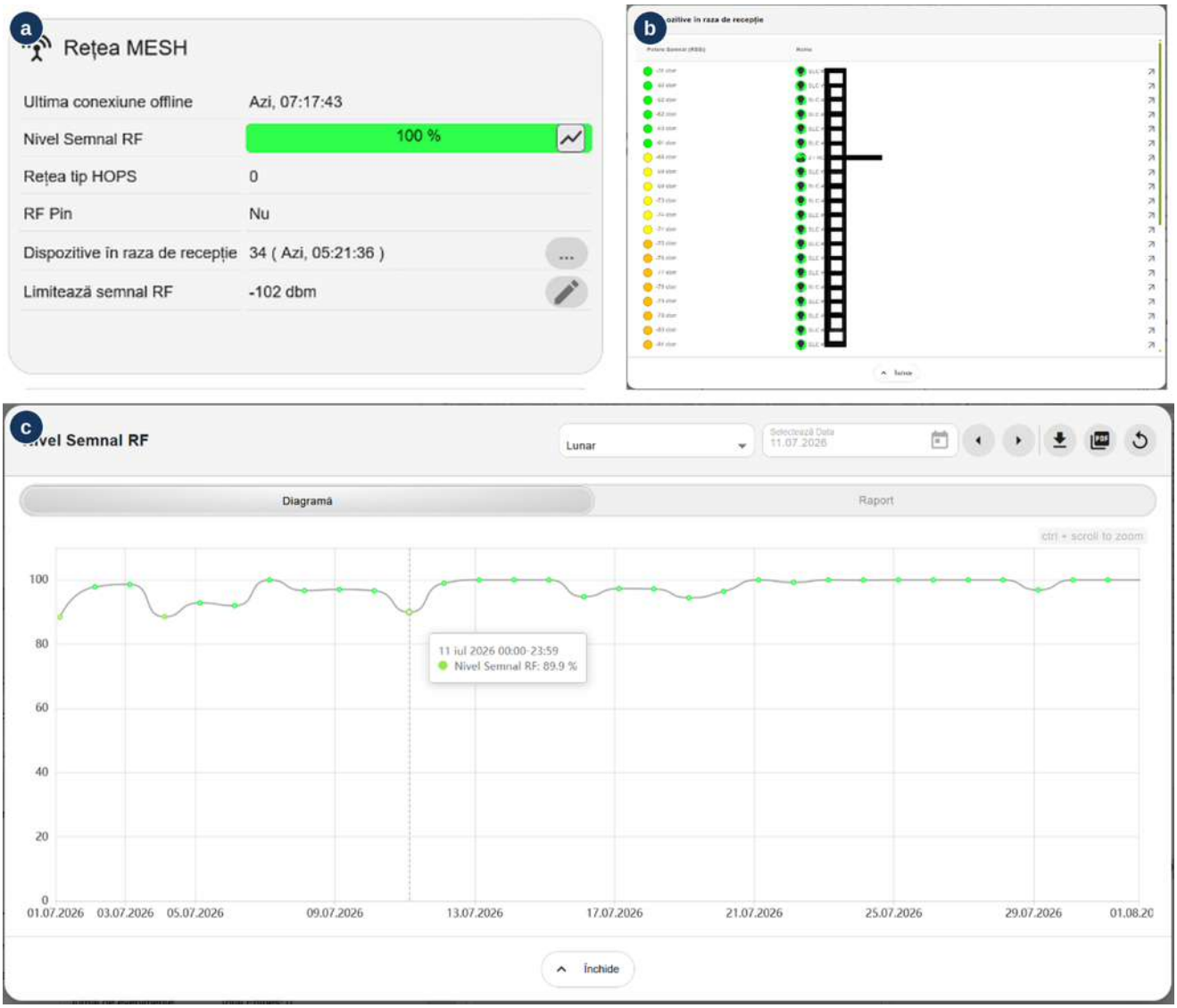


Figura 6.9 – Indicatori radio afișați în platformă pentru un nod al rețelei mesh: (a) starea legăturii, nivelul semnalului și numărul dispozitivelor aflate în raza de recepție; (b) dispozitivele vecine și nivelul semnalului fiecăruia; (c) evoluția nivelului semnalului radio pe parcursul unei luni

6.1.3.8. Planificarea și verificarea acoperirii

Performanța rețelei de acces se stabilește în teren, nu doar în fișa tehnică. Planificarea se desfășoară în etape succesive:

1. **Inventarul** stâlpilor, aparatelor și punctelor de aprindere, cu coordonate GIS și regimul de alimentare al fiecărui circuit.
2. **Modelul preliminar de acoperire** – distanțe între stâlpi, obstacole, amplasarea propusă a gateway-urilor sau a controlerelor-gateway.
3. **Măsurătorile în teren** cu un nod de test montat la înălțimea reală de montaj, în punctele critice.
4. **Dimensionarea gateway-urilor** cu rezervă de capacitate și cu zone suprapuse acolo unde continuitatea este importantă.
5. **Identificarea golurilor** și prevederea nodurilor de retransmisie.
6. **Stabilirea indicatorilor de performanță** și a valorilor-țintă (tabelul 6.6).
7. **Verificarea la punerea în funcțiune**, pe întreaga instalație sau pe eșantioane stabilite prin proiect.
8. **Monitorizarea continuă** a indicatorilor în exploatare, cu alarme la degradare.

Indicator	Semnificație	Utilizare
RSSI	puterea semnalului recepționat (dBm)	identificarea legăturilor slabe
SNR / LQI	raportul semnal/zgomot sau indicatorul calității legăturii	evaluarea influenței interferențelor
Număr de salturi	câte noduri retransmit mesajul până la gateway	estimarea întârzierii și a riscului unui traseu lung
PDR	proporția mesajelor livrate din cele transmise (%)	fiabilitatea rețelei
Latența comenzii	timpul dintre emiterea comenzii și confirmarea execuției (s)	adecvarea pentru control adaptiv și dispecerat
Disponibilitatea nodurilor	proporția nodurilor conectate în fereastra de alimentare (%)	indicator lunar de exploatare
Timp de reconectare	timpul până la reconectarea nodului după alimentarea circuitului (s)	planificarea citirilor și a comenzilor de seară

Tabelul 6.6 – Indicatori de performanță ai rețelei de acces

6.1.3.8.1. Verificarea rețelei la punerea în funcțiune

Domeniu	Verificare
Acoperire	Toate nodurile proiectate sunt conectate; legăturile slabe identificate sunt remediate sau documentate.
Livrare	Rata de livrare a mesajelor și disponibilitatea nodurilor ating valorile-țintă din proiect.
Latență	Comenzile individuale și de grup sunt executate și confirmate în timpii stabiliți.
Continuitate	La întreruperea controlată a rețelei de transport și a gateway-ului, nodurile continuă programul local.
Reconectare	După alimentarea circuitului, nodurile se reconectează în timpul stabilit prin proiect.
Securitate	Comenzile neautorizate sunt respinse, comunicația este criptată, iar conformitatea echipamentelor radio este documentată.
Documentație	Se predau studiul de acoperire, configurația rețelei, harta legăturilor și rezultatele verificărilor.

Tabelul 6.7 – Verificări funcționale ale rețelei

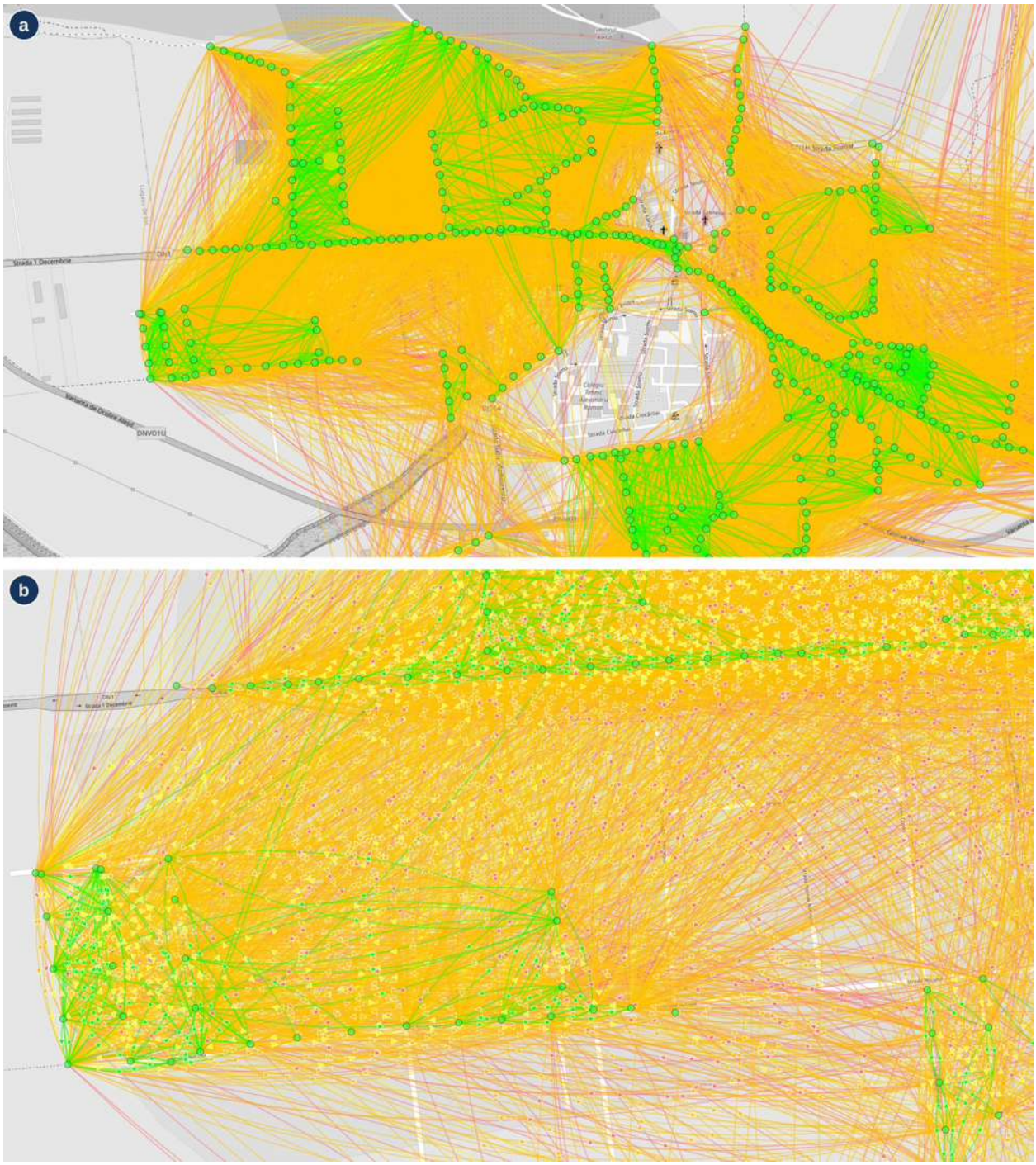


Figura 6.10 – Harta legăturilor radio bidirecționale dintr-o rețea mesh 2,4 GHz aflată în exploatare: (a) vedere de ansamblu asupra localității; (b) detaliu al unei zone dense

6.1.3.9. Greșeli frecvente în proiectare și implementare

Majoritatea problemelor întâlnite în exploatarea sistemelor de telegestiune nu provin din tehnologia aleasă, ci din omisiuni făcute la proiectare, la montaj sau la punerea în funcțiune. Greșelile de mai jos sunt cele mai frecvente și au consecințe care se manifestă, de regulă, abia după recepție.

6.1.3.9.1. Alegerea soluției numai pe baza fișei tehnice

Ce se întâmplă. Distanțele de comunicație declarate de producători sunt obținute în condiții ideale, în câmp deschis. Proiectul preia aceste valori fără măsurători pe amplasament.

Consecința. În teren apar noduri izolate, trasee lungi cu multe salturi și zone fără acoperire, descoperite abia după montaj, când remedierea necesită echipamente suplimentare și intervenții la înălțime.

Cum se previne. Se efectuează măsurători cu un nod de test la înălțimea reală de montaj în punctele critice – intersecții largi, poduri, parcuri, străzi cu vegetație densă – și se prevede rezervă de acoperire.

6.1.3.9.2. Ignorarea regimului de alimentare al circuitelor

Ce se întâmplă. Proiectul presupune că nodurile sunt permanent accesibile, deși circuitele de iluminat sunt alimentate numai noaptea, prin contactorul din punctul de aprindere.

Consecința. Nodurile apar deconectate pe timpul zilei, actualizările de firmware programate ziua eșuează, iar controlerele-gateway montate pe aparate nu pot transmite alarme în afara ferestrei de alimentare.

Cum se previne. Regimul de alimentare al fiecărui circuit se înregistrează în inventar; operațiile de citire și actualizare se planifică în fereastra de funcționare; unde este necesară comunicația permanentă, gateway-ul se alimentează separat, din punctul de aprindere.

6.1.3.9.3. Montarea gateway-ului sau a antenei în interiorul dulapului metalic

Ce se întâmplă. Gateway-ul este montat în dulapul punctului de aprindere cu antena internă sau cu antena lăsată în interiorul carcasei metalice.

Consecința. Carcasa metalică atenuează puternic semnalul, atât spre noduri, cât și spre rețeaua de transport; zona deservită se reduce, iar legătura cu platforma devine instabilă.

Cum se previne. Se prevede antenă exterioară, montată la înălțime cu cablu coaxial adecvat și protecție la supratensiuni, sau se utilizează un controler-gateway montat pe aparat, în poziție favorabilă din punct de vedere radio.

6.1.3.9.4. Densitate insuficientă a nodurilor în rețeaua mesh

Ce se întâmplă. Nu toate aparatele de pe un traseu sunt echipate cu controler sau există distanțe mari între stâlpi – de exemplu la treceri peste cursuri de apă, căi ferate sau terenuri libere.

Consecința. Rețeaua se împarte în insule fără legătură între ele, iar autovindecarea nu mai funcționează, deoarece nu există trasee alternative.

Cum se previne. Golurile se identifică pe hartă încă din proiect; se prevăd noduri de retransmisie sau controlere-gateway suplimentare, astfel încât fiecare nod să aibă cel puțin doi vecini accesibili.

6.1.3.9.5. Dimensionarea gateway-urilor la limita capacității

Ce se întâmplă. Numărul de noduri alocat unui gateway este egal cu valoarea maximă din fișa tehnică, fără rezervă și fără zone suprapuse.

Consecința. La extinderea instalației, la revenirea tensiunii sau la actualizări de firmware apar congestii și pierderi de mesaje; defectarea unui gateway scoate din administrare o zonă întreagă.

Cum se previne. Se prevede o rezervă de capacitate pentru fiecare gateway, iar în zonele importante se asigură suprapunerea acoperirii a cel puțin două gateway-uri sau controlere-gateway.

6.1.3.9.6. Compararea soluțiilor fără costurile recurente pe durata de viață

Ce se întâmplă. Soluțiile sunt comparate numai după prețul echipamentelor la achiziție.

Consecința. Abonamentele pentru fiecare nod, licențele de rețea și costurile de migrare la închiderea unei tehnologii ajung să depășească diferența de preț inițială; beneficiarul rămâne cu costuri de exploatare neprevăzute în buget.

Cum se previne. Se calculează costul total pe întreaga durată de exploatare, incluzând abonamentele, licențele și riscul de dispariție a tehnologiei (7.11).

6.1.3.9.7. Confuzia dintre „nod conectat” și „comandă executată”

Ce se întâmplă. Platforma sau operatorul consideră că o comandă a fost aplicată deoarece nodul apare conectat în rețea.

Consecința. Aparatele pot rămâne la alt nivel de iluminare decât cel comandat, fără ca abaterea să fie observată; rapoartele de funcționare și de energie devin nesigure.

Cum se previne. Se verifică la punerea în funcțiune că platforma face distincția între mesaj transmis, mesaj livrat, comandă executată și stare confirmată de driver (6.1.2).

6.1.3.9.8. Dependența iluminatului de rețea

Ce se întâmplă. Nodurile nu au program local sau valoare de rezervă configurate și așteaptă permanent comenzi de la platformă.

Consecința. O întrerupere a rețelei de transport sau defectarea unui gateway lasă aparatele stinse, aprinse permanent sau la un nivel greșit, cu efecte directe asupra siguranței circulației.

Cum se previne. Se configurează și se testează, la punerea în funcțiune, programul local și valoarea de rezervă, prin întreruperea controlată a comunicației.

6.1.3.9.9. Transmiterea simultană a comenzilor și actualizărilor către toate nodurile

Ce se întâmplă. Comenzile de grup, citirile și actualizările de firmware sunt lansate simultan pentru întreaga instalație.

Consecința. Rețeaua se congestionează, mesajele se pierd, iar unele noduri rămân cu firmware incomplet sau cu configurație neactualizată.

Cum se previne. Se folosesc comenzi de grup, raportări cu întârzieri aleatoare și actualizări etapizate, cu verificarea fiecărei etape (6.1.3.7.1).

6.1.3.9.10. Neglijarea securității comunicației

Ce se întâmplă. Echipamentele sunt puse în funcțiune cu parole și chei implicite, fără criptare sau cu firmware nesemnat.

Consecința. Instalația poate fi accesată sau comandată de persoane neautorizate; datele pot fi modificate, iar incidentele nu pot fi urmărite.

Cum se previne. Se schimbă cheile și parolele implicite, se activează criptarea pe întregul traseu, se verifică semnarea firmware-ului și conformitatea echipamentelor radio cu cerințele de securitate cibernetică (7.9).

6.1.3.9.11. Asocierea greșită a nodurilor cu stâlpii și aparatele

Ce se întâmplă. La montaj, seria controlerului nu este înregistrată corect în dreptul stâlpului și al aparatului din inventarul GIS.

Consecința. Alarmele indică alt stâlp decât cel defect, echipele de intervenție se deplasează greșit, iar comenzile de grup se aplică altor aparate decât celor vizate.

Cum se previne. Asocierea se face în teren, prin scanarea codului controlerului și înregistrarea coordonatelor, și se verifică prin comenzi individuale la punerea în funcțiune.

6.1.3.9.12. Lipsa documentației de rețea la predare

Ce se întâmplă. Instalația este predată fără harta legăturilor, configurația gateway-urilor și rezultatele măsurătorilor.

Consecința. Operatorul nu poate diagnostica degradările și nu poate planifica extinderi; orice modificare devine dependentă de executantul inițial.

Cum se previne. Documentația de rețea se predă odată cu instalația și se actualizează la fiecare intervenție sau extindere.

6.1.3.9.13. Combinarea echipamentelor fără interoperabilitate verificată

Ce se întâmplă. Nodurile, gateway-urile și platforma provin de la furnizori diferiți, fără verificarea compatibilității funcționale.

Consecința. Unele funcții nu sunt disponibile, datele sunt interpretate diferit, iar actualizările unui echipament pot afecta funcționarea celorlalte.

Cum se previne. Interoperabilitatea se verifică prin teste funcționale pe întregul lanț și prin utilizarea interfețelor standardizate, tratate în subcapitolul 7.10.

Concluzii

Rețeaua de comunicații livrează mesajele între punctele luminoase și platforma centrală; calitatea ei determină cât de bine poate fi administrată instalația, nu dacă aceasta luminează. Soluțiile de rețea prezentate – mesh în 2,4 GHz cu gateway, LoRaWAN, celular direct și PLC – sunt cele mai întâlnite în telegestiunea iluminatului public, atât la nivel internațional, cât și în România.

Pentru instalațiile cu control individual al aparatelor, rețeaua mesh în 2,4 GHz oferă cel mai bun echilibru între performanță, autonomie și costuri, iar gateway-ul poate fi amplasat în punctul de aprindere sau integrat într-un controler montat pe aparat, în funcție de configurația zonei. Subcapitolul 6.1.4 analizează în detaliu gateway-ul – echipamentul care leagă rețeaua de acces de rețeaua de transport și asigură agregarea datelor, conversia protocoalelor și continuitatea funcționării.

6.1.4. Gateway-ul / concentratorul de date

Introducere

Între miile de noduri de la aparatele de iluminat și platforma centrală se află un echipament care adună datele, le traduce, le păstrează atunci când legătura lipsește și poate lua singur decizii pentru zona pe care o deservește: gateway-ul, numit și concentrator de date. El reprezintă al patrulea nivel al modelului arhitectural de referință.

Subcapitolul prezintă rolul și structura gateway-ului, funcțiile sale, logica locală de comandă, integrarea în punctul de aprindere – cu măsurarea energiei și raportarea –, funcționalitățile software, cerințele privind mediul de instalare, formele constructive întâlnite în practică, comportarea la pierderea legăturii, dimensionarea și punerea în funcțiune. Soluțiile descrise sunt cele mai răspândite în telegestiunea iluminatului public, atât la nivel internațional, cât și în România.

Rețelele prin care gateway-ul comunică au fost prezentate în subcapitolul 6.1.3, protocoalele de aplicație sunt tratate în 7.3, algoritmii de control adaptiv în 7.7, iar automatizarea electrică a punctelor de aprindere în 6.6.

6.1.4.1. Rolul și poziționarea Nivelului 4

Gateway-ul face legătura dintre rețeaua de acces, care ajunge la fiecare punct luminos, și rețeaua de transport, care duce datele la platforma centrală (figura 6.11). În sens descendent primește de la platformă comenzi, programe, reguli și actualizări și le distribuie nodurilor; în sens ascendent colectează de la noduri stări, măsurători și alarme, le prelucrează și le transmite platformei.

Figura 6.11 – Poziția gateway-ului în arhitectura de referință

Denumirea de **concentrator** vine din faptul că un singur echipament deservește un număr mare de puncte luminoase. În loc ca platforma să comunice separat cu fiecare aparat, gateway-ul concentrează comunicația locală și transmite informația agregată. De exemplu, un gateway care deservește patru străzi cu 35, 42, 28 și 51 de aparate administrează 156 de puncte luminoase printr-o singură conexiune cu platforma.

Rolul gateway-ului nu se reduce la transmiterea datelor. Într-un sistem modern, el administrează rețeaua de acces, păstrează datele pe durata întreruperilor, execută reguli locale, se integrează cu echipamentele din punctul de aprindere și asigură continuitatea funcționării zonei atunci când platforma nu este disponibilă.

6.1.4.2. Termeni tehnici utilizați

Tabelul 6.8 explică termenii și acronimele utilizate în acest subcapitol. Termenii prezentați deja în subcapitolul 6.1.3 (mesh, rețea de acces, rețea de transport, eSIM, OTA, VPN/TLS, store-and-forward) nu mai sunt reluați.

Termen	Denumire completă	Explicație
Concentrator de date	–	Denumire alternativă a gateway-ului, care subliniază funcția de a reuni datele unui număr mare de noduri și de a le transmite agregat.
Edge computing	prelucrare la marginea rețelei	Prelucrarea datelor și luarea deciziilor direct în echipamentele din teren – gateway sau controler –, în loc de a trimite toate datele în platforma centrală și de a aștepta răspunsul.
Regulă locală	–	Instrucțiune de tipul „dacă apare evenimentul X, execută acțiunea Y”, memorată și executată de gateway fără intervenția platformei.
Memorie tampon (buffer)	–	Zona de memorie în care gateway-ul păstrează temporar datele și evenimentele până la transmiterea lor către platformă.
Jurnal de evenimente (log)	–	Înregistrarea cronologică a evenimentelor, comenzilor, alarmelor și operațiilor efectuate de gateway, utilizată pentru diagnostic și trasabilitate.
Watchdog	supraveghetor de funcționare	Circuit sau program care repornește automat echipamentul dacă acesta nu mai răspunde, pentru a evita blocarea permanentă.
NTP	Network Time Protocol	Protocol prin care un echipament își sincronizează ceasul cu servere de timp din rețea.
GNSS	Global Navigation Satellite System	Sisteme de navigație prin satelit (GPS, Galileo etc.) care furnizează, pe lângă poziție, un semnal de timp precis.
RTC	Real-Time Clock – ceas de timp real	Ceasul intern al echipamentului, alimentat de o baterie sau un condensator, care păstrează ora și în lipsa alimentării.
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport	Protocol de mesagerie ușor, standardizat de OASIS, în care echipamentele publică mesaje pe „subiecte”, iar aplicațiile interesate se abonează la acestea. Este foarte utilizat între gateway și platformă.
HTTPS / REST API	HTTP securizat / interfață de programare REST	Mod standard prin care două aplicații schimbă date prin internet, pe un canal criptat. Interfața API permite platformei sau altor sisteme să citească date și să trimită comenzi.
APN privat	Access Point Name	Punct de acces configurat de operatorul mobil prin care echipamentele cu SIM comunică într-o rețea separată de internetul public, accesibilă doar beneficiarului.

Termen	Denumire completă	Explicație
Dual SIM	–	Echipament cu două cartele sau profiluri de operator; dacă o rețea mobilă devine indisponibilă, comunicația trece automat pe cealaltă.
Border router	router de frontieră	Denumirea funcției de gateway în rețelele mesh bazate pe IP (de exemplu Wi-SUN): echipamentul care leagă rețeaua mesh de rețeaua IP exterioară.
Packet forwarder	retransmițător de pachete	Programul unui gateway LoRaWAN care preia mesajele radio și le trimite, neinterpretate, către network server.
RS-485	–	Standard de legătură electrică pe cablu, robust la perturbații, utilizat pentru conectarea contoarelor și a echipamentelor industriale pe distanțe de până la ordinul sutelor de metri.
Modbus RTU	–	Protocol de comunicație industrial simplu, utilizat frecvent pe RS-485 pentru citirea contoarelor și a altor echipamente.
M-Bus	Meter-Bus	Magistrală standardizată (seria EN 13757) pentru citirea de la distanță a contoarelor.
DLMS/COSEM	Device Language Message Specification	Set de standarde (seria IEC 62056) pentru schimbul de date cu contoarele de energie electrică inteligente.
Intrare / ieșire digitală (DI/DO)	–	Contact prin care gateway-ul citește o stare (ușă deschisă, protecție declanșată) sau comandă un echipament (contactor).
Last gasp	„ultima suflare”	Mesaj de avarie transmis de echipament în momentul pierderii alimentării, folosind energia stocată într-un condensator sau acumulator.
SPD	Surge Protective Device – dispozitiv de protecție la supratensiuni	Dispozitiv care limitează supratensiunile tranzitorii provenite din descărcări atmosferice sau comutații în rețea.
Container software	–	Mod de rulare izolată a aplicațiilor pe gateway, astfel încât o aplicație să poată fi actualizată sau oprită fără a le afecta pe celelalte.

Tabelul 6.8 – Termeni și acronime

6.1.4.3. Structura funcțională a gateway-ului

Indiferent de producător și de forma constructivă, un gateway poate fi descris prin blocurile funcționale din figura 6.12 și tabelul 6.9. La unele echipamente mai multe funcții sunt reunite în același circuit, iar altele – de exemplu intrările și ieșirile pentru punctul de aprindere – pot lipsi.

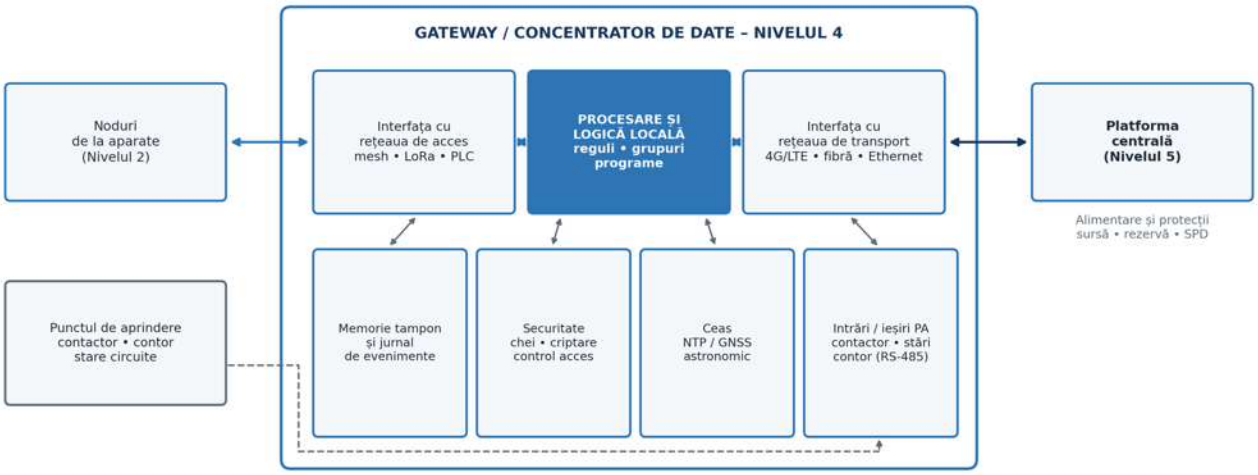


Figura 6.12 – Structura funcțională a gateway-ului

Bloc	Rol funcțional
Interfața cu rețeaua de acces	Modulul radio (mesh, LoRa) sau PLC prin care gateway-ul comunică cu nodurile; administrează înrolarea, adresarea și rutarea.
Procesare și logică locală	Procesorul și aplicațiile care convertesc protocoalele, execută regulile locale, programele și scenariile și supraveghează funcționarea.
Interfața cu rețeaua de transport	Modemul celular (4G/LTE, 5G), interfața Ethernet sau de fibră optică prin care se ajunge la platformă.
Memorie tampon și jurnal	Păstrează datele, alarmele și evenimentele pe durata întreruperilor și istoricul operațiilor.
Securitate	Păstrează cheile criptografice, criptează comunicația, autentifică nodurile și utilizatorii și controlează accesul.
Ceas	Menține ora exactă prin NTP, GNSS și ceasul intern; calculează orele de răsărit și apus pentru programele astronomice.
Intrări / ieșiri pentru punctul de aprindere	Comandă contactoarele, citește stările (ușă, protecții, prezența fazelor) și contorul de energie prin RS-485.
Alimentare și protecții	Sursa de alimentare, eventuala rezervă de energie și protecțiile la supratensiuni pentru alimentare, antene și cabluri de date.

Tabelul 6.9 – Blocurile funcționale ale gateway-ului

Figura 6.13 – Ansamblu de telegestiune: aparate cu controlere, gateway montat pe aparat și platformă accesibilă de pe calculator, tabletă și telefon

6.1.4.4. Funcțiile gateway-ului

6.1.4.4.1. Concentrarea datelor

Gateway-ul colectează periodic sau la eveniment datele de la toate nodurile din zona sa și le transmite platformei grupat, la intervalele stabilite. Agregarea reduce volumul de trafic pe rețeaua de transport, costul comunicației și încărcarea platformei. Alarmele se transmit imediat, fără a aștepta intervalul de raportare.

6.1.4.4.2. Conversia protocoalelor

Rețeaua de acces și rețeaua de transport folosesc protocoale diferite: pe rețeaua de acces mesajele sunt scurte și optimizate pentru radio sau PLC, iar pe rețeaua de transport datele circulă prin protocoale IP precum MQTT sau HTTPS. Gateway-ul traduce mesajele dintr-un format în celălalt, fără a le modifica semnificația. Interoperabilitatea la nivel de platformă, inclusiv prin specificația TALQ, este tratată în subcapitolele 7.3.3 și 7.10.2.

6.1.4.4.3. Administrarea rețelei de acces

În rețelele mesh și PLC, gateway-ul coordonează rețeaua de acces: acceptă sau refuză înrolarea nodurilor noi, distribuie cheile de criptare, stabilește și actualizează traseele, supraveghează calitatea legăturilor și semnalează nodurile care nu mai răspund. Harta rețelei – ce nod comunică prin ce vecin și cu ce calitate – este una dintre cele mai utile informații pentru diagnostic.

6.1.4.4.4. Continuitatea funcționării

Atunci când legătura cu platforma se întrerupe, gateway-ul continuă să comunice cu nodurile, execută programele și regulile locale, memorează datele și evenimentele cu marcă temporală și le retransmite automat, în ordine cronologică, după restabilirea legăturii (figura 6.14). Sincronizarea timpului este esențială: ceasul se menține prin NTP când există conexiune, prin GNSS dacă echipamentul are receptor și prin ceasul intern pe durata întreruperilor.

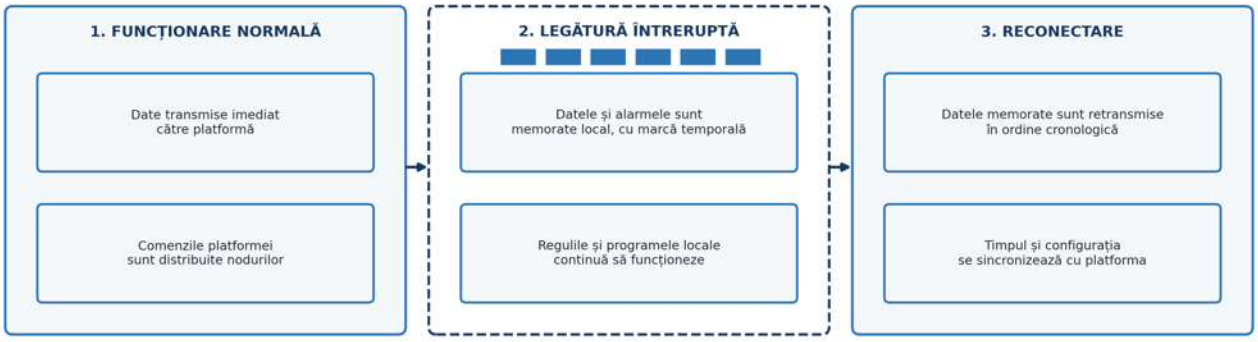


Figura 6.14 – Stocarea și retransmiterea datelor la întreruperea legăturii cu platforma

6.1.4.4.5. Securitatea

Gateway-ul este punctul prin care rețeaua de acces se deschide spre exterior și, prin urmare, o țintă importantă. El autentifică nodurile și platforma, criptează comunicația pe ambele segmente, restricționează accesul local și de la distanță pe bază de roluri, înregistrează în jurnal operațiile efectuate și acceptă numai firmware semnat. Pentru echipamentele radio se aplică cerințele de securitate cibernetică din legislația europeană privind echipamentele radio; pentru mediul industrial este utilizată ca referință seria de standarde IEC 62443. Subiectul este detaliat în subcapitolul 7.9.

6.1.4.4.6. Diagnosticul și administrarea de la distanță

Operatorul trebuie să poată verifica de la distanță starea gateway-ului și a rețelei fără deplasare în teren: starea conexiunilor, calitatea semnalului, încărcarea memoriei, temperatura internă, numărul de reporniri, harta rețelei de acces și jurnalul de evenimente. Tot de la distanță se modifică configurația, se actualizează firmware-ul și se repornește echipamentul.

6.1.4.4.7. Datele colectate și comenzile transmise

Parametru	Unitate / exemplu	Sursă
Starea aparatului	aprins / stins	nod
Nivelul de dimare comandat și raportat	0–100 %	nod, driver
Putere instantanee, tensiune, curent, factor de putere	W, V, A, cos φ	nod (dacă măsoară), contor PA
Energie consumată	kWh	nod, contor PA
Ore de funcționare, număr de comutări	h, cicluri	nod, driver
Temperatură	°C	nod, driver, gateway
Defecte	lampă, driver, controler	nod, driver
Starea comunicației	conectat / neconectat, calitatea legăturii	gateway
Alarme electrice	supratensiune, subtensiune, lipsă fază	nod, contor, intrări PA
Starea punctului de aprindere	contactor, ușă, protecții	intrări digitale PA
Date de la senzori	prezență, trafic, lumină ambientală, meteo	senzori conectați

Tabelul 6.10 – Date colectate de gateway

Comenzile transmise de gateway către noduri sunt: aprindere și stingere; dimare la un anumit nivel; activarea unui program sau a unei scene; modificarea parametrilor de funcționare; repornirea controlerului; comenzi individuale, pe grup, pe stradă sau pe zonă. De exemplu, la comanda platformei „nivel 60 % pentru grupul Strada A”, gateway-ul transmite comanda nodurilor grupului și confirmă platformei, pentru fiecare nod, aplicarea valorii.

6.1.4.5. Logica locală (edge computing)

6.1.4.5.1. De ce este necesară logica locală

Într-o arhitectură în care toate deciziile se iau în platforma centrală, fiecare eveniment din teren parcurge drumul complet: nod – gateway – rețea de transport – platformă – și înapoi. Logica locală mută o parte din decizii în gateway, cât mai aproape de locul în care apar evenimentele. Avantajele sunt:

- **timp de reacție scurt** – aparatele răspund la un eveniment local fără întârzierea drumului dus-întors până la platformă;
- **funcționare autonomă** – regulile se execută și atunci când rețeaua de transport sau platforma sunt indisponibile;
- **trafic de date redus** – se transmit rezultate și rezumate, nu fiecare eveniment brut, ceea ce reduce costurile de comunicație;
- **protecția datelor** – datele senzorilor pot fi prelucrate local, iar platformei îi sunt transmise doar informații agregate, fără date personale;
- **descărcarea platformei** – platforma se ocupă de coordonare, analiză și raportare, nu de fiecare decizie elementară.

6.1.4.5.2. Ce poate decide gateway-ul

Logica locală a gateway-ului completează logica nodului (6.1.2): nodul decide pentru propriul aparat, iar gateway-ul decide pentru grupuri de aparate și pentru zona deservită. Funcțiile uzuale sunt:

- **programe calendaristice și astronomice** – calculul orelor de aprindere și stingere după coordonatele zonei, cu corecții și excepții (sărbători, evenimente);
- **grupuri și scene** – aplicarea simultană a unui nivel sau a unui profil de dimare pentru o stradă, o intersecție sau o zonă;
- **reguli eveniment – acțiune** – reacția automată la un semnal de la senzori, de la intrările punctului de aprindere sau de la noduri;
- **corelarea alarmelor** – recunoașterea cauzei comune a mai multor alarme (de exemplu, lipsa tensiunii pe un circuit) și transmiterea unei singure alarme relevante;
- **filtrarea și agregarea datelor** – eliminarea valorilor aberante, calculul mediilor, al consumurilor și al orelor de funcționare;
- **protecții** – limitarea sau blocarea comenzilor în condiții anormale (tensiune în afara limitelor, temperatură excesivă).

6.1.4.5.3. Scenarii de logică locală

Figura 6.15 ilustrează unul dintre cele mai întâlnite scenarii: iluminatul adaptiv la prezență, în care detecția unui pieton sau vehicul determină creșterea nivelului de iluminare pe porțiunea de stradă din direcția de deplasare. Tabelul 6.11 prezintă și alte scenarii utilizate în practică.

Figura 6.15 – Exemplu de regulă locală: aprinderea în avans a aparatelor la detecția prezenței

Scenariu	Informația de intrare	Regula locală	Rezultatul
Stradă cu trafic redus pe timp de noapte	senzori de prezență pe stâlpi	la detecție, următorii stâlpi din direcția de deplasare trec la nivel ridicat pentru un timp stabilit, apoi revin treptat	iluminare la cerere, economie de energie în restul timpului
Trecere de pietoni	senzor dedicat de prezență sau radar	la apropierea pietonului, aparatele trecerii trec la nivelul maxim prevăzut de proiect	vizibilitate sporită a pietonului (3.4)
Trafic variabil	numărător de trafic	la scăderea debitului sub pragul stabilit, zona trece la clasa de iluminat inferioară, conform proiectului	adaptarea clasei de iluminat la condițiile reale (CEN/TR 13201-1)
Condiții meteo	senzor de ploaie, ceață sau vizibilitate, date meteo	la reducerea vizibilității, nivelul de iluminare revine la valoarea nominală	siguranță în condiții nefavorabile
Lumină ambientală	senzor de iluminare	aprinderea și stingerea se corectează față de ceasul astronomic în zilele întunecate	evitarea întunericului la înnorări puternice
Eveniment sau urgență	intrare digitală, comandă locală autorizată	activarea unei scene predefinite pentru zonă	răspuns imediat, independent de platformă
Lipsa tensiunii pe un circuit	intrări PA, contor, noduri neconectate	se transmite o singură alarmă de circuit, iar alarmele individuale ale nodurilor sunt suprimate	diagnostic clar, fără avalanșă de alarme
Aparat defect	alarmă de la nod sau driver	unde proiectul permite, aparatele vecine cresc temporar nivelul; se generează ordin de mentenanță	compensarea parțială a zonei neluminate
Consum anormal	contorul PA comparat cu suma consumurilor nodurilor	diferența peste prag generează alarmă	detectarea consumatorilor neautorizați sau a pierderilor

Tabelul 6.11 – Scenarii de logică locală în gateway

6.1.4.5.4. Prioritatea regulilor

În același moment pot fi active mai multe reguli pentru aceleași aparate: un program astronomic, o regulă de trafic, o detecție de prezență și o comandă din dispecerat. Gateway-ul aplică o ierarhie stabilită prin proiect, de regulă în ordinea: protecție și siguranță; urgență sau intervenție autorizată din dispecerat; reguli de eveniment (senzori); reguli de adaptare (trafic, meteo); program calendaristic sau astronomic; valoare de

rezervă. Ierarhia trebuie să fie identică cu cea aplicată de noduri (6.1.2, secțiunea 6), iar fiecare comandă temporară are durată și regulă de expirare.

6.1.4.5.5. Limitele logicii locale

Logica locală aduce autonomie, dar introduce și responsabilități. Regulile trebuie să aibă versiune, să fie sincronizate între gateway și platformă și testate înainte de activare, pentru a evita conflictele dintre reguli. Resursele de procesare și memorie ale gateway-ului sunt limitate, iar algoritmii complecși de analiză și prognoză rămân în platformă (7.7). Operatorul trebuie să poată vedea în orice moment ce regulă a determinat nivelul actual al fiecărui aparat.

Figura 6.16 – Configurarea unei reguli de logică locală în platformă: condiția, acțiunea și prioritatea

6.1.4.6. Gateway-ul în punctul de aprindere

Cea mai întâlnită formă a gateway-ului în iluminatul public este echipamentul industrial montat în punctul de aprindere, unde are acces la alimentarea permanentă, la contor și la echipamentele de comandă ale circuitelor (figura 6.17).

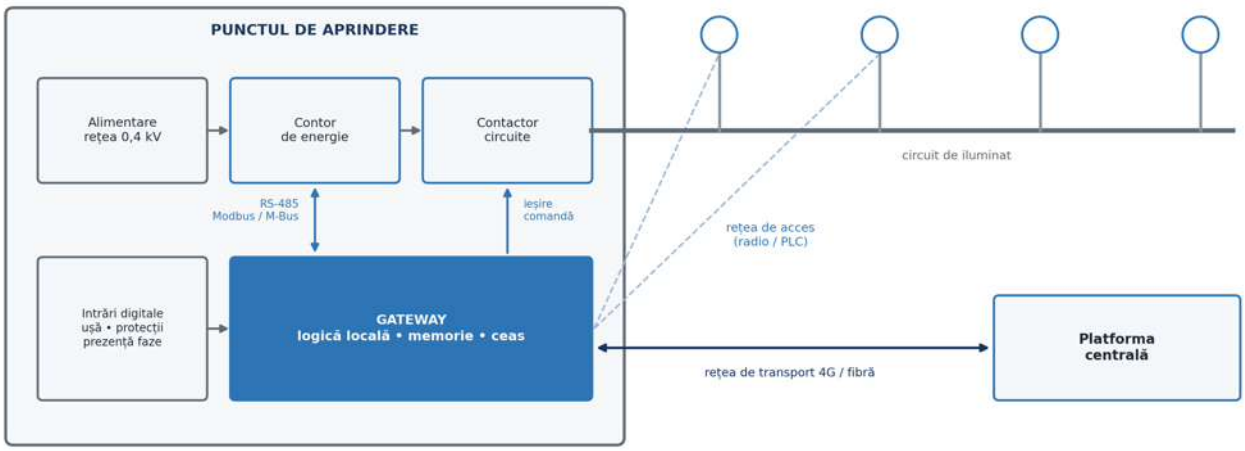


Figura 6.17 – Integrarea gateway-ului în punctul de aprindere

6.1.4.6.1. Comanda și controlul local al punctului de aprindere

Prin ieșiri digitale, gateway-ul comandă contactoarele circuitelor de iluminat după programele și regulile locale sau la comanda platformei. Prin intrări digitale citește starea contactoarelor, a întrerupătoarelor și siguranțelor, deschiderea ușii dulapului și prezența tensiunii pe faze. Astfel, gateway-ul poate diferenția un aparat defect de un circuit fără tensiune, o protecție declanșată de o întrerupere a rețelei de distribuție și poate semnala accesul neautorizat în dulap.

În instalațiile fără noduri la aparate, gateway-ul din punctul de aprindere asigură comanda și dimarea la nivel de circuit (7.2). În instalațiile cu noduri, cele două niveluri de comandă se coordonează: contactorul alimentează circuitul, iar nodurile reglează fiecare aparat. Arhitectura electrică a punctului de aprindere, protecțiile și redundanța sunt tratate în subcapitolul 6.6.

6.1.4.6.2. Integrarea cu măsurarea energiei și raportarea

Gateway-ul citește contorul de energie din punctul de aprindere prin RS-485, cu protocoale precum Modbus RTU, M-Bus sau DLMS/COSEM. Se preiau, de regulă, energia activă și reactivă, puterile, tensiunile și curenții pe faze și factorul de putere. Pentru decontarea energiei se utilizează contoare verificate metrologic, conforme cu Directiva 2014/32/UE privind mijloacele de măsurare; măsurările nodurilor servesc monitorizării și diagnosticului.

Combinând datele contorului cu cele ale nodurilor, gateway-ul și platforma pot realiza un bilanț energetic al punctului de aprindere: consumul măsurat la contor se compară cu suma consumurilor raportate de noduri și cu consumul teoretic, calculat din puterea instalată, orele de funcționare și profilul de dimare. Diferențele semnificative indică pierderi în rețea, consumatori racordați neautorizat, aparate aprinse pe timp de zi sau erori de configurare.

Pe baza acestor date se generează rapoarte zilnice, lunare și anuale pe punct de aprindere, circuit și zonă: energie consumată, ore de funcționare, economii față de funcționarea fără dimare, emisii de CO_2 evitate, precum și indicatorii de performanță energetică definiți de SR EN 13201-5 – densitatea de putere (PDI) și consumul anual de energie raportat la suprafață (AECI). Cerințele legislative privind contorizarea și raportarea sunt prezentate în subcapitolele 6.6.5 și 6.6.6.

6.1.4.6.3. Funcționalitățile software

Funcționalitate	Descriere
Sistem de operare și aplicații	Sistem de operare industrial, de regulă bazat pe Linux, cu aplicații izolate (containere) care pot fi actualizate independent.
Configurare	Interfață web locală și configurare de la distanță din platformă; salvarea și restaurarea configurației.
Motor de reguli	Editarea, validarea, versionarea și executarea regulilor locale, programelor și scenelor.
Comunicație cu platforma	Protocoale MQTT sau HTTPS/REST, cu criptare, confirmare de livrare și memorie tampon.
Administrarea rețelei de acces	Înrolarea nodurilor, harta rețelei, calitatea legăturilor, gestiunea cheilor.
Jurnal și diagnostic	Jurnal de evenimente, indicatori de funcționare, instrumente de testare a nodurilor și a legăturilor.
Actualizări	Actualizarea firmware-ului gateway-ului și al nodurilor de la distanță, cu verificarea semnăturii și revenire automată la versiunea anterioară în caz de eșec.
Supraveghere	Watchdog hardware și software, repornire automată, supravegherea temperaturii, a memoriei și a alimentării.
Utilizatori și acces	Conturi pe roluri, parole individuale, înregistrarea accesului și a operațiilor.
Timp	Sincronizare NTP/GNSS, ceas intern, calcul astronomic, gestionarea orei de vară.

Tabelul 6.12 – Funcționalități software ale gateway-ului

6.1.4.6.4. Cerințe privind mediul de instalare și exploatare

Gateway-ul din punctul de aprindere funcționează ani la rând într-un dulap exterior, expus variațiilor de temperatură, umidității, supratensiunilor și, uneori, vandalismului. Aspectele care trebuie avute în vedere sunt:

- **temperatura** – interiorul unui dulap expus la soare poate depăși semnificativ temperatura aerului vara, iar iarna poate coborî sub limitele echipamentelor comerciale; se aleg echipamente cu domeniu de temperatură industrial și se asigură ventilarea sau încălzirea dulapului;

- **umiditatea și condensul** – variațiile de temperatură produc condens; se utilizează dulapuri cu grad de protecție adecvat (SR EN 60529), garnituri în stare bună, orificii de aerisire protejate și, după caz, rezistențe anticondens;
- **supratensiunile** – descărcările atmosferice și comutațiile din rețea afectează alimentarea, antenele și cablurile de date; se prevăd dispozitive de protecție la supratensiuni (SR EN 61643-11) pe toate căile de intrare;
- **compatibilitatea electromagnetică** – în apropierea contactoarelor și a rețelei de distribuție se aleg echipamente conforme pentru mediul industrial (SR EN 61000-6-2 și SR EN 61000-6-4);
- **alimentarea** – gateway-ul se alimentează înaintea contactoarelor, pentru a funcționa permanent; o rezervă de energie permite transmiterea mesajului de avarie la pierderea alimentării (last gasp);
- **antena** – se montează în exteriorul dulapului metalic, la înălțime, cu cablu coaxial scurt și protecție la supratensiuni;
- **montajul și accesul** – montaj pe șină DIN, spațiu pentru ventilație și cabluri, etichetare, acces facil pentru mentenanță, dulap încuiat și, după caz, rezistent la impact (SR EN 62262);
- **ansamblul electric** – dulapul punctului de aprindere, ca ansamblu de aparataj de joasă tensiune, respectă seria SR EN 61439 (6.6).

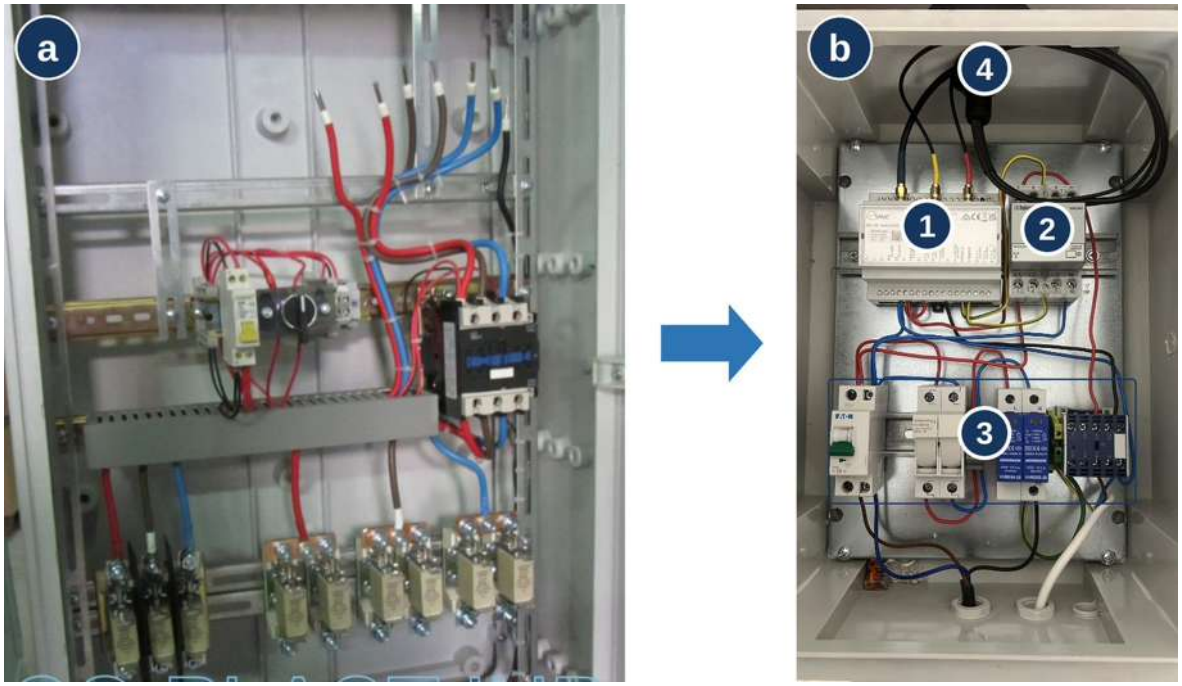


Figura 6.18 – Dulap de punct de aprindere (a) în varianta clasică, cu contactor și siguranțe, și (b) după modernizare: 1 – gateway, cu cablurile coaxiale spre antenă; 2 – contor de energie; 3 – aparataj de protecție și comutație; 4 – trecerea cablurilor spre antena exterioară

6.1.4.7. Forme constructive ale gateway-ului

Funcția de Nivel 4 poate fi realizată prin mai multe forme constructive, prezentate în figura 6.19 și tabelul 6.13. Variantele pentru rețelele mesh au fost comparate în subcapitolul 6.1.3.5.

Figura 6.19 – Forme constructive ale gateway-ului

Formă constructivă	Caracteristici	Utilizare potrivită
Gateway în punctul de aprindere	echipament industrial pe șină DIN; alimentare permanentă; integrare cu contactorul și contorul; capacitate mare	zonele cu punct de aprindere automatizat
Gateway radio pe stâlp	carcasă proprie, montată pe stâlp sau clădire, alimentată separat; poziție radio favorabilă	LoRaWAN, zone fără punct de aprindere adecvat, acoperire pe arii mari
Controler-gateway pe aparat (eSIM)	controler cu modem celular integrat, montat în soclul aparatului; alimentat din circuitul aparatului	zone fără punct de aprindere adecvat, extinderi, instalații mici
Controler-coordonator	controler care organizează nodurile din zonă, fără legătură proprie cu platforma	extinderea acoperirii și a capacității unei rețele mesh
Gateway „virtual” (în cloud)	funcțiile de Nivel 4 sunt realizate de un server (network server LoRaWAN, platformă IoT a operatorului)	LoRaWAN și celular direct

Tabelul 6.13 – Comparația formelor constructive

6.1.4.7.1. Gateway-ul „virtual”

În unele soluții, funcțiile de Nivel 4 nu se mai află într-un echipament din teren. În rețelele LoRaWAN, gateway-ul radio este de regulă un simplu retransmițător de pachete: primește mesajele nodurilor și le trimite neinterpretate către network server, aflat în cloud, care elimină duplicatele, administrează nodurile și cheile și livrează datele aplicației. În soluția celulară directă, rolul de concentrare este preluat de rețeaua operatorului și de platforma IoT.

Consecința principală privește continuitatea: dacă legătura cu serverul se întrerupe, în teren nu mai există un echipament care să coordoneze zona, să păstreze datele sau să execute reguli de grup. Autonomia depinde exclusiv de logica memorată în fiecare nod. Unele gateway-uri LoRaWAN pot rula local un network server și reguli proprii, recăpătând astfel o parte din funcțiile unui gateway clasic.

6.1.4.8. Funcționarea la pierderea legăturii și în situații anormale

Comportarea gateway-ului în situații anormale se definește prin proiect, se configurează și se testează la punerea în funcțiune. Tabelul 6.14 prezintă comportarea recomandată.

Situație	Reacția locală	Informația raportată
Rețeaua de transport este întreruptă	continuă administrarea rețelei de acces și regulile locale; memorează datele; încearcă periodic reconectarea; trece pe legătura de rezervă, dacă există	durata întreruperii, volumul de date memorate
Platforma nu răspunde, legătura există	memorează datele și continuă regulile locale	eveniment de indisponibilitate a platformei

Situație	Reacția locală	Informația raportată
Memoria tampon se apropie de limită	păstrează prioritar alarmele și datele de energie; agregă măsurătorile de detaliu	alarmă de memorie
Gateway-ul pierde alimentarea	transmite mesajul de avarie, dacă are rezervă de energie; nodurile continuă programul local	cădere de alimentare (last gasp)
Alimentarea revine	pornește în stare sigură, verifică ora, încarcă configurația validă, reconectează nodurile eșalonat	cauza și numărul repornirilor
Ceasul nu poate fi sincronizat	folosește ceasul intern, apoi GNSS; nu distribuie programe cu oră incertă	timp nesincronizat
Un nod nu răspunde	reîncercări limitate; marchează nodul neconectat	alarmă de nod
Contorul nu răspunde	continuă funcțiile de iluminat	alarmă distinctă de comunicație cu contorul
Actualizarea firmware-ului eșuează	revine automat la versiunea anterioară	rezultatul actualizării și versiunea activă

Tabelul 6.14 – Comportarea recomandată a gateway-ului în situații anormale

O întrerupere a comunicației nu trebuie să producă, prin ea însăși, stingerea necontrolată a iluminatului sau pierderea datelor de energie. După reconectare, gateway-ul reconciliază starea locală cu starea dorită de platformă și nu reaplică comenzile expirate.

6.1.4.9. Dimensionarea gateway-ului

Dimensionarea stabilește câte gateway-uri sunt necesare, unde se amplasează și ce resurse trebuie să aibă. Elementele de calcul sunt:

- **numărul de noduri** – se pornește de la capacitatea declarată, redusă cu o rezervă pentru extinderi și pentru vârfurile de trafic; în practică se lasă de regulă o rezervă de ordinul a 20–30 %;
- **acoperirea** – numărul și poziția gateway-urilor rezultă din măsurătorile de teren, cu suprapunerea zonelor acolo unde continuitatea este importantă (6.1.3.8);
- **memoria tampon** – se dimensionează pentru numărul de zile de întrerupere acceptate de beneficiar, la frecvența de raportare stabilită;
- **rețeaua de transport** – volumul lunar de date trebuie să acopere raportările, alarmele și actualizările de firmware, cu rezervă;
- **redundanța** – pentru zonele importante se prevăd dual SIM, legături pe căi diferite (fibră și 4G) sau gateway-uri cu zone suprapuse;
- **alimentarea** – consumul gateway-ului, al modemului și al accesoriilor, rezerva de energie și protecțiile.

Exemplu de ordin de mărime. Un gateway cu 150 de noduri, fiecare raportând la 15 minute un mesaj de aproximativ 200 de octeți, generează 150 × 96 × 200 = 2,88 MB de date pe zi, adică aproximativ 86 MB pe lună, fără antetele de protocol și fără actualizări de firmware. O memorie tampon pentru 7 zile de întrerupere trebuie să poată păstra circa 20 MB de date utile. Valorile reale depind de protocol și de frecvența de raportare și se stabilesc pentru fiecare sistem.

6.1.4.10. Punerea în funcțiune și verificarea

Un gateway devine exploatabil numai după ce întregul lanț – platformă, rețea de transport, gateway, rețea de acces, noduri și, după caz, echipamentele punctului de aprindere – a fost verificat. Etapele sunt:

1. **Inventarierea** – seria, modelul, versiunile hardware și firmware, cartela SIM sau profilul eSIM, amplasamentul și coordonatele.
2. **Verificarea montajului** – alimentarea înaintea contactoarelor, protecțiile la supratensiuni, poziția și cablul antenei, ventilația, etichetarea.

3. **Conectarea la platformă** – înrolarea gateway-ului, verificarea canalului criptat, a sincronizării timpului și a calității semnalului.
4. **Securizarea** – schimbarea parolelor și cheilor implicite, dezactivarea serviciilor neutilizate, stabilirea rolurilor de acces.
5. **Înrolarea nodurilor** – verificarea apariției tuturor nodurilor proiectate și a hărții rețelei de acces.
6. **Integrarea punctului de aprindere** – verificarea comenzii contactoarelor, a intrărilor de stare și a citirii contorului, cu compararea valorilor citite cu afișajul contorului.
7. **Configurarea logicii locale** – grupuri, programe, scene, reguli și ierarhia priorităților.
8. **Testarea funcțională** – comenzi individuale și de grup, execuția regulilor locale, generarea alarmelor.
9. **Testarea continuității** – întreruperea controlată a rețelei de transport și a alimentării, verificarea stocării, a mesajului de avarie și a retransmiterii datelor.
10. **Închiderea punerii în funcțiune** – salvarea configurației finale și a rezultatelor testelor.

Domeniu	Verificare
Conectare	Gateway-ul comunică cu platforma pe canal criptat; ora este sincronizată.
Rețea de acces	Toate nodurile proiectate sunt înrolate; harta rețelei este disponibilă în platformă.
Comandă	Comenzile individuale, de grup și ale contactoarelor sunt executate și confirmate.
Energie	Valorile citite de la contor corespund afișajului acestuia; bilanțul energetic este calculat.
Logică locală	Regulile și scenele se execută conform ierarhiei stabilite și fără platformă.
Continuitate	La întreruperea controlată a legăturii datele sunt memorate și retransmise complet după reconectare.
Alimentare	La pierderea alimentării este transmis mesajul de avarie; la revenire gateway-ul repornește în stare sigură.
Securitate	Parolele și cheile implicite sunt înlocuite; accesul este pe roluri și înregistrat în jurnal.
Documentație	Se predau configurația, regulile, datele de conectare și rezultatele testelor.

Tabelul 6.15 – Verificări funcționale ale gateway-ului

6.1.4.11. Greșeli frecvente în proiectare și implementare

Gateway-ul concentrează funcțiile unei zone întregi, astfel încât o greșeală de proiectare sau de montaj afectează simultan zeci sau sute de puncte luminoase. Greșelile de mai jos sunt cele mai frecvente.

6.1.4.11.1. Alegerea gateway-ului numai după numărul maxim de noduri

Ce se întâmplă. Numărul de gateway-uri se calculează împărțind numărul de aparate la capacitatea maximă declarată de producător.

Consecința. Gateway-urile lucrează la limită, apar congestii la comenzi de grup, la revenirea tensiunii și la actualizări, iar orice extindere impune echipamente suplimentare neprevăzute.

Cum se previne. Se lasă rezervă de capacitate, iar numărul și poziția gateway-urilor se stabilesc pe baza măsurătorilor de acoperire.

6.1.4.11.2. Alimentarea gateway-ului după contactor

Ce se întâmplă. Gateway-ul este racordat pe circuitul comandat de contactor, la fel ca aparatele.

Consecința. Pe timpul zilei gateway-ul este oprit: nu raportează alarmele punctului de aprindere, nu poate comanda aprinderea și nu poate fi administrat de la distanță.

Cum se previne. Gateway-ul se alimentează înaintea contactoarelor, pe un circuit permanent protejat, cu rezervă de energie pentru mesajul de avarie.

6.1.4.11.3. Antenă montată în interiorul dulapului

Ce se întâmplă. Antena radio sau celulară rămâne în interiorul dulapului metalic ori este montată cu un cablu coaxial lung și neadecvat.

Consecința. Semnalul este puternic atenuat, zona deservită se reduce, iar legătura cu platforma devine instabilă, cu întreruperi intermitente greu de diagnosticat.

Cum se previne. Antena se montează în exterior, la înălțime, cu cablu scurt, de calitate corespunzătoare, și cu protecție la supratensiuni.

6.1.4.11.4. Neglijarea temperaturii și a condensului

Ce se întâmplă. Se montează echipamente cu domeniu de temperatură comercial în dulapuri expuse la soare, fără ventilare sau protecție anticondens.

Consecința. Apar reporniri în zilele caniculare, degradarea componentelor, oxidarea contactelor și defecte care se manifestă sezonier.

Cum se previne. Se aleg echipamente cu domeniu industrial, se verifică încălzirea dulapului, se asigură ventilarea și protecția anticondens.

6.1.4.11.5. Lipsa protecțiilor la supratensiuni pe toate căile

Ce se întâmplă. Se protejează doar alimentarea, nu și cablul antenei, liniile RS-485 sau cablurile de date.

Consecința. Descărcările atmosferice distrug modemul, interfața contorului sau gateway-ul în întregime, chiar dacă alimentarea era protejată.

Cum se previne. Se prevăd dispozitive de protecție coordonate pe alimentare, antene și toate liniile de date, cu legare la pământ corespunzătoare.

6.1.4.11.6. Memorie tampon insuficientă

Ce se întâmplă. Memoria tampon nu este dimensionată sau este configurată implicit pentru câteva ore.

Consecința. La întreruperi mai lungi se pierd datele de energie și alarmele, rapoartele au goluri, iar bilanțul energetic nu mai poate fi calculat.

Cum se previne. Memoria tampon se dimensionează pentru durata de întrerupere acceptată și se configurează prioritatea datelor: alarme și energie mai întâi.

6.1.4.11.7. Reguli locale netestate sau nesincronizate

Ce se întâmplă. Regulile sunt modificate direct în gateway sau în platformă fără versiune și fără testare, iar cele două ajung să aibă reguli diferite.

Consecința. Aparatele primesc comenzi contradictorii, nivelurile de iluminare nu corespund proiectului, iar operatorul nu poate stabili ce regulă este activă.

Cum se previne. Regulile se gestionează centralizat, cu versiune, se testează înainte de activare, iar platforma afișează pentru fiecare aparat sursa comenzii active.

6.1.4.11.8. Sincronizarea timpului neasigurată

Ce se întâmplă. Gateway-ul nu are acces la un server de timp sau fus orar și ora de vară nu sunt configurate corect.

Consecința. Programele astronomice se decalează, aparatele sunt în fucțiune prea târziu sau se opresc din funcționare prea devreme, iar marcajele temporale ale alarmelor și ale datelor de energie sunt greșite.

Cum se previne. Se configurează NTP și, după caz, GNSS, fusul orar și ora de vară și se verifică ora la punerea în funcțiune și în exploatare.

6.1.4.11.9. Integrarea contorului neverificată

Ce se întâmplă. Adresele, registrele, factorii de scalare sau unitățile de măsură ale contorului sunt configurate din documentație, fără verificare.

Consecința. Rapoartele de energie sunt eronate – de exemplu, valori de o mie de ori mai mari sau mai mici –, iar bilanțul energetic și indicatorii de performanță nu mai au valoare.

Cum se previne. Valorile citite de gateway se compară la punerea în funcțiune cu afișajul contorului și se documentează configurația citirii.

6.1.4.11.10. Securitate lăsată la valorile implicite

Ce se întâmplă. Gateway-ul rămâne cu parola implicită, cu interfața web accesibilă din internet sau cu servicii de administrare neutilizate active.

Consecința. Gateway-ul poate fi preluat de persoane neautorizate, iar prin el întreaga zonă de iluminat poate fi comandată sau scoasă din funcțiune.

Cum se previne. Se schimbă parolele și cheile implicite, se folosește APN privat sau VPN, se dezactivează serviciile neutilizate și se activează jurnalizarea accesului.

6.1.4.11.11. Actualizări de firmware fără revenire

Ce se întâmplă. Actualizările se aplică pe toate gateway-urile simultan, fără verificare și fără posibilitatea revenirii la versiunea anterioară.

Consecința. O versiune defectă blochează gateway-urile, iar recuperarea necesită deplasarea în teren la fiecare punct de aprindere.

Cum se previne. Se folosesc echipamente cu revenire automată, actualizările se testează pe un număr mic de gateway-uri și se extind etapizat.

6.1.4.11.12. Legătura de transport nesupravegheată

Ce se întâmplă. Se utilizează o singură cartelă SIM, fără supravegherea abonamentului, a traficului consumat sau a calității semnalului.

Consecința. Expirarea abonamentului, epuizarea traficului sau schimbările din rețeaua operatorului lasă zone întregi fără administrare, observate abia după zile.

Cum se previne. Se supraveghează în platformă starea legăturii și consumul de date, iar pentru zonele importante se prevede dual SIM sau o cale de transport alternativă.

6.1.4.11.13. Gateway-ul „virtual” tratat ca echivalent al celui din teren

Ce se întâmplă. Se consideră că o soluție cu network server în cloud oferă aceeași continuitate ca un gateway cu logică locală.

Consecința. La întreruperea internetului, zona nu mai are coordonare, reguli de grup sau memorie tampon, iar funcționarea depinde exclusiv de nodurile individuale.

Cum se previne. Se analizează explicit unde se află funcțiile de Nivel 4 și se verifică dacă nodurile au programe locale suficiente sau dacă este necesar un network server local.

6.1.4.11.14. Lipsa documentației de configurare

Ce se întâmplă. Nu se predau adresele, datele de conectare, configurația, regulile și schema de conexiuni a gateway-ului.

Consecința. Înlocuirea unui gateway defect sau modificarea unei reguli devine dependentă de executantul inițial, iar timpul de remediere crește.

Cum se previne. Se predau configurația salvată, regulile, datele de conectare și schema punctului de aprindere și se actualizează la fiecare intervenție.

Concluzii

Gateway-ul este nodul de coordonare al fiecărei zone de iluminat: concentrează datele, traduce protocoalele, administrează rețeaua de acces, păstrează informația pe durata întreruperilor și execută logica locală care permite reacții rapide și funcționare autonomă. Amplasat în punctul de aprindere, el integrează comanda circuitelor și măsurarea energiei, oferind baza pentru bilanțul și raportarea energetică.

Formele constructive – de la gateway-ul industrial din punctul de aprindere la controlerul-gateway montat pe aparat și la gateway-ul „virtual” din cloud – răspund unor situații diferite, dar au consecințe directe asupra continuității. Subcapitolul 6.1.5 prezintă platforma centrală de comandă și control, care coordonează gateway-urile, afișează starea instalației și transformă datele în informații pentru exploatare.

6.1.5. Platforma centrală de comandă și control

Introducere

Toate informațiile produse de drivere, noduri și gateway-uri ajung, în final, într-un singur loc: platforma centrală de comandă și control. Aici operatorul vede starea întregii instalații, transmite comenzi, stabilește programe de funcționare, primește alarme, organizează mentenanța și obține rapoarte privind consumul de energie. Platforma reprezintă al cincilea și ultimul nivel al modelului arhitectural de referință.

Subcapitolul prezintă rolul și arhitectura platformei, funcțiile acesteia, interfața cu operatorul, variantele de găzduire – în cloud, la beneficiar sau hibrid –, proprietatea și portabilitatea datelor, continuitatea funcționării, punerea în funcțiune și greșelile frecvente. Funcțiile descrise sunt cele întâlnite în platformele de telegestiune cele mai răspândite, atât la nivel internațional, cât și în România.

Sistemele de tip SCADA și criteriile de selecție a platformelor sunt aprofundate în subcapitolul 7.5, monitorizarea și diagnoza avansată în 7.8, integrarea în platformele urbane în 7.4, securitatea cibernetică în 7.9, interoperabilitatea în 7.10, iar aspectele economice în 7.11.

6.1.5.1. Rolul și poziționarea Nivelului 5

Platforma centrală se află deasupra gateway-urilor și a rețelelor de comunicații (figura 6.20). Ea nu comandă direct driverele și nu transportă mesajele, ci coordonează întregul sistem: stabilește ce trebuie să facă fiecare aparat, verifică dacă a făcut, păstrează istoricul și transformă datele în informații utile pentru exploatare, mentenanță și management.

Figura 6.20 – Poziția platformei centrale în arhitectura de referință

Rolul platformei poate fi rezumat în patru funcții de bază: **coordonarea** – programe, grupuri, reguli și comenzi pentru întreaga instalație; **vizualizarea** – starea fiecărui punct luminos pe hartă și în tablouri de bord; **gestionarea** – alarme, mentenanță, inventar și utilizatori; **analiza** – consum de energie, disponibilitate, performanță și rapoarte.

Platforma este unică pentru beneficiar, dar poate administra simultan echipamente și tehnologii de comunicație diferite – de exemplu, o rețea mesh într-un cartier și noduri celulare în puncte izolate. Ea devine astfel „sursa unică de adevăr” despre instalație: locul în care se află inventarul actualizat, configurația în vigoare și istoricul complet.

Ca și în cazul celorlalte niveluri, iluminatul nu trebuie să depindă de platformă pentru a funcționa. Dacă platforma devine indisponibilă, gateway-urile și nodurile continuă programele și regulile locale (6.1.2 și 6.1.4); se pierde temporar posibilitatea de administrare, nu iluminatul.

6.1.5.2. Termeni tehnici utilizați

Tabelul 6.16 explică termenii și acronimele utilizate în acest subcapitol. Termenii prezentați în subcapitolele 6.1.3 și 6.1.4 nu mai sunt reluați.

Termen	Denumire completă	Explicație
Platformă centrală	Central Management System (CMS)	Aplicația software prin care se administrează întregul sistem de telegestiune; în documentațiile producătorilor apare și ca CMS sau platformă de management.
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	Sistem de supraveghere, comandă și achiziție de date, utilizat tradițional în energetică și industrie; platformele de telegestiune preiau multe dintre funcțiile acestuia (7.5).
Cloud	–	Model în care aplicația și datele se află în centre de date ale unui furnizor, iar utilizatorii au acces prin internet.
SaaS	Software as a Service – software ca serviciu	Mod de furnizare în care beneficiarul nu cumpără și nu instalează aplicația, ci plătește un abonament pentru utilizarea ei, iar furnizorul se ocupă de servere, actualizări și copii de siguranță.
On-premise	găzduire locală	Aplicația este instalată pe serverele beneficiarului, în rețeaua acestuia, iar beneficiarul răspunde de funcționarea lor.
Hibrid	–	Combinație în care o parte din funcții rulează local, iar altele în cloud, cu sincronizarea datelor între ele.
Multi-tenant	–	Arhitectură în care aceeași instalare a platformei deservește mai mulți beneficiari, cu datele fiecăruia separate logic de ale celorlalți.
SLA	Service Level Agreement – acord privind nivelul serviciului	Angajamentul contractual al furnizorului privind disponibilitatea platformei, timpii de răspuns la incidente și modul de remediere.
Disponibilitate	–	Procentul din timp în care platforma funcționează. O disponibilitate de 99,9 % permite o indisponibilitate de aproximativ 8,8 ore pe an.
RPO	Recovery Point Objective	Cantitatea maximă de date, exprimată în timp, care poate fi pierdută la un incident major – de exemplu, datele din ultima oră.
RTO	Recovery Time Objective	Timpul maxim în care platforma trebuie repusă în funcțiune după un incident major.
Georedundanță	–	Păstrarea platformei și a datelor în cel puțin două centre de date aflate în locații geografice diferite, pentru continuitate la dezastre.
Backup	copie de siguranță	Copie periodică a datelor și a configurației, păstrată separat, din care sistemul poate fi restaurat.
GIS	Geographic Information System	Sistem informatic geografic care afișează și gestionează obiectele pe hartă, pe baza coordonatelor.
Tablou de bord (dashboard)	–	Ecran care prezintă sintetic indicatorii principali ai instalației: disponibilitate, alarme, consum, economii.
KPI	Key Performance Indicator – indicator-cheie de performanță	Valoare măsurabilă prin care se urmărește performanța instalației sau a serviciului, de exemplu procentul de puncte luminoase funcționale.
Ordin de lucru (work order)	–	Document electronic prin care se atribuie o intervenție unei echipe, cu locația, defectul, termenul și rezultatul.
CMMS	Computerized Maintenance Management System	Sistem informatic de gestionare a mentenanței; poate fi inclus în platformă sau integrat cu aceasta.
RBAC	Role-Based Access Control – control al accesului pe roluri	Mod de acordare a drepturilor în care fiecare utilizator primește un rol (operator, tehnician, administrator), iar rolul stabilește ce poate vedea și ce poate face.
MFA	Multi-Factor Authentication – autentificare cu mai mulți factori	Autentificare care cere, pe lângă parolă, un al doilea element: cod pe telefon, aplicație de autentificare sau cheie fizică.

Termen	Denumire completă	Explicație
SSO	Single Sign-On	Autentificare unică prin care utilizatorul accesează mai multe aplicații ale organizației cu același cont.
Jurnal de audit (audit trail)	–	Înregistrarea nemodificabilă a operațiilor efectuate de utilizatori: cine, ce, când și de unde.
Serie de timp	–	Șir de valori măsurate la momente succesive – de exemplu consumul la fiecare 15 minute –, stocat într-o bază de date optimizată pentru istoric.
TALQ	–	Specificație de interoperabilitate între platforma centrală și rețelele de iluminat exterior, elaborată de TALQ Consortium (7.3.3, 7.10.2).
Digital twin	geamăn digital	Reprezentare digitală actualizată a instalației reale, care reunește inventarul, starea și istoricul și permite simulări.
Export în format deschis	–	Extragerea datelor în formate documentate public și utilizabile de alte programe (CSV, GeoJSON, JSON), fără dependență de furnizor.

Tabelul 6.16 – Termeni și acronime

6.1.5.3. Arhitectura platformei

O platformă de telegestiune poate fi descrisă prin straturile din figura 6.21. Denumirile și modul de realizare diferă de la un furnizor la altul, însă structura funcțională este asemănătoare la platformele cele mai răspândite.

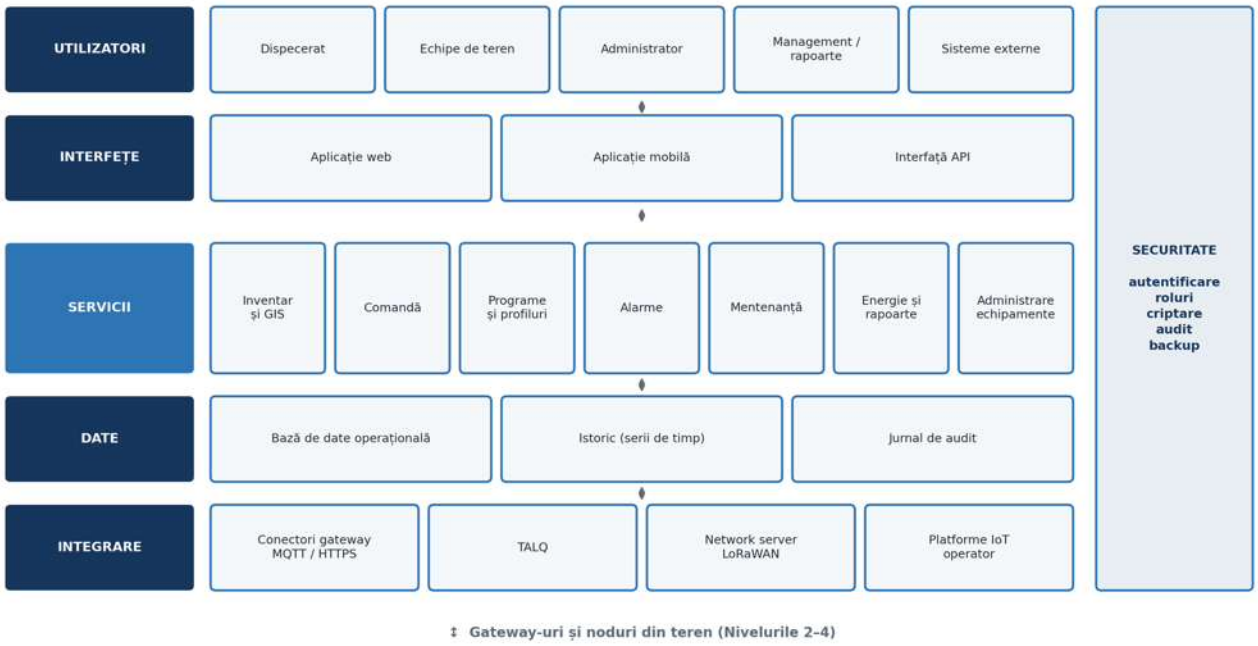


Figura 6.21 – Arhitectura funcțională a platformei centrale

Strat	Rol
Utilizatori	Persoanele și sistemele care folosesc platforma: dispecerat, echipe de teren, administratori, management, sisteme externe.
Interfețe	Aplicația web pentru dispecerat și birou, aplicația mobilă pentru teren și interfața API pentru schimbul automat de date cu alte sisteme.
Servicii	Modulele funcționale: inventar și GIS, comandă, programe și profiluri, alarme, mentenanță, energie și rapoarte, administrarea echipamentelor.
Date	Baza de date operațională (inventar, configurație, stare curentă), istoricul măsurătorilor sub formă de serii de timp și jurnalul de audit.

Strat	Rol
Integrare	Conectorii prin care platforma comunică cu gateway-urile (MQTT, HTTPS), cu rețele terțe prin TALQ, cu network server-ele LoRaWAN și cu platformele IoT ale operatorilor.
Securitate	Funcții transversale: autentificare, drepturi pe roluri, criptare, jurnal de audit, copii de siguranță.

Tabelul 6.17 – Straturile platformei centrale

6.1.5.4. Funcțiile platformei

6.1.5.4.1. Inventarul și gestiunea activelor

Baza oricărei platforme este inventarul: fiecare punct luminos are o fișă cu poziția pe hartă și datele stâlpului, aparatului, driverului, controlerului, circuitului și punctului de aprindere din care este alimentat, completate cu fotografii, date de montaj, garanții și istoricul intervențiilor. Inventarul se afișează pe hartă GIS, cu straturi pentru stâlpi, circuite, puncte de aprindere și gateway-uri, și se poate filtra după stradă, zonă, tip de aparat sau stare.

Un inventar complet și corect permite localizarea exactă a defectelor, planificarea înlocuirilor la sfârșitul duratei de viață, evidența garanțiilor și raportarea către autorități. Fără el, celelalte funcții – comenzi pe zone, alarme, rapoarte – produc rezultate greu de interpretat.

6.1.5.4.2. Comanda și controlul

Operatorul poate transmite comenzi individuale, pe grup, pe stradă, pe zonă sau pe punct de aprindere: aprindere, stingere, dimare la un anumit nivel, activarea unei scene. Comenzile manuale au caracter temporar – au o durată stabilită, după care aparatele revin automat la program – și sunt confirmate pentru fiecare aparat. Platforma arată distinct comenzile transmise, cele executate și cele neconfirmate și indică pentru fiecare aparat sursa comenzii active: program, regulă locală sau intervenție manuală.

6.1.5.4.3. Programe orare, astronomice și profiluri de dimare

Programele de funcționare se definesc în platformă și se transmit gateway-urilor și nodurilor, care le execută local. Un program cuprinde momentul aprinderii și al stingerii – fix sau calculat astronomic după coordonatele zonei, cu decalaje față de apus și răsărit – și profilul de dimare pe parcursul nopții. Calendarul permite excepții pentru sărbători, evenimente sau perioade speciale.

Profilurile de dimare se stabilesc pe baza proiectului luminotehnic, astfel încât nivelurile reduse să respecte clasa de iluminat aplicabilă fiecărei perioade (CEN/TR 13201-1, SR EN 13201-2). Platforma păstrează versiunile programelor, arată ce program este activ pe fiecare aparat și semnalează aparatele la care programul nu a fost încă transmis. Tipurile de profiluri și algoritmii adaptivi sunt tratați în subcapitolul 7.7.

6.1.5.4.4. Monitorizarea în timp real

Platforma afișează starea curentă a instalației: aparate aprinse, stinse, dimate, defecte sau neconectate, puncte de aprindere, gateway-uri și calitatea comunicației. Hărțile colorate după stare și tablourile de bord permit operatorului să identifice rapid zonele cu probleme. Valorile măsurate – putere, tensiune, temperatură, ore de funcționare – se pot urmări pe fiecare aparat și sub formă de grafice istorice.

6.1.5.4.5. Alarmele și evenimentele

Alarmele sunt una dintre funcțiile cu cea mai mare valoare practică, dar și cu cel mai mare risc de a deveni inutile dacă nu sunt bine configurate. Fiecare alarmă are o severitate (critică, majoră, minoră, informativă), o locație și o stare. Platforma corelează alarmele cu cauză comună – de exemplu, o singură alarmă de lipsă a tensiunii în locul a zeci de alarme de aparate neconectate –, notifică persoanele responsabile prin aplicație, e-mail sau SMS, după program și severitate, și escaladează alarmele neconfirmate în timpul stabilit.

Ciclul de viață al unei alarme (figura 6.22) se încheie numai după verificarea remedierii, nu la simpla dispariție a semnalului. Istoricul alarmelor permite analiza defectelor repetate și a timpilor de intervenție.

Figura 6.22 – Ciclul de viață al unei alarme

6.1.5.4.6. Mentenanța

Din alarme sau din inspecții se generează ordine de lucru, atribuite echipelor cu locația, defectul constatat, materialele necesare și termenul de rezolvare. Echipele de teren folosesc aplicația mobilă pentru navigare la stâlp, consultarea fișei punctului luminos, testarea aparatului după intervenție și închiderea ordinului cu fotografii și observații. Platforma măsoară timpii de răspuns și de remediere și poate programa mentenanța preventivă pe baza orelor de funcționare. Mentenanța predictivă bazată pe date este tratată în subcapitolul 7.8.4.

6.1.5.4.7. Energia și rapoartele

Platforma centralizează datele de energie de la noduri și de la contoarele punctelor de aprindere (6.1.4.6.2) și produce rapoarte pe aparat, circuit, punct de aprindere, zonă și întreaga localitate: energie consumată, economii față de funcționarea fără dimare, emisii de CO_2 evitate, ore de funcționare, disponibilitatea instalației și indicatorii de performanță energetică PDI și AECI (SR EN 13201-5). Rapoartele se generează automat, la intervale stabilite, și pot fi exportate în formate deschise.

6.1.5.4.8. Administrarea echipamentelor

Prin platformă se înrolează și se configurează gateway-urile și nodurile, se urmăresc versiunile de hardware și firmware, se planifică și se supraveghează actualizările de la distanță, pe etape, și se verifică rezultatul fiecărei actualizări. Platforma păstrează configurația de referință a fiecărui echipament, astfel încât un echipament înlocuit să poată primi automat aceeași configurație.

6.1.5.4.9. Utilizatorii, rolurile și trasabilitatea

Fiecare persoană are un cont individual, cu un rol care stabilește drepturile: vizualizare, comandă, configurare, administrare. Accesul se protejează prin autentificare cu mai mulți factori, iar pentru organizațiile mari prin autentificare unică. Toate operațiile se înregistrează în jurnalul de audit, astfel încât să se poată stabili oricând cine a transmis o comandă, cine a modificat un program și cine a închis o alarmă.

6.1.5.4.10. Integrarea cu alte sisteme

Platforma schimbă date cu alte sisteme prin interfețe API documentate: sistemul GIS al localității, sistemele de mentenanță, facturare sau management energetic, platformele urbane de date, sursele de date meteo și de trafic. La nivelul rețelelor de iluminat, specificația TALQ permite administrarea din aceeași platformă a echipamentelor unor producători diferiți. Integrarea în arhitectura orașului inteligent este tratată în subcapitolul 7.4, iar interoperabilitatea în 7.10.

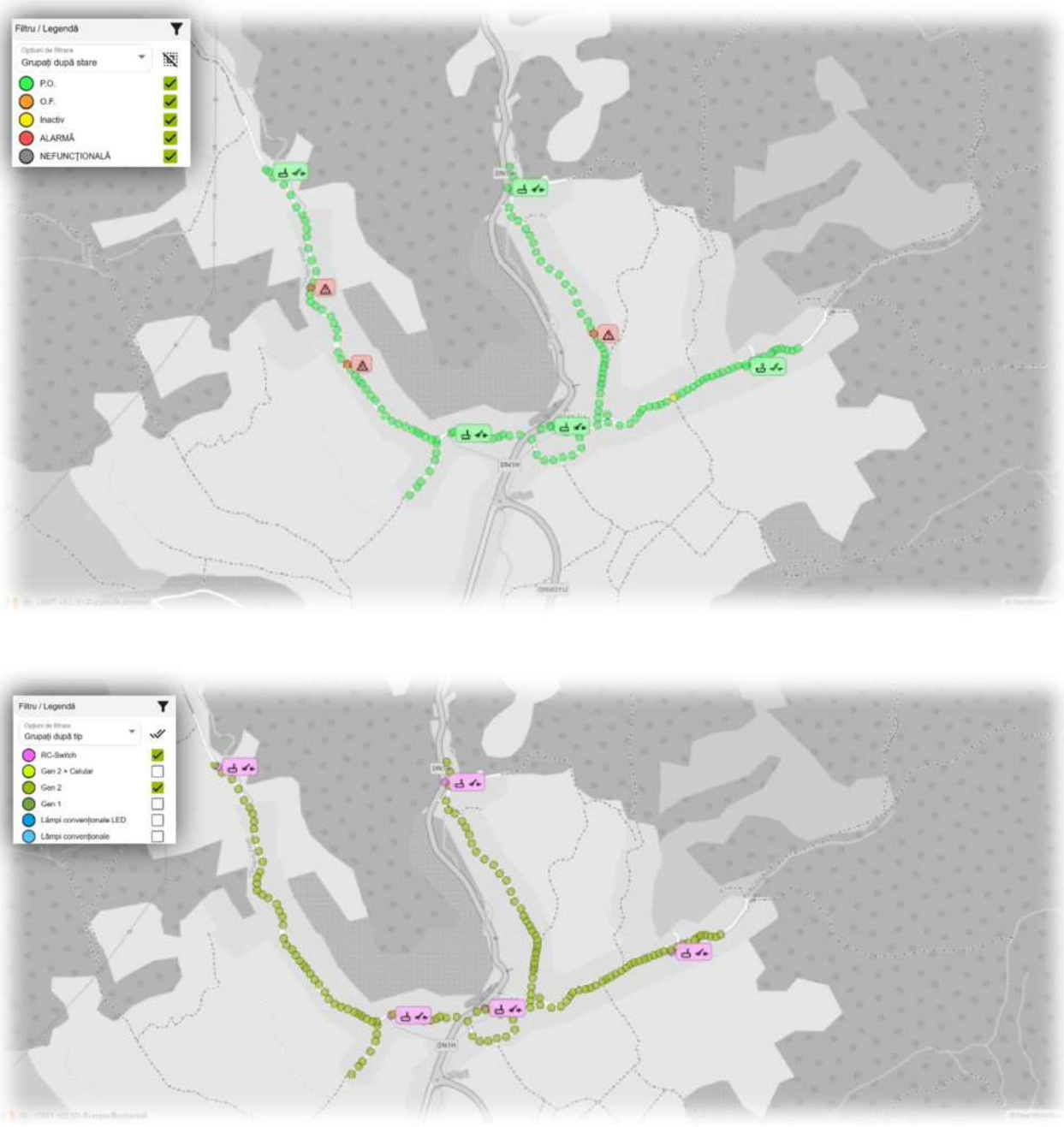


Figura 6.23 – Harta GIS a platformei, cu aparatele și punctele de aprindere: (a) aparatele grupate după stare; (b) aparatele grupate după tipul echipamentului

6.1.5.5. Interfața cu operatorul

Valoarea unei platforme se vede, în primul rând, în modul în care operatorul lucrează cu ea în fiecare zi. Figura 6.24 prezintă, schematic, cele patru ecrane utilizate cel mai des: harta, tabloul de bord, lista de alarme și editorul de programe.

Figura 6.24 – Machete generice ale principalelor ecrane ale platformei

Principiile unei interfețe bune sunt:

- **harta ca punct de plecare** – operatorul localizează imediat problemele și accesează fișa oricărui punct luminos direct de pe hartă;
- **claritatea stărilor** – aceeași stare este reprezentată la fel pe toate ecranele, iar diferența dintre „defect", „neconectat" și „stins conform programului" este evidentă;
- **prioritizarea** – alarmele critice și aparatele fără iluminare apar primele, iar informațiile secundare nu aglomerează ecranul;
- **acțiuni sigure** – comenzile care afectează multe aparate cer confirmare, iar comenzile manuale au durată de expirare vizibilă;
- **acces din teren** – aplicația mobilă oferă echipelor funcțiile necesare intervenției, inclusiv în condiții de semnal slab;
- **limba română** – interfața, rapoartele și notificările sunt disponibile în limba utilizatorilor.

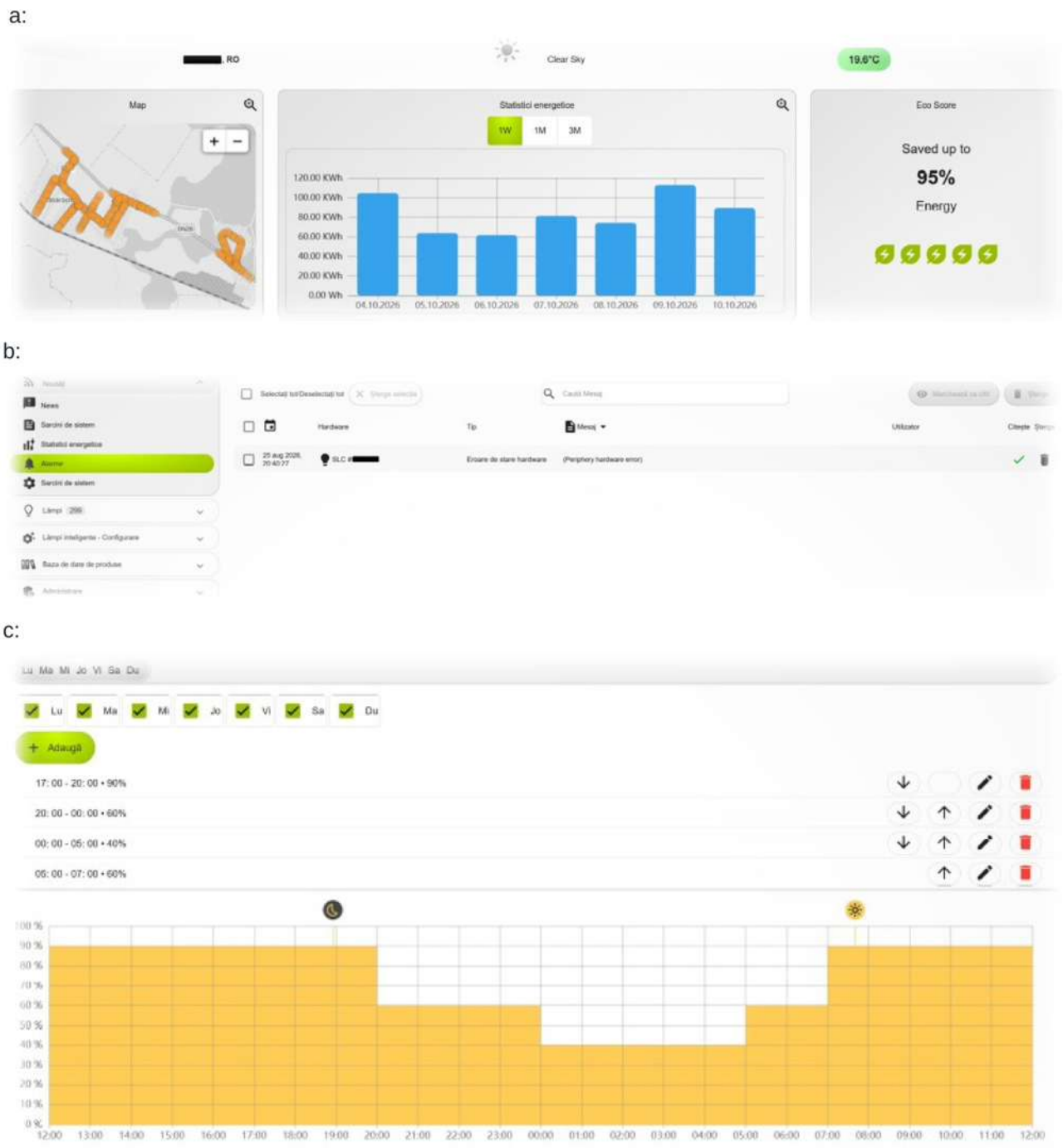


Figura 6.25 – Ecrane ale unei platforme de telegestiune aflate în exploatare: (a) tabloul de bord; (b) lista de alarme; (c) editorul profilului de dimare

6.1.5.6. Găzduirea platformei

Platforma poate funcționa în cloud, la beneficiar sau într-o variantă hibridă (figura 6.26). Toate trei sunt întâlnite în practică, la nivel internațional și în România, iar alegerea influențează costurile, responsabilitățile, continuitatea și controlul asupra datelor.

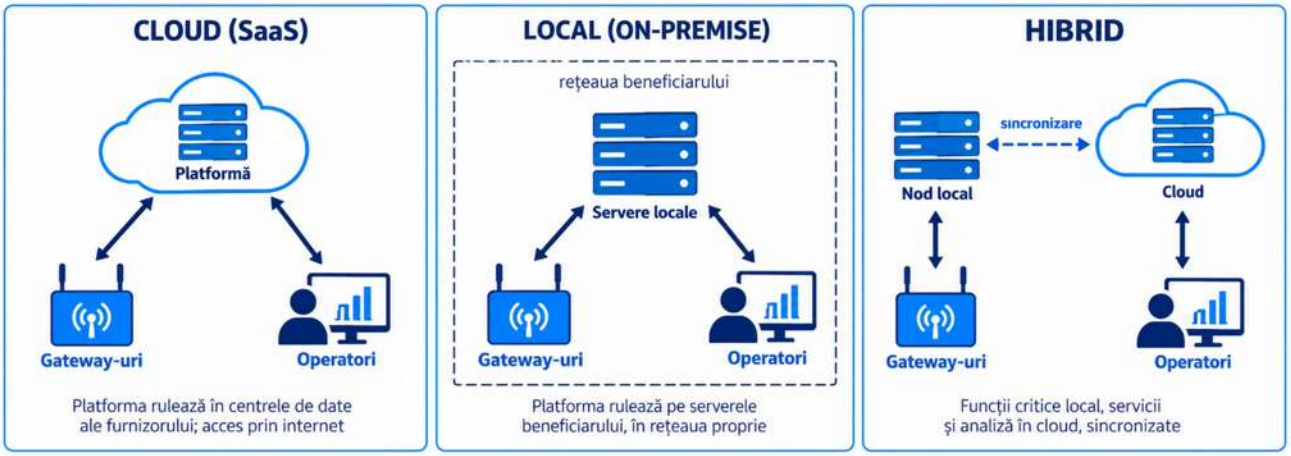


Figura 6.26 – Variantele de găzduire a platformei centrale

6.1.5.6.1. Platforma în cloud

În varianta cloud, cea mai răspândită în prezent, platforma rulează în centrele de date ale furnizorului sau ale unui operator de cloud, iar beneficiarul plătește un abonament. Furnizorul se ocupă de servere, actualizări, copii de siguranță și securitatea infrastructurii. Beneficiarul nu are nevoie de servere și personal IT dedicat, poate începe rapid și primește permanent versiunea actualizată a aplicației.

În schimb, accesul depinde de conexiunea la internet și de continuitatea contractului, datele se află în afara organizației, iar condițiile de disponibilitate, securitate și încetare a serviciului sunt stabilite prin contract. Aspectele care trebuie verificate sunt: localizarea centrelor de date în Uniunea Europeană, disponibilitatea garantată și timpii de remediere din acordul de nivel al serviciului, certificarea securității informației a centrului de date (de exemplu ISO/IEC 27001), politica de copii de siguranță și modul de predare a datelor la încetarea contractului.

6.1.5.6.2. Platforma la beneficiar

În varianta locală, platforma este instalată pe serverele beneficiarului, în rețeaua acestuia. Beneficiarul are control complet asupra datelor și a infrastructurii și poate integra platforma direct cu sistemele interne, fără a depinde de internet pentru accesul din rețeaua proprie.

Responsabilitățile se mută însă la beneficiar: achiziția și înlocuirea serverelor, sistemele de operare și bazele de date, actualizările de securitate, copiile de siguranță, redundanța și personalul IT calificat. În lipsa acestor resurse, o platformă locală devine mai vulnerabilă și mai puțin disponibilă decât una în cloud.

6.1.5.6.3. Varianta hibridă

Varianta hibridă păstrează local funcțiile critice – de exemplu comanda și monitorizarea pentru dispeceratul propriu – și folosește cloud-ul pentru analiză, rapoarte, acces mobil și copii de siguranță, cu sincronizarea datelor între cele două componente. Soluția combină autonomia locală cu avantajele cloud-ului, dar este mai complexă de configurat și de întreținut.

Criteriu	Cloud (SaaS)	Local (on-premise)	Hibrid
Investiție inițială	redusă	ridicată (servere, licențe)	medie
Cost recurent	abonament	personal IT, energie, înlocuiri	abonament și costuri locale
Responsabilitate tehnică	furnizorul	beneficiarul	împărțită
Actualizări și securitate	gestionate de furnizor	gestionate de beneficiar	împărțite
Control asupra datelor	prin contract	complet	ridicat
Dependența de internet	ridicată	redusă pentru rețeaua internă	redusă pentru funcțiile locale
Scalabilitate	ridicată	limitată de infrastructură	ridicată
Potrivită pentru	majoritatea localităților	organizații cu departament IT și cerințe stricte de control	orașe mari, dispecerate proprii

Tabelul 6.18 – Comparația variantelor de găzduire

6.1.5.6.4. Continuitatea și securitatea platformei

Indiferent de varianta de găzduire, continuitatea platformei se descrie prin câțiva parametri care trebuie cunoscuți și asumați: disponibilitatea anuală, obiectivul privind datele care pot fi pierdute la un incident (RPO), timpul maxim de repunere în funcțiune (RTO), frecvența și locul de păstrare a copiilor de siguranță și, pentru instalațiile mari, georedundanța.

Securitatea platformei cuprinde autentificarea cu mai mulți factori, drepturile pe roluri, criptarea datelor în tranzit și în stocare, actualizarea permanentă a componentelor, supravegherea accesului și procedurile de răspuns la incidente. Pentru organizațiile care intră sub incidența legislației privind securitatea rețelelor și a sistemelor informatice – Directiva (UE) 2022/2555 (NIS2), transpusă în legislația națională – se aplică obligațiile specifice de gestionare a riscurilor și de raportare a incidentelor. Tratarea detaliată se face în subcapitolul 7.9.

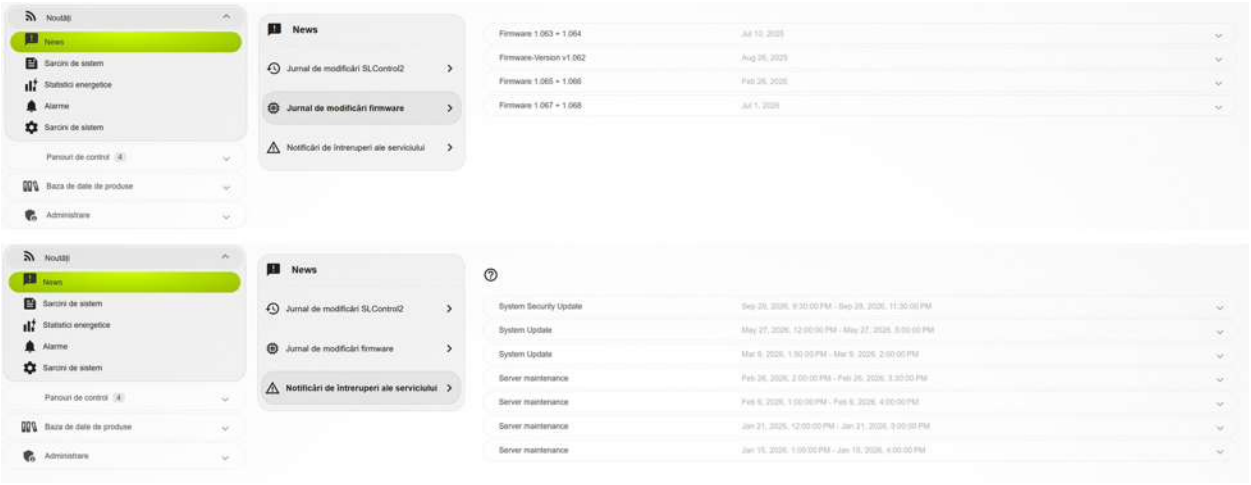


Figura 6.27 – Ecranele de administrare a actualizărilor de sistem și de firmware într-o platformă găzduită în cloud

6.1.5.7. Proprietatea și portabilitatea datelor

Datele despre instalația de iluminat public – inventarul, configurațiile, măsurătorile, alarmele și istoricul intervențiilor – aparțin beneficiarului, indiferent unde este găzduită platforma. Acest principiu trebuie să fie clar în contract și verificabil în practică.

Portabilitatea înseamnă posibilitatea de a extrage oricând datele, complet și în formate deschise, documentate public – de exemplu CSV pentru tabele, GeoJSON pentru date geografice, JSON prin interfața API –, astfel încât ele să poată fi utilizate într-o altă platformă. Fără portabilitate, schimbarea furnizorului sau încetarea activității acestuia poate duce la pierderea istoricului și la refacerea inventarului de la zero.

Aspectele care trebuie clarificate pentru fiecare platformă sunt:

- **exportul complet** – ce date se pot exporta, în ce formate și dacă exportul este disponibil utilizatorului, fără intervenția furnizorului;
- **încetarea contractului** – termenul în care datele sunt predate, formatul predării și termenul de ștergere a datelor de pe serverele furnizorului;
- **continuitatea echipamentelor** – dacă gateway-urile și nodurile pot fi administrate de o altă platformă, de exemplu prin TALQ sau prin interfețe documentate (7.10.5);
- **datele personale** – conturile utilizatorilor, jurnalele de acces și, după caz, datele unor senzori sau camere intră sub incidența Regulamentului (UE) 2016/679 (GDPR); se colectează numai datele necesare, iar datele senzorilor se prelucrează, pe cât posibil, agregat și anonimizat;
- **schimbarea furnizorului de servicii cloud** – Regulamentul (UE) 2023/2854 privind datele (Data Act), aplicabil din septembrie 2025, introduce obligații pentru furnizorii de servicii de prelucrare a datelor privind facilitarea schimbării furnizorului și a transferului datelor.

6.1.5.8. Funcționarea la indisponibilitatea platformei

Platforma poate deveni indisponibilă din cauza unei defecțiuni a furnizorului, a unei întreruperi a internetului, a unei actualizări eșuate sau a unui atac informatic. Tabelul 6.19 prezintă comportarea recomandată a sistemului.

Situație	Ce se întâmplă în teren	Ce trebuie să asigure platforma
Platforma este indisponibilă	gateway-urile și nodurile continuă programele și regulile locale; datele se memorează local	la revenire, preluarea datelor memorate și reconcilierea stării
Operatorul nu are acces (internet local căzut)	instalația funcționează normal; platforma primește în continuare date	acces alternativ: aplicația mobilă, altă conexiune, alt dispecerat
Actualizare eșuată a platformei	fără efect asupra iluminatului	revenire la versiunea anterioară, anunțarea utilizatorilor
Incident de securitate	comenzile neautorizate nu trebuie să ajungă în teren	izolarea incidentului, blocarea conturilor compromise, restaurare din copii de siguranță
Pierderea datelor	fără efect asupra iluminatului	restaurare din copii de siguranță în limitele RPO/RTO asumate
Încetarea serviciului	echipamentele rămân fără administrare	predarea datelor și a configurațiilor; posibilitatea migrării către altă platformă

Tabelul 6.19 – Comportarea sistemului la indisponibilitatea platformei

6.1.5.9. Punerea în funcțiune și verificarea

Punerea în funcțiune a platformei nu se reduce la instalarea aplicației. Ea transformă datele proiectului și ale montajului într-un sistem de exploatare utilizabil. Etapele sunt:

1. **Importul inventarului** – stâlpi, aparate, circuite, puncte de aprindere și gateway-uri, cu coordonate și atribute, din documentația proiectului și din datele de montaj.
2. **Verificarea asocierilor** – fiecare controler este legat de aparatul, stâlpul și circuitul corect; se verifică prin comenzi individuale de test.
3. **Organizarea instalației** – zone, străzi, grupuri și ierarhia punctelor de aprindere.
4. **Configurarea programelor** – calendare, programe astronomice și profiluri de dimare conform proiectului luminotehnic.
5. **Configurarea alarmelor** – severități, praguri, corelări, persoanele notificate, programul de notificare și escaladarea.
6. **Utilizatori și roluri** – conturi individuale, drepturi, autentificare cu mai mulți factori.
7. **Rapoarte și indicatori** – rapoartele automate, destinatarii și indicatorii urmăriți.
8. **Integrări** – verificarea schimbului de date cu sistemele externe prevăzute.
9. **Testul complet** – comenzi, programe, alarme, rapoarte și exportul datelor, pe întregul lanț, de la platformă la driver.
10. **Instruirea și predarea** – instruirea operatorilor, a echipelor de teren și a administratorilor, predarea documentației și a datelor de acces.

Domeniu	Verificare
Inventar	Toate punctele luminoase apar pe hartă în poziția corectă, cu atributele complete.
Comandă	Comenzile individuale, de grup și pe zonă sunt executate și confirmate; comenzile manuale expiră la termen.
Programe	Programele și profilurile active corespund proiectului luminotehnic și sunt transmise tuturor aparatelor.
Alarme	Alarmele provocate în test sunt afișate, corelate și notificate persoanelor stabilite, în timpii stabiliți.
Energie	Rapoartele de energie corespund valorilor contoarelor și ale nodurilor.

Domeniu	Verificare
Acces	Fiecare utilizator are cont individual și drepturile corespunzătoare rolului; operațiile apar în jurnalul de audit.
Date	Exportul complet al datelor funcționează în formatele stabilite; copia de siguranță poate fi restaurată.
Continuitate	La indisponibilitatea simulată a platformei instalația funcționează, iar datele sunt recuperate la revenire.

Tabelul 6.20 – Verificări funcționale ale platformei

6.1.5.10. Greșeli frecvente în proiectare și implementare

Platforma este partea sistemului cu care beneficiarul lucrează zilnic, astfel încât greșelile de configurare și organizare se simt direct în exploatare, uneori ani la rând. Greșelile de mai jos sunt cele mai frecvente.

6.1.5.10.1. Inventar incomplet sau neverificat

Ce se întâmplă. Datele din teren se încarcă parțial sau fără verificare: coordonate aproximative, aparate fără tip, circuite neasociate.

Consecința. Alarmele indică locații greșite, comenzile pe zone afectează alte aparate, iar rapoartele de energie și de disponibilitate nu reflectă realitatea.

Cum se previne. Inventarul se verifică în teren la punerea în funcțiune, cu comenzi individuale de test, și se actualizează la fiecare intervenție prin aplicația mobilă.

6.1.5.10.2. Prea multe alarme, prea puțin relevante

Ce se întâmplă. Toate evenimentele sunt configurate ca alarme, fără severități, fără corelare și fără filtrarea evenimentelor repetate.

Consecința. Operatorii primesc sute de notificări, încetează să le mai urmărească, iar alarmele importante trec neobservate.

Cum se previne. Se stabilesc severități, praguri și reguli de corelare, se notifică doar alarmele care cer acțiune și se revizuiește periodic configurația pe baza istoricului.

6.1.5.10.3. Responsabilități neclare pentru alarme

Ce se întâmplă. Nu se stabilește cine primește alarmele în afara programului de lucru, cine le confirmă și în ce termen.

Consecința. Alarmele critice apărute noaptea rămân nepreluate până a doua zi, iar porțiuni de stradă rămân neiluminate ore întregi.

Cum se previne. Se definesc programul de notificare, persoanele de serviciu, termenele de confirmare și escaladarea, iar platforma măsoară respectarea lor.

6.1.5.10.4. Profiluri de dimare necorelate cu proiectul luminotehnic

Ce se întâmplă. Profilurile se aleg după criteriul economiei maxime de energie, fără verificarea claselor de iluminat.

Consecința. Nivelurile reduse coboară sub cerințele clasei de iluminat, cu efecte asupra siguranței circulației și cu riscuri de răspundere pentru beneficiar.

Cum se previne. Profilurile se stabilesc pe baza proiectului luminotehnic și a claselor de iluminat pentru fiecare perioadă, iar modificările se aprobă documentat.

6.1.5.10.5. Conturi comune și drepturi excesive

Ce se întâmplă. Mai multe persoane folosesc același cont, iar toți utilizatorii au drepturi de administrator.

Consecința. Nu se poate stabili cine a transmis o comandă sau a modificat un program, iar o eroare sau un cont compromis poate afecta întreaga instalație.

Cum se previne. Se creează conturi individuale, drepturi pe roluri, autentificare cu mai mulți factori și se verifică periodic lista utilizatorilor.

6.1.5.10.6. Lipsa clauzelor privind datele

Ce se întâmplă. Contractul pentru platforma în cloud nu precizează proprietatea datelor, formatul exportului și condițiile de predare la încetare.

Consecința. La schimbarea furnizorului sau la încetarea serviciului, beneficiarul pierde istoricul și inventarul sau le recuperează cu costuri și întârzieri mari.

Cum se previne. Se verifică exportul complet în formate deschise înainte de alegerea platformei și se prevăd în contract termenele și formatul predării datelor.

6.1.5.10.7. Abonament sau licență expirate

Ce se întâmplă. Abonamentul platformei sau licențele nu sunt urmărite, iar reînnoirea se face cu întârziere.

Consecința. Accesul la platformă se blochează, alarmele nu mai sunt primite, iar instalația rămâne fără administrare, deși funcționează.

Cum se previne. Termenele contractuale se urmăresc în planul de exploatare, iar bugetul anual include explicit costurile recurente ale platformei.

6.1.5.10.8. Platformă locală fără resurse IT

Ce se întâmplă. Platforma este instalată pe un server al beneficiarului, fără personal responsabil, fără actualizări și fără copii de siguranță.

Consecința. Serverul devine vulnerabil, se defectează sau rămâne fără spațiu, iar datele se pierd la prima defecțiune majoră.

Cum se previne. Varianta locală se alege numai dacă beneficiarul are resurse IT; în caz contrar se preferă găzduirea în cloud sau un contract de administrare.

6.1.5.10.9. Rapoarte de energie nevalidate

Ce se întâmplă. Rapoartele se generează automat, fără verificarea surselor de date, a unităților și a perioadelor.

Consecința. Economiile raportate sunt supraestimate sau subestimate, iar deciziile de investiții și raportările oficiale se bazează pe date greșite.

Cum se previne. La punerea în funcțiune și periodic, rapoartele se compară cu citirile contoarelor și cu facturile de energie.

6.1.5.10.10. Integrări netestate

Ce se întâmplă. Schimbul de date cu alte sisteme se declară disponibil pe baza documentației, fără testare în condiții reale.

Consecința. Datele ajung incomplet sau eronat în sistemele beneficiarului, iar problemele apar abia după recepție.

Cum se previne. Fiecare integrare se testează cu date reale, se documentează și se supraveghează după punerea în funcțiune.

6.1.5.10.11. Lipsa instruirii utilizatorilor

Ce se întâmplă. Platforma este predată fără instruirea operatorilor, a echipelor de teren și a administratorilor.

Consecința. Funcțiile importante nu sunt folosite, comenzile greșite se repetă, iar platforma ajunge să fie folosită doar pentru vizualizare.

Cum se previne. Se organizează instruiri pe roluri, se predau ghiduri de utilizare în limba română și se repetă instruirea la schimbarea personalului.

6.1.5.10.12. Dependența iluminatului de platformă

Ce se întâmplă. Programele se execută numai din platformă, iar gateway-urile și nodurile nu au programe locale memorate.

Consecința. O indisponibilitate a platformei sau a internetului lasă iluminatul fără program, cu aparate stinse sau aprinse permanent.

Cum se previne. Programele se transmit și se memorează în gateway-uri și noduri, iar funcționarea autonomă se testează prin simularea indisponibilității platformei.

Concluzii

Platforma centrală transformă o instalație de iluminat într-un sistem administrat: reunește inventarul, comanda, programele, alarmele, mentenanța și rapoartele într-un singur loc și oferă beneficiarului o imagine

completă și actualizată asupra infrastructurii. Valoarea ei depinde, în egală măsură, de funcțiile disponibile, de calitatea datelor introduse și de modul în care este configurată și utilizată.

Alegerea variantei de găzduire și clarificarea proprietății și portabilității datelor sunt decizii cu efect pe toată durata de viață a instalației. Odată cu acest subcapitol se încheie prezentarea modelului arhitectural pe cinci niveluri; subcapitolul 6.2 prezintă echipamentele specifice comenzii și controlului, începând cu interfețele standardizate de montaj la nivelul aparatului de iluminat.

6.2. Echipamente specifice comenzii și controlului iluminatului *[Oprițescu C., Epure A., Ichim G.]*

Introducere

Un aparat de iluminat devine parte a unui sistem de telegestiune în momentul în care pe el se montează un controler, un senzor sau un nod de comunicație. Punctul de legătură dintre aparat și aceste module este o interfață standardizată: un conector montat pe carcasa aparatului, în care modulul se cuplează prin rotire, fără scule și fără deschiderea aparatului.

Subcapitolul prezintă cele două interfețe de montaj cele mai răspândite în iluminatul public, atât la nivel internațional, cât și în România – Zhaga Book 18, cu ecosistemul Zhaga-D4i, și NEMA, conform ANSI C136.41 –, le compară din punct de vedere tehnic și arată cum se demonstrează conformitatea echipamentelor de comandă și control: marcajul CE, legislația aplicabilă, standardele utilizate și certificările specifice ecosistemelor de iluminat inteligent.

Controlerul montat pe aceste interfețe a fost prezentat în subcapitolul 6.1.2, arhitectura sa internă este detaliată în 6.3, senzorii în 6.4, iar protocolul DALI și extensia D4i în subcapitolul dedicat interfeței digitale. Certificarea aparatelor de iluminat este tratată în 2.5.

Termeni tehnici utilizați

Tabelul 6.21 explică termenii și acronimele utilizate în acest subcapitol.

Termen	Denumire completă	Explicație
Conector (soclu)	–	Partea fixă a interfeței, montată pe carcasa aparatului de iluminat, în care se cuplează modulul de control sau senzorul.
Zhaga	Zhaga Consortium	Consorțiu internațional al industriei iluminatului care elaborează specificații („Books”) pentru interfețe standardizate între componentele sistemelor de iluminat LED.
Zhaga Book 18	–	Specificația Zhaga pentru interfața dintre aparatele de iluminat exterior și modulele de senzori sau de comunicație: conector compact cu 4 contacte, pe partea superioară sau inferioară a aparatului.
Zhaga Book 20	–	Specificația Zhaga echivalentă pentru aparatele de iluminat interior; menționată doar pentru diferențiere.
DALI / DALI-2	Digital Addressable Lighting Interface	Protocol digital standardizat (seria IEC 62386) pentru comanda și interogarea driverelor și a dispozitivelor de control. DALI-2 este generația actuală, cu program de certificare administrat de DALI Alliance.
D4i	DALI for IoT	Set de specificații ale DALI Alliance care transformă aparatul de iluminat într-un aparat „inteligent”: driverul alimentează dispozitivele de control și furnizează date standardizate despre aparat, energie și diagnostic.
Zhaga-D4i	–	Program comun de certificare Zhaga și DALI Alliance care garantează că un aparat și un modul certificate, provenind de la producători diferiți, funcționează împreună mecanic, electric și funcțional.
Alimentare auxiliară (AUX)	–	Tensiunea de 24 V c.c. furnizată de driverul D4i pentru alimentarea modulelor montate pe conectorul Zhaga.

Termen	Denumire completă	Explicație
Dispozitiv tip A / tip B	–	Categoriile de dispozitive de control pentru exterior definite de DALI Alliance: tipul A – de regulă nod de comunicație, alimentat din sursa auxiliară; tipul B – de regulă senzor, cu consum mai redus.
NEMA	National Electrical Manufacturers Association	Asociația producătorilor de echipamente electrice din SUA; în practică, „soclu NEMA” desemnează conectorul rotativ standardizat de ANSI C136.10 și ANSI C136.41.
ANSI C136.10	–	Standardul american pentru conectorul cu 3 contacte al fotocelulelor cu blocare prin rotire.
ANSI C136.41	–	Standardul american care extinde conectorul C136.10 cu contacte de semnal pentru dimare – variantele cu 5 și cu 7 contacte; domeniul său este limitat la dimarea 0–10 V și DALI.
Twist-lock	blocare prin rotire	Mod de cuplare în care modulul se introduce în conector și se rotește pentru fixare și contact electric.
0–10 V (1–10 V)	–	Interfață analogică de dimare în care nivelul luminii este comandat printr-o tensiune continuă; în Europa este întâlnită și varianta 1–10 V.
Capac de etanșare / capac de scurtcircuitare	sealing cap / shorting cap	Capacul montat pe un conector neutilizat. La Zhaga asigură etanșarea; la NEMA leagă faza de ieșirea comutată, astfel încât aparatul să funcționeze fără controler.
Marcaj CE	Conformité Européenne	Marcajul prin care producătorul declară că produsul respectă toată legislația Uniunii Europene aplicabilă. Nu este un certificat emis de o autoritate.
Declarația UE de conformitate	EU Declaration of Conformity (DoC)	Documentul prin care producătorul își asumă conformitatea produsului, cu indicarea actelor normative și a standardelor aplicate.
Standard armonizat	–	Standard european a cărui referință este publicată în Jurnalul Oficial al UE; aplicarea lui creează prezumția de conformitate cu cerințele esențiale ale directivei respective.
Organism notificat	–	Organism de evaluare a conformității desemnat de un stat membru pentru procedurile care impun intervenția unei terțe părți.
ENEC / ENEC+	European Norms Electrical Certification	Marcă europeană voluntară de certificare a securității produselor electrice, emisă de organisme independente; ENEC+ atestă suplimentar performanța declarată a aparatelor de iluminat.

Tabelul 6.21 – Termeni și acronime

6.2.1. Interfețe de montaj standardizate la nivelul aparatului de iluminat

Înainte de apariția interfețelor standardizate, fiecare sistem de telegestiune impunea propriul mod de montaj: modulul se instala în interiorul aparatului, cu cabluri și conectori specifici producătorului. Aparatul și sistemul de control deveneau astfel inseparabile, iar schimbarea furnizorului de telegestiune presupunea intervenții în fiecare aparat.

Interfețele standardizate separă funcția de iluminat de funcția de control. Aparatul de iluminat, cu o durată de viață de peste zece ani, primește un conector standard, iar modulul de control – cu o evoluție tehnologică mult mai rapidă – se montează, se înlocuiește sau se modernizează independent, în câteva minute. Evoluția acestor interfețe este prezentată în figura 6.28.

Figura 6.28 – Evoluția interfețelor de montaj pentru modulele de control

O interfață completă standardizează patru aspecte: **mecanic** – forma conectorului, cuplarea, etanșarea și poziția pe aparat; **electric** – contactele, tensiunile și curenții admiși; **comunicația** – semnalele și protocolul prin care modulul comandă driverul și citește datele; **interoperabilitatea** – procedura de certificare prin care se garantează că produse ale unor producători diferiți funcționează împreună. Interfețele care acoperă doar primele două aspecte asigură compatibilitatea fizică, dar nu și pe cea funcțională.

Avantajele pentru beneficiar sunt modernizarea sistemului de control fără înlocuirea aparatelor, posibilitatea alegerii furnizorului de telegestiune independent de producătorul aparatelor, montajul rapid și fără deschiderea aparatului, precum și pregătirea aparatelor pentru funcții adăugate ulterior – de exemplu senzori.

6.2.2. Zhaga Book 18

Ce standardizează

Zhaga Book 18 definește interfața dintre aparatele de iluminat exterior și modulele de senzori sau de comunicație. Conectorul este compact, se montează pe carcasa aparatului și asigură cuplarea prin rotire, etanșarea, contactele electrice și condițiile de integrare a modulului. În combinație cu specificațiile D4i ale DALI Alliance, formează ecosistemul Zhaga-D4i, astăzi cea mai răspândită arhitectură pentru aparatele de iluminat public inteligente din Europa, inclusiv din România.

Poziția pe aparat

Conectorul poate fi montat pe partea superioară a aparatului – poziție potrivită pentru nodurile de comunicație și pentru senzorii de lumină ambientală, care au nevoie de „vedere” spre cer – sau pe partea inferioară – poziție potrivită pentru senzorii de prezență și de trafic, care trebuie să „vadă” zona de sub aparat. Un aparat poate avea unul sau două conector. Specificația permite și configurații hibride, cu un conector ANSI C136.41 și unul Zhaga pe același aparat.

Contactele

Conectorul Zhaga Book 18 are 4 contacte (figura 6.31). În configurația Zhaga-D4i, contactul 1 furnizează alimentarea auxiliară de +24 V c.c., contactul 2 este polul negativ al magistralei DALI și masa comună a alimentării de 24 V, contactul 3 este polul pozitiv al magistralei DALI, iar contactul 4 nu este conectat. La interfață nu există tensiune de rețea: modulul lucrează exclusiv în joasă tensiune, iar alimentarea și comanda driverului rămân în interiorul aparatului.

Arhitectura Zhaga-D4i

În arhitectura Zhaga-D4i (figura 6.29), driverul LED D4i are un rol central: alimentează magistrala DALI, furnizează alimentarea auxiliară de 24 V pentru module și păstrează date standardizate despre aparat. Modulele montate pe conectore comunică cu driverul prin DALI și primesc de la acesta energia necesară.

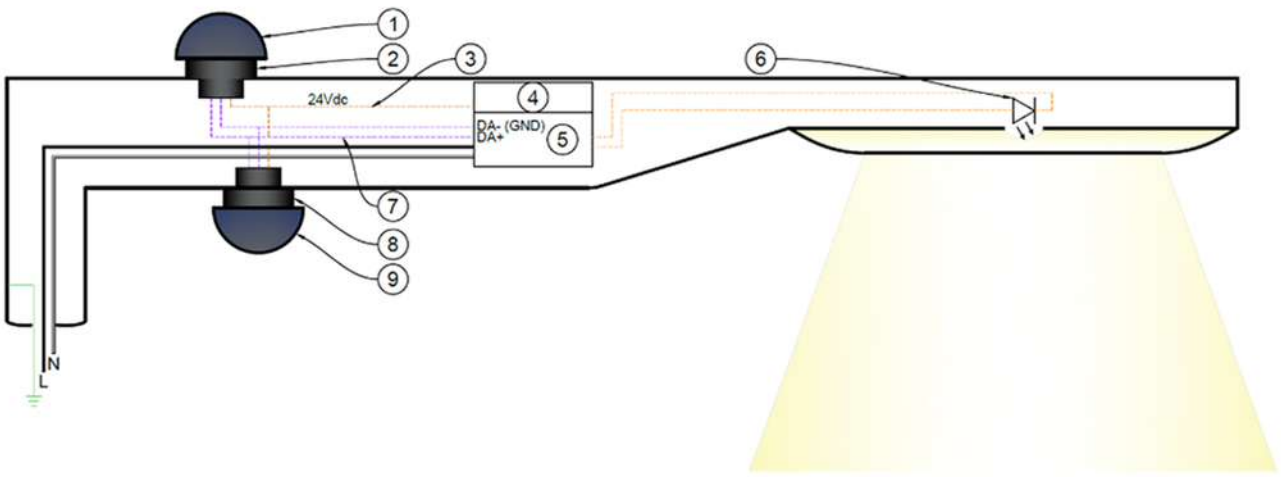


Figura 6.29 – Arhitectura unui aparat de iluminat Zhaga-D4i cu două module

Specificațiile D4i sunt organizate în mai multe părți ale DALI Alliance:

- partea 250 – sursa integrată a magistralei DALI;
- partea 251 – datele de identificare ale aparatului (producător, model, dată de fabricație, putere nominală, temperatura de culoare etc.);
- partea 252 – raportarea energiei și a puterii;
- partea 253 – datele de diagnostic și mentenanță (ore de funcționare, temperaturi, tensiuni, defecte). Dispozitivele de control montate pe aparat sunt definite de partea 351.

Tipuri de dispozitive și arhitectura cu două noduri

Pentru aplicațiile de exterior, DALI Alliance definește două tipuri de dispozitive de control. **Tipul A** este alimentat din sursa auxiliară sau dintr-o sursă externă și este folosit, de regulă, pentru comunicația dintre aparat și rețeaua de telegestiune; el conține un controler de aplicație care comandă driverul. **Tipul B** este destinat, de regulă, senzorilor de exterior, are consum mai redus și poate fi alimentat din sursa auxiliară, dintr-o sursă externă sau din magistrala DALI.

Book 18 permite până la două dispozitive de control pe aceeași magistrală: un dispozitiv tip A, un dispozitiv tip B sau câte unul din fiecare. În arhitectura cu două noduri, dispozitivul tip A este dominant și comandă aparatul, iar controlerul de aplicație al dispozitivului tip B, dacă există, se dezactivează automat. Astfel, un nod de telegestiune montat sus și un senzor de prezență montat jos funcționează împreună, fără conflicte de comandă.

Datele disponibile

Prin D4i, nodul de telegestiune poate citi din driver, fără echipamente suplimentare: identificarea aparatului și a driverului, parametrii nominali, energia consumată și puterea instantanee, orele de funcționare, numărul de porniri, temperaturile, tensiunile și curenții, precum și defectele sursei LED sau ale driverului. Aceste date alimentează automat inventarul, rapoartele de energie și diagnosticul din platforma centrală (6.1.5).

Edițiile specificației

Book 18 a evoluat prin mai multe ediții, care au introdus progresiv arhitectura Zhaga-D4i și configurațiile hibride cu ANSI C136.41. Ediția 4, publicată în noiembrie 2025, extinde ecosistemul la aparatele de iluminat decorative și de tip istoric: permite ansambluri de montaj pe consola stâlpului, cabluri mai lungi între aparat și ansamblu, cu cerințe pentru menținerea comunicației, și funcții de protecție la supratensiuni specifice acestor configurații. Book 18 nu mai este, așadar, doar „mufa de pe carcasa aparatului stradal”, ci o arhitectură de conectare a modulelor inteligente la întreaga infrastructură de iluminat exterior.

Certificarea

Certificarea Zhaga-D4i se face în doi pași: produsul obține mai întâi certificarea D4i a DALI Alliance și apoi certificarea Zhaga-D4i. Interoperabilitatea este garantată numai atunci când **atât aparatul, cât și modulul** sunt certificate Zhaga-D4i. Prezența fizică a unui conector Zhaga pe aparat nu înseamnă, prin ea însăși, compatibilitate funcțională. Certificarea se verifică în bazele de date publice ale Zhaga Consortium și DALI Alliance, după denumirea exactă a modelului.

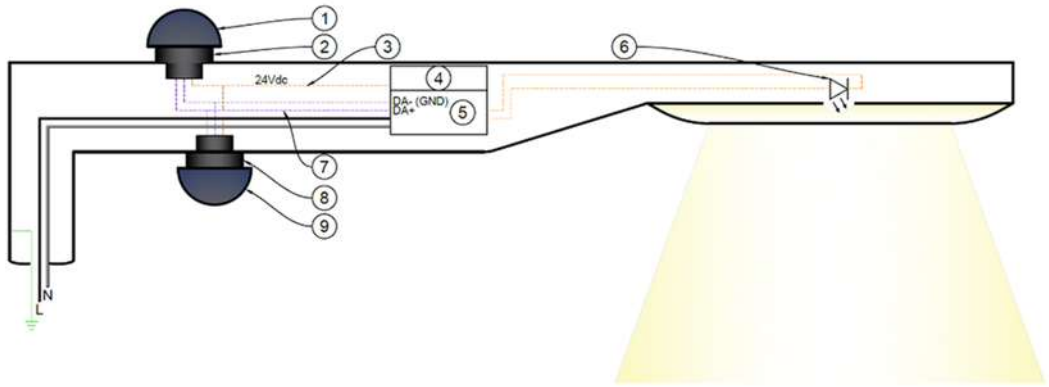


Figura 6.30 – Aparat cu socluri Zhaga Book 18 superior și inferior și dispozitive de comandă certificate Zhaga-D4i: (1) și (9) dispozitive de comandă; (2) și (8) interfețe Zhaga Book 18; (3) alimentare auxiliară; (4) unitate de alimentare auxiliară integrată; (5) driver LED; (6) modul LED; (7) magistrală de comunicație D4i

6.2.3. NEMA – ANSI C136.41

Originea și principiul

Interfața NEMA provine din conectorul fotocelulelor utilizate de zeci de ani în iluminatul stradal nord-american, standardizat de ANSI C136.10: un soclu rotativ cu 3 contacte de putere, prin care fotocelula alimentează sau întrerupe aparatul. ANSI C136.41 extinde acest conector cu contacte de semnal pentru dimare, păstrând compatibilitatea mecanică și electrică a contactelor de putere. Ediția curentă este ANSI C136.41-2025, iar domeniul standardului este limitat la dimarea 0–10 V și DALI. Interfața este larg răspândită în America de Nord și este întâlnită și în Europa, inclusiv în România, mai ales în instalații existente și în proiecte de modernizare.

Contactele

Conectorul C136.41 există în variantele cu 5 și cu 7 contacte (figura 6.31). Ambele au **3 contacte de putere** – faza de alimentare, nulul și faza comutată spre driver –, la care se adaugă **2 contacte de semnal** la varianta cu 5 contacte, respectiv **4 contacte de semnal** la varianta cu 7 contacte. O pereche de semnal este utilizată pentru dimare, iar a doua pereche, la varianta cu 7 contacte, rămâne disponibilă pentru funcții auxiliare. Denumirea „7 contacte” nu înseamnă 7 conductoare identice: conductoarele de putere și cele de semnal au secțiuni diferite, iar alocarea exactă a contactelor de semnal și polaritatea acestora se verifică în documentația producătorului conectorului, a controlerului și a driverului.

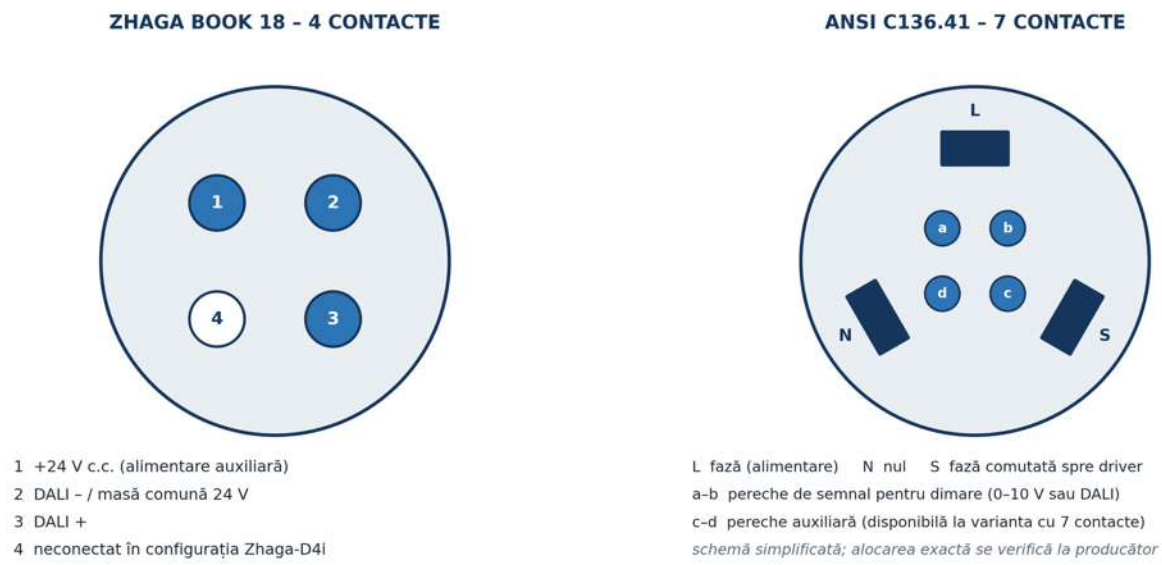


Figura 6.31 – Contactele conectorelor Zhaga Book 18 și ANSI C136.41 (schemă simplificată)

Funcționarea

La interfața NEMA, tensiunea de rețea intră în controler, care se alimentează din ea, conține releul prin care pornește și oprește driverul, circuitele de comunicație și, după caz, de măsurare a energiei și de protecție la supratensiuni. Dimarea se transmite driverului prin perechea de semnal, analogic (0–10 V) sau digital (DALI). În cazul semnalului 0–10 V, relația dintre tensiunea de comandă și nivelul luminii este o caracteristică a driverului, nu a interfeței, iar datele despre aparat nu sunt disponibile decât dacă driverul și controlerul folosesc DALI și implementează funcțiile respective.

Conectorii sunt, de regulă, rotative, astfel încât controlerul sau fotocelula să poată fi orientate independent de poziția aparatului. Un conector neutilizat se închide cu un capac de scurtcircuitare, care leagă faza de ieșirea comutată; fără acest capac sau fără controler, aparatul nu se aprinde.

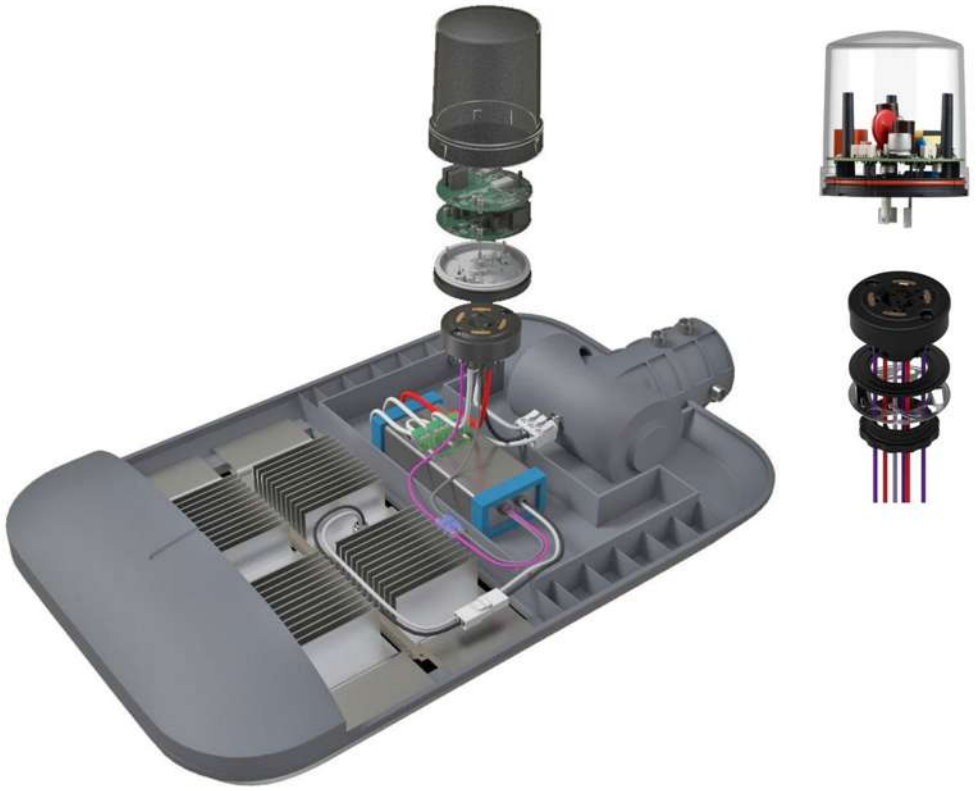


Figura 6.32 – Aparat cu soclu ANSI C136.41 și controler cu 7 contacte: (a) aparatul, cu soclul și controlerul în vedere explodată; (b) controlerul în vedere explodată; (c) controlerul asamblat

6.2.4. Comparație Zhaga Book 18 – NEMA ANSI C136.41

Diferența fundamentală dintre cele două interfețe privește locul în care se află alimentarea și comanda puterii (figura 6.33). La NEMA, tensiunea de rețea trece prin controler, care devine parte a circuitului de putere al aparatului. La Zhaga-D4i, tensiunea de rețea rămâne în interiorul aparatului, driverul asigură alimentarea și comanda sursei LED, iar modulul extern lucrează în joasă tensiune și comunică digital.

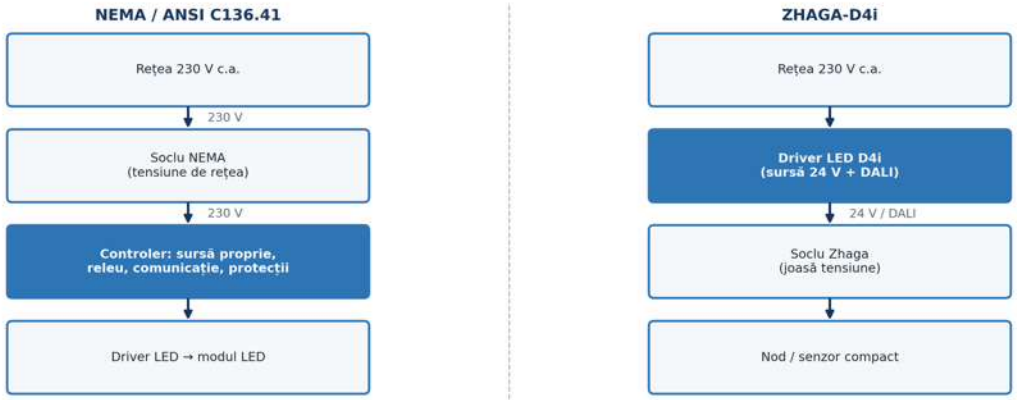


Figura 6.33 – Traseul alimentării la interfețele NEMA și Zhaga-D4i

Caracteristică	NEMA – ANSI C136.41	Zhaga Book 18 / Zhaga-D4i
Organism de standardizare	ANSI / NEMA	Zhaga Consortium și DALI Alliance
Răspândire	America de Nord; instalații existente și modernizări în alte regiuni	Europa, inclusiv România; proiecte noi de iluminat inteligent
Număr de contacte	5 sau 7	4
Tensiunea la interfață	tensiunea de rețea	joasă tensiune: 24 V c.c. și magistrala DALI

Caracteristică	NEMA – ANSI C136.41	Zhaga Book 18 / Zhaga-D4i
Alimentarea modulului	sursă proprie în controler, din rețea	din driverul D4i (alimentare auxiliară)
Comanda puterii aparatului	releu în controler	driverul, la comanda modulului
Dimare	0–10 V sau DALI	DALI / D4i
Date despre aparat, energie, diagnostic	numai dacă driverul și controlerul implementează DALI și funcțiile respective	standardizate prin D4i (părțile 251, 252, 253)
Poziții pe aparat	de regulă una, pe partea superioară	sus, jos sau ambele
Număr de module	de regulă unul	până la două (tip A și tip B)
Dimensiunea modulului	mai mare – include sursă și releu	compact
Interoperabilitate	mecanică și electrică; funcțiile depind de implementare	funcțională, garantată prin certificarea Zhaga-D4i a ambelor părți
Protecția la supratensiuni	în controler, pe partea de rețea	în driver și în aparat; modulul este pe partea de joasă tensiune
Înlocuirea modulului sub tensiune	modulul are contact cu tensiunea de rețea	modulul lucrează în joasă tensiune
Retrofit în instalații cu socluri NEMA	direct	necesită aparate compatibile Zhaga-D4i

Tabelul 6.22 – Comparația tehnică a interfețelor

Recomandări pentru alegerea interfeței

Pentru **aparatele noi** destinate iluminatului public inteligent, interfața Zhaga Book 18 cu certificare Zhaga-D4i oferă cel mai bun set de avantaje: module compacte în joasă tensiune, date standardizate despre aparat și energie, posibilitatea montării unui nod de comunicație și a unui senzor pe același aparat și interoperabilitate certificată între producători. Este soluția recomandată pentru proiectele noi din România.

Interfața **NEMA** rămâne potrivită atunci când beneficiarul are deja un parc de aparate cu socluri C136.41, pentru modernizări în care aparatele nu se înlocuiesc sau atunci când se folosesc echipamente existente compatibile NEMA. Pentru perioadele de tranziție, aparatele cu ambele interfețe – NEMA sus și Zhaga jos – permit compatibilitatea cu echipamentele existente și migrarea treptată spre Zhaga-D4i.

6.2.5. Marcaje CE și certificări

Ce înseamnă marcajul CE

Marcajul CE nu este un certificat emis de o autoritate. Este declarația producătorului că produsul respectă **toate** actele normative ale Uniunii Europene aplicabile acelui produs. Pentru a-l aplica, producătorul întocmește documentația tehnică, efectuează evaluarea conformității – singur sau, unde legislația impune, cu un organism notificat – și emite Declarația UE de conformitate. Utilizarea standardelor armonizate creează prezumția de conformitate cu cerințele esențiale.

Certificările voluntare – ENEC, DALI-2, D4i, Zhaga-D4i – nu înlocuiesc obligațiile legale. Ele completează marcajul CE cu verificări efectuate de terțe părți și cu garanții de compatibilitate în cadrul unui ecosistem.

Legislația aplicabilă echipamentelor de comandă și control

Act normativ	Obiect	Se aplică
Directiva 2014/35/UE (LVD)	securitate electrică	echipamentelor alimentate între 50–1 000 V c.a. sau 75–1 500 V c.c., fără funcții radio – drivere, controlere NEMA fără radio, aparate de iluminat
Directiva 2014/30/UE (EMC)	compatibilitate electromagnetică	echipamentelor electrice și electronice fără funcții radio

Act normativ	Obiect	Se aplică
Directiva 2014/53/UE (RED)	securitate, compatibilitate electromagnetică, utilizarea spectrului radio și, prin Regulamentul delegat (UE) 2022/30, securitate cibernetică	oricărui echipament cu emisie-recepție radio – noduri, gateway-uri, senzori radio; pentru acestea, cerințele de securitate electrică și EMC se demonstrează în cadrul RED
Directiva 2011/65/UE (RoHS), cu modificările ulterioare	limitarea substanțelor periculoase	tuturor echipamentelor electrice și electronice
Directiva 2012/19/UE (DEEE)	colectarea și tratarea deșeurilor	tuturor echipamentelor electrice și electronice – marcajul de colectare separată
Regulamentul (UE) 2019/2020	proiectare ecologică pentru surse de lumină și aparataj de comandă separat	surselor de lumină și driverelor, inclusiv consumul în stare de așteptare conectată
Regulamentul (UE) 2024/2847 (CRA)	securitate cibernetică pentru produse cu elemente digitale	progresiv, cu aplicare generală din decembrie 2027
Directiva 2014/34/UE (ATEX)	atmosfere potențial explozive	numai echipamentelor destinate zonelor cu risc de explozie

Tabelul 6.23 – Acte normative ale Uniunii Europene aplicabile

Standardele utilizate

Declarația de conformitate trebuie să indice standardele efectiv aplicate produsului concret. Tabelul 6.24 prezintă standardele întâlnite frecvent pentru fiecare categorie de echipament; lista nu este exhaustivă, iar edițiile se verifică pentru fiecare produs.

Echipament	Securitate	Compatibilitate electromagnetică	Alte standarde relevante
Aparat de iluminat	SR EN 60598-1, SR EN 60598-2-3	SR EN IEC 55015, SR EN 61547, SR EN IEC 61000-3-2, SR EN 61000-3-3	SR EN 62471 (fotobiologic), SR EN 60529 (IP), SR EN 62262 (IK)
Driver LED	SR EN 61347-1, SR EN 61347-2-13	SR EN IEC 55015, SR EN 61547, SR EN IEC 61000-3-2	IEC 62386 (DALI), SR EN 62384 (performanță)
Controler / nod cu radio	SR EN 62368-1 sau standardul de produs aplicabil	SR EN 301 489-1 și partea specifică tehnologiei radio	SR EN 300 328 (2,4 GHz), SR EN 300 220 (sub 1 GHz), SR EN 301 908 (celular), SR EN 62311 / SR EN 62479 (expunere la câmp), seria EN 18031 (securitate cibernetică)
Senzor	standardul de produs aplicabil	SR EN 61547 sau SR EN 301 489, după caz	SR EN 60529 (IP)
Gateway	SR EN 62368-1	SR EN 301 489-1, SR EN 61000-6-2 / -6-4	standardele radio aplicabile, seria EN 18031
Conectorul	specificația interfeței (Zhaga Book 18 sau ANSI C136.41)	–	SR EN 60529 (IP)

Tabelul 6.24 – Standarde utilizate frecvent, pe categorii de echipamente

Certificări voluntare și de ecosistem

Certificare	Emitent	Ce atestă
ENEC / ENEC+	organisme de certificare europene	securitatea produsului conform standardelor europene; ENEC+ și performanța declarată a aparatelor de iluminat
DALI-2	DALI Alliance	conformitatea driverelor și a dispozitivelor de control cu IEC 62386 și interoperabilitatea DALI

Certificare	Emitent	Ce atestă
D4i	DALI Alliance	funcțiile D4i ale aparatelor, driverelor și dispozitivelor de control: alimentare, date despre aparat, energie, diagnostic
Zhaga-D4i	Zhaga Consortium și DALI Alliance	interoperabilitatea mecanică, electrică și funcțională a aparatelor și a modulelor cu interfață Zhaga
TALQ	TALQ Consortium	interoperabilitatea dintre platforma centrală și rețelele de iluminat exterior (7.3.3)
LoRaWAN / Wi-SUN	LoRa Alliance / Wi-SUN Alliance	conformitatea echipamentelor radio cu specificațiile de rețea respective

Tabelul 6.25 – Certificări întâlnite în iluminatul public inteligent

Cum se verifică conformitatea

Verificarea documentelor de conformitate se face pe produsul concret, nu pe familia de produse. Declarația UE de conformitate trebuie să identifice producătorul, modelul exact, actele normative și standardele aplicate, locul și data emiterii și semnătura persoanei responsabile. Rapoartele de încercări trebuie să corespundă aceluiași model și standardelor declarate. Certificările de ecosistem se confirmă în bazele de date publice ale organismelor emitente, nu doar pe baza fișei tehnice sau a unei declarații comerciale de tipul „compatibil DALI” sau „cu mufă Zhaga”.

Conformitatea fiecărei componente nu garantează automat conformitatea ansamblului. Montarea unui conector sau a unui modul care modifică aparatul de iluminat poate afecta securitatea electrică, compatibilitatea electromagnetică și gradul de protecție; persoana care modifică substanțial un produs introdus pe piață preia, potrivit legislației europene, obligațiile producătorului pentru produsul modificat. Din acest motiv, aparatele se livrează cu controlere montate și certificate de producătorul aparatului.

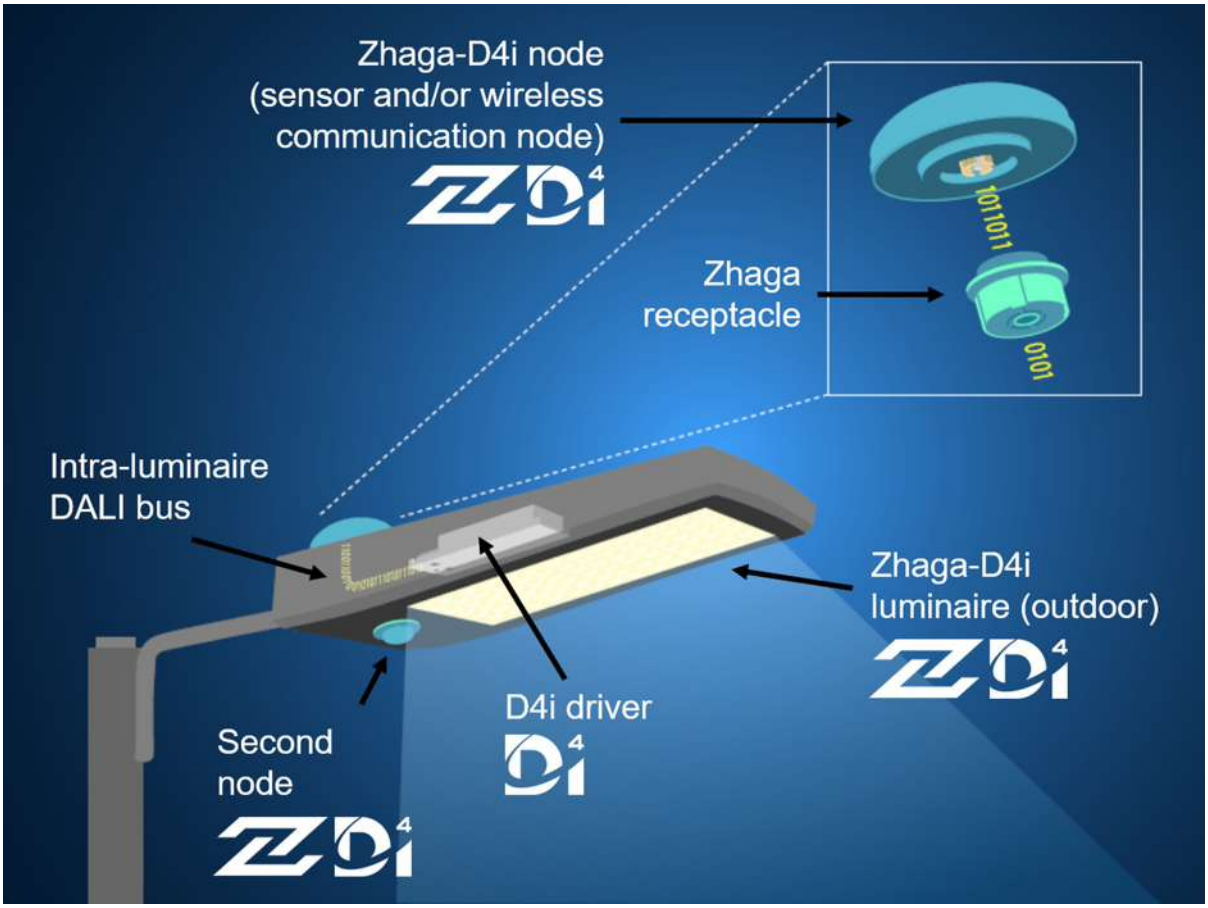


Figura 6.34 – Marcajele de certificare Zhaga-D4i aplicate pe nodul de comandă, pe soclu, pe driver și pe aparatul de exterior (sursa: Zhaga Consortium)

Greșeli frecvente în proiectare și implementare

Interfețele de montaj și documentele de conformitate par detalii, dar greșelile din această zonă se descoperă, de regulă, abia la montajul modulelor sau la recepție, când corectarea lor presupune înlocuirea aparatelor sau a controlerelor.

1. Conectorul Zhaga considerat echivalent cu Zhaga-D4i

Ce se întâmplă. Se consideră că un aparat „cu mufă Zhaga” este compatibil cu orice modul Zhaga, fără verificarea certificării Zhaga-D4i a aparatului și a modulului.

Consecința. Modulul se montează mecanic, dar nu primește alimentare, nu comunică cu driverul sau nu poate citi datele aparatului; funcțiile de telegestiune sunt incomplete.

Cum se previne. Se verifică în bazele de date Zhaga și DALI Alliance certificarea Zhaga-D4i a modelului exact de aparat și de modul.

2. Driver fără funcții D4i

Ce se întâmplă. Aparatul are Zhaga, dar driverul nu furnizează alimentarea auxiliară de 24 V sau nu implementează funcțiile D4i.

Consecința. Nodul nu pornește sau funcționează doar parțial, fără date de energie și diagnostic, iar înlocuirea driverului în fiecare aparat devine necesară.

Cum se previne. Se verifică fișa driverului și certificarea D4i, inclusiv puterea disponibilă pe alimentarea auxiliară pentru modulele prevăzute.

3. Poziția conectorului nepotrivită funcției

Ce se întâmplă. Senzorul de prezență se montează pe conectorul superior sau nodul de comunicație pe cel inferior.

Consecința. Senzorul nu „vede” zona de detecție, iar nodul are acoperire radio redusă, fiind ecranat de carcasa aparatului.

Cum se previne. Poziția și numărul conectorilor se stabilesc în proiect în funcție de modulele prevăzute: comunicație și lumină ambientală sus, prezență și trafic jos.

4. Două dispozitive care încearcă să comande același aparat

Ce se întâmplă. Pe același aparat se montează module incompatibile ca rol – de exemplu două dispozitive de tip A sau un senzor care comandă direct driverul fără coordonare cu nodul.

Consecința. Apar comenzi contradictorii, variații ale nivelului de iluminare și comportări greu de diagnosticat.

Cum se previne. Se respectă regulile arhitecturii cu două noduri – un dispozitiv tip A și un dispozitiv tip B – și se verifică la punerea în funcțiune comportarea combinată.

5. Alocarea contactelor NEMA presupusă

Ce se întâmplă. Se presupune că toate controlerele și driverele folosesc aceleași contacte și aceeași polaritate pentru semnalul de dimare.

Consecința. Dimarea nu funcționează, aparatul rămâne la nivel maxim sau minim, iar în cazuri nefavorabile interfața de dimare a driverului se defectează.

Cum se previne. Se verifică alocarea contactelor și polaritatea în documentația conectorului, a controlerului și a driverului și se testează dimarea pe un aparat înainte de montajul în serie.

6. Confuzia dintre 0–10 V și DALI

Ce se întâmplă. Controlerul NEMA transmite semnal analogic 0–10 V, iar driverul are interfață DALI, sau invers.

Consecința. Aparatele nu pot fi dimate, iar datele despre aparat nu sunt disponibile.

Cum se previne. Se stabilește încă din proiect protocolul de dimare și se verifică potrivirea dintre controler și driver pentru fiecare tip de aparat.

7. Conector neutilizat fără capac corespunzător

Ce se întâmplă. Conectorul NEMA rămâne liber, fără capac de scurtcircuitare, sau conectorul Zhaga rămâne neetanșat.

Consecința. Aparatul NEMA nu se aprinde; conectorul Zhaga permite pătrunderea apei și a prafului, cu defectarea aparatului.

Cum se previne. Fiecare conector neutilizat se închide cu capacul prevăzut de producător: capac de scurtcircuitare la NEMA, capac de etanșare la Zhaga.

8. Controler NEMA fără protecție la supratensiuni adecvată

Ce se întâmplă. Se alege un controler NEMA fără verificarea protecției la supratensiuni pe partea de rețea.

Consecința. Descărcările atmosferice și comutațiile din rețea distrug controlerele, care sunt conectate direct la tensiunea de rețea.

Cum se previne. Se verifică nivelul de protecție la supratensiuni declarat al controlerului și coordonarea cu protecțiile aparatului și ale rețelei.

9. Marcajul CE tratat ca un certificat

Ce se întâmplă. Se consideră suficientă prezența marcajului CE pe produs sau o declarație generică pentru o familie de produse.

Consecința. Produsul poate să nu respecte toate actele normative aplicabile – de exemplu cerințele radio sau de securitate cibernetică –, iar neconformitatea se descoperă la controale sau în exploatare.

Cum se previne. Se verifică Declarația UE de conformitate pentru modelul exact, cu actele normative și standardele aplicate, și rapoartele de încercări corespunzătoare.

10. Ignorarea directivei privind echipamentele radio

Ce se întâmplă. Pentru nodurile și gateway-urile cu radio se verifică doar conformitatea cu directivele privind securitatea electrică și compatibilitatea electromagnetică.

Consecința. Echipamentul poate să nu respecte cerințele privind utilizarea spectrului radio și, de la 1 august 2025, cerințele de securitate cibernetică.

Cum se previne. Pentru orice echipament cu radio se verifică încadrarea în Directiva 2014/53/UE și standardele aplicate, inclusiv seria EN 18031.

11. Certificări verificate doar din fișa tehnică

Ce se întâmplă. Mențiuni precum „DALI-2”, „D4i” sau „Zhaga-D4i” din fișa tehnică sunt acceptate fără confirmare.

Consecința. Produsele se dovedesc necertificate sau certificate pentru alt model ori altă versiune, iar interoperabilitatea nu este garantată.

Cum se previne. Certificările se verifică în bazele de date publice ale DALI Alliance și Zhaga Consortium, după denumirea exactă a modelului.

12. Modificarea aparatelor în teren

Ce se întâmplă. Pe aparate existente se montează în teren conector sau module care necesită deschiderea și recablarea aparatului.

Consecința. Conformitatea inițială a aparatului nu mai este acoperită de producător, gradul de protecție și securitatea electrică pot fi compromise, iar garanția se poate pierde.

Cum se previne. Se folosesc aparate livrate cu conectori montați de producător; modificările aparatelor existente se fac numai cu acordul și soluția producătorului, cu reevaluarea conformității.

Concluzii

Interfețele standardizate de montaj separă aparatul de iluminat de sistemul de control și permit modernizarea telegestiunii fără înlocuirea aparatelor. Zhaga Book 18, în ecosistemul Zhaga-D4i, oferă o interfață compactă în joasă tensiune, date standardizate despre aparat și interoperabilitate certificată și este soluția recomandată pentru aparatele noi; NEMA ANSI C136.41 rămâne relevantă pentru instalațiile existente și pentru modernizări.

Conformitatea echipamentelor se demonstrează prin Declarația UE de conformitate pentru modelul exact, prin standardele aplicate și prin certificările de ecosistem verificate la sursă. Subcapitolul 6.3 prezintă controlerele aparatelor de iluminat: arhitectura hardware internă, prelucrarea datelor, protocoalele și funcțiile acestora.

6.3. Controlerele aparatelor de iluminat *[Opriţescu C., Epure A., Ichim G.]*

Introducere

Controlerul este echipamentul care transformă un aparat de iluminat obișnuit într-un punct luminos administrabil de la distanță. Subcapitolul 6.1.2 a arătat ce rol are controlerul în arhitectura sistemului; acest subcapitol privește în interiorul lui: din ce componente este construit, cum prelucrează datele, prin ce protocoale comunică și ce funcții oferă în practică.

Sunt prezentate arhitectura hardware internă, comunicarea și prelucrarea datelor, protocoalele utilizate spre driver și spre rețea, funcționalitățile și exemple concrete de configurații. Exemplele sunt generice, fără nominalizarea producătorilor, și corespund tipurilor de controlere cele mai răspândite în telegestiunea iluminatului public, atât la nivel internațional, cât și în România.

Interfețele de montaj Zhaga și NEMA au fost prezentate în 6.2, rețelele de comunicații în 6.1.3, senzorii sunt tratați în 6.4, iar protocolul DALI și extensia D4i în subcapitolul dedicat interfeței digitale.

Termeni tehnici utilizați

Tabelul 6.26 explică termenii și acronimele utilizate în acest subcapitol. Termenii prezentați în subcapitolele anterioare nu mai sunt reluați.

Termen	Denumire completă	Explicație
Microcontroler (MCU)	Microcontroller Unit	Circuit integrat care reunește procesorul, memoria și interfețele și execută programul controlerului.
SoC	System on Chip	Circuit integrat care include, pe lângă procesor și memorie, și partea radio; reduce dimensiunile și consumul.
Memorie flash	–	Memorie care păstrează datele fără alimentare: firmware, configurație, programe și evenimente.
Element securizat	secure element	Circuit dedicat, protejat fizic și logic, în care se păstrează cheile criptografice ale dispozitivului, astfel încât acestea să nu poată fi extrase.
Varistor (MOV)	Metal Oxide Varistor	Componentă care limitează supratensiunile tranzitorii prin scăderea bruscă a rezistenței la depășirea unei tensiuni de prag.
Releu bistabil	latching relay	Releu care își păstrează poziția fără alimentarea continuă a bobinei; reduce consumul propriu al controlerului.
Curent de pornire	inrush current	Curentul de valoare mare, de scurtă durată, absorbit de un driver LED în momentul conectării la rețea.
Comutare la trecerea prin zero	zero-crossing	Închiderea sau deschiderea releului în momentul în care tensiunea sau curentul trec prin zero, pentru reducerea solicitării contactelor.
Circuit de măsurare a energiei	metering IC	Circuit specializat care măsoară tensiunea, curentul, puterea, factorul de putere și energia.
Accelerometru	–	Senzor care măsoară accelerațiile și înclinarea; permite detectarea loviturilor sau a înclinării stâlpului.
BLE	Bluetooth Low Energy	Tehnologie radio de mică putere utilizată pentru configurarea locală a controlerului cu un telefon sau o tabletă.
NFC	Near Field Communication	Comunicație radio la distanță de câțiva centimetri, utilizată pentru identificare și configurare la montaj.
Bootloader	–	Programul care pornește primul la alimentare și încarcă firmware-ul; asigură revenirea la o versiune validă după o actualizare eșuată.
Imagine dublă de firmware	dual image	Păstrarea în memorie a două versiuni de firmware – cea activă și cea nouă –, astfel încât dispozitivul să poată reveni la versiunea anterioară.

Termen	Denumire completă	Explicație
Sursa magistralei DALI	DALI bus power supply	Sursa care alimentează magistrala DALI; fără ea comunicația DALI nu funcționează. În driverele D4i este integrată.
DT6 / DT8	Device Type 6 / 8	Tipurile de aparataj DALI pentru module LED (IEC 62386-207), respectiv pentru controlul culorii (IEC 62386-209).
6LoWPAN	IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks	Adaptare a protocolului IPv6 pentru rețelele radio de mică putere, precum cele bazate pe IEEE 802.15.4.
CoAP	Constrained Application Protocol	Protocol de aplicație ușor, asemănător HTTP, conceput pentru dispozitive cu resurse reduse.
LwM2M	Lightweight Machine to Machine	Protocol standardizat pentru administrarea de la distanță a dispozitivelor IoT: configurare, citirea datelor, actualizări de firmware.
CLO	Constant Light Output	Funcție a driverului care crește treptat curentul pe durata de viață pentru a compensa scăderea fluxului luminos al LED-urilor.
Consum propriu	–	Puterea absorbită de controler pentru propria funcționare, indiferent de starea aparatului.

Tabelul 6.26 – Termeni și acronime

6.3.1. Arhitectura hardware internă

Indiferent de producător și de forma constructivă, un controler de aparat de iluminat este construit din blocurile prezentate în figura 6.35. Unele blocuri pot lipsi – de exemplu releul la controlerele Zhaga-D4i sau senzorii integrați la variantele simple –, iar altele pot fi reunite în același circuit.

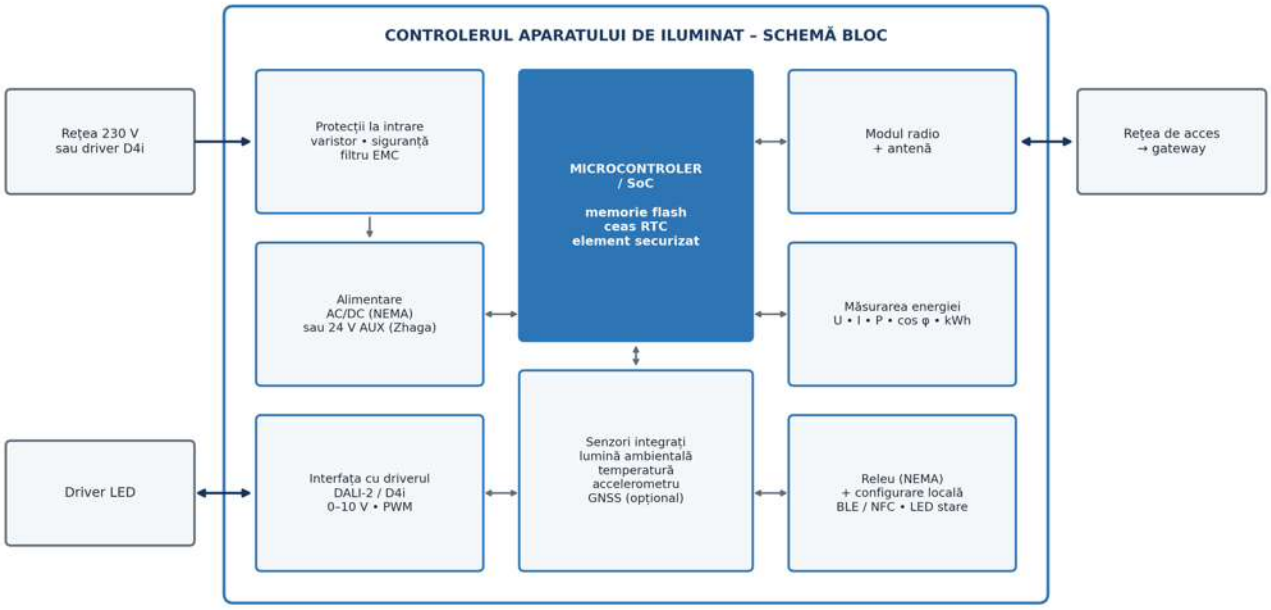


Figura 6.35 – Schema bloc a unui controler de aparat de iluminat

Alimentarea și protecțiile

Modul de alimentare depinde de interfața de montaj. **Controlerul NEMA** este conectat la tensiunea de rețea și are o sursă proprie în comutație, care produce tensiunile de joasă tensiune necesare electronicii. La intrare are protecții – siguranță, varistoare, filtru pentru compatibilitate electromagnetică –, deoarece este expus direct supratensiunilor din rețea. Pentru controlerele de exterior, standardul ANSI C136.2 definește niveluri de încercare la supratensiuni de 6 kV / 3 kA, 10 kV / 5 kA și 20 kV / 10 kA; nivelul ales trebuie corelat cu protecțiile aparatului și ale rețelei.

Modulul Zhaga-D4i este alimentat din sursa auxiliară de 24 V c.c. a driverului D4i și nu are contact cu tensiunea de rețea. Sursa internă este mai simplă, modulul este mai compact, iar protecția la supratensiuni a aparatului rămâne în driver și în circuitele aparatului. Consumul modulului trebuie să se încadreze în puterea disponibilă pe alimentarea auxiliară a driverului.

Microcontrolerul, memoria și securitatea

Centrul controlerului este un microcontroler sau un circuit SoC, care execută firmware-ul: comunicația, programele locale, regulile de prioritate, măsurarea și diagnosticul. Memoria flash păstrează firmware-ul – de regulă în două imagini, pentru actualizări sigure –, configurația, programele și jurnalul de evenimente. Ceasul de timp real, susținut de o baterie sau de un supercondensator, menține ora pe durata întreruperilor de alimentare, ceea ce este esențial pe circuitele alimentate numai noaptea.

Cheile criptografice unice ale dispozitivului se păstrează, la controlerele moderne, într-un element securizat, care împiedică extragerea lor chiar și în cazul accesului fizic la echipament. Acesta este fundamentul autentificării controlerului în rețea și al acceptării exclusive a firmware-ului semnat de producător.

Partea radio și antena

Modulul radio realizează legătura cu rețeaua de acces: mesh în 2,4 GHz sau sub 1 GHz, LoRa sau celular NB-IoT/LTE-M, în funcție de soluția de rețea (6.1.3). Antena este integrată în carcasa controlerului, iar performanța ei depinde de poziția de montaj: pe partea superioară a aparatului, fără obstacole metalice în apropiere. Controlerele celulare includ și modemul, cartela SIM sau eSIM-ul, iar unele variante includ un receptor GNSS pentru localizarea automată la montaj și pentru sincronizarea timpului.

Interfața cu driverul

Controlerul comandă driverul printr-o interfață digitală DALI-2/D4i sau analogică 0–10 V (1–10 V); unele produse oferă și ieșire PWM. Interfața DALI permite, pe lângă comanda nivelului de iluminare, citirea stărilor, a defectelor și, la driverele D4i, a datelor despre aparat, energie și diagnostic. Magistrala DALI are nevoie de o sursă de alimentare: la aparatele Zhaga-D4i aceasta este integrată în driver, iar la controlerele NEMA care comandă drivere DALI obișnuite trebuie asigurată de controler. Interfața 0–10 V transmite numai nivelul comandat; relația dintre tensiune și nivelul de lumină, precum și nivelul minim de dimare sunt caracteristici ale driverului.

Releul

Controlerele NEMA conțin un releu prin care alimentează sau deconectează driverul. Driverele LED absorb la conectare un curent de pornire de valoare mare și durată foarte scurtă, care solicită puternic contactele. Releul trebuie dimensionat pentru acest curent, nu doar pentru curentul nominal; soluțiile uzuale sunt relee cu contacte adecvate sarcinilor capacitive, comutarea la trecerea prin zero și relee bistabile, care reduc și consumul propriu. La modulele Zhaga-D4i nu există releu: stingerea se face prin comanda DALI către driver, care rămâne alimentat.

Măsurarea energiei

Controlerele cu funcție de măsurare conțin un circuit specializat care determină tensiunea, curentul, puterea activă, factorul de putere și energia consumată de aparat. La controlerele NEMA, măsurarea se face direct pe circuitul de alimentare al driverului; la aparatele Zhaga-D4i, datele de energie pot fi citite din driver, prin D4i. Precizia declarată a măsurării este suficientă pentru monitorizare, diagnostic și rapoarte, dar nu înlocuiește contorul verificat metrologic din punctul de aprindere pentru decontarea energiei.

Senzorii integrați și configurarea locală

Controlerele pot integra un senzor de lumină ambientală, utilizat ca fotocelulă sau pentru corecția programului astronomic, un senzor de temperatură, pentru protecție și diagnostic, și un accelerometru, care detectează loviturile, vibrațiile anormale și înclinarea stâlpului. Senzorii de prezență și de trafic sunt, de regulă, module separate (6.4). Pentru montaj și punere în funcțiune, multe controlere oferă o interfață locală – BLE,

NFC sau optică – prin care tehnicianul identifică dispozitivul, îl asociază cu stâlpul și verifică funcționarea cu un telefon sau o tabletă, iar un indicator luminos de stare arată alimentarea și conectarea la rețea.

Carcasa și condițiile de mediu

Controlerul funcționează ani la rând pe aparat, expus la radiații ultraviolete, precipitații, variații mari de temperatură, praf, vibrații și, în zonele de coastă sau industriale, la atmosferă corozivă. Carcasa este realizată din materiale rezistente la UV, cu grad de protecție ridicat (de regulă IP66) și rezistență la impact, iar domeniul de temperatură de funcționare trebuie să acopere atât condițiile climatice, cât și încălzirea suplimentară produsă de aparat.

Consumul propriu

Controlerul consumă energie pentru propria funcționare, iar la instalațiile mari acest consum devine semnificativ. De exemplu, 10 000 de controlere cu un consum propriu de 1 W, alimentate aproximativ 4 100 de ore pe an – durata anuală orientativă de funcționare a iluminatului public –, consumă 10 000 × 1 W × 4 100 h = 41 000 kWh pe an; dacă sunt alimentate permanent, consumul crește la aproximativ 87 600 kWh pe an. Consumul propriu se include în bilanțul energetic al instalației și se compară între soluții.

Bloc	**Controler NEMA**	**Modul Zhaga-D4i**
Alimentare	sursă proprie din rețea	din alimentarea auxiliară 24 V a driverului
Protecții la supratensiuni	în controler, pe partea de rețea	în driver și în aparat
Releu	da, pentru comutarea driverului	nu – stingere prin comandă DALI
Interfața cu driverul	0–10 V sau DALI; sursă de magistrală în controler, dacă e necesară	DALI / D4i, sursă de magistrală în driver
Măsurarea energiei	circuit propriu pe alimentarea driverului	date citite din driverul D4i sau circuit propriu
Dimensiuni	mai mari	compacte
Consum propriu	include sursa și releul	limitat de puterea disponibilă pe alimentarea auxiliară

Tabelul 6.27 – Diferențe constructive între controlerele NEMA și modulele Zhaga-D4i

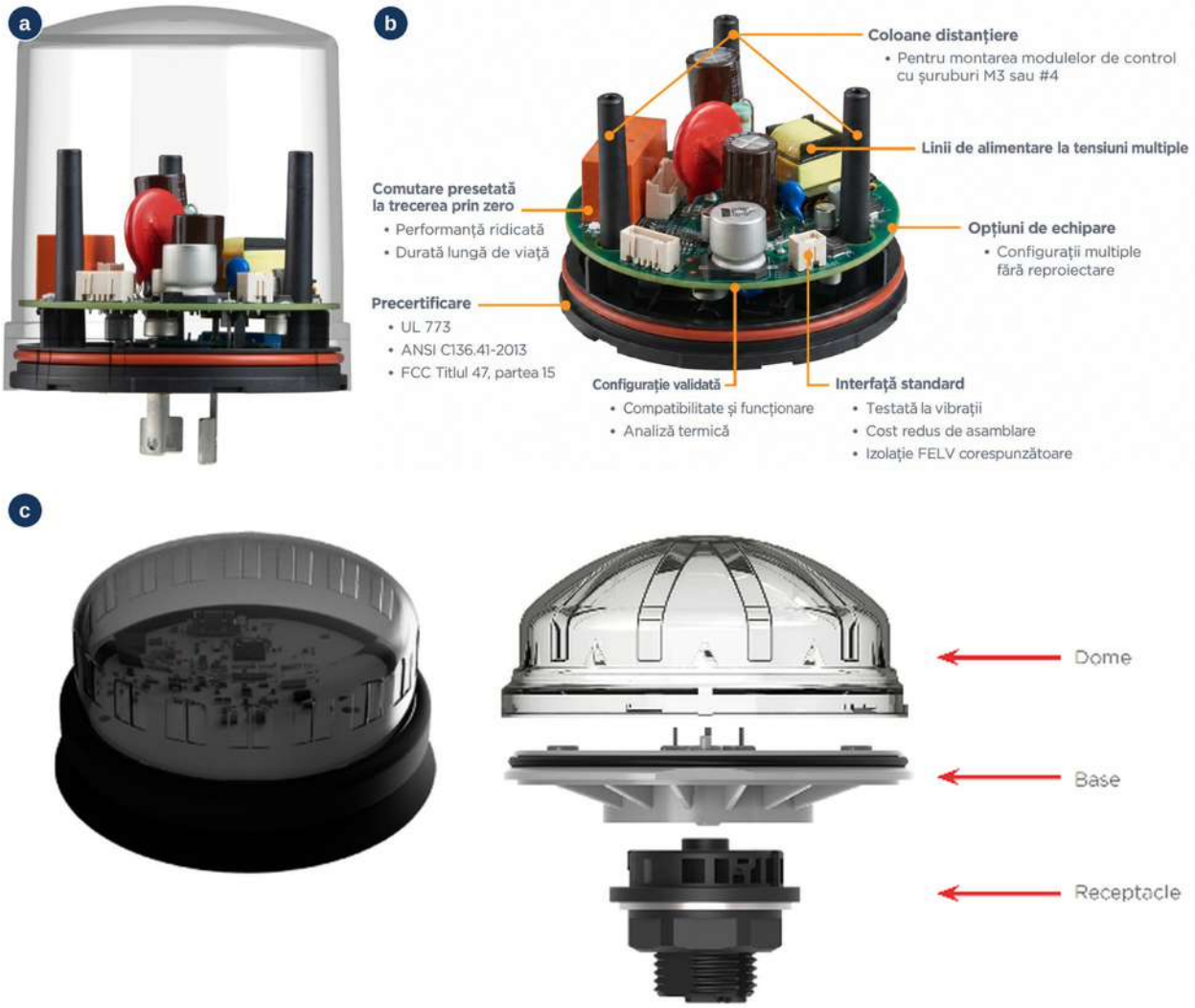


Figura 6.36 – Controlere de aparat și componentele lor principale: (a) controler NEMA asamblat; (b) placa electronică controler NEMA, cu blocurile funcționale; (c) controler Zhaga – capac, bază și soclu

6.3.2. Comunicarea și prelucrarea datelor

Controlerul nu este un simplu intermediar între rețea și driver. El prelucrează datele în ambele sensuri, după etapele din figura 6.37.

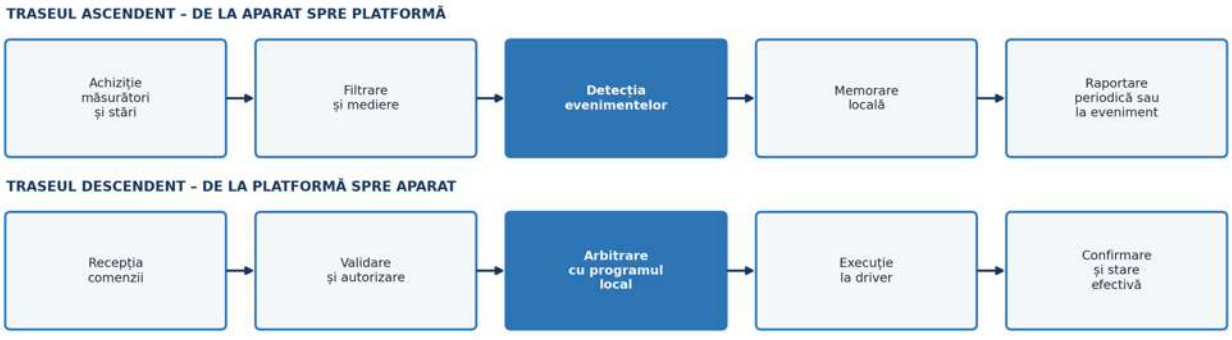


Figura 6.37 – Prelucrarea datelor în controler

Traseul ascendent

Achiziția. Controlerul citește periodic mărimile măsurate – tensiune, curent, putere, temperatură, lumină ambientală – și interoghează driverul pentru stări și defecte. Frecvența de eșantionare este mult mai mare decât frecvența de raportare.

Filtrarea și medierea. Valorile instantanee se filtrează pentru eliminarea variațiilor de scurtă durată și se transformă în mărimi utile: medii pe interval, valori minime și maxime, energie cumulată, ore de funcționare, număr de comutări.

Detecția evenimentelor. Controlerul compară valorile cu pragurile configurate și detectează local evenimentele: lipsa răspunsului driverului, consum în afara limitelor, supratensiune sau subtensiune, temperatură excesivă, înclinarea stâlpului, aprinderea pe timp de zi. Detecția locală permite transmiterea imediată a alarmei, fără a aștepta intervalul de raportare.

Memorarea locală. Datele și evenimentele se păstrează în memoria flash, cu marcă temporală, până la confirmarea recepției lor de către gateway sau platformă.

Raportarea. Datele de monitorizare se transmit periodic, la intervale stabilite în funcție de capacitatea rețelei – de la câteva minute la câteva ore –, iar alarmele se transmit imediat. În rețelele cu capacitate redusă, controlerul poate transmite doar modificările față de raportarea anterioară.

Traseul descendent

Comanda primită din rețea este verificată ca destinație, autenticitate și valabilitate, comparată cu programul local și cu celelalte surse de comandă după ierarhia de priorități, executată prin interfața cu driverul și confirmată, împreună cu starea efectivă raportată de driver sau măsurată. Etapele sunt descrise în detaliu în subcapitolul 6.1.2, secțiunea 4.

Timpul, programele și funcționarea autonomă

Controlerul își sincronizează ceasul din rețea sau prin GNSS și calculează local orele de apus și răsărit pentru coordonatele sale. Programele și profilurile de dimare primite din platformă se memorează local și se execută independent de comunicație. La pierderea legăturii, controlerul continuă programul valid; dacă ceasul nu este sincronizat, aplică valoarea de rezervă sau funcționează după senzorul de lumină ambientală.

Firmware-ul și actualizările

Firmware-ul se actualizează de la distanță. Noua versiune se transmite în fragmente, se verifică integritatea și semnătura, se scrie în a doua zonă de memorie și se activează numai după validare; dacă pornirea cu noua versiune eșuează, bootloader-ul revine automat la versiunea anterioară. Un circuit de supraveghere (watchdog) repornește controlerul dacă programul se blochează.

6.3.3. Protocoale de comunicație

Controlerul utilizează protocoale diferite spre driver și spre rețea (figura 6.38). Între cele două se află aplicația controlerului, care traduce comenzile și datele dintr-un domeniu în celălalt. Detaliile tehnologiilor de rețea sunt tratate în subcapitolele 7.1 și 7.6, iar protocoalele de aplicație în 7.3.

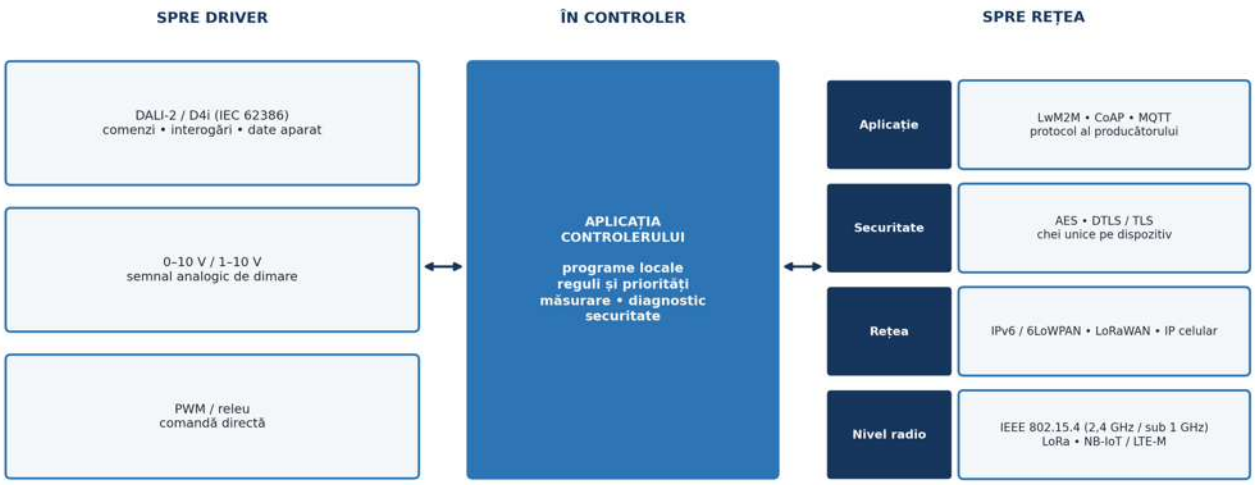


Figura 6.38 – Protocoalele utilizate de controler spre driver și spre rețea

Protocoale spre driver

Protocol	Principiu	Ce permite	Limite
DALI-2 (IEC 62386)	magistrală digitală cu două fire, cu adresare	comanda nivelului, scene, interogarea stării și a defectelor; module LED (DT6), controlul culorii (DT8)	necesită sursă de magistrală; debit redus, suficient pentru iluminat
D4i (DALI Alliance)	extensie DALI-2 pentru aparate inteligente	alimentarea modulelor, date despre aparat, energie și diagnostic, standardizate	necesită driver și modul certificate D4i
0–10 V / 1–10 V	tensiune continuă proporțională cu nivelul dorit	dimare simplă, compatibilitate largă	fără date și fără confirmare; nivelul minim și curba depind de driver
PWM	semnal dreptunghiular cu factor de umplere variabil	dimare la unele drivere și module	neinteroperabil; fără date
Releu	conectarea și deconectarea alimentării	aprindere și stingere	fără dimare; solicitarea contactelor la curentul de pornire

Tabelul 6.28 – Protocoale între controler și driver

Protocoale spre rețea

Spre rețea, comunicația este organizată pe niveluri. **Nivelul radio** este dat de tehnologia aleasă: IEEE 802.15.4 în 2,4 GHz sau sub 1 GHz pentru rețelele mesh, LoRa pentru LoRaWAN, NB-IoT sau LTE-M pentru soluțiile celulare. **Nivelul de rețea** asigură adresarea și rutarea: IPv6 adaptat prin 6LoWPAN în multe rețele mesh, LoRaWAN în rețelele LoRa, IP prin rețeaua operatorului în soluțiile celulare.

Nivelul de securitate protejează mesajele prin criptare – de regulă AES – și prin protocoale de securizare a sesiunii precum DTLS sau TLS, pe baza cheilor unice ale dispozitivului. **Nivelul de aplicație** definește structura mesajelor: protocoale standardizate precum LwM2M peste CoAP sau MQTT, ori protocoale ale producătorului. Utilizarea protocoalelor standardizate facilitează integrarea, dar interoperabilitatea completă între producători se obține, în practică, la nivelul platformei, prin TALQ (7.3.3, 7.10).

6.3.4. Funcționalități și exemple concrete

Funcționalitățile controlerului

Categorie	Funcționalități
Comandă	aprindere, stingere, dimare individuală și de grup; scene; comenzi temporare cu expirare
Programe	programe calendaristice și astronomice memorate local; profiluri de dimare; valoare de rezervă
Adaptare	reacție la senzori de prezență, trafic, lumină ambientală; corecția programului astronomic
Măsurare	tensiune, curent, putere, factor de putere, energie; ore de funcționare; număr de comutări
Diagnostic	defect driver sau modul LED, consum anormal, supratensiune, subtensiune, temperatură, aprindere pe timp de zi, înclinare sau lovire a stâlpului
Date despre aparat	identificare, parametri nominali, istoric – prin D4i
Autonomie	funcționare după program local la pierderea comunicației; memorarea evenimentelor
Administrare	configurare de la distanță, actualizări de firmware cu revenire, sincronizarea timpului
Securitate	autentificare, criptare, chei unice, acceptarea exclusivă a firmware-ului semnat
Punere în funcțiune	identificare locală prin BLE/NFC, localizare GNSS, test local de funcționare

Tabelul 6.29 – Funcționalitățile unui controler de aparat de iluminat

Exemple de configurații

Tabelul 6.30 prezintă cinci configurații tipice de controlere întâlnite în proiectele de telegestiune a iluminatului public.

Configurație	Construcție	Comunicație	Utilizare tipică
1. Controler NEMA cu 7 contacte	sursă din rețea, releu, măsurare, senzor de lumină, interfață 0–10 V sau DALI	mesh 2,4 GHz sau sub 1 GHz	modernizarea instalațiilor cu socluri NEMA, înlocuirea fotocelulelor
2. Nod Zhaga-D4i tip A, mesh	alimentat din driver, citește datele D4i, compact	mesh 2,4 GHz, cu gateway	aparate noi în localități urbane și periurbane
3. Nod Zhaga-D4i tip A, celular	alimentat din driver, modem LTE-M/NB-IoT, eSIM, GNSS	direct către rețeaua operatorului	puncte luminoase izolate, instalații mici și dispersate
4. Nod tip A + senzor tip B	nod de comunicație sus, senzor de prezență sau radar jos	mesh sau celular	iluminat adaptiv pe străzi cu trafic redus, treceri de pietoni
5. Controler-gateway pe aparat	nod cu funcție de coordonare și modem celular cu eSIM	mesh spre nodurile vecine, LTE spre platformă	zone fără punct de aprindere adecvat, extinderi (6.1.3)

Tabelul 6.30 – Configurații tipice de controlere

Exemple de funcționare

Detectarea degradării unui aparat. Controlerul compară puterea măsurată cu valoarea așteptată pentru nivelul de dimare programat. Creșterea treptată a consumului peste pragul configurat (figura 6.39) poate indica degradarea driverului sau a modulului LED ori activarea funcției CLO la sfârșitul duratei de viață. Alarma permite planificarea intervenției înainte ca aparatul să se defecteze complet.

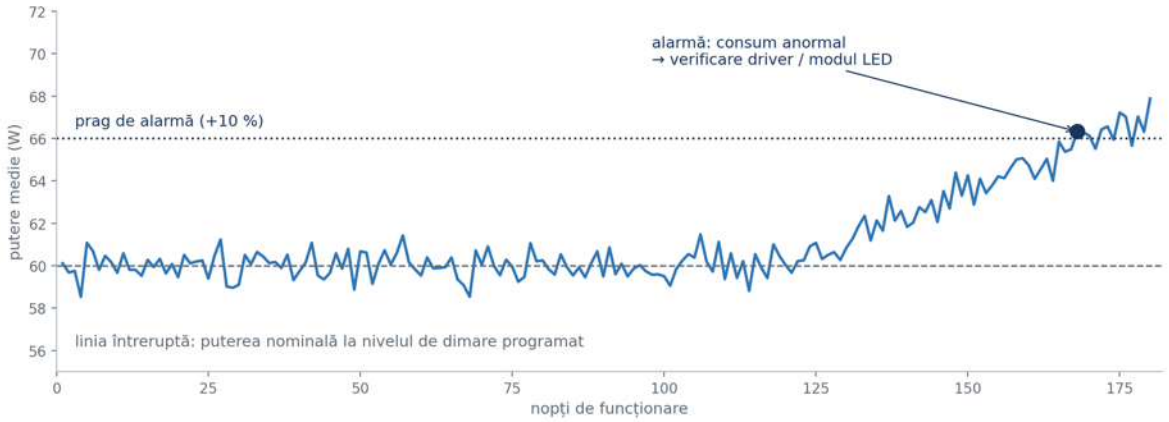


Figura 6.39 – Detectarea unui consum anormal prin compararea cu valoarea așteptată (exemplu ilustrativ)

Detectarea aprinderii pe timp de zi. Dacă senzorul de lumină ambientală indică zi, iar controlerul măsoară consum la nivel de funcționare, se generează o alarmă. Cauza poate fi un releu blocat, o comandă manuală neexpirată sau un program greșit; fiecare oră de funcționare inutilă înseamnă energie pierdută.

Detectarea loviturii sau înclinării stâlpului. Accelerometrul detectează un șoc puternic sau o modificare permanentă a înclinării. Platforma primește o alarmă cu locația exactă, ceea ce permite verificarea rapidă a unui stâlp lovit de un vehicul, înainte ca acesta să devină un pericol.

Punerea în funcțiune rapidă. La montaj, tehnicianul citește cu telefonul, prin BLE sau NFC, identitatea controlerului; aplicația asociază automat controlerul cu stâlpul, pe baza poziției GNSS, și rulează un test de aprindere și dimare. Asocierea corectă din prima reduce erorile din inventar și timpul de punere în funcțiune.

Funcționarea la pierderea comunicației. Un controler din rețeaua mesh rămâne fără legătură din cauza defectării gateway-ului. El continuă profilul de dimare memorat, după ceasul propriu și ora astronomică calculată local, memorează consumul și evenimentele și le transmite la restabilirea legăturii. Pentru utilizatorii străzii, întreruperea comunicației nu este vizibilă.

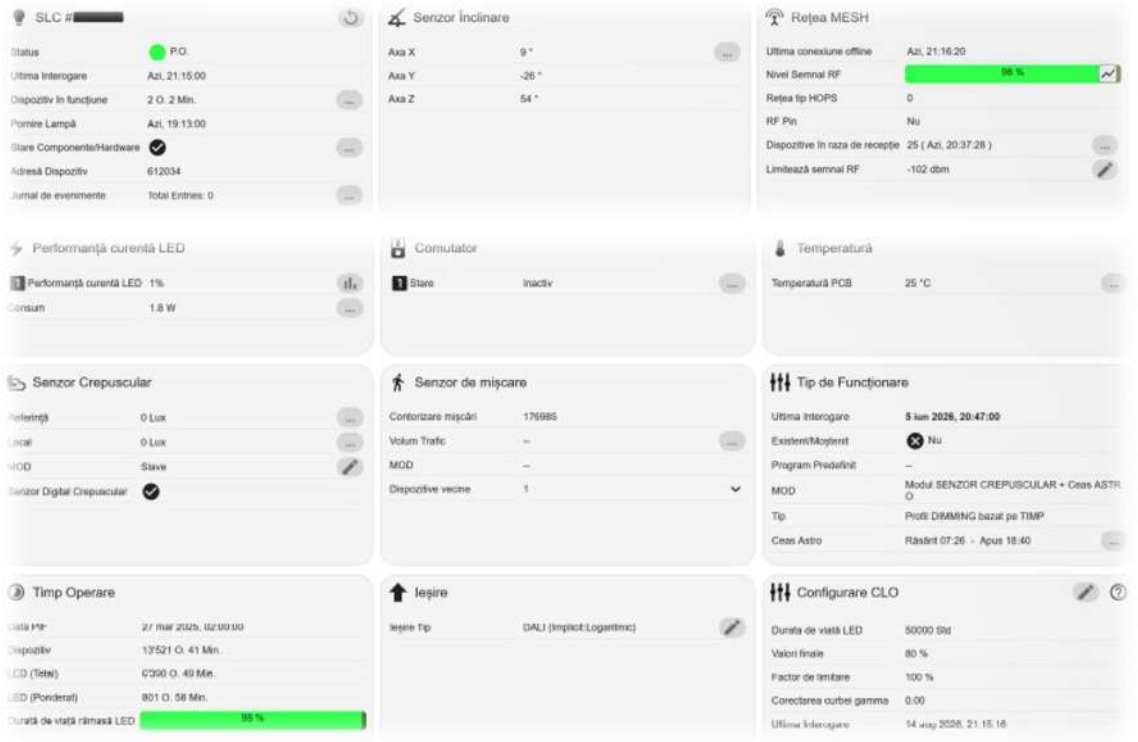


Figura 6.40 – Pagina unui aparat în platformă: (a) starea, identificarea și nivelul semnalului rețelei mesh; (b) date de la driver și de la senzorii integrați, inclusiv înclinarea stâlpului

Greșeli frecvente în proiectare și implementare

Controlerul reunește alimentare, electronică, radio și software într-un volum mic, montat în condiții de exterior. Greșelile de mai jos sunt cele mai frecvente și au consecințe care se multiplică pe mii de aparate.

1. Controler necorelat cu driverul

Ce se întâmplă. Controlerul și driverul sunt alese separat, fără verificarea interfeței de dimare – 0–10 V sau DALI – și a funcțiilor D4i.

Consecința. Aparatele nu pot fi dimate, datele despre aparat și energie lipsesc, iar corectarea necesită înlocuirea controlerelor sau a driverelor.

Cum se previne. Controlerul și driverul se aleg împreună, pentru fiecare tip de aparat, cu verificarea interfeței și a certificărilor și cu testarea pe un aparat de probă.

2. Magistrală DALI fără sursă de alimentare

Ce se întâmplă. Un controler NEMA cu interfață DALI este montat pe un aparat cu driver DALI obișnuit, fără sursă de magistrală integrată, iar controlerul nu furnizează această sursă.

Consecința. Comunicația DALI nu funcționează: aparatul rămâne la nivel maxim, fără dimare și fără date.

Cum se previne. Se verifică cine alimentează magistrala DALI – driverul D4i sau controlerul – înainte de alegerea echipamentelor.

3. Releu subdimensionat pentru curentul de pornire

Ce se întâmplă. Releul controlerului NEMA este ales doar după curentul nominal al aparatului.

Consecința. Contactele se sudează sau se degradează în timp: aparatul rămâne aprins permanent sau nu se mai aprinde.

Cum se previne. Se verifică compatibilitatea controlerului cu curentul de pornire al driverului, conform datelor producătorilor, și se preferă soluțiile cu comutare la trecerea prin zero.

4. Nivel de protecție la supratensiuni insuficient

Ce se întâmplă. Se aleg controlere NEMA fără verificarea nivelului de protecție la supratensiuni, în zone cu rețele aeriene lungi sau cu descărcări atmosferice frecvente.

Consecința. Controlerele se defectează în serie după furtuni, cu costuri mari de înlocuire și intervenții la înălțime.

Cum se previne. Nivelul de protecție se alege în funcție de expunerea rețelei și se coordonează cu protecțiile aparatului și ale punctului de aprindere.

5. Driver cu dimare autonomă activă

Ce se întâmplă. Driverul are activat un profil intern de dimare sau o funcție de tip „miez de noapte virtual”, iar controlerul transmite propriile comenzi.

Consecința. Nivelul efectiv de iluminare rezultă din combinarea celor două comenzi și nu corespunde programului din platformă; diagnosticul devine dificil.

Cum se previne. Funcțiile autonome ale driverului se dezactivează sau se configurează explicit în concordanță cu controlerul și se verifică la punerea în funcțiune.

6. Nivel minim de dimare sub limita driverului

Ce se întâmplă. Programul comandă niveluri de dimare foarte reduse, fără verificarea nivelului minim suportat de driver.

Consecința. Apar pâlpâiri, stingeri necontrolate sau niveluri diferite între aparate aparent identice.

Cum se previne. Nivelurile minime din programe se stabilesc în limita declarată de producătorul driverului și în conformitate cu proiectul luminotehnic.

7. Consumul propriu neluat în calcul

Ce se întâmplă. Soluțiile sunt comparate fără consumul propriu al controlerelor, al gateway-urilor și al senzorilor.

Consecința. Economiile de energie estimate sunt supraevaluate, iar bilanțul energetic nu se închide.

Cum se previne. Consumul propriu declarat se include în calculul economiilor și în bilanțul energetic, pentru regimul real de alimentare al circuitelor.

8. Senzor de lumină ambientală influențat de alte surse

Ce se întâmplă. Controlerul cu senzor de lumină este orientat spre o vitrină, un panou publicitar sau aparatul vecin, ori este montat sub coroana unui copac.

Consecința. Aparatul se aprinde prea târziu, se stinge prea devreme sau oscilează la amurg.

Cum se previne. Se verifică orientarea senzorului la montaj, se folosește corecția prin programul astronomic și se configurează o întârziere la comutare.

9. Măsurarea controlerului folosită pentru decontare

Ce se întâmplă. Datele de energie ale controlerelor sunt utilizate pentru facturarea energiei.

Consecința. Diferențele față de contorul punctului de aprindere generează dispute, deoarece controlerele nu sunt mijloace de măsurare verificate metrologic.

Cum se previne. Pentru decontare se folosește contorul verificat metrologic; datele controlerelor servesc monitorizării, diagnosticului și bilanțului energetic.

10. Chei de securitate comune sau firmware nesemnat

Ce se întâmplă. Toate controlerele folosesc aceeași cheie, iar firmware-ul acceptat nu este verificat prin semnătură.

Consecința. Compromiterea unui singur dispozitiv expune întreaga rețea, iar un firmware modificat poate fi instalat pe toate controlerele.

Cum se previne. Se folosesc chei unice pe dispozitiv, păstrate în element securizat, și se acceptă numai firmware semnat de producător, cu revenire automată la eșec.

11. Domeniul de temperatură ignorat

Ce se întâmplă. Controlerele sunt montate pe aparate a căror carcasă se încălzește puternic, în zone cu veri caniculare, fără verificarea domeniului de temperatură.

Consecința. Apar reporniri, derivă a măsurătorilor, degradarea bateriei ceasului și defecte premature.

Cum se previne. Se verifică domeniul de temperatură al controlerului în raport cu temperatura maximă a zonei de montaj de pe aparat, declarată de producătorul aparatului.

12. Modul radio montat în poziție defavorabilă

Ce se întâmplă. Nodul de comunicație este montat pe conectorul inferior sau în apropierea unor elemente metalice ale stâlpului ori ale consolei.

Consecința. Legătura radio este slabă, nodul se deconectează frecvent, iar rețeaua are nevoie de echipamente suplimentare.

Cum se previne. Nodurile de comunicație se montează pe conectorul superior, iar calitatea legăturii se verifică la punerea în funcțiune.

Concluzii

Controlerul aparatului de iluminat reunește alimentarea, protecțiile, procesarea, comunicația radio, interfața cu driverul, măsurarea și senzorii într-un echipament compact, care funcționează ani la rând în condiții de exterior. Calitatea lui se vede în detalii: compatibilitatea cu driverul, dimensionarea releului și a protecțiilor, securitatea cheilor și a firmware-ului, consumul propriu și capacitatea de a funcționa autonom.

Diferențele constructive dintre controlerele NEMA și modulele Zhaga-D4i decurg din locul în care se află alimentarea și comanda puterii, iar configurațiile întâlnite în practică acoperă de la modernizarea instalațiilor existente până la iluminatul adaptiv cu senzori. Subcapitolul 6.4 prezintă sistemele de control adaptiv bazate pe senzori: senzori de prezență, radar, senzori de lumină și de mediu, modul de integrare a acestora și filtrarea evenimentelor false.

6.4. Sisteme avansate de control adaptiv al iluminatului cu senzori *[Oprițescu C., Epure A., Ichim G.]*

Introducere

Un program orar sau astronomic presupune că necesarul de lumină este același în fiecare noapte, la aceeași oră. În realitate, traficul, prezența pietonilor și condițiile meteo variază de la o noapte la alta și de la un

minut la altul. Controlul adaptiv folosește senzori pentru a ajusta nivelul de iluminare după situația reală: lumină suficientă atunci când cineva folosește strada, nivel redus atunci când strada este goală.

Subcapitolul prezintă principiul controlului adaptiv, principalele tipuri de senzori – de prezență cu infraroșu pasiv, radar, senzori de lumină ambientală și senzori de mediu –, modul de montaj și de comunicație al acestora, arhitecturile de integrare în sistemul de telegestiune și metodele de filtrare a evenimentelor false. Tehnologiile descrise sunt cele mai răspândite în iluminatul public adaptiv, atât la nivel internațional, cât și în România.

Interfețele de montaj au fost prezentate în 6.2, controlerele în 6.3, iar logica locală a gateway-ului în 6.1.4. Algoritmii de control adaptiv și profilurile de dimare sunt aprofundați în subcapitolul 7.7.

Termeni tehnici utilizați

Tabelul 6.31 explică termenii și acronimele utilizate în acest subcapitol.

Termen	Denumire completă	Explicație
Control adaptiv	adaptive lighting	Modificarea automată a nivelului de iluminare în funcție de condițiile reale – trafic, prezență, vizibilitate, lumină ambientală –, în limitele stabilite de proiectul luminotehnic.
PIR	Passive Infrared – infraroșu pasiv	Senzor care detectează variația radiației infraroșii emise de corpurile calde aflate în mișcare; nu emite energie, doar recepționează.
Lentilă Fresnel	–	Lentilă subțire, cu zone concentrice sau segmentate, care împarte câmpul vizual al senzorului PIR în zone de detecție.
Radar	Radio Detection and Ranging	Senzor care emite unde radio de frecvență foarte înaltă și analizează reflexia acestora pentru a detecta obiectele, distanța, viteza și direcția lor.
Efect Doppler	–	Modificarea frecvenței undei reflectate de un obiect în mișcare; permite radarului să măsoare viteza de apropiere sau de îndepărtare.
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave	Tip de radar care variază continuu frecvența emisă și poate măsura, pe lângă viteză, și distanța până la obiect.
mmWave	unde milimetrice	Radare care lucrează la frecvențe de zeci de GHz (de exemplu 60 GHz); au rezoluție ridicată și pot deosebi pietonii de vehicule.
Fotocelulă / senzor de lumină ambientală	–	Senzor care măsoară iluminarea naturală și comandă aprinderea sau stingerea iluminatului la depășirea unor praguri.
Lux (lx)	–	Unitatea de măsură a iluminării: fluxul luminos de 1 lumen repartizat uniform pe 1 m².
Histerezis	–	Diferența dintre pragul de aprindere și pragul de stingere, care împiedică comutarea repetată atunci când valoarea măsurată oscilează în jurul unui singur prag.
Timp de menținere	hold time	Durata în care nivelul ridicat este păstrat după ultima detecție, înainte de revenirea la nivelul redus.
Rampă de creștere / descreștere	fade-up / fade-down	Durata tranziției între două niveluri de iluminare; creșterea este rapidă, iar descreșterea lentă, pentru a nu deranja vederea.
Clasă de iluminat	lighting class	Set de cerințe fotometrice (M, C, P) definit de SR EN 13201-2 pentru o categorie de cale de circulație; selecția claselor, inclusiv pentru perioade cu trafic redus, este tratată de CEN/TR 13201-1.
Particule în suspensie (PM2,5 / PM10)	particulate matter	Particule din aer cu diametrul sub 2,5 µm, respectiv sub 10 µm; indicator important al calității aerului.
Nivel de presiune acustică (dB(A))	–	Mărimea care exprimă zgomotul, ponderată după sensibilitatea urechii umane.
Eveniment fals	false positive	Detecție care nu corespunde unei prezențe reale relevante: vegetație în mișcare, animale, reflexii, surse de căldură.
Detecție ratată	false negative	Situație în care o prezență reală nu este detectată.

Termen	Denumire completă	Explicație
Mascare a zonei	zone masking	Excluderea din analiză a unor porțiuni din câmpul senzorului – trotuarul opus, o curte, un copac.
Senzor DALI-2 de intrare	input device	Senzor care comunică pe magistrala DALI conform IEC 62386-103, cu tipuri specifice pentru prezență (partea 303) și lumină (partea 304).

Tabelul 6.31 – Termeni și acronime

Principiul controlului adaptiv

Controlul adaptiv funcționează între două limite stabilite de proiectul luminotehnic: nivelul nominal, corespunzător clasei de iluminat pentru condițiile de trafic maxim, și nivelul minim, corespunzător clasei de iluminat admise pentru perioadele cu trafic redus. Senzorii nu decid dacă strada este iluminată, ci în ce punct dintre aceste două limite se află iluminatul la un moment dat.

La detectarea unei prezențe, nivelul crește rapid, se menține un timp stabilit după ultima detecție și revine lent la nivelul minim (figura 6.41). Creșterea trebuie să fie suficient de rapidă și să înceapă suficient de departe în fața utilizatorului, astfel încât acesta să se deplaseze permanent într-o zonă iluminată corespunzător. Descreșterea lentă evită senzația de „stingere în urmă” și schimbările bruște de luminanță.

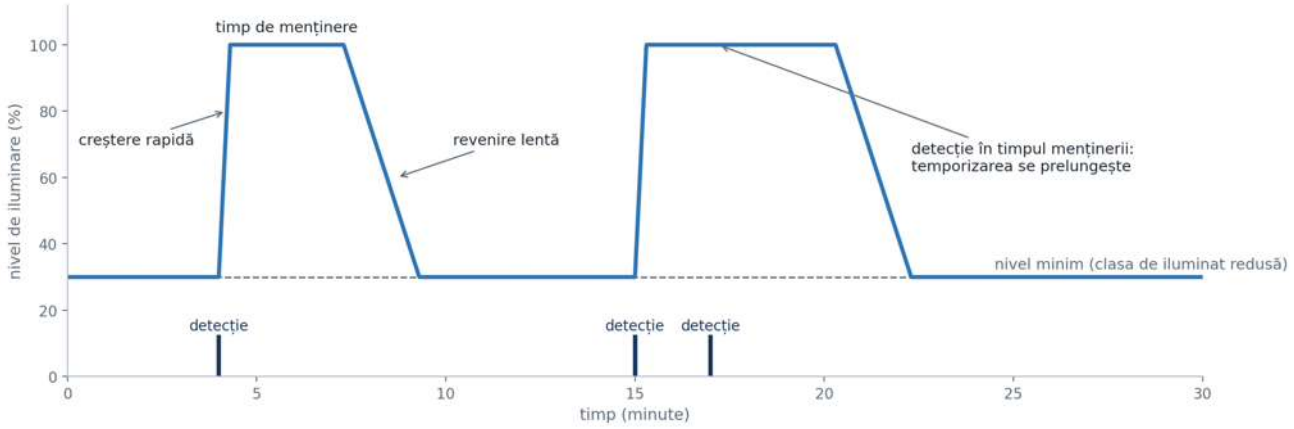


Figura 6.41 – Evoluția nivelului de iluminare în controlul adaptiv la prezență (exemplu ilustrativ)

Exemplu de economie de energie. O stradă rezidențială are 30 de aparate de 60 W, care funcționează 11 ore pe noapte, deci consumă 30 × 60 W × 11 h = 19,8 kWh pe noapte la nivel constant. Dacă strada este folosită efectiv circa 30 % din timp, iar în restul timpului aparatele funcționează la 30 %, puterea medie devine aproximativ 0,3 × 100 % + 0,7 × 30 % = 51 % din cea nominală, adică circa 10,1 kWh pe noapte – o economie de aproximativ 49 %. Economia reală depinde de caracteristica putere–nivel a driverului, de consumul propriu al senzorilor și controlerelor și de traficul efectiv.

Figura 6.42 – Puterea activă pe fazele L1, L2 și L3 ale unui punct de aprindere, înregistrată pe parcursul unei săptămâni

6.4.1. Senzori PIR

Principiul de funcționare

Orice corp cu temperatura peste zero absolut emite radiație infraroșie; oamenii, animalele și motoarele vehiculelor emit mai mult decât fundalul rece al străzii pe timp de noapte. Senzorul PIR conține un element piroelectric care reacționează la **variația** acestei radiații. Lentila Fresnel împarte câmpul vizual în zone alternante; când o persoană trece dintr-o zonă în alta, radiația recepționată variază, iar senzorul generează un semnal de detecție (figura 6.43).

Figura 6.43 – Principiul de funcționare al senzorilor PIR și radar

Caracteristici și limite

Senzorul PIR detectează foarte bine mișcarea **transversală**, pe direcția care traversează zonele lentilei, și mai slab mișcarea care se apropie direct de senzor. Nu detectează persoanele nemișcate și nu poate măsura viteza sau direcția. Sensibilitatea scade atunci când temperatura mediului se apropie de temperatura corpului uman – în nopțile foarte calde de vară –, deoarece contrastul termic se reduce. Sursele de căldură în mișcare, precum vegetația încălzită de soare mișcată de vânt, gazele de eșapament sau aparatele de aer condiționat, pot produce detecții false.

Aria de detecție depinde de înălțimea de montaj și de lentilă și se verifică în diagrama producătorului pentru înălțimea reală a aparatului. În iluminatul public, senzorii PIR se montează, de regulă, pe conectorul

Zhaga inferior al aparatului, orientați spre zona de circulație. Sunt robuști, au consum foarte redus și cost scăzut și sunt potrivite pentru străzi rezidențiale, alei, parcuri, piste de biciclete și parcări, unde vitezele de deplasare sunt mici.

Figura 6.44 – Senzor PIR montat în soclul Zhaga al aparatului: (a) senzorul și zona de detecție proiectată pe carosabil; (b) geometria zonei de detecție – semiaxele a și b ale elipsei și unghiul de înclinare α – pentru două variante de lentilă

6.4.2. Senzori radar

Principiul de funcționare

Senzorul radar emite unde radio de frecvență foarte înaltă și analizează semnalul reflectat. Obiectele în mișcare modifică frecvența undei reflectate prin efect Doppler, ceea ce permite detectarea mișcării și măsurarea vitezei. Radarele de tip FMCW măsoară și distanța, iar radarele cu mai multe antene determină și direcția. În iluminatul public se folosesc frecvent radare în banda de 24 GHz și, tot mai des, radare cu unde milimetrice în banda de 60 GHz, cu rezoluție mai bună. În Uniunea Europeană, cerințele radio sunt stabilite de standardele ETSI EN 300 440 și, pentru frecvențele de peste 40 GHz, ETSI EN 305 550.

Caracteristici și limite

Radarul detectează foarte bine mișcarea de **apropiere și îndepărtare**, funcționează independent de lumină și de temperatură și este puțin influențat de ceață. Poate măsura viteza și direcția de deplasare, poate număra vehiculele și, la variantele cu rezoluție ridicată, poate deosebi pietonii, bicicliștii și autovehiculele. Aceste informații permit aprinderea în avans pe direcția de mers, adaptarea timpului de menținere după viteză și furnizarea de date de trafic pentru alegerea clasei de iluminat.

Limitele țin de sensibilitatea la obiecte în mișcare fără relevanță – ramuri, steaguri, ploaie torențială –, de vibrațiile stâlpului, de reflexii pe suprafețe metalice și de interferențele cu alte radare apropiate. Radarul necesită o configurare mai atentă a zonelor de detecție și a pragurilor și are un cost mai ridicat decât senzorul PIR. Nu captează imagini și nu prelucrează, în general, date personale.

Caracteristică	PIR	Radar
Principiu	variația radiației infraroșii recepționate	reflexia undelor radio emise
Mișcare detectată cel mai bine	transversală	apropiere și îndepărtare
Obiecte nemișcate	nu	numai la unele radare cu rezoluție ridicată
Viteză, direcție, distanță	nu	da, în funcție de tip
Clasificare pieton / vehicul	nu	da, la radarele cu rezoluție ridicată
Influența temperaturii	mare – sensibilitate redusă la temperaturi ridicate	redusă

Caracteristică	PIR	Radar
Influența vegetației, ploii	vegetația încălzită, sursele de căldură	obiecte în mișcare, ploaie torențială, vibrații
Consum și cost	foarte reduse	mai ridicate
Utilizare potrivită	străzi rezidențiale, alei, parcuri, parcări	drumuri cu viteze mai mari, intersecții, treceri de pietoni, numărare trafic

Tabelul 6.32 – Comparația senzorilor PIR și radar

Alte tehnologii folosite mai rar în iluminatul public sunt camerele cu analiză video, care oferă informații bogate, dar ridică cerințe importante privind protecția datelor personale (Regulamentul (UE) 2016/679), senzorii acustici și senzorii lidar. Buclele inductive din carosabil și numărătoarele de trafic ale sistemelor de management al traficului pot fi integrate ca surse externe de date.

6.4.3. Fotocelule și senzori de lumină ambientală

Principiul de funcționare

Senzorul de lumină ambientală conține o fotodiodă cu răspuns spectral apropiat de sensibilitatea ochiului uman și măsoară iluminarea naturală, în lucși. Când iluminarea scade sub pragul de aprindere, iluminatul se aprinde; când crește peste pragul de stingere, iluminatul se stinge. Pragurile se stabilesc prin proiect și sunt, de regulă, de ordinul zecilor de lucși.

Histerezisul și întârzierea

Dacă pragul de aprindere și cel de stingere ar fi identice, iluminatul ar comuta repetat la amurg, când valoarea măsurată oscilează. Pentru a evita acest lucru, pragul de stingere este mai mare decât cel de aprindere (histerezis), iar comutarea se face numai după ce condiția se menține un timp de confirmare. Astfel, un nor trecător sau farurile unui vehicul nu produc aprinderi și stingeri nejustificate (figura 6.45).

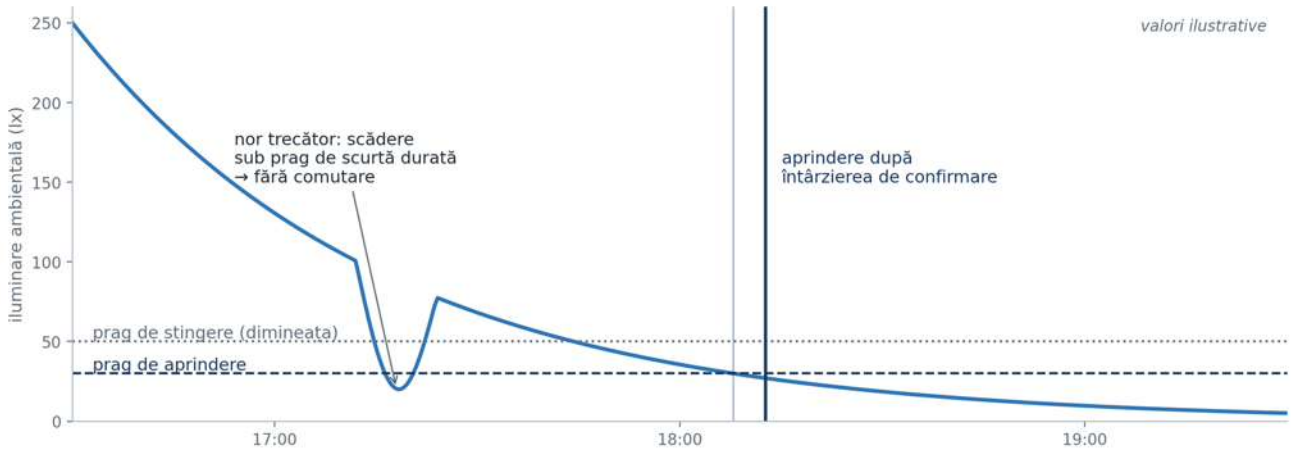


Figura 6.45 – Pragurile, histerezisul și întârzierea de confirmare la senzorul de lumină ambientală

Senzor de lumină sau ceas astronomic

Ceasul astronomic calculează exact orele de apus și răsărit, dar nu ține seama de înnorări, ceață sau furtuni. Senzorul de lumină reacționează la condițiile reale, dar poate fi influențat de murdărie, zăpadă, surse artificiale de lumină sau de orientare. Soluția utilizată în majoritatea sistemelor de telegestiune combină cele două: programul astronomic stabilește fereastra de funcționare, iar senzorul de lumină corectează aprinderea și stingerea în limite stabilite – de exemplu, permite aprinderea mai devreme într-o după-amiază întunecată, dar nu permite stingerea în timpul nopții din cauza unei surse de lumină artificială.

Senzorul poate fi integrat în controlerul fiecărui aparat sau montat într-un singur punct reprezentativ – de exemplu la punctul de aprindere –, de unde comandă o zonă întreagă. Senzorul se orientează, în emisfera nordică, spre nord, pentru a evita lumina directă a soarelui, și la distanță de sursele artificiale de lumină, iar suprafața lui se curăță periodic.

6.4.4. Senzori de monitorizare a mediului și a microclimatului

Stâlpii de iluminat public sunt distribuiți uniform în localitate, au alimentare electrică și, prin sistemul de telegestiune, conexiune la o platformă. Din acest motiv sunt folosiți tot mai des ca suport pentru senzori de mediu, care transformă rețeaua de iluminat într-o rețea de monitorizare urbană. Tabelul 6.33 prezintă categoriile de senzori întâlnite în practică.

Categorie	Mărimi măsurate	Principiu uzual	Utilizare
Microclimat	temperatură, umiditate, presiune atmosferică	senzori electronici integrați	informare, corelarea cu consumul și cu defectele echipamentelor
Calitatea aerului	PM2,5, PM10, NO_2, O_3, CO	difuzia luminii laser (particule), celule electrochimice (gaze)	hărți indicative ale poluării, identificarea zonelor critice
Zgomot	nivel de presiune acustică, dB(A)	microfon și prelucrare digitală	hărți de zgomot, monitorizarea zonelor sensibile
Condiții meteo	precipitații, vânt, vizibilitate, ceață	senzori optici, ultrasonici, de vizibilitate	adaptarea iluminatului la vizibilitate redusă, avertizări
Starea carosabilului	temperatura suprafeței, umezeală, polei	senzori în carosabil sau fără contact	avertizări de polei, intervenții de deszăpezire
Radiație UV și lumină	indice UV, iluminare	fotodiode	informare publică, corecția iluminatului

Tabelul 6.33 – Senzori de mediu montați pe infrastructura de iluminat public

Datele senzorilor de mediu au valoare informativă și de orientare: permit identificarea tendințelor, a zonelor critice și declanșarea unor verificări. Senzorii de cost redus nu înlocuiesc stațiile de monitorizare de referință prevăzute de legislația privind calitatea aerului și nici sonometrele conforme SR EN 61672-1 utilizate pentru măsurători oficiale de zgomot. Precizia lor depinde de calibrare, de amplasare și de condițiile de mediu și trebuie verificată periodic.

Pentru iluminat, cea mai directă utilizare a acestor senzori este adaptarea la **vizibilitate**: la ceață, ploaie abundentă sau ninsoare, nivelul de iluminare poate reveni la valoarea nominală chiar în perioadele în care programul prevede reducerea lui.

Figura 6.46 – Date citite de senzorii de mediu și de zgomot montați pe stâlp: (a) valorile curente ale mărimilor măsurate; (b) evoluția nivelului de zgomot, în dB(A), pe parcursul unei zile

6.4.5. Senzori integrați și senzori externi. Tipuri de comunicație

Senzorii se pot conecta la sistemul de telegestiune în mai multe moduri, care diferă prin montaj, alimentare, comunicație și prin locul în care se ia decizia (tabelul 6.34).

Mod de conectare	Montaj și alimentare	Comunicație	Exemple
Integrat în controler	în carcasa controlerului, alimentat de acesta	internă	senzor de lumină ambientală, temperatură, accelerometru
Modul Zhaga-D4i tip B	pe conectorul inferior al aparatului, alimentat din driver sau din magistrală	DALI / D4i, cu nodul tip A de pe același aparat	senzor PIR, radar
Senzor DALI-2 de intrare	în aparat sau în apropiere, pe magistrala DALI	IEC 62386-103, părțile 303 (prezență) și 304 (lumină)	senzori de prezență și de lumină
Senzor extern cu fir	pe stâlp sau în punctul de aprindere, alimentare separată	intrare digitală, 4–20 mA, RS-485 / Modbus	stație meteo, senzor de vizibilitate, numărător de trafic
Senzor extern fără fir	pe stâlp sau clădire, alimentare din rețea sau baterie	BLE, rețeaua mesh a sistemului, LoRaWAN	senzori de calitatea aerului, zgomot, parcare
Sistem terț	infrastructura altui sistem	interfață API cu platforma	managementul traficului, date meteo, dispecerat de urgență

Tabelul 6.34 – Moduri de conectare a senzorilor

Senzorii integrați și modulele Zhaga sunt cele mai simple de instalat și de administrat, deoarece folosesc infrastructura existentă a aparatului și a sistemului de telegestiune. Senzorii externi oferă mai multă libertate de

amplasare și de alegere, dar necesită alimentare, montaj și, adesea, o integrare separată. Pentru senzorii cu fir de pe stâlp se verifică protecția la supratensiuni a cablurilor, iar pentru senzorii cu baterie – durata de viață a acesteia și modul de semnalizare a descărcării.

6.4.6. Arhitecturi de integrare

O detecție poate modifica iluminatul prin decizii luate la niveluri diferite ale sistemului (figura 6.47). Cu cât decizia se ia mai aproape de senzor, cu atât reacția este mai rapidă și mai independentă de comunicație; cu cât se ia mai sus, cu atât poate folosi mai multe surse de date și reguli mai complexe.

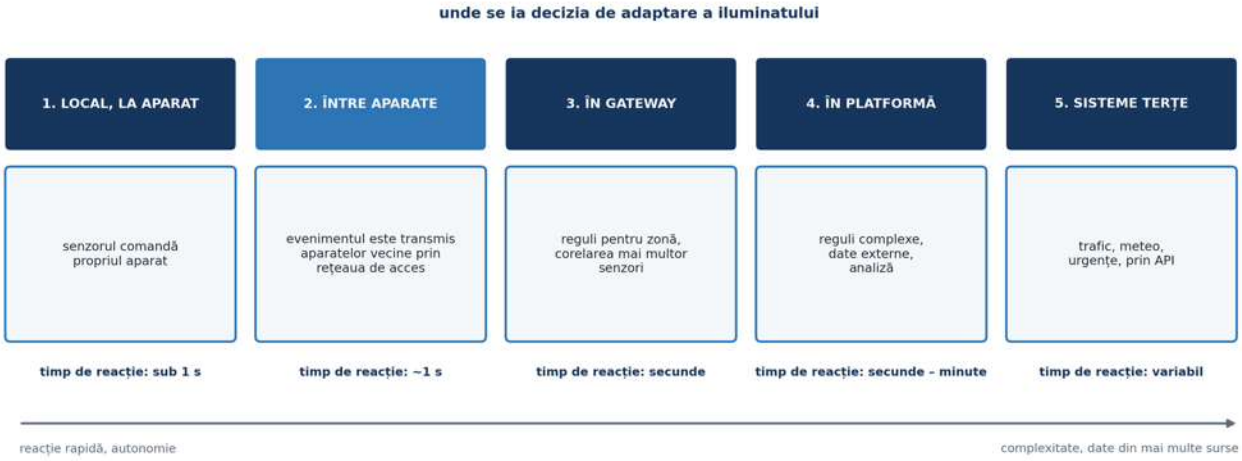


Figura 6.47 – Niveluri de decizie în integrarea senzorilor

1. Local, la aparat. Senzorul comandă direct aparatul pe care este montat. Reacția este imediată și nu depinde de rețea, dar iluminarea crește doar sub utilizator, nu și în fața lui. Arhitectura este potrivită pentru zone mici și izolate – o alee, o parcare, o intrare.

2. Între aparate, prin rețeaua de acces. Evenimentul de detecție este transmis nodurilor vecine, care cresc nivelul în avans pe direcția de deplasare. Este arhitectura cea mai utilizată pentru străzi, deoarece asigură iluminarea zonei în care utilizatorul urmează să ajungă. Funcționează bine în rețelele mesh cu întârziere mică; în rețelele cu întârziere mare, reacția poate veni prea târziu.

3. În gateway. Regulile pentru o zonă întreagă corelează semnalele mai multor senzori – de exemplu, stabilesc direcția de deplasare după ordinea detecțiilor sau aplică o clasă de iluminat în funcție de traficul numărat –, cu reacție rapidă și autonomie față de platformă (6.1.4, secțiunea 5).

4. În platformă. Platforma combină datele senzorilor cu date externe și istorice, analizează tendințele și ajustează programele și regulile distribuite gateway-urilor și nodurilor. Timpul de reacție este mai mare, astfel încât platforma este potrivită pentru adaptări pe intervale de ordinul minutelor sau orelor, nu pentru reacția la trecerea unui pieton.

5. Sisteme terțe. Informațiile provenite din managementul traficului, din serviciile meteo sau din dispeceratele de urgență pot declanșa scenarii de iluminat – de exemplu, creșterea nivelului pe un traseu de intervenție. Integrarea se face prin interfețe API ale platformei (6.1.5, 7.4).

În practică, arhitecturile se combină: reacția la prezență se realizează local și între aparate, corelarea în gateway, iar optimizarea și analiza în platformă. Oricare ar fi arhitectura, la defectarea senzorului sau la pierderea comunicației iluminatul revine la programul stabilit, nu la nivelul minim.

6.4.7. Algoritmi de detecție și filtrare a evenimentelor false

Un senzor care reacționează la fiecare ramură mișcată de vânt aprinde inutil iluminatul și reduce economiile; un senzor filtrat excesiv nu mai detectează pietonii reali. Filtrarea urmărește echilibrul dintre evenimentele false și detecțiile ratate, cu prioritate pentru siguranță: în caz de îndoială, iluminatul crește.

Cauzele evenimentelor false

Cauză	Senzori afectați	Exemple
Vegetație în mișcare	PIR, radar	ramuri și frunze mișcate de vânt, încălzite de soare
Animale	PIR, radar	câini, pisici, păsări, insecte pe lentilă
Surse de căldură	PIR	gaze de eșapament, aparate de aer condiționat, guri de ventilație
Precipitații	radar	ploaie torențială, ninsoare abundentă
Vibrații	radar, accelerometru	stâlpi flexibili, vânt puternic, trafic greu
Reflexii și interferențe	radar	suprafețe metalice, alte radare apropiate
Lumină artificială	senzor de lumină	farurile vehiculelor, vitrine, panouri publicitare, aparatul vecin
Zone nerelevante	PIR, radar	trotuarul opus, curți, parcări private
Defectarea senzorului	toate	senzor blocat în starea „detecție” sau „fără detecție”

Tabelul 6.35 – Cauze frecvente ale evenimentelor false

Etapele de filtrare

Filtrarea se realizează în mai multe etape succesive, în senzor, în controler, în gateway sau în platformă (figura 6.48).

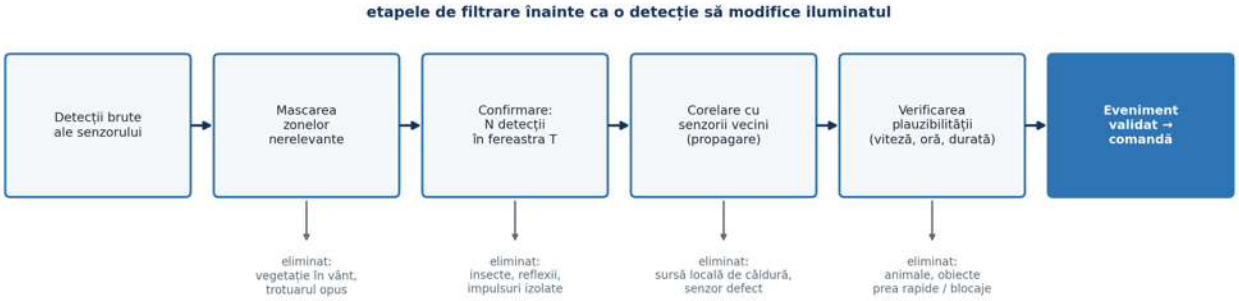


Figura 6.48 – Etapele de filtrare a detecțiilor

Mascarea zonelor. Se exclud din analiză porțiunile din câmpul senzorului care nu privesc calea de circulație: trotuarul opus, curțile, zonele cu vegetație. La radare, zonele se configurează prin distanță și unghi; la senzorii PIR, prin lentile sau măști fizice și prin poziția de montaj.

Confirmarea în timp. Un impuls izolat nu este considerat detecție. Evenimentul este validat numai dacă apar N detecții într-o fereastră de timp T sau dacă semnalul depășește pragul un timp minim. Parametrii se aleg astfel încât un pieton să fie confirmat în timp util, iar perturbațiile scurte să fie eliminate.

Corelarea cu senzorii vecini. Un utilizator real se deplasează: după detecția la un stâlp, urmează în scurt timp detecția la stâlpul vecin. Un senzor care detectează repetat fără ca vecinii să confirme deplasarea indică o sursă locală de perturbație sau un defect. Corelarea permite și determinarea direcției de mers pentru aprinderea în avans.

Verificarea plauzibilității. Se elimină evenimentele incompatibile cu o deplasare reală: viteze nerealiste, obiecte prea mici la radarele care clasifică, detecții permanente ore în șir. Se pot aplica praguri diferite în funcție de oră și de sezon – de exemplu, sensibilitate mai mare la senzorii PIR în nopțile calde.

Adaptarea la fundal. Unii senzori și unele controlere învață nivelul normal al perturbațiilor pentru fiecare amplasament și ajustează automat pragurile, astfel încât să compenseze variațiile de vegetație, de temperatură sau de trafic.

Supravegherea senzorilor

Sistemul trebuie să recunoască un senzor defect. Un senzor care raportează detecție continuă mai mult decât o durată maximă stabilită sau care nu raportează nicio detecție un interval neobișnuit de lung, în timp ce

vecinii săi detectează trafic, se marchează ca suspect, se ignoră în regulile de adaptare și generează o alarmă de mentenanță. În acest timp, aparatele din zona lui funcționează după program, fără reducerea nivelului pe baza senzorului.

Statisticile de detecție pe fiecare senzor – număr de evenimente pe noapte, evenimente eliminate, durata medie a nivelului ridicat – se analizează periodic în platformă. Ele arată senzorii prost orientați, zonele unde parametrii trebuie ajustați și oferă date reale despre utilizarea străzilor, utile pentru revizuirea profilurilor de iluminat.

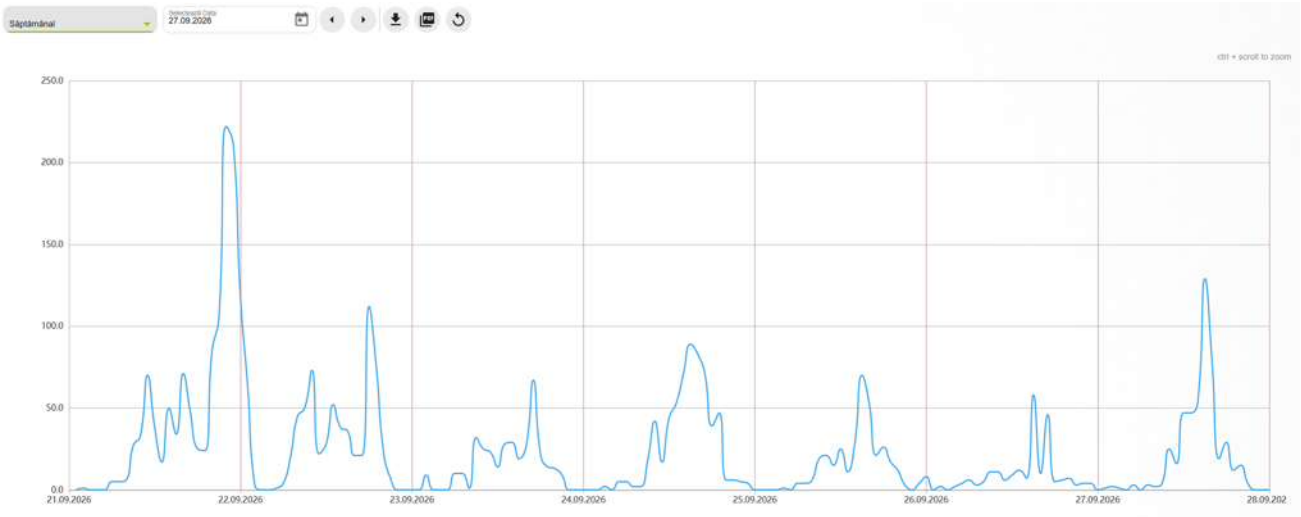


Figura 6.49 – Statisticile de detecție ale unui senzor de prezență: numărul de evenimente înregistrate în timp

Greșeli frecvente în proiectare și implementare

Controlul adaptiv are efect direct asupra siguranței utilizatorilor străzii, astfel încât greșelile de proiectare și configurare au consecințe mai grave decât o simplă pierdere de energie. Greșelile de mai jos sunt cele mai frecvente.

1. Aprinderea numai deasupra utilizatorului

Ce se întâmplă. Fiecare senzor comandă doar aparatul propriu, fără transmiterea evenimentului către aparatele din direcția de deplasare.

Consecința. Pietonul sau vehiculul se deplasează spre o zonă insuficient iluminată, iar iluminarea crește abia când utilizatorul ajunge sub aparat.

Cum se previne. Se configurează aprinderea în avans a unui număr de aparate stabilit în funcție de viteza de deplasare și de distanța dintre stâlpi.

2. Nivel minim sub cerințele clasei de iluminat

Ce se întâmplă. Nivelul redus este ales după criteriul economiei maxime sau aparatele se sting complet în lipsa detecției.

Consecința. Strada rămâne sub cerințele fotometrice în perioadele fără detecție, iar utilizatorii nedetectați – de exemplu cei care intră din lateral – se află în întuneric.

Cum se previne. Nivelul minim se stabilește prin proiectul luminotehnic, pe baza clasei de iluminat admise pentru perioada respectivă.

3. Tip de senzor nepotrivit vitezei de deplasare

Ce se întâmplă. Pe drumuri cu viteze mari se folosesc senzori PIR cu arie mică de detecție, montați pe aparatul de deasupra carosabilului.

Consecința. Detecția are loc prea târziu față de viteza vehiculului, iar nivelul crește după ce vehiculul a trecut.

Cum se previne. Pe drumurile cu viteze mai mari se folosesc radare cu rază mare, montate astfel încât să detecteze vehiculele înainte de intrarea în zonă, sau se renunță la adaptarea la prezență în favoarea adaptării la trafic.

4. Timp de menținere prea scurt și tranziții bruște

Ce se întâmplă. Timpul de menținere și rampele sunt lăsate la valori minime.

Consecința. Nivelul de iluminare variază repetat în timpul deplasării, cu efect de pulsație deranjant și cu reclamații din partea locuitorilor.

Cum se previne. Se stabilesc timpi de menținere corelați cu viteza și cu distanța parcursă, creștere rapidă și descreștere lentă.

5. Zone de detecție neconfigurate

Ce se întâmplă. Senzorii rămân cu aria de detecție implicită, care include trotuarul opus, curți, parcări private sau copaci.

Consecința. Iluminatul crește fără motiv, economiile scad, iar locuitorii observă aprinderi la mișcarea din propria curte.

Cum se previne. Zonele de detecție se configurează la punerea în funcțiune pentru fiecare amplasament și se verifică noaptea, în condiții reale.

6. Acoperire incompletă a accesurilor

Ce se întâmplă. Senzorii sunt amplasați doar de-a lungul străzii principale, fără acoperirea intersecțiilor, a ieșirilor din curți și a trecerilor de pietoni.

Consecința. Utilizatorii care intră pe stradă din lateral nu sunt detectați și se deplasează la nivel redus până la primul senzor.

Cum se previne. Amplasarea senzorilor se proiectează pe baza tuturor punctelor de acces în zona adaptivă.

7. Senzori PIR folosiți fără ținerea seama de temperatură

Ce se întâmplă. Senzorii PIR sunt configurați cu aceeași sensibilitate pe tot parcursul anului.

Consecința. În nopțile calde de vară detecțiile se reduc, iar utilizatorii nu sunt detectați la timp.

Cum se previne. Se verifică performanța senzorilor la temperaturi ridicate, se folosesc praguri adaptate sezonului sau radare în zonele unde contrastul termic este redus.

8. Radar afectat de vibrații și obiecte în mișcare

Ce se întâmplă. Radarul este montat pe stâlpi flexibili sau orientat spre copaci, steaguri și panouri mobile.

Consecința. Apar detecții false frecvente, iar iluminatul rămâne aproape permanent la nivel nominal.

Cum se previne. Se alege poziția de montaj pe suport rigid, se configurează zonele de detecție și se activează filtrele pentru vibrații și obiecte irelevante.

9. Senzor defect netratat

Ce se întâmplă. Sistemul nu supraveghează senzorii, iar un senzor blocat continuă să fie folosit în reguli.

Consecința. Un senzor blocat pe „detecție” anulează economiile; unul blocat pe „fără detecție” menține zona la nivel redus chiar când este folosită.

Cum se previne. Se configurează supravegherea duratei detecțiilor și corelarea cu vecinii; senzorul suspect este ignorat, zona revine la program și se generează alarmă de mentenanță.

10. Senzor de lumină orientat greșit

Ce se întâmplă. Senzorul de lumină ambientală este orientat spre soare, spre surse artificiale de lumină sau montat în umbra unor obiecte.

Consecința. Iluminatul se aprinde prea târziu sau prea devreme, se stinge noaptea sub influența unor surse artificiale sau oscilează la amurg.

Cum se previne. Senzorul se orientează spre nord, departe de sursele artificiale, cu histerezis și întârziere de confirmare, și se combină cu programul astronomic.

11. Date de mediu prezentate ca măsurători oficiale

Ce se întâmplă. Valorile senzorilor de calitate a aerului sau de zgomot sunt publicate ca măsurători oficiale.

Consecința. Datele pot fi contestate, pot genera alarme publice nejustificate sau, dimpotrivă, pot ascunde depășiri reale.

Cum se previne. Datele se prezintă ca valori indicative, cu precizarea limitelor, iar senzorii se calibrează periodic și se compară cu stațiile de referință.

12. Camere video fără analiza protecției datelor

Ce se întâmplă. Pe stâlpi se montează camere cu analiză video pentru detecția prezenței sau numărarea traficului, fără evaluarea impactului asupra datelor personale.

Consecința. Beneficiarul prelucrează date personale fără temei și măsuri adecvate, cu riscuri juridice și de încredere publică.

Cum se previne. Se preferă senzorii care nu captează date personale – PIR, radar –, iar unde se folosesc camere se evaluează impactul, se prelucrează datele local și se transmit doar informații anonimizate.

Concluzii

Controlul adaptiv cu senzori adaugă sistemului de telegestiune capacitatea de a răspunde la utilizarea reală a străzilor: iluminare corespunzătoare atunci când este nevoie și economie de energie în restul timpului, în limitele stabilite de proiectul luminotehnic. Senzorii PIR, radar și de lumină ambientală au principii, avantaje și limite diferite, iar alegerea lor depinde de tipul căii de circulație, de vitezele de deplasare și de condițiile de amplasare.

Rezultatele bune depind de arhitectura de integrare – în special de aprinderea în avans între aparate –, de filtrarea evenimentelor false și de supravegherea permanentă a senzorilor. Senzorii de mediu extind rolul infrastructurii de iluminat spre monitorizarea urbană, cu date de valoare informativă. Subcapitolul următor prezintă interfața digitală DALI și extensia D4i, care stau la baza comunicației dintre driver, controler și senzori în aparatul de iluminat inteligent.

6.5. Interfața digitală a iluminatului adresabil (DALI) *[Oprițescu C., Epure A., Ichim G.]*

Introducere

În interiorul fiecărui aparat de iluminat inteligent are loc un dialog permanent între driver, controler și senzori. Limba în care se desfășoară acest dialog este, în majoritatea aparatelor moderne, DALI – Digital Addressable Lighting Interface –, un protocol digital standardizat internațional prin seria IEC 62386. Pentru iluminatul public, extensia D4i a transformat DALI din protocol de comandă într-o interfață prin care aparatul își raportează singur identitatea, consumul de energie și starea de funcționare.

Subcapitolul prezintă evoluția protocolului, de la comanda analogică la DALI-2, D4i și DALI+, arhitectura unui sistem DALI – componente, magistrală, adresare, comenzi, comportarea la pornire și la defect –, extensia D4i și comparația tehnico-economică a interfețelor de comandă ale driverelor. DALI-2 și D4i sunt, în prezent, cele mai răspândite interfețe digitale pentru drivere LED, atât la nivel internațional, cât și în România.

Interfețele de montaj Zhaga-D4i au fost prezentate în 6.2, controlerele în 6.3, iar senzorii în 6.4.

Termeni tehnici utilizați

Tabelul 6.36 explică termenii și acronimele utilizate în acest subcapitol. Termenii prezentați în subcapitolele 6.2 și 6.3 (D4i, Zhaga-D4i, dispozitive tip A și B, sursa magistralei DALI, DT6/DT8) nu mai sunt reluați.

Termen	Denumire completă	Explicație
IEC 62386	–	Seria de standarde internaționale care definește protocolul DALI: sistemul, aparatajul de comandă, dispozitivele de control și tipurile de echipamente.
DALI Alliance	Digital Illumination Interface Alliance (DiiA)	Organizația globală a industriei care administrează marca DALI, programele de certificare DALI-2, D4i și DALI+ și publică specificații complementare seriei IEC 62386.
Aparataj de comandă	control gear	Echipamentul care alimentează și reglează sursa de lumină – în iluminatul LED, driverul. Execută comenzile primite pe magistrală și răspunde la interogări.

Termen	Denumire completă	Explicație
Dispozitiv de control	control device	Echipament care transmite comenzi sau informații pe magistrală: controler de aplicație sau dispozitiv de intrare.
Controler de aplicație	application controller	Dispozitivul care conține logica de comandă și transmite comenzi aparatajului – de exemplu nodul de telegestiune. Poate fi de tip single-master sau multi-master.
Single-master / multi-master	–	Single-master: un singur controler de aplicație pe magistrală. Multi-master: mai multe dispozitive pot transmite pe aceeași magistrală, cu detectarea coliziunilor.
Dispozitiv de intrare	input device	Senzor, buton sau alt echipament care transmite evenimente sau valori măsurate către controlerul de aplicație.
Adresă scurtă	short address	Adresa unică, de la 0 la 63, atribuită fiecărui echipament de pe o magistrală DALI la punerea în funcțiune.
Grup	group	Ansamblu de echipamente care răspund la aceeași comandă; fiecare aparataj de comandă poate aparține mai multor grupuri dintr-un total de 16.
Scenă	scene	Nivel de lumină memorat în aparataj și apelat printr-o singură comandă; fiecare aparataj poate memora 16 scene.
Adresare aleatorie	random addressing	Procedura prin care controlerul descoperă automat echipamentele de pe magistrală și le atribuie adrese scurte, fără identificarea manuală a fiecăruia.
Timp de tranziție	fade time	Durata în care aparatajul trece de la nivelul curent la nivelul nou comandat.
Nivel la pornire	power-on level	Nivelul la care aparatajul pornește după aplicarea tensiunii de alimentare, înainte de primirea vreunei comenzi.
Nivel la defectarea magistralei	system failure level	Nivelul pe care aparatajul îl aplică atunci când detectează pierderea tensiunii magistralei DALI.
Codare Manchester	–	Mod de transmitere a biților în care fiecare bit este reprezentat printr-o tranziție a semnalului; permite sincronizarea și detectarea erorilor.
Bancă de memorie	memory bank	Zonă de memorie standardizată a aparatajului, în care se păstrează date de identificare, parametri și, la D4i, date despre aparat, energie și diagnostic.
GTIN	Global Trade Item Number	Codul unic de identificare comercială a unui produs, păstrat în banca de memorie a echipamentului DALI.
DALI+	–	Program al DALI Alliance care permite transmiterea comenzilor DALI prin rețele IP și radio – Thread, Ethernet, Wi-Fi –, pe baza părții 104 a seriei IEC 62386.
TCO	Total Cost of Ownership – cost total de deținere	Costul unui sistem pe întreaga durată de viață: achiziție, instalare, punere în funcțiune, energie, mentenanță, înlocuiri și dezafectare.

Tabelul 6.36 – Termeni și acronime

6.5.1. Evoluția protocolului DALI

Evoluția interfețelor de comandă ale surselor de lumină poate fi urmărită în etapele din figura 6.50.

Figura 6.50 – Evoluția interfețelor digitale ale aparatelor de iluminat

De la comanda analogică la DALI

Primele sisteme de dimare pentru balasturi electronice foloseau o interfață analogică: o tensiune continuă de 1–10 V sau 0–10 V stabilea nivelul luminii. Interfața era simplă și ieftină, dar nu permitea adresarea individuală, nu oferea confirmarea execuției și nu transmitea nicio informație despre starea echipamentului. Toate aparatele conectate la același circuit de comandă primeau aceeași valoare.

DALI a apărut în anii '90, în Europa, ca răspuns la aceste limite: o magistrală digitală cu două fire, pe care fiecare echipament are adresă proprie, poate fi comandat individual sau în grup și poate răspunde la interogări. Protocolul a fost inițial descris într-o anexă a standardului IEC 60929 pentru balasturi electronice și a devenit ulterior o serie de standarde dedicată, IEC 62386, a cărei primă ediție a fost publicată în 2009.

DALI-2

Prima generație DALI avea o problemă practică importantă: standardul lăsa loc de interpretări, iar echipamentele producătorilor diferiți nu funcționau întotdeauna împreună. În plus, standardul acoperea în principal aparatajul de comandă, nu și controlerele și senzorii. A doua ediție a părților de bază ale seriei IEC 62386, publicată începând din 2014 și cunoscută sub numele DALI-2, a clarificat cerințele, a standardizat dispozitivele de control – controlere de aplicație și dispozitive de intrare – și a introdus funcționarea multi-master.

Din iunie 2017, marca DALI este administrată de DALI Alliance, care a lansat programul de certificare DALI-2. Produsele certificate sunt testate după protocoale comune și înscrise într-o bază de date publică, ceea ce oferă garanția interoperabilității între producători.

D4i și DALI+

În noiembrie 2019, DALI Alliance a introdus D4i – „DALI for IoT” –, un set de specificații care adaugă peste DALI-2 funcțiile necesare aparatelor de iluminat inteligente: alimentarea dispozitivelor de control din driver, date standardizate despre aparat, raportarea energiei și date de diagnostic. D4i stă la baza ecosistemului Zhaga-D4i din iluminatul public (6.2).

În mai 2021 a fost anunțat DALI+, care păstrează comenzile și modelul de date DALI, dar le transmite prin rețele IP și radio – Thread, Ethernet, Wi-Fi –, pe baza părții 104 a seriei IEC 62386. DALI+ este orientat în principal spre clădiri; în iluminatul public, comunicația dintre aparat și platformă se realizează prin rețelele de telegestiune prezentate în 6.1.3, iar DALI rămâne interfața din interiorul aparatului.

6.5.2. Arhitectura DALI

Componentele sistemului

Un sistem DALI este format din echipamente conectate la aceeași magistrală cu două fire (figura 6.51): **aparatajul de comandă** – driverele LED –, care execută comenzile și răspunde la interogări; **dispozitivele de control**, adică controlerele de aplicație, care conțin logica de comandă, și dispozitivele de intrare – senzori, butoane –, care transmit evenimente; **sursa magistralei**, care alimentează magistrala și fără de care comunicația nu este posibilă.

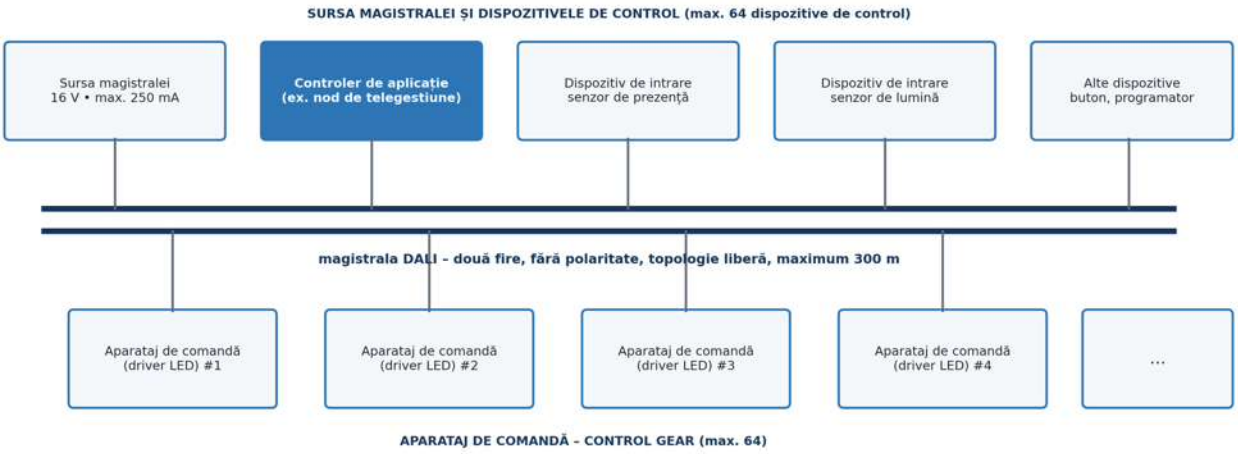


Figura 6.51 – Arhitectura unui sistem DALI-2

În aparatul de iluminat public, sistemul DALI este de dimensiuni mici: un driver D4i cu sursă de magistrală integrată, un nod de telegestiune – controler de aplicație de tip A – și, eventual, un senzor – dispozitiv de tip B. În clădiri, aceeași arhitectură poate reuni zeci de drivere și senzori pe o singură magistrală.

Magistrala

Caracteristică	Valoare	Semnificație practică
Tensiunea magistralei	tipic 16 V c.c.	furnizată de sursa magistralei; nivelul „0” logic se obține prin scurtcircuitarea magistralei
Curentul sursei	maximum 250 mA	limitează numărul de echipamente alimentate din magistrală; mai multe surse pe aceeași magistrală nu pot depăși această limită
Viteza de transmisie	1 200 bit/s, codare Manchester	suficientă pentru comenzi și interogări; nu este destinată transferului de volume mari de date
Adrese	64 de aparataje de comandă și 64 de dispozitive de control pe magistrală	limita unei magistrale; sistemele mari se împart în mai multe magistrale
Grupuri și scene	16 grupuri, 16 scene	comenzi comune pentru mai multe aparate cu un singur mesaj
Lungimea cablurilor	maximum 300 m, cădere de tensiune de cel mult 2 V	se verifică secțiunea conductoarelor pentru distanța reală
Polaritate și topologie	fără polaritate la aparataj; topologie liberă	montaj simplu: magistrală, stea sau ramificații

Tabelul 6.37 – Caracteristicile principale ale magistralei DALI

Conductoarele magistralei DALI pot fi pozate în același cablu cu conductoarele de alimentare, dar interfața DALI nu este considerată circuit de foarte joasă tensiune de securitate: izolația conductoarelor și a bornelor trebuie să corespundă tensiunii rețelei. În aparatele Zhaga-D4i, magistrala se află în interiorul aparatului și ajunge la conector prin cablajul realizat de producătorul aparatului.

Adresarea și punerea în funcțiune

Fiecare echipament primește o adresă scurtă între 0 și 63. Adresarea se face, de regulă, automat, prin procedura de adresare aleatorie: controlerul solicită echipamentelor să genereze un număr aleatoriu, le identifică pe rând și le atribuie adrese. Echipamentele pot fi apoi incluse în grupuri și pot memora scene. În aparatul de iluminat public, cu un singur driver, adresarea este simplă și este realizată automat de nodul de telegestiune la prima pornire.

Comenzi, interogări și curba de dimare

Controlerul transmite cadre de 16 biți către aparataj și de 24 de biți către dispozitivele de control; aparatajul răspunde la interogări cu cadre de 8 biți. Comenzile pot stabili direct un nivel, pot apela o scenă, pot porni sau opri aparatul ori pot modifica parametri. Interogările permit citirea nivelului actual, a stării sursei de lumină, a defectelor și a parametrilor memorați. DALI-2 permite și funcționarea multi-master, în care mai multe dispozitive transmit pe aceeași magistrală, cu detectarea coliziunilor.

Nivelul de lumină se transmite ca valoare între 1 și 254, pe o curbă logaritmică între 0,1 % și 100 % (figura 6.52). Curba corespunde modului în care ochiul percepe variațiile de luminozitate: la niveluri reduse sunt necesari pași mici, iar la niveluri ridicate pași mai mari, pentru aceeași diferență percepută. Tranzițiile între niveluri se realizează într-un timp de tranziție configurabil.

Figura 6.52 – Curba logaritmică de dimare DALI

Comportarea la pornire și la defectarea magistralei

Aparatajul DALI are doi parametri esențiali pentru siguranța iluminatului public. **Nivelul la pornire** stabilește ce face driverul atunci când primește tensiune, înainte ca nodul de telegestiune să transmită vreo comandă. **Nivelul la defectarea magistralei** stabilește ce face driverul atunci când magistrala DALI își pierde tensiunea – de exemplu la defectarea sau îndepărtarea modulului de control ori la o întrerupere a cablajului.

Pentru iluminatul public, ambii parametri se configurează astfel încât aparatul să lumineze la un nivel sigur – de regulă nivelul nominal sau nivelul stabilit prin proiect – și să nu rămână stins. Configurarea greșită poate face ca defectarea unui modul de control să lase o porțiune de stradă neiluminată.

Tipuri de echipamente

Parte	Conținut	Relevanță în iluminatul public
101	cerințe generale pentru sistem	baza oricărui sistem DALI
102	cerințe generale pentru aparatajul de comandă	toate driverele DALI
103	cerințe generale pentru dispozitivele de control	noduri de telegestiune, senzori
104	transmiterea prin alte medii (radio, IP)	baza DALI+; utilizare redusă în iluminatul public
207 (DT6)	module LED	driverele LED uzuale
209 (DT8)	controlul culorii și al temperaturii de culoare	aparate cu temperatură de culoare reglabilă
250–253	sursă integrată, date aparat, energie, diagnostic (IEC 62386-250…253:2023, elaborate pe baza specificațiilor DALI Alliance pentru D4i)	driverele D4i din aparatele Zhaga-D4i
303, 304	senzori de prezență și de lumină	senzori DALI-2 de intrare

Tabelul 6.38 – Părți ale seriei IEC 62386 relevante pentru iluminatul public

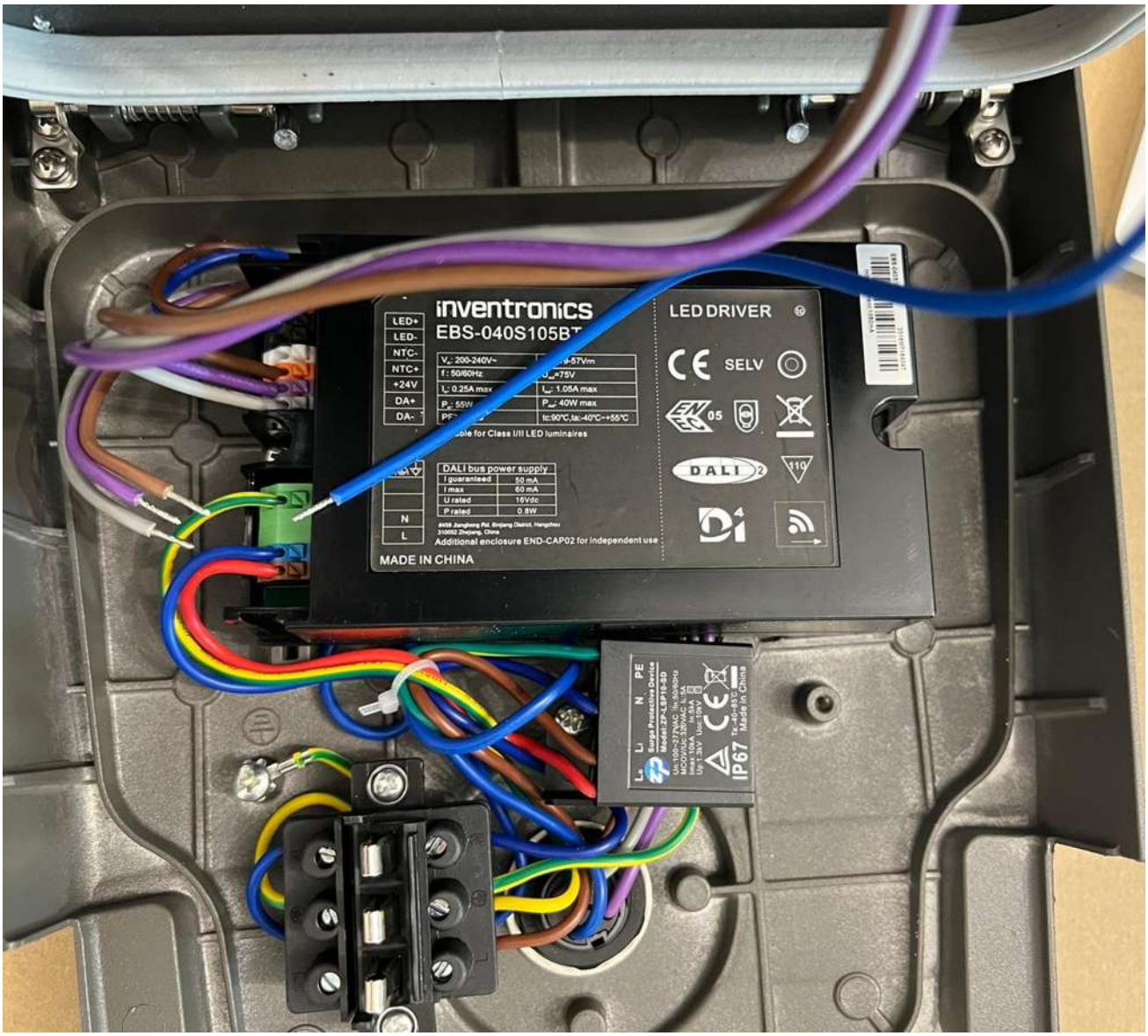


Figura 6.53 – Interiorul unui aparat Zhaga-D4i: driverul D4i și cablajul către soclul Zhaga (fotografie din teren)

6.5.3. Extensia D4i

Ce adaugă D4i

D4i nu este un protocol nou, ci un set de specificații care se sprijină pe DALI-2 și definesc ce trebuie să ofere un aparat de iluminat pentru a putea fi integrat direct într-o rețea de telegestiune sau IoT (figura 6.54).

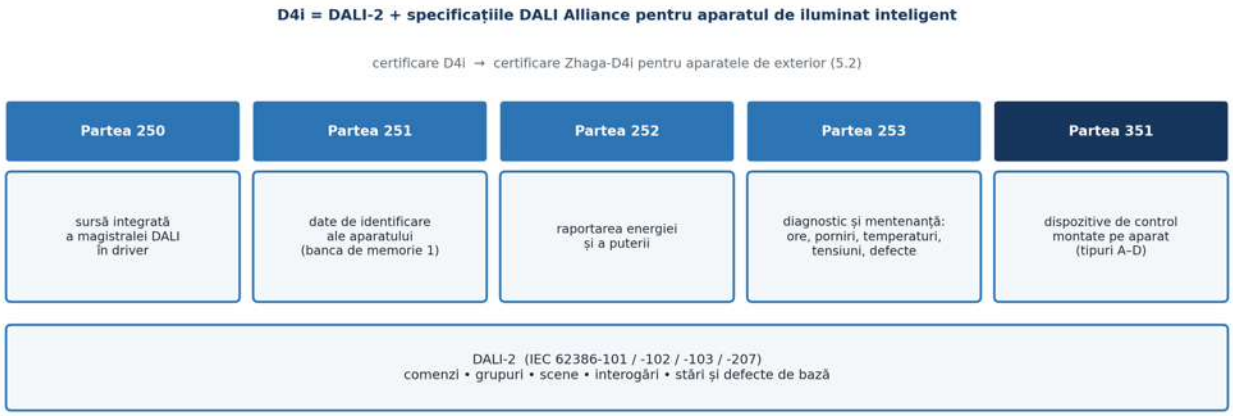


Figura 6.54 – Componentele specificației D4i

Sursa integrată a magistralei (partea 250). Driverul D4i alimentează magistrala DALI din aparat, astfel încât nu mai este necesară o sursă separată. La aparatele de exterior, driverul furnizează și alimentarea auxiliară de 24 V pentru modulele de pe conectorul Zhaga.

Datele aparatului (partea 251). Driverul păstrează, într-o bancă de memorie standardizată, datele de identificare ale aparatului, completate de producătorul acestuia: producătorul și codul GTIN, anul și săptămâna fabricației, puterea nominală, fluxul luminos, temperatura de culoare și alte caracteristici. Nodul de telegestiune citește aceste date la montaj și populează automat inventarul din platformă (6.1.5).

Raportarea energiei (partea 252). Driverul măsoară și raportează energia activă consumată și puterea activă, atât la intrarea driverului, cât și, după caz, la ieșire. Datele permit rapoarte de energie pe fiecare aparat, fără circuite de măsurare suplimentare în controler.

Diagnostic și mentenanță (partea 253). Driverul raportează orele de funcționare, numărul de porniri, tensiunea de alimentare, temperatura internă, starea sursei LED și defectele detectate. Pe baza acestor date se pot identifica aparatele care se apropie de sfârșitul duratei de viață și defectele în curs de apariție.

Dispozitivele de control montate pe aparat (partea 351). Specificația definește tipurile de dispozitive de control – A și B pentru exterior, C și D pentru interior –, alimentarea lor, rolul de controler de aplicație și regulile pentru funcționarea a două dispozitive pe același aparat (6.2.2).

Certificarea

Driverele, aparatele și dispozitivele de control D4i sunt certificate de DALI Alliance și înscrise în baza de date publică a acesteia. Pentru aparatele de exterior cu conector Zhaga, certificarea D4i este primul pas spre certificarea Zhaga-D4i, care garantează compatibilitatea mecanică, electrică și funcțională dintre aparat și modul. Mențiunea „D4i” sau „compatibil D4i” din fișa tehnică nu înlocuiește verificarea certificării în baza de date.

Utilizarea în iluminatul public

În iluminatul public, D4i schimbă modul de construcție al aparatului inteligent: funcțiile de alimentare a modulului, de măsurare a energiei și de diagnostic, care altfel ar trebui realizate în controler, sunt preluate de driver. Nodul de telegestiune devine mai simplu și mai compact, datele sunt standardizate indiferent de producătorul driverului, iar aparatul poate fi echipat sau modernizat oricând cu module Zhaga-D4i ale unor producători diferiți.

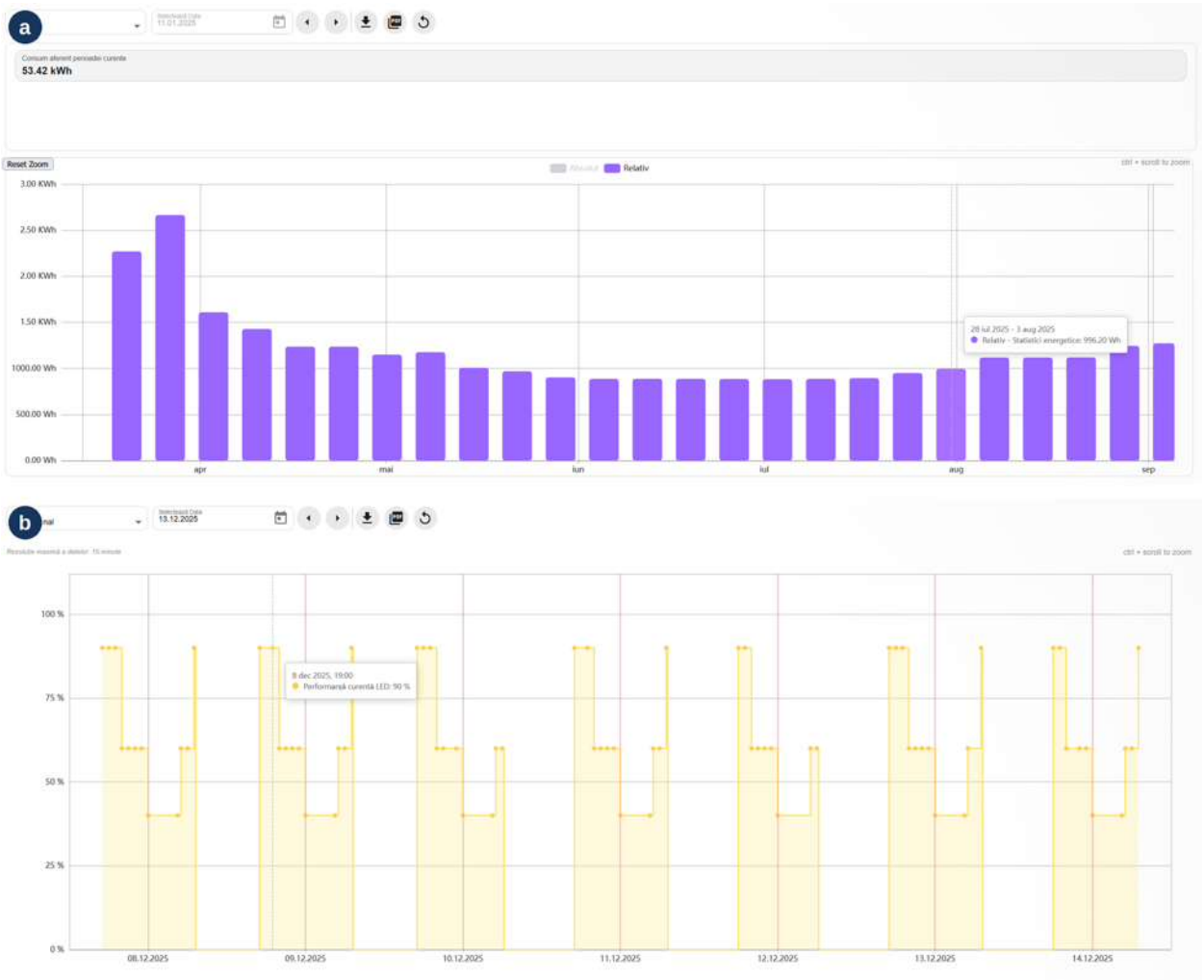


Figura 6.55 – Date citite din driverul D4i și afișate în platformă: (a) energia consumată săptămânal de un aparat pe parcursul unui an; (b) nivelul de dimare pe parcursul unei săptămâni, cu profilul pe trei trepte (90 %, 60 % și 40 %)

6.5.4. Comparație tehnico-economică

Comparația tehnică a interfețelor

Criteriu	Releu (pornit / oprit)	1–10 V / 0–10 V	DALI (prima generație)	DALI-2	D4i
Dimare	nu	da, analogic	da, digital	da, digital	da, digital
Adresare individuală	nu	nu	da	da	da
Confirmare și stare	nu	nu	da	da	da
Defecte raportate	nu	nu	de bază	de bază	detaliate
Date aparat	nu	nu	limitate	limitate	standardizate
Energie	nu	nu	nu	nu, în mod standard	da, standardizat
Diagnostic, ore, temperaturi	nu	nu	nu	limitat	da, standardizat
Senzori pe aceeași interfață	nu	nu	limitat	da	da
Alimentarea modulelor din driver	nu	nu	nu	nu, în mod standard	da
Interoperabilitate certificată	–	nu	nu	da	da

Tabelul 6.39 – Comparația interfețelor de comandă ale driverelor

Elementele de cost

Comparația economică nu se face între prețurile driverelor, ci între costurile unor soluții care oferă aceeași funcționalitate pe întreaga durată de viață. Un aparat cu driver 1–10 V poate fi comandat de un controler NEMA, dar pentru a obține măsurarea energiei și diagnosticul, controlerul trebuie să includă circuite de măsurare, releu și sursă proprie. Un aparat cu driver D4i are un driver de regulă puțin mai scump, dar nodul de telegestiune este mai simplu, iar datele sunt furnizate de driver.

Element de cost	Soluție cu interfață analogică	Soluție DALI-2 / D4i
Driver	cost redus	cost ceva mai ridicat
Controler / nod	include sursă, releu, măsurare – mai complex	compact, alimentat și informat de driver
Măsurarea energiei	circuit în controler sau lipsă	inclusă în driver (D4i)
Senzori	echipamente și cablaje separate	module pe conector, pe aceeași magistrală
Punere în funcțiune și inventar	introducerea manuală a datelor aparatelor	citirea automată a datelor aparatului
Diagnostic și mentenanță	deplasări pentru constatarea defectelor	defecte și ore de funcționare raportate de la distanță
Modernizare ulterioară	limitată de interfața analogică	module noi pe același aparat, fără intervenții în aparat
Dependența de furnizor	funcțiile depind de controlerul ales	date standardizate, interoperabilitate certificată

Tabelul 6.40 – Elemente de cost pe durata de viață

Pentru instalațiile noi de iluminat public cu telegestiune, **DALI-2 cu extensia D4i** oferă cel mai bun raport între cost și funcționalitate pe durata de viață: costul suplimentar al driverului este compensat prin simplificarea controlerului, prin datele de energie și diagnostic disponibile fără echipamente suplimentare, prin reducerea deplasărilor pentru constatarea defectelor și prin posibilitatea modernizării ulterioare fără intervenții în aparat. Interfața 1–10 V rămâne justificată doar pentru aplicații simple, fără cerințe de date, sau în instalații existente. Analiza costului total pe durata de viață este tratată în subcapitolul 7.11.

Greșeli frecvente în proiectare și implementare

DALI este un protocol matur, dar funcționarea lui corectă depinde de detalii de configurare și de compatibilitate care nu sunt vizibile la montaj. Greșelile de mai jos sunt cele mai frecvente.

1. Lipsa sursei magistralei

Ce se întâmplă. Pe magistrală nu există nicio sursă de alimentare: driverul nu are sursă integrată, iar controlerul nu o furnizează.

Consecința. Comunicația nu funcționează; aparatul rămâne la nivelul de pornire sau la nivelul de defect, fără dimare și fără date.

Cum se previne. Se stabilește încă din proiect cine alimentează magistrala: driverul D4i (partea 250), controlerul sau o sursă separată.

2. Mai multe surse care depășesc limita de curent

Ce se întâmplă. Pe aceeași magistrală sunt conectate mai multe drivere cu sursă integrată și o sursă externă, fără verificarea curentului total.

Consecința. Curentul magistralei depășește limita admisă, iar comunicația devine instabilă sau echipamentele se pot degrada.

Cum se previne. Se verifică numărul și curentul surselor de pe magistrală, conform documentației producătorilor.

3. Nivel la defectarea magistralei neconfigurat

Ce se întâmplă. Parametrul „nivel la defectarea magistralei” rămâne la valoarea implicită, care la unele drivere este stingerea sau nivelul minim.

Consecința. La defectarea sau îndepărtarea modulului de control, aparatul se stinge sau rămâne la un nivel foarte redus.

Cum se previne. Se configurează nivelul la defectare și nivelul la pornire la valori sigure, stabilite prin proiect, și se testează prin îndepărtarea modulului.

4. Echipamente „compatibile DALI” necertificate

Ce se întâmplă. Se folosesc drivere sau controlere declarate „compatibile DALI”, fără certificare DALI-2 sau D4i.

Consecința. Unele comenzi nu sunt executate, interogările returnează valori greșite, iar datele de energie și diagnostic lipsesc sau nu sunt standardizate.

Cum se previne. Se verifică certificarea DALI-2 sau D4i a modelului exact în baza de date a DALI Alliance.

5. Amestecarea echipamentelor DALI de primă generație cu DALI-2 multi-master

Ce se întâmplă. Pe aceeași magistrală se combină echipamente DALI vechi cu controlere și senzori DALI-2 multi-master.

Consecința. Echipamentele vechi pot interpreta greșit cadrele de 24 de biți sau pot provoca coliziuni, cu comportări imprevizibile.

Cum se previne. Pe magistralele cu mai multe dispozitive de control se folosesc exclusiv echipamente certificate DALI-2.

6. Date D4i așteptate de la drivere care nu le oferă

Ce se întâmplă. Proiectul presupune rapoarte de energie și diagnostic, dar aparatele au drivere DALI-2 fără funcțiile D4i.

Consecința. Platforma nu primește datele de energie și diagnostic, iar rapoartele promise nu pot fi realizate fără echipamente suplimentare.

Cum se previne. Se verifică certificarea D4i a driverelor și, pentru aparatele de exterior, certificarea Zhaga-D4i a aparatului.

7. Date de identificare necompletate

Ce se întâmplă. Producătorul aparatului nu completează banca de memorie cu datele aparatului sau le completează parțial.

Consecința. Inventarul din platformă nu poate fi populat automat, iar datele trebuie introduse manual, cu riscul erorilor.

Cum se previne. Se verifică la recepție citirea datelor aparatului prin nodul de telegestiune pe un eșantion de aparate.

8. Conductoarele DALI tratate ca circuit de foarte joasă tensiune

Ce se întâmplă. Conductoarele magistralei sunt pozate sau conectate ca un circuit de securitate de foarte joasă tensiune, cu izolație redusă.

Consecința. Se creează riscuri de electrocutare și de defectare a echipamentelor în caz de defect de izolație.

Cum se previne. Conductoarele și bornele magistralei DALI se tratează la nivelul de izolație al circuitelor de rețea, conform documentației producătorilor.

9. Lungimi de cablu și secțiuni neverificate

Ce se întâmplă. În instalațiile cu magistrale extinse – de exemplu în tuneluri, pasaje sau parcări – lungimea și secțiunea conductoarelor nu sunt verificate.

Consecința. Căderea de tensiune depășește limita, iar echipamentele de la capătul magistralei comunică intermitent.

Cum se previne. Se verifică lungimea totală și căderea de tensiune de cel mult 2 V și se împart instalațiile mari în mai multe magistrale.

10. Timpi de tranziție nepotriviți

Ce se întâmplă. Timpii de tranziție sunt lăsați la valori implicite sau configurați foarte lung.

Consecința. La creșterea nivelului pentru un pieton detectat, lumina ajunge prea târziu la nivelul necesar; tranzițiile prea scurte produc variații bruște.

Cum se previne. Timpii de tranziție se configurează în concordanță cu profilurile de dimare și cu regulile de control adaptiv (6.4).

11. Nivel minim sub domeniul fizic al driverului

Ce se întâmplă. Se comandă niveluri DALI foarte reduse, deși driverul are un nivel minim fizic mai ridicat.

Consecința. Driverul aplică propriul nivel minim, iar nivelul efectiv diferă de cel afișat în platformă; unele aparate pot pâlpâi.

Cum se previne. Se citește nivelul minim fizic al driverului și se stabilesc profilurile în limitele acestuia și ale proiectului luminotehnic.

12. Datele de energie din driver folosite pentru decontare

Ce se întâmplă. Energia raportată de driverele D4i este folosită pentru facturarea energiei consumate.

Consecința. Apar diferențe față de contorul punctului de aprindere, deoarece driverul nu este mijloc de măsurare verificat metrologic.

Cum se previne. Pentru decontare se folosește contorul punctului de aprindere; datele driverelor servesc monitorizării, diagnosticului și bilanțului energetic (6.1.4).

Concluzii

DALI a transformat comanda surselor de lumină dintr-un semnal analogic fără răspuns într-un dialog digital, adresabil și bidirecțional. DALI-2 a adus interoperabilitatea certificată și standardizarea controlerelor și senzorilor, iar D4i a transformat driverul în sursa de energie, de date și de diagnostic a aparatului de iluminat inteligent.

Pentru iluminatul public, combinația DALI-2, D4i și Zhaga-D4i este baza tehnică a aparatelor moderne cu telegestiune. Beneficiile ei depind însă de detalii: sursa magistralei, nivelurile la pornire și la defect, certificarea echipamentelor și datele completate de producător. Subcapitolul 6.6 prezintă automatizarea punctelor de aprindere: arhitectura clasică și modernă, redundanța, protecțiile, integrarea cu contoarele inteligente și raportarea energetică.

6.6. Automatizarea punctelor de aprindere *[Oprițescu C., Epure A., Ichim G.]*

Introducere

Punctul de aprindere este locul în care rețeaua de distribuție a energiei electrice devine rețea de iluminat public: aici se află racordul, contorul, protecțiile și echipamentele care aprind și sting circuitele. Chiar și în sistemele cu controlere la fiecare aparat, punctul de aprindere rămâne esențial, deoarece alimentează circuitele, măsoară energia facturată și protejează instalația.

Subcapitolul prezintă arhitectura clasică și arhitectura modernă a punctelor de aprindere, redundanța comunicațiilor și a comenzii, protecțiile electrice specifice, integrarea cu contoarele inteligente și cerințele legislative, raportarea energetică și un studiu de caz ilustrativ. Soluțiile descrise sunt cele mai întâlnite în automatizarea punctelor de aprindere, atât la nivel internațional, cât și în România.

Gateway-ul din punctul de aprindere, cu funcțiile sale software și cerințele de mediu, a fost prezentat în subcapitolul 6.1.4, iar platforma centrală în 6.1.5. Controlul iluminatului la nivel de circuit este aprofundat în 7.2, iar aspectele economice în 7.11.

Termeni tehnici utilizați

Tabelul 6.41 explică termenii și acronimele utilizate în acest subcapitol. Termenii prezentați în subcapitolele anterioare nu mai sunt reluați.

Termen	Denumire completă	Explicație
Punct de aprindere (PA)	–	Tabloul electric din care sunt alimentate și comandate unul sau mai multe circuite de iluminat public.
Operator de distribuție (OD)	–	Societatea care deține și exploatează rețeaua electrică de distribuție dintr-o zonă și, de regulă, contorul de decontare al punctului de aprindere.

Termen	Denumire completă	Explicație
Contactor	–	Aparat de comutație comandat electric, care conectează sau deconectează circuitele de iluminat la comanda unui ceas, a unei fotocelule sau a unui controler.
Ceas astronomic	–	Dispozitiv care calculează orele de apus și de răsărit pentru coordonatele locului și comandă aprinderea și stingerea în funcție de acestea.
Comutator M – 0 – A	Manual – Oprit – Automat	Comutator care permite alegerea modului de funcționare: aprindere manuală, oprire sau comandă automată.
Întrerupător automat (MCB)	Miniature Circuit Breaker	Aparat care protejează circuitul la suprasarcină și scurtcircuit; curba de declanșare (B, C, D) arată cât de sensibil este la curenții de scurtă durată.
Protecție diferențială (RCD)	Residual Current Device	Aparat care deconectează circuitul atunci când o parte din curent se scurge spre pământ, protejând persoanele și instalația.
SPD tip 1 / tip 2	Surge Protective Device	Dispozitive de protecție la supratensiuni: tipul 1 preia curenți de trăsnet la intrarea instalației, tipul 2 limitează supratensiunile tranzitorii în tablouri.
Schema de legare la pământ TT / TN	–	Modul în care sunt legate la pământ neutrul rețelei și masele instalației; determină alegerea protecțiilor împotriva atingerilor indirecte.
Armonici	–	Componente de curent sau tensiune cu frecvențe multiple ale frecvenței rețelei, produse de sarcinile electronice, precum driverele LED.
Contor inteligent	smart meter	Contor electronic care măsoară energia la intervale scurte, memorează curbe de sarcină și comunică datele la distanță.
Curbă de sarcină	load profile	Șirul valorilor puterii sau energiei măsurate la intervale regulate, de exemplu la 15 minute.
MID	Measuring Instruments Directive	Directiva 2014/32/UE privind mijloacele de măsurare; contoarele de energie activă conforme MID sunt verificate metrologic pentru decontare.
Analizor de rețea	power analyser	Aparat care măsoară parametrii rețelei pe faze: tensiuni, curenți, puteri, factor de putere, armonici.
Dual SIM	–	Echipament cu două cartele sau profiluri de operator, care comută automat pe rețeaua disponibilă.
UPS	Uninterruptible Power Supply	Sursă neîntreruptibilă care alimentează temporar echipamentele de comandă și comunicație la căderea tensiunii.
Bilanț energetic	–	Compararea energiei măsurate la contor cu energia calculată sau raportată de aparate, pentru identificarea pierderilor și a consumatorilor neautorizați.

Tabelul 6.41 – Termeni și acronime

6.6.1. Arhitectura clasică de automatizare

În arhitectura clasică (figura 6.56), punctul de aprindere conține racordul la rețea, contorul operatorului de distribuție, întrerupătorul general, protecțiile circuitelor și contactorul. Comanda contactorului este dată de un ceas – programabil sau astronomic – ori de o fotocelulă, iar un comutator Manual – 0 – Automat permite aprinderea sau oprirea manuală pentru intervenții.

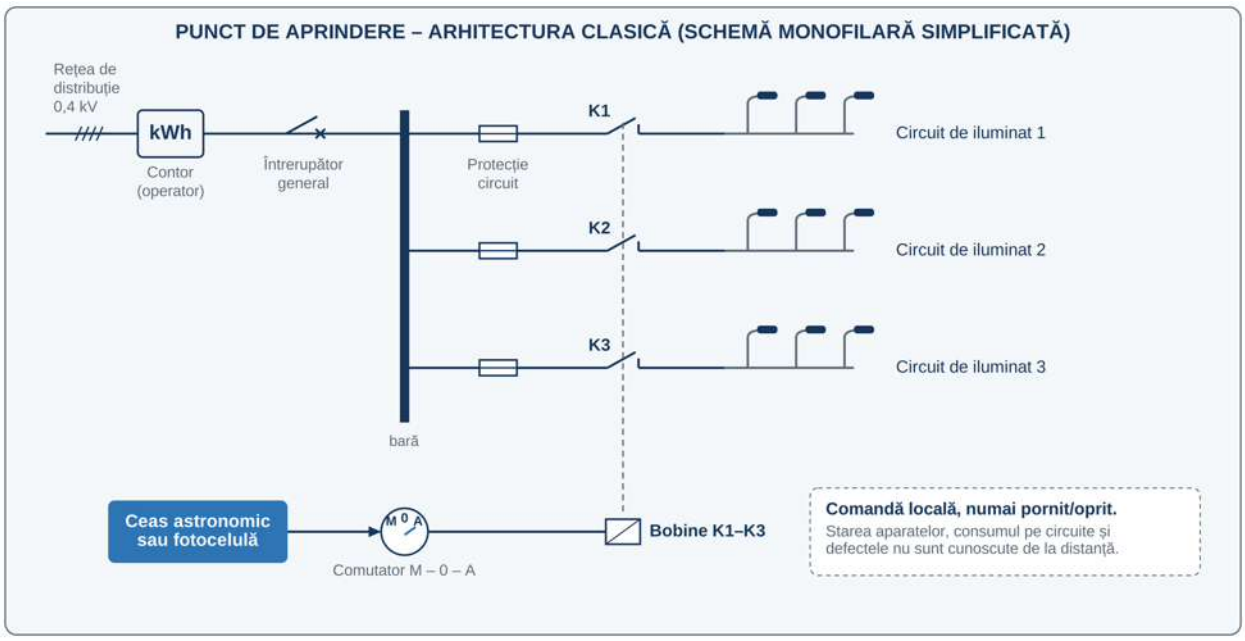


Figura 6.56 – Arhitectura clasică a punctului de aprindere

Arhitectura este simplă, robustă și ieftină, iar echipamentele sunt cunoscute de orice electrician. Limitele ei sunt însă importante pentru exploatarea modernă: punctul de aprindere funcționează „orb” – nu raportează dacă circuitele sunt alimentate, dacă o protecție a declanșat sau dacă ceasul s-a decalat; programul nu poate fi modificat decât la fața locului; consumul nu este cunoscut decât lunar, din factură; defectele sunt descoperite din sesizările cetățenilor sau în urma patrulărilor nocturne.

În numeroase localități din România, circuitele de iluminat public sunt pozate pe stâlpii rețelei de distribuție de joasă tensiune, iar punctele de aprindere sunt amplasate în posturile de transformare sau în cutii montate pe stâlpii operatorului de distribuție. Accesul la aceste puncte, montajul echipamentelor suplimentare și intervențiile necesită coordonarea cu operatorul de distribuție, aspect care trebuie avut în vedere încă din faza de proiectare a automatizării.

6.6.2. Arhitectura modernă de automatizare

Arhitectura modernă (figura 6.57) păstrează partea de putere a punctului de aprindere, dar adaugă un controler sau gateway care comandă contactoarele, citește contorul și stările echipamentelor și comunică cu platforma centrală. Se adaugă, de regulă, protecția la supratensiuni la intrare, măsurarea pe circuite sau pe faze și senzori de stare.

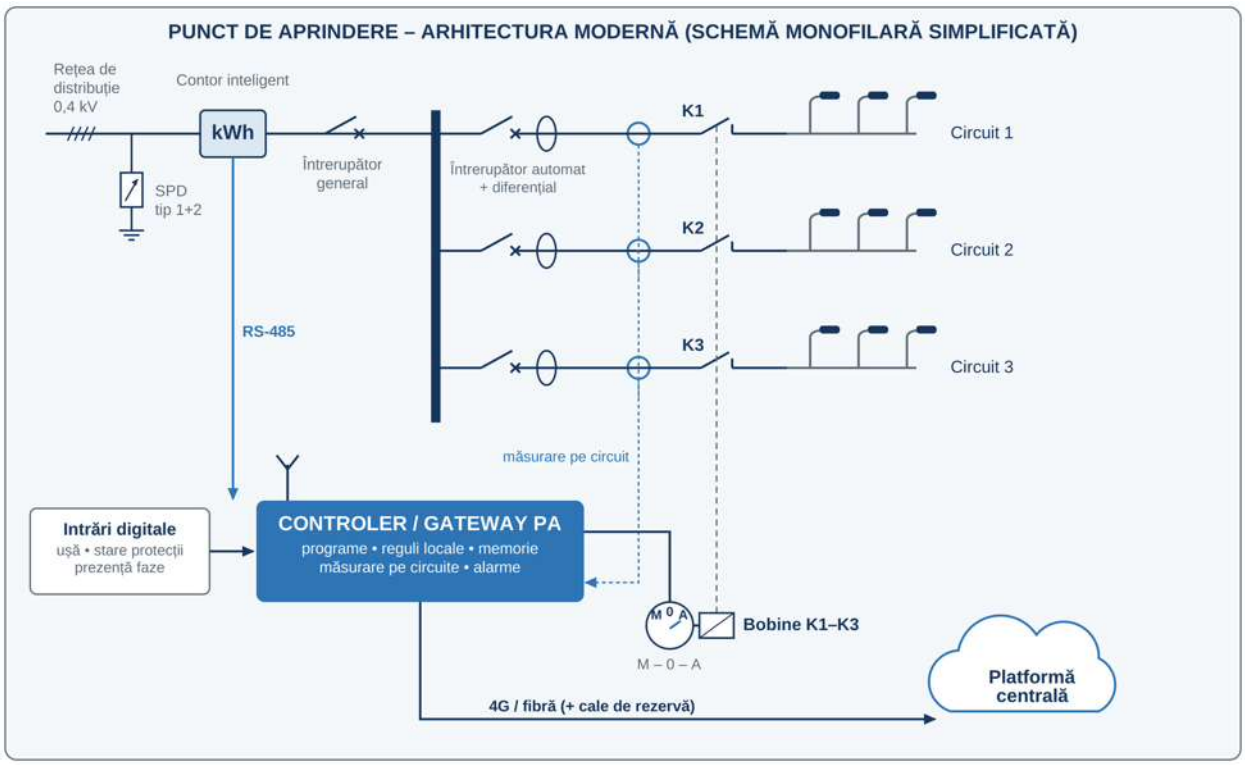


Figura 6.57 – Arhitectura modernă a punctului de aprindere (schemă monofilară simplificată): controlerul PA citește contorul prin RS-485, măsoară fiecare circuit, preia intrările digitale și comunică cu platforma centrală

Funcțiile principale ale punctului de aprindere automatizat sunt:

- **comanda de la distanță** a circuitelor, individual sau pe grupuri de puncte de aprindere, cu confirmarea stării contactoarelor;
- **programe astronomice și calendaristice** memorate local, modificabile din platformă, cu corecții prin senzor de lumină ambientală;
- **monitorizarea electrică** pe faze și pe circuite: tensiuni, curenți, puteri, factor de putere, energie;
- **supravegherea stărilor**: prezența fazelor, declanșarea protecțiilor, poziția comutatorului M – 0 – A, deschiderea ușii dulapului;
- **alarme** pentru lipsa tensiunii, circuite care nu se aprind, consum anormal, aprindere pe timp de zi, acces neautorizat;
- **citirea contorului** și bilanțul energetic al punctului de aprindere;
- **coordonarea cu nodurile** de la aparate: alimentarea circuitelor de către contactor și reglarea fiecărui aparat de către noduri (6.1.4).

Criteriu	Arhitectura clasică	Arhitectura modernă
Comanda	ceas sau fotocelulă, locală	program local și comandă de la distanță
Modificarea programului	la fața locului	din platformă, pentru toate punctele de aprindere
Informații despre stare	niciuna	stări, alarme și măsurători în timp real
Consumul de energie	lunar, din factură	pe circuit și pe interval, cu bilanț energetic
Descoperirea defectelor	sesizări, patrulări	alarme automate, cu localizare
Protecția la supratensiuni	adesea lipsă	SPD la intrare și pe căile de comunicație
Cost inițial	redus	mai ridicat
Cost de exploatare	deplasări frecvente, consum necontrolat	intervenții țintite, consum optimizat

Tabelul 6.42 – Comparația arhitecturilor de automatizare

Automatizarea poate fi realizată prin **modernizarea punctelor de aprindere existente** – adăugarea controlerului, a protecțiilor și a senzorilor în dulapul existent, dacă spațiul, starea și accesul permit – sau prin **înlocuirea completă** a dulapului cu un ansamblu nou, proiectat și încercat conform seriei SR EN 61439. Înlocuirea este preferabilă atunci când dulapul este degradat, nu are spațiu pentru echipamentele noi sau nu permite montarea antenei și a protecțiilor în condiții corespunzătoare.

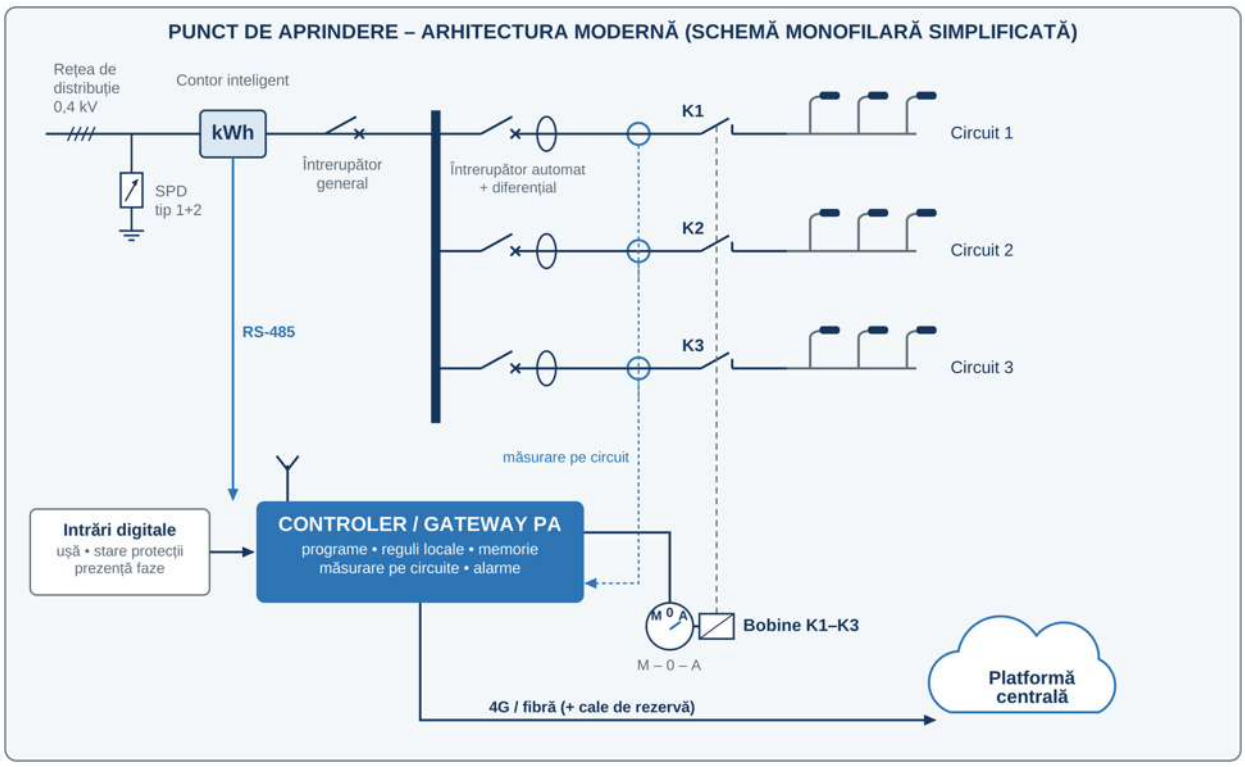


Figura 6.58 – Dulap de punct de aprindere modernizat: (a) echiparea reală; (b) schema de echipare a

6.6.3. Redundanța comunicațiilor și a comenzii

Un punct de aprindere automatizat comandă, de regulă, zeci sau sute de aparate. Defectarea comunicației sau a controlerului nu trebuie să lase aceste aparate fără funcționare. Redundanța se organizează pe mai multe niveluri (figura 6.59), astfel încât fiecare nivel să preia funcția atunci când nivelul superior nu mai este disponibil.

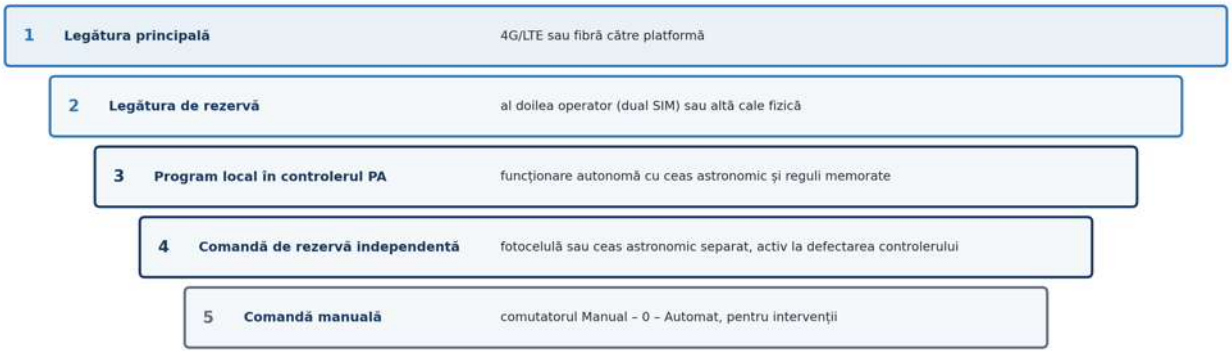


Figura 6.59 – Nivelurile de redundanță ale punctului de aprindere

Redundanța comunicației. Legătura principală cu platforma se realizează prin 4G/LTE sau fibră optică. Pentru punctele de aprindere importante se prevede o cale de rezervă: dual SIM cu doi operatori diferiți sau o cale fizică diferită, de exemplu fibră și 4G. Platforma supraveghează permanent starea legăturii, nivelul

semnalului și consumul de date și generează alarmă la pierderea legăturii principale, chiar dacă cea de rezervă funcționează.

Autonomia locală. Controlerul punctului de aprindere păstrează programul astronomic, calendarul și regulile și le execută independent de platformă, cu ceas intern menținut pe durata întreruperilor (6.1.4). Pierderea comunicației afectează doar administrarea de la distanță, nu funcționarea iluminatului.

Comanda de rezervă independentă. Pentru cazul defectării controlerului, se recomandă o comandă de rezervă care nu depinde de acesta: o fotocelulă sau un ceas astronomic separat, conectat astfel încât să preia comanda contactorului atunci când controlerul nu mai funcționează. Soluția uzuală este un circuit în care controlerul, prin propriul contact, lasă comanda la dispoziția echipamentului de rezervă în lipsa semnalului său.

Comanda manuală. Comutatorul Manual – 0 – Automat rămâne ultimul nivel, pentru intervenții și situații excepționale. Poziția comutatorului se citește de controler și se raportează, astfel încât un punct de aprindere lăsat din greșeală pe „Manual" sau pe „0" să fie observat imediat.

Alimentarea echipamentelor de comandă. Controlerul și echipamentele de comunicație se alimentează înaintea contactorului, dintr-un circuit protejat separat. O sursă neîntreruptibilă sau o rezervă de energie de mică putere permite transmiterea alarmei la pierderea tensiunii și păstrarea datelor. Toate nivelurile de redundanță se testează la punerea în funcțiune, prin simularea defectării fiecărui nivel superior.

6.6.4. Protecții electrice specifice

Rețelele de iluminat public sunt lungi, adesea aeriene, expuse descărcărilor atmosferice și alimentează sarcini electronice. Protecțiile punctului de aprindere trebuie coordonate de la racord până la aparatul de iluminat (figura 6.60) și stabilite prin proiect, conform seriei SR HD 60364 și normativelor tehnice în vigoare.

Figura 6.60 – Coordonarea protecțiilor în instalația de iluminat public

Protecția la supratensiuni

La intrarea în punctul de aprindere se montează dispozitive de protecție la supratensiuni de tip 1 și tip 2 (SR EN 61643-11), alese și instalate conform SR HD 60364-5-534, cu conductoare de legătură cât mai scurte și legare la priza de pământ. Pe rețelele aeriene lungi, protecția se completează cu dispozitive pe circuite și cu protecția proprie a driverelor. Căile de comunicație – antena, liniile RS-485 către contor, intrările digitale – au propriile dispozitive de protecție, deoarece supratensiunile pot pătrunde și pe aceste căi.

Protecția la suprasarcină și scurtcircuit

Driverele LED absorb la conectare un curent de pornire foarte mare, de scurtă durată. Când contactorul alimentează simultan zeci de drivere, curentul de pornire total poate declanșa întrerupătoarele automate cu curbă sensibilă sau poate suda contactele contactorului. Se aleg întrerupătoare cu curbă de declanșare potrivită, se limitează numărul de drivere pe circuit conform datelor producătorilor, iar contactoarele se dimensionează după valorile declarate pentru sarcini LED, nu doar după curentul nominal.

Protecția diferențială și legarea la pământ

Protecția împotriva atingerilor indirecte depinde de schema de legare la pământ a rețelei și de clasa de izolație a aparatelor și a stâlpilor. Dispozitivele de protecție la curent diferențial rezidual se aleg ținând seama de curenții de scurgere ai filtrelor driverelor și ai dispozitivelor de protecție la supratensiuni, care, însumați pe un circuit lung, pot produce declanșări nedorite, precum și de componentele de curent continuu ale sarcinilor electronice. Priza de pământ a punctului de aprindere se verifică periodic prin măsurători.

Armonicile și conductorul neutru

Driverele LED sunt sarcini electronice care produc armonici, limitate de SR EN IEC 61000-3-2 pentru echipamentele de iluminat. În circuitele trifazate cu multe drivere, armonicile de rang 3 se însumează în conductorul neutru, al cărui curent poate depăși curentul fazelor. Secțiunea neutrului și protecțiile se stabilesc ținând seama de acest efect, iar echilibrarea sarcinilor pe faze se verifică la punerea în funcțiune și din datele de măsurare.

Calitatea tensiunii

Tensiunea din rețelele de distribuție de joasă tensiune poate varia în limitele stabilite de SR EN 50160, iar la capetele rețelelor lungi poate coborî sau urca semnificativ. Măsurarea tensiunilor pe faze în punctul de aprindere permite identificarea problemelor de calitate a tensiunii, care afectează durata de viață a driverelor, și furnizează date pentru discuția cu operatorul de distribuție.

6.6.5. Integrarea cu contoarele inteligente și cerințele legislative

Contorul de decontare și măsurarea proprie

Energia consumată de iluminatul public se facturează pe baza contorului de decontare al punctului de aprindere, aparținând de regulă operatorului de distribuție. Tot mai multe puncte de aprindere sunt echipate cu contoare inteligente, care memorează curbe de sarcină și transmit datele la distanță către operator. Accesul sistemului de telegestiune la datele acestui contor – printr-o interfață locală sau prin datele puse la dispoziție de operator – trebuie stabilit împreună cu operatorul de distribuție.

Când accesul direct nu este posibil, punctul de aprindere se echipează cu un contor sau un analizor propriu, montat după contorul de decontare, citit de controler prin RS-485 cu protocoale precum Modbus RTU, M-Bus sau DLMS/COSEM. Pentru ca valorile să fie comparabile cu facturile, se recomandă contoare conforme cu Directiva 2014/32/UE (MID), cu clasa de exactitate corespunzătoare, și sincronizarea intervalelor de citire cu cele ale operatorului.

Date	Utilizare
Energie activă (kWh), totală și pe intervale	consum lunar și anual, bilanț energetic, comparație cu factura
Energie reactivă (kvarh), factor de putere	verificarea compensării, evitarea penalizărilor pentru energie reactivă, unde se aplică
Putere activă pe intervale (curbă de sarcină)	verificarea programului și a dimării, detectarea aprinderii pe timp de zi
Tensiuni și curenți pe faze	calitatea tensiunii, echilibrarea fazelor, circuite defecte
Evenimente ale contorului	căderi de tensiune, intervenții la contor

Tabelul 6.43 – Date citite de la contor și utilizarea lor

Cadrul legislativ și normativ

Automatizarea punctelor de aprindere se desfășoară într-un cadru legislativ care privește serviciul de iluminat public, eficiența energetică, măsurarea energiei și siguranța instalațiilor. Tabelul 6.44 prezintă principalele acte normative relevante; lista se verifică la data proiectării, deoarece legislația din domeniul eficienței energetice este în curs de actualizare pentru transpunerea Directivei (UE) 2023/1791.

Act normativ	Obiect	Relevanță
Legea nr. 230/2006 a serviciului de iluminat public	organizarea, funcționarea și monitorizarea serviciului	cadrul general al serviciului și al obligațiilor operatorului
Ordinul ANRSC nr. 86/2007 – Regulamentul-cadru al serviciului de iluminat public	condițiile tehnice de funcționare a serviciului	prevede, de regulă, comanda automată de conectare și deconectare a iluminatului
Legea nr. 121/2014 privind eficiența energetică	măsuri de eficiență energetică	localitățile cu peste 5 000 de locuitori elaborează programe de îmbunătățire a eficienței energetice, în care iluminatul public este o componentă importantă
Directiva (UE) 2023/1791 privind eficiența energetică	cadrul european revizuit	obligații noi pentru sectorul public, în curs de transpunere
Codul de măsurare a energiei electrice (Ordinul ANRE nr. 103/2015)	reguli pentru măsurarea energiei electrice	condițiile contorului de decontare și ale accesului la date
Directiva 2014/32/UE (MID)	mijloace de măsurare	contoarele utilizate pentru decontare
Seria SR HD 60364, SR EN 61439, SR EN 61643-11	instalații electrice, tablouri, protecția la supratensiuni	proiectarea și execuția punctului de aprindere
SR EN 13201-5	indicatori de performanță energetică a iluminatului rutier	raportarea PDI și AECI

Tabelul 6.44 – Acte normative relevante pentru automatizarea punctelor de aprindere

6.6.6. Raportarea energetică

Raportarea energetică transformă datele de măsurare în informații pentru decizii: cât consumă iluminatul, unde se consumă, cât s-a economisit și unde apar abateri. Ea stă la baza programelor de îmbunătățire a eficienței energetice, a verificării rezultatelor investițiilor și a discuțiilor cu operatorul de distribuție.

Indicator	Descriere	Nivel de raportare
Energie consumată	kWh pe zi, lună, an	localitate, punct de aprindere, circuit, aparat
Ore de funcționare	durata efectivă de funcționare	punct de aprindere, circuit
Economie de energie	diferența față de funcționarea fără dimare sau față de situația de referință	localitate, zonă
Puterea instalată și puterea medie	kW instalați și putere medie pe noapte	punct de aprindere, zonă
PDI și AECI	indicatori de performanță energetică conform SR EN 13201-5	stradă, zonă
Emisii de CO_2 evitate	economia de energie înmulțită cu factorul de emisie adoptat	localitate
Bilanț energetic	energia la contor comparată cu suma aparatelor și consumul calculat	punct de aprindere
Abateri	aprindere pe timp de zi, consum peste profil, circuite fără consum	punct de aprindere, circuit

Tabelul 6.45 – Indicatori de raportare energetică

Rapoartele se generează automat, la intervale stabilite – lunar pentru exploatare, anual pentru programele de eficiență energetică –, și se adresează operatorului serviciului, autorității locale și, după caz, finanțatorilor sau auditorilor. Pentru a fi credibile, rapoartele indică metoda de calcul a economiilor, situația de referință și sursa fiecărei valori: contor de decontare, contor propriu sau date raportate de aparate.

Economia se calculează corect numai față de o situație de referință bine definită. Dacă referința este consumul anterior modernizării, se ține seama de diferențele de ore de funcționare între ani și de modificările

instalației; dacă referința este funcționarea fără dimare, se utilizează puterea instalată și orele efective. Figura 6.61 prezintă, cu valori ilustrative, o comparație lunară între consumul calculat fără dimare și consumul măsurat.

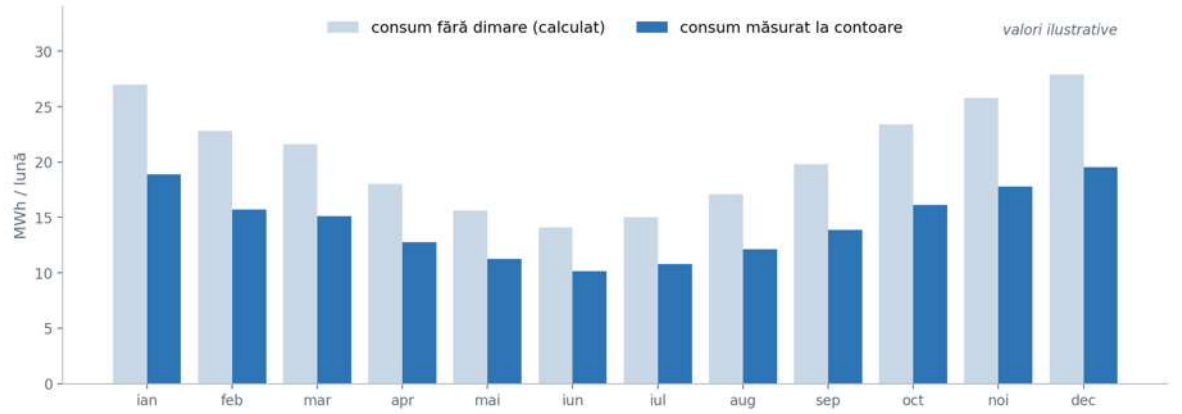


Figura 6.61 – Raport energetic lunar: consum calculat fără dimare și consum măsurat (valori ilustrative)

Figura 6.62 – Raport energetic generat de platformă pentru un punct de aprindere

6.6.7. Studiu de caz ilustrativ

Studiul de caz de mai jos este construit cu valori tipice pentru o comună de mărime medie și are rolul de a arăta metoda de analiză. Rezultatele unor proiecte implementate se prezintă după aceeași structură.

Situația inițială

Comuna are aproximativ 1 200 de aparate de iluminat LED, cu o putere medie de 50 W, alimentate din 12 puncte de aprindere amplasate în posturile de transformare și pe stâlpii operatorului de distribuție. Punctele de aprindere au arhitectură clasică: ceasuri programabile, contactoare, fără protecție la supratensiuni și fără măsurare proprie. Aparatele funcționează la putere maximă toată noaptea. Defectele sunt semnalate de cetățeni, iar consumul este cunoscut doar din facturile lunare.

Soluția implementată

- modernizarea celor 12 puncte de aprindere: controler cu gateway pentru rețeaua mesh, comanda contactoarelor, citirea contoarelor, intrări de stare, SPD tip 1 + 2 și comandă de rezervă prin fotocelulă;
- noduri Zhaga-D4i pe fiecare aparat, cu profil de dimare stabilit prin proiectul luminotehnic: nivel nominal la începutul nopții, nivel redus în intervalul cu trafic scăzut și revenire dimineața;
- platformă centrală cu inventar GIS, alarme notificate echipei de mentenanță și rapoarte energetice lunare.

Rezultate

Cu 1 200 de aparate × 50 W = 60 kW instalați și aproximativ 4 135 de ore de funcționare pe an, consumul calculat fără dimare este de circa 248 MWh pe an. Consumul măsurat la contoare după implementare, incluzând consumul propriu al controlerelor, este de circa 174 MWh pe an, ceea ce corespunde unei economii de aproximativ 74 MWh pe an, adică circa 30 %.

Aspect	Înainte	După
Consum anual de energie	≈ 248 MWh (calculat)	≈ 174 MWh (măsurat)
Cunoașterea consumului	lunar, din facturi	zilnic, pe punct de aprindere și pe aparat
Descoperirea defectelor	din sesizări, după zile	alarmă automată în aceeași noapte, cu locația exactă
Aprinderea pe timp de zi	necunoscută	detectată și corectată
Modificarea programelor	deplasare la fiecare punct de aprindere	din platformă, pentru toată comuna
Bilanț energetic	imposibil	diferențe identificate și investigate pe punct de aprindere
Protecție la supratensiuni	lipsă	SPD la intrare și pe căile de comunicație

Tabelul 6.46 – Situația înainte și după automatizare (valori ilustrative)

Concluziile studiului de caz

Economia de energie este rezultatul profilului de dimare, iar automatizarea punctelor de aprindere o face măsurabilă și verificabilă. Beneficiile care nu apar direct în kWh – descoperirea rapidă a defectelor, eliminarea aprinderii pe timp de zi, bilanțul energetic, reducerea deplasărilor – sunt la fel de importante pentru exploatare. Coordonarea cu operatorul de distribuție pentru accesul la punctele de aprindere și la datele contoarelor a fost una dintre condițiile esențiale ale implementării.

Greșeli frecvente în proiectare și implementare

Punctul de aprindere reunește partea de putere, protecțiile, comanda și comunicația. Greșelile din această zonă afectează simultan toate aparatele alimentate și sunt, adesea, costisitoare de corectat după punerea în funcțiune.

1. Controler alimentat după contactor

Ce se întâmplă. Controlerul punctului de aprindere este alimentat din circuitul comandat de contactor.

Consecința. Pe timpul zilei controlerul este oprit: nu poate aprinde circuitele, nu raportează alarmele și nu poate fi administrat.

Cum se previne. Controlerul și echipamentele de comunicație se alimentează înaintea contactorului, dintr-un circuit protejat separat.

2. Lipsa comenzii de rezervă

Ce se întâmplă. Contactorul este comandat exclusiv de controler, fără fotocelulă sau ceas astronomic de rezervă.

Consecința. La defectarea controlerului, toate circuitele punctului de aprindere rămân stinse sau aprinse permanent până la intervenție.

Cum se previne. Se prevede o comandă de rezervă independentă, care preia automat comanda contactorului la lipsa semnalului controlerului, și se testează la punerea în funcțiune.

3. Comutator lăsat pe „Manual” sau „0” fără supraveghere

Ce se întâmplă. După o intervenție, comutatorul M – 0 – A rămâne în altă poziție decât „Automat”, iar poziția nu este citită de controler.

Consecința. Circuitele rămân aprinse ziua sau stinse noaptea, fără ca operatorul să fie informat.

Cum se previne. Poziția comutatorului se conectează la o intrare digitală a controlerului și generează alarmă în afara poziției „Automat”.

4. Contactor și protecții dimensionate fără curentul de pornire

Ce se întâmplă. Contactorul și întrerupătoarele automate sunt alese doar după curentul nominal al circuitului.

Consecința. La aprindere declanșează protecțiile sau se sudează contactele contactorului, cu circuite care nu se mai aprind sau nu se mai sting.

Cum se previne. Se verifică numărul de drivere pe circuit, curentul de pornire și datele producătorilor de contactoare și întrerupătoare pentru sarcini LED.

5. Lipsa protecției la supratensiuni

Ce se întâmplă. Punctul de aprindere modernizat nu are dispozitive de protecție la supratensiuni sau acestea protejează doar alimentarea.

Consecința. După furtuni se defectează controlerele, modemurile, contoarele și driverele, iar punctul de aprindere rămâne fără comandă.

Cum se previne. Se prevăd SPD tip 1 + 2 la intrare, cu legătură scurtă la priza de pământ, și protecții pe antenă, pe RS-485 și pe intrările digitale.

6. Declanșări nedorite ale protecției diferențiale

Ce se întâmplă. Protecțiile diferențiale sunt alese fără a ține seama de curenții de scurgere cumulați ai driverelor și ai protecțiilor la supratensiuni.

Consecința. Circuitele lungi declanșează aleatoriu, mai ales pe vreme umedă, iar iluminatul se stinge fără un defect real.

Cum se previne. Se împart circuitele lungi, se aleg tipul și sensibilitatea protecției conform proiectului și datelor producătorilor și se măsoară curenții de scurgere.

7. Neutrul subdimensionat în circuitele trifazate

Ce se întâmplă. Secțiunea neutrului este aleasă presupunând că sarcinile echilibrate anulează curentul din neutru.

Consecința. Armonicile de rang 3 ale driverelor se însumează în neutru, care se supraîncălzește; apar defecte de izolație și întreruperi ale neutrului.

Cum se previne. Secțiunea neutrului se stabilește ținând seama de armonici, iar curentul din neutru se măsoară la punerea în funcțiune.

8. Automatizare fără acordul operatorului de distribuție

Ce se întâmplă. Echipamentele se montează în punctele de aprindere amplasate în posturile de transformare sau pe stâlpii operatorului de distribuție fără acord și fără coordonarea accesului.

Consecința. Lucrările sunt oprite, echipamentele trebuie demontate sau accesul pentru mentenanță devine imposibil.

Cum se previne. Soluția de automatizare, amplasarea echipamentelor și accesul la date se stabilesc împreună cu operatorul de distribuție încă din proiectare.

9. Rapoarte de energie fără situație de referință

Ce se întâmplă. Economiile se raportează prin compararea directă a facturilor dintre ani, fără corecții pentru orele de funcționare și modificările instalației.

Consecința. Economiile raportate sunt supraestimate sau subestimate, iar rezultatele investiției nu pot fi verificate.

Cum se previne. Se definește situația de referință și metoda de calcul, iar rapoartele indică sursa fiecărei valori.

10. Contor propriu necorelat cu contorul de decontare

Ce se întâmplă. Contorul propriu are altă clasă de exactitate, alte intervale de citire sau este montat în alt punct decât contorul de decontare.

Consecința. Valorile nu corespund facturilor, iar bilanțul energetic și discuțiile cu furnizorul devin dificile.

Cum se previne. Se aleg contoare conforme MID, se sincronizează intervalele și se documentează poziția de montaj; diferențele se analizează periodic.

11. Lipsa supravegherii legăturii de comunicație

Ce se întâmplă. Se folosește o singură cartelă SIM, fără supravegherea abonamentului, a semnalului și a traficului.

Consecința. Expirarea abonamentului sau pierderea semnalului lasă puncte de aprindere fără administrare, observate după zile.

Cum se previne. Platforma supraveghează starea legăturii și consumul de date, iar punctele de aprindere importante au cale de comunicație de rezervă.

12. Dulap nepotrivit pentru echipamentele noi

Ce se întâmplă. Controlerul, protecțiile și antena se montează într-un dulap vechi, fără spațiu, ventilație sau etanșare corespunzătoare.

Consecința. Apar supraîncălziri, condens, coroziune și defecte intermitente, iar intervențiile devin dificile.

Cum se previne. Se verifică starea și spațiul dulapului; unde este necesar, se înlocuiește cu un ansamblu nou conform SR EN 61439, cu antenă exterioară și ventilație.

Concluzii

Automatizarea transformă punctul de aprindere dintr-un tablou care execută orb un program într-un nod inteligent al sistemului de iluminat public: comandă circuitele după programe și reguli, supraveghează starea instalației, măsoară energia și semnalează imediat abaterile. Valoarea ei depinde de redundanța comenzii, de protecțiile coordonate, de corelarea cu contorul de decontare și de coordonarea cu operatorul de distribuție.

Raportarea energetică bazată pe măsurare face ca economiile să fie verificabile și susține programele de eficiență energetică ale autorităților locale. Odată cu acest subcapitol se încheie capitolul 6; capitolul 7 aprofundează tehnicile de comunicare, protocoalele, securitatea cibernetică, interoperabilitatea și aspectele economice ale sistemelor de telegestiune.

6.7. Bibliografie

Bibliografia cuprinde actele normative, standardele, specificațiile și sursele tehnice utilizate la elaborarea capitolului 6. Standardele se utilizează în ediția în vigoare la data aplicării, dacă nu este indicată o ediție anume. Citările în text vor fi introduse la finalizarea manualului.

Legislație europeană

[1] Directiva 2014/53/UE a Parlamentului European și a Consiliului privind armonizarea legislațiilor statelor membre referitoare la punerea la dispoziție pe piață a echipamentelor radio (RED).

[2] Regulamentul delegat (UE) 2022/30 al Comisiei de completare a Directivei 2014/53/UE în ceea ce privește aplicarea cerințelor esențiale prevăzute la articolul 3 alineatul (3) literele (d), (e) și (f).

[3] Directiva 2014/35/UE privind echipamentele electrice destinate utilizării în cadrul unor anumite limite de tensiune (LVD).

[4] Directiva 2014/30/UE privind compatibilitatea electromagnetică (EMC).

[5] Directiva 2011/65/UE privind restricțiile de utilizare a anumitor substanțe periculoase în echipamentele electrice și electronice (RoHS).

[6] Directiva 2012/19/UE privind deșeurile de echipamente electrice și electronice (DEEE).

[7] Directiva 2014/32/UE privind punerea la dispoziție pe piață a mijloacelor de măsurare (MID).

[8] Directiva 2014/34/UE privind echipamentele și sistemele de protecție destinate utilizării în atmosfere potențial explozive (ATEX).

[9] Regulamentul (UE) 2019/2020 al Comisiei de stabilire a cerințelor în materie de proiectare ecologică pentru sursele de lumină și dispozitivele de comandă separate.

[10] Directiva (UE) 2023/1791 privind eficiența energetică.

[11] Directiva (UE) 2022/2555 privind măsuri pentru un nivel comun ridicat de securitate cibernetică în Uniune (NIS2).

[12] Regulamentul (UE) 2024/2847 privind cerințele orizontale de securitate cibernetică pentru produsele cu elemente digitale (Cyber Resilience Act).

[13] Regulamentul (UE) 2016/679 privind protecția persoanelor fizice în ceea ce privește prelucrarea datelor cu caracter personal (GDPR).

[14] Regulamentul (UE) 2023/2854 privind normele armonizate pentru accesul echitabil la date și utilizarea corectă a acestora (Data Act).

Legislație și reglementări naționale

[15] Legea nr. 230/2006 a serviciului de iluminat public, republicată, cu modificările și completările ulterioare.

[16] Ordinul ANRSC nr. 86/2007 pentru aprobarea Regulamentului-cadru al serviciului de iluminat public.

[17] Legea nr. 121/2014 privind eficiența energetică, cu modificările și completările ulterioare.

[18] Ordinul ANRE nr. 103/2015 pentru aprobarea Codului de măsurare a energiei electrice.

Standarde pentru iluminat și aparate de iluminat

[19] SR EN 13201-2 Iluminatul drumurilor. Partea 2: Cerințe de performanță.

[20] CEN/TR 13201-1 Road lighting – Part 1: Guidelines on selection of lighting classes.

[21] SR EN 13201-5 Iluminatul drumurilor. Partea 5: Indicatori de performanță energetică.

[22] SR EN 60598-1 Aparate de iluminat. Partea 1: Cerințe generale și încercări.

[23] SR EN 60598-2-3 Aparate de iluminat. Partea 2-3: Cerințe particulare. Aparate de iluminat pentru iluminatul public.

[24] SR EN 61347-1 și SR EN 61347-2-13 Dispozitive de comandă pentru lămpi – cerințe generale și cerințe particulare pentru dispozitivele electronice de comandă pentru module LED.

[25] SR EN 62384 Dispozitive electronice de comandă alimentate în c.c. sau c.a. pentru module LED – cerințe de performanță.

[26] SR EN 62471 Securitatea fotobiologică a lămpilor și a sistemelor de lămpi.

[27] SR EN 60529 Grade de protecție asigurate prin carcase (cod IP).

[28] SR EN 62262 Grade de protecție asigurate de carcasele pentru echipamente electrice împotriva impacturilor mecanice externe (cod IK).

[29] IEC 60929 AC and/or DC-supplied electronic control gear for tubular fluorescent lamps – Performance requirements (interfața analogică de dimare).

Standarde și specificații pentru comanda aparatelor

[30] Seria IEC 62386 Digital addressable lighting interface (DALI), inclusiv părțile 101, 102, 103, 104, 207, 209, 303, 304 și 250–253 (ediția 1, 2023).

[31] DALI Alliance – specificațiile D4i (inclusiv partea 351) și programele de certificare DALI-2, D4i și DALI+.

[32] Zhaga Consortium – Book 18: Outdoor connectivity, ediția 4 (noiembrie 2025); Book 20: Smart interface between indoor luminaires and sensing/communication modules; programul de certificare Zhaga-D4i.

[33] ANSI C136.41-2025 Roadway and Area Lighting Equipment – Dimming Control between an External Locking Type Photocontrol and Ballast or Driver.

[34] ANSI C136.10 Roadway and Area Lighting Equipment – Locking-Type Photocontrol Devices and Mating Receptacles; ANSI C136.2 (seria ANSI C136 pentru echipamente de iluminat rutier).

Standarde pentru compatibilitate electromagnetică, siguranță, protecții și măsurare

[35] SR EN IEC 55015 Limite și metode de măsurare a caracteristicilor de perturbații radioelectrice ale echipamentelor electrice de iluminat și similare.

[36] SR EN 61547 Echipamente pentru iluminat general – cerințe de imunitate EMC.

[37] SR EN IEC 61000-3-2 și SR EN 61000-3-3 Compatibilitate electromagnetică – limite pentru emisiile de curent armonic și pentru fluctuațiile de tensiune și flicker.

[38] SR EN 61000-6-2 și SR EN 61000-6-4 Compatibilitate electromagnetică – standarde generice de imunitate și de emisie pentru mediile industriale.

[39] SR EN 62368-1 Echipamente audio/video, pentru tehnologia informației și a comunicațiilor – cerințe de securitate.

[40] SR EN 62311 și SR EN 62479 Evaluarea echipamentelor electronice și electrice în raport cu restricțiile de expunere umană la câmpuri electromagnetice.

[41] SR EN 61643-11 Dispozitive de protecție împotriva supratensiunilor de joasă tensiune.

[42] SR HD 60364-5-534 Instalații electrice de joasă tensiune – dispozitive pentru protecția împotriva supratensiunilor.

[43] SR EN 61439 (seria) Ansambluri de aparataj de joasă tensiune.

[44] SR EN 50160 Caracteristicile tensiunii furnizate de rețelele electrice publice.

[45] SR EN 61672-1 Electroacustică. Sonometre. Partea 1: Specificații.

[46] SR EN 62056 / IEC 62056 (seria) Schimbul de date pentru citirea contoarelor, tarife și controlul sarcinii (DLMS/COSEM); EN 13757 (seria) Sisteme de comunicație pentru contoare (M-Bus).

Standarde și specificații pentru comunicații radio și PLC

[47] SR EN 300 220 (seria) Dispozitive cu rază mică de acțiune în domeniul de frecvențe 25 MHz – 1 000 MHz.

[48] SR EN 300 328 Sisteme de transmisie de bandă largă în banda de 2,4 GHz.

[49] SR EN 301 908 (seria) Rețele celulare IMT – echipamente de utilizator și stații de bază.

[50] SR EN 301 489 (seria) Standardul EMC pentru echipamente și servicii radio.

[51] ETSI EN 300 440 Dispozitive cu rază mică de acțiune în domeniul de frecvențe 1 GHz – 40 GHz; ETSI EN 305 550 Dispozitive cu rază mică de acțiune în domeniul 40 GHz – 246 GHz.

[52] IEEE 802.15.4 Standard for Low-Rate Wireless Networks, inclusiv amendamentul 802.15.4g (Smart Utility Networks).

[53] Wi-SUN Alliance – Field Area Network (FAN) specification.

[54] LoRa Alliance – LoRaWAN L2 1.0.4 Specification și RP002 Regional Parameters; ITU-T Y.4480 Low power protocol for wide area wireless networks.

[55] 3GPP – specificațiile Release 13–18 pentru NB-IoT, LTE-M și 5G RedCap / eRedCap.

[56] SR EN 50065-1 Transmisia de semnale pe rețelele electrice de joasă tensiune în domeniul de frecvențe 3 kHz – 148,5 kHz.

Protocoale de aplicație, integrare și orașul inteligent

[57] OASIS – MQTT Version 3.1.1 (ISO/IEC 20922:2016) și MQTT Version 5.0 (2019).

[58] Modbus Organization – Modbus Application Protocol Specification; MODBUS/TCP Security Protocol Specification (2021).

[59] TALQ Consortium – TALQ Smart City Protocol Specification, versiunea 2 (inclusiv 2.7.0, aprilie 2026); White Paper „The Smart City Protocol” (2024); TALQ Tender Template, ediția 4 (2025); lista produselor certificate.

[60] IETF RFC 7252 The Constrained Application Protocol (CoAP); RFC 8446 The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3.

Securitate cibernetică și managementul sistemelor

[61] IEC 62443 (seria) Security for industrial automation and control systems, inclusiv părțile 3-2, 3-3, 4-1 și 4-2.

[62] SR EN 18031-1, -2, -3 Cerințe comune de securitate pentru echipamentele radio.

[63] ISO/IEC 27001 Information security, cybersecurity and privacy protection – Information security management systems – Requirements.

Surse tehnice și documente consultate

[64] TALQ Consortium – https://www.talq-consortium.org.

[65] DALI Alliance – „D4i: Standardization and Certification for Intra-luminaire DALI”, 2019; „IEC publishes further standards based on DiiA Specifications”.

[66] Comisia Europeană – „Cyber Resilience Act – Reporting obligations”, https://digital-strategy.ec.europa.eu.

[67] Nordic Semiconductor Academy – materiale despre NB-IoT și LTE-M; Trialog – G3-PLC; Ericsson – 5G RedCap și eRedCap.

[68] Documentații de produs Zhaga Book 18 (Tridonic), conectori ANSI C136.41 (TE Connectivity), Zhaga Consortium – comunicatul privind Book 18 ediția 4.

7. Tehnici de comunicare în comanda și controlul iluminatului *[Păuț I., Oprițescu C., Epure A., Ichim G.]*

Capitolul aprofundează tehnologiile și metodele prin care sistemul de telegestiune comunică, este exploatat și este justificat: tehnologiile de comunicație, controlul la nivel de circuit, protocoalele de aplicație, arhitectura orașului inteligent, sistemele SCADA, comunicațiile radio, controlul avansat, monitorizarea și diagnoza, securitatea cibernetică, interoperabilitatea și aspectele economice.

7.1. Tehnologii de comunicație pentru telegestiune *[Oprițescu C., Epure A., Ichim G.]*

Introducere

Tehnologia de comunicație determină ce poate face un sistem de telegestiune: cât de repede ajunge o comandă la aparat, câte date pot fi colectate, cât costă exploatarea pe durata de viață și cât de dependent este proprietarul de un furnizor de servicii. Subcapitolul 6.1.3 a prezentat rețelele din punct de vedere arhitectural; acest subcapitol analizează tehnologiile propriu-zise, cu parametrii lor fizici, avantajele, limitele și contextele de utilizare.

Sunt tratate criteriile de comparație, tehnologiile celulare pentru IoT (NB-IoT și LTE-M), LoRa și LoRaWAN, rețelele mesh și star în benzile de 2,4 GHz și 5 GHz, comunicația prin rețeaua electrică (PLC) și rețelele celulare de bandă largă 4G și 5G. Tehnologiile descrise sunt cele mai utilizate în telegestiunea iluminatului public, atât la nivel internațional, cât și în România. Protocoalele de aplicație sunt prezentate în 7.3, securitatea cibernetică în 7.9, iar interoperabilitatea în 7.10.

Termeni tehnici utilizați

Tabelul 7.1 explică termenii și acronimele utilizate în acest subcapitol. Termenii prezentați în capitolul 6 nu mai sunt reluați.

Termen	Denumire completă	Explicație
IoT	Internet of Things	„Internetul lucrurilor”: echipamente care comunică automat între ele și cu platforme centrale, fără intervenția unui operator.
LPWAN	Low Power Wide Area Network	Familie de rețele radio cu consum mic și bătaie mare, dar cu debit redus; include LoRaWAN, NB-IoT și LTE-M.
Buget de legătură	Link budget	Diferența, în decibeli (dB), dintre puterea emisă plus câștigurile antenelor și sensibilitatea receptorului; arată cât de multă atenuare poate suporta legătura.
MCL	Maximum Coupling Loss	Atenuarea maximă dintre emițător și receptor la care legătura încă funcționează; indicator folosit de 3GPP pentru a compara acoperirea tehnologiilor celulare.
Debit	Data rate / throughput	Cantitatea de date transmisă pe secundă (bit/s, kbit/s, Mbit/s); debitul brut este cel de pe canal, debitul util este cel rămas după protocoale și retransmisii.
Latență	Latency	Timpul dintre trimiterea unei comenzi sau a unui mesaj și primirea lui la destinație.
Spectru licențiat	Licensed spectrum	Benzi de frecvență atribuite exclusiv unui operator, contra cost, de autoritatea de reglementare (în România, ANCOM); interferențele sunt controlate.
Spectru nelicențiat	Licence-exempt / ISM band	Benzi utilizabile de oricine, fără licență, cu respectarea condițiilor tehnice (putere, ciclu de lucru, acces la canal); interferențele nu sunt garantate a fi absente.
Ciclu de lucru	Duty cycle	Procentul maxim din timp în care un echipament are voie să emită într-o sub-bandă; de exemplu, 1 % înseamnă cel mult 36 de secunde de emisie pe oră.

Termen	Denumire completă	Explicație
3GPP	3rd Generation Partnership Project	Organismul care elaborează standardele pentru rețelele mobile (LTE, NB-IoT, LTE-M, 5G), publicate pe versiuni numite „Release” (Rel).
NB-IoT	Narrowband IoT	Tehnologie celulară 3GPP pentru IoT, cu lățime de bandă de 180 kHz, acoperire foarte bună și debit mic.
LTE-M	LTE for Machines (LTE Cat-M1)	Tehnologie celulară 3GPP pentru IoT, cu lățime de bandă de 1,4 MHz, debit și latență mai bune decât NB-IoT și suport pentru mobilitate.
PSM	Power Saving Mode	Mod în care modemul celular se „adoarme” complet între transmisii; nu poate fi apelat din rețea până la următoarea activare.
eDRX	extended Discontinuous Reception	Mod în care modemul ascultă rețeaua doar în ferestre scurte, la intervale configurabile; reduce consumul, dar întârzie primirea comenzilor.
LoRa	Long Range	Tehnica de modulație radio cu spectru împrăștiat de tip „chirp” (CSS), care permite bătaie mare la debit mic.
LoRaWAN	LoRa Wide Area Network	Protocolul de rețea construit peste modulația LoRa, specificat de LoRa Alliance și recunoscut ca recomandarea ITU-T Y.4480.
SF	Spreading Factor	Factorul de împrăștiere LoRa (SF7–SF12); un SF mai mare crește bătaia, dar scade debitul și lungește durata mesajului în aer.
ADR	Adaptive Data Rate	Mecanism LoRaWAN prin care serverul de rețea ajustează automat SF-ul și puterea fiecărui echipament, în funcție de calitatea legăturii.
OTAA / ABP	Over-The-Air Activation / Activation By Personalization	Metode de conectare a unui echipament LoRaWAN: OTAA generează chei noi la fiecare conectare, ABP folosește chei fixe configurate din fabrică.
FUOTA	Firmware Update Over The Air	Actualizarea firmware-ului prin rețeaua radio, fără intervenție fizică la echipament.
IEEE 802.15.4	–	Standardul care definește nivelul fizic și de acces la mediu pentru rețele radio de putere mică; stă la baza Zigbee, Thread, Wi-SUN și a multor rețele mesh proprietare.
6LoWPAN	IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks	Adaptare care permite transportul pachetelor IPv6 prin rețele radio sau PLC de debit mic.
Wi-SUN FAN	Wireless Smart Utility Network – Field Area Network	Profil de rețea mesh IPv6 bazat pe IEEE 802.15.4g, dezvoltat pentru utilități și orașe inteligente.
LBT / adaptivitate	Listen Before Talk	Regula prin care un echipament ascultă canalul înainte de a emite și amână emisia dacă acesta este ocupat.
DFS	Dynamic Frequency Selection	Mecanism obligatoriu în o parte a benzii de 5 GHz: echipamentul detectează radarele și eliberează automat canalul.
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Modulație care împarte semnalul pe multe purtătoare apropiate; rezistă bine la zgomot și la reflexii, fiind folosită în PLC, Wi-Fi, LTE și 5G.
G3-PLC / PRIME	–	Standarde PLC de bandă îngustă pentru rețele de utilități: G3-PLC (ITU-T G.9903) și PRIME (ITU-T G.9904).
RedCap	Reduced Capability	Categorie 5G simplificată (3GPP Rel-17), cu lățime de bandă și complexitate reduse, pentru echipamente IoT cu debit mediu.
eSIM	embedded SIM	Cartelă SIM integrată în modul, al cărei profil de operator poate fi încărcat și schimbat de la distanță.
APN privat	Access Point Name	Punct de acces dedicat în rețeaua operatorului mobil, prin care echipamentele comunică izolat de internetul public.

Tabelul 7.1 – Termeni și acronime

7.1.1. Criterii de comparație

Nu există o tehnologie de comunicație potrivită pentru orice situație. Alegerea corectă rezultă din compararea tehnologiilor pe baza unor criterii obiective, raportate la nevoile proiectului: numărul și densitatea punctelor luminoase, funcțiile cerute, relieful și construcțiile, durata de exploatare și modelul de proprietate dorit.

Frecvența și propagarea

Frecvența de lucru influențează direct bătaia și capacitatea. Frecvențele mai joase se propagă mai departe și pătrund mai bine prin obstacole, dar oferă mai puțină lățime de bandă și cer antene mai mari. Frecvențele mai înalte oferă debit mai mare, însă, pentru aceeași putere, bătaia pe un singur salt este mai mică. Figura 7.1 prezintă poziția în spectru a tehnologiilor analizate.

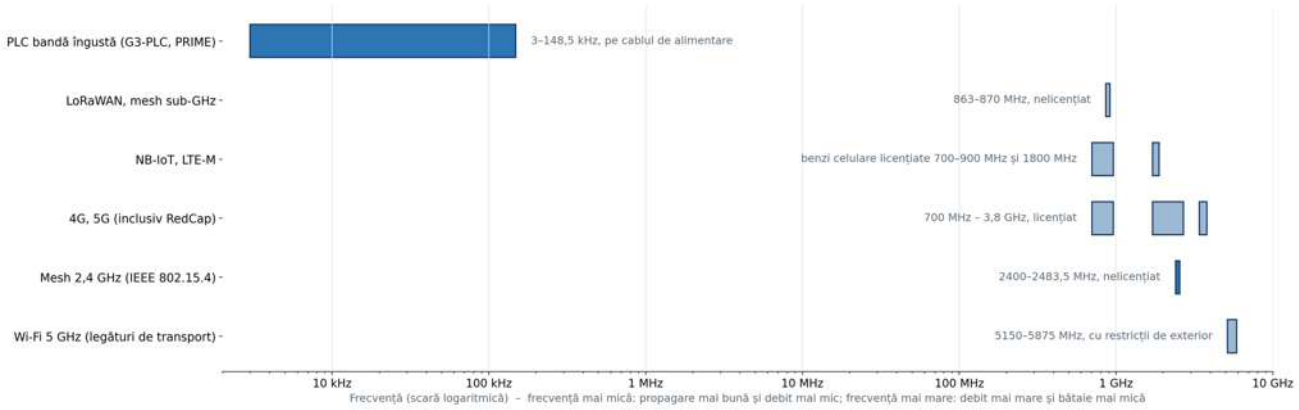


Figura 7.1 – Poziția în spectru a tehnologiilor de comunicație utilizate în telegestiune

În spațiu liber, atenuarea crește cu 6 dB la fiecare dublare a distanței sau a frecvenței. Rezultă două reguli practice utile: un câștig de 6 dB în bugetul de legătură dublează, teoretic, bătaia, iar trecerea de la 868 MHz la 2,4 GHz costă aproximativ 9 dB de atenuare suplimentară pe aceeași distanță. În mediu urban, cu clădiri, vegetație și vehicule, atenuarea crește mai repede decât în spațiu liber, astfel încât valorile reale se stabilesc prin măsurători și planificare radio.

Criteriile de evaluare

Criteriu	Ce se evaluează	De ce contează în iluminatul public
Acoperire	Buget de legătură, MCL, bătaie pe salt, pătrundere prin obstacole	Toate punctele luminoase trebuie să comunice, inclusiv cele din zone umbrite sau izolate.
Debit	kbit/s disponibili pe echipament și pe rețea	Determină viteza actualizărilor de firmware, volumul de măsurători și posibilitatea serviciilor suplimentare.
Latență	Timpul de livrare a unei comenzi	Comenzile manuale, scenariile de urgență și reacția la senzori cer răspuns în secunde, nu în minute.
Capacitate	Număr de echipamente pe gateway sau pe celulă, trafic simultan	O comandă de grup către sute de aparate nu trebuie să blocheze rețeaua.
Comunicație bidirecțională	Posibilitatea de a trimite comenzi oricând către echipament	Telegestiunea înseamnă comandă, nu doar colectare de date.
Tipul spectrului	Licențiat sau nelicențiat, reguli de acces și ciclu de lucru	Influențează interferențele, costurile și libertatea de extindere.
Proprietatea rețelei	Rețea privată a beneficiarului sau serviciu al unui operator	Stabilește cine controlează disponibilitatea, datele și continuitatea pe 15–20 de ani.
Costuri	Investiție inițială, abonamente, energie, mentenanță	Costul pe durata de viață diferă mult de costul de achiziție (vezi 7.11).

Criteriu	Ce se evaluează	De ce contează în iluminatul public
Securitate	Criptare, autentificare, gestionarea cheilor	Iluminatul public este infrastructură critică la nivel local (vezi 7.9).
Standardizare și ecosistem	Standard deschis, număr de producători, certificări	Reduce dependența de un singur furnizor și facilitează extinderea ulterioară.
Durabilitate tehnologică	Maturitate, sprijinul operatorilor, orizontul de retragere	Rețeaua trebuie să funcționeze cel puțin cât durata de viață a aparatelor LED.
Actualizare de la distanță	Suport pentru FUOTA și durata unei actualizări	Actualizările de securitate sunt obligatorii în regimul CRA pe toată perioada de suport.

Tabelul 7.2 – Criterii de comparație a tehnologiilor de comunicație

Figura 7.2 poziționează tehnologiile după bătaia tipică dintre două echipamente și după debitul disponibil. Pentru rețelele mesh, bătaia se referă la un singur salt: acoperirea totală a rețelei este mult mai mare, deoarece mesajele trec din nod în nod.

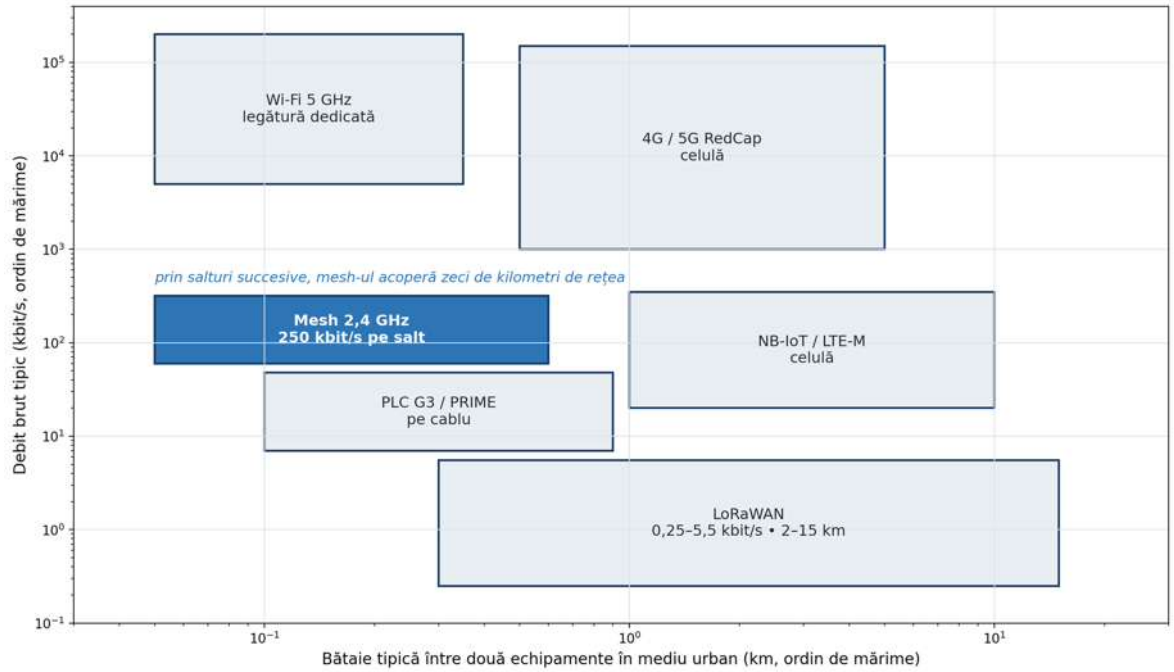


Figura 7.2 – Bătaia și debitul tehnologiilor de comunicație (ordin de mărime, mediu urban)

7.1.2. NB-IoT și LTE-M

NB-IoT și LTE-M sunt tehnologii celulare standardizate de 3GPP începând cu Release 13 (2016) pentru echipamente IoT. Ele funcționează în rețelele operatorilor mobili, în spectru licențiat, și sunt recunoscute ca parte a componentei 5G pentru IoT masiv, putând coexista cu rețelele 5G. În telegestiunea iluminatului sunt folosite în arhitectura fără gateway local: fiecare controler are propriul modem și propria cartelă SIM sau eSIM și comunică direct cu platforma.

Caracteristici tehnice

Parametru	NB-IoT	LTE-M (Cat-M1)
Lățime de bandă	180 kHz	1,4 MHz
Debit tipic	zeci de kbit/s; până la ≈ 127 kbit/s descendent și ≈ 159 kbit/s ascendent (Cat-NB2, Rel-14)	până la ≈ 300 kbit/s descendent și ≈ 375 kbit/s ascendent
Latență tipică	1,5–10 s	50–100 ms
Acoperire (MCL)	164 dB, cu ≈ 20 dB peste LTE clasic	156 dB, cu ≈ 15 dB peste LTE clasic
Mobilitate	limitată, fără predare între celule în timpul conexiunii	completă, cu predare între celule (handover)

Parametru	NB-IoT	LTE-M (Cat-M1)
Mod de funcționare	semiduplex	semiduplex sau duplex
Moduri de economisire	PSM, eDRX (ciclu de până la ≈ 3 ore)	PSM, eDRX (ciclu de până la ≈ 44 de minute)
Actualizare firmware	posibilă, dar lentă și costisitoare în date	practică, datorită debitului mai mare

Tabelul 7.3 – Caracteristicile principale ale NB-IoT și LTE-M

NB-IoT oferă cea mai bună pătrundere în clădiri și subsoluri și este optimizat pentru mesaje rare și mici, precum citirea contoarelor. LTE-M are debit și latență mai bune și suportă mobilitatea, fiind mai potrivit pentru comenzi interactive și actualizări de firmware. Multe module comerciale suportă ambele tehnologii, iar alegerea finală depinde de ce oferă operatorii în zona proiectului.

Modurile de economisire și efectul asupra comenzilor

PSM și eDRX au fost concepute pentru echipamente alimentate din baterii, care trebuie să funcționeze ani întregi. Controlerele de iluminat sunt alimentate din rețea, dar operatorii pot tarifa sau configura rețeaua ținând cont de aceste moduri. Figura 7.3 arată cum afectează fiecare mod timpul de livrare a unei comenzi.

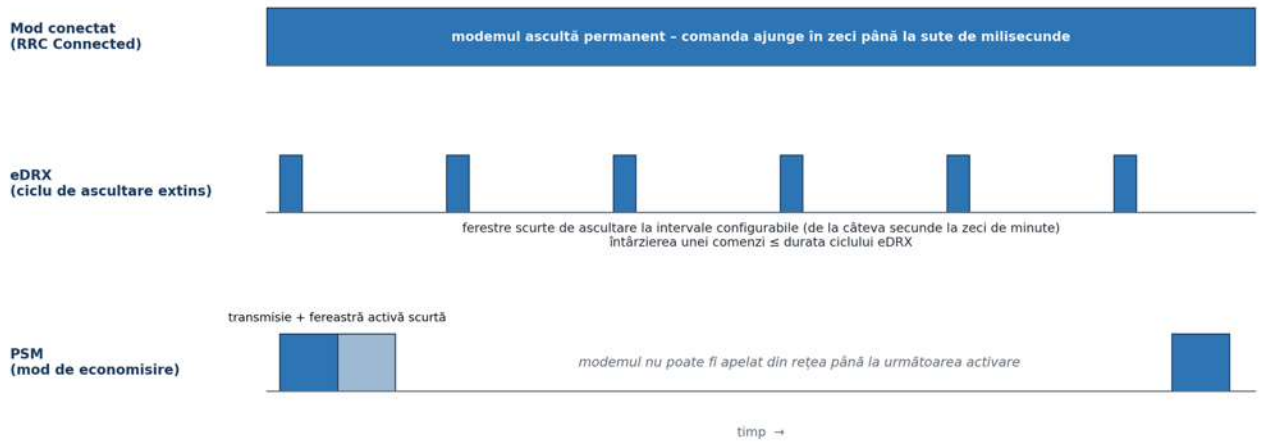


Figura 7.3 – Modul conectat, eDRX și PSM: efectul asupra disponibilității echipamentului

Un controler în PSM nu poate primi comenzi până la următoarea trezire, ceea ce este incompatibil cu comanda manuală sau cu scenariile de urgență. Pentru iluminat se folosesc modul conectat sau eDRX cu cicluri scurte, de ordinul secundelor, iar configurarea se stabilește împreună cu operatorul mobil și se verifică la recepție.

Avantaje și limite

Avantaje:

- nu este necesară construirea unei rețele proprii: acoperirea există deja acolo unde operatorul a activat serviciul;
- fiecare aparat comunică independent, fără dependență de vecini sau de un gateway;
- spectru licențiat, cu interferențe controlate și securitate la nivelul rețelei mobile;
- potrivit pentru aparate izolate, puncte de aprindere dispersate și proiecte mici.

Limite:

- abonament recurent pe fiecare echipament, pe toată durata de exploatare;
- dependență de operator: acoperire, politici de tarifare, schimbări de rețea și, pe termen lung, retragerea tehnologiei;

- latența NB-IoT face comenzile de grup lente și nesincronizate, iar actualizările de firmware pe mii de echipamente consumă mult timp și date;
- costul modulului celular și al certificărilor este mai mare decât al unui modul radio 802.15.4.

Retragerea rețelelor 2G și 3G în Europa a arătat că echipamentele de telegestiune pot deveni inutilizabile înaintea aparatelor pe care le comandă. Pentru a reduce acest risc se preferă module care suportă atât LTE-M, cât și NB-IoT, cu eSIM administrabil de la distanță conform specificațiilor GSMA pentru IoT, și contracte care precizează obligațiile de continuitate a serviciului.

7.1.3. LoRa și LoRaWAN

LoRa este o modulație radio cu spectru împrăștiat de tip „chirp” (CSS), care permite recepția unor semnale aflate sub nivelul zgomotului. LoRaWAN este protocolul de rețea construit peste LoRa, specificat de LoRa Alliance și aprobat în decembrie 2021 ca recomandarea ITU-T Y.4480. În Europa funcționează în banda nelicențiată 863–870 MHz, cu respectarea condițiilor din SR EN 300 220.

Arhitectura rețelei

Rețeaua LoRaWAN are topologie „stea de stele”: echipamentele terminale transmit mesaje recepționate de unul sau mai multe gateway-uri, care le trimit mai departe către serverul de rețea. Serverul de rețea elimină duplicatele, gestionează ADR și alege gateway-ul prin care trimite mesajele descendente, iar serverul de aplicație livrează datele platformei de telegestiune. Echipamentele nu comunică între ele și nu retransmit mesajele altor echipamente.

Rețeaua poate fi privată, construită și deținută de beneficiar, sau publică, oferită ca serviciu de un operator. În ambele cazuri, gateway-urile sunt amplasate la înălțime, pe clădiri sau stâlpi, pentru a acoperi raze de ordinul kilometrilor în oraș și al zecilor de kilometri în zone deschise.

Factorul de împrăștiere și ciclul de lucru

Factorul de împrăștiere stabilește compromisul dintre bătaie și debit. Fiecare creștere cu o treaptă a SF-ului adaugă aproximativ 2,5 dB la sensibilitate, dar dublează durata mesajului în aer. Figura 7.4 arată debitul și timpul în aer pentru un mesaj de 25 de octeți la lățimea de bandă de 125 kHz.

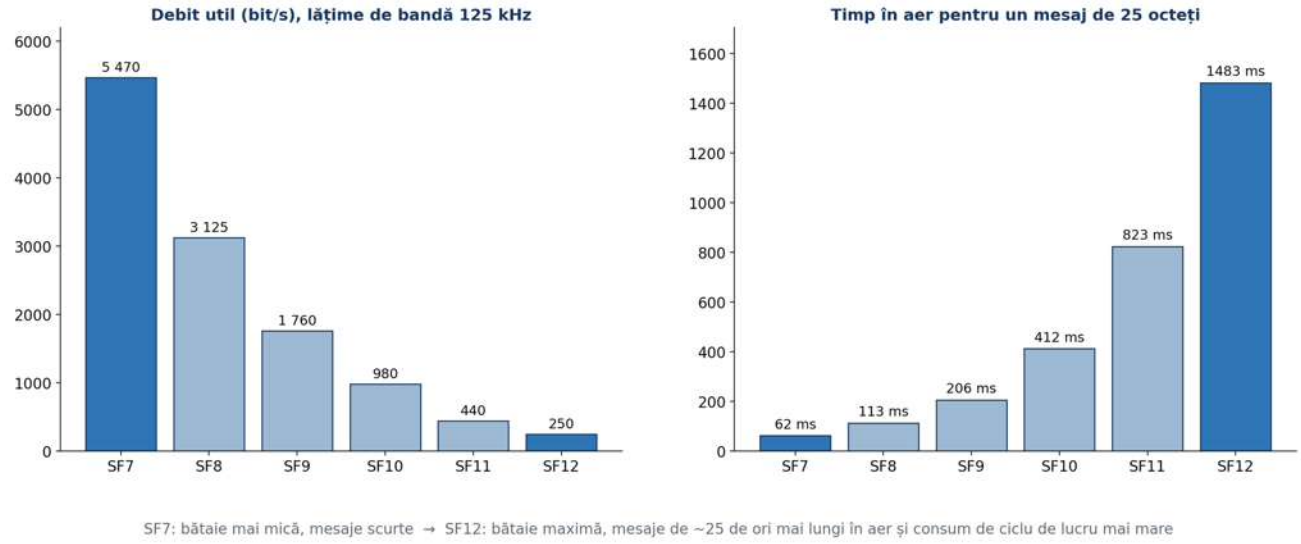


Figura 7.4 – Debitul și timpul în aer în funcție de factorul de împrăștiere (LoRa, 125 kHz, valori calculate)

În banda europeană, canalele principale LoRaWAN (868,1, 868,3 și 868,5 MHz) au un ciclu de lucru de 1 %. Un mesaj de 1,5 secunde la SF12 impune o pauză de aproape 150 de secunde înainte de următoarea emisie în aceeași sub-bandă. Limita se aplică și gateway-ului, care emite toate mesajele descendente: dacă transmite comenzi către multe echipamente, își consumă rapid timpul de emisie disponibil. Canalul de 869,525 MHz, cu ciclu de lucru de 10 % și putere mai mare, este folosit de regulă pentru mesajele descendente.

Rată de date	Factor de împrăștiere	Debit util	Utilizare tipică
DR5	SF7	≈ 5 470 bit/s	echipamente apropiate de gateway, mesaje frecvente
DR4	SF8	≈ 3 125 bit/s	legături bune
DR3	SF9	≈ 1 760 bit/s	legături medii
DR2	SF10	≈ 980 bit/s	legături slabe
DR1	SF11	≈ 440 bit/s	margine de acoperire
DR0	SF12	≈ 250 bit/s	bătaie maximă, mesaje rare

Tabelul 7.4 – Ratele de date LoRaWAN în banda EU868 (125 kHz)

Clasele de echipamente

- **Clasa A** – echipamentul poate primi mesaje doar în două ferestre scurte după fiecare transmisie proprie; este cea mai economică, dar nu permite comenzi la cerere.
- **Clasa B** – echipamentul deschide ferestre suplimentare de recepție la momente sincronizate prin semnale periodice de la gateway; comenzile ajung cu întârziere de ordinul zecilor de secunde până la minute.
- **Clasa C** – echipamentul ascultă permanent, cu excepția momentelor în care emite; comenzile ajung în câteva secunde. Controlerele de iluminat, fiind alimentate din rețea, lucrează de regulă în clasa C.

Pentru comenzile de grup și actualizările de firmware, LoRa Alliance a specificat grupuri multicast și transmiterea fragmentată a fișierelor. O actualizare de firmware de ordinul sutelor de kilooctți poate dura însă ore întregi pe o rețea LoRaWAN, din cauza debitului mic și a ciclului de lucru.

Securitate

LoRaWAN folosește criptare AES-128 pe două niveluri: o cheie de sesiune de rețea, care asigură integritatea mesajelor, și o cheie de sesiune de aplicație, care criptează conținutul de la echipament până la serverul de aplicație. Activarea OTAA este preferată față de ABP, deoarece generează chei noi la fiecare conectare și protejează împotriva reutilizării contoarelor de mesaje. Gestionarea cheilor rădăcină și a serverului de asociere este tratată în 7.9.

Avantaje și limite

LoRaWAN acoperă suprafețe mari cu puține gateway-uri, are consum foarte mic și un ecosistem larg de senzori pentru orașe inteligente: nivel de umplere a containerelor, calitatea aerului, parcări, contoare de apă. Pentru iluminatul public, limitele principale sunt debitul mic, ciclul de lucru care restricționează comenzile descendente, latența comenzilor de grup și durata mare a actualizărilor de firmware. În practică, LoRaWAN este potrivit pentru zone cu densitate mică de aparate și pentru rețelele de senzori care completează sistemul de telegestiune.

7.1.4. Rețele mesh și star în benzile de 2,4 GHz și 5 GHz

Banda de 2,4 GHz (2400–2483,5 MHz) este singura bandă nelicențiată disponibilă practic în toată lumea, fără ciclu de lucru, cu condițiile tehnice din SR EN 300 328. Aici funcționează rețelele mesh bazate pe IEEE 802.15.4, care reprezintă soluția cea mai răspândită pentru telegestiunea la nivel de aparat în rețelele urbane, precum și Wi-Fi și Bluetooth. Banda de 5 GHz este folosită, în iluminatul public, mai ales pentru legături de transport cu debit mare.

Topologiile star și mesh

În topologia star, fiecare echipament comunică direct cu un punct central, iar bătaia este limitată de legătura cea mai slabă. În topologia mesh, fiecare controler poate retransmite mesajele vecinilor, iar mesajul ajunge la gateway prin mai multe salturi. Deoarece stâlpii sunt amplasați de regulă la 25–40 m, iar un salt radio

802.15.4 în mediu urban atinge uzual 100–300 m, fiecare nod are mai mulți vecini accesibili. Dacă un aparat se defectează sau o legătură se degradează, rețeaua își recalculează automat traseele.

Nivelul fizic IEEE 802.15.4 la 2,4 GHz

Parametru	Valoare	Observații
Modulație	O-QPSK cu spectru împrăștiat (DSSS)	rezistentă la zgomot și interferențe de bandă îngustă
Debit brut	250 kbit/s	de aproximativ 50 de ori mai mare decât LoRa la SF7
Canale	16 canale (11–26), lărgime 2 MHz, pas de 5 MHz	multe stive folosesc salt de frecvență între canale
Putere maximă	20 dBm p.i.r.e. (100 mW), conform SR EN 300 328	peste 10 dBm este obligatoriu mecanismul de adaptivitate (LBT)
Ciclu de lucru	fără limită de ciclu de lucru	comenzile descendente nu sunt restricționate ca în banda de 868 MHz
Bătaie pe salt	uzual 100–300 m în mediu urban	depinde de antenă, înălțimea de montaj și obstacole
Latență	zeci–sute de milisecunde pe salt	o comandă traversează rețeaua în sub o secundă până la câteva secunde

Tabelul 7.5 – Caracteristicile nivelului fizic IEEE 802.15.4 la 2,4 GHz

Coexistența cu Wi-Fi

Banda de 2,4 GHz este partajată cu Wi-Fi, Bluetooth și alte echipamente. Figura 7.5 arată că rețelele Wi-Fi configurate pe canalele uzuale 1, 6 și 11 lasă libere canalele 802.15.4 cu numerele 15, 20, 25 și 26. Stivele moderne folosesc în plus salt de frecvență, retransmisii și excluderea automată a canalelor ocupate, astfel încât coexistența este asigurată în rețelele reale.

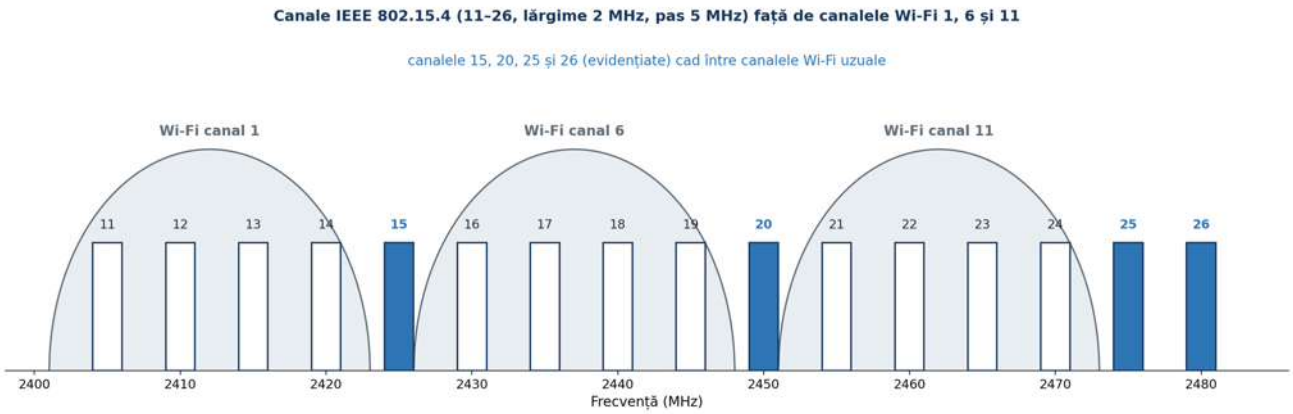


Figura 7.5 – Canalele IEEE 802.15.4 față de canalele Wi-Fi 1, 6 și 11

Stive de protocoale utilizate

Stivă	Bază tehnică	Caracteristici	Utilizare în iluminat
Mesh proprietar pe 802.15.4	IEEE 802.15.4, adesea cu 6LoWPAN și IPv6	optimizat de producător pentru rețele liniare de stâlpi, cu rutare și securitate proprii	cea mai răspândită soluție comercială pentru telegestiunea la nivel de aparat
Zigbee	IEEE 802.15.4, specificații Connectivity Standards Alliance	ecosistem larg, mesh cu autoreconfigurare	utilizat în unele sisteme de iluminat exterior și în clădiri
Thread	IEEE 802.15.4, 6LoWPAN, IPv6	rețea IP nativă, fără punct unic de defect, bază pentru Matter	în principal în clădiri; utilizare exterioară în creștere
Wi-SUN FAN	IEEE 802.15.4g, IPv6, salt de frecvență	proiectat pentru utilități și orașe, scalabil la rețele foarte mari	iluminat public și contorizare în SUA, Japonia și Asia; mai ales sub-GHz

Stivă	Bază tehnică	Caracteristici	Utilizare în iluminat
Bluetooth Mesh	Bluetooth Low Energy, specificații Bluetooth SIG	difuzare controlată (flooding), punere în funcțiune din telefon	iluminat interior și exterior de mici dimensiuni

Tabelul 7.6 – Stive de protocoale mesh utilizate în iluminatul public

De ce mesh la 2,4 GHz și nu în sub-GHz

Rețelele mesh pot funcționa și în banda de 868 MHz, cu bătaie mai mare pe salt. În Europa, această bandă impune însă cicluri de lucru de 0,1–1 % sau acces cu ascultare prealabilă și are o lățime totală redusă, ceea ce limitează debitul și comenzile descendente. Densitatea mare a stâlpilor face ca bătaia suplimentară a benzii sub-GHz să nu fie necesară: la 2,4 GHz, fiecare nod are oricum mai mulți vecini. În schimb, banda de 2,4 GHz oferă debit de câteva ori mai mare, fără ciclu de lucru, cu antene mici integrabile în controlere Zhaga-D4i și cu un ecosistem global de componente. Acesta este motivul pentru care mesh-ul 2,4 GHz cu gateway este soluția de referință pentru rețelele urbane dense.

Banda de 5 GHz

Banda de 5 GHz este folosită de Wi-Fi și de echipamentele de legătură punct la punct sau punct la multipunct. În Europa, sub-banda 5150–5350 MHz este destinată în principal utilizării interioare, iar sub-banda 5470–5725 MHz permite utilizarea în exterior cu putere de până la 1 W p.i.r.e., cu DFS și control automat al puterii. Utilizarea sub-benzii 5725–5875 MHz depinde de reglementarea națională, stabilită în România de ANCOM.

În sistemele de iluminat public, banda de 5 GHz nu este folosită pentru controlerele de aparat, deoarece consumul, costul și bătaia pe salt nu sunt potrivite. Ea este utilă pentru legături de transport între punctele de aprindere și un nod cu fibră optică, pentru camere video montate pe stâlpi și pentru Wi-Fi public, acolo unde stâlpul inteligent găzduiește aceste servicii.

Avantaje și limite

Rețeaua mesh 2,4 GHz cu gateway oferă latență mică, debit suficient pentru comenzi de grup, măsurători detaliate și actualizări de firmware în timp rezonabil, fără abonament pe fiecare aparat și cu rețea deținută de beneficiar. Limitele sunt necesitatea unei densități minime de noduri, dependența de gateway pentru legătura cu platforma și nevoia planificării în zonele cu aparate izolate sau distanțe mari între stâlpi. Aceste limite se tratează prin gateway-uri suplimentare, antene exterioare, controlere-gateway cu eSIM pe aparatele izolate sau noduri de legătură dedicate.

7.1.5. Comunicația prin rețeaua electrică (PLC)

Comunicația prin rețeaua electrică (PLC) folosește chiar cablurile de alimentare ale iluminatului pentru transmiterea datelor. În Europa, PLC de bandă îngustă funcționează în benzile CENELEC definite de SR EN 50065-1, prezentate în figura 7.6. Banda A este rezervată furnizorilor și operatorilor de rețea, ceea ce include administratorii iluminatului public, iar benzile B, C și D sunt destinate utilizatorilor finali.

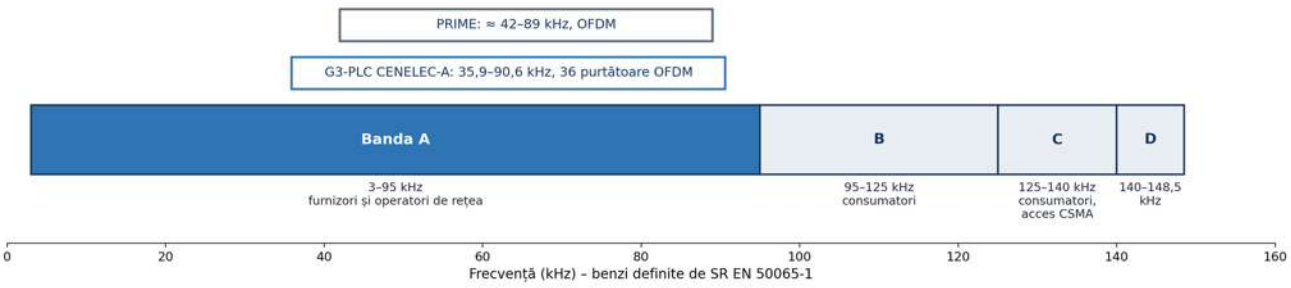


Figura 7.6 – Benzile CENELEC pentru PLC de bandă îngustă și poziția standardelor G3-PLC și PRIME

Standarde utilizate

Parametru	G3-PLC	PRIME
Standard	ITU-T G.9903; bază pentru IEEE 1901.2	ITU-T G.9904
Modulație	OFDM, 36 de purtătoare în CENELEC-A	OFDM, în CENELEC-A (versiunile noi și în benzi superioare, în afara Europei)
Bandă în Europa	35,9–90,6 kHz	≈ 42–89 kHz
Debit	până la ≈ 34 kbit/s în CENELEC-A (valoare mai mare în benzi superioare)	până la ≈ 130 kbit/s în condiții bune
Nivel de rețea	6LoWPAN, IPv6, rutare mesh	structură arborescentă cu noduri de comutare
Securitate	AES-128	AES-128
Utilizare principală	contorizare inteligentă, iluminat public	contorizare inteligentă, mai ales în Spania și Portugalia

Tabelul 7.7 – Standarde PLC de bandă îngustă

Avantaje și limite

PLC nu necesită antene sau spectru radio, iar semnalul urmează traseul cablurilor, fiind util acolo unde propagarea radio este dificilă: tuneluri, pasaje subterane, zone cu clădiri dense sau metalice. Pentru iluminatul public, PLC are însă limite importante:

- circuitele de iluminat comandate prin contactor sunt fără tensiune pe timpul zilei, deci controlerele nu pot comunica ziua decât dacă se asigură alimentare permanentă;
- semnalul nu trece prin transformatoare fără echipamente de cuplare, iar fiecare circuit sau fiecare post de transformare necesită propriul concentrator;
- driverele LED, filtrele și condensatoarele atenuează semnalul, iar sursele în comutație generează zgomot în chiar banda de lucru;
- calitatea comunicației variază cu sarcina rețelei, cu lungimea și îmbinările cablurilor și cu echipamentele conectate, ceea ce face comportamentul greu de anticipat la proiectare;
- în rețelele aeriene cu conductoare torsadate partajate cu consumatori casnici, zgomotul și ramificațiile reduc semnificativ fiabilitatea.

În practică, PLC se folosește în zone cu cablu subteran dedicat și alimentare permanentă, în tuneluri și în proiecte care reutilizează o infrastructură de contorizare inteligentă existentă. Telecomanda centralizată pe rețeaua de medie tensiune, folosită istoric pentru aprinderea iluminatului public, nu este o tehnologie de telegestiune bidirecțională.

7.1.6. Rețele celulare de bandă largă 4G și 5G

Rețelele celulare de bandă largă nu sunt folosite, de regulă, pentru controlerele de aparat, deoarece modulele sunt mai scumpe și consumă mai mult decât este necesar pentru comanda iluminatului. Rolul lor principal este legătura dintre gateway-uri, punctele de aprindere și platforma centrală, precum și conectarea serviciilor cu debit mare găzduite pe stâlpii inteligenți.

Categorie	Debit maxim tipic	Utilizare în iluminatul public
LTE Cat-1	≈ 10 Mbit/s descendent, ≈ 5 Mbit/s ascendent	gateway-uri și controlere de punct de aprindere; opțiune economică cu acoperire LTE completă
LTE Cat-1bis	similar Cat-1, cu o singură antenă de recepție	gateway-uri compacte și controlere-gateway pe aparat
LTE Cat-4 și superioare	≈ 150 Mbit/s descendent, ≈ 50 Mbit/s ascendent	camere video, panouri de afișaj, gateway-uri care agregă multe servicii
5G RedCap (Rel-17)	zeci până la ≈ 150 Mbit/s, lățime de bandă de până la 20 MHz	succesor al LTE Cat-4 pentru camere, senzori video și gateway-uri avansate
5G eRedCap (Rel-18)	≈ 10 Mbit/s	succesor pe termen lung al LTE Cat-1 pentru gateway-uri și controlere

Tabelul 7.8 – Categorii celulare utilizate în infrastructura de iluminat

Funcții utile pentru telegestiune

- **APN privat și VPN** – echipamentele comunică printr-un punct de acces dedicat, izolat de internetul public, iar legătura cu platforma este criptată.
- **Antene exterioare și două cartele SIM sau eSIM cu profiluri diferite** – cresc disponibilitatea gateway-urilor din punctele de aprindere montate în dulapuri metalice.
- **Rețele private și felii de rețea** – 5G permite rezervarea unor resurse de rețea pentru servicii critice ale orașului; în prezent sunt utilizate mai ales în proiecte pilot și în zone industriale.
- **Durabilitate** – LTE are o perspectivă lungă de funcționare, iar RedCap și eRedCap sunt direcția de evoluție pentru echipamentele care astăzi folosesc LTE Cat-1 și Cat-4.

La proiectare se verifică acoperirea tuturor operatorilor în locul de montaj al fiecărui gateway, se prevăd antene exterioare pentru dulapurile metalice și se stabilesc limitele de trafic, alarmele de consum de date și procedura de schimbare a operatorului.

Sinteză comparativă și recomandări

Tehnologie	Spectru	Latența comenzii	Actualizare firmware	Abonament pe aparat	Proprietar rețea
Mesh 2,4 GHz + gateway	nelicențiat	sub 1 s – câteva s	practică	nu	beneficiarul
LoRaWAN	nelicențiat	secunde – minute	lentă	nu (rețea privată)	beneficiarul sau operatorul
NB-IoT	licențiat	1,5–10 s	lentă	da	operatorul mobil
LTE-M	licențiat	sub 1 s	practică	da	operatorul mobil
PLC G3 / PRIME	fără spectru radio	secunde	lentă	nu	beneficiarul
4G / 5G	licențiat	sub 1 s	rapidă	da (pe gateway)	operatorul mobil

Tabelul 7.9 – Sinteza tehnologiilor de comunicație pentru telegestiune

Recomandarea pentru rețelele de iluminat public urbane și periurbane cu telegestiune la nivel de aparat este **rețeaua mesh 2,4 GHz cu gateway**, legat de platformă prin 4G sau fibră optică. Aparatele izolate sau grupurile mici din afara rețelei mesh se conectează prin controlere-gateway cu eSIM, pe LTE-M sau NB-IoT. LoRaWAN se folosește pentru senzorii orașului inteligent și pentru zone cu densitate mică de aparate, iar PLC doar acolo unde radio nu este practic și există alimentare permanentă.

Greșeli frecvente în proiectare și implementare

1. Alegerea tehnologiei după fișa tehnică, fără verificare în teren

Ce se întâmplă. Tehnologia se alege pe baza bătăii maxime declarate de producător, măsurată în câmp deschis, fără măsurători sau pilot în zona reală a proiectului.

Consecința. În oraș, bătaia reală este de câteva ori mai mică; apar aparate fără comunicație, gateway-uri suplimentare neprevăzute în buget și întârzieri la recepție.

Cum se previne. Se efectuează o planificare radio și un pilot pe o zonă reprezentativă, cu măsurarea nivelului semnalului și a ratei de livrare a mesajelor.

2. Ignorarea comenzilor descendente

Ce se întâmplă. Se evaluează doar transmiterea datelor de la aparate către platformă, nu și trimiterea comenzilor către aparate.

Consecința. Pe rețele cu ciclu de lucru sau cu moduri de economisire, comenzile manuale și de grup ajung cu întârzieri mari sau se pierd.

Cum se previne. Se cer și se testează timpul de livrare a unei comenzi individuale și a unei comenzi către toate aparatele unui gateway.

3. Controlere celulare lăsate în PSM

Ce se întâmplă. Modulele NB-IoT sau LTE-M rămân cu setările implicite de economisire, gândite pentru echipamente pe baterie.

Consecința. Controlerul nu poate fi apelat ore întregi; comanda manuală, scenariile de urgență și diagnosticarea de la distanță nu funcționează.

Cum se previne. Se configurează modul conectat sau eDRX cu ciclu scurt, se stabilește configurarea cu operatorul și se verifică latența la recepție.

4. Subestimarea costului abonamentelor

Ce se întâmplă. Analiza economică include doar prețul echipamentelor, iar abonamentele celulare pe fiecare aparat sunt considerate neglijabile.

Consecința. Pe 15–20 de ani, abonamentele pot depăși costul inițial al controlerelor, iar bugetul local suportă o cheltuială recurentă neplanificată.

Cum se previne. Se calculează costul pe durata de viață pentru fiecare variantă, conform 7.11, incluzând abonamente, energie și mentenanța rețelei.

5. Neglijarea retragerii tehnologiilor

Ce se întâmplă. Se aleg module doar 2G, 3G sau o singură tehnologie celulară, fără clauze privind continuitatea serviciului.

Consecința. Echipamentele devin inutilizabile înaintea aparatelor LED, iar înlocuirea controlerelor devine inevitabilă.

Cum se previne. Se aleg module LTE-M/NB-IoT sau LTE Cat-1bis cu eSIM, iar contractul precizează obligațiile operatorului și ale furnizorului în caz de retragere.

6. Ciclul de lucru LoRaWAN ignorat la dimensionare

Ce se întâmplă. Numărul de aparate pe gateway se stabilește doar după acoperire, fără calculul timpului de emisie necesar pentru comenzi și confirmări.

Consecința. Gateway-ul atinge limita de 1 % sau 10 % și nu mai poate transmite comenzi; aparatele de la marginea acoperirii, pe SF12, ocupă canalul cel mai mult.

Cum se previne. Se dimensionează traficul descendent, se folosesc grupuri multicast, ADR și gateway-uri suplimentare pentru a reduce SF-ul mediu.

7. Rețea mesh cu densitate insuficientă

Ce se întâmplă. Se instalează controlere mesh doar pe o parte din aparate sau pe stâlpi foarte depărtați, fără verificarea numărului de vecini.

Consecința. Unele noduri au o singură cale spre gateway; la defectarea unui aparat, o porțiune întreagă a rețelei pierde comunicația.

Cum se previne. Se verifică în platformă, după punerea în funcțiune, că fiecare nod are cel puțin doi vecini cu legătură bună și se adaugă gateway-uri sau noduri de legătură unde este necesar.

8. Gateway amplasat necorespunzător

Ce se întâmplă. Gateway-ul este montat în dulap metalic, la nivelul solului sau la marginea rețelei, fără antenă exterioară.

Consecința. Numărul de salturi crește, latența se mărește, iar nodurile îndepărtate au legături instabile.

Cum se previne. Gateway-ul se amplasează cât mai central în rețea, cu antene exterioare montate la înălțime, iar poziția se validează prin măsurători.

9. Interferențe neevaluate în banda de 2,4 GHz

Ce se întâmplă. Nu se analizează rețelele Wi-Fi publice sau private din zonă și nici echipamentele de legătură care folosesc aceeași bandă.

Consecința. Rata de pierdere a pachetelor crește în anumite zone și la anumite ore, iar problema pare aleatorie.

Cum se previne. Se efectuează o scanare a spectrului, se aleg canale libere sau salt de frecvență și se coordonează canalele cu operatorii Wi-Fi ai orașului.

10. PLC pe circuite fără alimentare permanentă

Ce se întâmplă. Se proiectează telegestiune PLC pe circuite comandate prin contactor, stinse în timpul zilei.

Consecința. Controlerele nu comunică ziua, alarmele și măsurătorile ajung doar noaptea, iar actualizările de firmware devin foarte greu de realizat.

Cum se previne. Se prevede alimentare permanentă a controlerelor sau se alege o tehnologie radio; se verifică atenuarea și zgomotul pe circuitele reale înainte de proiectare.

11. Dependență de un singur operator sau furnizor

Ce se întâmplă. Întreaga rețea depinde de un operator mobil, de un server de rețea LoRaWAN extern sau de o stivă mesh închisă, fără drept de acces la date și configurații.

Consecința. Schimbarea furnizorului sau a operatorului devine imposibilă fără înlocuirea echipamentelor; beneficiarul pierde controlul asupra infrastructurii.

Cum se previne. Se cer standarde deschise, eSIM administrabil, interfețe documentate, exportul datelor și configurațiilor și dreptul beneficiarului de a găzdui sau transfera serverele.

12. Legătura de transport a gateway-ului fără rezervă

Ce se întâmplă. Gateway-ul care servește sute de aparate are o singură cale de comunicație cu platforma, printr-un singur operator.

Consecința. O întrerupere a rețelei mobile scoate din telegestiune o zonă întreagă; aparatele rămân doar pe programele locale.

Cum se previne. Se folosesc gateway-uri cu două profiluri de operator, antene exterioare, programe salvate local în controlere și, unde există, legătură prin fibră optică.

Concluzii

Tehnologiile de comunicație pentru telegestiune diferă prin frecvență, debit, latență, tipul spectrului și modelul de proprietate. NB-IoT și LTE-M valorifică rețelele operatorilor mobili și sunt potrivite pentru aparate izolate, LoRaWAN acoperă suprafețe mari cu debit mic și este potrivit pentru senzori, PLC rămâne o soluție de nișă pentru situații în care radio nu este practic, iar 4G și 5G asigură legătura gateway-urilor și serviciile cu debit mare.

Pentru rețelele urbane dense, mesh-ul în banda de 2,4 GHz cu gateway oferă cel mai bun echilibru între latență, debit, cost pe durata de viață și controlul beneficiarului asupra infrastructurii. Alegerea finală se validează întotdeauna prin planificare radio și prin pilot în zona reală. Protocoalele de aplicație care funcționează peste aceste tehnologii sunt prezentate în 7.3.

7.2. Controlul la nivel de circuit *[Oprițescu C., Epure A., Ichim G.]*

Introducere

Controlul la nivel de circuit comandă simultan toate aparatele alimentate dintr-un circuit al punctului de aprindere, fără controlere individuale pe aparate. Este forma de telegestiune cu cel mai mic cost inițial și rămâne frecvent utilizată în localitățile mici, în modernizările cu buget redus și ca etapă intermediară spre controlul la nivel de aparat.

Subcapitolul prezintă principiul, avantajele și limitele acestei soluții, metodele de comandă și de dimare aplicabile aparatelor LED, scenariile de funcționare, detectarea avariilor pe baza măsurărilor pe circuit și situațiile în care controlul la nivel de circuit nu mai este suficient. Metodele descrise sunt cele mai întâlnite atât la nivel internațional, cât și în România.

Echipamentele punctului de aprindere, protecțiile și contorizarea au fost prezentate în 6.6, iar gateway-ul în 6.1.4. Profilurile de dimare avansate și controlul adaptiv la nivel de aparat sunt aprofundate în 7.7, iar monitorizarea și diagnoza în 7.8.

Termeni tehnici utilizați

Tabelul 7.10 explică termenii utilizați în acest subcapitol. Termenii prezentați anterior nu mai sunt reluați.

Termen	Denumire completă	Explicație
Circuit de iluminat	–	Linia electrică plecată dintr-un punct de aprindere, protejată și comandată separat, care alimentează un grup de aparate.
Control la nivel de circuit	Circuit-level control	Comanda aprinderii, stingerii și, după caz, a dimării tuturor aparatelor dintr-un circuit, realizată din punctul de aprindere.
Control la nivel de aparat	Point-to-point / luminaire-level control	Comanda și monitorizarea individuală a fiecărui aparat, prin controler propriu (vezi 6.3).
Dimare	Dimming	Reducerea controlată a fluxului luminos și a puterii absorbite a aparatului.
Profil de dimare	Dimming profile	Succesiunea nivelurilor de flux luminos aplicate pe parcursul nopții.
Profil autonom	Stand-alone dimming	Profil memorat în driver și executat de acesta fără comenzi externe; denumirile comerciale diferă de la un producător la altul.
Miezul virtual al nopții	Virtual midnight	Momentul estimat de driver ca mijloc al nopții, calculat din duratele de funcționare din nopțile anterioare; servește ca reper pentru profilul autonom.
Fir pilot	Control line / pilot wire	Conductor suplimentar pe care punctul de aprindere aplică sau retrage tensiunea pentru a comuta driverele între nivelul nominal și nivelul redus.
Dimare prin tensiunea rețelei	Mains voltage dimming	Funcție a unor drivere care reduc fluxul luminos atunci când detectează o scădere a tensiunii de alimentare sub un prag configurat.
Regulator de flux	Voltage regulator / flux reducer	Echipament montat în punctul de aprindere care reduce și stabilizează tensiunea circuitului; utilizat istoric pentru lămpile cu descărcare.
Curent de pornire	Inrush current	Curentul de vârf, de scurtă durată, absorbit de drivere la conectarea tensiunii (vezi 6.3 și 6.6).
Aprindere eșalonată	Staggered switching	Conectarea circuitelor la intervale de câteva secunde, pentru limitarea curentului de pornire cumulat.
Clasă de iluminat	Lighting class	Set de cerințe fotometrice definite de SR EN 13201-2 (de exemplu M1–M6, C0–C5, P1–P7) pentru o categorie de cale de circulație.
Iluminat adaptiv	Adaptive lighting	Modificarea clasei de iluminat în funcție de perioada nopții, trafic sau condiții meteo, conform CEN/TR 13201-1.
Profil de referință al curentului	Current baseline	Valorile normale ale curentului pe circuit, pe intervale orare, față de care se detectează abaterile.

Tabelul 7.10 – Termeni și acronime

7.2.1. Principiul, avantajele și limitele controlului la nivel de circuit

Principiul de funcționare

În controlul la nivel de circuit, controlerul sau gateway-ul din punctul de aprindere comandă contactorul fiecărui circuit și măsoară mărimile electrice pe circuit. Aparatele nu comunică: toate primesc aceeași tensiune și, implicit, aceeași comandă. Informațiile despre starea instalației sunt deduse din măsurări, nu raportate de fiecare aparat. Figura 7.7 compară această arhitectură cu controlul la nivel de aparat.

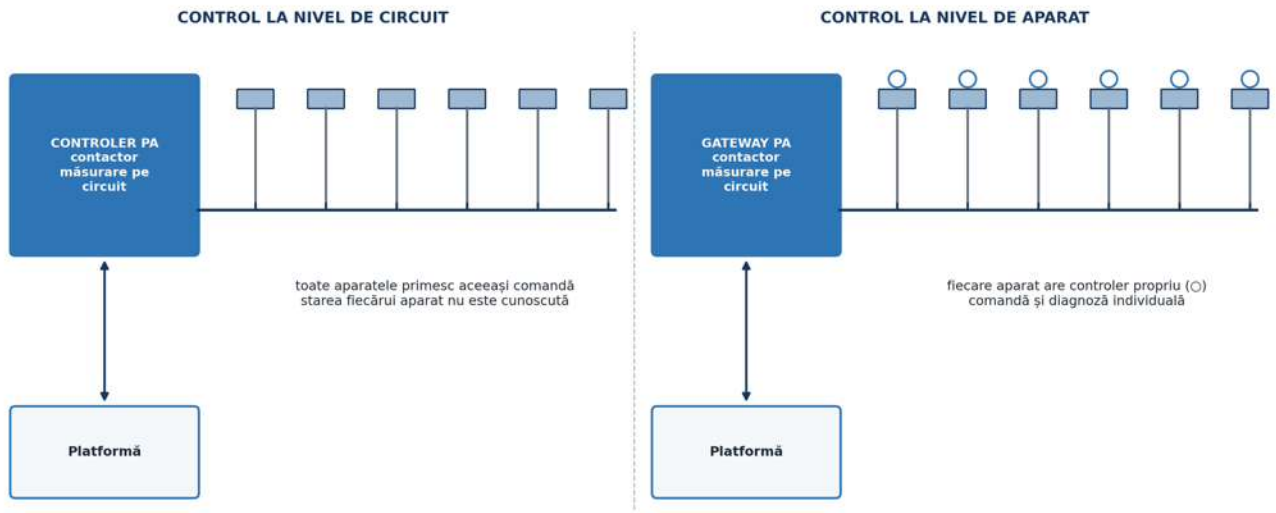


Figura 7.7 – Controlul la nivel de circuit comparat cu controlul la nivel de aparat

Controlul la nivel de circuit se aplică în trei situații tipice: localități cu puține puncte de aprindere și circuite scurte, unde bugetul nu permite controlere pe fiecare aparat; modernizări în care aparatele LED noi au drivere cu profil autonom, iar punctul de aprindere este doar automatizat; etape intermediare ale unui program de modernizare, în care punctele de aprindere sunt echipate înaintea aparatelor.

Aspect	Control la nivel de circuit	Control la nivel de aparat
Echipamente	controler în punctul de aprindere	controler pe fiecare aparat + gateway
Cost inițial	redus	mai mare, proporțional cu numărul de aparate
Granularitatea comenzii	tot circuitul	aparat, grup sau zonă, configurabile din platformă
Dimare	limitată la metodele pe circuit sau la profilul autonom al driverului	orice nivel, oricând, pentru orice aparat
Diagnoză	anomalii la nivel de circuit; aparatul defect nu este identificat	stare, alarme și măsurări pentru fiecare aparat
Senzori de prezență	doar la nivel de stradă sau zonă	pe fiecare aparat sau grup
Inventar și GIS	actualizat manual	alimentat automat din date de la aparate
Evidența consumului	pe circuit, precisă	pe aparat și pe circuit
Adaptare la modificări	necesită intervenții în punctul de aprindere sau pe aparate	din platformă, fără deplasare în teren

Tabelul 7.11 – Controlul la nivel de circuit comparat cu controlul la nivel de aparat

Avantaje

- cost redus: un singur controler pentru zeci de aparate;
- independență față de tipul aparatelor pentru comanda de aprindere și stingere;
- măsurare precisă a energiei pe circuit, utilă pentru decontare și pentru detectarea consumurilor neautorizate;
- instalare și exploatare simple, fără rețea de comunicație la nivelul aparatelor.

Limite

- nu se poate identifica aparatul defect, iar defectele izolate nu se văd de regulă în măsurările pe circuit;
- toate aparatele din circuit primesc același regim, chiar dacă deservesc căi de circulație cu clase de iluminat diferite;

- modificarea profilului de dimare implică, pentru profilurile autonome, reprogramarea fiecărui driver;
- nu permite control adaptiv la nivel de aparat, stâlpi inteligenți sau servicii suplimentare pe aparat;
- depinde de configurația rețelei existente: circuitele amestecă adesea străzi cu cerințe diferite.

7.2.2. Comanda și dimarea pe circuit

Comanda de aprindere și stingere

Aprinderea și stingerea se comandă pe baza unui program astronomic calculat pentru coordonatele punctului de aprindere, cu decalaje configurabile față de apus și răsărit. Senzorul de lumină ambiantă, montat pe punctul de aprindere sau într-un loc reprezentativ, completează programul astronomic pentru zilele foarte înnorate și pentru situațiile de ceață. Programele sunt memorate local, astfel încât comanda continuă și la pierderea comunicației cu platforma.

La punctele de aprindere cu mai multe circuite, circuitele se conectează eșalonat, la câteva secunde unul după altul, pentru a limita curentul de pornire cumulat al driverelor. Dimensionarea contactoarelor și a întrerupătoarelor automate pentru curentul de pornire a fost tratată în 6.6.

Metode de dimare aplicabile pe circuit

Deoarece în controlul la nivel de circuit nu există comunicație cu fiecare aparat, dimarea se realizează prin metode care folosesc fie inteligența driverului, fie un semnal transmis prin rețeaua electrică. Figura 7.8 prezintă cele patru metode utilizate, iar tabelul 7.12 le compară.

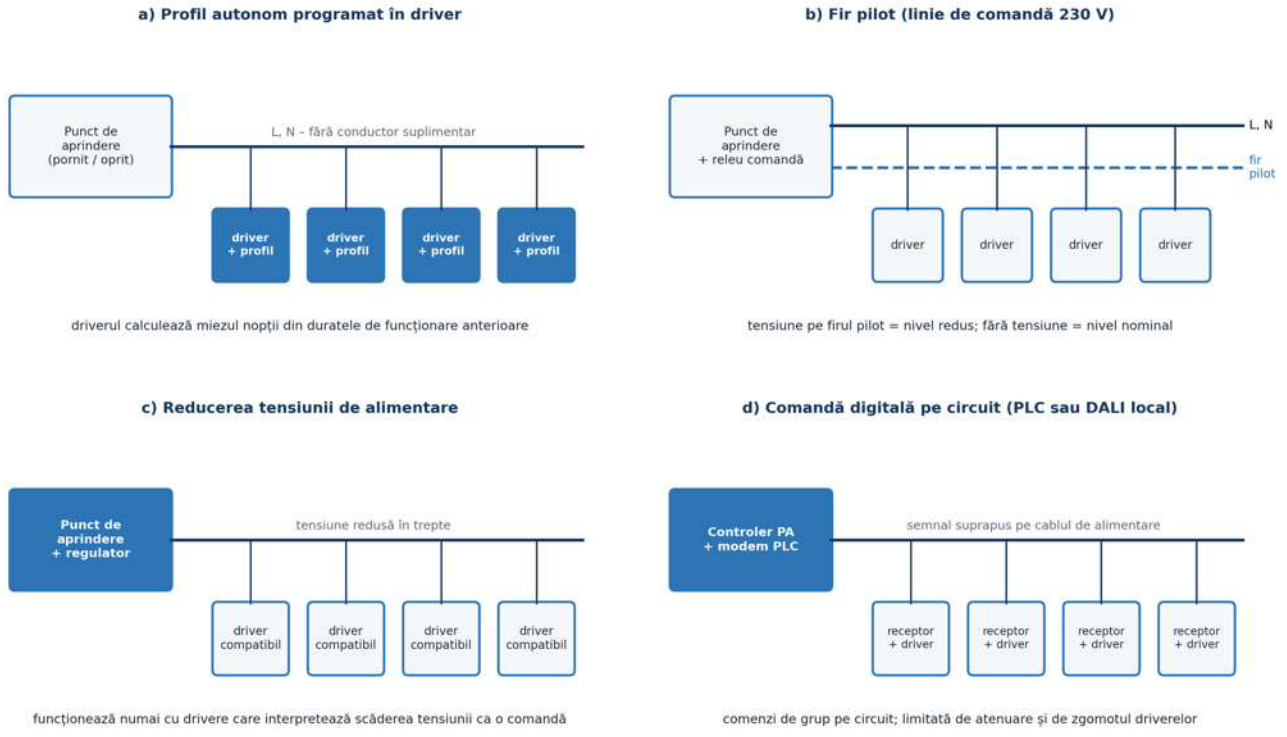


Figura 7.8 – Metode de dimare pe circuit

Metodă	Principiu	Cerințe	Limite
Profil autonom în driver	driverul aplică un profil memorat, raportat la miezul virtual al nopții	drivere cu funcție de profil autonom, programate la fabrică sau la montaj	profilul se modifică doar prin reprogramarea driverelor; după întreruperi, reperul se recalculează

Metodă	Principiu	Cerințe	Limite
Fir pilot	tensiunea pe un conductor suplimentar comută driverele pe nivelul redus	conductor suplimentar în cablu și drivere cu intrare de comandă	un singur nivel redus; necesită cablu cu conductor liber
Reducerea tensiunii de alimentare	regulatorul din punctul de aprindere scade tensiunea, iar driverul interpretează scăderea ca o comandă	drivere cu funcție de dimare prin tensiunea rețelei	fără această funcție, driverele LED compensează scăderea tensiunii și nu reduc puterea
Comandă digitală pe circuit	controlerul transmite comenzi prin PLC sau, local, prin DALI	receptoare PLC sau magistrală DALI pe circuit	atenuare, zgomot și lungime limitată (DALI: 300 m); vezi 7.1.5 și 6.5

Tabelul 7.12 – Comparația metodelor de dimare pe circuit

Stingerea alternativă a aparatelor, practicată istoric prin conectarea aparatelor pe faze diferite și deconectarea uneia dintre ele după miezul nopții, nu este o metodă de dimare. Ea distruge uniformitatea iluminatului, creează zone întunecate între stâlpi și nu respectă cerințele SR EN 13201-2, motiv pentru care nu se recomandă.

Profilul autonom și miezul virtual al nopții

Un driver fără ceas nu cunoaște ora exactă. El măsoară însă durata de funcționare din fiecare noapte, care depinde de ora aprinderii și a stingerii. Mijlocul acestor intervale, mediat pe mai multe nopți, este miezul virtual al nopții, iar profilul memorat se aplică relativ la acest reper. Figura 7.9 ilustrează principiul.

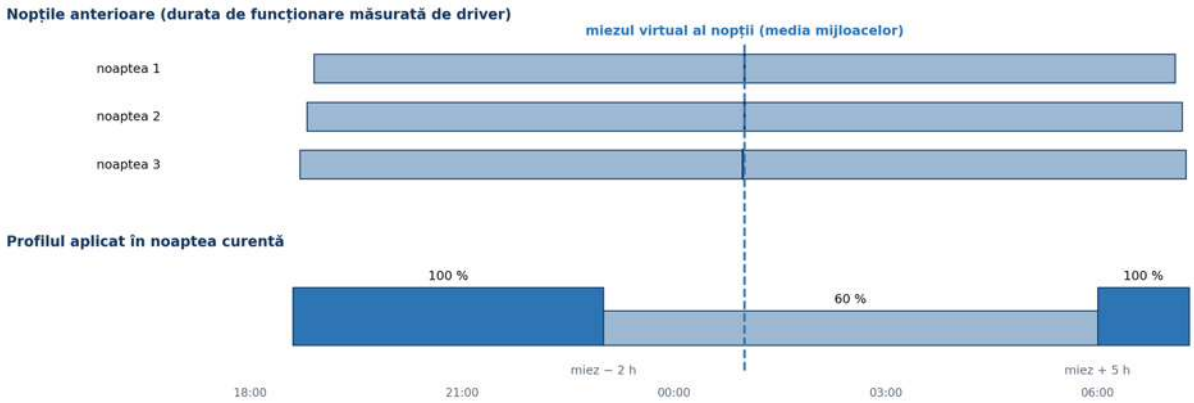


Figura 7.9 – Calculul miezului virtual al nopții și aplicarea profilului autonom

Precizia crește după un număr de nopți valide, de ordinul unei săptămâni, iar nopțile anormale, prea scurte sau prea lungi, sunt ignorate. Miezul virtual urmează ora solară, nu ora legală, deci diferă cu aproximativ o oră între vară și iarnă față de ceasul civil. Aprinderile de test pe timpul zilei sau întreruperile repetate pot deplasa temporar reperul, iar profilul se aplică la ore greșite până la recalculare.

De ce reducerea tensiunii nu funcționează cu driverele LED obișnuite

Regulatoarele de flux au fost concepute pentru lămpile cu descărcare, a căror putere scade odată cu tensiunea. Driverele LED sunt surse de curent constant, cu domeniu larg de tensiune de intrare: la scăderea tensiunii, ele măresc curentul absorbit și mențin puterea la ieșire. Un regulator de flux păstrat într-o instalație modernizată cu LED nu aduce economii și poate crea probleme la pornire. Reducerea tensiunii funcționează doar dacă driverele au funcție dedicată de dimare prin tensiunea rețelei, cu praguri configurate compatibil cu regulatorul.

Baza normativă a dimării

Dimarea nu este doar o măsură de economie: nivelurile reduse trebuie să corespundă unor clase de iluminat justificate. SR EN 13201-2 definește clasele de iluminat, iar CEN/TR 13201-1 permite alegerea unor

clase diferite pe perioade ale nopții, în funcție de volumul de trafic și de alți parametri. Profilul de dimare se stabilește în proiect pentru fiecare circuit, astfel încât nivelul cel mai redus să asigure în continuare clasa corespunzătoare perioadei. Când un circuit alimentează căi de circulație cu clase diferite, profilul se dimensionează după cerința cea mai severă.

Efectul energetic

Figura 7.10 prezintă un profil tipic cu trei niveluri și efectul lui asupra consumului unui circuit. Economia depinde de durata nopții, de nivelurile alese și de ponderea orelor cu trafic redus; valorile sunt ilustrative.

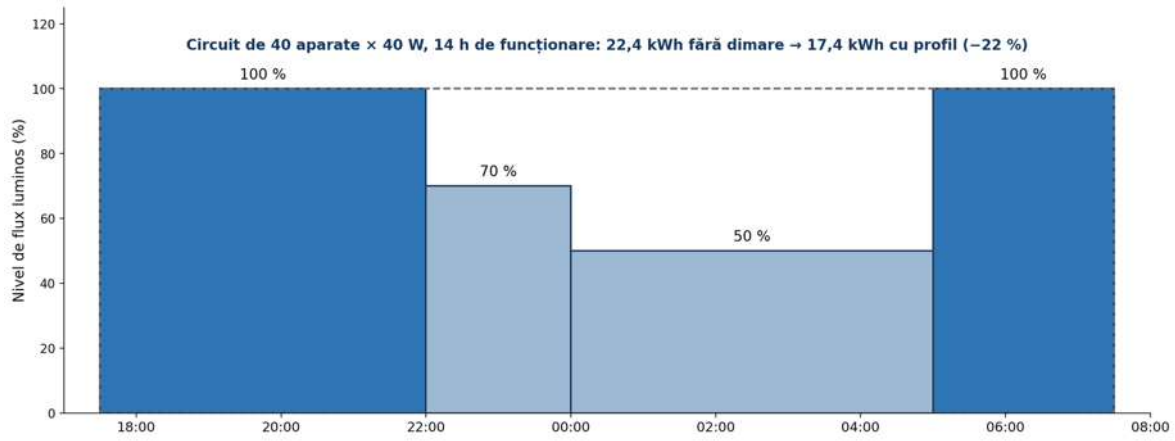


Figura 7.10 – Profil de dimare pe circuit și efectul asupra energiei consumate (valori ilustrative)

Figura 7.11 – Programarea unui profil de dimare pe trepte orare, transmis driverelor ca profil autonom

7.2.3. Scenarii de funcționare, avarii și limite

Scenarii de funcționare

Scenariu	Descriere	Realizare în controlul pe circuit
Funcționare normală	aprindere și stingere astronomică, profil de dimare de noapte	program astronomic în controler; profil autonom, fir pilot sau comandă digitală
Program sezonier sau de sfârșit de săptămână	niveluri sau ore diferite în anumite zile	posibil pentru firul pilot și comanda digitală; limitat pentru profilul autonom

Scenariu	Descriere	Realizare în controlul pe circuit
Evenimente	iluminat la nivel nominal pe durata unui eveniment	anularea temporară a dimării din platformă pentru circuitele implicate
Situații de urgență	iluminat la nivel maxim la solicitarea autorităților	comandă din platformă; la profilul autonom, efectul este limitat la aprinderea circuitului
Verificare de mentenanță	aprinderea pe timpul zilei pentru inspecție	comandă temporară cu revenire automată; se ține cont de efectul asupra miezului virtual
Restricții de consum	reducerea suplimentară a consumului în perioade de criză energetică	modificarea programelor și a nivelurilor, cu respectarea claselor minime de iluminat

Tabelul 7.13 – Scenarii uzuale în controlul la nivel de circuit

Monitorizarea pe circuit

Controlerul punctului de aprindere măsoară pe fiecare circuit tensiunea, curentul pe faze, puterea activă și reactivă, factorul de putere și energia, iar la instalațiile moderne și distorsiunea armonică. Starea circuitului se evaluează prin compararea valorilor măsurate cu un profil de referință al curentului, stabilit pe intervale orare după punerea în funcțiune, deoarece curentul variază cu nivelul de dimare.

Figura 7.12 arată ce abateri pot fi detectate. Variațiile normale ale tensiunii, temperaturii și ale driverelor impun o bandă de toleranță de ordinul câtorva procente. Un aparat defect dintr-un circuit cu 40 de aparate modifică curentul cu doar 2–3 %, deci nu poate fi detectat sigur. Detectarea individuală este posibilă doar pe circuite cu puține aparate, de ordinul a zece, sau prin controlul la nivel de aparat.

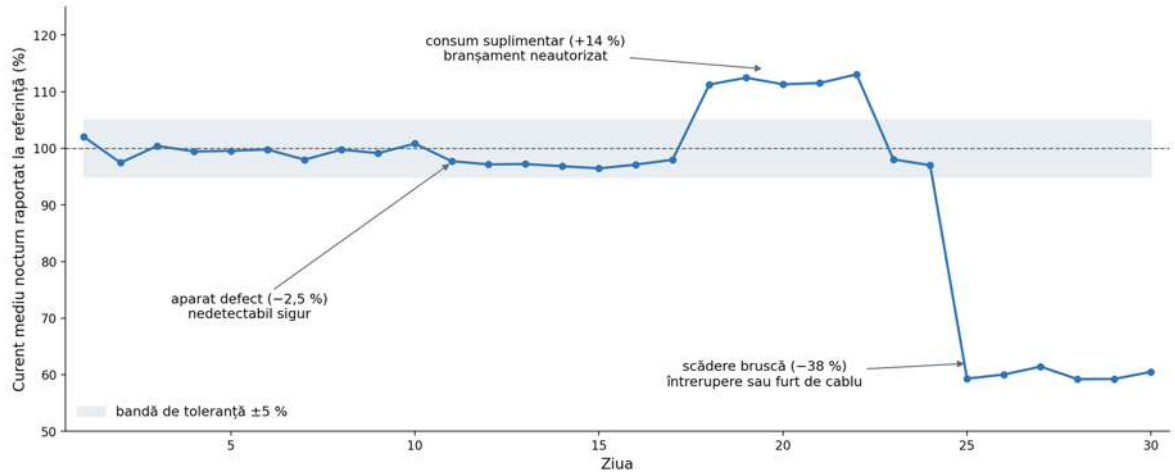


Figura 7.12 – Detectarea anomaliilor pe baza curentului măsurat pe circuit (valori ilustrative)

Situație	Cum se detectează	Reacția recomandată
Circuit fără tensiune noaptea	curent zero după comanda de aprindere; declanșarea protecției semnalată pe intrare digitală	alarmă imediată, intervenție de urgență
Lipsa unei faze	tensiune absentă pe fază; curent zero pe faza respectivă	alarmă; verificarea alimentării și a protecțiilor
Iluminat aprins ziua	curent prezent după comanda de stingere	alarmă; verificarea contactorului (contacte sudate) și a comutatorului M – 0 – A
Întrerupere sau furt de cablu	scădere bruscă și persistentă a curentului, de zeci de procente	alarmă; localizarea tronsonului afectat
Consum neautorizat	creștere persistentă a curentului și a energiei față de profilul de referință	verificare în teren; notificarea operatorului de distribuție, după caz

Situație	Cum se detectează	Reacția recomandată
Defecte multiple de aparate	scădere lentă, cumulată, a curentului	inspecție vizuală a circuitului
Curent de fugă excesiv	declanșarea protecției diferențiale, semnalată pe intrare digitală	verificarea izolației cablurilor și a aparatelor
Pierderea comunicației cu platforma	lipsa mesajelor periodice de la controler	controlerul continuă programul local; alarmă în platformă
Defectarea controlerului	lipsa comunicației și a măsurărilor	comanda de rezervă (fotocelulă sau ceas) preia aprinderea; intervenție programată

Tabelul 7.14 – Avarii și anomalii în controlul la nivel de circuit

Comportamentul la căderi și reveniri de tensiune

La revenirea tensiunii după o întrerupere, driverele pornesc de regulă la nivelul nominal, iar driverele cu profil autonom pot considera noaptea respectivă invalidă. Circuitele conectate simultan după o cădere de tensiune solicită curenți de pornire mari. Controlerul trebuie să reia automat starea corectă a fiecărui circuit, cu aprindere eșalonată, iar evenimentul trebuie înregistrat în jurnal pentru interpretarea corectă a măsurărilor din noaptea respectivă.

Când controlul la nivel de circuit nu mai este suficient

Controlul la nivel de circuit devine insuficient atunci când beneficiarul cere evidența fiecărui aparat, detectarea individuală a defectelor, profiluri diferite pe același circuit, control adaptiv cu senzori sau integrarea în platforme de oraș inteligent. Soluția practică este arhitectura hibridă: controlul la nivel de aparat se aplică pe arterele principale, la intersecții și la trecerile de pietoni, iar controlul la nivel de circuit rămâne pe străzile secundare, cu posibilitatea extinderii ulterioare. Pentru a păstra această posibilitate, aparatele noi se aleg cu interfață Zhaga-D4i sau NEMA, chiar dacă inițial nu se montează controlere (vezi 6.2).

Recomandări

Controlul la nivel de circuit se recomandă pentru localități mici, străzi secundare și etape intermediare, cu punctele de aprindere automatizate conform 6.6 și cu drivere cu profil autonom programat conform proiectului de iluminat. Pentru rețelele urbane și pentru căile de circulație cu cerințe ridicate se recomandă controlul la nivel de aparat. Regulatoarele de flux se folosesc numai împreună cu drivere compatibile, iar stingerea alternativă a aparatelor nu se folosește.

Greșeli frecvente în proiectare și implementare

1. Regulator de flux păstrat după trecerea la LED

Ce se întâmplă. La modernizarea aparatelor, regulatorul de flux existent în punctul de aprindere rămâne în funcțiune, în ideea că va reduce în continuare consumul.

Consecința. Driverele compensează scăderea tensiunii și absorb mai mult curent; economia este nulă, iar pornirile la tensiune redusă pot provoca defecte sau funcționare instabilă.

Cum se previne. Se verifică compatibilitatea driverelor cu dimarea prin tensiunea rețelei; dacă nu există, regulatorul se scoate din funcțiune sau se înlocuiește cu o altă metodă de dimare.

2. Stingerea alternativă a aparatelor

Ce se întâmplă. Pentru economie, jumătate din aparatele unui circuit se sting după miezul nopții.

Consecința. Uniformitatea scade sub limitele SR EN 13201-2, apar zone întunecate între stâlpi, iar siguranța circulației se reduce.

Cum se previne. Se folosește dimarea uniformă a tuturor aparatelor, cu niveluri stabilite prin proiect pentru fiecare perioadă a nopții.

3. Profil autonom neprogramat sau programat identic peste tot

Ce se întâmplă. Aparatele se livrează cu profilul implicit din fabrică sau cu un profil unic pentru toată localitatea, fără corelare cu clasele de iluminat.

Consecința. Unele străzi sunt subiluminate în orele cu trafic, altele sunt iluminate inutil; profilurile nu pot fi justificate la un audit.

Cum se previne. Profilurile se stabilesc în proiect, pe circuite sau pe categorii de străzi, se precizează în documentația de livrare și se verifică la recepție.

4. Aprinderi de test care deplasează miezul virtual

Ce se întâmplă. Echipele de mentenanță aprind circuitele ziua pentru verificări sau se produc întreruperi repetate de tensiune.

Consecința. Driverele cu profil autonom își recalculează reperul greșit și aplică dimarea la ore neadecvate câteva nopți.

Cum se previne. Verificările se programează scurt și documentat, se folosesc drivere care ignoră nopțile invalide, iar evenimentele se înregistrează în jurnalul controlerului.

5. Circuite care amestecă străzi cu cerințe diferite

Ce se întâmplă. Un circuit alimentează simultan un bulevard și străzi secundare, dar profilul se alege după strada secundară.

Consecința. Pe calea principală nivelul de iluminat coboară sub clasa necesară în orele cu trafic.

Cum se previne. Profilul se dimensionează după cerința cea mai severă sau se reorganizează circuitele; unde nu este posibil, se trece la controlul la nivel de aparat.

6. Detectarea defectelor individuale considerată posibilă

Ce se întâmplă. Se promite beneficiarului semnalarea fiecărui aparat defect pe baza măsurării pe circuit.

Consecința. Pe circuite lungi, defectele izolate nu depășesc banda de toleranță; beneficiarul primește alarme false sau nu primește alarme deloc.

Cum se previne. Se precizează în documentație limitele detecției pe circuit și se prevede control la nivel de aparat acolo unde diagnoza individuală este cerută.

7. Profil de referință al curentului neactualizat

Ce se întâmplă. Pragurile de alarmă se stabilesc o singură dată, fără a ține cont de dimare, de înlocuirea aparatelor sau de extinderea circuitului.

Consecința. Apar alarme false la fiecare schimbare de nivel sau, invers, abaterile reale nu sunt detectate.

Cum se previne. Referința se stabilește pe intervale orare, după punerea în funcțiune, și se actualizează după orice modificare a circuitului.

8. Pornirea simultană a tuturor circuitelor

Ce se întâmplă. Toate contactoarele se închid în același moment, la aprindere sau la revenirea tensiunii.

Consecința. Curentul de pornire cumulat produce declanșarea protecțiilor, uzura contactoarelor și goluri de tensiune.

Cum se previne. Se configurează aprinderea eșalonată în controler și se dimensionează contactoarele și protecțiile pentru curentul de pornire al driverelor.

9. Lipsa comenzii de rezervă

Ce se întâmplă. Comanda circuitelor depinde exclusiv de controler, fără fotocelulă sau ceas de rezervă.

Consecința. La defectarea controlerului, circuitele rămân stinse noaptea sau aprinse ziua până la intervenție.

Cum se previne. Se prevede comandă de rezervă și comutator Manual – 0 – Automat, conform 6.6.

10. Aparate noi fără interfață pentru controler

Ce se întâmplă. Pentru a reduce costul, aparatele LED noi se aleg fără soclu Zhaga sau NEMA, deoarece controlul se face pe circuit.

Consecința. Trecerea ulterioară la controlul la nivel de aparat impune intervenții costisitoare sau înlocuirea aparatelor.

Cum se previne. Se cer aparate cu interfață standardizată și drivere D4i, pregătite pentru montarea ulterioară a controlerelor.

Concluzii

Controlul la nivel de circuit oferă cu investiție redusă comanda automată a iluminatului, măsurarea energiei și detectarea avariilor majore. Pentru aparatele LED, dimarea se realizează eficient prin profiluri autonome în driver, prin fir pilot sau prin comenzi digitale pe circuit, nu prin simpla reducere a tensiunii. Profilurile trebuie justificate prin clasele de iluminat din proiect.

Limitele principale sunt lipsa diagnozei individuale și regimul unic pe circuit. De aceea, soluția potrivită pentru rețelele moderne este combinarea controlului la nivel de circuit pe străzile secundare cu controlul la nivel de aparat pe căile de circulație importante, cu aparate pregătite pentru extinderea ulterioară. Subcapitolul 7.3 prezintă protocoalele de aplicație prin care controlerele și gateway-urile comunică cu platformele.

7.3. Protocoale de aplicație *[Oprițescu C., Epure A., Ichim G.]*

Introducere

Tehnologiile de comunicație din 7.1 transportă biții; protocoalele de aplicație stabilesc ce înseamnă acești biți: cum se formulează o comandă, cum se raportează o măsurare, cum se semnalează o alarmă și cum se confirmă execuția. De protocolul de aplicație depind fiabilitatea schimbului de date, securitatea, posibilitatea de a integra echipamente și platforme ale unor furnizori diferiți și efortul necesar pentru integrarea cu alte sisteme ale orașului.

Subcapitolul prezintă cele patru protocoale de aplicație cele mai utilizate în telegestiunea iluminatului public, la nivel internațional și în România: MQTT, Modbus, TALQ și interfețele HTTPS/REST. Arhitectura de integrare Smart City este tratată în 7.4, SCADA în 7.5, securitatea cibernetică în 7.9, iar interoperabilitatea și certificarea TALQ sunt aprofundate în 7.10.

Termeni tehnici utilizați

Tabelul 7.15 explică termenii și acronimele utilizate în acest subcapitol. Termenii prezentați anterior nu mai sunt reluați.

Termen	Denumire completă	Explicație
Protocol de aplicație	Application protocol	Set de reguli care definește formatul și semnificația mesajelor schimbate între aplicații, peste o rețea de comunicație.
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport	Protocol de mesagerie de tip publicare–abonare, standardizat de OASIS, optimizat pentru echipamente IoT și legături instabile.
Broker	Message broker	Serverul MQTT care primește mesajele publicate și le distribuie clienților abonați la subiectele respective.
Subiect	Topic	Șir de caractere ierarhic (de exemplu oras/pa12/circuit1/energie) care identifică tipul și sursa unui mesaj MQTT.
QoS	Quality of Service	Nivelul de garantare a livrării unui mesaj MQTT: 0 – cel mult o dată, 1 – cel puțin o dată, 2 – exact o dată.
Mesaj reținut	Retained message	Ultimul mesaj publicat pe un subiect, păstrat de broker și livrat imediat oricărui client care se abonează ulterior.
Testament	Last Will and Testament (LWT)	Mesaj pe care brokerul îl publică automat în numele unui client care s-a deconectat neașteptat.
Payload	–	Conținutul util al unui mesaj, fără anteturile protocolului; MQTT nu impune formatul acestuia.
JSON	JavaScript Object Notation	Format text de reprezentare a datelor structurate, ușor de citit de oameni și de programe; utilizat în MQTT, TALQ și REST.

Termen	Denumire completă	Explicație
Modbus RTU / Modbus TCP	Remote Terminal Unit / Transmission Control Protocol	Variantele protocolului Modbus: pe linie serială RS-485, respectiv pe rețea Ethernet/IP.
RS-485	TIA/EIA-485	Standard de nivel fizic pentru comunicație serială diferențială pe o pereche torsadată, cu mai multe echipamente pe aceeași magistrală.
Registru	Register	Zonă de memorie de 16 biți a unui echipament Modbus, în care se citesc sau se scriu valori.
Client / server Modbus	Client / server (fost master / slave)	Clientul inițiază cererile; serverul răspunde cu datele solicitate sau execută comanda.
TALQ	–	Specificație dezvoltată de TALQ Consortium pentru interfața dintre software-ul central de management și gateway-urile rețelelor de dispozitive urbane.
CMS	Central Management Software	Software-ul central de management al rețelelor de iluminat și al altor dispozitive urbane.
ODN	Outdoor Device Network	Rețeaua de dispozitive exterioare a unui furnizor (controlere, senzori), accesată prin gateway.
API	Application Programming Interface	Interfață documentată prin care un program folosește funcțiile și datele altui program.
REST	Representational State Transfer	Stil de arhitectură pentru API-uri web, în care datele sunt resurse identificate prin adrese și manipulate prin metodele HTTP.
HTTPS	HTTP Secure	Protocolul HTTP transportat printr-o conexiune criptată TLS.
TLS	Transport Layer Security	Protocol care asigură criptarea, integritatea și autentificarea conexiunilor; versiunile actuale sunt 1.2 și 1.3.
OpenAPI	OpenAPI Specification (OAS)	Format standard de descriere a unui API REST: resurse, parametri, structura datelor și codurile de răspuns.
OAuth 2.0	–	Cadru de autorizare prin care o aplicație obține un jeton de acces cu drepturi limitate, fără a folosi parola utilizatorului.
Webhook	–	Mecanism prin care platforma trimite automat o cerere HTTP către o aplicație externă atunci când apare un eveniment.
Idempotent	Idempotent	Proprietatea unei operații de a produce același rezultat dacă este executată o dată sau de mai multe ori.

Tabelul 7.15 – Termeni și acronime

Locul protocoalelor de aplicație în sistem

Fiecare protocol are un loc tipic în arhitectura sistemului, prezentat în figura 7.13. Modbus leagă controlerul punctului de aprindere de contoare și de alte echipamente locale. MQTT sau TALQ transportă datele între gateway-uri și platformă. Interfețele REST, TALQ sau protocoalele SCADA leagă platforma de alte sisteme. Între controlerele de pe aparate și gateway se folosesc protocolul rețelei radio sau protocoale pentru echipamente cu resurse reduse, precum CoAP.

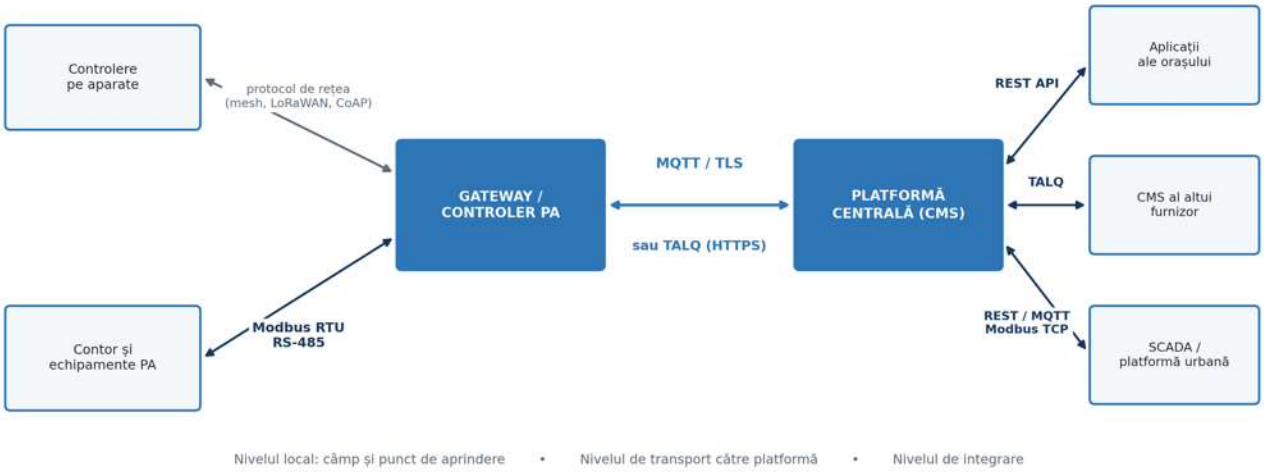


Figura 7.13 – Locul tipic al protocoalelor de aplicație în sistemul de telegestiune

7.3.1. MQTT

MQTT a fost creat în 1999 pentru monitorizarea conductelor petroliere prin legături satelitare scumpe și nesigure, iar astăzi este protocolul cel mai răspândit pentru transportul datelor IoT către platforme. Este standardizat de OASIS: versiunea 3.1.1 (2014), preluată ca ISO/IEC 20922:2016, și versiunea 5.0 (2019). Funcționează peste TCP/IP, pe portul 1883 fără criptare și pe portul 8883 cu TLS, iar anteturile mesajelor au doar câțiva octeți.

Modelul publicare–abonare

În MQTT, echipamentele nu comunică direct între ele. Un client publică mesaje pe un subiect, iar brokerul le livrează tuturor clienților abonați la acel subiect. Publicatorul nu știe cine primește mesajul, iar abonatul nu știe cine l-a trimis. Acest model permite adăugarea de noi aplicații, de exemplu un modul de raportare energetică, fără modificări la gateway-uri. Figura 7.14 prezintă principiul.

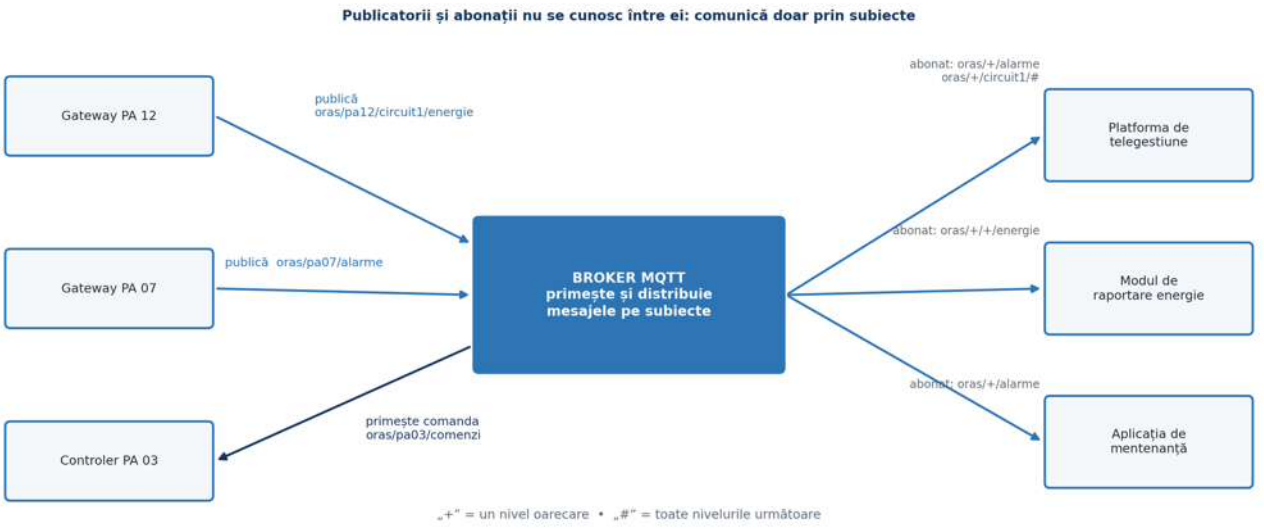


Figura 7.14 – Modelul publicare–abonare MQTT, cu exemple de subiecte

Subiectele sunt ierarhice, cu niveluri separate prin „/". La abonare se pot folosi caractere de înlocuire: „+" pentru un singur nivel și „#" pentru toate nivelurile următoare. O structură de subiecte coerentă, stabilită de la început (de exemplu localitate / punct de aprindere / circuit sau aparat / tip de date), simplifică drepturile de acces, integrarea și depanarea.

Nivelurile de calitate a serviciului

MQTT definește trei niveluri de garantare a livrării, prezentate în figura 7.15. Nivelul se alege pentru fiecare tip de mesaj, în funcție de importanța lui și de volumul de trafic.

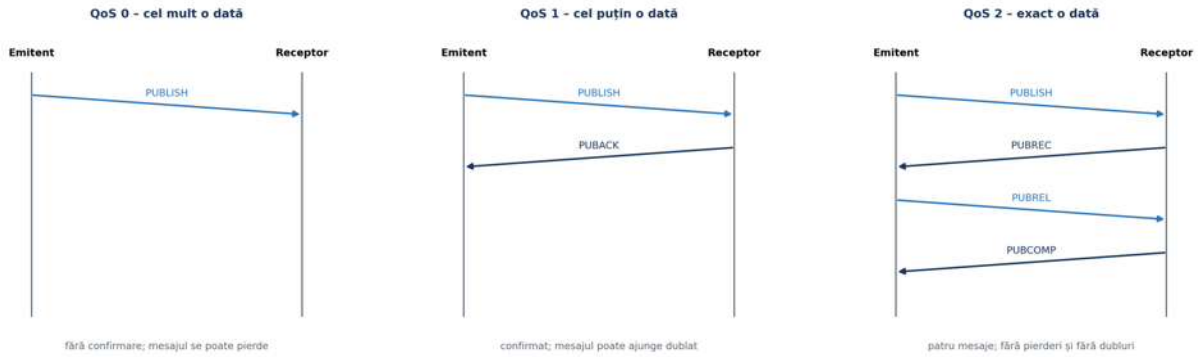


Figura 7.15 – Nivelurile QoS în MQTT

Tip de mesaj	QoS recomandat	Justificare
Măsurări periodice frecvente	0 sau 1	o valoare pierdută este înlocuită de următoarea; QoS 1 când valorile se folosesc pentru raportare energetică
Alarme și evenimente	1	nu trebuie pierdute; dublurile se elimină în platformă după identificatorul evenimentului
Comenzi către gateway sau controler	1, cu identificator de comandă	comanda trebuie să ajungă; executarea repetată se evită prin verificarea identificatorului
Configurații, programe, fișiere	1 sau 2	integritatea este esențială; volumul este mic, iar costul suplimentar al QoS 2 este acceptabil

Tabelul 7.16 – Alegerea nivelului QoS în telegestiunea iluminatului

Funcții utile pentru telegestiune

- **Sesiuni persistente** – brokerul păstrează abonamentele și mesajele QoS 1 și 2 pentru un client deconectat temporar, iar gateway-ul le primește la reconectare.
- **Testamentul (LWT)** – la deconectarea neașteptată a unui gateway, brokerul publică automat starea „offline”, iar platforma generează alarma fără să aștepte expirarea unui interval.
- **Mesaje reținute** – ultima stare cunoscută a fiecărui echipament este disponibilă imediat oricărei aplicații care se conectează.
- **Menținerea conexiunii (keep alive)** – schimbul periodic de mesaje scurte detectează conexiunile căzute și menține deschise sesiunile prin rețelele celulare.
- **Stocare și retransmitere în gateway** – la pierderea legăturii, gateway-ul memorează datele și le publică la revenire, cu marca de timp a momentului măsurării.

MQTT 5.0 și formatul datelor

Versiunea 5.0 adaugă funcții importante pentru sistemele mari: coduri de motiv la confirmări, care arată de ce a eșuat o operație; proprietăți definite de utilizator; durată de valabilitate a mesajelor, utilă pentru comenzile care nu mai au sens după un anumit timp; abonări partajate, pentru distribuirea încărcării între mai multe instanțe ale platformei; mecanism standard de cerere–răspuns. Pentru sistemele noi se recomandă MQTT 5.0.

MQTT nu definește conținutul mesajelor. Fiecare furnizor stabilește structura datelor, de regulă în JSON, ceea ce înseamnă că două sisteme MQTT nu sunt automat interoperabile. Pentru mediul industrial există specificația Eclipse Sparkplug, publicată în 2023 ca ISO/IEC 20237, care standardizează subiectele, formatul datelor și gestionarea stării. În iluminatul public, interoperabilitatea la nivel de date se obține prin documentarea completă a subiectelor și a mesajelor sau prin TALQ.

Securitate

MQTT fără TLS transmite datele și parolele în clar. În sistemele de telegestiune se folosesc obligatoriu TLS, autentificarea fiecărui gateway prin certificat sau prin credențiale unice și liste de control al accesului pe subiecte, astfel încât un gateway să poată publica și citi doar subiectele proprii. Brokerul nu se expune direct pe internet fără aceste măsuri. Cerințele detaliate sunt tratate în 7.9.

7.3.2. Modbus

Modbus a fost publicat în 1979 de Modicon pentru controlerele logice programabile și a devenit protocolul cel mai răspândit pentru echipamentele industriale și de măsură. Specificațiile sunt publicate liber de Modbus Organization. În iluminatul public, Modbus este folosit în punctele de aprindere pentru citirea contoarelor și analizoarelor de energie, a releelor de protecție și a modulelor de intrări și ieșiri, precum și pentru integrarea cu sistemele SCADA.

Principiul de funcționare

Modbus funcționează după modelul cerere–răspuns: clientul, de regulă controlerul punctului de aprindere, trimite o cerere, iar serverul, de exemplu contorul, răspunde. Serverul nu transmite nimic din proprie inițiativă, deci evenimentele sunt detectate doar prin citiri periodice. Datele sunt organizate în patru tipuri de zone, prezentate în tabelul 7.17.

Tip de date	Mărime	Acces	Coduri de funcție	Exemple în punctul de aprindere
Ieșiri binare (coils)	1 bit	citire / scriere	01 citire; 05, 15 scriere	comanda unui releu sau contactor
Intrări binare (discrete inputs)	1 bit	citire	02	starea ușii, a protecțiilor, prezența fazelor
Registre de intrare (input registers)	16 biți	citire	04	tensiuni, curenți, puteri măsurate
Registre de păstrare (holding registers)	16 biți	citire / scriere	03 citire; 06, 16 scriere	parametri de configurare, contoare de energie

Tabelul 7.17 – Tipurile de date Modbus și codurile de funcție uzuale

Un registru are 16 biți. Valorile mai mari, precum energia cumulată sau valorile zecimale în virgulă mobilă, ocupă două registre, iar ordinea octeților și a registrelor nu este impusă de standard. Harta de registre a fiecărui echipament, cu adresa, tipul de date, factorul de scalare și unitatea de măsură, este documentul esențial al oricărei integrări Modbus.

Modbus RTU și Modbus TCP

Figura 7.16 compară structura cadrelor. Modbus RTU funcționează pe RS-485, cu adrese de server între 1 și 247 și sumă de control CRC pentru detectarea erorilor. Modbus TCP folosește rețele Ethernet sau IP, pe portul 502, iar adresarea și integritatea sunt asigurate de TCP/IP. Partea de aplicație, adică codul de funcție și datele, este identică, ceea ce permite conversia simplă între cele două variante prin gateway-uri Modbus.

Figura 7.16 – Structura cadrelor Modbus RTU și Modbus TCP

Parametru	Regulă practică
Topologie	magistrală liniară, cu derivații cât mai scurte; nu se folosește conectarea în stea
Cablu	pereche torsadată ecranată, cu conductor de referință comun; ecranul se leagă la pământ într-un singur punct
Terminare	rezistențe de 120 Ω la cele două capete fizice ale magistralei
Polarizare	rezistențe de polarizare într-un singur punct, pentru stabilitatea liniei în repaus
Lungime și echipamente	până la aproximativ 1 200 m la viteze mici; numărul de echipamente limitat de sarcina fiecărui transceiver (uzual 32 de sarcini unitare)
Parametri seriali	aceeași viteză, paritate și număr de biți de stop la toate echipamentele (uzual 9 600 sau 19 200 bit/s)
Interogare	interval de citire corelat cu numărul de echipamente și cu durata răspunsurilor; timp de așteptare configurat pentru fiecare server

Tabelul 7.18 – Reguli de instalare pentru magistrala RS-485 în punctul de aprindere

Securitate

Modbus clasic nu are autentificare și nici criptare: orice echipament conectat la magistrală sau la rețea poate citi și scrie. Magistrala RS-485 rămâne în interiorul dulapului punctului de aprindere, iar Modbus TCP nu se expune niciodată pe internet. Pentru legături IP care ies din perimetrul protejat se folosește specificația Modbus/TCP Security, cu TLS și certificate X.509, pe portul 802, sau un tunel VPN.

7.3.3. TALQ

TALQ Consortium a fost înființat în 2012 de producători de iluminat și de sisteme de control, cu scopul de a defini o interfață comună între software-ul central de management și rețelele de iluminat exterior ale unor furnizori diferiți. Specificația a evoluat din 2018, începând cu versiunea 2.0, spre un protocol pentru mai multe aplicații ale orașului inteligent. Programul de certificare funcționează din 2017, iar produsele care trec testele de conformitate primesc marca TALQ Certified.

Arhitectura

TALQ nu standardizează comunicația din interiorul rețelei de dispozitive. El definește doar interfața dintre CMS și gateway-ul care deservește rețeaua de dispozitive a unui furnizor, după cum arată figura 7.17. Astfel, un CMS certificat poate gestiona gateway-uri certificate ale mai multor furnizori, iar un oraș poate extinde sistemul cu echipamentele altui producător fără a schimba platforma.

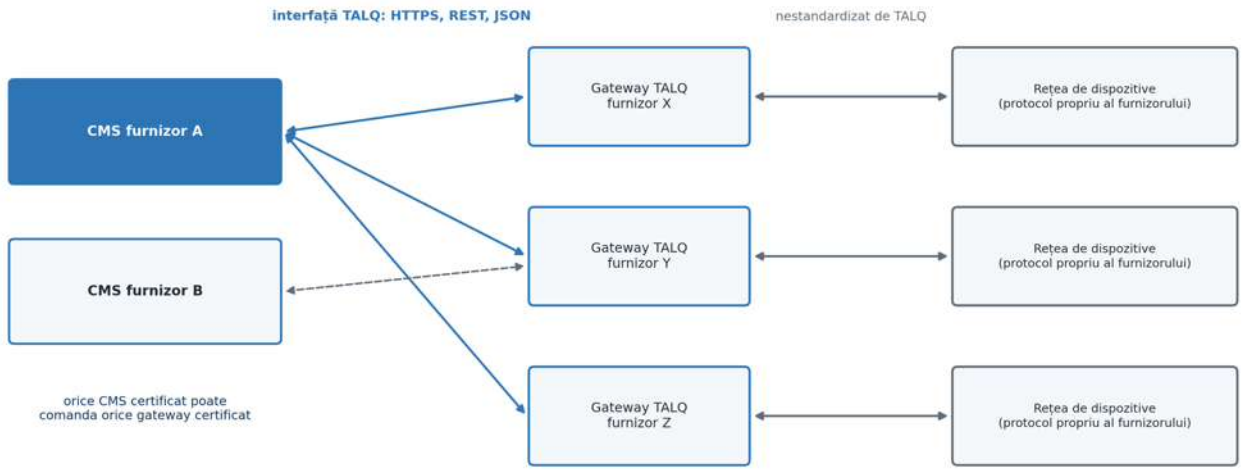


Figura 7.17 – Arhitectura TALQ: interfața standardizată dintre CMS și gateway-uri

Caracteristici tehnice

Interfața TALQ folosește HTTPS, stilul REST și date JSON, iar API-ul este descris în format OpenAPI 3. Legătura este criptată prin TLS. La punerea în funcțiune, gateway-ul se înregistrează la CMS printr-un proces de inițializare și descoperire, în care primește adrese TALQ unice și își declară dispozitivele și funcțiile. Tabelul 7.19 prezintă serviciile definite de specificație.

Serviciu	Rol	Exemplu în iluminatul public
Configurare	citirea și modificarea parametrilor dispozitivelor	setarea nivelului la pornire sau a pragurilor de alarmă
Citire la cerere	obținerea imediată a valorilor curente	citirea puterii și a stării unui aparat
Control	comenzi imediate și programe bazate pe calendare și pe intrări de la senzori	program astronomic cu profil de dimare; aprindere la 100 % pentru un eveniment
Gestionarea grupurilor	definirea grupurilor de dispozitive	toate aparatele unei străzi sau ale unui punct de aprindere
Colectarea datelor	înregistrarea periodică a măsurărilor și a evenimentelor	consum de energie, ore de funcționare, defecte ale driverului
Transferul pachetelor de date	transmiterea de la CMS către gateway a unor pachete specifice furnizorului	fișiere de actualizare firmware
Gestionarea activelor	evidența caracteristicilor dispozitivelor	tipul aparatului, driverul, data montajului

Tabelul 7.19 – Serviciile TALQ

Dispozitivele sunt descrise prin funcții standardizate, de exemplu actuatorul de lampă, contorul electric, senzorul de lumină sau senzorul de prezență. Specificația include profiluri pentru iluminat, gestionarea activelor de iluminat, controlul dulapurilor, monitorizarea mediului, parcări, trafic și gestionarea deșeurilor.

Utilizare și limite

TALQ este cerut tot mai des în achizițiile publice pentru a evita dependența de un singur furnizor. Specificația nu garantează însă interoperabilitatea completă: certificarea se acordă pentru anumite profiluri și funcții, iar funcțiile specifice unui furnizor rămân disponibile doar prin interfețe proprii. De aceea, la achiziție se verifică lista oficială a produselor certificate, versiunea specificației și profilurile acoperite, nu doar declarația de compatibilitate a ofertantului. Aspectele de certificare și de migrare sunt aprofundate în 7.10.

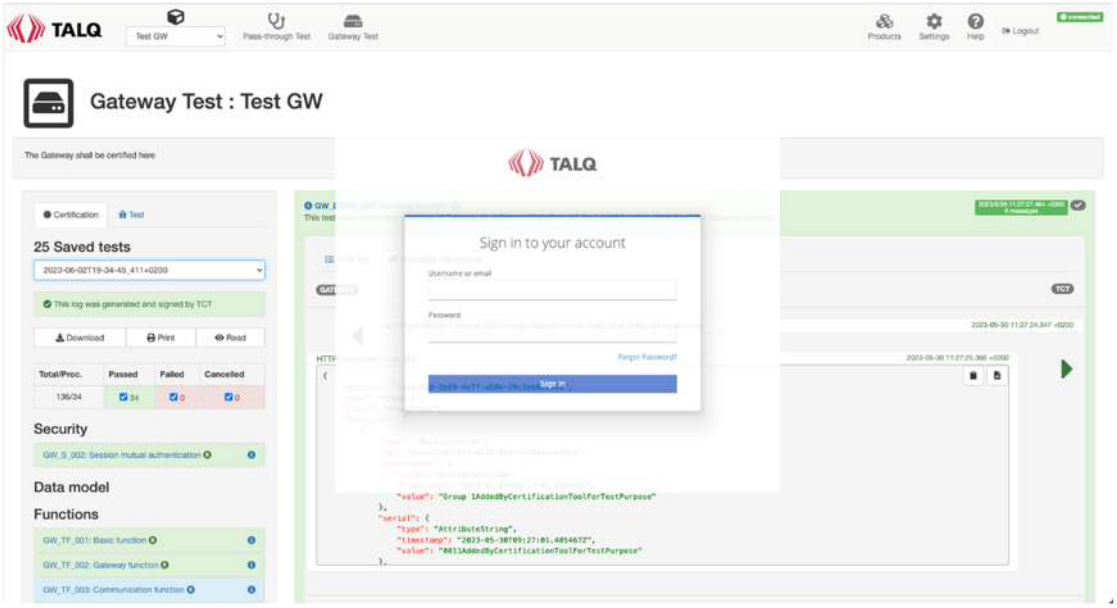


Figura 7.18 – Testarea unui gateway în instrumentul de certificare TALQ (sursa: TALQ Consortium, talq-consortium.org)

7.3.4. HTTPS și interfețe REST

Interfețele REST peste HTTPS sunt modul standard prin care aplicațiile web comunică între ele. În telegestiune, platforma pune la dispoziție un API REST prin care alte sisteme ale orașului, precum aplicațiile de mentenanță, sistemele GIS, platformele de date urbane sau aplicațiile pentru cetățeni, citesc date și, cu drepturi corespunzătoare, transmit comenzi. TALQ însuși este construit pe aceleași principii.

Principii

Fiecare obiect al sistemului este o resursă cu o adresă proprie, de exemplu /luminaires/123 sau /groups/strada-unirii. Operațiile se realizează prin metodele HTTP, iar rezultatul este indicat prin coduri de stare standard. Serverul nu păstrează starea conversației: fiecare cerere conține toate informațiile necesare, inclusiv jetonul de autorizare. Figura 7.19 prezintă un exemplu de comandă de grup și răspunsul platformei.

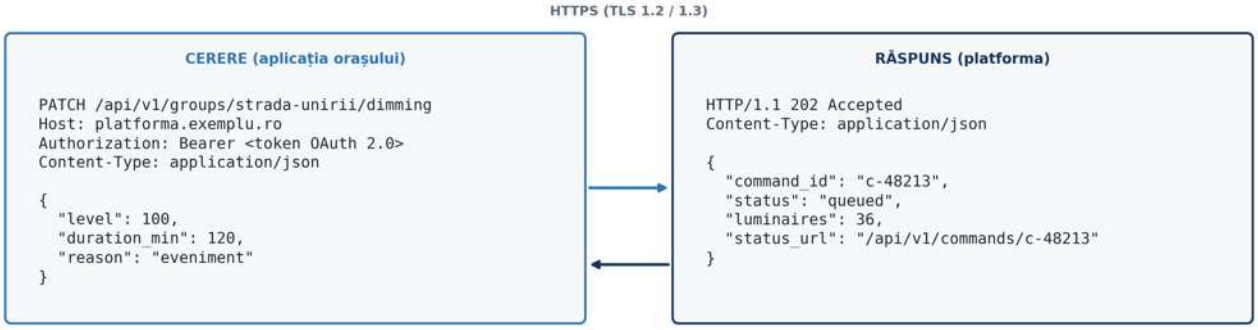


Figura 7.19 – Exemplu de cerere și răspuns REST pentru o comandă de grup

Element	Semnificație	Exemplu
GET	citirea unei resurse; nu modifică datele	lista aparatelor unui punct de aprindere
POST	crearea unei resurse sau lansarea unei acțiuni	crearea unui program de dimare
PUT / PATCH	înlocuirea completă, respectiv modificarea parțială a unei resurse	schimbarea nivelului unui grup
DELETE	ștergerea unei resurse	eliminarea unui program expirat
200 / 201 / 204	succes / resursă creată / succes fără conținut	–

Element	Semnificație	Exemplu
202 Accepted	cerere acceptată, execuție asincronă	comandă transmisă către aparate, cu stare urmărită separat
400 / 401 / 403 / 404	cerere greșită / neautentificat / fără drepturi / resursă inexistentă	–
409 / 429	conflict de stare / prea multe cereri	limitarea numărului de cereri pe minut
500 / 503	eroare internă / serviciu indisponibil temporar	–

Tabelul 7.20 – Metodele HTTP și codurile de stare uzuale

Cerințe pentru un API de telegestiune

- **Documentare OpenAPI** – descrierea completă, publicată și actualizată a resurselor, parametrilor și răspunsurilor.
- **Autorizare** – OAuth 2.0 sau certificate client, cu drepturi separate pentru citire și pentru comandă; cheile nu se transmit în adresa cererii.
- **Comenzi asincrone** – comenzile către aparate se confirmă cu 202 și un identificator, iar starea execuției se consultă ulterior sau se primește prin webhook.
- **Versionare** – versiunea în adresă sau în antet, cu perioadă de tranziție anunțată la schimbările incompatibile.
- **Paginare și filtrare** – pentru liste mari de aparate, măsurări și evenimente.
- **Limitarea cererilor** – protejează platforma și rețeaua de comenzi repetate sau erori ale aplicațiilor externe.
- **Formate standard** – marcaje de timp ISO 8601 în UTC, coordonate în GeoJSON, unități de măsură SI declarate explicit.
- **Webhook-uri pentru evenimente** – alarmele se transmit imediat aplicațiilor abonate, fără interogări repetate.

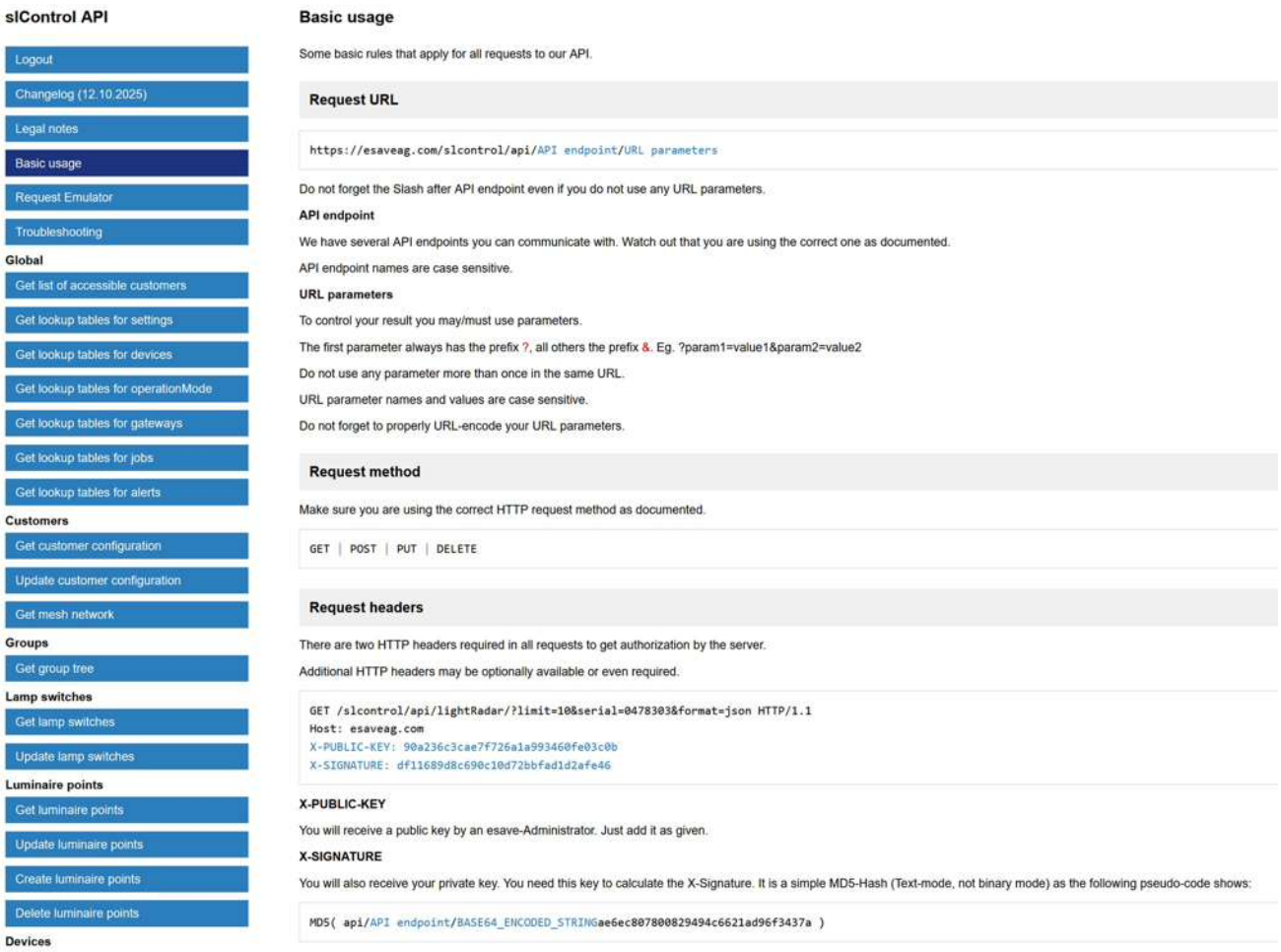


Figura 7.20 – Extras din documentația OpenAPI a interfeței REST a unei platforme de telegestiune

Alte protocoale întâlnite

Protocol	Descriere	Utilizare
CoAP	protocol web compact pentru echipamente cu resurse reduse, peste UDP (IETF RFC 7252)	comunicația dintre controlere și gateway în unele rețele mesh IPv6
LwM2M	protocol de gestionare a dispozitivelor IoT, peste CoAP (OMA SpecWorks)	configurare, monitorizare și actualizare firmware pentru dispozitive celulare
DLMS/COSEM	protocol pentru contoarele de energie (seria SR EN 62056)	citirea contoarelor de decontare ale operatorilor de distribuție
OPC UA	arhitectură industrială de schimb de date, cu model de informații și securitate integrate (IEC 62541)	integrarea cu sisteme SCADA și de automatizare (vezi 7.5)
NGSI-LD	API pentru informații de context în orașul inteligent (ETSI)	platforme de date urbane (vezi 7.4)

Tabelul 7.21 – Alte protocoale de aplicație întâlnite în iluminatul public și în orașul inteligent

Comparație și recomandări

Criteriu	MQTT	Modbus	TALQ	REST API
Model	publicare–abonare	cerere–răspuns	cerere–răspuns (REST)	cerere–răspuns
Transport	TCP/IP, TLS	RS-485 sau TCP/IP	HTTPS	HTTPS
Evenimente în timp real	da	nu, doar prin interogare	da, prin notificări	prin webhook-uri
Format de date standardizat	nu (definit de furnizor)	nu (hartă de registre)	da	nu (definit de API)

Criteriu	MQTT	Modbus	TALQ	REST API
Securitate nativă	TLS + control acces	absentă în varianta clasică	TLS	TLS + OAuth 2.0
Interoperabilitate între furnizori	prin documentare	la nivel de echipament	certificată	prin documentare
Loc tipic	gateway ↔ platformă	echipamente PA ↔ controler	CMS ↔ gateway	platformă ↔ alte sisteme

Tabelul 7.22 – Comparația protocoalelor de aplicație

Recomandarea pentru sistemele de telegestiune este utilizarea **MQTT 5.0 cu TLS** între gateway-uri și platformă, **Modbus RTU** în interiorul punctului de aprindere pentru contoare și echipamente locale, **API REST documentat în OpenAPI** pentru integrarea cu alte sisteme ale orașului și **TALQ certificat** acolo unde beneficiarul cere interoperabilitatea între CMS și gateway-uri ale unor furnizori diferiți.

Greșeli frecvente în proiectare și implementare

1. MQTT fără TLS sau cu credențiale comune

Ce se întâmplă. Gateway-urile se conectează la broker pe portul 1883 sau folosesc același utilizator și aceeași parolă.

Consecința. Datele și parolele circulă în clar; compromiterea unui gateway permite accesul la întreaga rețea, inclusiv trimiterea de comenzi.

Cum se previne. Se folosește TLS, autentificare unică pentru fiecare gateway, preferabil prin certificat, și control al accesului pe subiecte.

2. Comenzi publicate ca mesaje reținute

Ce se întâmplă. Comenzile către gateway-uri se publică cu indicatorul de reținere activ.

Consecința. La fiecare reconectare, gateway-ul primește din nou ultima comandă și o execută, de exemplu aprinderea la 100 % a unei zone.

Cum se previne. Comenzile nu se rețin; se rețin doar stările. Fiecare comandă are identificator unic și durată de valabilitate.

3. Comenzi neidempotente

Ce se întâmplă. Comenzile sunt formulate relativ („crește nivelul cu 10 %”) și transmise cu QoS 1, fără identificator.

Consecința. Un mesaj livrat de două ori produce un efect dublu, iar starea aparatelor devine imprevizibilă.

Cum se previne. Comenzile se formulează absolut („nivel 70 %”) și conțin identificator, pe care gateway-ul îl verifică înainte de execuție.

4. Structură de subiecte improvizată

Ce se întâmplă. Subiectele MQTT sunt create de fiecare dezvoltator după preferințe, fără o convenție comună.

Consecința. Drepturile de acces nu pot fi definite simplu, integrarea cu alte aplicații este dificilă, iar abonările cu „#” încarcă inutil sistemul.

Cum se previne. Se definește și se documentează o ierarhie de subiecte la începutul proiectului, împreună cu formatul mesajelor.

5. Hartă de registre Modbus interpretată greșit

Ce se întâmplă. Se ignoră ordinea octeților, factorul de scalare, diferența dintre adresa documentată și adresa de protocol sau tipul de date.

Consecința. Valorile citite sunt eronate, uneori plauzibile, iar rapoartele energetice ajung să fie greșite fără ca eroarea să fie observată.

Cum se previne. Integrarea se validează prin comparație cu afișajul contorului pentru fiecare mărime, iar harta de registre verificată se arhivează în documentația proiectului.

6. Magistrală RS-485 instalată incorect

Ce se întâmplă. Echipamentele sunt conectate în stea, fără terminare sau polarizare, cu cablu neecranat pozat lângă circuite de putere.

Consecința. Apar erori intermitente de comunicație, mai ales la comutarea contactoarelor, greu de diagnosticat.

Cum se previne. Se respectă topologia de magistrală, terminarea la capete, polarizarea într-un punct și pozarea separată de circuitele de putere.

7. Modbus TCP accesibil din internet

Ce se întâmplă. Controlerul punctului de aprindere are o adresă IP publică, iar portul 502 este deschis pentru acces de la distanță.

Consecința. Oricine poate citi și scrie registre, inclusiv comenzi de contactor, fără autentificare.

Cum se previne. Accesul se realizează numai prin VPN sau prin Modbus/TCP Security; porturile Modbus nu se expun pe rețele publice.

8. Interogare Modbus prea frecventă

Ce se întâmplă. Toate registrele tuturor echipamentelor se citesc la fiecare secundă.

Consecința. Magistrala se încarcă, apar depășiri ale timpului de răspuns, iar datele importante sosesc cu întârziere.

Cum se previne. Intervalul de citire se stabilește pe tipuri de date: stări și alarme mai des, energie și parametri mai rar.

9. „Compatibil TALQ” acceptat fără certificare

Ce se întâmplă. În documentația de atribuire sau la evaluare se acceptă declarația ofertantului privind compatibilitatea TALQ.

Consecința. Integrarea cu CMS-ul sau cu gateway-urile altui furnizor nu funcționează, iar beneficiarul rămâne dependent de furnizorul inițial.

Cum se previne. Se cere certificarea TALQ verificabilă în lista oficială a consorțiului, cu versiunea specificației și profilurile acoperite.

10. API nedocumentat sau fără versionare

Ce se întâmplă. Platforma oferă acces la date, dar fără specificație OpenAPI, cu modificări neanunțate ale structurii răspunsurilor.

Consecința. Integrările realizate de oraș sau de terți se opresc la actualizările platformei; costurile de întreținere cresc.

Cum se previne. Se cere API documentat în OpenAPI, cu politică de versionare, perioadă de tranziție și mediu de test.

11. Marcaje de timp ambigue

Ce se întâmplă. Măsurările se transmit cu ora locală, fără fus orar, sau cu ora momentului recepției în platformă.

Consecința. La trecerea la ora de vară și de iarnă apar ore lipsă sau dublate, iar datele transmise după o întrerupere a comunicației sunt atribuite unor momente greșite.

Cum se previne. Toate marcajele de timp se exprimă în UTC, în format ISO 8601, cu momentul măsurării stabilit la sursă.

12. Comenzi de grup trimise individual

Ce se întâmplă. O aplicație externă transmite câte o cerere pentru fiecare aparat al unei zone.

Consecința. Se generează mii de cereri, se atinge limita de cereri, iar comenzile se execută incomplet și nesincronizat.

Cum se previne. Se folosesc resursele de grup ale API-ului și comenzile asincrone, cu urmărirea stării de execuție.

Concluzii

Protocoalele de aplicație transformă o rețea de comunicație într-un sistem de telegestiune utilizabil. MQTT asigură transportul eficient și în timp real al datelor între gateway-uri și platformă, Modbus rămâne standardul practic pentru echipamentele de măsură și automatizare din punctele de aprindere, TALQ oferă

interfața certificată pentru interoperabilitatea dintre CMS și gateway-uri, iar API-urile REST permit integrarea cu celelalte sisteme ale orașului.

Niciun protocol nu este sigur sau interoperabil prin simpla lui utilizare: rezultatul depinde de configurarea TLS și a drepturilor de acces, de documentarea completă a datelor și de verificarea certificărilor. Subcapitolul 7.4 prezintă modul în care aceste protocoale se combină în arhitectura orașului inteligent.

7.4. Arhitectura Smart City *[Oprițescu C., Epure A., Ichim G.]*

Introducere

Iluminatul public este, de regulă, prima rețea digitală extinsă a unui oraș: stâlpii acoperă toate străzile, au alimentare electrică și sunt deja conectați printr-un sistem de telegestiune. De aceea, infrastructura de iluminat devine suportul natural pentru senzori de mediu, camere, stații de încărcare și alte servicii, iar platforma de telegestiune devine o componentă a arhitecturii orașului inteligent.

Subcapitolul prezintă modul de integrare a protocoalelor și a sistemelor într-o arhitectură de referință, rolul gateway-ului ca nod multi-serviciu, fluxul datelor de la dispozitive la decizie și platformele urbane de date cu geamănul digital local. Soluțiile descrise sunt cele mai răspândite în proiectele europene de oraș inteligent și în proiectele din România. Protocoalele au fost prezentate în 7.3, gateway-ul în 6.1.4 și platforma centrală în 6.1.5; SCADA este tratat în 7.5, securitatea în 7.9, iar interoperabilitatea în 7.10.

Termeni tehnici utilizați

Tabelul 7.23 explică termenii și acronimele utilizate în acest subcapitol. Termenii prezentați anterior nu mai sunt reluați.

Termen	Denumire completă	Explicație
Oraș inteligent	Smart City	Localitate care folosește tehnologii digitale și date pentru a îmbunătăți serviciile publice, eficiența resurselor și calitatea vieții.
Arhitectură de referință	Reference architecture	Model general care descrie nivelurile, componentele și interfețele unui sistem, folosit ca bază pentru proiectele concrete.
Siloz	Silo	Sistem izolat, cu propriile dispozitive, rețea, platformă și date, care nu comunică cu alte sisteme.
Edge computing	–	Prelucrarea datelor aproape de sursa lor, în gateway sau în dispozitiv, în loc de transmiterea tuturor datelor către platformă.
Stâlp inteligent	Smart pole	Stâlp de iluminat care găzduiește, pe lângă aparat, senzori, camere, echipamente de comunicație sau alte servicii urbane.
Platformă urbană de date	Urban Data Platform (UDP)	Platformă care colectează, integrează și pune la dispoziție datele mai multor sisteme ale orașului, prin interfețe deschise.
Model de date	Data model	Descrierea standardizată a entităților (de exemplu aparat, stâlp, punct de aprindere), a atributelor și a relațiilor dintre ele.
Context broker	–	Componentă a platformei urbane care păstrează starea curentă a entităților orașului și o pune la dispoziția aplicațiilor prin API.
NGSI-LD	Next Generation Service Interfaces – Linked Data	API și model de informații pentru date de context, standardizat de ETSI, utilizat în platformele urbane europene.
FIWARE	–	Ecosistem open-source de componente pentru platforme inteligente, inclusiv context brokerul NGSI-LD și modele de date standard.
MIMs	Minimal Interoperability Mechanisms	Set minim de mecanisme de interoperabilitate pentru orașe, promovat de OASC și aprobat ca recomandarea ITU-T Y.4505.
Spațiu de date	Data space	Cadru de încredere prin care organizații diferite partajează date în condiții controlate, cu reguli comune de acces și utilizare.

Termen	Denumire completă	Explicație
Geamăn digital local	Local Digital Twin (LDT)	Reprezentare digitală a orașului sau a unei infrastructuri, sincronizată cu realitatea prin date, folosită pentru analiză, simulare și decizie.
Serie temporală	Time series	Șir de valori măsurate, fiecare cu marcaj de timp, de exemplu puterea unui aparat la fiecare 15 minute.
Date deschise	Open data	Date publicate de instituții publice în format prelucrabil automat, liber de reutilizat.
CityGML	City Geography Markup Language	Standard OGC pentru modelele 3D ale orașelor, cu obiecte urbane descrise geometric și semantic.
OCPP	Open Charge Point Protocol	Protocol deschis de comunicație între stațiile de încărcare a vehiculelor electrice și sistemul lor central.

Tabelul 7.23 – Termeni și acronime

7.4.1. Integrarea protocoalelor și arhitectura de referință

De la silozuri la arhitectura orizontală

Multe orașe au implementat sistemele digitale pe rând: telegestiunea iluminatului, parcarea inteligentă, monitorizarea traficului, calitatea aerului. Fiecare sistem a venit cu propriii senzori, propria rețea și propria platformă. Rezultatul este un set de silozuri care nu schimbă date între ele, cu costuri duplicate și integrări punct la punct greu de întreținut. Arhitectura orizontală separă infrastructura comună, platformele de domeniu și platforma urbană de date, astfel încât datele unui sistem să poată fi folosite de celelalte. Figura 7.21 compară cele două abordări.

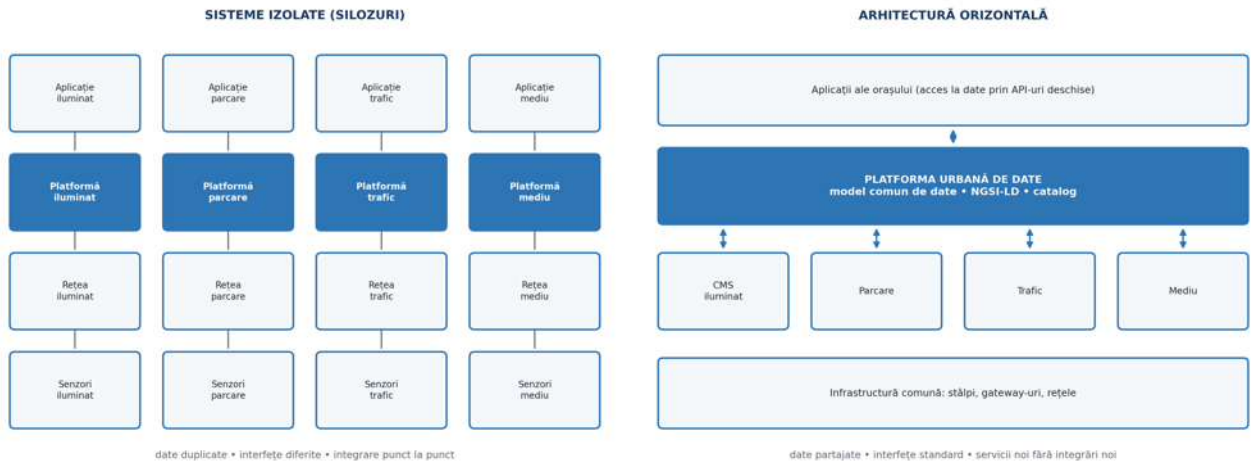


Figura 7.21 – Sisteme izolate comparate cu arhitectura orizontală

Arhitectura de referință pe niveluri

Arhitecturile de referință publicate, precum DIN SPEC 91357:2017 (Open Urban Platform), seria ISO/IEC 30145 pentru cadrul TIC al orașului inteligent și mecanismele MIMs din recomandarea ITU-T Y.4505:2024, descriu aceleași niveluri logice. Figura 7.22 prezintă o sinteză adaptată iluminatului public.

Figura 7.22 – Arhitectura de referință pe niveluri a orașului inteligent

Sistemul de telegestiune ocupă nivelurile 1–4: controlerele și senzorii, rețeaua de comunicație, gateway-urile și CMS-ul de iluminat. Integrarea în orașul inteligent înseamnă legarea CMS-ului de nivelul 5 prin interfețe deschise și, după caz, folosirea infrastructurii de iluminat de la nivelurile 1–3 de către alte servicii.

Modele de integrare

Model	Principiu	Avantaje	Limite
Integrare punct la punct	fiecare sistem se conectează direct la fiecare alt sistem	simplă pentru două sisteme	numărul integrărilor crește rapid; fiecare modificare afectează mai multe legături
Magistrală de mesaje	sistemele publică și primesc evenimente printr-un broker comun (de exemplu MQTT)	decuplare, timp real, extindere ușoară	necesită convenții comune pentru subiecte și formatul datelor
Poartă API	accesul la datele și funcțiile sistemelor se face printr-un punct unic, cu autentificare și control	securitate și evidență centralizate	nu rezolvă singură diferențele dintre modelele de date
Context broker	starea tuturor entităților orașului este păstrată într-un model comun, accesibil prin NGSI-LD	model de date unic, interogări între domenii	necesită adaptoare de la fiecare sistem către modelul comun
Spațiu de date	partajare între organizații, prin conectori și reguli de utilizare	control al proprietarului asupra datelor	maturitate în curs de consolidare; complexitate organizatorică

Tabelul 7.24 – Modele de integrare între sistemele orașului

Modele de date și interoperabilitate minimă

Protocoalele comune nu sunt suficiente dacă sistemele descriu diferit aceleași obiecte. De aceea, arhitecturile moderne adoptă modele de date publice. Inițiativa Smart Data Models, dezvoltată de FIWARE împreună cu alte organizații, include modele pentru aparatul de iluminat, grupul de aparate, modelul de aparat și dulapul de comandă, care pot fi folosite direct în platformele NGSI-LD.

Mecanismele minime de interoperabilitate (MIMs), promovate de rețeaua Open & Agile Smart Cities și aprobate în 2024 ca recomandarea ITU-T Y.4505, stabilesc un set minim de reguli pentru accesul la date, legarea și reprezentarea lor și schimbul de date. Sunt adoptate de numeroase orașe europene prin inițiativa Living-in.EU și reprezintă o referință utilă pentru documentațiile de atribuire.

7.4.2. Rolul gateway-ului în arhitectura Smart City

În telegestiunea iluminatului, gateway-ul agregă controlerele unei zone și le leagă de CMS (vezi 6.1.4). În arhitectura orașului inteligent, rolul lui se extinde: devine nodul de margine care conectează la aceeași infrastructură dispozitive din mai multe domenii, cu protocoale diferite. Gateway-ul poate fi montat în punctul de aprindere, pe aparat ca controler-gateway sau în stâlpul inteligent. Figura 7.23 prezintă stâlpul inteligent cu gateway multi-serviciu.

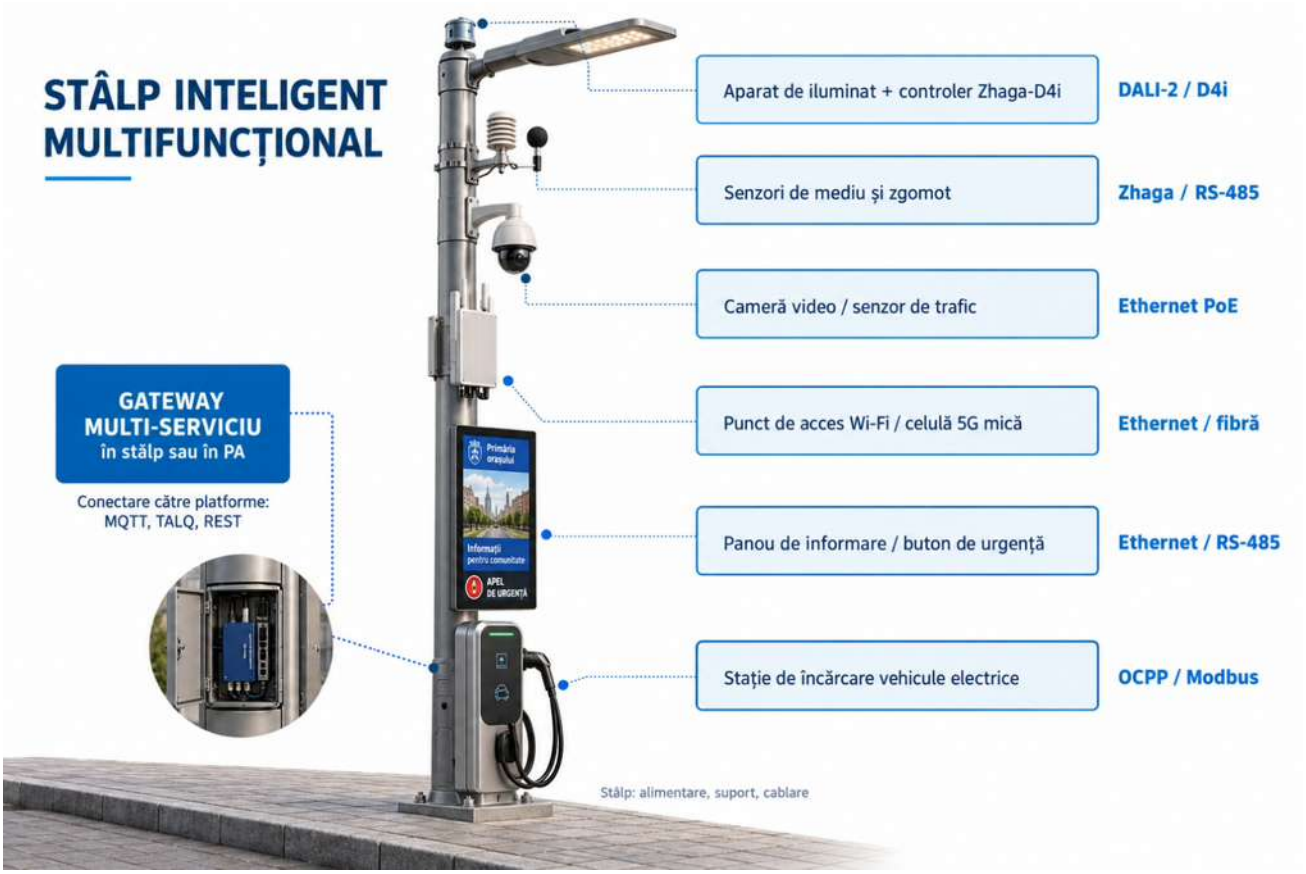


Figura 7.23 – Stâlpul inteligent și gateway-ul multi-serviciu

Funcțiile gateway-ului multi-serviciu

- **Traducerea protocoalelor** – preia datele de la dispozitive care folosesc DALI, Modbus, OCPP, Ethernet sau rețele radio și le transmite platformelor prin MQTT, TALQ sau REST.
- **Reguli locale între domenii** – de exemplu, un senzor de trafic crește nivelul de iluminat pe o trecere de pietoni, fără a aștepta platforma.
- **Prelucrare la margine** – imaginile video sunt analizate local, iar către platformă se transmit doar numărări sau evenimente, ceea ce reduce traficul de date și riscurile privind datele personale.
- **Stocare și retransmitere** – la pierderea legăturii, datele tuturor serviciilor sunt păstrate și transmise ulterior.
- **Frontieră de securitate** – separă rețelele dispozitivelor de rețelele publice, cu criptare, autentificare și segmentare pe servicii.
- **Administrarea dispozitivelor** – inventar, stare, actualizări de firmware și diagnoză de la distanță pentru toate echipamentele conectate.

Condiții de proiectare

Aspect	Cerință
Alimentare	serviciile care funcționează 24 de ore (camere, senzori, Wi-Fi, încărcare) necesită alimentare permanentă, separată de circuitul de iluminat comandat prin contactor, cu contorizare distinctă

Aspect	Cerință
Structură	verificarea stâlpului la încărcările suplimentare din echipamente, antene și panouri (vezi capitolul 8)
Spațiu și mediu	compartimente separate pentru echipamente, grad de protecție și domeniu de temperatură adecvate, ventilație
Comunicație	capacitate de transport corelată cu serviciile găzduite; fibră optică sau 5G pentru camere, radio IoT pentru senzori
Segmentare	rețele logice separate pentru iluminat, video, Wi-Fi public și administrare
Proprietate și acces	stabilirea proprietarului fiecărui echipament, a drepturilor de acces la stâlp și a responsabilității pentru mentenanță
Ciclu de viață	echipamentele IT au durate de viață mai scurte decât stâlpul și aparatul; se prevăd module înlocuibile și interfețe standard

Tabelul 7.25 – Condiții de proiectare pentru stâlpii inteligenți și gateway-urile multi-serviciu

Echipamentele montate pe stâlp pot aparține unor departamente sau operatori diferiți: iluminat, poliție locală, operatori de telecomunicații, operatori de încărcare. Fără reguli contractuale clare privind accesul, alimentarea și mentenanța, stâlpul inteligent devine o sursă de conflicte și de întârzieri la intervenții.

7.4.3. Fluxul de date

Valoarea unei arhitecturi Smart City rezultă din modul în care datele circulă de la dispozitive la decizie și înapoi la dispozitive. Figura 7.24 prezintă etapele fluxului de date și nivelul la care se execută fiecare etapă.

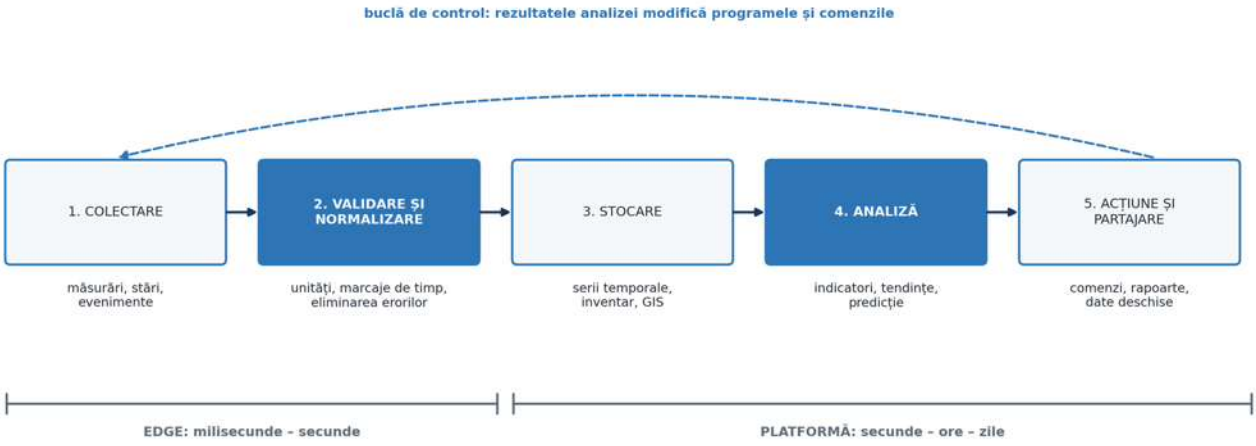


Figura 7.24 – Etapele fluxului de date și bucla de control

Categorii de date

Categorie	Exemple	Frecvență tipică	Utilizare
Telemetrie	putere, energie, tensiune, temperatură driver, nivel de dimare	minute – ore	consum, eficiență, diagnoză
Evenimente și alarme	defect aparat, pierdere comunicație, ușă PA deschisă	la apariție	intervenții, calitatea serviciului
Date de senzori	prezență, trafic, calitatea aerului, zgomot	secunde – minute	control adaptiv, date pentru alte servicii
Inventar și active	tip aparat, driver, controler, data montajului, poziție	la modificare	mentenanță, planificare, GIS
Configurare	programe, profiluri de dimare, grupuri, praguri	la modificare	control, audit

Categorie	Exemple	Frecvență tipică	Utilizare
Indicatori derivați	consum specific, disponibilitate, economii	zilnic – lunar	raportare, contracte de performanță

Tabelul 7.26 – Categorii de date în telegestiunea iluminatului integrată în orașul inteligent

Calitatea datelor

Deciziile bazate pe date greșite sunt mai periculoase decât lipsa datelor. De aceea, fluxul include validarea valorilor față de domenii plauzibile, verificarea unităților de măsură, marcaje de timp în UTC stabilite la sursă, identificatori unici și stabili pentru fiecare aparat și corelarea inventarului cu poziția reală din teren. Datele lipsă sau estimate se marchează explicit, pentru a nu fi confundate cu valori măsurate.

Proprietatea, accesul și cadrul legal

Datele generate de infrastructura publică de iluminat aparțin beneficiarului, iar acest drept se precizează explicit în contract, împreună cu formatul de export, frecvența și obligațiile furnizorului la încetarea contractului. Tabelul 7.27 prezintă actele normative relevante pentru fluxul de date.

Act normativ	Obiect	Relevanță pentru iluminat și Smart City
Regulamentul (UE) 2016/679 (GDPR)	protecția datelor cu caracter personal	camere, senzori care pot identifica persoane sau vehicule, Wi-Fi public; prelucrare la margine și anonimizare
Regulamentul (UE) 2023/2854 (Data Act)	accesul la datele generate de produsele conectate, aplicabil din 12 septembrie 2025	dreptul beneficiarului de a accesa datele echipamentelor și de a schimba furnizorul de servicii de date
Directiva (UE) 2019/1024 și Legea nr. 179/2022	date deschise și reutilizarea informațiilor din sectorul public	publicarea unor seturi de date, de exemplu consumul de energie sau inventarul infrastructurii
Directiva 2007/2/CE (INSPIRE)	infrastructura de informații spațiale	seturi de date geografice interoperabile pentru infrastructura publică
Regulamentul (UE) 2024/903 (Interoperable Europe Act)	interoperabilitatea serviciilor publice digitale	evaluarea interoperabilității la sistemele digitale publice noi
Directiva (UE) 2022/2555 (NIS2)	securitatea rețelelor și a sistemelor informatice	cerințe de securitate pentru entitățile și serviciile incluse (vezi 7.9)

Tabelul 7.27 – Acte normative relevante pentru datele orașului inteligent

7.4.4. Platforme urbane de date și “geamănul digital local”

Platforma urbană de date

Platforma urbană de date este nivelul care transformă datele sistemelor de domeniu într-o resursă comună a orașului. Ea preia datele de la CMS-ul de iluminat și de la celelalte platforme prin adaptoare, le exprimă într-un model comun, le păstrează ca stare curentă și ca istoric și le pune la dispoziție aplicațiilor prin API-uri deschise, cu drepturi de acces controlate. Soluția cea mai răspândită în Europa folosește componente FIWARE, cu context broker NGSI-LD și modele Smart Data Models.

Funcție	Descriere
Ingestie	preluarea datelor de la platformele de domeniu prin adaptoare MQTT, REST, TALQ sau NGSI-LD
Model comun de date	reprezentarea unitară a entităților orașului și a relațiilor dintre ele
Stare curentă și istoric	context broker pentru starea curentă și baze de serii temporale pentru istoric
Catalog de date	descrierea seturilor de date disponibile, a proprietarului, a calității și a condițiilor de utilizare
Acces și securitate	identități, roluri, poartă API, evidența accesărilor

Funcție	Descriere
Analiză și vizualizare	indicatori, panouri de comandă, hărți, rapoarte
Publicare	date deschise și partajare în spații de date, conform regulilor stabilite de oraș

Tabelul 7.28 – Funcțiile platformei urbane de date

„Geamănul digital local”

Geamănul digital local este o reprezentare digitală a orașului sau a unei infrastructuri, sincronizată cu realitatea prin date. Conceptele și terminologia sunt stabilite de ISO/IEC 30173:2023. Pentru iluminatul public, geamănul digital combină modelul geografic al rețelei (stâlpi, aparate, cabluri, puncte de aprindere), datele în timp real din telegestiune și instrumente de simulare. Figura 7.25 prezintă principiul.

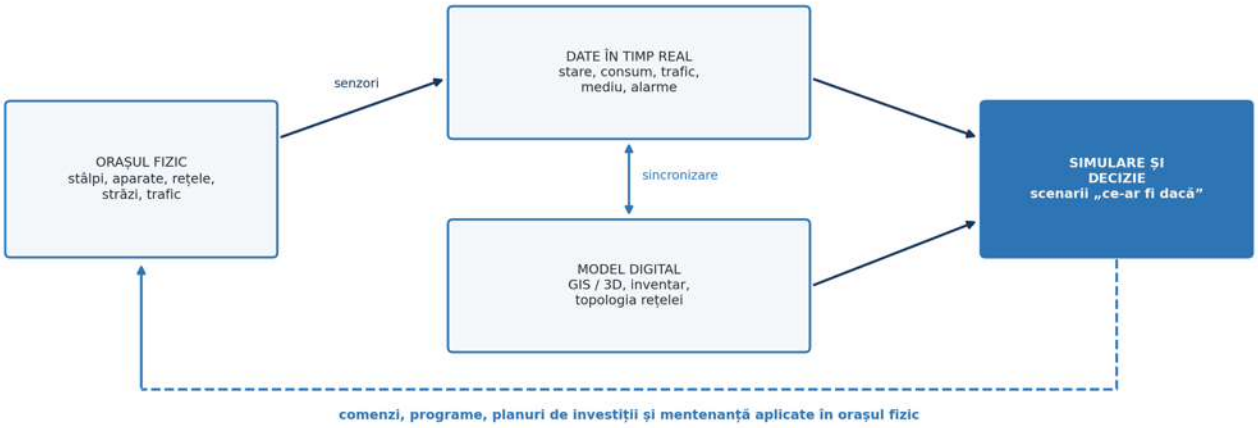


Figura 7.25 – Principiul „geamănului digital local” aplicat iluminatului public

Nivel	Denumire	Conținut	Exemplu
1	Model digital	inventar georeferențiat al infrastructurii	hartă GIS cu stâlpi, aparate și puncte de aprindere
2	Monitorizare conectată	model legat de datele în timp real	starea și consumul fiecărui aparat afișate pe hartă
3	Analiză și predicție	tendințe, corelări, predicția defectelor	identificarea driverelor cu risc de defectare
4	Simulare	scenarii „ce-ar fi dacă” pe model	efectul energetic și luminotehnic al unui nou profil de dimare
5	Buclă închisă	deciziile validate se aplică automat în sistem	adaptarea programelor pe baza traficului și a condițiilor meteo

Tabelul 7.29 – Nivelurile de maturitate ale geamănului digital pentru iluminatul public

Aplicațiile cu cel mai mare impact în iluminatul public sunt planificarea investițiilor de modernizare, simularea scenariilor energetice, optimizarea mentenanței, gestionarea evenimentelor și evaluarea poluării luminoase. Pentru modelele 3D se folosesc standarde deschise, precum CityGML 3.0 (OGC). La nivel european, instrumentele comune pentru geamănul digital local și spațiul de date pentru comunități inteligente sunt dezvoltate prin programul Europa Digitală.

Majoritatea orașelor pornesc de la nivelurile 1 și 2, care se obțin direct din telegestiune și dintr-un inventar GIS corect. Nivelurile superioare necesită date istorice de calitate, modele validate și competențe de analiză, iar valoarea lor depinde de corectitudinea nivelurilor inferioare.

Recomandări

Sistemul de telegestiune se proiectează ca parte a arhitecturii orizontale a orașului: CMS cu API documentat și, după caz, TALQ, date exportabile într-un model comun, compatibilitate cu NGSI-LD prin adaptor și drepturi explicite ale beneficiarului asupra datelor. Stâlpii și punctele de aprindere noi se proiectează pentru extinderea ulterioară, cu alimentare permanentă, spațiu și interfețe standard. Geamănul digital se construiește progresiv, pornind de la un inventar GIS corect și de la datele telegestiunii.

Greșeli frecvente în proiectare și implementare

1. Sisteme achiziționate separat, fără arhitectură comună

Ce se întâmplă. Iluminatul, parcarea, traficul și monitorizarea mediului sunt contractate independent, fiecare cu propria platformă și fără cerințe de integrare.

Consecința. Orașul plătește de mai multe ori infrastructura și integrările, iar datele nu pot fi combinate pentru decizii.

Cum se previne. Se adoptă o arhitectură de referință la nivelul orașului, iar fiecare achiziție include cerințe de interfețe deschise și model de date.

2. Stâlp inteligent fără alimentare permanentă

Ce se întâmplă. Senzorii, camerele sau punctele Wi-Fi se alimentează din circuitul de iluminat comandat prin contactor.

Consecința. Serviciile funcționează doar noaptea, iar echipamentele se repornesc zilnic.

Cum se previne. Se prevede circuit de alimentare permanentă, contorizat separat, și se verifică dacă punctul de aprindere permite această configurație.

3. Stâlpi încărcați fără verificare structurală

Ce se întâmplă. Pe stâlpi existenți se montează camere, antene, panouri și cutii suplimentare.

Consecința. Se depășesc încărcările din vânt, apar deformări sau riscuri de cădere, iar răspunderea devine neclară.

Cum se previne. Se efectuează verificarea structurală conform capitolului 8 înainte de montarea echipamentelor suplimentare.

4. Date fără proprietar definit contractual

Ce se întâmplă. Contractul de telegestiune nu precizează cine deține datele, în ce format se exportă și ce se întâmplă la încetarea contractului.

Consecința. Beneficiarul nu își poate folosi datele în alte sisteme și rămâne dependent de furnizor.

Cum se previne. Contractul stabilește proprietatea beneficiarului asupra datelor, exportul complet în formate deschise, API documentat și obligațiile de predare la încetare.

5. Integrare punct la punct pentru fiecare aplicație nouă

Ce se întâmplă. Fiecare aplicație nouă a orașului solicită o interfață dedicată de la CMS-ul de iluminat.

Consecința. Numărul interfețelor crește, fiecare actualizare a platformei afectează mai multe integrări, iar costurile de întreținere cresc.

Cum se previne. Integrarea se face o singură dată, către platforma urbană de date sau printr-o magistrală de mesaje, iar aplicațiile folosesc datele de acolo.

6. Modele de date incompatibile

Ce se întâmplă. Același aparat are identificatori, denumiri și atribute diferite în CMS, în GIS și în sistemul de mentenanță.

Consecința. Datele nu pot fi corelate automat, iar rapoartele combinate conțin erori sau necesită prelucrări manuale.

Cum se previne. Se stabilesc identificatori unici și un model de date comun, aliniat la modelele publice pentru iluminat, aplicat în toate sistemele.

7. Camere și senzori fără evaluarea protecției datelor

Ce se întâmplă. Pe stâlpi se montează camere sau senzori care pot identifica persoane ori vehicule, fără analiză GDPR.

Consecința. Prelucrarea datelor personale este nelegală, iar sistemul poate fi oprit sau sancționat.

Cum se previne. Se efectuează evaluarea impactului asupra protecției datelor, se preferă prelucrarea la margine și anonimizarea, iar către platformă se transmit doar datele necesare.

8. Rețele neseparate pe stâlpul inteligent

Ce se întâmplă. Iluminatul, camerele și Wi-Fi-ul public folosesc aceeași rețea logică.

Consecința. O vulnerabilitate a rețelei Wi-Fi publice poate permite accesul la comanda iluminatului sau la fluxurile video.

Cum se previne. Se segmentează rețelele pe servicii, cu filtrare între segmente și acces de administrare separat (vezi 7.9).

9. Geamăn digital construit pe inventar incorect

Ce se întâmplă. Se investește într-un model 3D sau într-o platformă de simulare fără corectarea inventarului și a poziției reale a infrastructurii.

Consecința. Simulările și analizele produc rezultate eronate, iar încrederea în instrument scade.

Cum se previne. Se începe cu inventarul georeferențiat verificat în teren și cu legarea datelor telegestiunii, apoi se trece la nivelurile superioare.

10. Durate de viață necorelate

Ce se întâmplă. Echipamentele electronice sunt integrate nedetașabil în stâlp sau în aparat.

Consecința. La învechirea tehnologiei de comunicație sau a senzorilor, modernizarea impune înlocuirea unor componente cu durată de viață mult mai lungă.

Cum se previne. Se folosesc module înlocuibile prin interfețe standard (Zhaga, Ethernet) și se planifică ciclurile de înlocuire pentru fiecare categorie de echipamente.

Concluzii

Integrarea în orașul inteligent transformă telegestiunea iluminatului dintr-un sistem de domeniu într-o parte a infrastructurii digitale a orașului. Arhitectura orizontală, bazată pe interfețe deschise, modele de date comune și platforme urbane de date, evită silozurile și permite ca aceeași infrastructură și aceleași date să servească mai multe servicii publice.

Gateway-ul multi-serviciu și stâlpul inteligent extind rolul infrastructurii de iluminat, cu condiția proiectării corecte a alimentării, structurii, securității și responsabilităților. Geamănul digital local valorifică aceste date pentru planificare și decizie, dar se construiește progresiv, pe baza unui inventar corect. Subcapitolul 7.5 prezintă sistemele SCADA și funcțiile de management ale sistemelor de iluminat inteligent.

7.5. SCADA și managementul sistemelor de iluminat inteligent *[Oprițescu C., Epure A., Ichim G.]*

Introducere

Platforma centrală a sistemului de telegestiune a fost prezentată în 6.1.5: arhitectura, funcțiile, interfața, găzduirea și proprietatea datelor. Acest subcapitol aprofundează perspectiva exploatării: supravegherea în timp real de tip SCADA, gestionarea alarmelor, programele orare și astronomice, integrarea datelor cu celelalte sisteme ale beneficiarului și criteriile de selecție a unei soluții de management.

Soluțiile descrise sunt cele mai utilizate atât la nivel internațional, cât și în România, de la platformele CMS dedicate iluminatului până la sistemele SCADA ale operatorilor care administrează mai multe utilități. Monitorizarea detaliată și diagnoza sunt tratate în 7.8, securitatea cibernetică în 7.9, iar aspectele economice în 7.11.

Termeni tehnici utilizați

Tabelul 7.30 explică termenii și acronimele utilizate în acest subcapitol. Termenii prezentați anterior nu mai sunt reluați.

Termen	Denumire completă	Explicație
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	Sistem de supraveghere, comandă și achiziție de date pentru instalații distribuite, utilizat în energie, apă, transport și iluminat.
HMI	Human–Machine Interface	Interfața prin care operatorul vede starea instalației și transmite comenzi.
Historian	Process historian	Bază de date specializată pentru stocarea eficientă, pe termen lung, a seriilor temporale și a evenimentelor.
Dispecerat	Control room	Locul din care operatorii supraveghează și comandă instalațiile, de regulă permanent.
Managementul alarmelor	Alarm management	Ansamblul regulilor și proceselor prin care alarmele sunt definite, prioritizate, prezentate și tratate, conform IEC 62682 și ANSI/ISA-18.2.
Raționalizarea alarmelor	Alarm rationalization	Analiza fiecărei alarme pentru a stabili dacă este necesară, ce prioritate are și ce acțiune cere operatorului.
Val de alarme	Alarm flood	Situația în care operatorul primește mai multe alarme decât poate trata, uzual peste 10 alarme în 10 minute.
Suprimarea temporară	Shelving	Scoaterea temporară și documentată a unei alarme din lista activă, de exemplu în timpul unei intervenții planificate.
Program astronomic	Astronomical schedule	Program care calculează orele de aprindere și stingere din poziția Soarelui pentru coordonatele locului.
Crepuscul civil	Civil twilight	Intervalul dintre apus și momentul în care centrul Soarelui ajunge la 6° sub orizont; lumina naturală scade de la sute la câțiva lucși.
Decalaj	Offset	Diferența, în minute, aplicată față de apus sau răsărit la aprinderea sau stingerea iluminatului.
Excepție de calendar	Calendar exception	Zi sau perioadă pentru care se aplică un program diferit de cel obișnuit: sărbători, evenimente, lucrări.
NTP	Network Time Protocol	Protocol de sincronizare a ceasurilor echipamentelor prin rețea.
CMMS	Computerised Maintenance Management System	Sistem informatic pentru gestionarea mentenanței: ordine de lucru, echipe, materiale, istoric.
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture	Standard industrial (IEC 62541) de schimb de date între sisteme, cu model de informații și securitate integrate.
IEC 60870-5-104	–	Protocol de telecontrol utilizat în rețelele electrice și în sistemele SCADA ale utilităților, peste TCP/IP.
Redundanță	Redundancy	Existența unor componente de rezervă care preiau automat funcția la defectarea componentei principale.
RBAC	Role-Based Access Control	Controlul accesului pe baza rolurilor: fiecare utilizator primește drepturile rolului său.

Tabelul 7.30 – Termeni și acronime

7.5.1. SCADA în iluminatul inteligent

SCADA, CMS și platforma IoT

În iluminatul public se întâlnesc trei tipuri de sisteme de management. CMS-ul dedicat iluminatului este furnizat de regulă de producătorul sistemului de telegestiune. Sistemul SCADA este o platformă industrială generală, configurată pentru mai multe tipuri de instalații. Platforma IoT generală colectează date de la dispozitive diverse și le pune la dispoziția aplicațiilor. Tabelul 7.31 compară cele trei abordări.

Aspect	CMS dedicat iluminatului	SCADA	Platformă IoT generală
Orientare	funcții specifice iluminatului, gata configurate	supraveghere și comandă în timp real pentru orice instalație	colectare și distribuire de date de la dispozitive diverse
Model de date	aparate, grupuri, profiluri, puncte de aprindere	variabile de proces, configurate de integrator	entități și atribute definite de utilizator
Programe de dimare și calendare	native	configurate sau realizate prin scripturi	de regulă absente, realizate prin aplicații
Alarme și dispecerat	adaptate iluminatului	foarte dezvoltate, cu standarde dedicate	de bază
Număr mare de aparate	optimizat pentru zeci de mii de aparate	posibil, cu efort de configurare	posibil, cu dezvoltare de aplicații
Utilizare tipică	primării, operatori de iluminat	operatori de utilități, tuneluri, aeroporturi, porturi	platforme de oraș, integratori

Tabelul 7.31 – CMS de iluminat, SCADA și platformă IoT

Cele mai multe proiecte de iluminat public folosesc un CMS dedicat. SCADA este preferat de operatorii care administrează din același dispecerat mai multe utilități și în instalațiile cu cerințe ridicate de timp real, precum iluminatul tunelurilor, unde nivelul luminanței în zona de acces este comandat continuu pe baza unui luminanțmetru, conform CIE 88:2004 și CEN/CR 14380. În aceste cazuri, CMS-ul de iluminat și SCADA coexistă, iar CMS-ul transmite către SCADA stările și alarmele agregate.

Arhitectura unui sistem SCADA pentru iluminat

Figura 7.26 prezintă arhitectura tipică. Serverele de comunicație preiau datele de la controlere, gateway-uri și contoare prin drivere de protocol. Baza de date în timp real păstrează starea curentă, historianul stochează istoricul, iar serverul de alarme gestionează evenimentele. Posturile de operator, clienții web și interfețele de integrare folosesc aceste servicii.

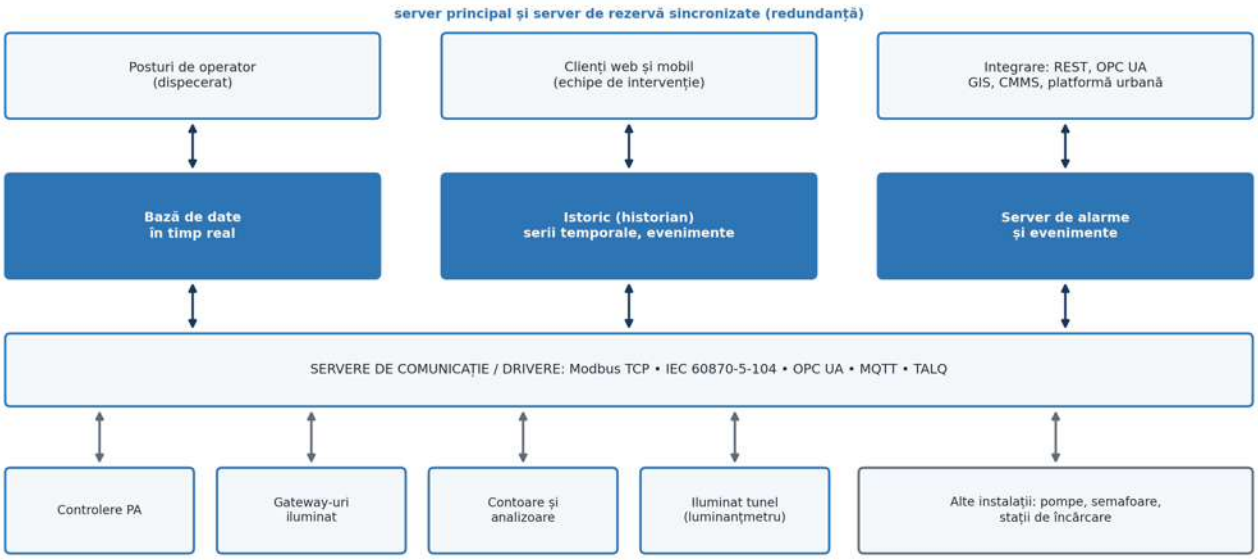


Figura 7.26 – Arhitectura tipică a unui sistem SCADA pentru iluminat și utilități

Pentru instalațiile importante se folosesc servere redundante sincronizate, care preiau funcția în câteva secunde la defectarea serverului principal. Chiar și în acest caz, iluminatul nu trebuie să depindă de disponibilitatea sistemului central: programele rulează local în controlere și gateway-uri, iar sistemul central supraveghează și modifică aceste programe.

7.5.2. Funcții esențiale

Funcțiile generale ale platformei au fost enumerate în 6.1.5. Pentru exploatare, cinci funcții determină eficiența dispeceratului și a echipelor de intervenție.

Supravegherea în timp real și interfața operatorului

Operatorul trebuie să vadă imediat ce este anormal. Principiile interfețelor de înaltă performanță, descrise în ANSI/ISA-101.01, se aplică și în iluminat: fundal neutru, culori folosite doar pentru stări anormale și alarme, ierarhie de ecrane de la vederea generală a orașului la detaliul unui punct de aprindere, indicatori cu valori de referință și tendințe, nu doar valori instantanee. Harta GIS rămâne ecranul principal, dar este completată de liste filtrabile și de panouri cu indicatori.

Managementul alarmelor

Un sistem de telegestiune cu zeci de mii de aparate poate genera sute de alarme la fiecare aprindere: aparate fără comunicație, drivere care pornesc întârziat, circuite cu tensiune instabilă. Dacă toate alarmele sunt prezentate operatorului, cele importante se pierd. Standardele IEC 62682 și ANSI/ISA-18.2 stabilesc ciclul de viață al managementului alarmelor, de la filozofia de alarmare și raționalizare până la monitorizarea performanței. Figura 7.27 ilustrează efectul raționalizării.

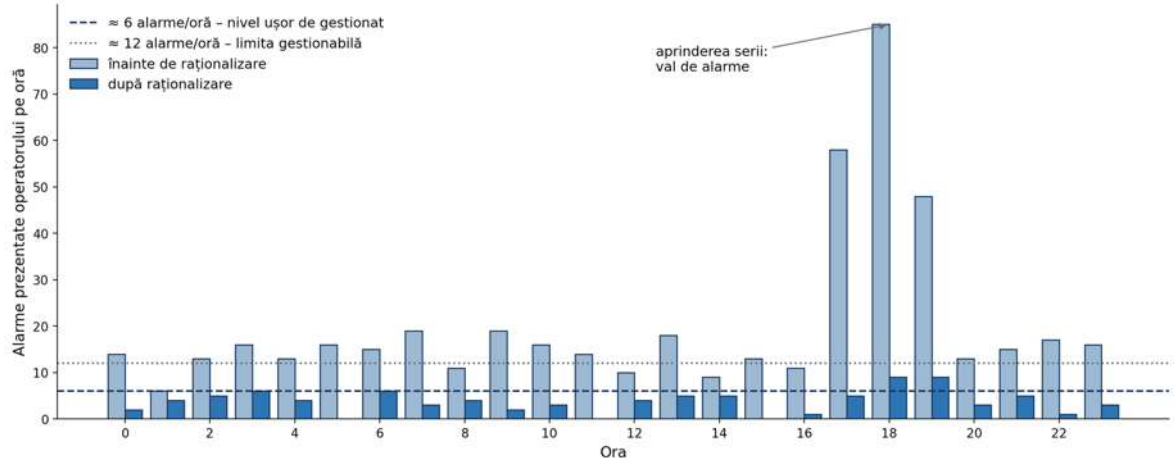


Figura 7.27 – Numărul de alarme prezentate operatorului, înainte și după raționalizare (valori ilustrative)

Regulă	Aplicare în iluminatul public
Fiecare alarmă cere o acțiune	evenimentele fără acțiune (de exemplu o repornire reușită a unui controler) se înregistrează în jurnal, nu se prezintă ca alarme
Priorități puține și clare	de regulă trei niveluri: urgent (circuit sau zonă stinsă noaptea), ridicat (aparat stins pe o cale principală), scăzut (defect izolat pe o stradă secundară)
Agregare	defectele multiple dintr-un punct de aprindere sau dintr-o zonă se grupează într-o singură alarmă cu cauză probabilă
Întârziere și confirmare	starea anormală trebuie să persiste un interval configurat după aprindere înainte de a genera alarmă
Suprimare contextuală	alarmele aparatelor dintr-un circuit fără tensiune sunt suprimate când există deja alarma circuitului
Suprimare temporară documentată	la lucrări planificate, alarmele zonei se suprimă cu motiv, responsabil și durată
Monitorizarea performanței	numărul de alarme pe oră, alarmele persistente și alarmele cele mai frecvente se analizează lunar

Tabelul 7.32 – Reguli de management al alarmelor aplicate iluminatului public

Ca reper, ANSI/ISA-18.2 consideră ușor de gestionat în medie aproximativ 6 alarme pe oră pentru un operator și gestionabile cel mult aproximativ 12 alarme pe oră. Valorile se adaptează dispeceratelor de iluminat, unde volumul este concentrat la aprindere și dimineața.

Istoric, tendințe și jurnal de evenimente

Historianul păstrează măsurările și evenimentele pe durate lungi, cu agregare progresivă: date detaliate pentru luni, valori orare sau zilnice pentru ani. Tendințele permit comparații între nopți, sezoane și zone. Jurnalul de evenimente înregistrează, cu marcaj de timp și autor, toate comenzile, modificările de programe și de configurație, confirmările și suprimările de alarme, fiind baza auditului și a analizei incidentelor.

Fluxul de lucru al dispeceratului

Alarma este doar începutul intervenției. Sistemul de management trebuie să permită trecerea directă de la alarmă la ordinul de lucru, cu localizarea pe hartă, istoricul echipamentului și informațiile necesare echipei. Confirmarea remedierii se face prin datele din sistem, nu doar prin declarația echipei: aparatul reparat comunică, iar parametrii lui revin la valori normale.

Roluri și drepturi

Drepturile se acordă pe roluri: operator de dispecerat, inginer de exploatare, administrator, echipă de mentenanță, utilizator cu drept de consultare, auditor. Comenzile cu impact mare, precum stingerea unei zone sau modificarea programelor pentru tot orașul, necesită drepturi separate și, după caz, confirmare dublă.

7.5.3. Programe orare și astronomice

Calculul astronomic

Programul astronomic calculează zilnic momentele apusului și răsăritului pentru coordonatele geografice ale fiecărui punct de aprindere sau gateway. Prin convenție, apusul este momentul în care centrul discului solar se află la 0,833° sub orizont, valoare care include refracția atmosferică și raza aparentă a Soarelui. Algoritmii utilizați au o precizie de ordinul unui minut.

Figura 7.28 prezintă orele apusului și răsăritului pe parcursul anului pentru trei orașe din România. Diferența de longitudine dintre vestul și estul țării produce o diferență de aproximativ 25–35 de minute, iar diferența de latitudine modifică suplimentar durata nopții. Un program cu ore fixe, identic pentru toată țara sau pentru un județ întins, aprinde prea devreme sau prea târziu. Durata anuală a nopții astronomice în România este de aproximativ 4 300 de ore.

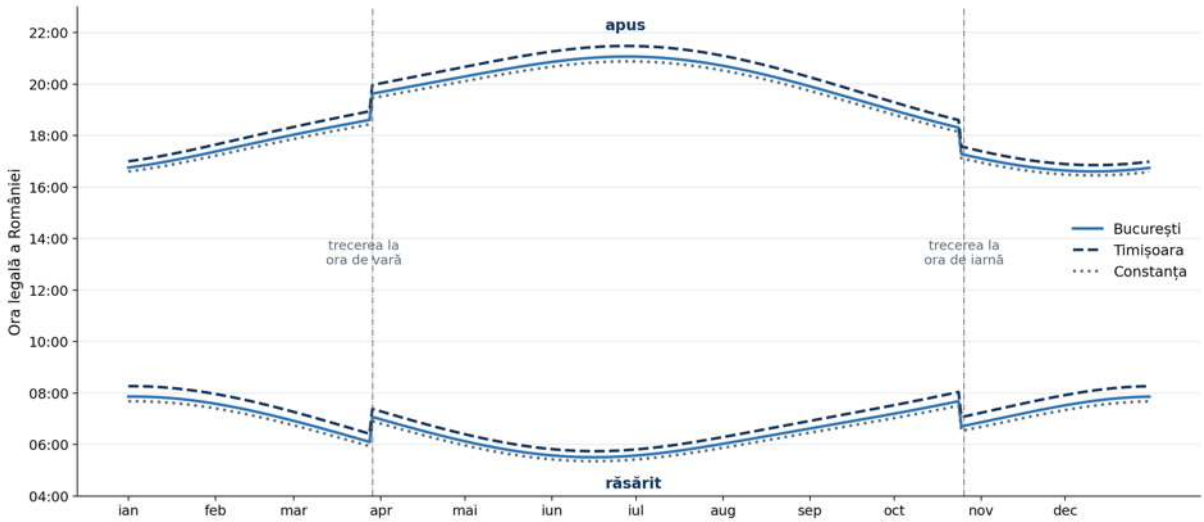


Figura 7.28 – Orele apusului și răsăritului în 2026, pentru București, Timișoara și Constanța (valori calculate)

Decalajele și crepusculul

Nivelul luminii naturale scade rapid după apus: de la sute de lucși la apus la câțiva lucși la sfârșitul crepusculului civil, atins la latitudinea României la aproximativ 30–40 de minute după apus. Decalajele de aprindere și stingere se stabilesc în proiect, în funcție de categoria căii de circulație, relief, clădiri înalte și cerințele beneficiarului. Figura 7.29 ilustrează intervalul uzual.

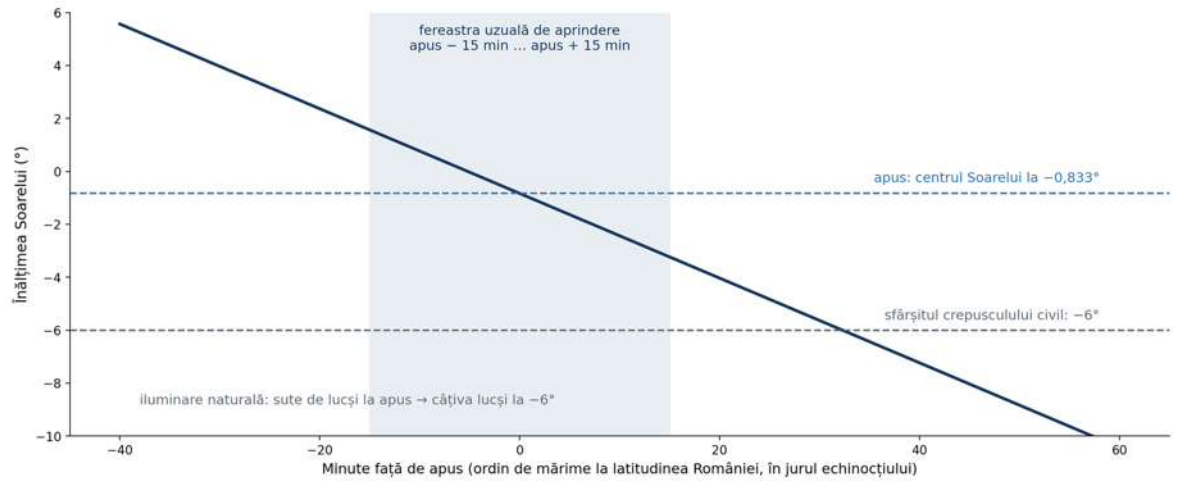


Figura 7.29 – Înălțimea Soarelui după apus și fereastra uzuală de aprindere

Metodă	Principiu	Avantaje	Limite
Ore fixe	aprindere și stingere la ore stabilite, eventual pe luni	simplitate	abateri mari față de condițiile reale; ajustări manuale sezoniere
Program astronomic	ore calculate zilnic din poziția Soarelui, cu decalaje	precizie, fără senzori, fără derivă	nu ține cont de nebulozitate, ceață sau furtuni
Senzor de lumină	aprindere la scăderea iluminării sub un prag, cu histerezis	reacție la condițiile reale	murdărire, poziționare, umbrire, aprinderi false
Astronomic cu senzor în fereastră	senzorul poate devansa sau întârzia aprinderea doar într-un interval în jurul orei astronomice	reacție la condiții reale, cu limitarea erorilor senzorului	necesită configurare atentă a ferestrei și a pragurilor

Tabelul 7.33 – Metode de comandă a aprinderii și stingerii

Soluția cea mai utilizată în sistemele moderne este programul astronomic, completat de un senzor de lumină sau de date meteo care pot devansa aprinderea în zilele foarte întunecate, în limitele unei ferestre de siguranță. Pragurile senzorilor se stabilesc în proiect, de ordinul zecilor de lucși, cu histerezis între aprindere și stingere pentru a evita comutările repetate.

Calendare, excepții și prioritatea comenzilor

Programele reale combină mai multe niveluri: profilul de dimare de noapte, programe diferite pentru zilele lucrătoare, sfârșitul de săptămână și sezoanele turistice, excepții pentru sărbători și evenimente, comenzi temporare ale operatorului. Pentru a evita conflictele, sistemul aplică o ordine de prioritate clară, prezentată în figura 7.30.

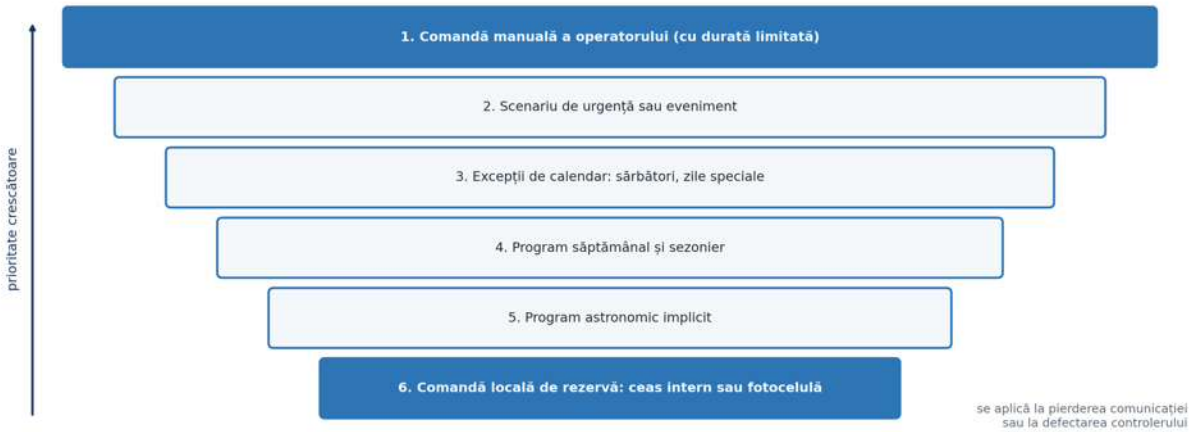


Figura 7.30 – Prioritatea comenzilor și a programelor

Comenzile manuale au întotdeauna o durată limitată sau o condiție de revenire la program, pentru ca o comandă uitată să nu mențină iluminatul aprins ziua sau stins noaptea. Programul se verifică, înainte de transmitere, printr-o simulare care arată pentru fiecare grup orele și nivelurile rezultate pe următoarele zile.

Timpul și ora legală

Calculul astronomic se face în timp universal coordonat (UTC), iar conversia în ora legală a României folosește regulile oficiale ale orei de vară, actualizate prin baza de date a fusurilor orare a sistemului. Programele exprimate în ora locală, de exemplu reducerea nivelului la ora 23:00, trebuie să rămână corecte în nopțile de schimbare a orei, care au 23 sau 25 de ore. Ceasurile controlerelor și gateway-urilor se sincronizează prin NTP sau prin receptor GNSS, iar controlerele păstrează ora și programele la pierderea alimentării sau a comunicației.

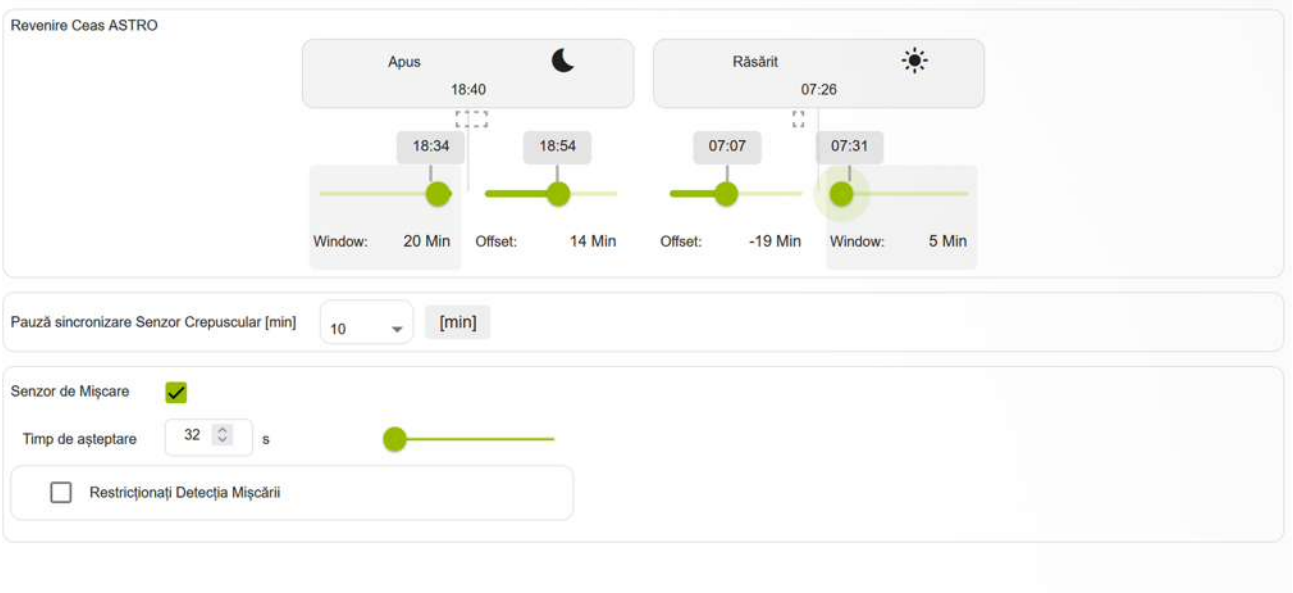


Figura 7.31 – Editorul de calendar și de program astronomic: decalajele față de apus și răsărit și fereastra în care senzorul de lumină poate corecta aprinderea și stingerea

7.5.4. Integrarea datelor

Sistemul de management al iluminatului produce și consumă date împreună cu alte sisteme ale beneficiarului. Figura 7.32 prezintă integrările uzuale, iar tabelul 7.34 detaliază conținutul și sensul fiecărei integrări.

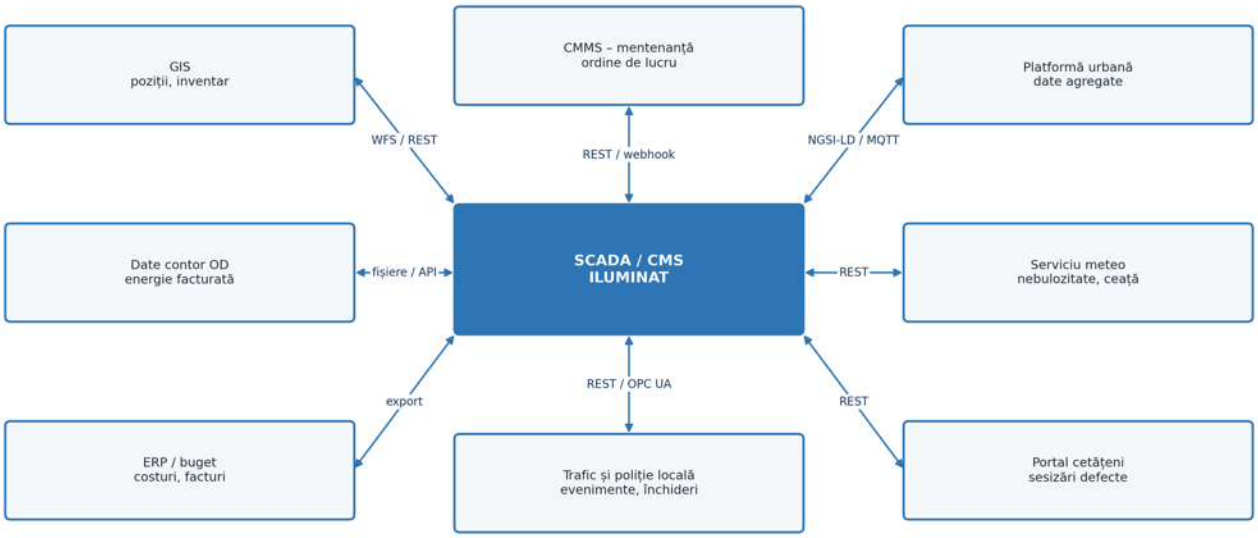


Figura 7.32 – Integrarea sistemului de management cu celelalte sisteme ale beneficiarului

Sistem	Date schimbate	Sens	Beneficiu
GIS	poziția și atributele stâlpilor, aparatelor, cablurilor și punctelor de aprindere	în ambele sensuri	inventar unic, corect în teren
CMMS	alarme transformate în ordine de lucru; confirmări de remediere	în ambele sensuri	timp de intervenție redus, evidența mentenanței
Date de la operatorul de distribuție	energie facturată pe loc de consum	către sistem	reconcilierea consumului măsurat cu facturile
Serviciu meteo	nebulozitate, ceață, precipitații, avertizări	către sistem	devansarea aprinderii, scenarii de vreme severă
Trafic și poliție locală	evenimente, închideri de drumuri, accidente	în ambele sensuri	scenarii de iluminat pentru evenimente și urgențe
ERP și buget	costuri de energie și mentenanță pe centre de cost	dinspre sistem	raportare financiară, fundamentarea investițiilor
Portal pentru cetățeni	sesizări de defecte, cu poziție și fotografie	către sistem	corelarea sesizărilor cu alarmele existente
Platformă urbană de date / SCADA	stări, alarme și indicatori agregați	dinspre sistem	vedere comună a orașului (vezi 7.4)

Tabelul 7.34 – Integrări uzuale ale sistemului de management al iluminatului

Reconcilierea datelor de energie

Una dintre cele mai valoroase integrări este compararea energiei măsurate de sistemul de telegestiune cu energia facturată de furnizor pentru fiecare loc de consum. Diferențele sistematice indică erori de configurare, consumuri neautorizate, contoare defecte sau erori de facturare. Reconcilierea lunară, pe fiecare punct de aprindere, este baza raportării energetice prezentate în 6.6 și a contractelor de performanță energetică tratate în 7.11.

Reguli de integrare

- identificatorii echipamentelor sunt aceiași în toate sistemele;
- fiecare dată are un sistem de referință care o deține, iar celelalte sisteme o preiau, nu o modifică independent;
- integrările folosesc interfețe documentate și standard: REST, OPC UA, MQTT, formate geospațiale deschise;
- erorile de integrare sunt monitorizate și semnalate, nu ignorate silențios;

- pentru SCADA industrial se preferă OPC UA sau IEC 60870-5-104 în locul accesului direct la bazele de date.

7.5.5. Criterii de selecție

Selecția unei soluții de management se face pe baza unor cerințe verificabile, grupate pe domenii. Tabelul 7.35 prezintă criteriile principale și modul de verificare. Pentru proiectele mari, cerințele esențiale se demonstrează practic înainte de atribuire sau la recepție, pe scenarii definite de beneficiar.

Domeniu	Criteriu	Mod de verificare
Funcțional	programe astronomice cu decalaje, calendare, excepții, priorități și simulare	demonstrație pe scenarii
Funcțional	management al alarmelor: priorități, agregare, suprimare, statistici	demonstrație; documentație
Funcțional	legătura alarmă – ordin de lucru – confirmare prin date	demonstrație
Funcțional	rapoarte energetice și reconciliere cu facturile	exemplu de raport pe date reale sau de test
Tehnic	scalabilitate la numărul de aparate al proiectului și la extinderi	referințe de proiecte comparabile; test de încărcare
Tehnic	disponibilitate, redundanță, copii de siguranță, RPO și RTO	documentație; clauze contractuale
Tehnic	funcționare locală a programelor la indisponibilitatea platformei	test de deconectare
Securitate	roluri, autentificare cu mai mulți factori, jurnal de audit, criptare	demonstrație; certificări (vezi 7.9)
Integrare	API documentat (OpenAPI), TALQ certificat unde este cerut, OPC UA pentru SCADA	documentație; lista oficială TALQ
Integrare	export complet al datelor în formate deschise	demonstrație de export
Exploatare	interfață în limba română, instruire, suport local, timp de răspuns	documentație; clauze contractuale
Comercial	cost pe durata de viață: licențe, găzduire, abonamente, actualizări	analiză pe durata contractului (vezi 7.11)
Comercial	condiții la încetarea contractului: predarea datelor și a configurațiilor	clauze contractuale

Tabelul 7.35 – Criterii de selecție a sistemului de management

Recomandări

Pentru iluminatul public se recomandă un CMS dedicat, cu programe astronomice calculate pe coordonatele fiecărui punct de aprindere, completate de senzor de lumină sau date meteo într-o fereastră de siguranță, cu management al alarmelor aplicat de la punerea în funcțiune și cu integrare cu GIS și CMMS. Acolo unde beneficiarul operează un dispecerat SCADA pentru mai multe utilități sau administrează tuneluri, CMS-ul se integrează cu SCADA prin OPC UA sau prin interfețe documentate.

Greșeli frecvente în proiectare și implementare

1. Toate evenimentele configurate ca alarme

Ce se întâmplă. La punerea în funcțiune se activează toate alarmele disponibile, cu aceeași prioritate.

Consecința. La fiecare aprindere, dispeceratul primește sute de alarme, iar defectele importante se pierd în listă; operatorii ajung să ignore alarmele.

Cum se previne. Se elaborează filozofia de alarmare și se raționalizează alarmele înainte de exploatare, cu priorități, agregare și întârzieri.

2. Program unic cu ore fixe pentru zone întinse

Ce se întâmplă. Același program cu ore fixe se aplică pentru localități sau circuite aflate la distanțe mari.

Consecința. Iluminatul se aprinde prea devreme sau prea târziu, cu risc pentru siguranță sau cu consum inutil.

Cum se previne. Se folosesc programe astronomice calculate pe coordonatele fiecărui punct de aprindere sau gateway.

3. Senzor de lumină fără fereastră de siguranță

Ce se întâmplă. Aprinderea și stingerea depind exclusiv de fotocelulă.

Consecința. Senzorul murdar, umbrit sau iluminat de farurile vehiculelor produce aprinderi ziua, stingeri noaptea sau comutări repetate.

Cum se previne. Senzorul acționează doar într-o fereastră în jurul orei astronomice, cu histerezis și întârziere configurate.

4. Comenzi manuale fără durată

Ce se întâmplă. Operatorul aprinde o zonă pentru un eveniment și uită să anuleze comanda.

Consecința. Iluminatul rămâne aprins zile întregi sau programul de dimare nu se mai aplică.

Cum se previne. Toate comenzile manuale au durată maximă sau condiție de revenire, iar comenzile active sunt afișate permanent în interfață.

5. Programe netestate în noaptea schimbării orei

Ce se întâmplă. Programele în ora locală nu sunt verificate pentru nopțile cu 23 sau 25 de ore.

Consecința. Reducerea nivelului se aplică de două ori, deloc sau la ore greșite, iar rapoartele energetice au intervale lipsă sau dublate.

Cum se previne. Calculul se face în UTC, conversia folosește baza de date a fusurilor orare, iar programele se simulează pentru datele schimbării orei.

6. Ceasuri nesincronizate

Ce se întâmplă. Controlerele și gateway-urile nu au sincronizare de timp sau pierd ora la întreruperea alimentării.

Consecința. Programele se decalează progresiv, evenimentele au marcaje de timp greșite, iar analiza incidentelor devine imposibilă.

Cum se previne. Se configurează NTP sau GNSS, se monitorizează abaterea ceasurilor și se aleg echipamente care păstrează ora fără alimentare.

7. Integrare cu SCADA prin acces direct la baza de date

Ce se întâmplă. Sistemul SCADA citește direct tabelele bazei de date a CMS-ului.

Consecința. La actualizarea CMS-ului structura bazei se schimbă, integrarea se oprește, iar securitatea este compromisă.

Cum se previne. Integrarea se face prin OPC UA, IEC 60870-5-104 sau API documentat, cu drepturi limitate.

8. Inventar GIS nesincronizat

Ce se întâmplă. Aparatele înlocuite sau adăugate sunt actualizate doar în CMS sau doar în GIS.

Consecința. Echipele sunt trimise la poziții greșite, rapoartele diferă între sisteme, iar geamănul digital devine nesigur.

Cum se previne. Se stabilește sistemul de referință pentru fiecare dată și procedura de actualizare la fiecare intervenție.

9. Lipsa reconcilierii cu facturile de energie

Ce se întâmplă. Energia măsurată de telegestiune nu este comparată cu energia facturată.

Consecința. Erorile de facturare, contoarele defecte și consumurile neautorizate rămân nedetectate ani la rând.

Cum se previne. Se implementează reconcilierea lunară pe fiecare loc de consum, cu praguri de abatere și alarme.

10. Selecție pe baza prezentării comerciale

Ce se întâmplă. Soluția se alege după prezentări și liste de funcții, fără demonstrație pe scenariile beneficiarului.

Consecința. Funcții declarate lipsesc sau funcționează diferit, iar deficiențele apar abia în exploatare.

Cum se previne. Cerințele esențiale se verifică prin demonstrații practice pe scenarii definite și prin referințe de proiecte comparabile.

Concluzii

Sistemul de management determină calitatea exploatării iluminatului inteligent. Supravegherea în timp real, managementul disciplinat al alarmelor și legătura directă cu mentenanța transformă datele telegestiunii în intervenții rapide și în servicii de calitate. Programele astronomice calculate local, cu senzori folosiți într-o fereastră de siguranță, cu calendare și priorități clare, asigură aprinderea corectă în orice zi a anului.

Integrarea cu GIS, CMMS, facturile de energie și platformele orașului extinde valoarea sistemului dincolo de iluminat. Selecția soluției se face pe baza cerințelor verificabile și a demonstrațiilor practice. Subcapitolul 7.6 prezintă comunicațiile radio pentru orașul inteligent.

7.6. Comunicații radio pentru orașul inteligent *[Oprițescu C., Epure A., Ichim G., Păuț I.]*

Introducere

Subcapitolul 7.1 a prezentat tehnologiile de comunicație și parametrii lor. Acest subcapitol tratează aplicarea lor în rețelele radio ale unui oraș: cum se organizează arhitectura radio pe zone, cum se planifică și se verifică acoperirea pentru fiecare tehnologie, cum funcționează mecanismele cu reacție negativă care mențin legăturile stabile și care sunt regulile de utilizare a spectrului radio în Uniunea Europeană și în România.

Metodele descrise sunt cele mai utilizate în proiectarea rețelelor radio pentru iluminat public și servicii urbane, la nivel internațional și în România. Parametrii tehnologiilor nu mai sunt reluați; se face trimitere la 7.1. Securitatea comunicațiilor este tratată în 7.9.

Termeni tehnici utilizați

Tabelul 7.36 explică termenii și acronimele utilizate în acest subcapitol. Termenii prezentați anterior nu mai sunt reluați.

Termen	Denumire completă	Explicație
Rețea de acces	Access network	Partea rețelei radio care leagă dispozitivele (controlere, senzori) de gateway sau de stația de bază.
Rețea de transport	Backhaul	Legătura de capacitate mare dintre gateway-uri și platformă: 4G/5G, fibră optică sau radio punct la punct.
Planificare radio	Radio planning	Stabilirea amplasamentelor, antenelor și parametrilor rețelei pentru a asigura acoperirea și capacitatea cerute.
Studiu în teren	Site survey	Măsurarea semnalului și a interferențelor în amplasamentele reale, înainte și după instalare.
Model de propagare	Propagation model	Relație de calcul a atenuării semnalului în funcție de distanță, frecvență și mediu.
Exponent de atenuare	Path loss exponent (n)	Parametru al modelului log-distanță: 2 în spațiu liber, uzual 2,7–4 în mediu urban.
Rezervă de fading	Fade margin	Diferența prevăzută între nivelul calculat al semnalului și sensibilitatea receptorului, pentru a acoperi variațiile de propagare.
RSSI	Received Signal Strength Indicator	Nivelul semnalului recepționat, raportat de echipament, în dBm.
SNR / SINR	Signal-to-Noise (Interference plus Noise) Ratio	Raportul dintre semnal și zgomot, respectiv zgomot plus interferențe, în dB.

Termen	Denumire completă	Explicație
RSRP / RSRQ	Reference Signal Received Power / Quality	Indicatori ai nivelului și calității semnalului în rețelele LTE, NB-IoT și LTE-M.
Nivel de extindere a acoperirii	Coverage Enhancement (CE) level	Nivelul de repetare a transmisiilor folosit de NB-IoT și LTE-M în zone cu semnal slab; niveluri mai mari cresc consumul și latența.
PDR	Packet Delivery Ratio	Procentul mesajelor livrate corect din totalul mesajelor transmise.
LQI / ETX	Link Quality Indicator / Expected Transmission Count	Indicatori ai calității unei legături mesh; ETX estimează numărul de transmisii necesare pentru o livrare reușită.
Reacție negativă	Negative feedback	Principiu de reglare în care rezultatul măsurat este comparat cu ținta, iar diferența este folosită pentru a corecta parametrii sistemului.
ARQ	Automatic Repeat reQuest	Mecanism de confirmare și retransmitere automată a mesajelor pierdute sau eronate.
TPC	Transmit Power Control	Reglarea automată a puterii de emisie la minimul necesar pentru o legătură fiabilă.
p.e.r. / p.i.r.e.	Putere efectiv radiată / putere izotrop radiată echivalentă	Puterea radiată raportată la un dipol în semiundă, respectiv la o antenă izotropă; p.i.r.e. = p.e.r. + 2,15 dB.
SRD	Short Range Device	Dispozitiv radio de putere mică, utilizat fără licență individuală, în condițiile tehnice armonizate.
ANCOM	Autoritatea Națională pentru Administrare și Reglementare în Comunicații	Autoritatea din România care gestionează spectrul radio și stabilește condițiile de utilizare.

Tabelul 7.36 – Termeni și acronime

7.6.1. Arhitectura comunicațiilor radio în orașul inteligent

Un oraș nu are o densitate uniformă de stâlpi și servicii. În centru și în cartiere, stâlpii sunt la 25–40 m, iar punctele de aprindere sunt apropiate; la periferie, străzile sunt lungi și stâlpii rari; pe drumurile de legătură, aparatele sunt dispersate. De aceea, arhitectura radio se organizează pe zone, fiecare cu tehnologia potrivită, iar toate zonele se leagă prin rețeaua de transport de aceeași platformă. Figura 7.33 prezintă principiul.

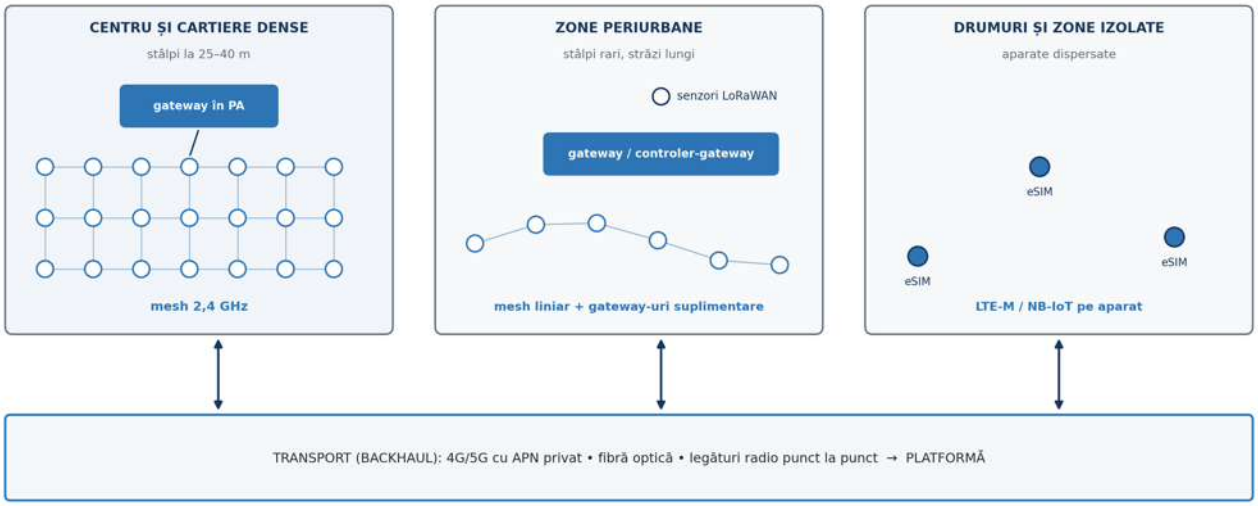


Figura 7.33 – Arhitectura radio a orașului organizată pe zone

Tip de zonă	Caracteristici	Rețea de acces uzuală	Rețea de transport
Centru, cartiere dense	stâlpi deși, clădiri, trafic radio intens	mesh 2,4 GHz cu gateway-uri în punctele de aprindere	4G/5G cu APN privat sau fibră optică
Zone periurbane	străzi lungi, stâlpi mai rari, vegetație	mesh 2,4 GHz cu gateway-uri suplimentare sau controlere-gateway	4G/5G
Drumuri și aparate izolate	distanțe mari între aparate	controlere LTE-M sau NB-IoT cu eSIM	rețeaua operatorului mobil
Senzori urbani pe baterie	consum foarte mic, mesaje rare	LoRaWAN sau NB-IoT	rețeaua operatorului sau gateway-uri LoRaWAN
Stâlpi cu camere și Wi-Fi public	debit mare, funcționare permanentă	Ethernet, fibră optică, 5G	fibră optică sau legături radio de capacitate mare

Tabelul 7.37 – Tehnologia de acces recomandată pe tipuri de zone

Principii de arhitectură

- **Reutilizarea infrastructurii publice** – punctele de aprindere, stâlpii și clădirile publice oferă amplasamente, alimentare și înălțime pentru gateway-uri și antene.
- **Rețea proprie acolo unde densitatea o justifică** – în zonele dense, rețeaua mesh a beneficiarului elimină abonamentele pe aparat; în zonele izolate, rețeaua operatorului evită infrastructura suplimentară.
- **Rezervă pentru rețeaua de transport** – gateway-urile care deservesc multe aparate au antene exterioare și, pentru zonele importante, o a doua cale de comunicație.
- **Separarea serviciilor** – iluminatul, senzorii, camerele și Wi-Fi-ul public au segmente logice separate, chiar dacă folosesc aceeași infrastructură (vezi 7.4 și 7.9).
- **Monitorizarea continuă a rețelei radio** – indicatorii de calitate sunt colectați permanent, nu doar la punerea în funcțiune.

7.6.2. Planificarea radio: principii comune

Planificarea radio pornește de la bugetul de legătură: puterea emisă, câștigurile antenelor, atenuarea de propagare, rezerva de fading și sensibilitatea receptorului. Legătura funcționează fiabil dacă nivelul semnalului recepționat, după scăderea rezervei, rămâne peste sensibilitate. Figura 7.34 prezintă două exemple de calcul, iar figura 7.35 arată cum crește atenuarea cu distanța în spațiu liber și în mediu urban.

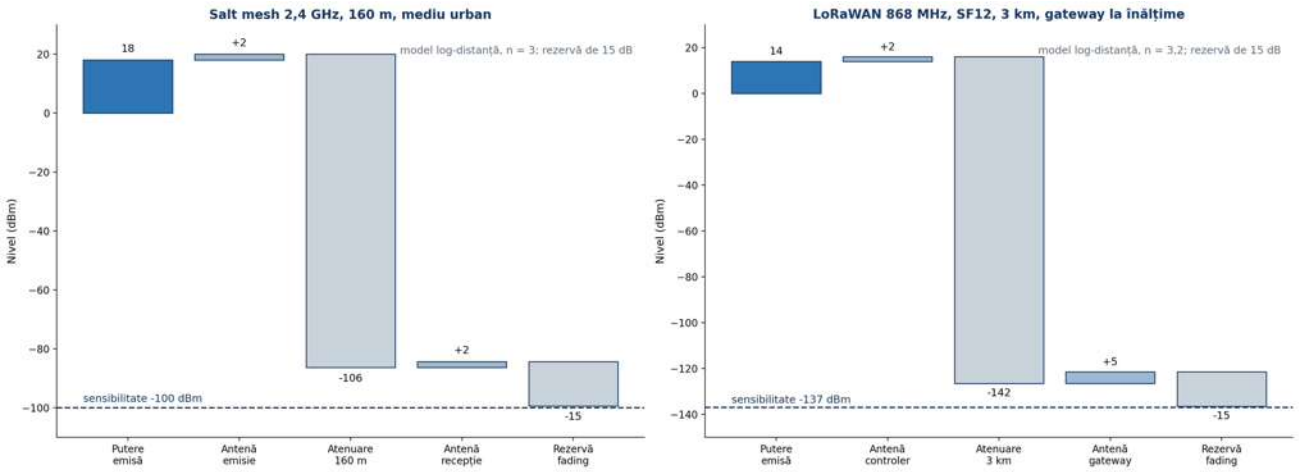


Figura 7.34 – Exemple de buget de legătură pentru un salt mesh 2,4 GHz și pentru o legătură LoRaWAN (valori ilustrative)

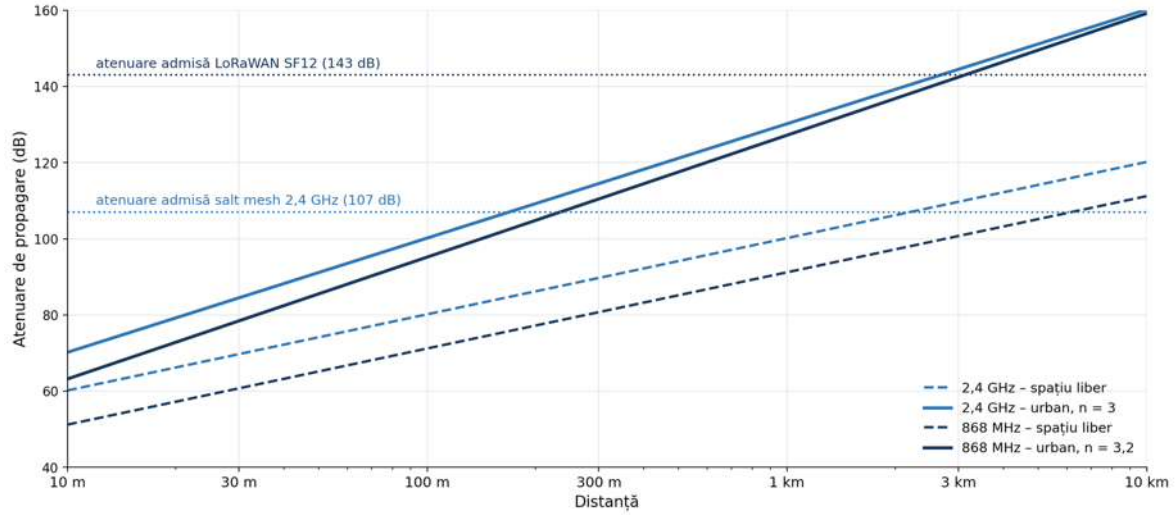


Figura 7.35 – Atenuarea de propagare în funcție de distanță și atenuarea admisă de bugetul de legătură (valori ilustrative)

Exemplele arată de ce rețelele mesh 2,4 GHz au salturi de ordinul sutelor de metri, iar LoRaWAN acoperă kilometri: diferența provine în principal din sensibilitatea mult mai bună a modulației LoRa la debit mic, iar în mai mică măsură din frecvență. Modelele de calcul, precum modelul log-distanță, ITU-R P.1411 pentru distanțe scurte în exterior sau modelele empirice folosite de operatorii celulari, oferă doar estimări. Valorile reale depind de înălțimea antenelor, de clădiri și vegetație și se stabilesc prin măsurători.

Etapele planificării

Etapă	Activități	Rezultat
1. Date de intrare	inventarul georeferențiat al stâlpilor și punctelor de aprindere, funcțiile cerute, clădiri, relief	baza de planificare
2. Alegerea tehnologiei pe zone	analiza densității și a condițiilor, conform tabelului 7.37	harta zonelor tehnologice
3. Proiectare preliminară	amplasamentele gateway-urilor, calculul bugetului de legătură, simulare de acoperire	plan preliminar al rețelei
4. Studiu în teren	măsurarea semnalului celular, scanarea spectrului, verificarea amplasamentelor	plan corectat
5. Pilot	instalarea pe o zonă reprezentativă, măsurarea PDR, a latenței și a numărului de salturi	validarea ipotezelor
6. Implementare	instalare și punere în funcțiune pe etape	rețea funcțională
7. Recepție și monitorizare	verificarea indicatorilor pentru fiecare dispozitiv, corecții, monitorizare continuă	rețea recepționată, cu indicatori de referință

Tabelul 7.38 – Etapele planificării unei rețele radio pentru iluminat public

7.6.3. Planificarea rețelelor NB-IoT și LTE-M

În rețelele celulare, acoperirea este asigurată de operator, dar calitatea ei în locul exact de montaj trebuie verificată. Hărțile de acoperire publicate de operatori sunt calculate pentru exterior, la nivelul solului, și nu reflectă atenuarea din dulapurile metalice ale punctelor de aprindere sau din carcasa aparatului. Verificarea se face prin măsurători cu modemul sau cu echipamentul care va fi instalat, pentru fiecare operator candidat.

Indicator	Semnificație	Interpretare practică
RSRP	nivelul semnalului de referință	peste aproximativ −100 dBm: bun; −100 … −115 dBm: acceptabil, cu repetări posibile; sub −115 dBm: se verifică nivelul de extindere a acoperirii și se prevede antenă exterioară

Indicator	Semnificație	Interpretare practică
RSRQ / SINR	calitatea semnalului, influențată de interferențe	valori scăzute la RSRP bun indică interferențe sau celulă încărcată
Nivel CE	numărul de repetări folosite de rețea	nivelul 0 este ținta pentru controlere; nivelurile 1 și 2 cresc latența și consumul de date
Timp de conectare și latență	timpul până la livrarea unei comenzi	se măsoară efectiv în amplasament, în modul de funcționare configurat

Tabelul 7.39 – Indicatori pentru verificarea acoperirii NB-IoT și LTE-M (valori orientative)

Dulapurile metalice ale punctelor de aprindere pot introduce atenuări de ordinul a 10–20 dB sau mai mult, de aceea gateway-urile și controlerele din punctele de aprindere folosesc antene exterioare. Contractul cu operatorul precizează tehnologiile și benzile disponibile, configurarea PSM și eDRX (vezi 7.1.2), APN-ul privat, nivelul serviciului, notificarea modificărilor de rețea și condițiile de retragere a tehnologiei.

7.6.4. Planificarea rețelelor LoRaWAN

Acoperirea LoRaWAN depinde în primul rând de amplasamentul gateway-urilor. Gateway-urile se montează cât mai sus, pe clădiri publice, turnuri sau stâlpi înalți, cu antene exterioare omnidirecționale și cabluri scurte, cu pierderi mici. Pentru fiabilitate, planificarea urmărește ca fiecare dispozitiv să fie recepționat de cel puțin două gateway-uri, astfel încât defectarea unui gateway să nu lase dispozitive fără acoperire.

- **Densitatea gateway-urilor** – mai multe gateway-uri reduc factorul de împrăștiere mediu, deci timpul în aer, consumul și încărcarea ciclului de lucru (vezi 7.1.3).
- **Adaptarea ratei de date (ADR)** – se activează pentru dispozitivele fixe, după o perioadă de stabilizare, și se verifică distribuția factorilor de împrăștiere.
- **Capacitatea pentru mesaje descendente** – se calculează separat, deoarece gateway-ul emite toate comenzile și confirmările, în limitele ciclului de lucru.
- **Verificarea în teren** – RSSI și SNR se măsoară pentru dispozitivele de la marginea acoperirii; SNR apropiat de limita factorului de împrăștiere folosit indică o legătură fragilă.

7.6.5. Planificarea rețelelor mesh și star

În rețelele mesh pentru iluminat, nodurile sunt chiar controlerele de pe aparate, deci amplasamentele sunt date de stâlpi. Planificarea stabilește numărul și poziția gateway-urilor, verifică existența unor legături suficiente între noduri și identifică zonele unde sunt necesare noduri de legătură, antene exterioare sau controlere-gateway.

Parametru	Regulă practică	Motiv
Vecini cu legătură bună	cel puțin doi pentru fiecare nod	rută alternativă la defectarea unui aparat
Număr de salturi până la gateway	limitat conform recomandărilor producătorului, de regulă sub 10–15	latența și pierderile cresc cu fiecare salt
Noduri pe gateway	conform capacității declarate de producător, cu rezervă pentru extindere	evitarea congestiei la comenzi de grup și actualizări de firmware
Poziția gateway-ului	central în zona deservită, cu antenă la înălțime	reducerea numărului de salturi și echilibrarea traficului
Discontinuități	poduri, parcuri, intersecții largi, râuri	se verifică separat; se adaugă noduri de legătură sau gateway-uri
Rezervă de fading	10–20 dB față de sensibilitate	variații de propagare cauzate de vehicule, vegetație și vreme

Tabelul 7.40 – Reguli practice de planificare pentru rețele mesh de iluminat (valori orientative)

La punerea în funcțiune se exportă din platformă, pentru fiecare nod, numărul de vecini, calitatea legăturilor, numărul de salturi și PDR. Aceste valori devin referința pentru monitorizarea ulterioară: degradarea lor semnalează apariția unor obstacole, interferențe sau defecte înainte ca aparatele să piardă comunicația.

Topologia star, în care fiecare dispozitiv comunică direct cu un punct central, se folosește pentru zone mici, pentru legături punct la multipunct între gateway-uri și pentru rețelele Wi-Fi ale stâlpilor inteligenți. Bătaia ei este limitată de legătura cea mai slabă, iar defectarea punctului central afectează toate dispozitivele.

7.6.6. Sisteme cu reacție negativă [Păuț I.]

Canalul radio variază permanent: vehiculele, vegetația, vremea și alte emisii modifică atenuarea și interferențele. Rețelele radio moderne folosesc de aceea mecanisme cu reacție negativă: rezultatul transmisiei este măsurat și comparat cu o țintă, iar diferența este folosită pentru corectarea automată a parametrilor. Figura 7.36 prezintă principiul buclei închise aplicat legăturilor radio.

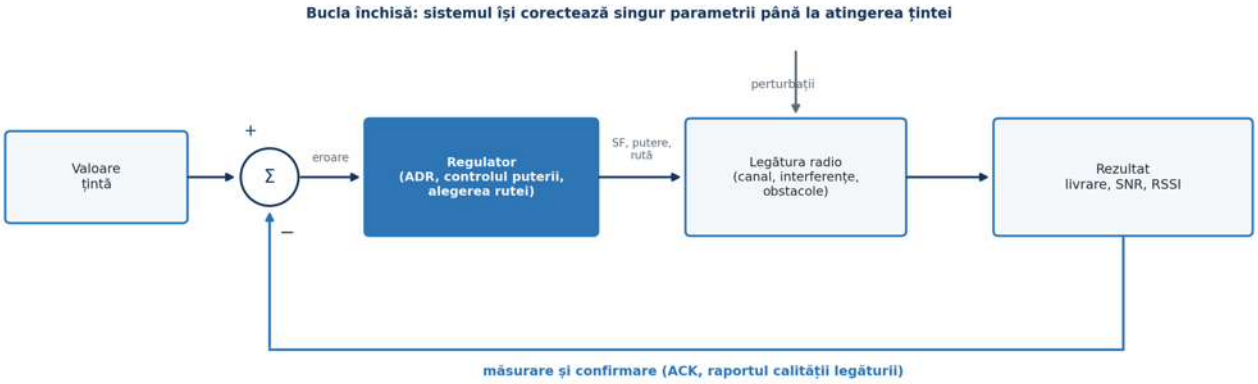


Figura 7.36 – Principiul reacției negative aplicat unei legături radio

Mecanism	Mărime măsurată	Parametru corectat	Efect
Confirmare și retransmitere (ARQ)	confirmarea primirii mesajului	repetarea transmisiei	livrare fiabilă pe legături cu pierderi
Adaptarea ratei de date (ADR, adaptarea legăturii)	SNR sau rata de erori	factorul de împrăștiere, modulația, debitul	debit maxim posibil cu fiabilitate păstrată
Controlul puterii de emisie (TPC)	nivelul semnalului recepționat	puterea emisă	consum redus, interferențe mai mici, conformitate cu cerințele de spectru
Rutare adaptivă mesh	calitatea legăturilor (LQI, ETX)	ruta către gateway	ocolirea legăturilor degradate și a nodurilor defecte
Selecția canalului	interferențe și pierderi pe canale	canalele folosite	evitarea canalelor ocupate
Confirmarea execuției comenzii	starea raportată de aparat după comandă	repetarea sau escaladarea comenzii	certitudinea că aparatul a executat comanda

Tabelul 7.41 – Mecanisme cu reacție negativă în rețelele radio pentru iluminat

Bucla deschisă și bucla închisă la nivel de sistem

Sistemele istorice de comandă a iluminatului, precum telecomanda centralizată prin rețeaua electrică sau receptoarele radio unidirecționale, funcționau în buclă deschisă: comanda era transmisă fără nicio confirmare, iar operatorul nu știa dacă aparatele au executat-o. Telegestiunea modernă închide bucla la toate nivelurile: la nivelul legăturii radio, prin confirmări și adaptare, și la nivelul aplicației, prin raportarea stării reale a aparatului după comandă. O comandă este considerată executată doar când starea măsurată confirmă efectul ei.

Stabilitatea buclelor

O buclă de reacție reglată prea agresiv poate oscila: rutele se schimbă continuu între două variante apropiate, puterea crește și scade repetat, iar factorul de împrăștiere alternează. Pentru stabilitate se folosesc

histerezis, praguri de schimbare, filtrarea măsurărilor pe mai multe mesaje și limitarea frecvenței modificărilor. Aceste setări se stabilesc de producător și se verifică în pilot, prin urmărirea numărului de schimbări de rută și de parametri pe nod.

7.6.7. Rolul sistemelor cu reacție negativă în comanda și controlul sistemelor de iluminat public

În **sistemele inteligente de iluminat public**, reacția negativă are un rol fundamental deoarece permite sistemului să **măsoare permanent rezultatul obținut, să-l compare cu valoarea dorită și să corecteze automat comanda** atunci când apar abateri.

7.6.7.1. Ce înseamnă „reacție negativă”?

Un sistem cu reacție negativă, numit și **sistem cu feedback**, funcționează pe principiul:

valoare de referință → comandă → instalație de iluminat → măsurare → feedback → corecție

Sistemul are o valoare dorită, numită **referință** sau **setpoint**, de exemplu:

- nivelul de iluminare dorit pe carosabil;
- intensitatea luminoasă dorită;
- un anumit nivel de luminanță;
- reducerea iluminatului la 30% în lipsa traficului;
- creșterea iluminatului la 100% atunci când este detectată o mașină sau un pieton.

Un senzor măsoară situația reală, iar regulatorul calculează eroarea:

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

unde:

- $r(t)$ = valoarea de referință;
- $y(t)$ = valoarea măsurată;
- $e(t)$ = eroarea dintre valoarea dorită și cea reală.

Comanda este modificată astfel încât **eroarea să fie redusă**. Tocmai de aici provine denumirea de *reacție negativă*.

7.6.7.2. De ce este importantă reacția negativă în iluminatul public inteligent?

Într-un sistem clasic de iluminat public, logica poate fi foarte simplă:

„Este ora 20:00 → pornește iluminatul public.”

Problema este că această comandă nu ține cont suficient de condițiile reale.

Într-un sistem inteligent, obiectivul este mai degrabă:

„Menține nivelul de iluminare necesar în funcție de condițiile reale din teren, consumând cât mai puțină energie.”

Aici intervine reacția negativă.

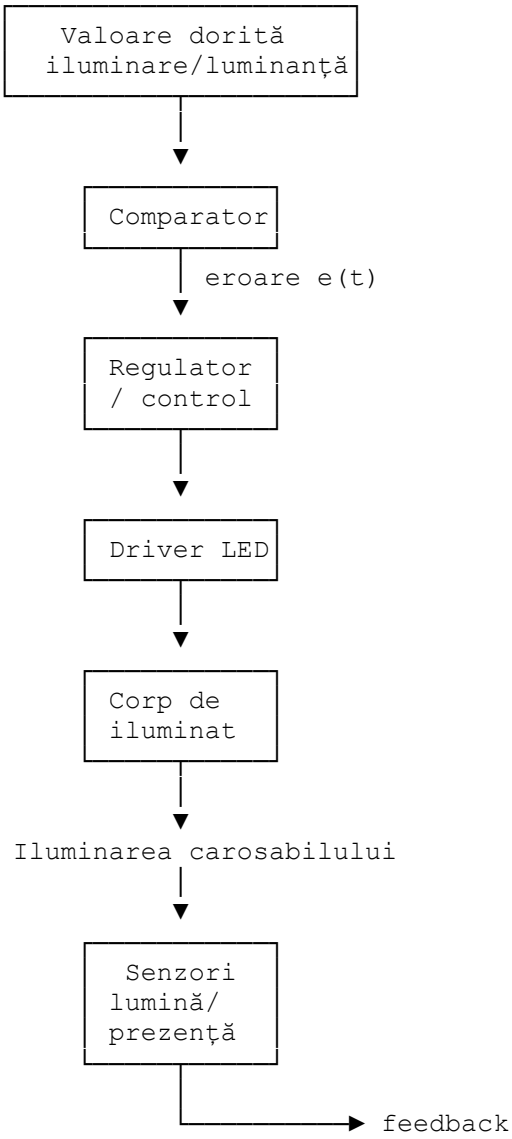
Sistemul poate lua în considerare simultan:

- lumina naturală;
- traficul rutier;
- prezența pietonilor;
- condițiile meteorologice;
- umiditatea;
- ceața;
- starea carosabilului;
- evenimente neprevăzute;
- programul orar;
- nivelul de iluminare al zonelor învecinate;
- starea corpurilor de iluminat.

Prin urmare, iluminatul nu mai este comandat doar după un program prestabilit, ci **se adaptează continuu la situația reală**.

7.6.7.3. Structura unui sistem cu reacție negativă pentru iluminat public

O schemă funcțională simplificată este:



Bucla se închide prin intermediul senzorilor.

7.6.7.4. Elementele principale ale buclei de reacție

7.6.7.4.1. Valoarea de referință

Reprezintă ceea ce dorim să obținem.

De exemplu, sistemul poate avea ca obiectiv:

$$E_{ref} = 20 \text{ lx}$$

Dacă senzorul indică:

$$E_{med} = 15 \text{ lx}$$

atunci:

$$e = 20 - 15 = 5 \text{ lx}$$

Există o abatere pozitivă, iar regulatorul trebuie să **crească nivelul de iluminare**.

Dacă senzorul măsoară 24 lux:

$$e = 20 - 24 = -4 \text{ lx}$$

sistemul poate reduce puterea aparatelor de iluminat.

7.6.7.5. Rolul senzorilor

Senzorii sunt esențiali pentru realizarea reacției negative.

Senzori de lumină

Un senzor de lumină, de exemplu un fotodetector, poate măsura iluminarea ambientală.
În acest caz:

- zi → lumină naturală ridicată → iluminatul artificial poate fi oprit;
- amurg → lumina naturală scade → iluminatul artificial crește;
- noapte → iluminatul funcționează la nivelul stabilit.

Astfel se evită situația în care aparatele funcționează inutil la putere maximă.

Senzori de trafic

Senzorii radar, camerele video sau alți senzori pot determina:

- numărul vehiculelor;
- viteza;
- direcția de deplasare;
- prezența pietonilor.

De exemplu, dacă o stradă este goală, iluminatul poate fi redus.
Atunci când este detectat un vehicul:

```
stradă liberă
      ↓
30% putere
      ↓
detectare vehicul
      ↓
creștere la 80–100%
      ↓
trecerea vehiculului
      ↓
revenire la 30%
```

Aceasta este una dintre cele mai importante aplicații ale reacției negative în iluminatul inteligent.

7.6.7.6. Reacția negativă permite reglarea automată a intensității luminoase

Corpurile LED moderne permit reglarea fluxului luminos. Comanda poate fi transmisă, în funcție de arhitectura instalației, prin:

- 0–10 V;
- DALI/DALI-2;
- PWM;
- interfețe de control dedicate;
- protocoale de comunicație ale sistemului de management.

Regulatorul poate modifica astfel puterea driverului LED. Conceptual:

$$u(t) \rightarrow \text{putere LED}$$

iar puterea LED determină:

$$P_{LED} \rightarrow \Phi \rightarrow E$$

unde:

- P_{LED} = puterea electrică;
- Φ = fluxul luminos;
- E = iluminarea.

Prin feedback, sistemul urmărește permanent efectul comenzii.

7.6.7.7. Compensarea variațiilor datorate mediului

Un avantaj major al reacției negative este **robustețea**.

În timp, condițiile instalației se schimbă.

De exemplu, asupra unui corp de iluminat se poate depune praf.

În timp:

$$\Phi_{real} < \Phi_{inițial}$$

Dacă sistemul măsoară efectiv nivelul de iluminare, regulatorul poate detecta faptul că iluminarea a scăzut și poate crește comanda.

Același principiu se aplică atunci când:

- LED-urile îmbătrânesc;
- lentila aparatului se murdărește;
- temperatura influențează performanța;
- apar variații ale tensiunii de alimentare;
- condițiile atmosferice se schimbă.

Prin urmare, reacția negativă reduce dependența performanței sistemului de condițiile externe.

7.6.7.8. Reacția negativă și economisirea energiei

Acesta este unul dintre cele mai importante avantaje pentru administrația unui oraș.

Un sistem fără feedback poate funcționa, de exemplu, astfel:

$$P = 100\,\%$$

toată noaptea.

Un sistem inteligent poate utiliza:

$$P = 100\,\%$$

atunci când există trafic intens și:

$$P = 30\,\% - 50\,\%$$

atunci când strada este aproape goală.

Dacă puterea medie scade, scade și energia consumată:

$$W = \int P(t)\,dt$$

Prin urmare, reacția negativă contribuie direct la **optimizarea energetică**. Important însă: economia nu trebuie obținută prin reducerea arbitrară a iluminării. Nivelul comandat trebuie să respecte cerințele tehnice și de siguranță aplicabile zonei respective.

7.6.7.9. Exemplu practic: o stradă urbană

Să presupunem că avem o stradă cu 50 de corpuri LED. Fiecare aparat poate funcționa între 20% și 100%.

La ora 22:00:

- traficul este moderat;
- sistemul menține iluminarea la 80%.

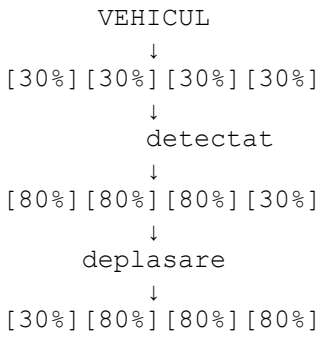
La ora 02:00:

- traficul este foarte redus;
- senzorii detectează că strada este aproape goală;
- sistemul reduce nivelul la 30%.

La ora 02:03:

- radarul detectează un autovehicul.

Sistemul poate anticipa deplasarea vehiculului și poate crește progresiv iluminarea aparatelor din fața acestuia:



Astfel, iluminatul se deplasează practic împreună cu zona de interes.

7.6.7.10. Reacția negativă poate utiliza mai multe niveluri de feedback

Într-un sistem inteligent complex nu avem neapărat o singură buclă.

Pot exista mai multe bucle suprapuse.

Bucla locală

Driverul LED controlează curentul și puterea LED-ului.

Bucla de iluminare

Senzorul măsoară iluminarea, iar sistemul corectează nivelul iluminatului.

Bucla de trafic

Senzorii detectează vehiculele și pietonii, iar sistemul adaptează iluminatul.

Bucla energetică

Sistemul urmărește consumul și optimizează regimul de funcționare.

Bucla de mentenanță

Sistemul analizează datele pentru a identifica degradarea sau defectarea corpurilor.

Într-o arhitectură modernă, toate aceste informații pot ajunge într-un **sistem central de management al iluminatului public**.

7.6.7.11. Reacția negativă și detectarea defectelor

Un avantaj foarte important este că feedback-ul nu servește doar la reglarea luminii. El poate fi utilizat și pentru **diagnosticare**. Să presupunem că regulatorul comandă:

$$u = 80\,\%$$

dar senzorul indică o iluminare mult mai mică decât cea așteptată.

Sistemul poate concluziona că există o problemă:

- LED degradat;
- driver defect;
- corp murdar;
- cablu deteriorat;
- alimentare incorectă;
- senzor defect.

Astfel poate apărea o alarmă:

„Corpul de iluminat nr. 127 prezintă abatere persistentă între nivelul comandat și nivelul măsurat.”

Acest lucru permite **mentenanță predictivă**, nu doar intervenție după ce un cetățean observă că un aparat de iluminat nu mai funcționează.

7.6.7.12. Reacția negativă versus comanda în buclă deschisă

Diferența este fundamentală. **Buclă deschisă**	**Buclă cu reacție negativă**
Nu măsoară rezultatul	Măsoară rezultatul
Comandă după program	Comandă în funcție de situația reală
Nu corectează automat erorile	Corectează automat abaterile
Mai simplă	Mai complexă
Cost inițial mai mic	Cost inițial mai mare
Precizie redusă	Precizie mai mare
Adaptabilitate redusă	Adaptabilitate ridicată
Diagnosticare limitată	Diagnosticare posibilă
Economii limitate	Potențial mare de optimizare

Tabelul 7.42 – Comanda în buclă deschisă și comanda cu reacție negativă

7.6.7.13. Un exemplu matematic simplificat

Considerăm un regulator proporțional:

$$u(t) = K_p\, e(t)$$

unde:

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

și:

- K_p = amplificarea regulatorului;
- $r(t)$ = iluminarea dorită;
- $y(t)$ = iluminarea măsurată;
- $u(t)$ = semnalul de comandă.

Să presupunem:

$$r = 20 \text{ lux}$$

și:

$$y = 15 \text{ lux}$$

Rezultă:

$$e = 5 \text{ lux}$$

Dacă:

$$K_p = 4$$

atunci, conceptual:

$$u = 4 \cdot 5 = 20$$

Regulatorul crește comanda. După creșterea iluminării, presupunem că senzorul măsoară:

$$y = 19 \text{ lux}$$

Atunci:

$$e = 20 - 19 = 1 \text{ lux}$$

Comanda suplimentară necesară devine mai mică. Dacă se ajunge la:

$$y = 20 \text{ lux}$$

atunci:

$$e = 0$$

iar sistemul a ajuns la valoarea dorită.

Acesta este mecanismul fundamental al reacției negative.

7.6.7.14. Reacția negativă nu înseamnă neapărat „aprindere/stingere”

Este o idee foarte importantă. Un sistem inteligent nu trebuie să funcționeze numai în două stări:

ON / OFF

Poate avea control continuu: 0% - 100% De exemplu:

- 20% — trafic foarte redus;
- 40% — prezență detectată la distanță;
- 70% — apropierea unui vehicul;
- 100% — condiții care necesită iluminare maximă.

Această reglare continuă este mult mai eficientă energetic decât simpla comutare.

7.6.7.15. Rolul reacției negative în siguranța rutieră

Economia de energie este importantă, dar **siguranța este prioritară**. Un sistem inteligent trebuie să evite situația în care reducerea iluminării produce zone insuficient iluminate. Feedback-ul permite verificarea permanentă a condiției reale. De exemplu, în cazul unei condiții meteorologice nefavorabile:

```
ceață detectată
      ↓
vizibilitate redusă
      ↓
modificarea strategiei de iluminare
      ↓
nivel luminos adaptat
      ↓
verificarea rezultatului prin senzori
```

Într-un sistem avansat, algoritmul poate combina informațiile de la mai mulți senzori înainte de a modifica iluminarea.

7.6.7.16. Reacția negativă și „ora astronomică”

Sistemele de iluminat public utilizează frecvent informații despre:

- răsărit;
- apus;
- data calendaristică;
- poziția geografică.

Acestea pot constitui **comanda de bază**, dar feedback-ul permite corectarea ei. De exemplu:

Programul astronomic spune că iluminatul trebuie pornit la 20:15.

Dar un senzor de lumină poate constata că la 20:15 nivelul natural de iluminare este încă suficient. Sistemul poate amâna pornirea sau poate porni iluminatul la o intensitate redusă. Prin urmare:

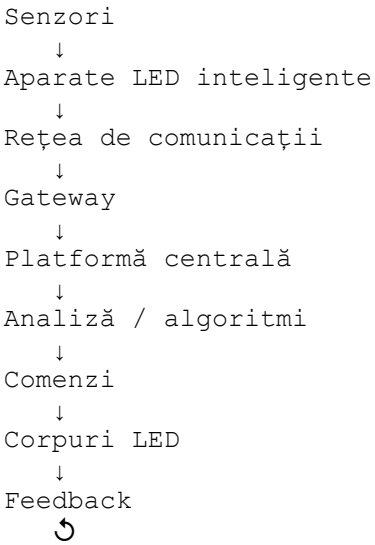
programul = predicție,
feedback-ul = verificarea realității.

7.6.7.17. Rolul reacției negative în infrastructura IoT

Într-un oraș inteligent, corpurile de iluminat pot deveni noduri ale unei infrastructuri IoT. Un aparat de iluminat poate furniza informații despre:

- consum;
- tensiune;
- curent;
- temperatură;
- starea driverului;
- nivelul de dimming;
- defecte;
- prezență;
- trafic.

Datele pot ajunge într-o platformă centrală:



Avem astfel o **buclă de control distribuită**, mult mai sofisticată decât un simplu temporizator.

7.6.7.18. Avantajele principale

În concluzie, rolul sistemelor cu reacție negativă în comanda iluminatului public inteligent poate fi sintetizat prin următoarele funcții:

1. **Menținerea nivelului dorit de iluminare.**
2. **Compensarea variațiilor condițiilor externe.**
3. **Adaptarea iluminării la trafic și prezență.**
4. **Reducerea consumului de energie.**
5. **Creșterea duratei de viață a echipamentelor prin evitarea funcționării inutile la putere maximă.**
6. **Detectarea anomaliilor și defectelor.**
7. **Realizarea mentenanței predictive.**
8. **Creșterea confortului și siguranței utilizatorilor.**
9. **Integrarea iluminatului într-o infrastructură IoT.**
10. **Automatizarea deciziilor de comandă.**
11. **Reducerea intervenției operatorului uman.**
12. **Adaptarea în timp real a instalației la condițiile efective.**

Ideea esențială

Putem privi întregul sistem astfel:

Această buclă este esența iluminatului public inteligent.

Un sistem fără reacție spune:

„Am dat comanda, deci presupun că rezultatul este corect.”

Un sistem cu reacție negativă spune:

„Am dat comanda, măsurăm rezultatul și modificăm comanda până când obținem condiția dorită.”

Iar într-un oraș inteligent, această capacitate de **a observa → analiza → corecta → verifica permanent** este ceea ce transformă un simplu sistem de iluminat într-un **sistem automatizat, adaptiv și eficient energetic**.

7.6.8. Utilizarea spectrului radio

Cadrul de reglementare

Echipamentele radio introduse pe piața Uniunii Europene respectă Directiva 2014/53/UE privind echipamentele radio, prin standardele armonizate aplicabile: SR EN 300 220 pentru dispozitivele sub 1 GHz, SR EN 300 328 pentru banda de 2,4 GHz, SR EN 301 893 pentru banda de 5 GHz și standardele din seria SR EN 301 908 pentru terminalele celulare. Condițiile de utilizare a benzilor exceptate de licență pentru dispozitivele cu rază mică de acțiune sunt armonizate prin Decizia 2006/771/CE a Comisiei, cu modificările ulterioare, și prin Recomandarea CEPT ERC/REC 70-03. În România, ANCOM aplică aceste condiții prin tabelul național de atribuire a benzilor de frecvențe și prin reglementările tehnice pentru interfețele radio.

Utilizarea fără licență se face pe principiul „fără interferențe și fără protecție": echipamentul nu are voie să perturbe alte servicii și nu beneficiază de protecție împotriva interferențelor. Rețeaua trebuie deci proiectată să tolereze interferențele, prin mecanismele descrise în 7.6.6.

Banda 863–870 MHz

Banda de 863–870 MHz este împărțită în sub-benzi cu limite diferite de putere și de ciclu de lucru, prezentate în figura 7.37. Respectarea sub-benzii și a ciclului de lucru este responsabilitatea echipamentului și a serverului de rețea.

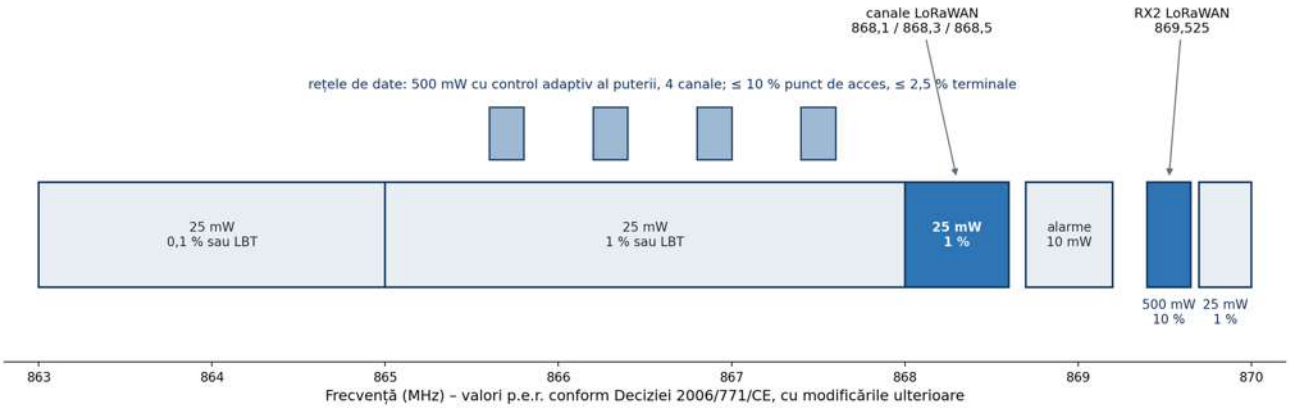


Figura 7.37 – Sub-benzile de 863–870 MHz pentru dispozitive cu rază mică de acțiune și canalele LoRaWAN uzuale

Sub-banda 865–868 MHz permite, pentru rețelele de date, puteri de până la 500 mW p.e.r. pe patru canale, cu control adaptiv al puterii, folosite de unele rețele mesh sub 1 GHz. Benzile 874–876 MHz și 915–921 MHz au fost deschise la nivel european pentru rețele de dispozitive, dar disponibilitatea lor depinde de fiecare stat membru și se verifică la ANCOM înainte de proiectare.

Alte benzi utilizate

Bandă	Regim	Limite principale	Utilizare
2400–2483,5 MHz	exceptată de licență	100 mW p.i.r.e. pentru transmisii de date de bandă largă, cu mecanisme de acces la canal	rețele mesh IEEE 802.15.4, Wi-Fi, Bluetooth
5150–5875 MHz	exceptată de licență, cu restricții	restricții pe sub-benzi pentru exterior, DFS și control al puterii (vezi 7.1.4)	Wi-Fi public, legături de transport
57–66 GHz	exceptată de licență	legături de bandă largă pe distanțe scurte	legături de transport de capacitate mare între stâlpi
Benzi IMT (700 MHz – 3,8 GHz)	licențiată operatorilor mobili	stabilite prin licențele operatorilor	NB-IoT, LTE-M, 4G, 5G

Bandă	Regim	Limite principale	Utilizare
Benzi pentru radioreleu (de exemplu 18, 23, 38, 80 GHz)	licență individuală ANCOM	coordonare și autorizare pentru fiecare legătură	legături de transport punct la punct de capacitate mare

Tabelul 7.43 – Benzi radio utilizate în iluminatul public și în orașul inteligent

Gestionarea spectrului în exploatare

Spectrul exceptat de licență este comun, iar ocuparea lui crește în timp. De aceea, operatorul rețelei urmărește în platformă indicatorii de calitate pe zone și pe canale, efectuează periodic scanări de spectru în zonele cu degradări, coordonează canalele cu ceilalți utilizatori din domeniul public al orașului, precum rețelele Wi-Fi ale primăriei și camerele de supraveghere, și păstrează evidența echipamentelor radio instalate pe infrastructura publică.

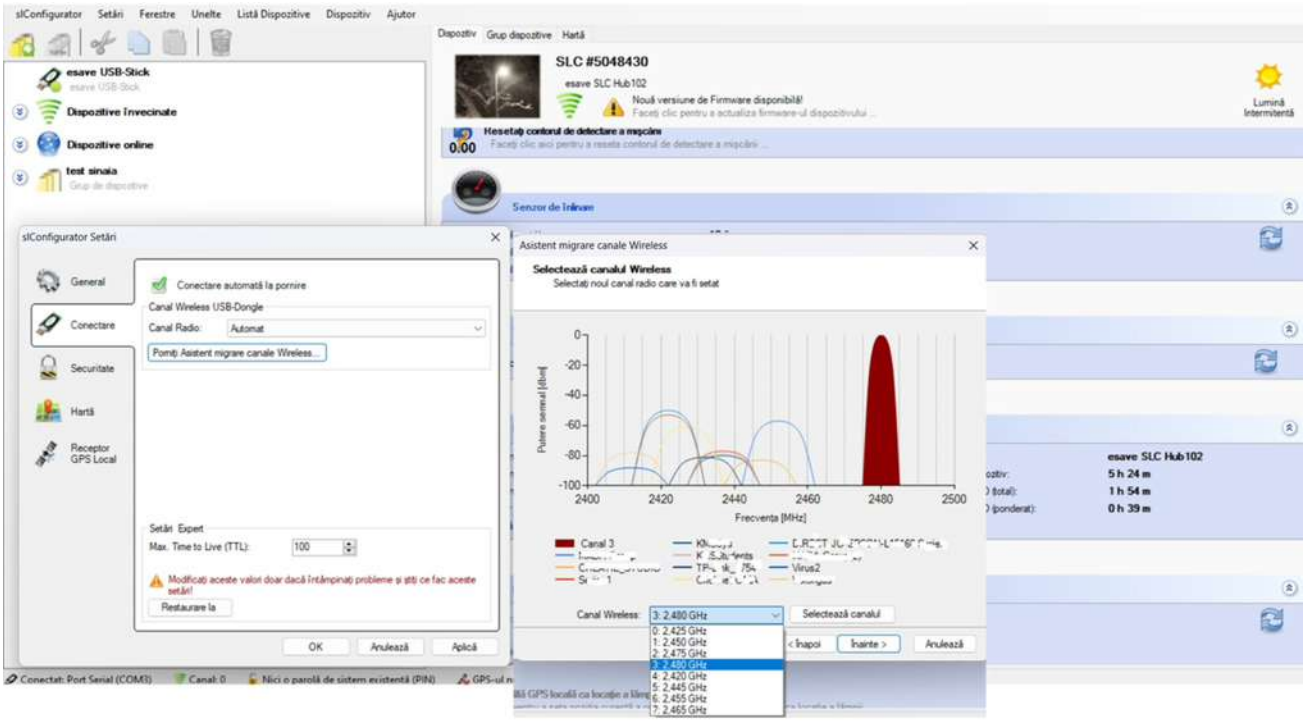


Figura 7.38 – Scanarea spectrului în banda de 2,4 GHz într-o zonă urbană, realizată cu instrumentul de configurare al rețelei

Recomandări

Rețeaua radio a orașului se proiectează pe zone: mesh 2,4 GHz cu gateway-uri în punctele de aprindere în zonele dense și periurbane, controlere LTE-M sau NB-IoT cu eSIM pentru aparatele izolate, LoRaWAN sau NB-IoT pentru senzorii pe baterie, iar pentru transport 4G/5G cu APN privat sau fibră optică. Planificarea se bazează pe buget de legătură, studiu în teren, iar indicatorii radio de la punerea în funcțiune devin referința monitorizării. Se aleg echipamente cu mecanisme de reacție negativă stabile și cu confirmarea execuției comenzilor.

Greșeli frecvente în proiectare și implementare

1. Proiectare pe baza hărților de acoperire ale operatorilor

Ce se întâmplă. Alegerea controlerelor celulare se face doar pe baza hărților publicate de operatori.

Consecința. În dulapuri metalice sau în zone umbrite semnalul este insuficient; controlerele lucrează la niveluri mari de extindere a acoperirii sau pierd conexiunea.

Cum se previne. Se măsoară RSRP, RSRQ și nivelul CE în amplasamentele reale, pentru fiecare operator, și se prevăd antene exterioare unde este necesar.

2. O singură tehnologie impusă pentru tot orașul

Ce se întâmplă. Documentația cere aceeași tehnologie de acces pentru toate zonele, indiferent de densitate.

Consecința. În zonele izolate se construiesc gateway-uri pentru câteva aparate, iar în zonele dense se plătesc abonamente pentru mii de aparate.

Cum se previne. Arhitectura se organizează pe zone, cu tehnologia potrivită fiecărei zone și aceeași platformă.

3. Gateway-uri LoRaWAN fără acoperire redundantă

Ce se întâmplă. Fiecare dispozitiv este recepționat de un singur gateway, amplasat la limită.

Consecința. La defectarea sau obstrucționarea gateway-ului, zona întreagă pierde comunicația; dispozitivele lucrează la factori de împrăștiere mari.

Cum se previne. Se planifică recepția fiecărui dispozitiv de cel puțin două gateway-uri și se verifică distribuția factorilor de împrăștiere.

4. Rezervă de fading insuficientă

Ce se întâmplă. Distanțele dintre noduri sau gateway-uri se stabilesc la limita bugetului de legătură.

Consecința. Legăturile funcționează la recepție, dar se întrerup la ploaie, în sezonul cu frunziș sau când trec vehicule înalte.

Cum se previne. Se prevede rezervă de 10–20 dB și se verifică indicatorii în condiții diferite de vreme și sezon.

5. Discontinuități ale rețelei mesh neverificate

Ce se întâmplă. Poduri, parcuri, intersecții largi sau cursuri de apă întrerup lanțul de stâlpi, dar planificarea nu le tratează separat.

Consecința. Porțiuni ale rețelei depind de o singură legătură lungă și instabilă.

Cum se previne. Discontinuitățile se identifică pe inventarul GIS și se tratează prin noduri de legătură, antene exterioare sau gateway-uri suplimentare.

6. Recepție fără indicatori radio de referință

Ce se întâmplă. Rețeaua se recepționează doar pe baza faptului că aparatele comunică.

Consecința. Legăturile fragile nu sunt identificate, iar degradările ulterioare nu pot fi comparate cu o stare inițială.

Cum se previne. La recepție se exportă și se arhivează, pentru fiecare dispozitiv, vecinii, calitatea legăturilor, salturile, PDR și nivelurile de semnal.

7. Comenzi fără confirmarea execuției

Ce se întâmplă. Platforma consideră comanda executată când mesajul a fost transmis.

Consecința. Aparatele care nu au primit sau nu au executat comanda rămân în starea anterioară, fără ca operatorul să afle.

Cum se previne. Se cere confirmarea stării reale după comandă, cu repetare automată și alarmă pentru aparatele care nu confirmă.

8. Bucle de adaptare instabile

Ce se întâmplă. Rutarea adaptivă sau controlul puterii reacționează la fiecare variație de semnal.

Consecința. Rutele și parametrii oscilează, traficul de control crește, iar latența devine imprevizibilă.

Cum se previne. Se verifică în pilot numărul de schimbări de rută și de parametri, iar producătorul configurează histerezisul și filtrarea.

9. Nerespectarea condițiilor de spectru

Ce se întâmplă. Se folosesc antene cu câștig mare sau puteri configurate peste limitele sub-benzii, pentru a crește bătaia.

Consecința. Echipamentul nu mai respectă condițiile de utilizare, produce interferențe și poate face obiectul controlului ANCOM.

Cum se previne. Puterea radiată totală, inclusiv câștigul antenei, se calculează și se configurează în limitele sub-benzii folosite.

10. Lipsa coordonării spectrului pe infrastructura publică

Ce se întâmplă. Diferite departamente și contractori instalează pe stâlpi echipamente Wi-Fi, camere și legături radio fără evidență comună.

Consecința. Apar interferențe în banda de 2,4 GHz, greu de localizat, care afectează telegestiunea.

Cum se previne. Beneficiarul ține evidența echipamentelor radio de pe infrastructura publică și coordonează canalele și puterile.

Concluzii

Rețeaua radio a unui oraș inteligent combină mai multe tehnologii, alese pe zone după densitatea infrastructurii și cerințele serviciilor, și legate prin rețele de transport fiabile de aceeași platformă. Calitatea rețelei se obține prin planificare bazată pe buget de legătură, verificată prin studii în teren, pilot și indicatori măsurați la recepție.

Mecanismele cu reacție negativă mențin legăturile fiabile într-un mediu radio variabil, iar confirmarea execuției comenzilor închide bucla la nivel de sistem. Utilizarea spectrului respectă condițiile armonizate europene și reglementările ANCOM, cu gestionarea activă a coexistenței pe infrastructura publică. Subcapitolul 7.7 prezintă controlul avansat și automatizarea adaptivă a iluminatului.

7.7. Control avansat și automatizare adaptivă *[Opriţescu C., Epure A., Ichim G.]*

Introducere

Telegestiunea permite ca iluminatul să nu mai funcționeze după un program fix, ci să se adapteze la nevoile reale ale utilizatorilor căilor de circulație: volumul de trafic, prezența pietonilor, condițiile meteo, evenimentele și situațiile de urgență. Adaptarea trebuie să rămână însă justificată luminotehnic, stabilă și sigură.

Subcapitolul prezintă profilurile de dimare corelate cu clasele de iluminat, nivelurile de comandă individual, grup și zonă, analiza predictivă, controlul în buclă închisă, sincronizarea profilurilor, scenariile de urgență și un studiu de caz. Soluțiile descrise sunt cele mai utilizate atât la nivel internațional, cât și în România. Senzorii și filtrarea evenimentelor false au fost prezentate în 6.4, controlul la nivel de circuit în 7.2, iar programele astronomice și prioritatea comenzilor în 7.5.

Termeni tehnici utilizați

Tabelul 7.44 explică termenii și acronimele utilizate în acest subcapitol. Termenii prezentați anterior nu mai sunt reluați.

Termen	Denumire completă	Explicație
Clasă de iluminat M / C / P	–	Clase definite de SR EN 13201-2: M pentru drumuri motorizate (luminanță), C pentru zone de conflict (iluminare), P pentru pietoni și zone cu viteză redusă (iluminare).
Luminanță medie menținută	Maintained average luminance ($\bar{L}$)	Luminanța medie a suprafeței drumului care trebuie asigurată pe toată durata de funcționare, în cd/m².
Factor de menținere	Maintenance factor (MF)	Raportul dintre fluxul la sfârșitul intervalului de mentenanță și fluxul inițial; proiectul se dimensionează pentru această valoare.
CLO	Constant Light Output	Funcție a driverului care reduce inițial puterea și o crește treptat, compensând deprecierea LED-urilor, astfel încât fluxul să rămână constant.
Comandă individuală	Unicast	Comandă adresată unui singur aparat.
Comandă de grup	Multicast / group command	Comandă adresată simultan tuturor aparatelor dintr-un grup definit.
Zonă	Zone	Ansamblu de grupuri sau aparate dintr-o suprafață geografică, comandat unitar pentru scenarii extinse.
Analiză predictivă	Predictive analytics	Estimarea valorilor viitoare, de exemplu a traficului, pe baza datelor istorice și a factorilor cunoscuți.

Termen	Denumire completă	Explicație
Buclă închisă	Closed-loop control	Comandă în care mărimea măsurată (trafic, prezență, luminanță) este folosită continuu pentru corectarea nivelului de iluminat.
Histerezis	Hysteresis	Diferența dintre pragul de creștere și pragul de revenire, care previne comutările repetate.
Timp minim de menținere	Minimum dwell time	Durata minimă în care un nivel se păstrează după o schimbare, indiferent de variațiile scurte ale mărimii măsurate.
Rampă	Fade time	Durata tranziției între două niveluri de iluminat, pentru ca schimbarea să nu fie percepută brusc.
Nivel de siguranță	Fail-safe level	Nivelul aplicat automat de controler la pierderea comunicației sau a datelor de la senzori.
Versiune de profil	Profile version	Identificatorul unic al unei configurații de profil, folosit pentru a verifica ce profil rulează efectiv pe fiecare aparat.

Tabelul 7.44 – Termeni și acronime

7.7.1. Profiluri de dimare

Corelarea cu clasele de iluminat

Un profil de dimare corect nu este o reducere arbitrară a fluxului, ci trecerea controlată între clase de iluminat justificate. CEN/TR 13201-1 stabilește alegerea clasei pe baza unor parametri precum viteza, volumul și compoziția traficului, intersecțiile, vehiculele parcate și luminanța mediului. Când unii parametri se modifică pe parcursul nopții, în principal volumul de trafic, clasa poate fi redusă pentru perioada respectivă. Figura 7.39 prezintă un profil tipic pentru o stradă proiectată în clasa M3.

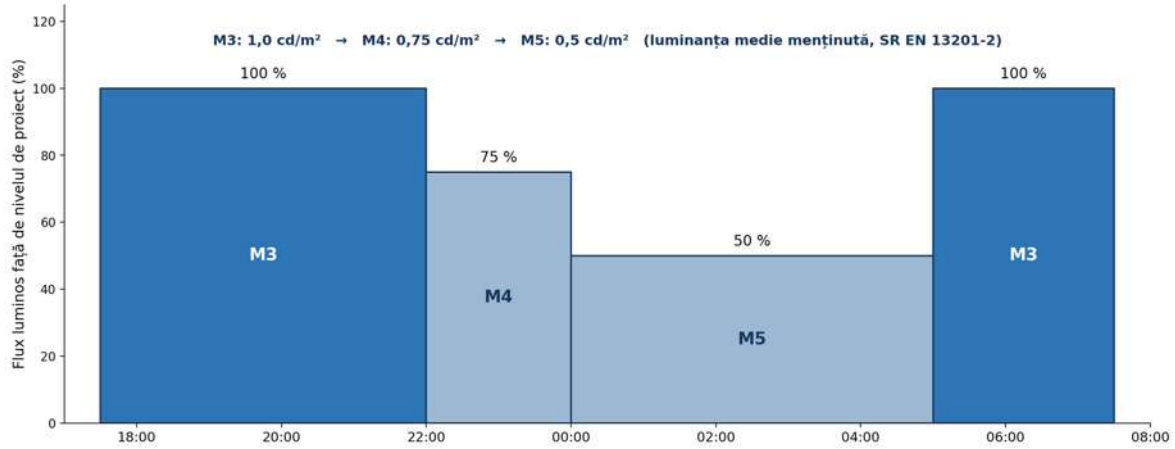


Figura 7.39 – Profil de dimare corelat cu clasele de iluminat SR EN 13201-2 (valori ilustrative)

Clasă	Luminanță medie menținută	Uniformitate generală U_0	Nivel față de M3 (orientativ)
M2	1,5 cd/m²	0,40	–
M3	1,0 cd/m²	0,40	100 %
M4	0,75 cd/m²	0,40	75 %
M5	0,5 cd/m²	0,35	50 %
M6	0,3 cd/m²	0,35	30 %

Tabelul 7.45 – Valori ale claselor M din SR EN 13201-2 și nivelurile de dimare corespunzătoare

Procentele din tabel sunt valabile doar dacă instalația realizează exact luminanța clasei de proiect. În practică, rezultatul calculului depășește de regulă valoarea minimă, iar nivelul de dimare se calculează din

luminanța efectiv proiectată: dacă strada realizează 1,2 cd/m² în loc de 1,0 cd/m², clasa M5 se obține la aproximativ 42 %, nu la 50 %. Dimarea uniformă a tuturor aparatelor păstrează uniformitățile, iar pragul de creștere a contrastului nu se înrăutățește.

Fluxul luminos constant (CLO)

Fluxul LED-urilor scade în timp, de aceea instalația se proiectează cu un factor de menținere, iar aparatele noi produc inițial mai multă lumină decât este necesar. Funcția CLO a driverului limitează puterea la începutul duratei de viață și o crește treptat, astfel încât fluxul să rămână la nivelul de proiect. Figura 7.40 ilustrează principiul și energia economisită.

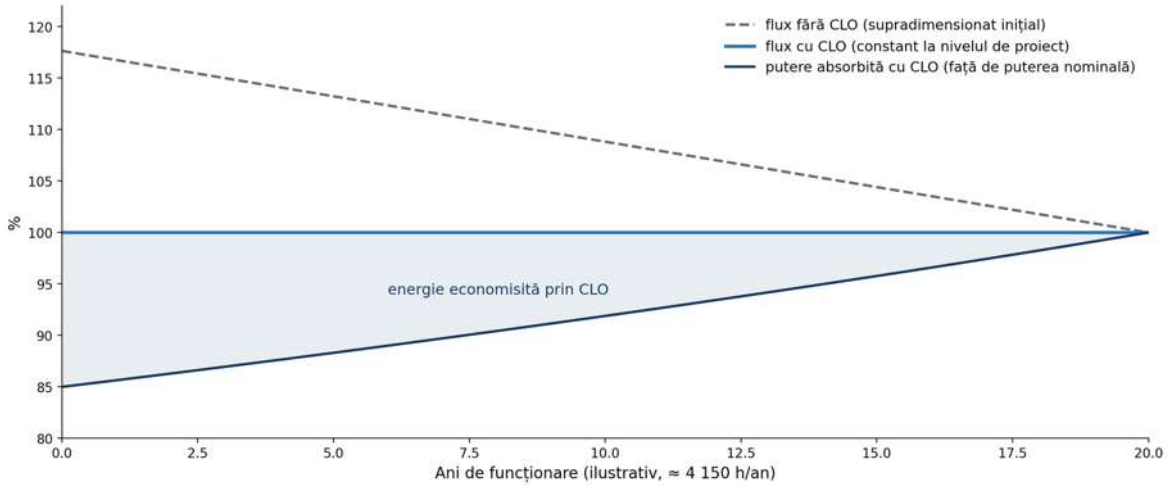


Figura 7.40 – Principiul fluxului luminos constant (valori ilustrative, factor de menținere 0,85)

CLO și profilurile de dimare se combină: profilul se exprimă față de nivelul de proiect, iar CLO asigură ca nivelul de proiect să corespundă aceluiași flux pe toată durata de viață. Curba de depreciere programată în driver trebuie să corespundă datelor producătorului LED-urilor, iar platforma trebuie să afișeze distinct nivelul comandat și puterea absorbită.

Tipuri de profiluri

Tip	Descriere	Utilizare
Profil fix pe perioade	niveluri stabilite pe intervale orare sau raportate la miezul nopții	majoritatea străzilor, cu trafic previzibil
Profil sezonier	niveluri diferite pe anotimpuri sau pe perioade turistice	stațiuni, zone comerciale, zone cu evenimente periodice
Profil calendaristic	profiluri distincte pentru zile lucrătoare, sfârșit de săptămână și sărbători	zone centrale și de agrement
Profil adaptiv	nivel de bază redus, crescut la detectarea prezenței sau a traficului	străzi rezidențiale, piste de biciclete, parcuri (vezi 6.4)
Profil în buclă închisă	clasa se stabilește continuu din traficul măsurat	artere cu trafic variabil și măsurare fiabilă

Tabelul 7.46 – Tipuri de profiluri de dimare

7.7.2. Controlul individual, de grup și de zonă

Controlul la nivel de aparat permite organizarea comenzilor pe trei niveluri, prezentate în figura 7.41. Aparatul individual este unitatea de bază; grupul reunește aparatele cu aceeași funcție luminotehnică, de exemplu o stradă sau o trecere de pietoni; zona reunește grupuri dintr-o suprafață geografică, pentru scenarii extinse.

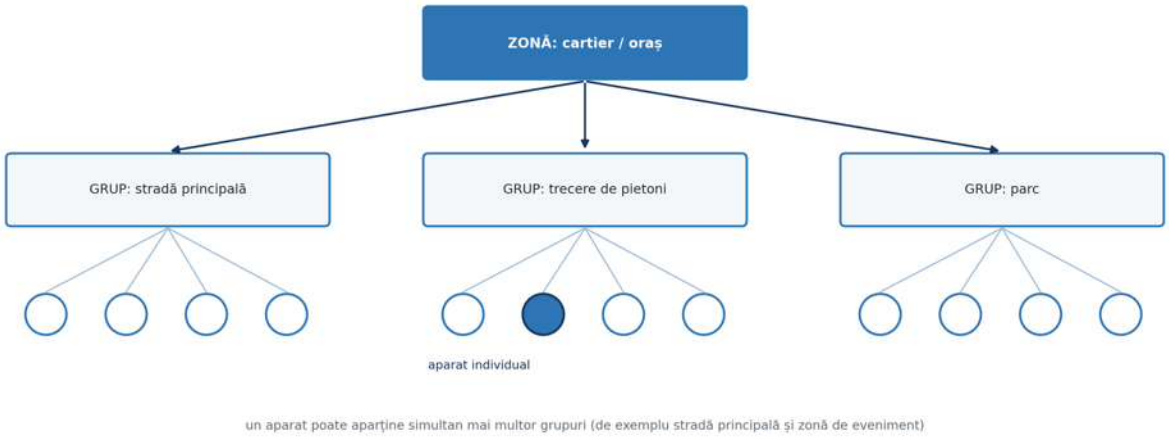


Figura 7.41 – Nivelurile de comandă: aparat, grup și zonă

Nivel	Exemple de utilizare	Reguli
Individual	trecere de pietoni, stâlp de lângă o intrare de clădire publică, testare, mentenanță	comandă temporară sau configurare permanentă documentată
Grup	profiluri pe străzi și categorii de căi de circulație, senzori care comandă aparatele din aval	grupurile se definesc după clasa de iluminat, nu după circuitul electric
Zonă	evenimente, situații de urgență, restricții de consum, piețe și zone pietonale	zonele se definesc pe hartă și pot suprapune grupuri

Tabelul 7.47 – Utilizarea nivelurilor de comandă

Un aparat poate aparține simultan mai multor grupuri și zone. Conflictele dintre comenzi se rezolvă prin ordinea de prioritate prezentată în 7.5.3. Grupurile se definesc de preferință direct în platformă, pe baza hărții GIS și a atributelor aparatelor, astfel încât modificările să nu necesite reconfigurarea în teren. În rețelele mesh, comenzile de grup se transmit ca mesaje multicast, mult mai eficient decât câte o comandă pentru fiecare aparat.

7.7.3. Analiza predictivă

Analiza predictivă folosește datele istorice ale sistemului pentru a anticipa nevoile de iluminat. În controlul adaptiv, principala mărime prognozată este traficul pe fiecare categorie de stradă, pe ore, zile ale săptămânii și sezoane. Pe baza prognozei se stabilesc profilurile, iar măsurările în timp real corectează deciziile atunci când realitatea diferă de prognoză, după cum arată figura 7.42.

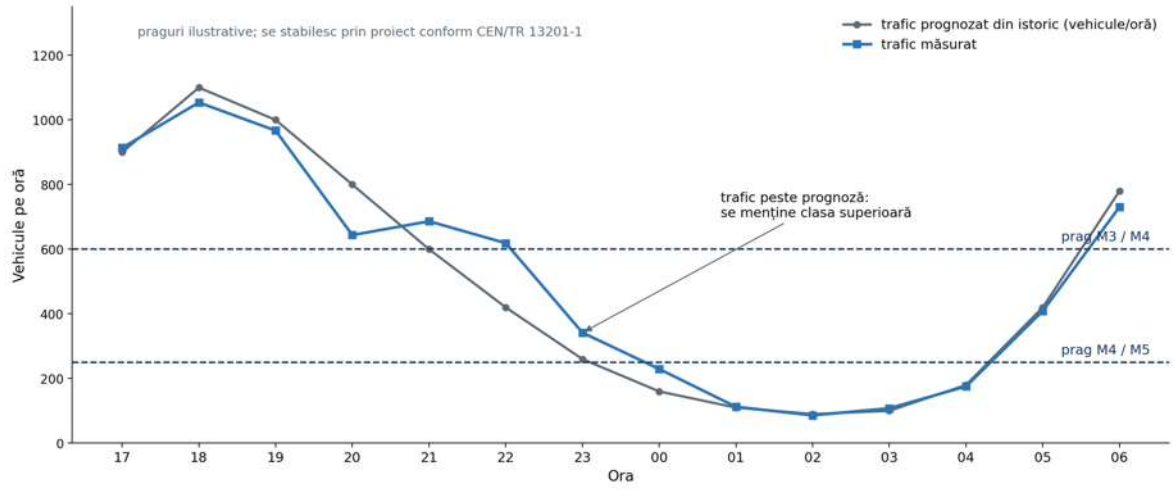


Figura 7.42 – Traficul prognozat și traficul măsurat, cu pragurile de schimbare a clasei (valori ilustrative)

Sursă de date	Aplicație
Senzori de prezență și numărătoare de trafic proprii	profiluri pe categorii de străzi, ajustate periodic după tiparele reale
Date de trafic ale orașului sau ale serviciilor de navigație	prognoza traficului pe artere fără senzori proprii
Calendar: sărbători, vacanțe, evenimente programate	profiluri calendaristice și sezoniere
Prognoze meteo	creșterea nivelului în condiții de ceață, ploaie abundentă sau ninsoare
Istoricul de funcționare și defecte	planificarea mentenanței (vezi 7.8.4)

Tabelul 7.48 – Surse de date și aplicații ale analizei predictive în controlul iluminatului

Metodele uzuale sunt, în ordinea complexității, profilurile medii pe ore și tipuri de zile, modelele statistice sezoniere și modelele de învățare automată. Indiferent de metodă, trei reguli rămân obligatorii: nivelul rezultat nu coboară sub clasa minimă justificată pentru perioada respectivă, deciziile modelului pot fi explicate și verificate, iar la lipsa datelor sistemul revine la profilul fix de proiect.

7.7.4. Controlul în buclă închisă

În controlul în buclă închisă, nivelul de iluminat este stabilit continuu din mărimea măsurată. Cel mai simplu exemplu este creșterea nivelului la detectarea prezenței, tratată în 6.4. La nivel de stradă sau de arteră, bucla folosește traficul măsurat pentru alegerea clasei, iar în tuneluri luminanța din zona de acces, măsurată de un luminanțmetru, pentru nivelul iluminatului de adaptare.

Stabilitatea buclei

O buclă de control prost reglată produce schimbări frecvente de nivel, deranjante pentru utilizatori și fără beneficiu energetic. Stabilitatea se obține prin histerezis între pragul de creștere și pragul de revenire, prin timp minim de menținere, prin filtrarea măsurărilor pe intervale de câteva minute și prin rampe de tranziție. Figura 7.43 prezintă efectul acestor mecanisme.

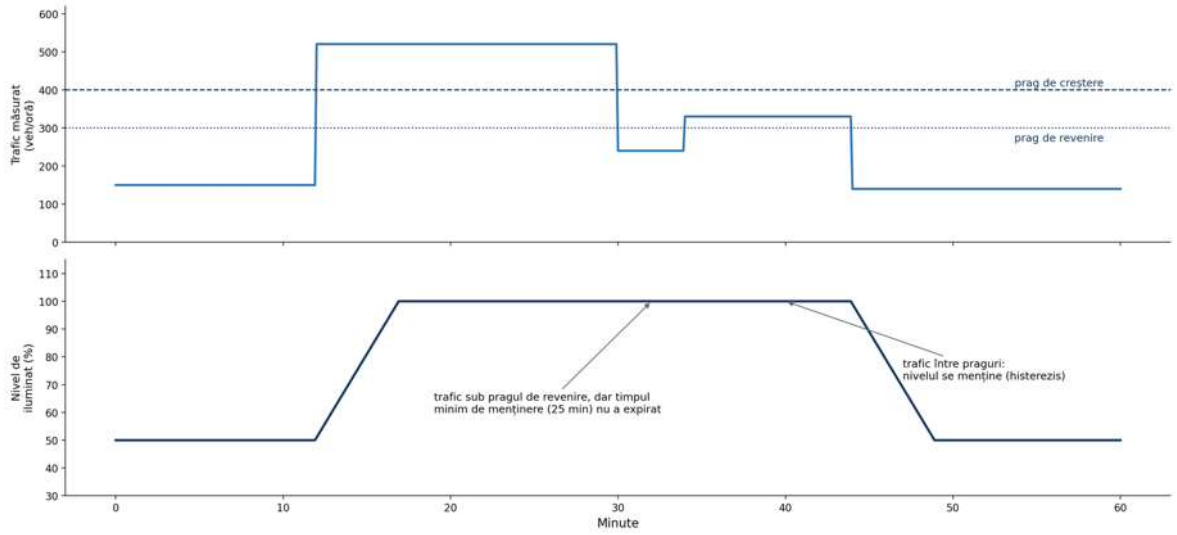


Figura 7.43 – Răspunsul buclei închise cu histerezis, timp minim de menținere și rampă (valori ilustrative)

Parametru	Rol	Recomandare
Praguri de creștere și revenire	stabilesc momentul schimbării clasei	calculate din criteriile CEN/TR 13201-1, cu histerezis între ele
Interval de filtrare	elimină variațiile foarte scurte ale traficului	de ordinul minutelor, adaptat tipului de senzor
Timp minim de menținere	împiedică revenirea imediată	de ordinul zecilor de minute la nivel de arteră

Parametru	Rol	Recomandare
Rampă de creștere și de scădere	tranziții imperceptibile	creșterea mai rapidă decât scăderea
Comportament la defectarea senzorului	siguranța utilizatorilor	trecerea la nivelul clasei superioare sau la profilul fix de proiect

Tabelul 7.49 – Parametrii controlului în buclă închisă

Creșterea nivelului se face întotdeauna mai rapid decât scăderea: întârzierea unei creșteri afectează siguranța, iar întârzierea unei scăderi afectează doar consumul. La pierderea datelor de la senzori, bucla nu presupune absența traficului, ci revine la nivelul sigur.

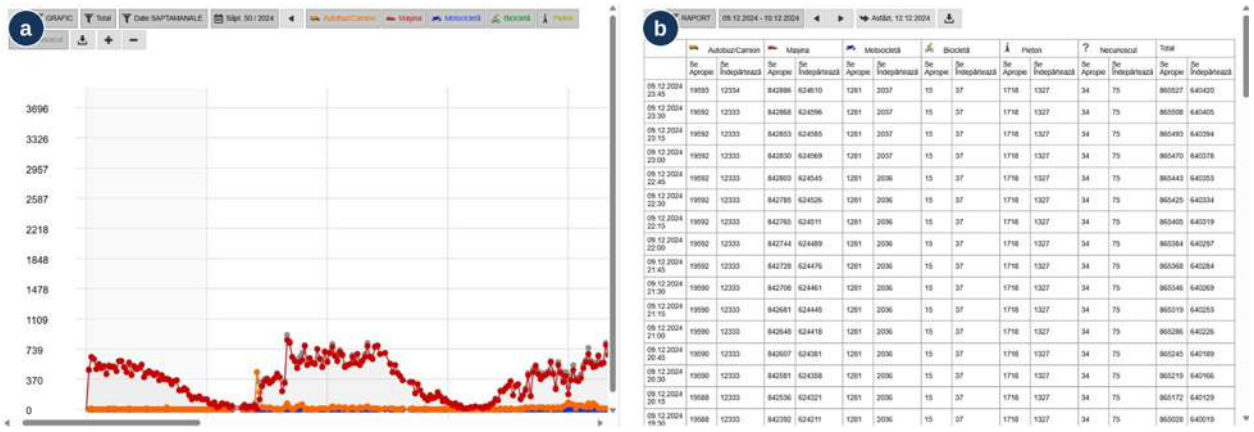


Figura 7.44 – Traficul măsurat pe parcursul unei nopți: (a) evoluția numărului de vehicule; (b) înregistrările pe categorii de vehicule

7.7.5. Sincronizarea profilurilor

Într-un sistem cu mii de aparate, profilurile rulează local în controlere. Sincronizarea înseamnă ca fiecare aparat să ruleze profilul corect, în versiunea corectă, la ora corectă, iar grupurile vecine să aibă tranziții coordonate.

Cerință	Realizare
Aceeași versiune de profil pe toate aparatele grupului	profiluri cu identificator de versiune; platforma afișează versiunea confirmată de fiecare controler
Distribuirea verificată	transmitere eșalonată, confirmare individuală, retransmitere automată și raport al aparatelor neactualizate
Aceeași oră pe toate controlerele	sincronizare NTP sau GNSS a gateway-urilor și distribuirea timpului către controlere (vezi 7.5.3)
Tranziții coordonate între grupuri vecine	aceleași momente de schimbare și aceleași rampe; diferențe limitate între clasele zonelor adiacente, conform CEN/TR 13201-1
Funcționare la pierderea comunicației	profilul complet memorat local, cu calendarul pe o perioadă suficientă
Trasabilitate	jurnal al modificărilor de profil: autor, dată, versiune, grupuri afectate

Tabelul 7.50 – Cerințe pentru sincronizarea profilurilor

Tranzițiile bruște de nivel între străzi alăturate sau între aparate consecutive de pe aceeași stradă creează zone de adaptare vizuală dificilă. Din acest motiv, grupurile care se succed pe traseul utilizatorului schimbă nivelul simultan, iar diferența dintre clasele zonelor adiacente se limitează. Același principiu se aplică iluminatului care însoțește pietonii sau bicicliștii detectați: aparatele din fața utilizatorului cresc nivelul înainte ca acesta să ajungă în zona lor.

7.7.6. Situații de urgență

Telegestiunea permite folosirea iluminatului public ca instrument în gestionarea situațiilor de urgență: iluminarea completă a traseelor de intervenție și evacuare, a zonelor afectate de accidente sau de fenomene meteo extreme. Scenariile se definesc din timp, împreună cu autoritățile locale și cu structurile pentru situații de urgență, și se corelează cu planurile locale de protecție civilă. Figura 7.45 prezintă fluxul de activare.

Figura 7.45 – Fluxul de activare a unui scenariu de urgență

Situație	Acțiune de iluminat	Observații
Accident sau incident pe o arteră	nivel maxim pe tronsonul afectat și pe accese	activare de către dispecerat la solicitarea poliției sau a ISU
Evacuare	nivel maxim pe traseele de evacuare și în punctele de adunare	trasee definite anticipat pe hartă
Vreme severă, ceață densă	nivel maxim sau clasă superioară în zonele afectate	declanșare pe baza avertizărilor meteo
Revenirea tensiunii după o întrerupere extinsă	reaprindere eșalonată și verificarea stării	evitarea supraîncărcării rețelei
Evenimente publice cu risc	nivel maxim în zonă pe durata evenimentului	programat și cu durată limitată

Tabelul 7.51 – Scenarii de urgență uzuale

Reguli pentru scenariile de urgență

- scenariile sunt predefinite, testate periodic și activabile printr-o singură acțiune;
- activarea este permisă doar rolurilor autorizate și este înregistrată cu motivul, autorul, zona și durata;
- scenariile de urgență au prioritate față de programe și de profilurile adaptive;
- execuția este confirmată prin starea reală a aparatelor, iar aparatele care nu confirmă sunt semnalate imediat;
- revenirea la program se face controlat, cu confirmarea încheierii situației;
- controlerele au configurat local un nivel de siguranță pentru pierderea comunicației.

7.7.7. Studiu de caz

Studiul de caz este ilustrativ și prezintă modul de aplicare a funcțiilor din acest subcapitol într-un oraș cu aproximativ 5 000 de aparate LED, putere medie de 45 W și aproximativ 4 150 de ore de funcționare pe an. Valorile vor fi înlocuite cu datele unui proiect implementat.

Soluția aplicată

- controlere Zhaga-D4i pe toate aparatele, rețea mesh 2,4 GHz cu gateway-uri în punctele de aprindere;
- CLO activat pe toate driverele, cu factor de menținere 0,85;

- profiluri pe grupuri, corelate cu clasele de iluminat: artere M3 → M4 → M5, străzi rezidențiale P3 → P5;
- senzori de prezență pe străzile rezidențiale și pe pistele de biciclete, pentru aproximativ 30 % din aparate, cu nivel de bază redus;
- trecerile de pietoni cu nivel constant și control individual;
- scenarii de urgență definite cu poliția locală și ISU, testate semestrial.

Rezultate

Figura 7.46 prezintă contribuția fiecărei măsuri la reducerea consumului anual față de aceleași aparate LED fără control.

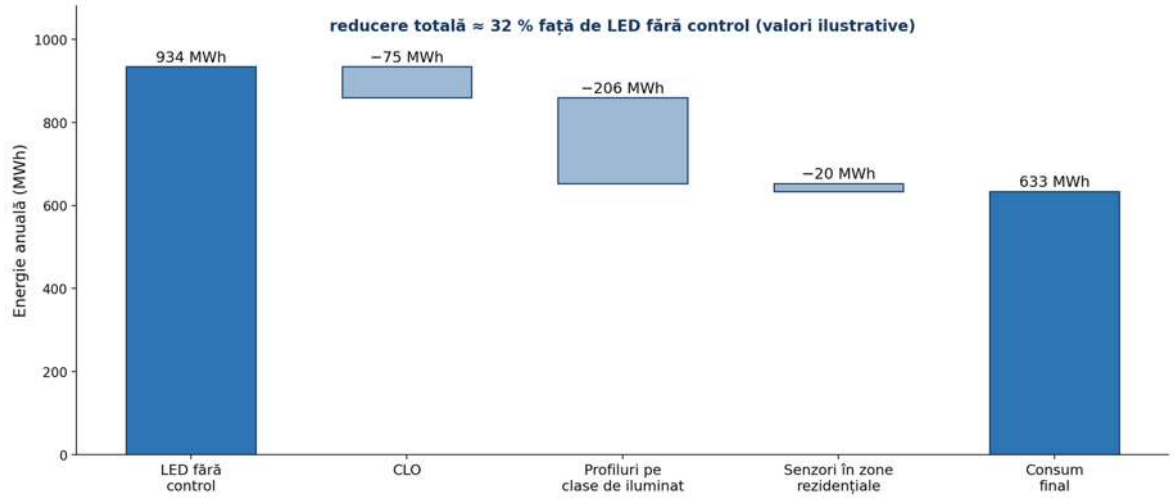


Figura 7.46 – Contribuția măsurilor de control la reducerea consumului anual (valori ilustrative)

Indicator	Valoare
Consum anual LED fără control	≈ 934 MWh
Consum anual cu CLO, profiluri și senzori	≈ 633 MWh
Reducere față de LED fără control	≈ 32 %
Aparate cu profil confirmat în versiunea curentă	> 99 %
Timp de activare a unui scenariu de urgență pe o zonă	de ordinul secundelor
Nivel minim aplicat	nu sub clasa justificată pentru fiecare perioadă

Tabelul 7.52 – Indicatori ai studiului de caz (valori ilustrative)

Cea mai mare contribuție provine din profilurile corelate cu clasele de iluminat, urmată de CLO. Senzorii aduc o economie mai mică la nivelul orașului, dar îmbunătățesc confortul și siguranța pe străzile unde traficul nocturn este rar. Studiul de caz pentru automatizarea punctelor de aprindere este prezentat în 6.6.7.

Recomandări

Profilurile de dimare se stabilesc prin proiectul de iluminat, pe clase de iluminat și pe grupuri definite după funcția luminotehnică, cu nivelurile calculate din luminanța efectiv proiectată și cu CLO activat. Controlul adaptiv și în buclă închisă se aplică acolo unde există măsurări fiabile, cu histerezis, timp minim de menținere, rampe și revenire la nivelul sigur. Versiunile profilurilor se confirmă pentru fiecare aparat, iar scenariile de urgență se definesc și se testează împreună cu autoritățile.

Greșeli frecvente în proiectare și implementare

1. Niveluri de dimare alese fără calcul luminotehnic

Ce se întâmplă. Se aplică procente standard, de exemplu 50 % după miezul nopții, fără legătură cu clasele de iluminat.

Consecința. Pe unele străzi nivelul coboară sub clasa necesară, pe altele economia posibilă nu este valorificată; profilurile nu pot fi justificate.

Cum se previne. Nivelurile se calculează din luminanța sau iluminarea efectiv proiectată pentru fiecare clasă și perioadă.

2. CLO neactivat sau necorelat

Ce se întâmplă. Driverele sunt livrate fără CLO sau cu o curbă de depreciere care nu corespunde LED-urilor folosite.

Consecința. Aparatele consumă inutil în primii ani sau, la curbă greșită, nivelul scade sub proiect înainte de sfârșitul intervalului de mentenanță.

Cum se previne. Se cere CLO programat pe baza datelor producătorului, verificat la recepție pe un eșantion de aparate.

3. Grupuri definite după circuitul electric

Ce se întâmplă. Grupurile de comandă copiază circuitele punctelor de aprindere.

Consecința. Aparate cu clase diferite primesc același profil, iar avantajul controlului la nivel de aparat se pierde.

Cum se previne. Grupurile se definesc după funcția luminotehnică și pe harta GIS, independent de circuite.

4. Model predictiv fără limite de siguranță

Ce se întâmplă. Nivelul rezultat din model este aplicat direct, fără verificarea clasei minime.

Consecința. Erori de date sau de model reduc iluminatul sub valorile justificate, cu risc pentru siguranță.

Cum se previne. Deciziile modelului sunt limitate de clasa minimă, iar la date lipsă sistemul revine la profilul fix.

5. Buclă închisă fără histerezis și timp de menținere

Ce se întâmplă. Nivelul urmează direct fiecare variație a traficului măsurat.

Consecința. Iluminatul crește și scade la câteva minute, fiind perceput ca defect și reducând încrederea utilizatorilor.

Cum se previne. Se configurează histerezis, filtrare, timp minim de menținere și rampe, verificate în pilot.

6. Senzor defect interpretat ca lipsă a traficului

Ce se întâmplă. La pierderea datelor de la senzor, sistemul menține nivelul redus.

Consecința. Strada rămâne subiluminată exact când traficul poate fi prezent.

Cum se previne. La pierderea datelor, bucla trece automat la nivelul clasei superioare sau la profilul fix de proiect.

7. Profiluri distribuite fără confirmare

Ce se întâmplă. Platforma trimite profilul nou și presupune că toate aparatele l-au primit.

Consecința. Pe aceeași stradă rulează versiuni diferite, cu niveluri diferite între aparate vecine.

Cum se previne. Se folosesc versiuni de profil, confirmare individuală și raport al aparatelor neactualizate.

8. Tranziții necoordonate între zone vecine

Ce se întâmplă. Grupurile alăturate își schimbă nivelul la ore diferite sau cu diferențe mari de clasă.

Consecința. Utilizatorii trec din zone luminoase în zone întunecate, cu dificultăți de adaptare vizuală.

Cum se previne. Momentele de schimbare și rampele se coordonează, iar diferențele dintre clasele zonelor adiacente se limitează.

9. Scenarii de urgență neexersate

Ce se întâmplă. Scenariile sunt configurate la punerea în funcțiune, dar nu sunt testate.

Consecința. În situația reală, grupurile sunt incomplete, drepturile de activare lipsesc sau operatorii nu cunosc procedura.

Cum se previne. Scenariile se testează periodic, împreună cu autoritățile, iar rezultatele testelor se documentează.

10. Economii raportate fără referință măsurată

Ce se întâmplă. Economiile controlului adaptiv se raportează pe baza profilurilor teoretice.

Consecința. Rezultatele nu pot fi verificate în contracte de performanță sau în audituri.

Cum se previne. Economiile se calculează din energia măsurată, față de o referință stabilită și documentată (vezi 7.11).

Concluzii

Controlul avansat transformă iluminatul public într-un sistem care se adaptează nevoilor reale, cu economii importante și cu menținerea siguranței. Baza lui o constituie profilurile corelate cu clasele de iluminat și CLO, completate de controlul adaptiv, analiza predictivă și bucla închisă acolo unde datele sunt fiabile.

Stabilitatea, sincronizarea și comportamentul sigur la pierderea datelor sunt la fel de importante ca economia de energie. Scenariile de urgență extind rolul iluminatului în siguranța publică. Subcapitolul 7.8 prezintă monitorizarea și diagnoza sistemelor de iluminat inteligent.

7.8. Monitorizare și diagnoză *[Oprițescu C., Epure A., Ichim G.]*

Introducere

Monitorizarea transformă fiecare aparat și fiecare punct de aprindere într-o sursă de informații despre starea instalației. Diagnoza folosește aceste informații pentru a localiza defectele, a identifica cauzele și a anticipa intervențiile. Împreună, ele permit trecerea de la mentenanța bazată pe sesizări și patrulare la mentenanța bazată pe date.

Subcapitolul prezintă parametrii monitorizați la nivel de aparat și de circuit, alarmele și actualizările de firmware, mentenanța predictivă, rapoartele și indicatorii de performanță, precum și integrarea cu GIS în activitatea de mentenanță. Soluțiile descrise sunt cele mai utilizate atât la nivel internațional, cât și în România. Interfața D4i a fost prezentată în 6.6, detectarea anomaliilor pe circuit în 7.2, iar managementul alarmelor în 7.5.

Termeni tehnici utilizați

Tabelul 7.53 explică termenii și acronimele utilizate în acest subcapitol. Termenii prezentați anterior nu mai sunt reluați.

Termen	Denumire completă	Explicație
Monitorizare	Monitoring	Colectarea continuă a măsurărilor și a stărilor echipamentelor.
Diagnoză	Diagnostics	Interpretarea datelor pentru a identifica defectul, localizarea și cauza probabilă.
Bancă de memorie	Memory bank	Zonă de date standardizată a driverului DALI, în care se păstrează informații despre aparat, energie și diagnoză.
Mentenanță corectivă	Corrective maintenance	Intervenție după apariția defectului.
Mentenanță preventivă	Preventive maintenance	Intervenții programate la intervale fixe, indiferent de starea echipamentului.
Mentenanță pe baza stării	Condition-based maintenance	Intervenție declanșată când un parametru măsurat depășește un prag.
Mentenanță predictivă	Predictive maintenance	Intervenție planificată pe baza tendințelor și a estimării momentului probabil al defectului.
Durată de viață L/B	Lxx Byy	Durata după care fluxul scade la xx % din valoarea inițială pentru yy % din LED-uri; de exemplu L80B10.
OTA	Over-The-Air	Actualizarea software-ului echipamentelor prin rețeaua de comunicație.

Termen	Denumire completă	Explicație
Imagine firmware dublă	Dual image / A-B update	Păstrarea versiunii anterioare de firmware, pentru revenire automată dacă noua versiune nu pornește corect.
Disponibilitate	Availability	Procentul din timpul programat în care aparatele funcționează conform comenzii.
MTTR	Mean Time To Repair	Timpul mediu dintre semnalarea unui defect și remedierea lui.
MTBF	Mean Time Between Failures	Timpul mediu de funcționare între două defecte ale aceluiași tip de echipament.
KPI	Key Performance Indicator	Indicator cheie de performanță, măsurabil, folosit pentru evaluarea serviciului.
SLA	Service Level Agreement	Nivelul de serviciu convenit contractual, de exemplu timpul maxim de remediere.
Ordin de lucru	Work order	Document, de regulă electronic, care descrie intervenția, locul, echipa și materialele necesare.

Tabelul 7.53 – Termeni și acronime

7.8.1. Parametri monitorizați la nivel de aparat

La aparatele echipate cu driver D4i și controler Zhaga-D4i, datele provin din trei surse: driverul, care păstrează în băncile de memorie datele despre aparat, energie și diagnoză; modulul LED, prin informațiile raportate de driver; controlerul, care adaugă date despre comunicație, funcționarea proprie și senzorii integrați. Figura 7.47 prezintă traseul datelor.

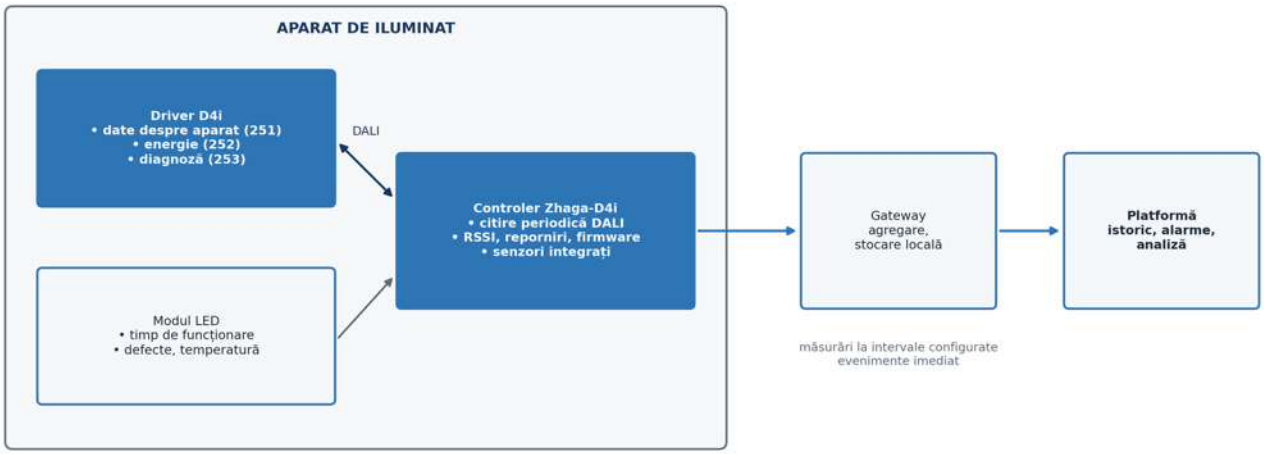


Figura 7.47 – Sursele și traseul datelor de monitorizare la nivel de aparat

Categorie	Parametri	Utilizare
Date despre aparat (D4i, partea 251)	cod de produs GTIN, an de fabricație, flux nominal, temperatura de culoare, putere nominală	completarea automată a inventarului
Energie (D4i, partea 252)	putere activă și aparentă, factor de putere, energie cumulată, tensiune, curent	consum pe aparat, verificarea dimării, raportare
Diagnoză driver (D4i, partea 253)	timp de funcționare, număr de porniri, temperatură curentă și maximă, evenimente de supratemperatură, defecte de alimentare	diagnoză, mentenanță predictivă
Diagnoză sursă de lumină	timp de funcționare, defecte de circuit deschis sau scurtcircuit, timp în reducere termică	detectarea defectelor LED, evaluarea condițiilor termice
Controler	stare, nivel comandat și nivel efectiv, versiune firmware, reporniri, RSSI, vecini, salturi	diagnoza comunicației, verificarea configurației

Categorie	Parametri	Utilizare
Senzori integrați	detecții de prezență, lumină ambiantă, înclinare, temperatură	control adaptiv, detectarea loviturilor sau a înclinării stâlpului

Tabelul 7.54 – Parametri monitorizați la nivel de aparat

Frecvența de citire și volumul datelor

Frecvența de citire se stabilește pe categorii: stările și evenimentele se transmit imediat, măsurările electrice la intervale de ordinul a 15–60 de minute, iar datele despre aparat la punerea în funcțiune și după intervenții. Volumul crește rapid: 10 000 de aparate cu 12 parametri citiți la 15 minute produc peste 11 milioane de valori pe zi. De aceea, gateway-ul agregă datele, platforma păstrează detaliile pe o perioadă limitată și valori agregate pe termen lung, iar rețeaua se dimensionează pentru acest trafic (vezi 7.1 și 7.6).

Figura 7.48 – Datele de funcționare ale unui aparat: data punerii în funcțiune, timpul de funcționare al dispozitivului și al modulului LED și durata de viață rămasă estimată

7.8.2. Parametri monitorizați la nivel de circuit și de punct de aprindere

Controlerul punctului de aprindere măsoară parametrii electrici ai fiecărui circuit și starea echipamentelor din dulap. Principiile detectării anomaliilor pe circuit au fost prezentate în 7.2.3; aici se detaliază parametrii și corelarea cu datele de la aparate.

Categorie	Parametri	Utilizare
Alimentare	tensiuni pe faze, frecvență, goluri și întreruperi de tensiune	calitatea alimentării, corelarea defectelor cu evenimentele din rețea
Circuite	curenți pe faze și în neutru, putere activă și reactivă, factor de putere, distorsiune armonică, energie	consum, dezechilibre, supraîncărcarea neutrului
Protecții	stare întrerupătoare, protecție diferențială, descărcătoare de supratensiune	alarme de declanșare, înlocuirea descărcătoarelor uzate
Comandă	starea contactoarelor (confirmare), poziția comutatorului M – 0 – A	detectarea contactelor sudate și a modului manual uitat
Dulap	ușă, temperatură, umiditate, inundare, înclinare	securitate, condiții de mediu, vandalism
Contorizare	indexuri ale contorului de decontare, dacă este accesibil	reconcilierea cu facturile (vezi 7.5.4)

Tabelul 7.55 – Parametri monitorizați la nivel de circuit și de punct de aprindere

Corelarea datelor de la aparate cu măsurarea pe circuit

Când aparatele raportează energia proprie, suma energiilor aparatelor se poate compara cu energia măsurată pe circuit. Diferența normală reprezintă pierderile în cabluri și consumul echipamentelor punctului de aprindere, de ordinul câtorva procente. O creștere persistentă a diferenței indică un consum neautorizat racordat la circuit, un defect de izolație sau o eroare de măsurare, după cum arată figura 7.49. Această corelare nu este posibilă în controlul la nivel de circuit și este una dintre cele mai eficiente metode de detectare a branșamentelor neautorizate.

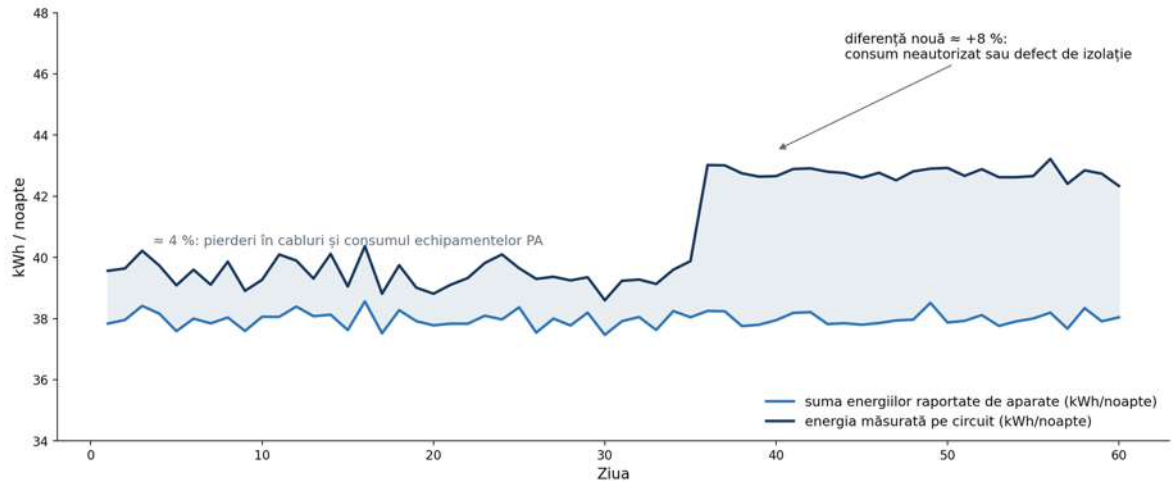


Figura 7.49 – Corelarea energiei raportate de aparate cu energia măsurată pe circuit (valori ilustrative)

7.8.3. Alarme și actualizări

Catalogul de alarme

Alarmele se definesc într-un catalog unic al sistemului, cu categorie, prioritate, condiție de declanșare, întârziere și acțiune recomandată. Regulile de management al alarmelor au fost prezentate în 7.5.2. Tabelul 7.56 prezintă categoriile uzuale.

Categorie	Exemple	Acțiune tipică
Defect aparat	LED defect, driver defect, supratemperatură, putere anormală pentru nivelul comandat	ordin de lucru pentru înlocuire sau verificare
Comunicație	controler fără comunicație, gateway deconectat, calitate slabă a legăturii	verificare de la distanță, apoi intervenție
Electric	lipsă tensiune, protecție declanșată, curent de fugă, dezechilibru, consum neautorizat	intervenție electrică, după caz de urgență
Funcționare	aparat aprins ziua, aparat stins noaptea, nivel diferit de cel comandat	verificarea configurației și a comenzii
Securitate fizică	ușă PA deschisă, înclinarea stâlpului sau a aparatului, lovire	verificare în teren, sesizare către poliție
Configurare	versiune de profil sau de firmware diferită de cea așteptată, ceas nesincronizat	redistribuire, verificare

Tabelul 7.56 – Categorii de alarme în monitorizarea iluminatului

Actualizările de firmware

Firmware-ul controlerelor, gateway-urilor și, în unele cazuri, al driverelor se actualizează pe toată durata de exploatare, pentru corectarea erorilor, funcții noi și, mai ales, remedierea vulnerabilităților de securitate. Regulamentul (UE) 2024/2847 privind reziliența cibernetică impune producătorilor gestionarea vulnerabilităților pe perioada de suport declarată, iar obligațiile de raportare a vulnerabilităților exploatate activ se aplică din 11 septembrie 2026 (vezi 7.9).

Actualizarea unui sistem cu mii de echipamente este o operație cu risc. Se face în etape: testare în laborator, pilot pe un procent mic de echipamente, apoi valuri succesive, cu verificarea rezultatelor după fiecare val. Figura 7.50 ilustrează procesul.

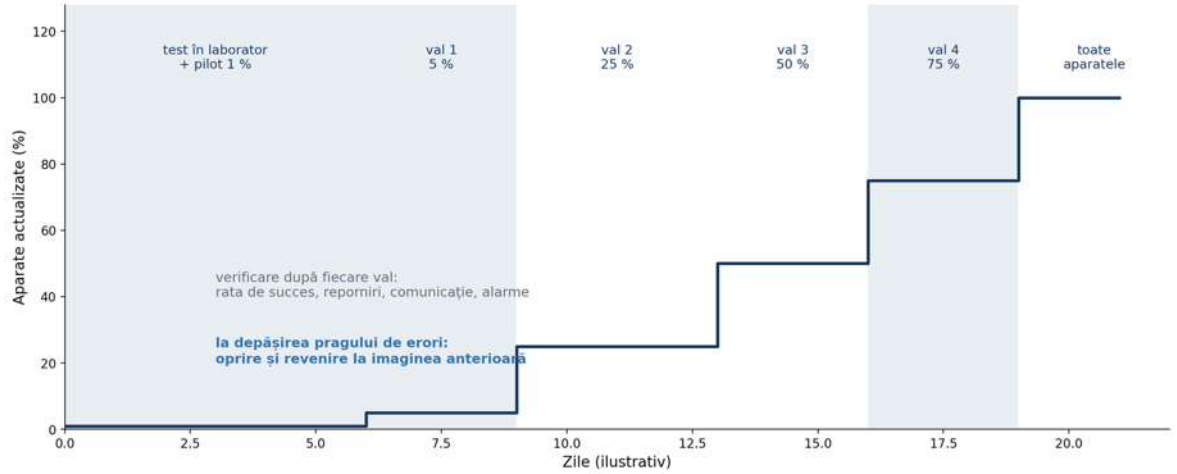


Figura 7.50 – Actualizarea firmware-ului în valuri succesive (valori ilustrative)

Cerință	Motiv
Firmware semnat digital și verificat de echipament înainte de instalare	împiedică instalarea unui firmware modificat
Imagine dublă cu revenire automată	echipamentul rămâne funcțional dacă noua versiune nu pornește
Actualizare în valuri, cu praguri de oprire	limitează efectul unei erori la un număr mic de aparate
Programare în afara orelor de funcționare sau fără afectarea iluminatului	evită stingerea aparatelor noaptea
Raport pe fiecare echipament: versiune, rezultat, dată	evidența configurației și conformitatea cu cerințele de securitate
Note de versiune și perioadă de suport declarată	beneficiarul știe ce se schimbă și până când primește actualizări

Tabelul 7.57 – Cerințe pentru actualizările de firmware

7.8.4. Mentenanța predictivă

Mentenanța iluminatului public evoluează în patru trepte, prezentate în figura 7.51. Fără telegestiune, mentenanța este corectivă sau preventivă. Telegestiunea permite mentenanța pe baza stării, prin alarme, iar datele istorice acumulate permit mentenanța predictivă.

Figura 7.51 – Treptele de evoluție ale strategiei de mentenanță

Indicatori predictivi

Indicator	Ce indică	Acțiune
Creșterea puterii absorbite cu CLO spre limita de compensare	deprecierea LED-urilor apropiată de sfârșitul duratei de viață utile	planificarea înlocuirii modulului sau a aparatului
Creșterea temperaturii maxime a driverului	degradarea disipării termice, murdărire, defect de etanșare	curățare, verificare, înlocuire preventivă a driverului
Timp crescut în reducere termică	funcționare în condiții termice nefavorabile	verificarea aparatului și a condițiilor de montaj
Scăderea factorului de putere sau creșterea armonicilor	îmbătrânirea componentelor driverului	înlocuire programată
Număr crescut de reporniri ale controlerului	probleme de alimentare, defect incipient	verificarea alimentării, înlocuire
Scăderea RSSI sau a numărului de vecini	obstacole noi, vegetație, degradarea antenei	tăierea vegetației, verificarea antenei
Evenimente repetate de supratensiune	expunere la supratensiuni, protecție uzată	verificarea descărcătoarelor din aparat și din PA

Tabelul 7.58 – Indicatori utilizați în mentenanța predictivă

Figura 7.52 ilustrează un exemplu: puterea absorbită de un aparat cu CLO crește treptat până la limita de compensare, iar temperatura driverului crește peste pragul de atenție. Intervenția se planifică înaintea scăderii fluxului sub nivelul de proiect și poate fi grupată cu alte intervenții din aceeași zonă.

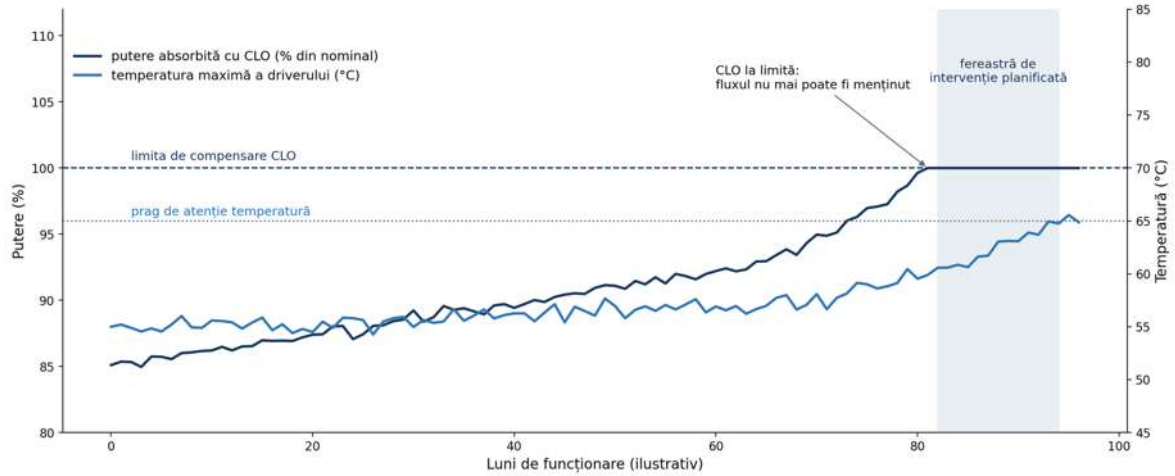


Figura 7.52 – Exemplu de indicatori predictivi: puterea cu CLO și temperatura driverului (valori ilustrative)

Valoarea mentenanței predictive crește cu numărul de aparate și cu durata istoricului. Analizele pe populații de aparate de același tip permit estimarea ratelor de defectare și compararea cu datele producătorului, precum durata de viață L80B10 sau L90B50. Rezultatele sunt folosite pentru planificarea bugetului de mentenanță și pentru reclamațiile în garanție.

7.8.5. Rapoarte și indicatori de performanță

Rapoartele transformă datele de monitorizare în informații pentru decizie. Ele se adresează unor destinatari diferiți: dispeceratul și echipele de intervenție, inginerii de exploatare, conducerea beneficiarului și, în contractele de performanță, părțile contractuale.

Indicator	Definiție	Utilizare
Disponibilitatea iluminatului	ore-aparat funcționale conform comenzii / ore-aparat programate × 100	calitatea serviciului, clauze contractuale
Disponibilitatea comunicației	procentul echipamentelor care au comunicat în intervalul configurat	calitatea rețelei de telegestiune

Indicator	Definiție	Utilizare
Timp mediu de remediere (MTTR)	media duratelor dintre alarmă și confirmarea remedierii	performanța mentenanței, SLA
Rata anuală a defectelor	numărul de defecte pe tip de echipament / numărul de echipamente × 100	calitatea echipamentelor, garanții
Consum specific	kWh pe aparat pe an sau kWh pe kilometru de stradă	comparații între zone și cu alte localități
Economie față de referință	energia de referință minus energia măsurată, în kWh și %	raportare energetică, contracte de performanță (vezi 7.11)
Conformitatea profilurilor	procentul aparatelor care rulează profilul și versiunea corecte	controlul configurației
Ordine de lucru în SLA	procentul intervențiilor finalizate în termenul contractual	evaluarea furnizorului de mentenanță

Tabelul 7.59 – Indicatori de performanță pentru iluminatul public monitorizat

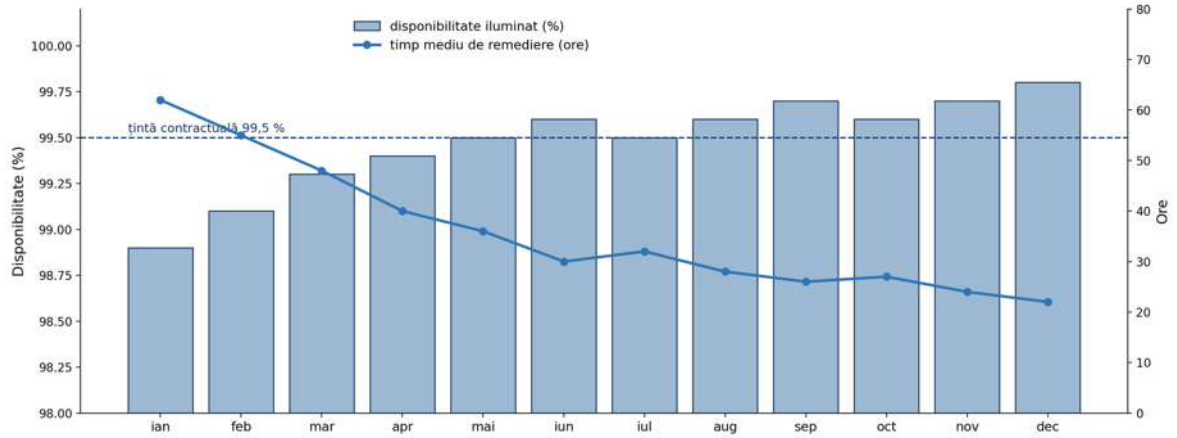


Figura 7.53 – Evoluția lunară a disponibilității iluminatului și a timpului mediu de remediere (valori ilustrative)

Raport	Frecvență	Destinatar	Conținut principal
Operativ	zilnic	dispecerat, echipe	defecte active, intervenții deschise, aparate fără comunicație
Tehnic	lunar	inginer de exploatare	indicatori, tendințe, defecte repetate, actualizări, starea rețelei
Energetic	lunar și anual	responsabil energetic, conducere	consum, economii, reconciliere cu facturile, emisii evitate
Contractual	conform contractului	beneficiar și furnizor	indicatori de nivel de serviciu, penalități sau bonusuri
Managerial	anual	conducerea autorității locale	sinteză, investiții necesare, planul de mentenanță

Tabelul 7.60 – Tipuri de rapoarte

7.8.6. GIS și mentenanța

Sistemul de informații geografice este suportul comun al monitorizării și al mentenanței: fiecare alarmă, ordin de lucru și intervenție este legată de un obiect cu poziție și atribute. Calitatea diagnozei depinde direct de calitatea inventarului GIS.

Obiect	Atribute principale
Punct de aprindere	cod, poziție, loc de consum, contor, circuite, echipamente, fotografii
Circuit	cod, punct de aprindere, traseu, tip și secțiune cablu, lungime
Stâlp	cod, poziție, tip, înălțime, material, stare, proprietar, echipamente suplimentare

Obiect	Atribute principale
Aparat	cod, stâlp, tip, putere, flux, temperatură de culoare, data montajului, garanție
Driver și controler	cod de produs, număr de serie, versiune firmware, date de configurare
Intervenție	dată, echipă, cauză, materiale, fotografii, rezultat confirmat prin date

Tabelul 7.61 – Modelul de date GIS pentru mentenanța iluminatului

Fluxul mentenanței bazate pe date

Figura 7.54 prezintă ciclul complet. Alarma sau prognoza generează automat ordinul de lucru, echipa primește în aplicația mobilă poziția, istoricul și materialele necesare, iar după intervenție inventarul se actualizează în teren. Ordinul se închide doar după ce datele din sistem confirmă funcționarea corectă.

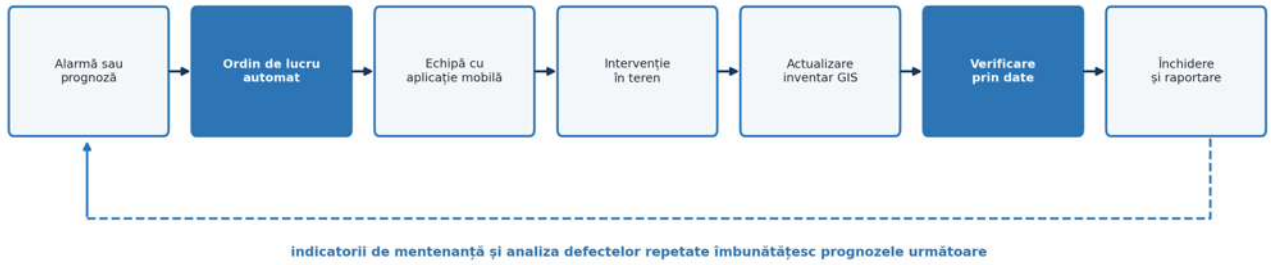


Figura 7.54 – Ciclul mentenanței bazate pe date

- **Identificarea în teren** – etichete cu cod QR sau NFC pe stâlp și pe aparat leagă obiectul fizic de înregistrarea din GIS; datele D4i ale driverului completează automat tipul și caracteristicile aparatului.
- **Aplicația mobilă** – funcționează și fără semnal, permite fotografii, citirea codurilor, confirmarea intervenției și actualizarea atributelor.
- **Analize spațiale** – grupurile de defecte apropiate indică probleme de cablu, de alimentare sau de supratensiuni într-o zonă, nu defecte izolate de aparate.
- **Planificarea rutelor** – intervențiile din aceeași zonă se grupează, iar mentenanța predictivă se combină cu cea corectivă pentru reducerea deplasărilor.

Recomandări

Se recomandă aparate cu drivere D4i și controlere Zhaga-D4i, care furnizează standardizat datele de energie și diagnoză, și puncte de aprindere cu măsurare pe circuite, pentru corelarea cu energia raportată de aparate. Alarmele se definesc într-un catalog unic, actualizările de firmware se fac semnat, în valuri și cu revenire automată, iar indicatorii de performanță se stabilesc contractual. Inventarul GIS se verifică la punerea în funcțiune și se actualizează la fiecare intervenție, iar ordinele de lucru se închid pe baza confirmării prin date.

Greșeli frecvente în proiectare și implementare

1. Drivere fără date de diagnoză

Ce se întâmplă. Se aleg drivere DALI sau 1–10 V fără funcțiile D4i de energie și diagnoză.

Consecința. Controlerul poate raporta doar starea generală; defectele, temperatura și consumul real al aparatului nu sunt cunoscute.

Cum se previne. Se cer drivere D4i certificate, cu datele despre aparat, energie și diagnoză disponibile controlerului.

2. Citiri prea frecvente ale tuturor parametrilor

Ce se întâmplă. Toți parametrii tuturor aparatelor se citesc la intervale de câteva minute.

Consecința. Rețeaua se încarcă, comenzile întârzie, iar costurile de stocare cresc fără beneficiu.

Cum se previne. Frecvența se stabilește pe categorii de date, cu transmiterea imediată doar a evenimentelor.

3. Inventar completat doar din documentația de proiect

Ce se întâmplă. Inventarul GIS se preia din proiect, fără verificare în teren și fără datele citite de la drivere.

Consecința. Tipurile de aparate, pozițiile și circuitele nu corespund realității; diagnoza și intervențiile sunt eronate.

Cum se previne. Inventarul se verifică la punerea în funcțiune, se completează automat cu datele D4i și se actualizează la fiecare intervenție.

4. Lipsa corelării aparat – circuit

Ce se întâmplă. Energia raportată de aparate și energia măsurată pe circuit sunt analizate separat.

Consecința. Consumurile neautorizate și defectele de izolație rămân nedetectate.

Cum se previne. Se configurează în platformă comparația automată a celor două valori, cu prag de alarmă pentru creșterea diferenței.

5. Actualizare de firmware pe toate echipamentele simultan

Ce se întâmplă. O versiune nouă se transmite deodată către toate controlerele.

Consecința. O eroare a versiunii poate scoate din funcțiune mii de aparate, iar rețeaua se supraîncarcă.

Cum se previne. Actualizările se fac în valuri, după pilot, cu praguri de oprire și imagine dublă cu revenire automată.

6. Firmware nesemnat sau fără perioadă de suport declarată

Ce se întâmplă. Echipamentele acceptă firmware nesemnat, iar furnizorul nu declară până când oferă actualizări.

Consecința. Sistemul este vulnerabil la modificări neautorizate și poate rămâne fără remedieri de securitate.

Cum se previne. Se cer semnătură digitală verificată de echipament, perioadă de suport declarată și conformitate cu Regulamentul (UE) 2024/2847.

7. Alarme închise fără verificare prin date

Ce se întâmplă. Ordinul de lucru se închide pe baza declarației echipei de intervenție.

Consecința. Defectele nerezolvate reapar ca alarme noi, iar indicatorii de mentenanță sunt falsificați involuntar.

Cum se previne. Închiderea se face doar după confirmarea funcționării corecte prin datele aparatului sau ale circuitului.

8. Indicatori de performanță nedefiniți contractual

Ce se întâmplă. Contractul de mentenanță nu definește disponibilitatea, timpul de remediere și modul de calcul.

Consecința. Performanța nu poate fi evaluată, iar disputele dintre beneficiar și furnizor nu au bază obiectivă.

Cum se previne. Contractul stabilește indicatorii, formulele, sursa datelor, pragurile și consecințele nerespectării.

9. Mentenanță predictivă fără istoric suficient

Ce se întâmplă. Se așteaptă rezultate predictive imediat după punerea în funcțiune.

Consecința. Modelele produc alarme nefondate sau nu detectează nimic, iar funcția este abandonată.

Cum se previne. Se începe cu mentenanța pe baza stării și se introduc indicatorii predictivi pe măsură ce istoricul se acumulează.

10. Defecte repetate tratate individual

Ce se întâmplă. Fiecare defect este remediat separat, fără analiza grupurilor de defecte din aceeași zonă.

Consecința. Cauza comună, de exemplu un cablu degradat sau supratensiuni, rămâne nerezolvată, iar aparatele se defectează din nou.

Cum se previne. Se analizează periodic distribuția spațială și temporală a defectelor și se tratează cauzele comune.

Concluzii

Monitorizarea la nivel de aparat și de circuit oferă o imagine completă a stării instalației de iluminat. Datele standardizate D4i, corelarea cu măsurarea pe circuit și un catalog de alarme bine definit permit localizarea rapidă a defectelor și detectarea consumurilor neautorizate, iar actualizările de firmware controlate mențin sistemul sigur pe toată durata de exploatare.

Mentenanța predictivă, indicatorii de performanță și integrarea cu GIS transformă datele în decizii: mai puține aparate stinse, intervenții mai rapide și costuri de mentenanță mai mici. Subcapitolul 7.9 prezintă securitatea cibernetică a sistemelor de telegestiune.

7.9. Securitate cibernetică *[Oprițescu C., Epure A., Ichim G.]*

Introducere

Un sistem de telegestiune conectează mii de echipamente din spațiul public la rețele de comunicație și la platforme accesibile de la distanță. Aceeași conectivitate care permite comanda și monitorizarea permite, dacă nu este protejată, stingerea iluminatului unui oraș, manipularea consumului de energie, accesul la rețelele orașului sau la date personale. Securitatea cibernetică este de aceea o cerință de proiectare, nu o opțiune adăugată ulterior.

Subcapitolul prezintă suprafața de atac a sistemelor de telegestiune, cerințele legale și tehnice, evaluarea securității, criptarea și autentificarea, gestionarea certificatelor și a cheilor, precum și gestionarea incidentelor. Măsurile descrise sunt cele mai utilizate și recomandate la nivel internațional și în România. Cerințele de conformitate ale echipamentelor radio au fost prezentate în 5.2, elementul securizat al controlerului în 6.3, iar actualizările de firmware în 7.8.3.

Termeni tehnici utilizați

Tabelul 7.62 explică termenii și acronimele utilizate în acest subcapitol. Termenii prezentați anterior nu mai sunt reluați.

Termen	Denumire completă	Explicație
Suprafață de atac	Attack surface	Totalitatea punctelor prin care un atacator poate încerca să acceseze sau să afecteze sistemul.
Vulnerabilitate	Vulnerability	Slăbiciune a unui echipament, software sau proces, care poate fi exploatată.
Amenințare	Threat	Eveniment sau acțiune posibilă care poate exploata o vulnerabilitate.
Risc	Risk	Combinația dintre probabilitatea unui eveniment nedorit și impactul lui.
Apărare în adâncime	Defense in depth	Folosirea mai multor niveluri independente de protecție, astfel încât compromiterea unuia să nu compromită sistemul.
Zonă și conductă	Zone / conduit	Concepte IEC 62443: zona grupează componente cu aceleași cerințe de securitate, conducta este canalul controlat de comunicație dintre zone.
Nivel de securitate	Security Level (SL)	Nivel IEC 62443 (SL1–SL4) care exprimă capacitatea de a rezista unor atacatori cu resurse și competențe crescătoare.
Autentificare	Authentication	Verificarea identității unui utilizator, echipament sau sistem.
Autorizare	Authorization	Stabilirea acțiunilor pe care o identitate autentificată are dreptul să le execute.
MFA	Multi-Factor Authentication	Autentificare cu cel puțin doi factori independenți, de exemplu parolă și aplicație de pe telefon.
PKI	Public Key Infrastructure	Ansamblul autorităților, politicilor și sistemelor care emit și gestionează certificate digitale.
CA	Certificate Authority	Autoritate care emite și semnează certificate digitale.

Termen	Denumire completă	Explicație
Certificat X.509	–	Document electronic standardizat care leagă o cheie publică de identitatea unui echipament, server sau utilizator.
HSM	Hardware Security Module	Echipament specializat care generează și păstrează cheile criptografice fără a permite extragerea lor.
Element securizat	Secure element	Circuit integrat din echipament care păstrează cheile și execută operații criptografice protejat împotriva atacurilor fizice.
Pornire securizată	Secure boot	Mecanism prin care echipamentul pornește doar software semnat de producător.
mTLS	mutual TLS	Conexiune TLS în care ambele părți se autentifică prin certificate.
SBOM	Software Bill of Materials	Lista componentelor software, inclusiv bibliotecile terțe, dintr-un produs; permite identificarea rapidă a vulnerabilităților.
Criptografie post-cuantică	Post-Quantum Cryptography (PQC)	Algoritmi criptografici proiectați să reziste atacurilor cu calculatoare cuantice.
DNSC	Directoratul Național de Securitate Cibernetică	Autoritatea națională competentă în domeniul securității cibernetice și echipa CSIRT națională a României.
CSIRT	Computer Security Incident Response Team	Echipă de răspuns la incidente de securitate cibernetică.

Tabelul 7.62 – Termeni și acronime

7.9.1. Suprafața de atac

Suprafața de atac a unui sistem de telegestiune se întinde de la controlerul montat pe stâlp până la conturile utilizatorilor și la furnizorii de software. Figura 7.55 prezintă punctele principale, iar tabelul 7.63 amenințările tipice pentru fiecare.

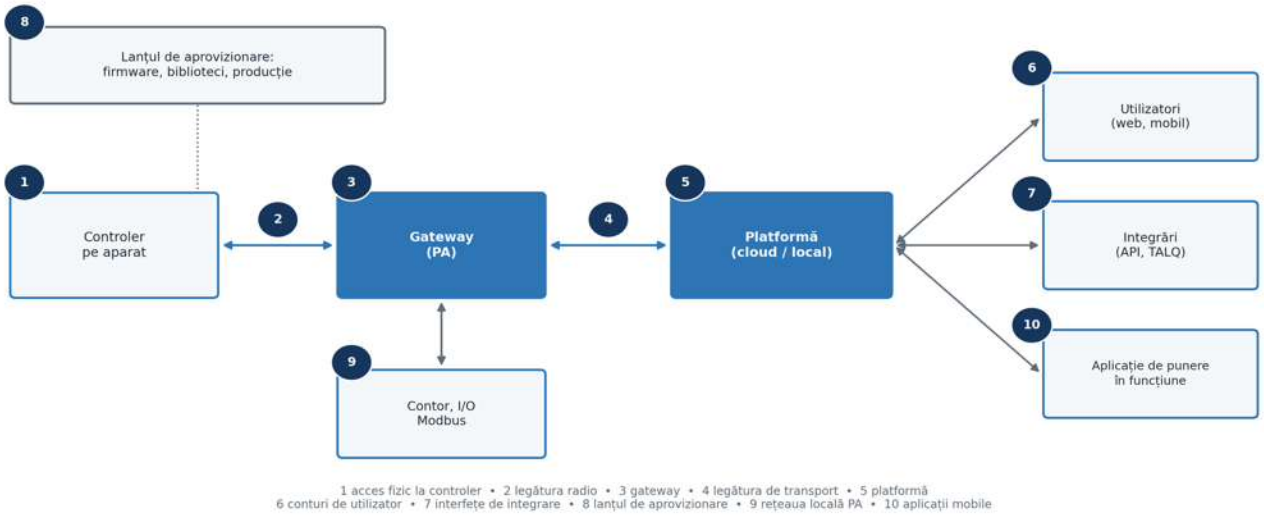


Figura 7.55 – Suprafața de atac a unui sistem de telegestiune

Punct	Amenințări tipice	Impact posibil
1. Controler pe aparat	acces fizic, porturi de depanare deschise, extragerea firmware-ului și a cheilor	clonarea identității, atacuri asupra întregii rețele cu aceeași cheie
2. Legătura radio	interceptare, reluarea mesajelor, noduri false, bruiaj	comenzi false, indisponibilitate locală
3. Gateway	servicii expuse, parole implicite, firmware vechi, acces fizic în dulap	control asupra tuturor aparatelor deservite
4. Legătura de transport	interceptare, redirecționare, atacuri asupra cartelei SIM	modificarea comenzilor și a datelor

Punct	Amenințări tipice	Impact posibil
5. Platformă	vulnerabilități web și API, configurări greșite în cloud, ransomware	control asupra întregului sistem, pierderea datelor
6. Conturi de utilizator	phishing, parole reutilizate, conturi ale foștilor angajați	comenzi legitime în aparență, greu de detectat
7. Interfețe de integrare	chei API expuse, drepturi excesive, sisteme terțe compromise	acces lateral în sistem
8. Lanțul de aprovizionare	biblioteci vulnerabile, firmware modificat, compromiterea producătorului	vulnerabilități prezente în toate echipamentele
9. Rețeaua locală a PA	Modbus fără autentificare, porturi de service	comanda contactoarelor, date de contorizare falsificate
10. Aplicații mobile	aplicații de punere în funcțiune fără control al accesului, NFC sau Bluetooth neprotejate	reconfigurarea neautorizată a aparatelor

Tabelul 7.63 – Amenințări tipice pe componente

Impactul specific iluminatului public

- **Siguranța publică** – stingerea iluminatului pe artere, la treceri de pietoni sau în zone de intervenție afectează direct siguranța circulației și a persoanelor.
- **Rețeaua electrică** – comutarea sincronizată a mii de aparate modifică brusc sarcina, cu efecte asupra rețelei locale de distribuție.
- **Costuri** – aprinderea pe timpul zilei sau anularea profilurilor crește consumul și costurile beneficiarului.
- **Punct de intrare** – un gateway sau o platformă compromisă poate servi ca punct de acces către alte sisteme ale orașului.
- **Date personale** – senzorii, camerele și serviciile de pe stâlpi pot colecta date care intră sub incidența GDPR.
- **Încredere publică** – un incident vizibil afectează încrederea în proiectele de oraș inteligent.

7.9.2. Cerințe de securitate

Cadrul legal și normativ

Document	Obiect	Relevanță pentru telegestiune
Directiva (UE) 2022/2555 (NIS2), transpusă prin OUG nr. 155/2024, cu modificările aduse prin Legea nr. 124/2025	securitatea rețelelor și sistemelor informatice ale entităților esențiale și importante	măsuri de gestionare a riscurilor și notificarea incidentelor către DNSC; încadrarea beneficiarului și a furnizorilor se verifică de la caz la caz
Regulamentul (UE) 2024/2847 (CRA)	cerințe de securitate pentru produsele cu elemente digitale	obligații ale producătorilor de controlere, gateway-uri și software; raportare din 11 septembrie 2026, aplicare integrală din 11 decembrie 2027
Regulamentul delegat (UE) 2022/30 la Directiva 2014/53/UE și SR EN 18031-1/-2/-3	securitatea echipamentelor radio conectate la internet	aplicabil din 1 august 2025 echipamentelor radio introduse pe piață (vezi 6.2)
Regulamentul (UE) 2016/679 (GDPR)	protecția datelor personale	senzori, camere, conturi de utilizator; notificarea încălcărilor către ANSPDCP
Seria IEC 62443	securitatea sistemelor de automatizare și control	zone și conducte, niveluri de securitate, cerințe pentru sisteme (3-3), componente (4-2) și dezvoltare (4-1)
ETSI EN 303 645	cerințe de bază pentru dispozitivele IoT	fără parole implicite universale, actualizări, comunicații securizate, raportarea vulnerabilităților

Document	Obiect	Relevanță pentru telegestiune
ISO/IEC 27001	sistemul de management al securității informației	operatorul platformei și furnizorul de servicii cloud

Tabelul 7.64 – Acte normative și standarde relevante

Principii de proiectare

Securitatea se integrează din faza de proiectare, pe principiul apărării în adâncime prezentat în figura 7.56. Fiecare nivel are propriile măsuri, iar accesul se acordă doar în măsura necesară fiecărei identități. Niciun echipament sau utilizator nu este considerat de încredere doar pentru că se află în interiorul rețelei.

Figura 7.56 – Nivelurile apărării în adâncime pentru un sistem de telegestiune

Cerințe tehnice

Nivel	Cerințe
Controler și gateway	element securizat; pornire securizată; firmware semnat; identitate și chei unice pe echipament; porturi de depanare dezactivate în producție; fără parole implicite comune; jurnal de securitate
Comunicații	criptare și autentificare pe toate legăturile; protecție la reluarea mesajelor; APN privat sau VPN pentru transport; admiterea în rețea doar a echipamentelor autorizate
Punct de aprindere	rețeaua locală Modbus izolată în dulap; acces de service autentificat și înregistrat; senzor de ușă cu alarmă
Platformă	servere întărite și actualizate; segmentare; criptarea datelor stocate; copii de siguranță izolate și testate; jurnale centralizate păstrate o perioadă definită
Utilizatori	autentificare cu mai mulți factori; roluri cu drepturi minime; confirmare dublă pentru comenzi cu impact mare; revizuirea periodică a conturilor
Integrări	OAuth 2.0 sau certificate client; drepturi limitate pe resurse; limitarea cererilor; evidența accesărilor
Dezvoltare și aprovizionare	proces de dezvoltare securizată; SBOM; politică publică de raportare a vulnerabilităților; perioadă de suport declarată
Exploatare	monitorizarea evenimentelor de securitate; actualizări în termene definite; teste de penetrare periodice; plan de răspuns la incidente

Tabelul 7.65 – Cerințe tehnice de securitate pe niveluri

7.9.3. Evaluarea securității

Evaluarea riscurilor

Evaluarea riscurilor stabilește ce trebuie protejat, împotriva cui și cât de puternic. Metoda din IEC 62443-3-2 împarte sistemul în zone de securitate legate prin conducte, identifică amenințările, estimează

probabilitatea și impactul și stabilește nivelul de securitate țintă pentru fiecare zonă. Figura 7.57 prezintă o împărțire tipică pentru telegestiune.

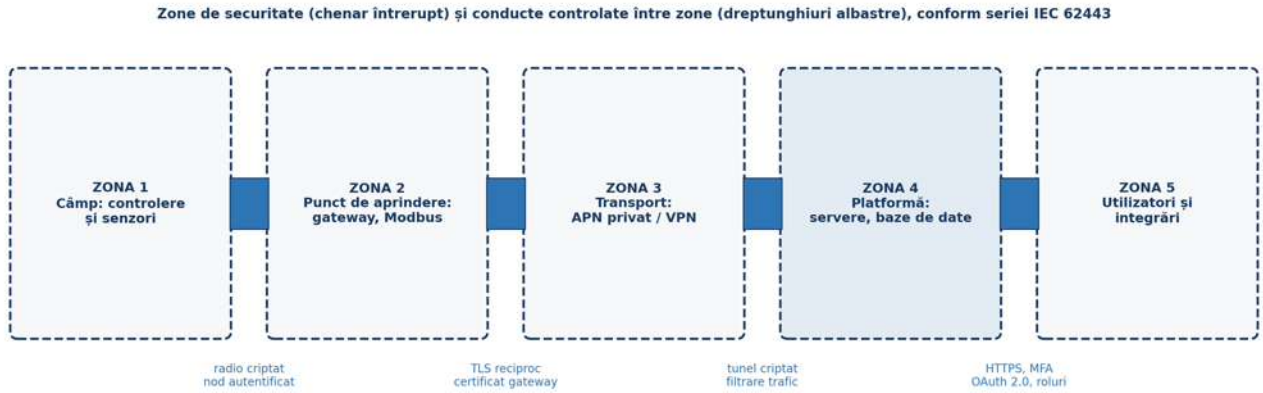


Figura 7.57 – Zone de securitate și conducte într-un sistem de telegestiune

Nivel	Protecție împotriva	Aplicare orientativă în telegestiune
SL1	încălcărilor accidentale sau neintenționate	insuficient pentru echipamente conectate în spațiul public
SL2	atacurilor intenționate cu mijloace simple, resurse reduse și competențe generale	nivel minim pentru controlere, gateway-uri și platformă
SL3	atacurilor intenționate cu mijloace sofisticate, resurse moderate și competențe specifice sistemelor de automatizare	platforma și conductele către aceasta în orașele mari sau la entitățile esențiale
SL4	atacurilor cu mijloace sofisticate, resurse extinse și motivație ridicată	infrastructuri critice cu cerințe speciale

Tabelul 7.66 – Nivelurile de securitate IEC 62443

Verificarea în achiziții și la recepție

Cerințele de securitate trebuie să fie verificabile. Declarațiile generale de tipul „sistem securizat” nu au valoare; se cer dovezi concrete, prezentate în tabelul 7.67.

Dovadă	Ce demonstrează
Declarație de conformitate RED cu SR EN 18031 aplicabil	conformitatea echipamentelor radio cu cerințele de securitate obligatorii
Certificat IEC 62443-4-2 pentru componente și IEC 62443-4-1 pentru procesul de dezvoltare	cerințe de securitate verificate de terță parte
Certificat ISO/IEC 27001 cu domeniu care include platforma și operarea ei	management al securității pentru serviciul efectiv furnizat
Raport de test de penetrare recent, realizat independent, cu remedierile efectuate	rezistența practică a sistemului
SBOM și politică publică de raportare a vulnerabilităților	capacitatea de a identifica și remedia vulnerabilitățile
Perioadă de suport și termene de remediere declarate	continuitatea actualizărilor de securitate
Documentația arhitecturii de securitate	zone, conducte, fluxuri de chei și de autentificare

Tabelul 7.67 – Dovezi de securitate verificabile

Testele de penetrare se repetă periodic și după modificări importante ale sistemului. Rezultatele se tratează confidențial, iar vulnerabilitățile identificate se remediază în termene stabilite contractual în funcție de gravitate.

7.9.4. Criptare și autentificare

Protecția fiecărei legături

Legătură	Criptare și integritate	Autentificare
Controler – gateway (radio)	criptare la nivel de legătură (de exemplu AES-128 CCM) și, după caz, la nivel de aplicație	admiterea în rețea pe bază de chei sau certificate unice
Dispozitiv LoRaWAN – server	AES-128 cu chei de sesiune separate pentru rețea și aplicație	activare OTAA, chei rădăcină unice pe dispozitiv
Controler celular – platformă	TLS sau DTLS peste rețeaua mobilă și APN privat	certificat de echipament, autentificarea rețelei mobile
Gateway – platformă	TLS 1.3 (sau TLS 1.2 cu suite sigure)	TLS reciproc, cu certificate pentru gateway și server
Rețea locală PA (Modbus)	izolare fizică în dulap; Modbus/TCP Security sau VPN pentru legături IP externe	acces de service autentificat
Utilizatori – platformă	HTTPS cu TLS 1.2 sau 1.3	autentificare cu mai mulți factori, integrare cu sistemul de identitate al beneficiarului
Sisteme terțe – API	HTTPS	OAuth 2.0 sau certificate client, cu drepturi limitate

Tabelul 7.68 – Măsuri de criptare și autentificare pe legături

Algoritmi criptografici

Funcție	Recomandat	A nu se folosi
Criptare simetrică	AES-128 sau AES-256 în moduri autentificate (GCM, CCM)	DES, 3DES, RC4, AES în mod ECB
Schimb de chei	ECDHE cu curbe P-256 sau X25519	schimb de chei RSA static, grupuri Diffie-Hellman mici
Semnătură digitală	ECDSA P-256, Ed25519, RSA de cel puțin 3 072 de biți	RSA sub 2 048 de biți, DSA
Funcție de dispersie	SHA-256, SHA-384, SHA-3	MD5, SHA-1
Protocoale	TLS 1.3, TLS 1.2 cu suite sigure, DTLS 1.2/1.3	SSL, TLS 1.0 și 1.1

Tabelul 7.69 – Algoritmi recomandați și algoritmi care nu se mai folosesc

Durata de viață și criptografia post-cuantică

Echipamentele de telegestiune funcționează 15–20 de ani, mai mult decât durata de viață obișnuită a algoritmilor criptografici. În 2024, NIST a publicat primele standarde de criptografie post-cuantică (FIPS 203, 204 și 205), iar foaia de parcurs coordonată la nivelul UE, publicată în iunie 2025, prevede începerea tranziției de către statele membre până la sfârșitul anului 2026 și finalizarea ei pentru cazurile cu risc ridicat până în 2030. Pentru echipamentele noi se cere de aceea agilitate criptografică: posibilitatea de a schimba algoritmii și certificatele prin actualizări de firmware, iar platformele și gateway-urile trebuie să poată trece la algoritmi post-cuantici fără înlocuirea hardware-ului, în măsura permisă de resursele lor.

Autentificarea echipamentelor și a utilizatorilor

- fiecare echipament are identitate unică, legată de chei păstrate în elementul securizat; nu se folosesc chei sau parole comune pentru mai multe echipamente;
- parolele implicite nu există sau trebuie schimbate obligatoriu la prima utilizare;
- utilizatorii folosesc conturi nominale, autentificare cu mai mulți factori și roluri cu drepturi minime; conturile comune sunt interzise;
- accesul furnizorilor pentru suport se acordă temporar, nominal și înregistrat;
- sesiunile inactive expiră, iar încercările repetate de autentificare eșuate sunt blocate și semnalate.

	Installer	Spectator	User	Admin	Super Admin
Tenant					
Read tenant	denied	view	view	view	view
Update tenant	denied	denied	denied	edit	edit
Add / update tenant address	denied	denied	denied	edit	edit
Read tenant address	denied	denied	denied	denied	view
Create tenant	denied	denied	denied	denied	denied
Delete tenant	denied	denied	denied	denied	denied
Installations of the tenant					
List installations of the tenant	view	view	view	view	view
Find device by serial number	view	view	view	view	view
Create installation	denied	denied	denied	denied	edit
Create installation if missing	denied	denied	denied	edit	edit
Users of the tenant					
Read tenant members	denied	denied	denied	view	view
Read invited members	denied	denied	denied	view	view
Read installations of a user in the tenant	denied	denied	denied	view	view
Invite user to the tenant	denied	denied	denied	edit	edit
Add / update tenant membership	denied	denied	denied	limited_edit	limited_edit
Remove user from the tenant	denied	denied	denied	edit	edit
Credits and reports					
Read report group by id	denied	denied	denied	view	view
Read report group list	denied	denied	denied	denied	view
Download report group (PDF)	denied	denied	denied	view	view
Download report group (Excel)	denied	denied	denied	view	view
Generate report group	denied	denied	denied	edit	edit
Add report group	denied	denied	denied	edit	edit
Update report group	denied	denied	denied	edit	edit
Update paid status and invoice	denied	denied	denied	edit	edit
Delete report group	denied	denied	denied	denied	denied

Figura 7.58 – Matricea drepturilor pe roluri configurată în platformă: fiecare rol are acces numai la funcțiile necesare

7.9.5. Certificate și chei

Lanțul de încredere

Securitatea unui echipament începe de la o rădăcină de încredere hardware, de regulă elementul securizat. Pe baza ei se construiește un lanț în care fiecare verigă o verifică pe următoarea, după cum arată figura 7.59.

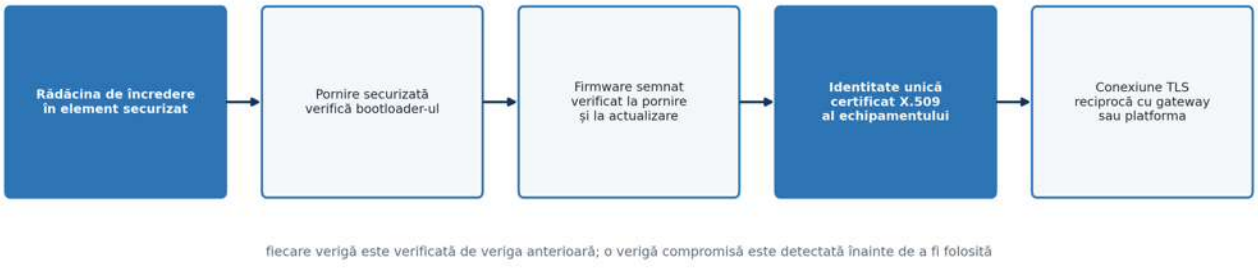


Figura 7.59 – Lanțul de încredere al unui controler sau gateway

Infrastructura de chei publice

Certificatele echipamentelor, serverelor și sistemelor terțe sunt emise într-o infrastructură de chei publice ierarhică. Autoritatea rădăcină este păstrată offline, într-un HSM, și semnează doar autoritățile intermediare, care emit certificatele utilizate zilnic. Separarea autorităților intermediare pe categorii limitează efectul unei compromiteri. Figura 7.60 prezintă structura tipică.

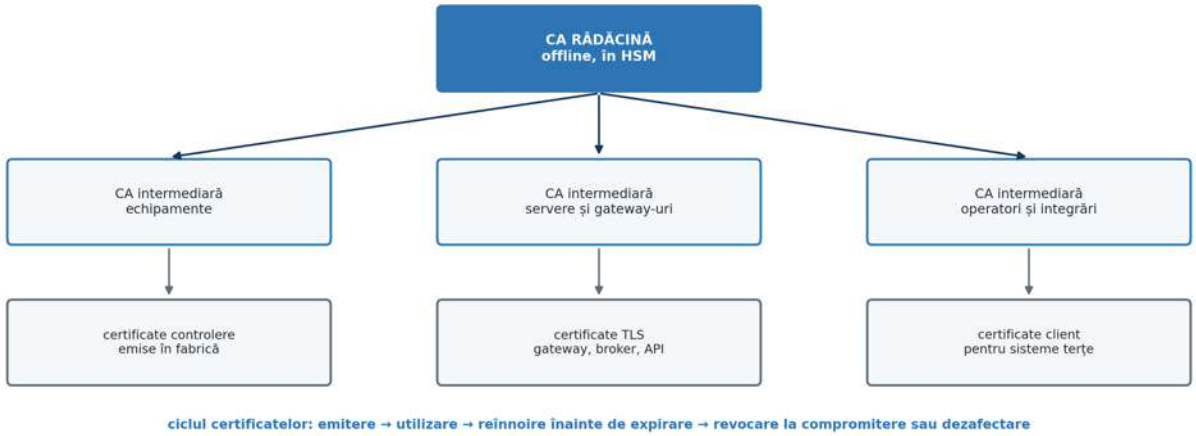


Figura 7.60 – Structura ierarhică a infrastructurii de chei publice

Etapă	Bune practici
Generare	cheile private se generează în elementul securizat sau în HSM și nu părăsesc niciodată aceste componente
Provizionare	certificatele se emit în fabrică, într-un proces controlat și auditat, sau la punerea în funcțiune prin protocoale de înrolare securizată (de exemplu EST)
Utilizare	fiecare cheie are un singur scop: autentificare, semnătură sau criptare
Reînnoire	automată, înainte de expirare, cu monitorizarea certificatelor care expiră
Revocare	la compromitere, furt sau dezafectare, cu propagarea rapidă a listei de revocare către gateway-uri și platformă
Dezafectare	revocarea certificatelor și ștergerea datelor de configurare înainte de casarea sau reutilizarea echipamentului
Transfer la încetarea contractului	beneficiarul poate prelua sau reemite identitățile echipamentelor, fără înlocuirea acestora

Tabelul 7.70 – Ciclul de viață al cheilor și certificatelor

Validarea certificatelor depinde de ora corectă: un echipament cu ceasul greșit poate respinge certificate valide sau accepta certificate expirate. Sincronizarea timpului (vezi 7.5.3) este de aceea și o cerință de securitate. Controlul asupra cheilor și al autorității de certificare determină, de asemenea, cine controlează efectiv sistemul: contractul trebuie să asigure beneficiarului posibilitatea de a prelua această infrastructură sau de a o transfera altui furnizor (vezi 7.10).

7.9.6. Gestionarea incidentelor

Niciun sistem nu poate exclude complet incidentele. Diferența o face pregătirea: detectarea rapidă, limitarea efectelor, restabilirea funcționării și raportarea în termenele legale. Figura 7.61 prezintă etapele gestionării unui incident.

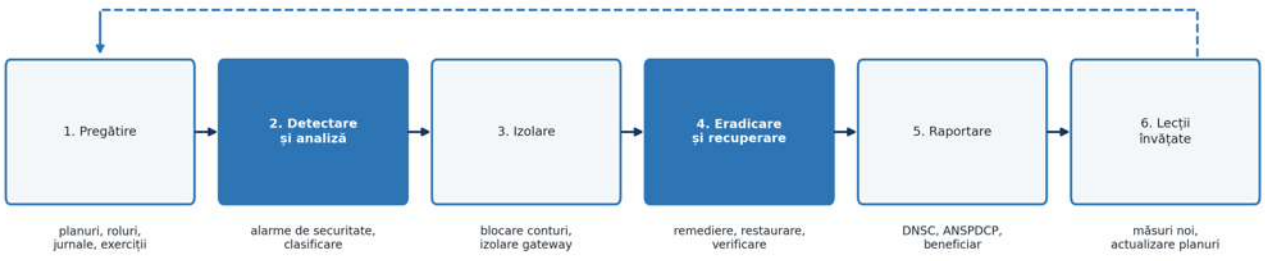


Figura 7.61 – Etapele gestionării unui incident de securitate

Obligații de raportare

Entitățile care intră sub incidența OUG nr. 155/2024 notifică incidentele semnificative către DNSC în etape: avertizare timpurie în 24 de ore, notificare în 72 de ore și raport final în termen de o lună. Producătorii de echipamente și software raportează, conform Regulamentului (UE) 2024/2847, vulnerabilitățile exploatate activ și incidentele grave care afectează securitatea produselor, prin platforma unică de raportare a ENISA. Încălcările securității datelor personale se notifică la ANSPDCP în 72 de ore. Figura 7.62 sintetizează termenele.

Figura 7.62 – Termenele de raportare a incidentelor semnificative

Roluri și scenarii pregătite

Parte	Responsabilități
Beneficiar (autoritatea locală)	decizii privind serviciul public, comunicare publică, notificări proprii, coordonare cu autoritățile
Operatorul sistemului sau furnizorul de mentenanță	detectare, izolare, restabilirea funcționării, informarea beneficiarului în termenul contractual
Furnizorul platformei	investigarea la nivelul platformei, remediere, păstrarea jurnalelor, notificări proprii
Producătorul echipamentelor	analiza vulnerabilităților, actualizări de securitate, raportare conform CRA

Tabelul 7.71 – Responsabilități în gestionarea incidentelor

Scenariu	Măsuri imediate
Comenzi neautorizate de stingere sau aprindere în masă	blocarea contului sau a integrării implicate, revenirea la programele locale, verificarea stării aparatelor, restabilirea profilurilor
Gateway compromis	izolarea gateway-ului din platformă și din rețeaua de transport, revocarea certificatului, înlocuire sau reinstalare verificată
Credențiale de utilizator furate	blocarea contului, revocarea sesiunilor, verificarea jurnalului de acțiuni, resetarea autentificării
Ransomware pe platformă	izolarea platformei; iluminatul continuă pe programele locale; restaurare din copii de siguranță izolate și verificate
Vulnerabilitate publicată la un component	evaluarea expunerii pe baza SBOM, măsuri temporare de limitare, actualizare în valuri

Tabelul 7.72 – Scenarii de incident specifice telegestiunii

Pentru ca un incident la nivelul platformei să nu afecteze iluminatul, controlerele și gateway-urile rulează local programele și păstrează nivelul de siguranță configurat. Jurnalele de securitate se păstrează centralizat și protejat, iar planul de răspuns se exersează periodic, împreună cu toate părțile implicate.

Recomandări

Securitatea se definește în documentația de atribuire prin cerințe verificabile: conformitate RED cu SR EN 18031, componente și procese evaluate conform IEC 62443, platformă operată sub ISO/IEC 27001, element

securizat și pornire securizată, identități unice, TLS reciproc, autentificare cu mai mulți factori, SBOM, politică de raportare a vulnerabilităților și perioadă de suport declarată. Beneficiarul păstrează controlul asupra cheilor și certificatelor, iar planul de răspuns la incidente se stabilește și se exersează înainte de punerea în funcțiune. Iluminatul trebuie să continue în siguranță chiar dacă platforma este compromisă.

Greșeli frecvente în proiectare și implementare

1. Aceeași cheie sau parolă pentru toate echipamentele

Ce se întâmplă. Controlerele sau gateway-urile folosesc o cheie de rețea comună sau o parolă de service identică.

Consecința. Extragerea cheii dintr-un singur echipament accesibil pe stâlp compromite întreaga rețea.

Cum se previne. Se cer identități și chei unice pe echipament, păstrate în element securizat.

2. Securitate cerută doar prin declarații generale

Ce se întâmplă. Documentația de atribuire cere un „sistem securizat", fără cerințe și dovezi verificabile.

Consecința. Oferte cu niveluri de securitate foarte diferite sunt tratate ca echivalente, iar deficiențele apar în exploatare.

Cum se previne. Se cer dovezi concrete: conformitate SR EN 18031, certificări IEC 62443 și ISO/IEC 27001, teste de penetrare, SBOM.

3. Conturi comune în dispecerat

Ce se întâmplă. Operatorii folosesc un cont comun, fără autentificare cu mai mulți factori.

Consecința. Acțiunile nu pot fi atribuite, iar parola se răspândește și rămâne valabilă după plecarea angajaților.

Cum se previne. Se folosesc conturi nominale, autentificare cu mai mulți factori, roluri și revizuirea periodică a accesului.

4. Porturi de depanare active în producție

Ce se întâmplă. Echipamentele livrate au porturile de depanare sau consolele de service active.

Consecința. Oricine are acces fizic la controler sau la dulapul PA poate extrage firmware-ul și cheile sau poate reconfigura echipamentul.

Cum se previne. Se cere dezactivarea porturilor de depanare în producție și verificarea acestui aspect la recepție.

5. Modbus sau interfețe de service expuse în rețele IP

Ce se întâmplă. Controlerul PA are servicii de administrare sau Modbus TCP accesibile prin rețeaua mobilă fără VPN.

Consecința. Contactoarele pot fi comandate de oricine descoperă adresa echipamentului.

Cum se previne. Se folosesc APN privat, VPN și filtrare, iar serviciile locale nu se expun în afara dulapului.

6. Certificate care expiră neobservat

Ce se întâmplă. Certificatele gateway-urilor sau ale serverelor nu sunt monitorizate.

Consecința. La expirare, comunicația se întrerupe simultan pentru sute sau mii de echipamente.

Cum se previne. Se implementează reînnoirea automată și monitorizarea datelor de expirare, cu alarme din timp.

7. Cheile și CA-ul controlate exclusiv de furnizor

Ce se întâmplă. Infrastructura de chei este deținută de furnizor, fără drept de transfer.

Consecința. La încetarea contractului, beneficiarul nu poate administra echipamentele fără furnizorul inițial.

Cum se previne. Contractul prevede transferul sau reemiterea identităților și accesul beneficiarului la infrastructura de chei.

8. Iluminat dependent de platformă

Ce se întâmplă. Controlerele execută doar comenzi în timp real de la platformă, fără programe locale.

Consecința. Un atac sau o indisponibilitate a platformei stinge sau blochează iluminatul orașului.

Cum se previne. Programele și nivelul de siguranță rulează local, iar platforma doar le modifică și le supraveghează.

9. Lipsa planului de răspuns la incidente

Ce se întâmplă. Nu există roluri, contacte, scenarii și proceduri de raportare stabilite.

Consecința. Reacția este improvizată, termenele legale de notificare sunt depășite, iar efectele se extind.

Cum se previne. Se elaborează planul de răspuns, cu responsabilități contractuale, scenarii specifice și exerciții periodice.

10. Criptografie fixă pe durata de viață

Ce se întâmplă. Echipamentele nu permit schimbarea algoritmilor sau a certificatelor prin actualizări.

Consecința. Pe o durată de 15–20 de ani, slăbirea algoritmilor impune înlocuirea echipamentelor.

Cum se previne. Se cere agilitate criptografică și actualizarea algoritmilor prin firmware, cu planificarea tranziției post-cuantice.

Concluzii

Securitatea cibernetică a telegestiunii protejează siguranța publică, rețeaua electrică, bugetul beneficiarului și datele cetățenilor. Ea se construiește în niveluri succesive: echipamente cu rădăcină de încredere și identități unice, comunicații criptate și autentificate, platforme întărite, utilizatori cu drepturi controlate și un lanț de aprovizionare transparent.

Cadrul european, prin NIS2, CRA și cerințele RED, transformă aceste bune practici în obligații. Pentru beneficiar, esențiale sunt cerințele verificabile, controlul asupra cheilor, funcționarea sigură a iluminatului independent de platformă și un plan de răspuns la incidente exersat. Subcapitolul 7.10 prezintă interoperabilitatea sistemelor de telegestiune.

7.10. Interoperabilitate *[Oprițescu C., Epure A., Ichim G.]*

Introducere

Aparatele de iluminat funcționează 20–25 de ani, controlerele și gateway-urile 10–15 ani, iar platformele software se schimbă mai des. Pe această durată, furnizorii se pot retrage de pe piață, tehnologiile de comunicație pot fi închise, iar beneficiarul poate dori să extindă sistemul cu echipamentele altui producător. Interoperabilitatea este capacitatea componentelor unor producători diferiți de a funcționa împreună, prin interfețe standardizate și verificate, astfel încât beneficiarul să nu depindă de un singur furnizor.

Subcapitolul prezintă diferența dintre soluțiile deschise și cele proprietare, rolul TALQ în interoperabilitatea platformelor, interoperabilitatea la nivel de aparat, riscurile și un studiu de caz european, precum și migrarea între sisteme. Soluțiile descrise sunt cele mai utilizate atât la nivel internațional, cât și în România. Protocolul TALQ a fost prezentat tehnic în 7.3.3, interfețele Zhaga și ANSI în 6.2, iar DALI și D4i în 6.5.

Termeni tehnici utilizați

Tabelul 7.73 explică termenii utilizați în acest subcapitol. Termenii prezentați anterior nu mai sunt reluați.

Termen	Denumire completă	Explicație
Interoperabilitate	Interoperability	Capacitatea componentelor unor producători diferiți de a schimba date și de a funcționa împreună fără adaptări specifice.
Interschimbabilitate	Interchangeability	Posibilitatea de a înlocui o componentă cu una echivalentă a altui producător, fără modificarea restului sistemului.
Standard deschis	Open standard	Specificație publică, elaborată printr-un proces transparent, pe care o poate implementa orice producător.

Termen	Denumire completă	Explicație
Soluție proprietară	Proprietary solution	Soluție ale cărei interfețe sunt controlate de un singur producător și nu sunt publice sau nu pot fi implementate liber.
Dependență de furnizor	Vendor lock-in	Situația în care beneficiarul nu poate schimba furnizorul fără costuri disproporționate sau fără înlocuirea echipamentelor.
Certificare de conformitate	Conformance certification	Verificarea de către o terță parte sau printr-un program oficial că un produs respectă o specificație.
Test de interoperabilitate	Interoperability test / plugfest	Testarea practică a funcționării împreună a produselor unor producători diferiți.
Profil	Profile	Subset al unei specificații care definește funcțiile obligatorii pentru o aplicație, de exemplu profilul de iluminat TALQ.
Migrare	Migration	Trecerea controlată a echipamentelor, datelor și configurațiilor de la un sistem la altul.
Coexistență	Coexistence	Funcționarea în paralel a sistemului vechi și a sistemului nou pe durata migrării.
Clauze de ieșire	Exit clauses	Prevederi contractuale privind predarea datelor, configurațiilor și accesului la încetarea contractului.

Tabelul 7.73 – Termeni și acronime

7.10.1. Soluții deschise și soluții proprietare

Interoperabilitatea pe interfețe

Un sistem de telegestiune nu este „interoperabil” sau „proprietar” în ansamblu. Interoperabilitatea se evaluează pentru fiecare interfață: aparat – controler, controler – gateway, gateway – platformă și platformă – alte sisteme. Figura 7.63 prezintă interfețele și standardele disponibile pentru fiecare.

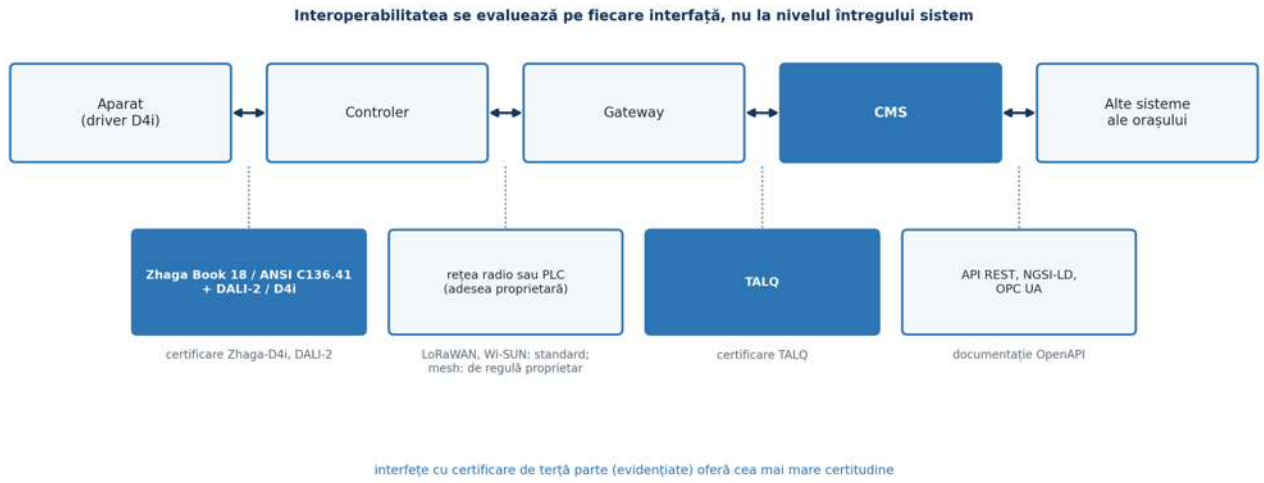


Figura 7.63 – Interfețele unui sistem de telegestiune și standardele de interoperabilitate aplicabile

Interfețele aparat – controler și gateway – platformă dispun de standarde cu programe de certificare: Zhaga-D4i și TALQ. Rețeaua dintre controlere și gateway rămâne, în multe sisteme mesh, specifică producătorului; în acest caz, controlerele și gateway-ul unei zone provin de la același furnizor, iar interoperabilitatea se asigură la nivelul gateway-ului, prin TALQ. Rețelele LoRaWAN și Wi-SUN permit, teoretic, combinarea mai multor producători și în rețeaua de acces.

Grade de deschidere

Între sistemul complet închis și standardul deschis certificat există trepte intermediare, prezentate în figura 7.64. Fiecare treaptă spre dreapta crește libertatea beneficiarului de a alege furnizori și de a extinde sistemul.

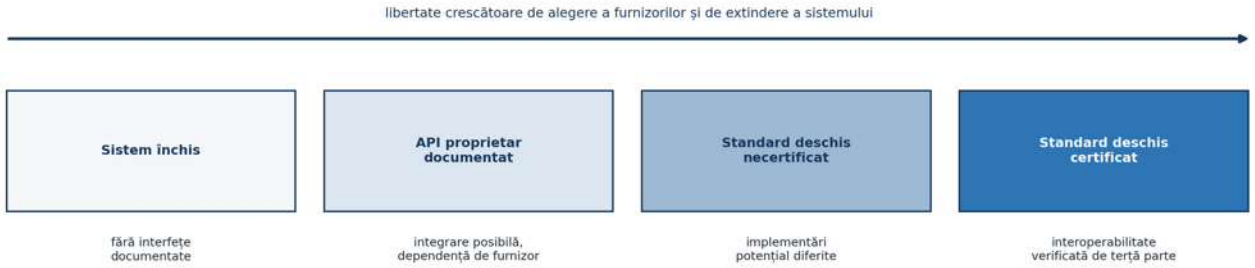


Figura 7.64 – Gradele de deschidere ale interfețelor

Aspect	Standard deschis certificat	Soluție proprietară
Alegerea furnizorilor	mai mulți furnizori pentru fiecare componentă	un singur furnizor pentru extinderi și înlocuiri
Extinderea sistemului	prin licitații deschise, cu concurență	prin achiziții de la furnizorul inițial
Riscul retragerii furnizorului	limitat: componentele se înlocuiesc cu echivalente	ridicat: poate impune înlocuirea sistemului
Funcții avansate	funcțiile standardizate; cele specifice rămân la furnizor	toate funcțiile furnizorului, integrate
Integrare și responsabilitate	necesită coordonarea mai multor furnizori	un singur responsabil pentru întregul sistem
Costul pe durata de viață	de regulă mai mic, prin concurență	de regulă mai mare după achiziția inițială

Tabelul 7.74 – Soluții deschise și proprietare – comparație

„Deschis” nu înseamnă automat „interoperabil”. Un standard poate fi implementat diferit de producători, iar doar certificarea și testele de interoperabilitate confirmă funcționarea împreună. De asemenea, soluțiile proprietare nu sunt în sine greșite: ele pot oferi funcții avansate și răspundere unică, cu condiția ca beneficiarul să păstreze controlul asupra datelor și ca interfețele exterioare să fie standardizate.

7.10.2. TALQ în strategia de interoperabilitate

Programul de certificare

TALQ Consortium certifică din 2017 platformele CMS și gateway-urile rețelelor de dispozitive pe baza unui instrument oficial de testare. Lista publică a produselor certificate cuprinde, în 2026, peste 40 de produse, aproximativ jumătate platforme CMS și jumătate gateway-uri, certificate pe versiuni ale specificației între 2.1 și 2.7. Versiunea 2.7.0, publicată în aprilie 2026, integrează funcțiile D4i ale driverelor în modelul de date TALQ, dezvoltate împreună cu DALI Alliance și Zhaga, și face obligatorii funcțiile de comandă și monitorizare a aparatului pentru gateway-urile care implementează profilul de iluminat.

Ce garantează și ce nu garantează certificarea

Certificarea TALQ verifică interfața dintre CMS și gateway pentru serviciile, funcțiile și profilurile declarate. Ea nu verifică rețeaua din spatele gateway-ului, funcțiile specifice furnizorilor, performanța sau securitatea. Figura 7.65 prezintă delimitarea.

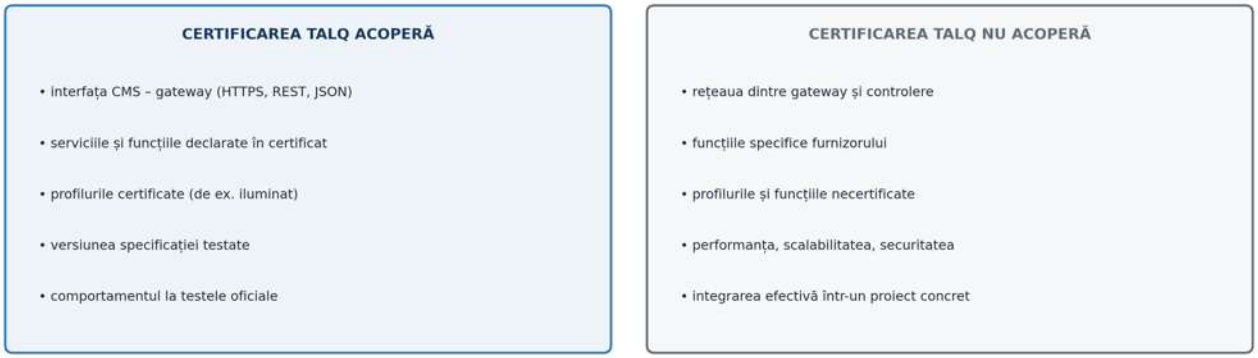


Figura 7.65 – Domeniul acoperit de certificarea TALQ

Formularea cerințelor TALQ în achiziții

TALQ Consortium pune la dispoziție gratuit un model de caiet de sarcini pentru iluminatul exterior inteligent, ediția a 4-a din 2025, disponibil și în limba română. Pe baza lui și a experienței proiectelor, cerințele privind TALQ trebuie să fie precise și verificabile, conform tabelului 7.75. În documentațiile de atribuire din România, referirile la standarde și specificații se formulează cu respectarea Legii nr. 98/2016, inclusiv a mențiunii „sau echivalent”, iar echivalența trebuie demonstrată de ofertant.

Element	Formulare recomandată
Componenta	se precizează dacă cerința privește CMS-ul, gateway-ul sau ambele
Certificarea	produs inclus în lista oficială a produselor certificate TALQ la data depunerii ofertei
Versiunea	versiunea minimă a specificației, în acord cu funcțiile cerute
Profilurile și funcțiile	profilul de iluminat și, după caz, alte profiluri; funcțiile obligatorii pentru proiect
Demonstrația	la recepție sau în etapa de evaluare, integrarea cu un CMS sau gateway certificat al altui producător sau cu instrumentul de test
Documentația	certificatul, raportul de testare, lista funcțiilor implementate

Tabelul 7.75 – Elemente ale unei cerințe TALQ verificabile

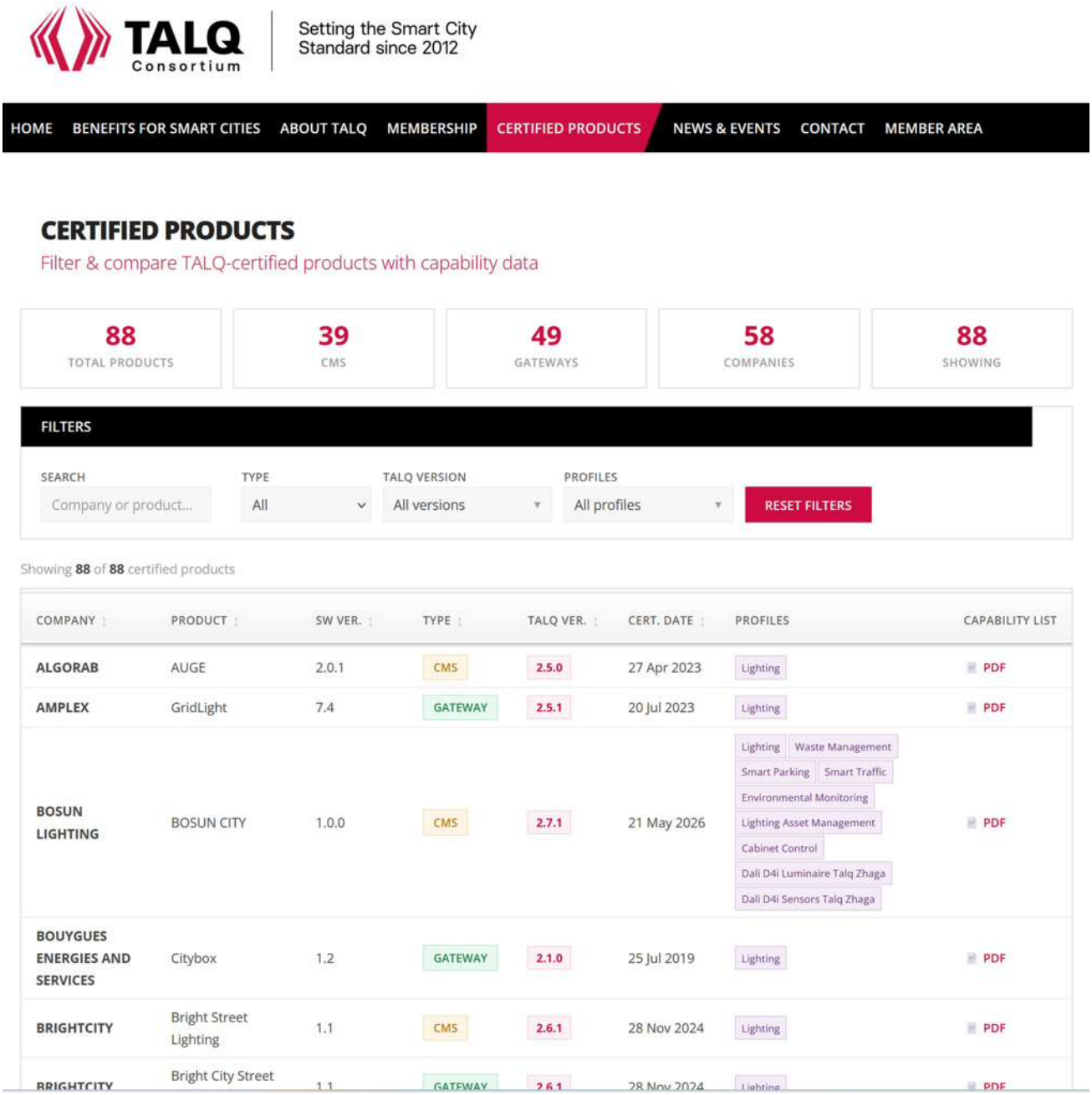


Figura 7.66 – Extras din lista oficială a produselor certificate TALQ

7.10.3. Interoperabilitatea la nivel de aparat

La nivel de aparat, interoperabilitatea înseamnă că un controler sau un senzor al unui producător poate fi montat pe aparatul altui producător și poate comanda și citi driverul fără adaptări. Aceasta este baza interschimbabilității controlerelor pe durata de viață a aparatelor.

Condiția certificării ambelor părți

Interoperabilitatea Zhaga-D4i este garantată atunci când atât aparatul de iluminat, cât și controlerul sau senzorul sunt certificate Zhaga-D4i. Prezența fizică a unui soclu Zhaga sau utilizarea unui driver DALI nu sunt suficiente. Figura 7.67 prezintă combinațiile posibile.

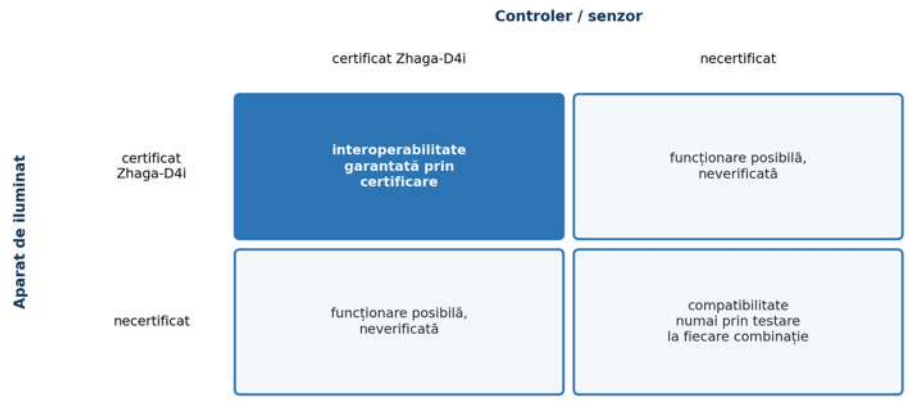


Figura 7.67 – Combinațiile de certificare aparat – controler și nivelul de certitudine al interoperabilității

Interfață	Ce este standardizat	Ce trebuie verificat suplimentar
Zhaga Book 18 cu certificare Zhaga-D4i	mecanic, electric, alimentare auxiliară, comunicație DALI, date D4i	funcțiile de aplicație ale controlerului și integrarea în rețea
Zhaga Book 18 fără certificare D4i	mecanic și electric	comunicația cu driverul, alimentarea, datele disponibile
ANSI C136.41 (NEMA 7 pini)	mecanic și electric, alimentare la tensiunea rețelei	tipul de dimare pe pini (0–10 V sau DALI), datele driverului
Driver DALI-2 / D4i certificat	comenzi DALI și date despre aparat, energie și diagnoză	compatibilitatea controlerului cu băncile de memorie citite

Tabelul 7.76 – Interfețe la nivel de aparat și nivelul de interoperabilitate

Pentru aparatele noi se recomandă cerința explicită ca aparatele să fie certificate Zhaga-D4i, chiar dacă inițial nu se montează controlere. Astfel, controlerele pot fi alese sau înlocuite ulterior, independent de producătorul aparatelor.

7.10.4. Riscuri și studiu de caz european

Riscuri ale lipsei de interoperabilitate

Risc	Descriere	Măsuri
Dependența de furnizor	extinderile, piesele de schimb și serviciile pot fi obținute doar de la furnizorul inițial	interfețe certificate, clauze de ieșire, drepturi asupra datelor
Retragerea furnizorului	insolvență, preluare sau abandonarea produsului	standarde deschise, documentație completă, acces la chei și configurații
Învechirea tehnologiei	închiderea rețelelor 2G/3G, sfârșitul suportului pentru o platformă	tehnologii cu perspectivă lungă, module înlocuibile, perioadă de suport declarată
Certificare parțială	produsul este certificat pentru alte profiluri sau versiuni decât cele necesare	verificarea certificatului față de funcțiile cerute
Controlul cheilor și al identităților	echipamentele nu pot fi administrate fără infrastructura de chei a furnizorului	transferul sau reemiterea identităților (vezi 7.9.5)
Formate de date închise	istoricul și inventarul nu pot fi preluate de alt sistem	export complet în formate deschise, verificat periodic
Răspundere difuză	în sistemele cu mai mulți furnizori, defectele de integrare nu au un responsabil clar	integrator desemnat, matrice de responsabilități, teste de integrare la recepție

Tabelul 7.77 – Riscuri și măsuri de reducere

Studiu de caz: Bristol, Regatul Unit

Orașul Bristol a ales pentru modernizarea iluminatului public o arhitectură cu mai mulți furnizori, integrată prin TALQ, cu scopul declarat de a evita dependența de o singură platformă proprietară și de a păstra libertatea tehnologică pe termen lung. În sistem funcționează împreună o platformă CMS terță, soluția de iluminat și telegestiune a unui producător de aparate și controlerele de punct de aprindere inteliLIGHT ale unui producător cu sediul în România.

Potrivit datelor publicate de unul dintre furnizori, în martie 2025 sistemul gestiona aproximativ 34 000 de elemente de infrastructură, cu o rată a defectelor de 0,1 %, iar pentru anul financiar 2024–2025 au fost raportate economii de energie de 59,5 % și beneficii de aproximativ 1,4 milioane de lire sterline. Valorile provin din comunicarea furnizorului și includ efectul modernizării, nu doar pe cel al interoperabilității.

Lecțiile principale ale proiectului sunt: interoperabilitatea trebuie stabilită ca obiectiv de la începutul achiziției; TALQ permite combinarea în aceeași platformă a echipamentelor de aparat și de punct de aprindere ale unor producători diferiți; beneficiarul trebuie să dețină sau să controleze platforma și datele, iar furnizorii de echipamente se integrează prin interfața standardizată.

7.10.5. Migrarea între sisteme

Migrarea devine necesară la retragerea unui furnizor, la închiderea unei tehnologii de comunicație, la încetarea unui contract sau la integrarea mai multor sisteme existente într-o platformă unică. O migrare bine pregătită se face etapizat, cu funcționarea în paralel a sistemelor, fără întreruperea iluminatului, după cum arată figura 7.68.

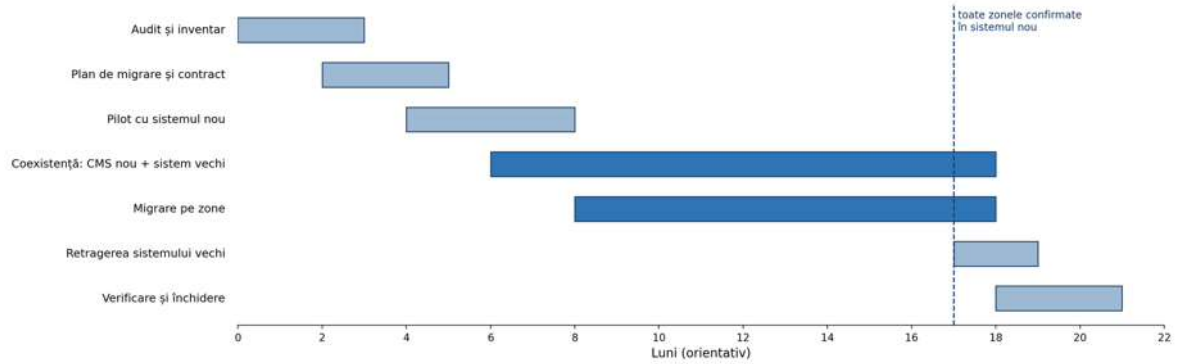


Figura 7.68 – Etapele unei migrări cu coexistența sistemelor (durate orientative)

Strategie	Descriere	Când se aplică
Integrare prin gateway TALQ	sistemul existent rămâne, iar gateway-ul lui este conectat la noul CMS prin TALQ	echipamentele existente sunt în stare bună și gateway-ul este certificat sau poate fi certificat
Înlocuirea platformei	echipamentele rămân, se schimbă doar CMS-ul	echipamente cu interfață standardizată și date exportabile
Înlocuirea controlerelor	aparatele rămân, controlerele Zhaga-D4i sau NEMA se înlocuiesc	tehnologie de comunicație învechită, aparate cu interfață standardizată
Înlocuire completă	aparate, controlere și platformă noi	infrastructură la sfârșitul duratei de viață sau fără interfețe standardizate

Tabelul 7.78 – Strategii de migrare

Datele care se migrează

- **Inventarul** – aparate, controlere, puncte de aprindere, poziții, atribute și relații, cu identificatorii corelați între sisteme.
- **Configurațiile** – grupuri, profiluri, calendare, praguri de alarmă, scenarii de urgență.
- **Istoricul** – energie, ore de funcționare, defecte și intervenții, necesare pentru raportare și mentenanța predictivă.

- **Identitățile și cheile** – certificate și chei ale echipamentelor, transferate sau reemise conform 7.9.5.
- **Documentația** – harta de registre, versiuni de firmware, contracte de comunicație și garanții.

Clauze contractuale pentru ieșire

Posibilitatea migrării se stabilește la încheierea contractului, nu la încetarea lui. Regulamentul (UE) 2023/2854 privind datele stabilește, pentru serviciile de prelucrare a datelor, obligații privind schimbarea furnizorului și portabilitatea datelor, iar tarifele de schimbare a furnizorului se elimină începând cu 12 ianuarie 2027. Contractul de telegestiune trebuie să prevadă în plus: exportul complet al datelor și configurațiilor în formate deschise, documentate; asistența furnizorului pe o perioadă de tranziție; transferul identităților echipamentelor; continuitatea serviciului până la finalizarea migrării; accesul beneficiarului la interfețele standardizate pe toată durata contractului.

Recomandări

Interoperabilitatea se cere pe fiecare interfață, cu certificare de terță parte acolo unde există: aparate și controlere certificate Zhaga-D4i, CMS și gateway-uri certificate TALQ pentru versiunea și profilurile necesare, API documentat pentru integrarea cu alte sisteme. Beneficiarul păstrează controlul asupra datelor, configurațiilor și identităților echipamentelor, iar clauzele de ieșire și exportul datelor se verifică periodic, nu doar la încetarea contractului. Pentru sistemele cu mai mulți furnizori se desemnează un responsabil de integrare.

Greșeli frecvente în proiectare și implementare

1. „Compatibil TALQ” acceptat fără verificare

Ce se întâmplă. Oferta declară compatibilitatea TALQ, fără ca produsul să figureze în lista oficială a produselor certificate.

Consecința. Integrarea cu sistemele altor producători nu funcționează, iar beneficiarul rămâne dependent de furnizor.

Cum se previne. Se verifică lista oficială TALQ, versiunea și profilurile certificate la data ofertei.

2. Certificare pentru alt profil sau altă versiune

Ce se întâmplă. Produsul este certificat TALQ, dar pentru o versiune veche sau fără funcțiile cerute de proiect.

Consecința. Funcțiile necesare, de exemplu calendarele sau datele D4i, nu sunt disponibile prin interfața standardizată.

Cum se previne. Cerința precizează versiunea minimă, profilurile și funcțiile, iar certificatul se compară cu acestea.

3. Soclu Zhaga confundat cu interoperabilitatea Zhaga-D4i

Ce se întâmplă. Se acceptă aparate cu soclu Zhaga, dar fără certificare Zhaga-D4i.

Consecința. Controlerele altor producători nu primesc alimentare auxiliară sau nu pot citi datele driverului.

Cum se previne. Se cere certificarea Zhaga-D4i atât pentru aparate, cât și pentru controlere și senzori.

4. Interoperabilitate cerută doar la nivelul platformei

Ce se întâmplă. Documentația cere TALQ, dar acceptă aparate fără interfață standardizată pentru controlere.

Consecința. Platforma poate fi schimbată, dar controlerele nu pot fi înlocuite fără înlocuirea aparatelor.

Cum se previne. Interoperabilitatea se cere pe toate interfețele relevante: aparat, gateway, platformă, integrare.

5. Lipsa clauzelor de ieșire

Ce se întâmplă. Contractul nu prevede exportul datelor, transferul identităților și asistența la tranziție.

Consecința. La încetarea contractului, beneficiarul pierde istoricul și configurațiile sau plătește costuri mari de migrare.

Cum se previne. Clauzele de ieșire se stabilesc la semnare și se verifică prin exporturi de test periodice.

6. Sistem cu mai mulți furnizori fără integrator

Ce se întâmplă. Echipamentele și platforma se achiziționează separat, fără un responsabil pentru funcționarea împreună.

Consecința. Defectele de integrare nu sunt asumate de niciun furnizor, iar punerea în funcțiune se prelungește.

Cum se previne. Se desemnează un integrator, se stabilește matricea de responsabilități și se fac teste de integrare la recepție.

7. Migrare fără coexistență

Ce se întâmplă. Sistemul vechi este oprit înainte ca sistemul nou să fie verificat pe toate zonele.

Consecința. Zone întregi rămân fără telegestiune sau cu programe greșite, iar revenirea nu mai este posibilă.

Cum se previne. Migrarea se face pe zone, cu funcționarea în paralel a sistemelor și retragerea celui vechi după confirmare.

8. Identificatori necorelați la migrare

Ce se întâmplă. Inventarul se importă în noul sistem cu identificatori noi, fără tabel de corespondență.

Consecința. Istoricul energetic și de defecte nu mai poate fi legat de echipamentele reale.

Cum se previne. Se stabilește și se păstrează corespondența identificatorilor între sisteme și cu inventarul GIS.

9. Formule de „echivalență" neverificabile

Ce se întâmplă. În evaluare se acceptă declarații de echivalență cu un standard, fără dovezi.

Consecința. Soluția echivalentă nu asigură efectiv interoperabilitatea urmărită.

Cum se previne. Documentația stabilește modul de demonstrare a echivalenței: certificări, rapoarte de test, demonstrații practice.

10. Standarde deschise, date închise

Ce se întâmplă. Echipamentele sunt interoperabile, dar datele istorice și configurațiile rămân în formate proprietare.

Consecința. Schimbarea platformei pierde valoarea acumulată în ani de exploatare.

Cum se previne. Se cer formate de export documentate și dreptul beneficiarului asupra tuturor datelor generate de sistem.

Concluzii

Interoperabilitatea protejează investiția în iluminatul public pe o durată mai lungă decât ciclul de viață al oricărei tehnologii de comunicație sau platforme. Ea se obține interfață cu interfață: Zhaga-D4i la nivel de aparat, TALQ între platformă și gateway-uri, API-uri documentate spre celelalte sisteme, cu certificări verificabile în locul declarațiilor.

Proiectele europene arată că arhitecturile cu mai mulți furnizori sunt realizabile la scară mare, cu condiția ca beneficiarul să controleze platforma, datele și identitățile, iar migrarea să fie pregătită contractual de la început. Subcapitolul 7.11 prezintă aspectele economice ale sistemelor de telegestiune.

7.11. Aspecte economice *[Oprițescu C., Epure A., Ichim G.]*

Introducere

Decizia de a investi în telegestiune se ia pe baza unei analize economice corecte, care compară alternative reale pe întreaga durată de viață, nu doar costul de achiziție. O analiză corectă evită două greșeli simetrice: supraestimarea economiilor, frecventă în ofertele comerciale, și respingerea telegestiunii pe baza costului inițial, fără considerarea costurilor de exploatare și a beneficiilor operaționale.

Subcapitolul prezintă indicatorii de rentabilitate, structura costurilor și a economiilor, analiza costului pe durata de viață cu un exemplu numeric, modelele de contractare, indicatorii de performanță și justificarea tehnico-economică a investiției. Metodele descrise sunt cele utilizate în practica internațională și în proiectele din România. Controlul adaptiv a fost prezentat în 7.7, iar indicatorii de monitorizare în 7.8.5.

Termeni tehnici utilizați

Tabelul 7.79 explică termenii și acronimele utilizate în acest subcapitol.

Termen	Denumire completă	Explicație
CAPEX	Capital Expenditure	Cheltuieli de investiție: echipamente, montaj, proiectare, punere în funcțiune.
OPEX	Operational Expenditure	Cheltuieli de exploatare: energie, mentenanță, abonamente, licențe, personal.
Perioadă simplă de recuperare	Simple payback	Numărul de ani în care economiile anuale acoperă investiția suplimentară, fără actualizare.
VAN	Valoarea actualizată netă (NPV)	Suma fluxurilor de numerar pe durata analizei, actualizate la valoarea de azi cu o rată de actualizare.
RIR	Rata internă de rentabilitate (IRR)	Rata de actualizare pentru care VAN al investiției suplimentare este zero.
Rată de actualizare	Discount rate	Rata cu care se reduc valorile viitoare la valoarea de azi; reflectă costul capitalului și riscul.
LCCA	Life Cycle Cost Analysis	Analiza costului total pe durata de viață: investiție, exploatare, înlocuiri și valoare reziduală.
ESCO	Energy Service Company	Companie de servicii energetice care realizează investiții și este plătită din economiile obținute.
CPE	Contract de performanță energetică	Contract în care plata furnizorului depinde de nivelul economiilor de energie măsurate și verificate.
M&V	Măsurare și verificare	Proces standardizat de determinare a economiilor reale, față de o referință ajustată.
IPMVP	International Performance Measurement and Verification Protocol	Protocol internațional de măsurare și verificare a economiilor de energie, publicat de EVO.
PDI	Power Density Indicator	Indicatorul densității de putere definit de SR EN 13201-5, în W/(lx·m²).
AECI	Annual Energy Consumption Indicator	Indicatorul consumului anual de energie definit de SR EN 13201-5, în kWh/m² pe an.

Tabelul 7.79 – Termeni și acronime

7.11.1. Indicatori de rentabilitate

Structura costurilor și a beneficiilor

Telegestiunea adaugă costuri de investiție și de exploatare și produce beneficii de naturi diferite. Unele beneficii se cuantifică direct în bani, altele se evaluează calitativ sau prin analize separate. Figura 7.69 prezintă structura.

Figura 7.69 – Costurile și beneficiile telegestiunii

Indicatori utilizați

Indicator	Calcul	Utilizare și limite
Perioadă simplă de recuperare	investiția suplimentară / economia anuală netă	ușor de înțeles; ignoră valoarea în timp a banilor, creșterea prețurilor și înlocuirile
Perioadă actualizată de recuperare	anul în care fluxurile actualizate cumulate devin pozitive	mai realistă; depinde de rata de actualizare
VAN al investiției suplimentare	suma economiilor nete actualizate minus investiția	criteriul principal de decizie între alternative; VAN pozitiv indică o investiție rentabilă
RIR	rata pentru care VAN este zero	comparabilă cu costul finanțării
Cost pe durata de viață (LCC)	investiție + exploatare + înlocuiri, actualizate	compararea alternativelor cu aceeași funcție și durată

Tabelul 7.80 – Indicatori de rentabilitate

Alegerea alternativei de comparație

Rezultatul analizei depinde decisiv de alternativa cu care se compară telegestiunea. În acest subcapitol se folosesc trei scenarii, pentru un oraș cu 5 000 de aparate LED de 45 W, cu aproximativ 4 150 de ore de funcționare pe an:

- **Scenariul A** – aparate LED fără control: funcționare la nivel nominal toată noaptea;
- **Scenariul B** – aparate LED cu CLO și profil autonom programat în driver, fără comunicație (vezi 7.2.2);
- **Scenariul C** – aparate LED cu controlere Zhaga-D4i, rețea mesh, gateway-uri și platformă, cu control adaptiv (vezi 7.7).

Figura 7.70 prezintă costul cumulat al celor trei scenarii. Față de scenariul A, investiția în telegestiune se recuperează în aproximativ 4,4 ani. Față de scenariul B, cele două curbe rămân foarte apropiate pe toată durata analizei: economiile suplimentare de energie și mentenanță ale telegestiunii acoperă, dar nu depășesc semnificativ, investiția și costurile de exploatare suplimentare.

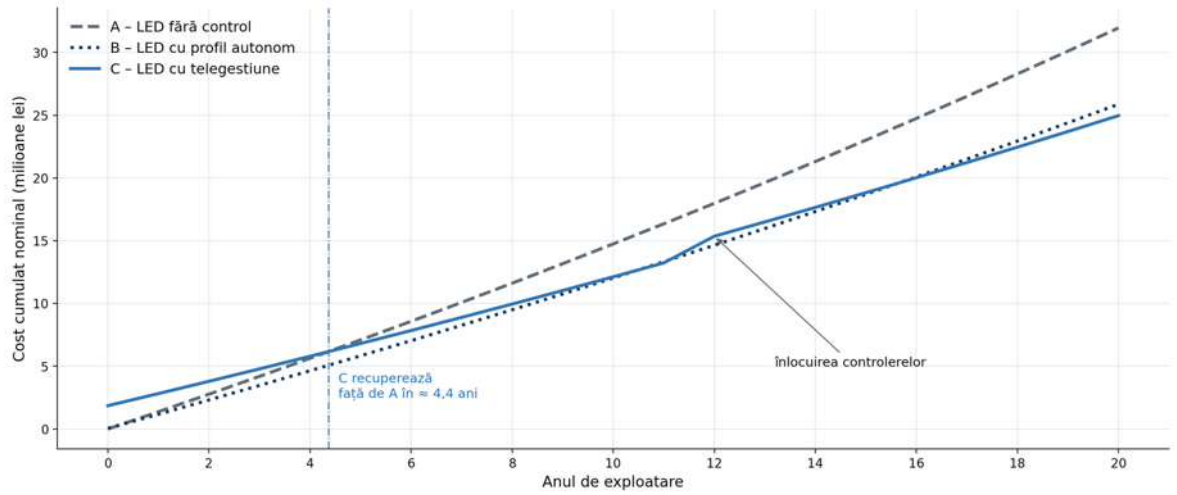


Figura 7.70 – Costul cumulat nominal pe 20 de ani pentru cele trei scenarii (valori ilustrative)

Concluzia practică este importantă pentru justificarea investiției: comparată cu aparatele fără control, telegestiunea este clar rentabilă; comparată cu profilurile autonome bine programate, ea se justifică economic prin beneficiile pe care profilurile autonome nu le pot oferi: detectarea defectelor și a consumurilor neautorizate, disponibilitatea, flexibilitatea profilurilor, datele pentru decizie și infrastructura pentru serviciile orașului inteligent.

7.11.2. Costuri și economii

Categorii de costuri

Categorie	Componente	Observații
Investiție în echipamente	controlere, senzori, gateway-uri, controlere de punct de aprindere, antene	costul controlerului scade dacă este montat din fabrică în aparat
Proiectare și punere în funcțiune	planificare radio, configurare, inventar GIS, instruire	adesea subestimată; determină calitatea exploatării
Platformă	licență sau abonament, găzduire, actualizări, suport	se compară modelele cu plată unică și cele cu abonament pe durata de viață
Comunicații	abonamente pentru gateway-uri sau controlere celulare	semnificative la arhitecturile cu cartelă SIM pe fiecare aparat (vezi 7.1)
Exploatare	dispecerat, administrare, integrarea cu alte sisteme	se poate include în contractul de mentenanță
Înlocuiri	controlere și gateway-uri la sfârșitul duratei de viață, de regulă după 10–15 ani	se includ obligatoriu în analiza pe durata de viață
Securitate și conformitate	actualizări, teste de penetrare, certificări	cerințe obligatorii pe toată perioada de suport (vezi 7.9)

Tabelul 7.81 – Costurile unui sistem de telegestiune

Surse de economii

Sursă	Mecanism	Ordin de mărime
Trecerea de la lămpi cu descărcare la LED	eficacitate luminoasă superioară, optică adaptată	de regulă 50–70 % din energie; nu este efect al telegestiunii
CLO	eliminarea supradimensionării inițiale	câteva procente până la aproximativ 10 % din energie
Profiluri corelate cu clasele de iluminat	reducerea nivelului în perioadele cu trafic redus	de regulă 15–30 % față de funcționarea la nivel nominal
Control adaptiv cu senzori	nivel de bază redus, creștere la prezență	suplimentar, pe străzile cu trafic nocturn rar

Sursă	Mecanism	Ordin de mărime
Corecții de configurare și programe	eliminarea aprinderilor ziua, a profilurilor greșite	câteva procente, variabil
Mentenanță	eliminarea patrulării, intervenții țintite și grupate	reducere de ordinul a 20–40 % din costul mentenanței corective
Consumuri neautorizate și erori de facturare	corelarea aparat – circuit – factură (vezi 7.8.2)	variabil; poate fi semnificativ în rețelele cu branșamente neautorizate

Tabelul 7.82 – Surse de economii și ordine de mărime (orientative)

Economiile nu se adună simplu: fiecare procent se aplică energiei rămase după măsura anterioară. Economia trecerii la LED nu se atribuie telegestiunii, iar economiile raportate trebuie verificate prin măsurare, conform 7.11.5.

7.11.3. Analiza costului pe durata de viață

Metoda

Analiza costului pe durata de viață compară alternative care asigură aceeași funcție luminotehnică pe aceeași durată. Pentru fiecare an se calculează costurile de energie, mentenanță, platformă, comunicații și înlocuiri, iar valorile se actualizează cu rata de actualizare aleasă. Se compară costurile totale actualizate, iar diferențele se testează prin analiză de sensibilitate.

Parametru	Valoare
Număr de aparate / putere / ore de funcționare	5 000 / 45 W / 4 150 h pe an
Prețul energiei / creștere anuală	1,10 lei/kWh / 2 % pe an
Rata de actualizare / durata analizei	5 % / 20 de ani
Scenariul B: economie față de A	CLO 8 %, profil autonom 18 % din energia rămasă
Scenariul C: economie suplimentară față de B	15 % din energia scenariului B (control adaptiv, corecții)
Mentenanță corectivă	A și B: 150 lei/aparat/an; C: 75 lei/aparat/an
Investiție C	controler cu montaj 600 lei/aparat;
Exploatare C	platformă 100 lei/aparat/an; comunicații 1000 lei/gateway/an
Înlocuiri C	controlere în anul 12, la 400 lei/aparat

Tabelul 7.83 – Ipotezele exemplului de calcul (valori ilustrative, fără TVA)

Figura 7.71 prezintă costurile pe durata de viață, actualizate, defalcate pe componente. Energia rămâne componenta dominantă în toate scenariile, ceea ce explică de ce precizia ipotezelor privind economia de energie și prețul energiei influențează decisiv rezultatul.

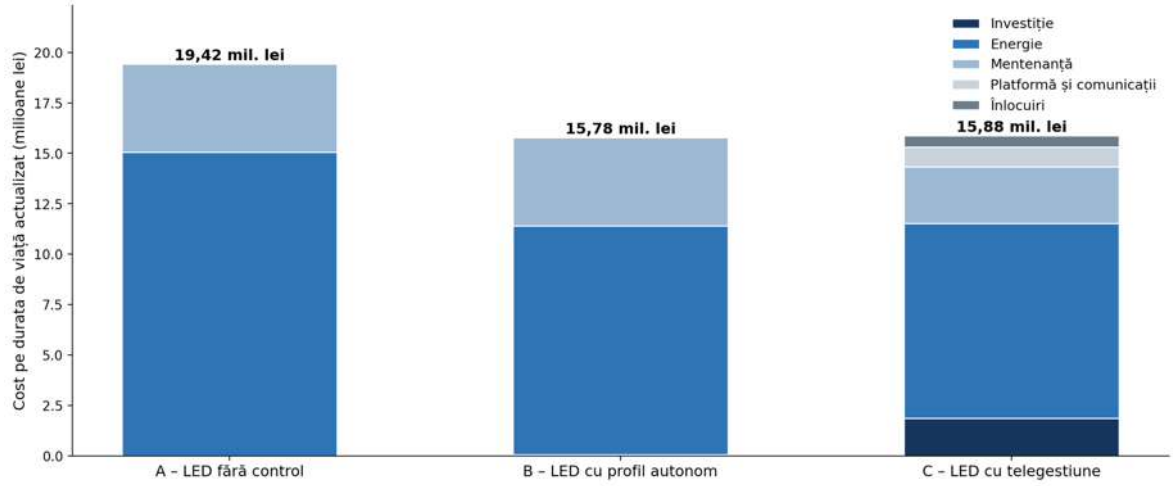


Figura 7.71 – Costul pe durata de viață, actualizat, pe componente (valori ilustrative)

Indicator	A	B	C
Energie anuală	≈ 934 MWh	≈ 704 MWh	≈ 599 MWh
Investiție specifică controlului	–	≈ 0,05 mil. lei	≈ 1,86 mil. lei
Cost pe 20 de ani, actualizat	≈ 19,4 mil. lei	≈ 15,8 mil. lei	≈ 15,9 mil. lei
Recuperarea investiției C	≈ 4,4 ani față de A	≈ 10,5 ani față de B	–

Tabelul 7.84 – Rezultatele exemplului de calcul (valori ilustrative)

Analiza de sensibilitate

Figura 7.72 arată cum se modifică avantajul economic al telegestiunii față de profilul autonom la variația principalilor parametri. Rezultatul trece de la negativ la pozitiv în limitele realiste ale fiecărui parametru, ceea ce confirmă că decizia trebuie fundamentată pe datele concrete ale proiectului: costul real al controlerelor, costurile actuale de mentenanță, prețul energiei și economiile demonstrate în proiecte comparabile.

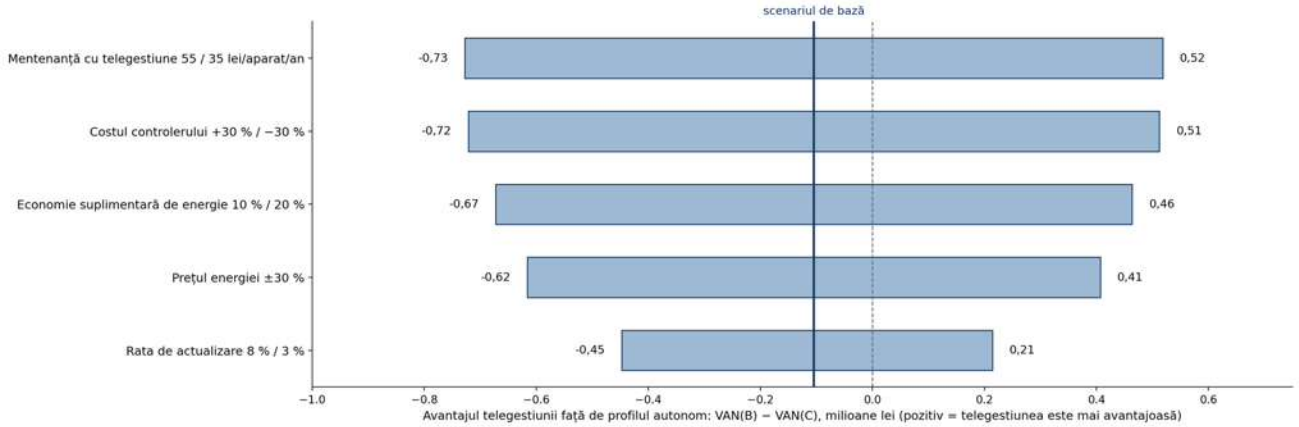


Figura 7.72 – Sensibilitatea avantajului telegestiunii față de profilul autonom (valori ilustrative)

Analiza de sensibilitate nu include beneficiile greu de cuantificat: disponibilitatea mai mare a iluminatului, detectarea consumurilor neautorizate, reducerea riscurilor de siguranță, flexibilitatea și valorificarea infrastructurii pentru alte servicii. Acestea se prezintă separat, în justificarea tehnică, conform 7.11.6.

7.11.4. Modele de contractare

Modul de contractare stabilește cine finanțează investiția, cine își asumă riscul de performanță și cum se plătesc serviciile. Figura 7.73 prezintă modelele uzuale, ordonate după transferul riscului către partenerul privat.

Figura 7.73 – Modele de contractare și transferul riscului

Model	Finanțare	Avantaje	Condiții de reușită
Achiziție clasică	buget local, fonduri naționale sau europene	control deplin al beneficiarului, proceduri cunoscute	specificații de performanță, garanții, mentenanță contractată separat
Execuție + mentenanță cu indicatori	beneficiar	responsabilitate pentru disponibilitate și intervenții	indicatori și penalități clare, date măsurate de sistem (vezi 7.8.5)
Contract de performanță energetică	ESCO sau finanțare mixtă	plată din economii, risc de performanță transferat	referință energetică corectă, M&V independent, durată adecvată
Parteneriat public-privat sau concesiune	partener privat	investiție fără efort bugetar imediat, exploatare pe termen lung	structurare juridică și financiară riguroasă, drepturi asupra datelor și infrastructurii

Tabelul 7.85 – Modele de contractare pentru iluminatul public cu telegestiune

Surse de finanțare în România

Administrația Fondului pentru Mediu derulează programul privind creșterea eficienței energetice a infrastructurii de iluminat public, destinat comunelor, orașelor și municipiilor. Programul finanțează integral cheltuielile eligibile, în limita unor plafoane stabilite pe categorii de beneficiari, cu condiția unei reduceri a consumului de energie de cel puțin 25 %, iar achiziția și instalarea sistemului de telegestiune sunt cheltuieli eligibile. Condițiile se verifică în ghidul sesiunii în vigoare. Proiectele pot fi finanțate și din programele regionale și din alte fonduri europene pentru eficiență energetică, precum și prin contracte de performanță energetică încheiate conform Legii nr. 121/2014 privind eficiența energetică.

Indiferent de sursa de finanțare, se recomandă ca documentația să ceară aparate pregătite pentru telegestiune (Zhaga-D4i), chiar dacă telegestiunea se implementează într-o etapă ulterioară, pentru a evita costurile de înlocuire.

7.11.5. Indicatori de performanță economică și energetică

Indicatori energetici standardizați

SR EN 13201-5 definește doi indicatori care permit compararea performanței energetice a instalațiilor de iluminat public, independent de dimensiunea lor. Indicatorul densității de putere (PDI) exprimă puterea necesară pentru a obține un lux pe un metru pătrat de suprafață iluminată. Indicatorul consumului anual de energie (AECI) exprimă energia consumată anual pe metru pătrat și ține cont de profilurile de funcționare, deci reflectă direct efectul dimării și al telegestiunii.

Indicator	Unitate	Utilizare
PDI (SR EN 13201-5)	W/(lx·m²)	eficiența instalației proiectate
AECI (SR EN 13201-5)	kWh/(m²·an)	consumul real, inclusiv efectul profilurilor
Consum specific	kWh/aparat/an, kWh/km/an	comparații între zone și localități
Economie de energie verificată	kWh și % față de referința ajustată	contracte de performanță, raportare, finanțări
Cost de exploatare specific	lei/aparat/an	urmărirea costurilor de mentenanță și exploatare
Emisii evitate	t CO_2/an	raportare de mediu, cu factorul de emisie din metodologia aplicabilă
Disponibilitate și timp de remediere	%, ore	calitatea serviciului (vezi 7.8.5)

Tabelul 7.86 – Indicatori pentru evaluarea economică și energetică

Măsurare și verificare

Economiile raportate într-un contract de performanță sau pentru o finanțare trebuie determinate prin măsurare și verificare, conform IPMVP sau SR EN ISO 50015. Consumul din perioada de raportare se compară cu o referință ajustată, care ține cont de modificările independente de măsurile aplicate: durata nopților, numărul

de aparate, modificările de inventar. Figura 7.74 ilustrează principiul. Telegestiunea facilitează măsurarea și verificarea, deoarece furnizează continuu energia măsurată pe aparat și pe circuit.

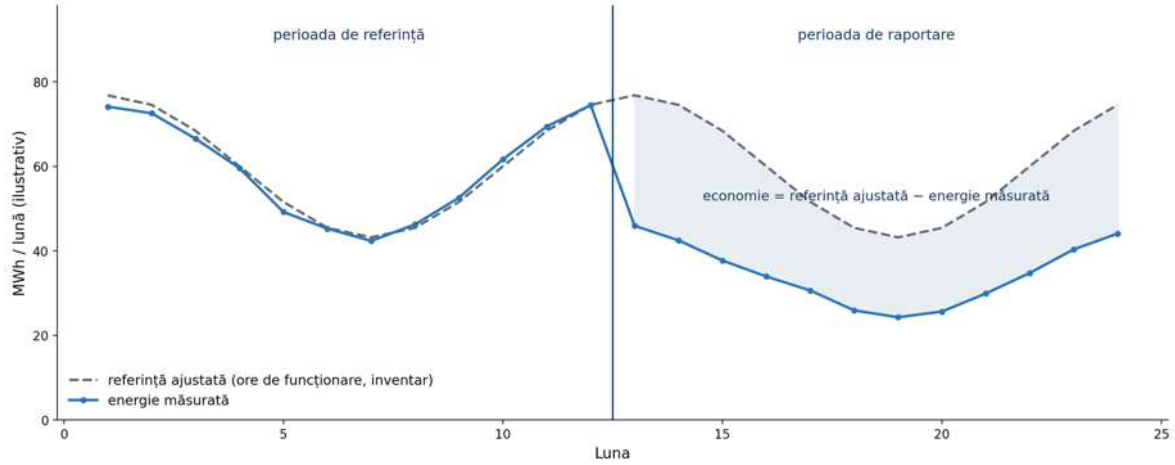


Figura 7.74 – Determinarea economiilor față de referința ajustată (valori ilustrative)

7.11.6. Justificarea tehnico-economică

Justificarea investiției în telegestiune, în documentația tehnico-economică sau în nota de fundamentare, trebuie să fie verificabilă și onestă: alternative reale, ipoteze documentate, beneficii cuantificate separat de cele calitative și riscuri declarate. Tabelul 7.87 prezintă structura recomandată.

Secțiune	Conținut
1. Situația existentă	inventar, consum măsurat sau facturat, costuri de mentenanță, starea punctelor de aprindere, probleme identificate
2. Obiective	economii de energie, calitatea serviciului, siguranță, cerințe legale și ale finanțatorului
3. Alternative analizate	cel puțin: fără control, profil autonom, telegestiune la nivel de circuit, telegestiune la nivel de aparat
4. Ipoteze	prețuri, economii, costuri, durate de viață, rată de actualizare, cu sursa fiecărei valori
5. Analiza economică	cost pe durata de viață, VAN, perioadă de recuperare, analiză de sensibilitate
6. Beneficii necuantificate	disponibilitate, siguranță, detectarea consumurilor neautorizate, date, servicii Smart City
7. Riscuri	tehnologice, de furnizor, de securitate, de finanțare, cu măsuri de reducere
8. Recomandare	alternativa aleasă, etapizarea, modelul de contractare, indicatorii de urmărire

Tabelul 7.87 – Structura justificării tehnico-economice

O justificare credibilă compară telegestiunea și cu profilul autonom, nu doar cu funcționarea fără control, și nu atribuie telegestiunii economiile trecerii la LED. Beneficiile operaționale se susțin prin date din proiecte comparabile și prin indicatori care vor fi urmăriți după implementare.

Recomandări

Analiza economică a telegestiunii se face pe durata de viață, prin comparație cu alternative reale, inclusiv profilul autonom, cu ipoteze documentate și analiză de sensibilitate. Economiile se stabilesc pe baza claselor de iluminat și a datelor măsurate, iar în contractele de performanță se verifică prin M&V față de o referință ajustată. Beneficiile operaționale se prezintă distinct, iar aparatele noi se aleg pregătite pentru telegestiune, indiferent de etapa în care aceasta se implementează.

Greșeli frecvente în proiectare și implementare

1. Economiile trecerii la LED atribuite telegestiunii

Ce se întâmplă. Analiza compară instalația veche cu lămpi cu descărcare cu instalația LED cu telegestiune și atribuie întreaga economie sistemului de control.

Consecința. Rentabilitatea telegestiunii este supraestimată, iar așteptările nu se confirmă în exploatare.

Cum se previne. Economiile se separă pe măsuri: LED, CLO, profiluri, control adaptiv, mentenanță.

2. Comparație doar cu scenariul fără control

Ce se întâmplă. Telegestiunea este comparată doar cu aparatele LED fără dimare.

Consecința. Se ignoră alternativa mai ieftină a profilului autonom, iar decizia nu poate fi apărată la un audit.

Cum se previne. Se analizează cel puțin scenariile fără control, profil autonom și telegestiune.

3. Costuri de exploatare omise

Ce se întâmplă. Analiza include doar investiția, fără abonamente, licențe, comunicații și înlocuiri.

Consecința. Costurile recurente apar ulterior în buget, iar rentabilitatea reală este mai mică decât cea prezentată.

Cum se previne. Se calculează costul pe durata de viață, cu toate costurile recurente și înlocuirile.

4. Economii procentuale adunate

Ce se întâmplă. Economiile măsurilor se adună direct, de exemplu 10 % + 30 % + 15 % = 55 %.

Consecința. Economia totală este supraestimată.

Cum se previne. Fiecare economie se aplică energiei rămase după măsurile anterioare.

5. Referință energetică neajustată

Ce se întâmplă. Economiile se calculează ca diferență simplă între consumul anului anterior și consumul curent.

Consecința. Modificările numărului de aparate sau ale duratei nopților sunt raportate ca economii sau pierderi.

Cum se previne. Se folosește o referință ajustată, conform IPMVP sau SR EN ISO 50015.

6. Contract de performanță fără M&V independent

Ce se întâmplă. Economiile sunt calculate și raportate doar de furnizor, fără verificare.

Consecința. Plățile se bazează pe economii neverificate, iar disputele nu au bază obiectivă.

Cum se previne. Contractul definește metoda de M&V, sursa datelor, ajustările și verificarea independentă.

7. Durate de viață necorelate în analiză

Ce se întâmplă. Analiza pe 20 de ani nu include înlocuirea controlerelor sau a gateway-urilor.

Consecința. Costul pe durata de viață este subestimat, iar înlocuirea nu este bugetată.

Cum se previne. Se includ înlocuirile la duratele de viață declarate și valoarea reziduală la sfârșitul analizei.

8. Arhitectură aleasă doar după costul inițial

Ce se întâmplă. Se alege soluția cu cel mai mic cost al controlerului, de exemplu cu cartelă SIM pe fiecare aparat.

Consecința. Abonamentele pe durata de viață depășesc diferența de investiție.

Cum se previne. Arhitecturile se compară pe baza costului pe durata de viață (vezi 7.1).

9. Aparate noi fără pregătire pentru telegestiune

Ce se întâmplă. Pentru a reduce costul, aparatele se achiziționează fără interfață Zhaga-D4i.

Consecința. Implementarea ulterioară a telegestiunii impune intervenții costisitoare sau înlocuirea aparatelor.

Cum se previne. Se cer aparate certificate Zhaga-D4i chiar dacă telegestiunea se implementează într-o etapă ulterioară.

10. Beneficii operaționale nedocumentate

Ce se întâmplă. Justificarea menționează generic „mentenanță mai eficientă” și „siguranță”, fără indicatori.

Consecința. Beneficiile nu pot fi verificate, iar investiția pare nejustificată față de alternativa mai ieftină.

Cum se previne. Beneficiile se exprimă prin indicatori măsurabili, urmăriți după implementare.

Concluzii

Telegestiunea este rentabilă față de funcționarea fără control, cu perioade de recuperare de câțiva ani. Față de profilurile autonome bine programate, avantajul strict energetic și de mentenanță este mai mic și depinde de parametrii proiectului, iar investiția se justifică prin beneficiile pe care doar un sistem conectat le oferă: detectarea defectelor și a consumurilor neautorizate, disponibilitatea, flexibilitatea, datele verificabile și infrastructura pentru orașul inteligent.

O analiză economică onestă, pe durata de viață, cu alternative reale, ipoteze documentate și economii verificate prin măsurare, este cea mai solidă bază pentru decizie, finanțare și contractare. Cu acest subcapitol se încheie capitolul 7; capitolul 8 prezintă evaluarea performanțelor instalațiilor de iluminat prin măsurări luminotehnice.

7.12. Bibliografie

Bibliografia cuprinde actele normative, standardele, specificațiile și sursele tehnice utilizate la elaborarea capitolului 7. Standardele se utilizează în ediția în vigoare la data aplicării, dacă nu este indicată o ediție anume. Citările în text vor fi introduse la finalizarea manualului.

Legislație europeană

[1] Directiva 2014/53/UE a Parlamentului European și a Consiliului privind armonizarea legislațiilor statelor membre referitoare la punerea la dispoziție pe piață a echipamentelor radio (RED).

[2] Regulamentul delegat (UE) 2022/30 al Comisiei de completare a Directivei 2014/53/UE în ceea ce privește aplicarea cerințelor esențiale prevăzute la articolul 3 alineatul (3) literele (d), (e) și (f).

[3] Directiva (UE) 2022/2555 privind măsuri pentru un nivel comun ridicat de securitate cibernetică în Uniune (NIS2).

[4] Regulamentul (UE) 2024/2847 privind cerințele orizontale de securitate cibernetică pentru produsele cu elemente digitale (Cyber Resilience Act).

[5] Regulamentul (UE) 2016/679 privind protecția persoanelor fizice în ceea ce privește prelucrarea datelor cu caracter personal (GDPR).

[6] Regulamentul (UE) 2023/2854 privind normele armonizate pentru accesul echitabil la date și utilizarea corectă a acestora (Data Act).

[7] Directiva (UE) 2019/1024 privind datele deschise și reutilizarea informațiilor din sectorul public.

[8] Directiva 2007/2/CE de instituire a unei infrastructuri pentru informații spațiale în Comunitatea Europeană (INSPIRE).

[9] Regulamentul (UE) 2024/903 privind măsuri pentru un nivel ridicat de interoperabilitate a sectorului public în Uniune (Interoperable Europe Act).

[10] Decizia 2006/771/CE a Comisiei privind armonizarea spectrului de frecvențe radio pentru utilizarea de către dispozitivele cu rază mică de acțiune, cu modificările ulterioare, inclusiv Decizia de punere în aplicare (UE) 2022/180.

[11] Decizia de punere în aplicare (UE) 2018/1538 a Comisiei privind armonizarea spectrului radio pentru dispozitivele cu rază mică de acțiune în benzile 874–876 MHz și 915–921 MHz.

[12] Comisia Europeană, NIS Cooperation Group – A Coordinated Implementation Roadmap for the Transition to Post-Quantum Cryptography, iunie 2025.

Legislație și reglementări naționale

[13] Legea nr. 121/2014 privind eficiența energetică, cu modificările și completările ulterioare.

[14] Legea nr. 98/2016 privind achizițiile publice, cu modificările și completările ulterioare.

[15] Ordonanța de urgență a Guvernului nr. 155/2024 privind instituirea unui cadru pentru securitatea cibernetică a rețelelor și sistemelor informatice din spațiul cibernetic național civil, cu modificările aduse prin Legea nr. 124/2025.

[16] Legea nr. 179/2022 privind datele deschise și reutilizarea informațiilor din sectorul public.

[17] ANCOM – Tabelul național de atribuire a benzilor de frecvențe și reglementările tehnice pentru interfețele radio (RO-IR), inclusiv RO-IR 01 pentru dispozitivele cu rază mică de acțiune.

[18] Administrația Fondului pentru Mediu – Programul privind creșterea eficienței energetice a infrastructurii de iluminat public (ghidul de finanțare în vigoare).

Standarde pentru iluminat și aparate de iluminat

[19] SR EN 13201-2 Iluminatul drumurilor. Partea 2: Cerințe de performanță.

[20] CEN/TR 13201-1 Road lighting – Part 1: Guidelines on selection of lighting classes.

[21] SR EN 13201-5 Iluminatul drumurilor. Partea 5: Indicatori de performanță energetică.

[22] CIE 88:2004 Guide for the lighting of road tunnels and underpasses.

[23] CEN/CR 14380 Lighting applications – Tunnel lighting.

[24] IEC 60929 AC and/or DC-supplied electronic control gear for tubular fluorescent lamps – Performance requirements (interfața analogică de dimare).

Standarde și specificații pentru comanda aparatelor

[25] DALI Alliance – specificațiile D4i (inclusiv partea 351) și programele de certificare DALI-2, D4i și DALI+.

[26] Zhaga Consortium – Book 18: Outdoor connectivity, ediția 4 (noiembrie 2025); Book 20: Smart interface between indoor luminaires and sensing/communication modules; programul de certificare Zhaga-D4i.

[27] ANSI C136.41-2025 Roadway and Area Lighting Equipment – Dimming Control between an External Locking Type Photocontrol and Ballast or Driver.

Standarde pentru compatibilitate electromagnetică, siguranță, protecții și măsurare

[28] SR EN 62056 / IEC 62056 (seria) Schimbul de date pentru citirea contoarelor, tarife și controlul sarcinii (DLMS/COSEM); EN 13757 (seria) Sisteme de comunicație pentru contoare (M-Bus).

[29] SR EN ISO 50015 Sisteme de management al energiei. Măsurarea și verificarea performanței energetice a organizațiilor.

[30] Efficiency Valuation Organization – International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP).

Standarde și specificații pentru comunicații radio și PLC

[31] SR EN 300 220 (seria) Dispozitive cu rază mică de acțiune în domeniul de frecvențe 25 MHz – 1 000 MHz.

[32] SR EN 300 328 Sisteme de transmisie de bandă largă în banda de 2,4 GHz.

[33] SR EN 301 893 Rețele radio de acces de bandă largă în banda de 5 GHz.

[34] SR EN 301 908 (seria) Rețele celulare IMT – echipamente de utilizator și stații de bază.

[35] CEPT ERC/REC 70-03 Relating to the use of Short Range Devices (SRD).

[36] ITU-R P.1411 Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems.

[37] IEEE 802.15.4 Standard for Low-Rate Wireless Networks, inclusiv amendamentul 802.15.4g (Smart Utility Networks).

[38] Wi-SUN Alliance – Field Area Network (FAN) specification.

[39] LoRa Alliance – LoRaWAN L2 1.0.4 Specification și RP002 Regional Parameters; ITU-T Y.4480 Low power protocol for wide area wireless networks.

[40] 3GPP – specificațiile Release 13–18 pentru NB-IoT, LTE-M și 5G RedCap / eRedCap.

[41] SR EN 50065-1 Transmisia de semnale pe rețelele electrice de joasă tensiune în domeniul de frecvențe 3 kHz – 148,5 kHz.

[42] ITU-T G.9903 Narrowband OFDM power line communication transceivers for G3-PLC networks; ITU-T G.9904 … for PRIME networks; IEEE 1901.2 Low-frequency narrowband power line communications.

Protocoale de aplicație, integrare și orașul inteligent

[43] OASIS – MQTT Version 3.1.1 (ISO/IEC 20922:2016) și MQTT Version 5.0 (2019).

[44] ISO/IEC 20237:2023 Sparkplug 3.0 – MQTT-based interoperability specification for the industrial internet of things.

[45] Modbus Organization – Modbus Application Protocol Specification; MODBUS/TCP Security Protocol Specification (2021).

[46] TALQ Consortium – TALQ Smart City Protocol Specification, versiunea 2 (inclusiv 2.7.0, aprilie 2026); White Paper „The Smart City Protocol” (2024); TALQ Tender Template, ediția 4 (2025); lista produselor certificate.

[47] IETF RFC 7252 The Constrained Application Protocol (CoAP); RFC 8446 The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3.

[48] OpenAPI Initiative – OpenAPI Specification, versiunea 3.

[49] IEC 60870-5-104 Telecontrol equipment and systems – Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles.

[50] IEC 62541 (seria) OPC Unified Architecture.

[51] ETSI – NGSI-LD API (Context Information Management); FIWARE – Smart Data Models.

[52] ITU-T Y.4505 (08/2024) Minimal interoperability mechanisms for smart and sustainable cities and communities; OASC – MIMs.

[53] ISO/IEC 30145 (seria) Smart city ICT reference framework; ISO/IEC 30173:2023 Digital twin – Concepts and terminology.

[54] DIN SPEC 91357:2017 Reference Architecture Model Open Urban Platform (OUP).

[55] OGC – City Geography Markup Language (CityGML) 3.0 Conceptual Model.

Securitate cibernetică și managementul sistemelor

[56] IEC 62443 (seria) Security for industrial automation and control systems, inclusiv părțile 3-2, 3-3, 4-1 și 4-2.

[57] SR EN 18031-1, -2, -3 Cerințe comune de securitate pentru echipamentele radio.

[58] ETSI EN 303 645 Cyber Security for Consumer Internet of Things: Baseline Requirements.

[59] ISO/IEC 27001 Information security, cybersecurity and privacy protection – Information security management systems – Requirements.

[60] NIST FIPS 203, FIPS 204 și FIPS 205 – standardele de criptografie post-cuantică (2024).

[61] IEC 62682 Management of alarm systems for the process industries; ANSI/ISA-18.2 Management of Alarm Systems for the Process Industries.

[62] ANSI/ISA-101.01 Human Machine Interfaces for Process Automation Systems.

Surse tehnice și documente consultate

[63] TALQ Consortium – https://www.talq-consortium.org.

[64] inteliLIGHT – „inteliLIGHT cabinet controllers integrated in Bristol's TALQ-based multi-vendor smart street lighting project", 2025.

[65] LightNOW – „TALQ Consortium Releases V2.7.0 Smart City Protocol", aprilie 2026.

[66] DALI Alliance – „D4i: Standardization and Certification for Intra-luminaire DALI", 2019; „IEC publishes further standards based on DiiA Specifications".

[67] Inventronics – Technical application guide 2DIMLT2 P LED drivers; fișe tehnice OPTOTRONIC 4DIM (funcții AstroDIM, StepDIM, MainsDIM).

[68] Eclipse Foundation – anunțul privind publicarea Sparkplug ca ISO/IEC 20237:2023.

[69] Comisia Europeană – „Cyber Resilience Act – Reporting obligations", https://digital-strategy.ec.europa.eu.

[70] EUR-Lex – Decizia de punere în aplicare (UE) 2022/180; Decizia de punere în aplicare (UE) 2018/1538.

[71] OASC – Minimal Interoperability Mechanisms și European Local Digital Twin Toolbox.

[72] Smart City Berlin – DIN SPEC 91357 Reference Architecture Model Open Urban Platform.

[73] Nordic Semiconductor Academy – materiale despre NB-IoT și LTE-M; Trialog – G3-PLC; Ericsson – 5G RedCap și eRedCap.

[74] Documentații de produs Zhaga Book 18 (Tridonic), conectori ANSI C136.41 (TE Connectivity), Zhaga Consortium – comunicatul privind Book 18 ediția 4.

[75] Documentații de produs eSave Elveția.

8. Evaluarea performanțelor sistemelor de iluminat public prin măsurări luminotehnice specifice *[Păuț I., Gălățanu C.]*

8.1. Măsurarea iluminărilor punctuale

8.1.1. Scopul măsurărilor

Măsurarea iluminărilor punctuale reprezintă una dintre metodele fundamentale prin care se verifică dacă un sistem de iluminat public asigură condițiile de iluminare prevăzute în proiect și în standardele aplicabile. Prin această metodă se determină **iluminarea în puncte discrete ale suprafeței iluminate**, exprimată în lux (lx), cu ajutorul unui luxmetru. Rezultatele permit determinarea unor indicatori precum:

- iluminarea punctuală E_i;
- iluminarea medie E_{med};
- iluminarea minimă E_{min};
- iluminarea maximă E_{max};
- uniformitatea generală;
- uniformitatea longitudinală/transversală, atunci când este relevantă;
- distribuția spațială a iluminării;
- existența unor zone insuficient iluminate;
- existența unor zone cu iluminare excesivă;
- degradarea performanțelor instalației în timp;
- conformitatea instalației cu valorile prevăzute în proiect.

Unitatea de măsură este **luxul**:

$$1\ lx = 1\ \frac{lm}{m^2}$$

unde:

- lx= lux;
- lm= lumen;
- m^2= suprafața pe care se distribuie fluxul luminos.

Este important de făcut distincția între **iluminare** și **luminanță**. Iluminarea se referă la fluxul luminos primit de o suprafață, în timp ce luminanța caracterizează lumina percepută/emisă sau reflectată de suprafață în direcția observatorului și se exprimă în cd/m^2. Pentru evaluarea anumitor categorii de drumuri, luminanța este mai relevantă decât iluminarea.

8.1.2. Ce se urmărește prin măsurarea punctuală

Un sistem de iluminat public nu trebuie analizat numai prin întrebarea:

„Câți lux avem în medie?"

Două instalații pot avea aceeași iluminare medie, dar performanțe vizuale foarte diferite. De exemplu:
Sistemul A:

$$E = [15{,}15{,}16{,}14{,}15{,}15]\ lx$$

are o distribuție foarte uniformă.

Sistemul B:

$$E = [3{,}8{,}25{,}30{,}7{,}17]\ lx$$

poate avea o medie apropiată, dar prezintă variații importante.

De aceea, măsurarea punctuală trebuie să permită atât calculul **valorii medii**, cât și caracterizarea **uniformității**.

8.1.3. Echipamentul de măsurare

Echipamentul principal este **luxmetrul**, format în general din [9]:

1. senzor fotoelectric;
2. unitate de măsurare/afișare;
3. sistem de procesare a semnalului;
4. eventual memorie internă;
5. eventual interfață pentru transferul datelor.

8.1.3.1. Senzorul

Senzorul transformă radiația luminoasă incidentă într-un semnal electric. Un luxmetru destinat măsurărilor profesionale trebuie să aibă o caracteristică spectrală cât mai apropiată de sensibilitatea spectrală fotopică a ochiului uman. În termeni simplificați, aparatul trebuie să „vadă” lumina într-un mod comparabil cu răspunsul vizual uman.

8.1.4. Cerințe privind luxmetrul

Pentru măsurări serioase în iluminatul public, luxmetrul trebuie să fie:

- adecvat domeniului de iluminări măsurate;
- verificat metrologic/calibrat conform cerințelor aplicabile;
- suficient de precis;
- stabil în timp;
- prevăzut cu senzor adecvat pentru măsurarea iluminării;
- utilizat în condițiile de temperatură și umiditate recomandate de producător.

Este foarte importantă **calibrarea**. Un luxmetru care indică 20 lx nu garantează că iluminarea reală este exact 20 lx dacă aparatul are o eroare semnificativă sau dacă senzorul este degradat.

Într-o campanie de măsurători trebuie consemnate cel puțin:

- producătorul;
- modelul aparatului;
- seria aparatului;
- domeniul de măsurare;
- data ultimei calibrări/verificări;
- incertitudinea sau clasa de precizie, dacă este disponibilă;
- starea bateriei;
- accesoriile utilizate.

8.1.5. Pregătirea măsurărilor

Înainte de începerea măsurătorilor se realizează o inspecție a instalației. Se verifică:

Sistemul de iluminat

- tipul aparatelor de iluminat;
- puterea surselor;
- tipul sursei luminoase;
- numărul corpurilor;
- poziția stâlpilor;
- distanța dintre stâlpi;
- înălțimea de montaj;
- consola;

- orientarea corpului de iluminat;
- starea optică a corpului;
- gradul de murdărire;
- eventualele deteriorări;
- existența vegetației care obturează fluxul luminos.

Zona iluminată

Se identifică:

- carosabilul;
- trotuarele;
- pistele pentru biciclete;
- parcările;
- trecerile de pietoni;
- intersecțiile;
- zonele de conflict;
- refugiile;
- sensurile de circulație.

8.1.6. Condițiile în care se efectuează măsurarea

Măsurarea iluminatului public trebuie efectuată în condiții care să permită separarea cât mai clară a contribuției instalației artificiale de alte surse de lumină.

În mod ideal:

- măsurările se efectuează pe timp de noapte;
- cerul trebuie să fie suficient de întunecat;
- trebuie evitate perioadele cu iluminare naturală reziduală semnificativă;
- se evită, pe cât posibil, condițiile meteorologice care afectează măsurarea;
- sistemul trebuie să funcționeze în regim stabil;
- trebuie consemnate condițiile meteo.

Trebuie acordată atenție:

- lunii;
- iluminatului provenit de la clădiri;
- reclamelor luminoase;
- farurilor autovehiculelor;
- vitrinelor;
- iluminatului privat;
- altor surse temporare.

Aceste surse pot introduce erori în rezultatele măsurătorilor.

8.1.7. Stabilizarea instalației

Înainte de începerea măsurărilor, instalația de iluminat trebuie lăsată să funcționeze suficient pentru a ajunge într-o stare stabilă. Acest aspect este deosebit de important pentru anumite tehnologii de iluminat, deoarece fluxul luminos poate varia în funcție de temperatura de funcționare. În cazul sistemelor moderne cu LED, trebuie ținut cont și de:

- temperatura aparatului de iluminat;
- sistemul de control;
- eventualele reglaje de putere;
- dimming;
- profilul nocturn programat;

- senzori;
- telegestiune.

Dacă instalația funcționează la 100% putere la începutul serii și ulterior trece la 70%, măsurarea trebuie efectuată la regimul pentru care se dorește evaluarea.

8.1.8. Stabilirea rețelei de puncte de măsurare

Aceasta este una dintre cele mai importante etape. Nu este suficient să alegem câteva puncte „la întâmplare”. Suprafața iluminată se împarte într-o **rețea de puncte de măsurare**. Pentru o stradă, de exemplu, se poate defini o zonă reprezentativă cuprinsă între mai multe corpuri consecutive [4].

Se urmărește captarea variației iluminării:

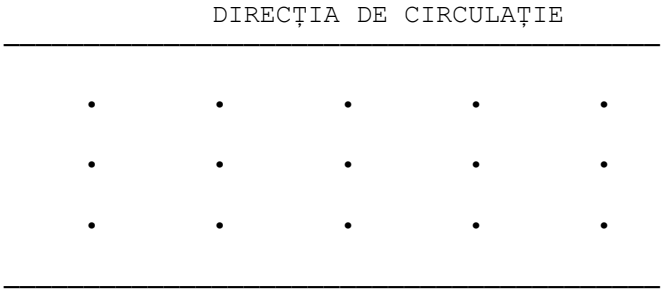
$$E(x,y)$$

unde:

- x reprezintă poziția longitudinală;
- y reprezintă poziția transversală;
- E este iluminarea în punctul respectiv.

8.1.9. Principiul rețelei de măsurare

Imaginați-vă o porțiune de carosabil:



Fiecare punct reprezintă o poziție în care se efectuează o măsurare.

Rezultă o matrice:

$$E_{ij}$$

unde i reprezintă poziția longitudinală, iar j poziția transversală.

De exemplu:

$$\begin{bmatrix} 12 & 15 & 14 & 11 \\ 16 & 20 & 18 & 14 \\ 14 & 19 & 17 & 13 \\ 10 & 14 & 13 & 9 \end{bmatrix}$$

Această matrice este mult mai informativă decât o singură valoare medie.

8.1.10. Poziționarea punctelor

În cazul unei străzi, punctele trebuie distribuite astfel încât să caracterizeze:

- zonele apropiate de aparatele de iluminat;
- zonele dintre corpuri;
- partea centrală a carosabilului;
- marginile carosabilului;
- eventualele zone critice.

În practică, geometria rețelei depinde de:

- lățimea carosabilului;
- distanța dintre stâlpi;

- configurația instalației;
- dispunerea aparatelor de iluminat;
- categoria drumului;
- cerințele standardului aplicabil;
- obiectivul măsurătorii.

8.1.11. Măsurarea propriu-zisă

Luxmetrul se poziționează în punctul stabilit. Senzorul trebuie să fie orientat corespunzător pentru măsurarea iluminării suprafeței respective.

Pentru fiecare punct se înregistrează:

$$E_i$$

De exemplu:

Punct	Iluminare
P1	14,2 lx
P2	16,8 lx
P3	18,1 lx
P4	12,4 lx
P5	9,7 lx
P6	13,5 lx
P7	17,2 lx
P8	15,9 lx

Tabelul 8.1 – Exemplu de iluminări măsurate în punctele rețelei de măsurare

În cazul unui studiu riguros se recomandă înregistrarea automată a datelor, atunci când aparatura permite acest lucru.

8.1.12. Iluminarea medie

După efectuarea tuturor măsurătorilor se calculează iluminarea medie. Formula este:

$$E_{med} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} E_i$$

unde:

- E_{med}= iluminarea medie;
- E_i= iluminarea măsurată în punctul i;
- n= numărul total de puncte.

Exemplu

Să presupunem că avem:

$$E_i = 10,\ 12,\ 15,\ 18,\ 14,\ 11,\ 16,\ 13$$

Atunci:

$$E_{med} = \frac{10 + 12 + 15 + 18 + 14 + 11 + 16 + 13}{8} E_{med} = \frac{109}{8} = 13,625\ lx$$

Deci:

$$\boxed{E_{med} = 13,63\ lx}$$

8.1.13. Iluminarea minimă

Se identifică cea mai mică valoare:

$$E_{min} = \min(E_1, E_2, \ldots, E_n)$$

În exemplul anterior:

$$E_{min} = 10\ lx$$

Această valoare este foarte importantă deoarece identifică zona cea mai slab iluminată.

8.1.14. Iluminarea maximă

În mod similar:

$$E_{max} = \max(E_1, E_2, \ldots, E_n)$$

În exemplul nostru:

$$E_{max} = 18\ lx$$

8.1.15. Uniformitatea iluminării

Una dintre cele mai importante caracteristici ale instalației este uniformitatea [4].

O instalație poate avea o iluminare medie corespunzătoare, dar să prezinte zone foarte întunecate.

O formă uzuală de exprimare este uniformitatea generală:

$$U_0 = \frac{E_{min}}{E_{med}}$$

De exemplu:

$$E_{min} = 10\ lx$$

și $E_{med} = 13,625\ lx$

rezultă:

$$U_0 = \frac{10}{13,625} U_0 \approx 0,734$$

sau:

$$\boxed{U_0 \approx 73,4\%}$$

Cu cât distribuția iluminării este mai uniformă, cu atât această valoare este mai mare.

Important: valoarea admisibilă nu trebuie inventată; ea trebuie preluată din cerința aplicabilă instalației respective și din categoria de iluminat relevantă.

8.1.16. Uniformitatea extremă

În unele evaluări se utilizează și raportul dintre iluminarea minimă și cea maximă:

$$U_{min/max} = \frac{E_{min}}{E_{max}}$$

Pentru exemplul anterior:

$$U_{min/max} = \frac{10}{18} = 0,556$$

Această valoare evidențiază diferența dintre punctul cel mai întunecat și punctul cel mai luminos.

8.1.17. De ce este importantă uniformitatea

Să considerăm două instalații.

Instalația A

$$E_{med} = 15\ lx E_{min} = 12\ lx$$

Atunci:

$$U_0 = \frac{12}{15} = 0,80$$

Instalația B

$$E_{med} = 15\ lx E_{min} = 3\ lx$$

Atunci:

$$U_0 = \frac{3}{15} = 0,20$$

Ambele au aceeași iluminare medie, dar distribuția luminii este foarte diferită. Acesta este motivul pentru care **evaluarea sistemului nu se poate baza exclusiv pe iluminarea medie**.

8.1.18. Reprezentarea grafică a rezultatelor

O metodă foarte utilă este reprezentarea valorilor măsurate sub formă de hartă de iluminare.

Exemplu conceptual:

```
18      20      19      17
|       |       |       |
15      17      18      14
|       |       |       |
11      13      14      10
|       |       |       |
 8       9      11       7
```

Se poate construi și o hartă de tip **contur/isolux**, în care punctele cu valori similare sunt unite. Astfel se observă imediat:

- zonele întunecate;
- zonele supra-iluminate;
- gradientele de iluminare;
- efectul poziției corpurilor de iluminat;
- neuniformitățile.

8.1.19. Curbele isolux

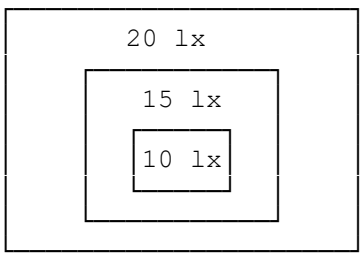
O curbă isolux unește punctele în care:

$$E = constant$$

De exemplu:

- 5 lx;
- 10 lx;
- 15 lx;
- 20 lx.

O hartă isolux poate avea aspectul conceptual:



Într-un raport tehnic, reprezentarea grafică poate fi realizată cu un software de calcul sau CAD/GIS.

8.1.20. Identificarea punctelor critice

După măsurare, trebuie analizate punctele cu valori neobișnuit de mici sau mari. Un punct cu iluminare foarte mică poate indica:

- aparat de iluminat defect;
- sursă luminoasă degradată;
- apparat de iluminat murdar;
- orientare incorectă;
- obturarea fluxului luminos de către vegetație;
- distanță prea mare între stâlpi;
- înălțime de montaj necorespunzătoare;
- degradarea opticii;
- reglaj incorect al sistemului;
- reducerea automată a puterii.

O valoare foarte mare într-o anumită zonă poate indica:

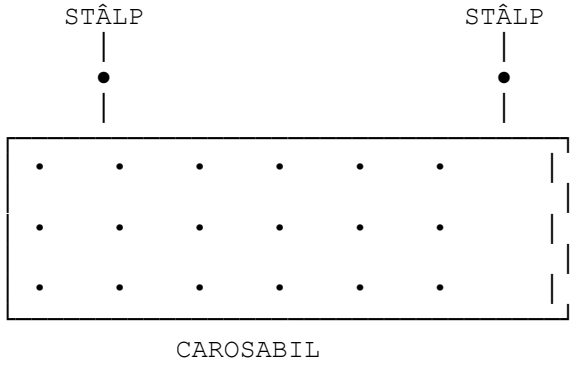
- suprapunerea excesivă a fluxurilor;
- orientare necorespunzătoare;
- utilizarea unui corp cu distribuție fotometrică nepotrivită;
- reglaje incorecte;
- necesitatea optimizării distribuției luminoase.

8.1.21. Măsurarea pe carosabil

Pentru carosabil, trebuie acordată atenție deosebită geometriei. Se definesc:

- axa drumului;
- marginile carosabilului;
- direcția longitudinală;
- direcția transversală;
- poziția corpurilor de iluminat.

O schemă simplificată:



Punctele trebuie stabilite conform metodei de evaluare aplicabile, nu arbitrar.

8.1.22. Măsurarea pe trotuare

Pentru trotuare, principiul este similar. Se stabilește o rețea de puncte pe suprafața pietonală. Trebuie urmărite în special:

- zonele dintre stâlpi;
- zonele de lângă arbori;
- schimbările de direcție;
- trecerile de pietoni;
- rampele;

- zonele de acces;
- intersecțiile.

8.1.23. Măsurarea trecerilor de pietoni

Trecerile de pietoni sunt zone speciale. Aici nu este suficientă simpla determinare a iluminării medii a străzii. Trebuie analizată configurația specifică a trecerii și cerințele aplicabile acesteia. Pot fi importante:

- iluminarea verticală;
- iluminarea orizontală;
- contrastul;
- poziția aparatului de iluminat;
- distribuția fluxului luminos;
- vizibilitatea pietonului pentru conducătorul auto.

În consecință, pentru o trecere de pietoni poate fi necesară o metodologie de măsurare diferită de cea utilizată pe tronsonul normal de carosabil.

8.1.24. Iluminarea orizontală și verticală

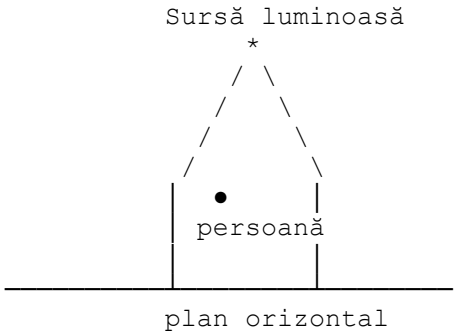
Iluminarea orizontală

Este iluminarea unei suprafețe orizontale. În practică, luxmetrul se utilizează pentru măsurarea iluminării primite de planul respectiv.

Iluminarea verticală

Este măsurată pe un plan vertical. Este importantă, de exemplu, pentru evaluarea vizibilității unei persoane.

Conceptual:



Pentru evaluări speciale, senzorul se poziționează pe direcția și planul cerut de metodologia aplicabilă.

8.1.25. Factori care influențează măsurarea

Rezultatul luxmetrului poate fi influențat de numeroși factori.

8.1.25.1. Poziția senzorului

O deplasare chiar și relativ mică poate modifica rezultatul într-o zonă cu variații rapide ale iluminării.

8.1.25.2. Orientarea senzorului

Senzorul trebuie poziționat corect față de planul măsurat.

8.1.25.3. Umbra operatorului

Operatorul poate obtura o parte din fluxul luminos. De aceea trebuie evitată poziționarea corpului între sursa luminoasă și senzor.

8.1.25.4. Farurile autovehiculelor

Un autovehicul care trece prin zona măsurată poate produce o valoare artificial crescută.

8.1.25.5. Iluminatul ambiental

Reclamele, vitrinele, iluminatul clădirilor etc. pot contribui la valoarea măsurată [8].

8.1.25.6. Condițiile atmosferice

Ploaia, ceața, umezeala sau suprafețele umede pot modifica distribuția luminii.

8.1.26. Suprafața umedă

Este un aspect foarte important. Un carosabil umed poate reflecta diferit lumina față de unul uscat. În consecință, măsurătorile trebuie realizate în condiții comparabile cu metodologia de evaluare și trebuie consemnată starea suprafeței. Într-un raport se poate nota, de exemplu:

„Carosabil uscat, fără precipitații în momentul efectuării măsurătorilor.”

sau:

„Carosabil umed în urma precipitațiilor; rezultatele trebuie interpretate în raport cu această condiție.”

8.1.27. Controlul calității datelor

Nu toate valorile măsurate trebuie acceptate automat. Dacă se obține:

$$E = [12{,}13{,}14{,}13{,}450{,}12{,}14]$$

valoarea de 450 lx este evident suspectă într-un sistem care în rest are valori de ordinul 10–15 lx. Poate fi cauzată de:

- farul unui autovehicul;
- o sursă externă;
- eroare de operare;
- poziționarea greșită a senzorului;
- eroare de aparat.

Valoarea trebuie investigată și, dacă metodologia permite, măsurătoarea se repetă.

Nu trebuie eliminată pur și simplu o valoare doar pentru că „nu ne place”.

8.1.28. Repetarea măsurărilor

Pentru punctele suspecte se poate face o a doua măsurare. De exemplu:

$$E_1 = 8{,}4\ lx$$

La repetare:

$$E_2 = 8{,}5\ lx$$

Rezultatul este foarte apropiat, ceea ce indică o măsurătoare stabilă. Dacă rezultatele sunt:

$$E_1 = 8{,}4\ lx$$

și:

$$E_2 = 14{,}7\ lx$$

trebuie investigată cauza diferenței.

8.1.29. Incertitudinea de măsurare

Într-o abordare profesională trebuie ținut cont și de incertitudine. Rezultatul poate fi exprimat conceptual [10]:

$$E = E_{măsurat} \pm U$$

unde U este incertitudinea extinsă asociată măsurării.

Sursele de incertitudine pot include:

- precizia luxmetrului;
- calibrarea;
- rezoluția aparatului;
- poziționarea senzorului;
- repetabilitatea;
- variațiile instalației;
- influența mediului;
- sursele de lumină parazite.

Pentru verificări simple de teren, raportarea poate fi mai simplă, dar pentru recepții sau expertize este importantă tratarea riguroasă a incertitudinii.

8.1.30. Influența reglajului sistemului

Un sistem de iluminat public modern poate fi controlat prin [6]:

- telegestiune;
- reglaj de putere;
- dimming;
- profiluri orare;
- senzori.

De aceea trebuie consemnat exact **regimul de funcționare**. De exemplu:

Parametru	**Valoare**
Ora	23:30
Regim	nocturn redus
Putere nominală	100%
Putere în timpul testului	70%
Tensiune	... V
Condiții meteo	senin
Carosabil	uscat

Tabelul 8.2 – Exemplu de consemnare a regimului de funcționare la momentul măsurării

Altfel, două campanii de măsurare realizate la ore diferite pot produce rezultate diferite fără ca instalația să fi fost modificată fizic.

8.1.31. Evaluarea față de proiect

După obținerea parametrilor se face comparația cu valorile proiectate. De exemplu, dacă proiectul impune:

$$E_{med,proiectat} = 15\ lx$$

iar măsurarea indică:

$$E_{med,măsurat} = 14,2\ lx$$

se calculează abaterea relativă:

$$\Delta E = \frac{E_{med,măsurat} - E_{med,proiectat}}{E_{med,proiectat}} \times 100$$

Rezultă:

$$\Delta E = \frac{14,2 - 15}{15} \times 100 \Delta E = -5,33\%$$

Deci iluminarea măsurată este cu aproximativ 5,3% sub valoarea proiectată. **Faptul că există o abatere nu înseamnă automat neconformitate.** Trebuie verificată toleranța/criteriul aplicabil și metodologia contractuală sau normativă.

8.1.32. Evaluarea globală a sistemului

O evaluare completă poate urmări simultan [1], [3]:

$$E_{med} E_{min} E_{max} U_0 = \frac{E_{min}}{E_{med}}$$

și, după caz:

$$U_{min/max} = \frac{E_{min}}{E_{max}}$$

Acestea trebuie analizate împreună. Un raport poate avea forma:

Indicator	Rezultat
E_{med}	14,2 lx
E_{min}	7,8 lx
E_{max}	21,5 lx
U_0	0,55
$U_{min/max}$	0,36

Tabelul 8.3 – Exemplu de prezentare a indicatorilor rezultați din măsurare

Apoi rezultatele se compară cu criteriile aplicabile.

8.1.33. Interpretarea distribuției

Este utilă și analiza statistică. Se poate determina abaterea standard:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (E_i - E_{med})^2}$$

O abatere standard mai mare indică o dispersie mai mare a valorilor în jurul mediei. Se poate calcula și coeficientul de variație:

$$CV = \frac{\sigma}{E_{med}} \times 100$$

Acesta este util pentru analiza uniformității, dar **nu trebuie confundat cu indicatorii normativi de uniformitate**.

8.1.34. Exemplu complet de calcul

Presupunem că pe un tronson avem următoarele valori:

$$10,\ 12,\ 14,\ 16,\ 18,\ 15,\ 13,\ 11,\ 9,\ 17$$

Avem:

$$n = 10$$

Suma:

$$135$$

Prin urmare:

$$E_{med} = \frac{135}{10} = 13,5\ lx$$

Iluminarea minimă:

$$E_{min} = 9\ lx$$

Iluminarea maximă:

$$E_{max} = 18\ lx$$

Uniformitatea:

$$U_0 = \frac{9}{13,5} = 0,667$$

adică:

$$\boxed{U_0 = 66,7\%}$$

Uniformitatea minim/maxim:

$$U_{min/max} = \frac{9}{18} = 0,50$$

Rezultatul ar putea fi prezentat astfel: Pentru tronsonul analizat, iluminarea medie măsurată este de 13,5 lx, valoarea minimă este de 9 lx, iar valoarea maximă este de 18 lx. Uniformitatea generală calculată prin raportul dintre iluminarea minimă și iluminarea medie este 0,667, iar raportul dintre iluminarea minimă și cea maximă este 0,50. Conformitatea acestor rezultate se stabilește prin compararea cu cerințele aplicabile categoriei de iluminat și condițiilor de exploatare analizate.

8.1.35. Ce trebuie să conțină un proces-verbal de măsurare

Un proces-verbal serios ar trebui să includă cel puțin:

A. Date generale

- beneficiar;
- amplasament;
- tronsonul analizat;
- data;
- ora;
- executantul măsurătorilor;
- scopul măsurării.

B. Date despre instalație

- tipul aparatelor de iluminat;
- producător/model;
- putere;
- număr aparate;
- înălțime de montaj;
- distanța dintre stâlpi;
- geometria drumului;
- sistem de comandă;
- regimul de funcționare.

C. Aparatura

- luxmetru;

- producător;
- model;
- serie;
- domeniu;
- data calibrării/verificării.

D. Condiții de mediu

- temperatură;
- umiditate;
- precipitații;
- nebulozitate;
- starea carosabilului;
- surse externe de lumină.

E. Măsurări

Tabel cu:

- numărul punctului;
- coordonata X;
- coordonata Y;
- iluminarea;
- observații.

F. Rezultate

- E_{med};
- E_{min};
- E_{max};
- uniformități;
- eventual abaterea standard;
- eventual harta isolux.

G. Concluzie

Se precizează dacă rezultatele:

- respectă criteriile aplicabile;
- nu respectă anumite criterii;
- necesită investigații suplimentare.

8.1.36. Exemplu de tabel de teren

Nr.	X [m]	Y [m]	E [lx]	Observații
1	0	0	11,2	normal
2	5	0	13,4	normal
3	10	0	15,8	normal
4	15	0	17,1	normal
5	20	0	12,3	normal
6	0	3	9,8	normal
7	5	3	12,7	normal
8	10	3	16,4	normal
9	15	3	14,9	normal
10	20	3	10,2	normal

Tabelul 8.4 – Exemplu de tabel de teren pentru măsurarea iluminării

Din această bază se poate genera automat:

- media;
- minimul;
- maximul;
- uniformitatea;
- graficul distribuției;
- harta isolux.

8.1.37. Măsurarea înainte și după intervenție

Măsurarea punctuală este foarte utilă pentru verificarea lucrărilor de modernizare. Se poate face:
Înainte $E_{med} = 8,5\ lx$
După $E_{med} = 15,3\ lx$
Dar trebuie analizată și uniformitatea. De exemplu:

Indicator	Înainte	După
E_{med}	8,5 lx	15,3 lx
E_{min}	2,1 lx	9,2 lx
E_{max}	19,0 lx	22,1 lx
U_0	0,25	0,60

Tabelul 8.5 – Indicatorii de iluminare înainte și după intervenție

Astfel se observă nu numai creșterea cantității de lumină, ci și modificarea distribuției acesteia.

8.1.38. Erori frecvente în măsurarea iluminatului public

Eroarea 1 — prea puține puncte

Dacă se măsoară doar 3–4 puncte, există riscul ca zonele critice să nu fie detectate.

Eroarea 2 — puncte alese convenabil

Nu trebuie selectate doar punctele în care lumina este bună.

Eroarea 3 — ignorarea iluminatului parazit

Reclamele, farurile și vitrinele pot modifica rezultatul.

Eroarea 4 — senzorul ținut incorect

Orientarea incorectă poate introduce erori importante.

Eroarea 5 — umbra operatorului

Operatorul poate influența măsurarea.

Eroarea 6 — instalația nu este în regim stabil

Rezultatele nu mai sunt comparabile.

Eroarea 7 — neconsemnarea orei

Important mai ales la sisteme cu dimming și telegestiune.

Eroarea 8 — compararea cu o valoare normativă nepotrivită

Trebuie identificată mai întâi **categoria și situația de iluminat corespunzătoare**.

Eroarea 9 — confundarea iluminării cu luminanța

Sunt mărimi fotometrice diferite.

Eroarea 10 — concluzie bazată exclusiv pe E_{med}
Uniformitatea și ceilalți indicatori pot fi la fel de importanți.

8.1.39. Fluxul complet al unei campanii de măsurare

Procesul poate fi sintetizat astfel:

```
IDENTIFICAREA OBIECTIVULUI
          ↓
IDENTIFICAREA CATEGORIEI DE DRUM
          ↓
STABILIREA CRITERIILOR DE EVALUARE
          ↓
INSPECȚIA INSTALAȚIEI
          ↓
VERIFICAREA LUXMETRULUI
          ↓
STABILIREA REȚELEI DE MĂSURARE
          ↓
STABILIREA CONDIȚIILOR DE TEST
          ↓
PUNEREA INSTALAȚIEI ÎN REGIM STABIL
          ↓
MĂSURAREA PUNCT CU PUNCT
          ↓
VERIFICAREA DATELOR
          ↓
REPETAREA VALORILOR SUSPECTE
          ↓
CALCUL Emed / Emin / Emax
          ↓
CALCUL UNIFORMITĂȚI
          ↓
ANALIZĂ GRAFICĂ / ISOLUX
          ↓
COMPARAȚIE CU CERINȚELE
          ↓
RAPORT TEHNIC
          ↓
CONCLUZII / MĂSURI CORECTIVE
```

8.1.40. Ce înseamnă, în final, „performanța” unui sistem de iluminat public

Performanța nu trebuie redusă la puterea instalată sau la numărul de aparate de iluminat. Un sistem performant trebuie analizat prin prisma mai multor aspecte:

Performanță fotometrică

- nivelul iluminării;
- uniformitatea;
- distribuția luminii;
- controlul orbiri/disconfortului, după caz.

Performanță energetică

- puterea instalată;
- consumul de energie;
- eficiența sistemului;
- nivelurile de dimming;
- timpul de funcționare.

Performanță operațională

- continuitatea funcționării;
- numărul aparatelor defecte;
- stabilitatea instalației;
- comportarea sistemului de control.

Performanță în exploatare

- murdărirea;
- deprecierea fluxului luminos;
- îmbătrânirea surselor;
- întreținerea;
- păstrarea parametrilor fotometrici în timp.

Astfel, **măsurarea punctuală a iluminării reprezintă o fotografie cantitativă a distribuției luminii într-un anumit moment și în anumite condiții de exploatare**. Pentru o evaluare completă a sistemului trebuie corelată cu datele proiectului, geometria instalației, caracteristicile fotometrice ale corpurilor, regimul de funcționare și criteriile tehnice aplicabile.

8.2. Măsurarea luminanțelor punctuale

8.2.1. Ce este luminanța?

Luminanța este mărimea fotometrică ce caracterizează luminozitatea aparentă a unei suprafețe în direcția observatorului [2]. Se notează uzual cu:

$$L$$

iar unitatea de măsură este:

$$\boxed{\mathrm{cd/m^2}}$$

(candela pe metru pătrat).

Spre deosebire de **iluminare**, care exprimă cât flux luminos ajunge pe o suprafață și se măsoară în lux, **luminanța descrie cât de luminoasă apare suprafața respectivă unui observator**.

Pentru iluminatul public rutier, această diferență este fundamentală:

- **iluminanța** $E\rightarrow$ caracterizează lumina incidentă pe carosabil;
- **luminanța** $L\rightarrow$ caracterizează luminozitatea carosabilului percepută de conducătorul auto.

În evaluarea iluminatului rutier, luminanța este deosebit de importantă deoarece condițiile vizuale ale conducătorului auto depind de distribuția luminozității drumului în câmpul său vizual.

8.2.2. De ce se măsoară luminanța într-un sistem de iluminat public?

Măsurarea luminanțelor permite verificarea faptului că instalația de iluminat realizează condițiile fotometrice prevăzute în proiect și în standardele aplicabile. În practică se urmăresc mai multe aspecte:

1. **nivelul mediu al luminanței carosabilului;**
2. **uniformitatea generală a luminanței;**
3. **uniformitatea longitudinală;**
4. **distribuția luminanței în zona analizată;**
5. **eventuale zone excesiv de întunecate;**
6. **eventuale zone excesiv de luminoase;**
7. **influența degradării corpurilor de iluminat;**
8. **menținerea performanțelor instalației în timp.**

O instalație poate avea o iluminare medie aparent corespunzătoare și, totuși, să prezinte o distribuție necorespunzătoare a luminanței, cu alternanțe importante între zone luminoase și zone întunecate. De aceea, **nu este suficientă o singură măsurătoare**

8.2.3. Principiul măsurării punctuale

Măsurarea punctuală presupune determinarea luminanței în mai multe puncte prestabilite ale suprafeței carosabilului. Schema conceptuală este:

corpuri de iluminat → carosabil → luminanță observată din poziția conducătorului auto

Luminanța este măsurată cu ajutorul unui **luminanțmetru**.

Aparatul este orientat către punctele de măsurare de pe suprafața carosabilului și determină luminanța aparentă a acestora în direcția de observare stabilită. Rezultatul este o serie de valori:

$$L_1, L_2, L_3, ..., L_n$$

din care se pot calcula indicatorii necesari pentru evaluarea instalației.

8.2.4. Echipamentul de măsurare

Pentru măsurarea luminanței se utilizează un **luminanțmetru fotometric**, preferabil unul destinat măsurătorilor de iluminat rutier. Un astfel de aparat trebuie să permită determinarea luminanței în $\mathrm{cd/m^2}$ și să aibă caracteristici adecvate domeniului de măsurare [9].

Elementele principale sunt:

- sistem optic;
- detector fotometric;
- filtru de corecție spectrală;
- sistem de focalizare;
- afișaj / sistem de înregistrare;
- eventual teleobiectiv sau sistem de vizare;
- sursă de alimentare;
- eventual interfață pentru transferul datelor.

Caracteristici importante

La alegerea aparatului trebuie avute în vedere:

- domeniul de măsurare;
- precizia;
- repetabilitatea;
- rezoluția;
- unghiul de măsurare;
- corecția spectrală;
- stabilitatea în timp;
- temperatura de funcționare;
- trasabilitatea etalonării.

8.2.5. Luminanța versus iluminare

Este una dintre cele mai importante distincții.

Iluminarea $E = \frac{d\Phi}{dA}$

unde:

- E= iluminarea [lx];
- $d\Phi$= flux luminos incident;
- dA= suprafața iluminată.

Se măsoară cu **luxmetrul**.

Luminanța

În forma simplificată pentru o suprafață:

$$L = \frac{d^2\Phi}{dA \cos\theta \, d\Omega}$$

unde:

- L= luminanță [cd/m²];
- dA= suprafața aparentă;
- $d\Omega$= unghiul solid;
- θ= unghiul dintre normala suprafeței și direcția de observare.

Prin urmare, luminanța depinde nu doar de iluminarea suprafeței, ci și de **proprietățile optice ale acesteia și de direcția din care este privită**.

8.2.6. Particularitatea carosabilului

Carosabilul nu se comportă ca o suprafață perfect difuzantă. Asfaltul are proprietăți de reflectanță care depind de [7]:

- textura suprafeței;
- compoziția asfaltului;
- gradul de uzură;
- umiditate;
- orientarea suprafeței;
- unghiul de incidență al luminii;
- direcția de observare.

În consecință, luminanța unui punct poate varia chiar dacă iluminanța incidentă este aceeași. Aceasta explică de ce evaluarea iluminatului rutier pe baza luminanței este mai complexă decât simpla măsurare a iluminanței.

8.2.7. Poziția observatorului

Pentru iluminatul rutier, poziția observatorului este esențială. Luminanța trebuie determinată **dintr-o direcție de observare definită**, care reproduce condițiile relevante pentru conducătorul auto. În funcție de metodologia și standardul aplicabil, se stabilește geometria dintre [4], [7]:

- punctul de observare;
- suprafața carosabilului;
- punctele de măsurare;
- corpurile de iluminat.

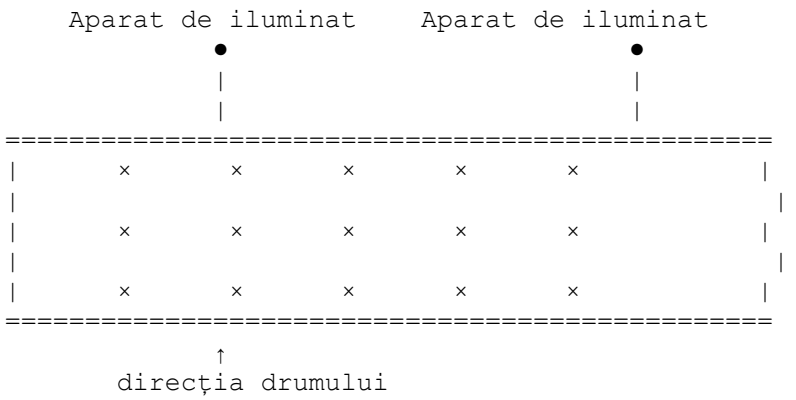
Nu este corect să se măsoare luminanța dintr-o poziție arbitrară și să se considere rezultatul echivalent cu luminanța percepută de conducătorul auto.

8.2.8. Stabilirea rețelei de măsurare

Aceasta este una dintre cele mai importante etape. Zona de drum analizată se împarte într-o **rețea de puncte de măsurare**. În mod uzual, rețeaua este raportată la:

- distanța dintre stâlpi;
- lățimea carosabilului;
- benzile de circulație;
- poziția corpurilor de iluminat.

Conceptual:



Fiecare „×” reprezintă un punct în care se determină luminanța.

Numărul exact de puncte, poziționarea lor și geometria observației trebuie stabilite conform **standardului/metodei de încercare aplicabile proiectului**. Nu este recomandabil să se aleagă arbitrar o rețea dacă rezultatele urmează să fie utilizate pentru recepție sau conformitate normativă.

8.2.9. Pregătirea măsurărilor

Înaintea măsurărilor trebuie verificată instalația. Se consemnează:

- tipul aparatelor de iluminat;
- puterea instalată;
- numărul corpurilor;
- înălțimea de montaj;
- distanța dintre stâlpi;
- lățimea carosabilului;
- dispunerea corpurilor;
- orientarea corpurilor;
- regimul de funcționare;
- eventualele sisteme de telegestiune/dimming.

De asemenea, trebuie verificat:

- dacă toate aparatele funcționează;
- dacă există corpuri defecte;
- dacă există corpuri înlocuite recent;
- dacă instalația funcționează în regimul pentru care se face verificarea.

8.2.10. Condițiile de mediu

Măsurările nocturne sunt influențate de mediul înconjurător. Trebuie urmărite, după caz:

- precipitațiile;
- umiditatea carosabilului;
- ceața;
- praful;
- iluminatul ambiental;
- iluminatul provenit de la reclame;
- farurile autovehiculelor;
- iluminatul clădirilor;
- alte surse luminoase.

Un carosabil ud poate modifica semnificativ distribuția luminanței și reflexiile. Pentru măsurări comparative destinate verificării unei instalații, condițiile trebuie consemnate și menținute cât mai apropiate de condițiile prevăzute de metodologia aplicată.

8.2.11. Stabilizarea instalației

După pornirea iluminatului public, măsurările nu trebuie efectuate automat în primul moment. Sursele de lumină și aparatura de comandă pot necesita un interval de stabilizare.

În special la instalațiile cu:

- lămpi cu descărcare;
- balasturi;
- sisteme de reglare;
- LED-uri cu drivere și telegestiune,

trebuie ținut cont de regimul termic și electric. Pentru LED, variația temperaturii poate influența fluxul luminos și, implicit, luminanțele măsurate.

8.2.12. Efectuarea măsurării

Procedura generală este:

Pasul 1 — identificarea zonei

Se delimitează tronsonul de drum.

Pasul 2 — identificarea aparatelor

Se notează poziția fiecărui aparat de iluminat.

Pasul 3 — stabilirea punctului de observație

Se poziționează aparatul astfel încât geometria de măsurare să respecte metoda adoptată.

Pasul 4 — orientarea aparatului

Luminanțmetrul este orientat succesiv către fiecare punct al rețelei.

Pasul 5 — citirea valorii

Pentru fiecare punct se înregistrează:

$$L_i \ [\mathrm{cd/m^2}]$$

Pasul 6 — repetarea

Dacă este necesar, fiecare măsurare se poate repeta pentru verificarea repetabilității.

Pasul 7 — înregistrarea condițiilor

Se consemnează:

- ora;
- temperatura;
- starea carosabilului;
- condițiile meteorologice;
- regimul instalației;
- aparatul utilizat;
- identificarea tronsonului;
- observații privind traficul și sursele perturbatoare.

8.2.13. Exemplu de tabel de măsurări

Un tabel simplificat poate avea forma:

Punct	Poziție longitudinală	Poziție transversală	Luminanță [cd/m²]
1	0,00	0,00	1,42
2	0,25	0,00	1,56
3	0,50	0,00	1,21

Punct	Poziție longitudinală	Poziție transversală	Luminanță [cd/m²]
4	0,75	0,00	1,37
5	1,00	0,00	1,49
6	0,00	0,50	1,12
7	0,25	0,50	1,31
8	0,50	0,50	1,18
...	...	...	...

Tabelul 8.6 – Exemplu de tabel de măsurări ale luminanței

Valorile de mai sus sunt **doar exemplificative** și nu reprezintă criterii de conformitate.

8.2.14. Calculul luminanței medii

După efectuarea măsurătorilor se determină luminanța medie:

$$\boxed{L_{med} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} L_i}$$

unde:

- L_{med}= luminanța medie;
- L_i= luminanța măsurată în punctul i;
- n= numărul total de puncte.

Exemplu

Presupunem că avem:

$$1,20;\ 1,40;\ 1,30;\ 1,50;\ 1,10$$

Atunci:

$$L_{med} = \frac{1,20 + 1,40 + 1,30 + 1,50 + 1,10}{5} \boxed{L_{med} = 1,30\ cd/m^2}$$

8.2.15. Uniformitatea generală

Una dintre cele mai importante caracteristici ale iluminatului rutier este uniformitatea. Uniformitatea generală se poate exprima prin:

$$\boxed{U_0 = \frac{L_{min}}{L_{med}}}$$

unde:

- L_{min}= cea mai mică luminanță măsurată;
- L_{med}= luminanța medie.

Exemplu

Dacă:

$$L_{min} = 0,75\ cd/m^2$$

Și $L_{med} = 1,50\ cd/m^2$

rezultă:

$$U_0 = \frac{0,75}{1,50} = 0,50$$

Deci:

$$\boxed{U_0 = 0,50}$$

Interpretarea conformității trebuie făcută prin raportare la **clasa de iluminat și cerințele standardului aplicabil**, nu prin folosirea unei valori universale.

8.2.16. Uniformitatea longitudinală

Pentru drumurile cu circulație auto este relevantă și uniformitatea de-a lungul direcției de deplasare. În funcție de metoda utilizată, se poate calcula:

$$\boxed{U_L = \frac{L_{min}}{L_{max}}}$$

unde L_{min} și L_{max} sunt valorile relevante de luminanță de-a lungul unei linii/benzi de măsurare definite de metodologie. Acest indicator este important deoarece un drum poate avea o luminanță medie satisfăcătoare, dar poate prezenta alternanțe pronunțate:

luminos → întunecat → luminos → întunecat

Aceste variații pot afecta confortul vizual și percepția obstacolelor.

8.2.17. Harta de luminanță

O metodă foarte utilă de analiză este reprezentarea valorilor măsurate sub forma unei **hărți de luminanță**. Exemplu conceptual:

```
            DIRECȚIA DE CIRCULAȚIE
  ──────────────────────────────────────>

  1,4      1,6      1,5      1,3
   ×        ×        ×        ×

  1,1      1,3      1,2      1,4
   ×        ×        ×        ×

  0,8      1,0      0,9      1,1
   ×        ×        ×        ×
```

O asemenea reprezentare permite identificarea rapidă a:

- zonelor întunecate;
- zonelor foarte luminoase;
- gradientelor;
- distribuției neuniforme;
- eventualelor defecte locale.

Pentru un raport tehnic este foarte utilă și o reprezentare grafică de tip **contur/heatmap**, dar aceasta trebuie construită pornind de la punctele măsurate și fără a pretinde o precizie spațială mai mare decât permite rețeaua de măsurare.

8.2.18. Factorii care influențează luminanța măsurată

Luminanța rezultată nu depinde exclusiv de puterea aparatului de iluminat.

8.2.18.1. Fluxul luminos

Un flux luminos mai mare poate conduce la o luminanță mai mare, dar relația efectivă depinde de geometria instalației și de reflectanța suprafeței.

8.2.18.2. Înălțimea aparatului

Creșterea înălțimii de montaj modifică distribuția luminii pe carosabil.

8.2.18.3. Distanța dintre stâlpi

Distanțe prea mari pot produce zone cu luminanță redusă.

8.2.18.4. Distribuția fotometrică

Două aparate cu aceeași putere electrică pot avea distribuții luminoase complet diferite.

8.2.18.5. Orientarea aparatului

O mică modificare a înclinării poate schimba semnificativ distribuția luminanței.

8.2.18.6. Proprietățile carosabilului

Acestea au o influență majoră.

8.2.18.7. Starea carosabilului

Un carosabil uscat și unul umed pot prezenta distribuții foarte diferite.

8.2.18.8. Murdărirea aparatului de iluminat

Praful și depunerile reduc fluxul emis.

8.2.18.9. Îmbătrânirea LED-urilor

În timp poate apărea deprecierea fluxului luminos.

8.2.18.10. Sistemul de reglare

Reducerea fluxului prin dimming modifică direct rezultatele fotometrice.

8.2.19. Erori posibile de măsurare

O măsurătoare de luminanță poate fi afectată de numeroase erori.

Erori instrumentale

- calibrare incorectă;
- deriva aparatului;
- detector necorespunzător;
- domeniu de măsurare ales incorect;
- baterie insuficientă;
- temperatură în afara domeniului de funcționare.

Erori geometrice

- poziție greșită a aparatului;
- înălțime incorectă;
- unghi de observare incorect;
- orientare greșită către punct;
- distanță incorectă.

Erori de mediu

- ploaie;
- ceață;
- carosabil umed;
- iluminare parazită;
- faruri de autovehicule.

Erori umane

- identificarea greșită a punctului;

- transcriere greșită;
- rotunjire excesivă;
- confundarea luminanței cu iluminanța;
- modificarea accidentală a geometriei între puncte.

8.2.20. Influența traficului

Măsurătorile reale în iluminatul public se efectuează adesea în condiții în care există trafic. Farurile autovehiculelor pot introduce lumină suplimentară în câmpul de măsurare. Aceasta poate conduce la valori care nu reprezintă exclusiv contribuția instalației de iluminat public.

De aceea, trebuie stabilită o procedură pentru:

- evitarea măsurării atunci când un vehicul perturbă punctul;
- repetarea măsurării;
- înregistrarea situațiilor anormale;
- delimitarea surselor de lumină străine instalației analizate.

8.2.21. Măsurări în condiții reale versus verificarea finală

Trebuie făcută o distincție între:

A. Monitorizare / diagnostic

Scopul este identificarea degradării instalației. Se pot utiliza măsurători mai frecvente și proceduri interne.

B. Recepție

Scopul este demonstrarea conformității instalației cu proiectul și cerințele contractuale/normative. Aici trebuie respectată cu strictețe metodologia aplicabilă, inclusiv:

- poziția observatorului;
- rețeaua de puncte;
- condițiile de funcționare;
- instrumentele;
- calibrarea;
- criteriile de acceptare.

8.2.22. Etalonarea instrumentului

Pentru rezultate credibile, luminanțmetrul trebuie să fie **calibrat și verificat metrologic conform cerințelor aplicabile**. În documentația de măsurare se recomandă să apară:

- producătorul;
- modelul;
- seria;
- domeniul de măsurare;
- data ultimei calibrări/verificări;
- identificarea certificatului;
- incertitudinea de măsurare, dacă este disponibilă;
- condițiile de utilizare.

Este important să nu se confunde:

precizia afișată de aparat cu incertitudinea totală a rezultatului măsurării.

8.2.23. Incertitudinea măsurării

Într-o abordare metrologică, rezultatul ar trebui privit sub forma:

$$L = L_m \pm U$$

unde:

- L_m= valoarea măsurată;
- U= incertitudinea extinsă.

Sursele de incertitudine pot include:

- instrumentul;
- calibrarea;
- repetabilitatea;
- poziționarea;
- geometria;
- condițiile de mediu;
- variația instalației;
- citirea/înregistrarea.

Pentru măsurători oficiale, modul exact de evaluare a incertitudinii trebuie să urmeze procedura laboratorului/metodologia aplicabilă.

8.2.24. Exemplu complet de prelucrare

Să presupunem că se măsoară 12 puncte:

$$1,40;\ 1,55;\ 1,32;\ 1,28; 1,48;\ 1,20;\ 1,35;\ 1,52; 1,10;\ 1,25;\ 1,45;\ 1,30$$

Suma este:

$$16,20$$

iar numărul de puncte:

$$n = 12$$

Prin urmare:

$$L_{med} = \frac{16,20}{12}$$

$$\boxed{L_{med} = 1,35\ cd/m^2}$$

Valoarea minimă:

$$L_{min} = 1,10\ cd/m^2$$

Prin urmare:

$$U_0 = \frac{1,10}{1,35} \boxed{U_0 \approx 0,815}$$

Aceste rezultate trebuie ulterior comparate cu valorile cerute pentru **clasa de iluminat și situația de proiectare analizată**.

8.2.25. Interpretarea rezultatelor

O analiză serioasă nu trebuie să se limiteze la afirmația: „Luminanța medie este X, deci instalația este conformă.”

Trebuie analizate cel puțin:

$$L_{med} L_{min} L_{max} U_0 U_L$$

și, atunci când este cazul, ceilalți indicatori ceruți de metodologia aplicabilă.

De asemenea, trebuie verificat dacă:

- toate punctele au fost măsurate;
- există valori aberante;
- există zone sistematic întunecate;

- distribuția este coerentă cu geometria corpurilor;
- există corpuri care produc rezultate anormale;
- rezultatele sunt compatibile cu regimul de funcționare al instalației.

8.2.26. Diagnosticarea defectelor prin luminanță

Măsurătorile punctuale sunt foarte utile pentru mentenanță. De exemplu, dacă într-un tronson se observă:

1,45 1,51 1,48 1,46
1,20 1,25 1,22 1,21
1,44 1,50 1,47 1,45

dar într-un alt tronson apare:

1,45 1,51 1,48 0,62
1,20 1,25 1,22 0,55
1,44 1,50 1,47 0,60

poate exista o problemă locală asociată, de exemplu, cu:

- corpul de iluminat;
- orientarea aparatelor;
- driverul;
- alimentarea;
- depunerile;
- geometria stâlpului.

Măsurarea nu identifică singură cauza, dar permite localizarea unei anomalii care poate fi investigată ulterior.

8.2.27. Măsurarea inițială și monitorizarea în timp

O abordare foarte bună pentru iluminatul public modern este constituirea unei **baze de referință**.

La punerea în funcțiune se realizează o măsurătoare inițială:

$$L_0$$

Ulterior, la intervale stabilite, se repetă măsurarea:

$$L_1, L_2, L_3, \ldots$$

Se poate urmări astfel deprecierea:

$$D_L = \frac{L_t}{L_0}$$

unde:

- L_0= luminanța de referință;
- L_t= luminanța la momentul t.

Acest raport poate fi folosit ca indicator intern de mentenanță, cu condiția ca măsurătorile să fie realizate în condiții comparabile.

8.2.28. Particularități pentru iluminatul LED

La instalațiile LED trebuie acordată atenție suplimentară.

LED-urile au caracteristici diferite față de sursele tradiționale, iar rezultatul depinde de:

- temperatura de funcționare;
- curentul de alimentare;
- driver;
- sistemul de control;

- profilul de dimming;
- temperatura ambientală;
- îmbătrânire;
- murdărirea sistemului optic.

Un sistem LED de 100 W nu trebuie evaluat numai prin consumul de energie.

Performanța fotometrică reală se verifică prin măsurarea efectivă a iluminanței/luminanței și prin compararea cu cerințele aplicabile.

8.2.29. Relația cu eficiența energetică

Măsurarea luminanței poate fi corelată cu consumul energetic. De exemplu, două instalații pot furniza aproximativ aceeași performanță fotometrică, dar una poate necesita o putere instalată mai mare. Într-o analiză energetică se pot urmări simultan [5]:

$$P_{inst}$$

și L_{med}

precum și indicatori specifici definiți de metodologia proiectului. Astfel, evaluarea nu se limitează la:

„Câtă lumină avem?"

ci poate răspunde și la:

„Câtă energie consumăm pentru performanța fotometrică obținută?"

8.2.30. Structura unui raport de măsurare

Un raport profesional poate fi structurat astfel:

1. Date generale

- beneficiar;
- amplasament;
- tronson;
- data măsurării;
- ora;
- operator.

2. Descrierea instalației

- număr corpuri;
- tip corpuri;
- surse LED;
- putere;
- înălțime montaj;
- distanță între stâlpi;
- geometria drumului.

3. Aparatura

- luminanțmetru;
- producător;
- model;
- serie;
- certificat de calibrare;
- data calibrării.

4. Condiții de măsurare

- temperatură;
- umiditate, dacă este relevant;
- starea carosabilului;
- condiții meteorologice;
- iluminat ambiental;
- regim de funcționare.

5. Metodologie

- standard/procedură;
- poziția observatorului;
- rețeaua de măsurare;
- numărul de puncte;
- condițiile de efectuare.

6. Rezultate

Tabel cu:

$$L_1, L_2, \dots L_n$$

7. Calcul

$$L_{med} L_{min} L_{max} U_0 U_L$$

și ceilalți indicatori solicitați.

8. Reprezentare grafică

- hartă de luminanță;
- curbe;
- distribuție;
- eventual hartă colorimetrică.

9. Evaluare

Compararea rezultatelor cu **cerințele normative și de proiect aplicabile**.

10. Concluzii

- starea instalației;
- eventualele neconformități;
- zonele problematice;
- recomandări de mentenanță.

8.2.31. Standarde și documente normative

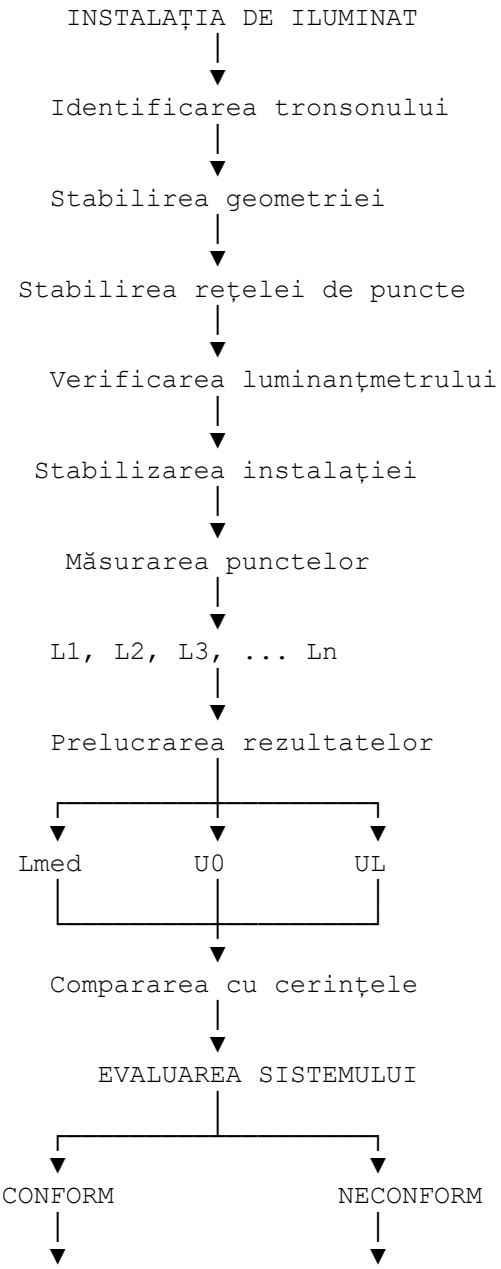
Pentru o lucrare tehnică în România, trebuie verificată **ediția în vigoare** a standardelor relevante la data efectuării măsurătorilor. În domeniul iluminatului rutier sunt importante, în funcție de obiectul exact al evaluării, standardele din seria **EN 13201**, inclusiv cele referitoare la:

- selectarea claselor de iluminat;
- cerințele de performanță;
- calculul performanțelor;
- metodele de măsurare a performanței iluminatului rutier.

Este important ca într-un raport de recepție să fie menționată **ediția exactă a standardului utilizat**, nu doar denumirea generică „EN 13201”, deoarece cerințele și metodologia trebuie raportate la documentul efectiv aplicabil proiectului.

8.2.32. Schema completă a procesului

Putem rezuma întreaga procedură astfel:



Monitorizare Diagnostic/remediere

Concluzie

Măsurarea punctuală a luminanțelor reprezintă o metodă esențială pentru caracterizarea performanței fotometrice a unui sistem de iluminat public rutier. Metoda presupune măsurarea luminanței în puncte prestabilite, dintr-o geometrie de observare definită, urmată de calcularea unor indicatori precum **luminanța medie, luminanța minimă și uniformitățile**.

Calitatea rezultatului depinde în mod direct de **rețeaua de măsurare, poziția observatorului, caracteristicile luminanțmetrului, calibrare, starea carosabilului, condițiile meteorologice și regimul real de funcționare al instalației**. Pentru recepție sau demonstrarea conformității, metodologia trebuie aplicată conform standardului și proiectului relevante, iar rezultatele trebuie comparate cu cerințele corespunzătoare clasei de iluminat.

8.3. Determinarea distribuției spectrale în evaluarea performanțelor sistemelor de iluminat public

8.3.1. Noțiunea de distribuție spectrală

În evaluarea unui sistem de iluminat public nu este suficient să știm doar **câtă lumină** produce o instalație. Este important să știm și **cum este distribuită energia optică în funcție de lungimea de undă** [12].

Distribuția spectrală a radiației sau **distribuția spectrală a puterii** — *Spectral Power Distribution, SPD* — descrie modul în care puterea radiantă emisă de o sursă de lumină este repartizată pe diferite lungimi de undă.

Matematic, putem scrie:

$$SPD(\lambda) = \frac{dP}{d\lambda}$$

unde:

- P= puterea radiantă;
- λ= lungimea de undă;
- $SPD(\lambda)$= puterea radiantă spectrală la lungimea de undă λ.

Unitatea uzuală este:

$$W/nm$$

sau, în cazul măsurătorilor normalizate, valorile pot fi exprimate relativ, de exemplu:

$$SPD_{rel}(\lambda) = \frac{SPD(\lambda)}{SPD_{max}}$$

Astfel, un grafic SPD arată **cât de mult contribuie fiecare domeniu spectral la radiația emisă de corpul de iluminat**.

8.3.2. De ce este importantă distribuția spectrală la iluminatul public?

În cazul iluminatului public, distribuția spectrală influențează mult mai multe aspecte decât simpla percepție a culorii.

Ea are legătură cu:

- percepția vizuală a carosabilului;
- recunoașterea obiectelor și pietonilor;
- percepția culorilor;
- confortul vizual;
- orbirea/disconfortul;
- eficiența energetică;
- redarea culorilor;
- adaptarea vizuală nocturnă;
- răspunsul spectral al ochiului uman;
- efectele potențiale asupra ritmului circadian;
- impactul asupra mediului nocturn;
- atragerea insectelor și a altor organisme;
- percepția luminii albastre;
- alegerea temperaturii de culoare;
- compararea tehnologiilor LED cu sursele convenționale.

Prin urmare, două instalații de iluminat pot produce **aceeași iluminare medie în lux**, dar pot avea distribuții spectrale foarte diferite. De aici rezultă o idee fundamentală:

Luxul caracterizează cantitatea de lumină ponderată după sensibilitatea fotopică a ochiului, în timp ce SPD caracterizează compoziția spectrală a radiației.

8.3.3. Spectrul electromagnetic și domeniul vizibil

Pentru iluminatul public ne interesează în principal radiația din domeniul vizibil, aproximativ:

$$380 - 780\ nm$$

În mod simplificat:

Domeniu	Lungime de undă aproximativă	Percepție
UV	< 380 nm	invizibilă
Violet	380–450 nm	violet/albastru
Albastru	450–495 nm	albastru
Verde	495–570 nm	verde
Galben	570–590 nm	galben
Portocaliu	590–620 nm	portocaliu
Roșu	620–780 nm	roșu
IR	> 780 nm	invizibilă

Tabelul 8.7 – Domeniile spectrului electromagnetic și percepția vizuală

Într-o analiză tehnică reală, domeniul măsurat poate fi mai larg decât domeniul vizibil, deoarece anumite surse sau instrumente pot prezenta și componente UV/IR.

8.3.4. Cum se obține distribuția spectrală?

Determinarea SPD se face experimental cu ajutorul unui **spectroradiometru** sau al unui sistem de măsurare spectrală calibrat.

Schema generală este:

Aparat de iluminat → Optica de colectare → Spectroradiometru → Detector → Procesare → $SPD(\lambda)$

Un sistem modern poate conține:

1. sistem optic de colectare;
2. fibră optică;
3. monocromator sau spectrograf;
4. detector;
5. electronică de achiziție;
6. software de analiză;
7. standarde de calibrare.

8.3.5. Principiul spectroradiometrului

Spectroradiometrul primește radiația emisă de aparatul de iluminat și o separă în funcție de lungimea de undă.

De exemplu, detectorul poate măsura:

$$P(400), P(401), P(402), \ldots, P(700)\ nm$$

Rezultatul poate fi reprezentat sub forma unui tabel:

λ(nm)	SPD
400	0,08
410	0,11
420	0,15
430	0,30
440	0,65

λ(nm)	SPD
450	0,92
460	1,00
470	0,90
...	...
550	0,80
600	0,72
650	0,65
700	0,52

Tabelul 8.8 – Exemplu de distribuție spectrală relativă (SPD)

Aceste valori permit construirea curbei SPD.

8.3.6. Distribuția spectrală a unui LED alb

LED-urile albe utilizate în iluminatul public sunt, în multe cazuri, realizate printr-un LED albastru combinat cu un material fotoluminescent — fosfor.

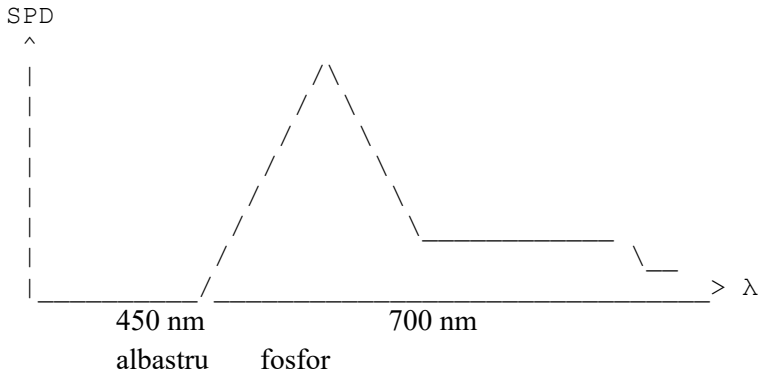
Schema conceptuală este:

LED albastru + fosfor → lumina alba

Spectrul rezultat prezintă de obicei:

- un **vârf pronunțat în zona albastră**, asociat LED-ului;
- o **bandă largă de emisie** în zona verde-galben-roșu, produsă de conversia fotoluminescentă.

Graficul conceptual ar putea fi reprezentat astfel:



Forma exactă depinde de:

- tipul LED-ului;
- materialul fosforului;
- temperatura de culoare;
- producător;
- curentul de funcționare;
- temperatura joncțiunii;
- îmbătrânirea sursei.

8.3.7. LED cu temperatură de culoare diferită

Două aparate de iluminat pot avea:

- 2700 K;
- 3000 K;
- 4000 K;
- 5000 K;

și pot produce aceeași iluminare fotopică, însă SPD-urile lor sunt diferite.

În general, o temperatură de culoare corelată mai ridicată este asociată cu o proporție relativ mai mare de radiație în zona albastră, dar **CCT nu este o descriere completă a spectrului**.

Acest lucru este extrem de important. Două surse cu:

$$CCT = 4000\,K$$

pot avea SPD-uri diferite.

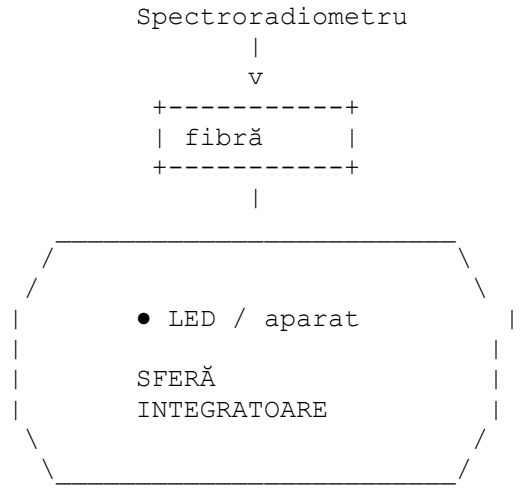
Prin urmare:

$$\boxed{CCT \neq SPD}$$

CCT este un parametru sintetic, în timp ce SPD oferă informație spectrală mult mai bogată.

8.3.8. Măsurarea în laborator

Pentru caracterizarea unui corp de iluminat public se poate utiliza o **sferă integratoare**. Schema:



Suprafața interioară a sferei are proprietăți reflectante/difuze, astfel încât radiația provenită din sursă este distribuită spațial și colectată pentru măsurare.

Această configurație permite determinarea:

- fluxului luminos;
- fluxului radiant;
- SPD;
- CCT;
- CRI;
- coordonatelor cromatice;
- eficacității luminoase.

8.3.9. Măsurarea în condiții reale

În cazul iluminatului public instalat pe stradă, măsurarea poate fi făcută și **in situ**.

Se poate analiza radiația provenită de la aparatul de iluminat într-o direcție determinată.

Trebuie însă făcută distincția între:

A. SPD-ul sursei

Caracterizează radiația emisă de aparatul de iluminat.

B. SPD-ul luminii care ajunge pe carosabil

Este influențată de geometrie și distanță.

C. SPD-ul luminii reflectate de carosabil

Este influențată suplimentar de proprietățile spectrale ale suprafeței. Aceste trei situații nu trebuie confundate.

8.3.10. Influența suprafeței carosabilului

Dacă sursa emite:

$$SPD_{sursă}(\lambda)$$

iar carosabilul are o reflectanță spectrală:

$$\rho(\lambda)$$

atunci spectrul luminii reflectate poate fi aproximat conceptual prin:

$$SPD_{reflectat}(\lambda) \propto SPD_{sursă}(\lambda)\rho(\lambda)$$

Prin urmare, ceea ce observă șoferul nu este pur și simplu spectrul sursei. Este rezultatul interacțiunii:

$$\boxed{SPD_{sursă} \times \text{proprietățile suprafeței} \times \text{geometria iluminarii}}$$

8.3.11. Legătura dintre SPD și fotometrie

Fotometria ține cont de sensibilitatea ochiului uman. Pentru vederea fotopică se utilizează funcția:

$$V(\lambda)$$

care descrie sensibilitatea spectrală relativă a vederii umane în condiții fotopice.

Fluxul luminos este legat de fluxul radiant prin:

$$\Phi_v = K_m \int \Phi_{e,\lambda}(\lambda)V(\lambda)d\lambda$$

unde:

$$K_m = 683\ lm/W$$

pentru lungimea de undă de referință de 555 nm în sistemul fotopic. Această ecuație explică de ce două surse cu aceeași putere radiantă pot avea fluxuri luminoase diferite.

8.3.12. Exemplu conceptual

Să presupunem două surse:

Sursa A

Emite predominant în jurul:

$$450\ nm$$

Sursa B

Emite predominant în jurul:

$$555\ nm$$

Dacă puterea radiantă este aceeași, ochiul uman nu va percepe cele două surse ca având aceeași luminozitate fotopică.

Motivul este că:

$$V(555\ nm) \approx 1$$

în timp ce sensibilitatea la 450 nm este mult mai redusă în vederea fotopică.

Așadar:

$$\boxed{\text{putere radianta} \neq \text{flux luminos}}$$

8.3.13. Vederea scotopică și mezopică

Pentru iluminatul public acest aspect devine foarte interesant deoarece iluminarea nocturnă se află adesea într-un domeniu în care nu este suficient să analizăm exclusiv vederea fotopică [11].

Există trei regimuri importante:

Fotopic

Predomină conurile retiniene. Este asociat cu niveluri mai ridicate de luminanță. Funcția relevantă:

$$V(\lambda)$$

Scotopic

Predomină bastonașele. Funcția relevantă:

$$V'(\lambda)$$

Sensibilitatea maximă este deplasată spre aproximativ:

$$507\ nm$$

Mezopic

Este zona intermediară dintre fotopic și scotopic.

Aceasta este deosebit de relevantă pentru iluminatul nocturn.

8.3.14. De ce este important domeniul mezopic?

Noaptea, nivelul de luminanță este mult mai redus decât într-un spațiu interior iluminat puternic.

Prin urmare, răspunsul vizual nu este descris perfect de:

$$V(\lambda)$$

ci poate implica un amestec între:

$$V(\lambda)$$

și:

$$V'(\lambda)$$

Acest lucru a condus la conceptul de **eficacitate luminoasă mezopică**. În termeni conceptuali:

$$V_{mes}(\lambda) = f\left(V,(\lambda),V'(\lambda)L\right)$$

unde L este luminanța și f depinde de modelul utilizat.

8.3.15. Spectrul și eficiența energetică

Un sistem de iluminat public trebuie evaluat nu doar după puterea instalată, ci și după eficiența cu care transformă energia electrică în lumină utilă.

Putem defini eficacitatea luminoasă:

$$\varepsilon_l = \frac{\Phi}{P}$$

cu unitatea de măsură:

$$lm/W$$

Astfel, SPD este una dintre componentele fundamentale ale performanței fotometrice.

8.3.16. Parametrii derivați din SPD

Din măsurarea distribuției spectrale se pot calcula mai mulți parametri.

Printre cei mai importanți:

1. CCT — temperatura de culoare corelată

Exprimată în:

$$K$$

2. Coordonatele cromatice

De exemplu:

$$x, y$$

în spațiul CIE.

3. Duv

Distanța față de locul geometric al corpului negru în spațiul cromatic relevant.

4. CRI

Indicele general de redare a culorilor și indicii speciali asociați.

5. Rf / Rg

În sisteme moderne de evaluare a fidelității și gamutului cromatic.

6. Raporturi spectrale

De exemplu, raportul energiei într-o anumită bandă spectrală față de energia totală.

8.3.17. Temperatura de culoare corelată — CCT

CCT reprezintă temperatura corpului negru a cărui culoare este apropiată de cea a sursei analizate.
Exemple uzuale:

- 2700 K → lumină caldă;
- 3000 K → alb cald;
- 4000 K → alb neutru;
- 5000 K → alb rece.

În iluminatul public, CCT poate influența:

- aspectul vizual al străzii;
- percepția mediului;
- redarea culorilor;
- proporția relativă de radiație albastră;
- confortul vizual;
- anumite efecte ecologice.

Dar trebuie subliniat:

CCT nu poate inlocui masurarea SPD

8.3.18. Indicele de redare a culorilor

SPD permite evaluarea capacității sursei de a reda culorile obiectelor.
Un sistem public cu redare cromatică mai bună poate facilita:

- identificarea obiectelor;
- diferențierea culorilor;
- recunoașterea semnelor;
- percepția vehiculelor;
- recunoașterea persoanelor și a obstacolelor.

Totuși, CRI este doar **unul dintre indicatori**.
Nu este suficient pentru caracterizarea completă a calității iluminării nocturne.

8.3.19. SPD și componenta albastră

Una dintre temele importante în iluminatul public modern este cantitatea de energie radiată în zona albastră.

De exemplu:

$$400 - 500\,nm$$

este o regiune spectrală relevantă pentru:

- sensibilitatea vizuală;
- răspunsul melanopic;
- anumite efecte asupra ritmurilor biologice;
- unele efecte ecologice.

De aceea, evaluarea unei instalații poate include integrarea SPD într-un anumit interval:

$$P_{blue} = \int_{400}^{500} SPD(\lambda)d\lambda$$

și raportarea acesteia la puterea spectrală totală:

$$R_{blue} = \frac{\int_{400}^{500} SPD(\lambda)d\lambda}{\int SPD(\lambda)d\lambda}$$

Este important ca limitele intervalului și metodologia de calcul să fie specificate clar.

8.3.20. SPD și efectele asupra mediului nocturn

Distribuția spectrală este relevantă și pentru **poluarea luminoasă** [13].

Lumina artificială nocturnă poate interacționa cu:

- atmosfera;
- insectele;
- păsările;
- liliecii;
- plantele;
- ecosistemele nocturne.

În special, anumite componente spectrale pot fi mai importante pentru anumite organisme decât altele. De aceea, în evaluarea iluminatului public din zone sensibile ecologic, analiza SPD poate deveni la fel de importantă ca analiza fluxului luminos.

8.3.21. SPD și împrăștierea atmosferică

Lumina emisă spre cer poate fi împrăștiată de atmosferă.

Într-o formă simplificată, împrăștierea Rayleigh este mai puternică pentru lungimi de undă mai scurte:

$$I_{scattering} \propto \frac{1}{\lambda^4}$$

Aceasta înseamnă că, în condiții comparabile, componentele spectrale scurte pot contribui mai puternic la anumite forme de strălucire a cerului.

De aici rezultă importanța SPD în studiul:

sky glow / stralucirea artificiala a cerului

Totuși, în cazul real trebuie luate în considerare și aerosolii, norii, umiditatea, geometria instalației și direcția emisiei.

8.3.22. Distribuția spectrală versus distribuția fotometrică

Este foarte important să nu confundăm două concepte:

Distribuția spectrală $SPD(\lambda)$

răspunde la întrebarea:

Ce lungimi de undă sunt prezente și în ce proporție?

Distribuția fotometrică $I(C,\gamma)$

răspunde la întrebarea:

În ce direcții este distribuită lumina?

Un aparat de iluminat poate avea:

- SPD excelent;
- dar distribuție fotometrică necorespunzătoare.

Sau invers.

Performanța globală rezultă din combinarea celor două.

8.3.23. Evaluarea completă a unui sistem

O evaluare serioasă a iluminatului public trebuie să ia în calcul simultan:

$$\text{Performanta} = f(S,P,D,\text{fotometrie,luminant,uniformitate,orbire,eficiența, culoare, fiabilitate})$$

Printre indicatorii principali se află:

Fotometrici

- luminanță;
- iluminare;
- uniformitate;
- distribuția intensității luminoase;
- orbire/disconfort;
- iluminarea zonelor adiacente.

Spectrali

- SPD;
- CCT;
- Duv;
- CRI;
- parametri de fidelitate/gamut;
- conținut spectral albastru;
- indicatori melanopici, când sunt relevanți.

Energetici

- putere instalată;
- lm/W;
- energie anuală;
- consum specific.

8.3.24. Procedura experimentală recomandată

Pentru o evaluare tehnică, procedura poate fi structurată în următorii pași.

Pasul 1 — Identificarea corpului de iluminat

Se notează:

- producătorul;
- modelul;

- puterea nominală;
- curentul de funcționare;
- tensiunea;
- temperatura de culoare declarată;
- fluxul luminos declarat;
- tipul LED-urilor;
- optica utilizată;
- anul fabricației.

Pasul 2 — Stabilizarea termică

LED-ul trebuie lăsat să atingă condițiile termice de funcționare. De ce? Pentru că temperatura influențează:

- fluxul luminos;
- lungimea de undă;
- forma SPD;
- eficiența;
- parametrii cromatici.

Astfel:

$$SPD = f(\lambda,T,I,t)$$

unde:

- T= temperatură;
- I= curent;
- t= timpul de funcționare.

8.3.25. Pasul 3 — Calibrarea instrumentului

Spectroradiometrul trebuie calibrat folosind o sursă etalon. Se urmăresc:

- trasabilitatea calibrării;
- domeniul spectral;
- incertitudinea;
- rezoluția spectrală;
- răspunsul detectorului.

O măsurare spectrală fără calibrare adecvată poate produce rezultate aparent precise, dar fizic incorecte.

8.3.26. Pasul 4 — Alegerea rezoluției spectrale

De exemplu:

$$\Delta\lambda = 1\ nm$$

sau:

$$\Delta\lambda = 5\ nm$$

Rezoluția necesară depinde de aplicație. Pentru caracterizarea generală a LED-urilor, câțiva nanometri pot fi suficienți, în timp ce analiza unor caracteristici spectrale foarte fine poate necesita rezoluție mai bună.

8.3.27. Pasul 5 — Achiziția spectrului

Se înregistrează:

$$SPD(\lambda_i)$$

pentru fiecare punct spectral.

Rezultatul brut poate fi:

$$\lambda_i,\ S_i$$

unde:

$$i = 1, 2, ..., N$$

8.3.28. Pasul 6 — Corecția răspunsului spectral

Detectorul nu are, în general, un răspuns perfect uniform. Dacă detectorul are răspuns:

$$R(\lambda)$$

măsurarea brută trebuie corectată prin calibrare. Conceptual:

$$SPD_{real}(\lambda) = \frac{SPD_{meas}(\lambda)}{R(\lambda)}$$

În instrumentele comerciale, aceste corecții sunt de regulă realizate automat de software pe baza calibrării.

8.3.29. Pasul 7 — Normalizarea

Pentru compararea formei spectrale a două surse, SPD poate fi normalizat.
De exemplu:

$$SPD_n(\lambda) = \frac{SPD(\lambda)}{SPD_{max}}$$

astfel încât:

$$SPD_n(\lambda_{max}) = 1$$

Această reprezentare este foarte utilă pentru compararea formelor spectrale. Dar nu mai păstrează informația absolută despre putere.

8.3.30. SPD absolută versus SPD relativă

Această diferență este esențială.

SPD absolută

Are unități fizice, de exemplu:

$$W/nm$$

și permite calcularea puterii radiante.

SPD relativă

Este adimensională:

$$0 \leq SPD_n \leq 1$$

și permite compararea formei spectrale.
Nu trebuie să folosim o curbă normalizată pentru a pretinde că am determinat puterea radiantă absolută.

8.3.31. Calculul fluxului radiant

Dacă avem SPD absolută:

$$\Phi_{e,\lambda}(\lambda)$$

fluxul radiant total este:

$$\Phi_e = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{e,\lambda}(\lambda) d\lambda$$

În cazul datelor discrete:

$$\Phi_e \approx \sum_i \Phi_{e,\lambda_i} \Delta\lambda$$

Această relație este foarte utilă în procesarea datelor experimentale.

8.3.32. Calculul fluxului luminos

Din SPD se poate calcula fluxul luminos [11]:

$$\Phi_v = 683 \int \Phi_{e,\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

Pentru date discrete:

$$\Phi_v \approx 683 \sum_i \Phi_{e,\lambda_i} V(\lambda_i) \Delta\lambda$$

Aceasta este una dintre cele mai importante aplicații practice ale SPD.

8.3.33. Exemplu numeric simplificat

Presupunem că măsurăm doar trei componente spectrale:

λ	**Putere**	$V(\lambda)$
450 nm	1 W	0,038
555 nm	1 W	1,000
650 nm	1 W	0,107

Tabelul 8.9 – Datele exemplului numeric simplificat pentru calculul fluxului luminos

Într-o aproximație simplificată:

$$\Phi_v \sim 683(1,\cdot,0038 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 0107)\Phi_v \sim 683(1,145)\Phi_v \sim 782\ lm$$

Exemplul este intenționat simplificat și nu reprezintă o integrare spectrală reală continuă, dar arată foarte clar principiul: **aceeași putere radiantă nu înseamnă aceeași contribuție fotometrică.**

8.3.34. Determinarea cromaticității

Din SPD se pot calcula valorile tristimulus CIE:

$$X = k \int SPD(\lambda)\bar{x}(\lambda) d\lambda Y = k \int SPD(\lambda)\bar{y}(\lambda) d\lambda Z = k \int SPD(\lambda)\bar{z}(\lambda) d\lambda$$

unde:

$$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$$

sunt funcțiile de potrivire cromatică ale sistemului CIE utilizat.

Apoi:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

Rezultă coordonatele cromatice:

$$(x,y)$$

8.3.35. Ce înseamnă practic coordonatele cromatice?

Ele permit localizarea culorii sursei într-un spațiu cromatic. Două surse pot avea:

$$x_1 \approx x_2$$

și:

$$y_1 \approx y_2$$

dar SPD-uri diferite.

Prin urmare:

aceeași cromaticitate ⇒/același spectru

Aceasta este una dintre limitările parametrilor sintetici precum CCT.

8.3.36. Evaluarea spectrală în proiectarea iluminatului public

SPD nu se măsoară doar pentru caracterizare de laborator.
Poate fi utilizată în: **proiectare**
pentru alegerea sursei; **verificare**
pentru compararea produsului real cu fișa tehnică; **mentenanță**
pentru urmărirea modificării spectrale în timp; **audit energetic**
pentru analiza eficienței; **evaluare ecologică**
pentru zone sensibile; **cercetare**
pentru corelarea caracteristicilor spectrale cu performanța vizuală.

8.3.37. Degradarea spectrală în timp

Un sistem LED nu rămâne neapărat identic pe toată durata de viață.
Pot apărea modificări datorate:

- degradării LED-ului;
- îmbătrânirii fosforului;
- temperaturii;
- degradării materialelor optice;
- contaminării;
- îmbătrânirii driverului.

Prin urmare:

$$SPD_{t=0}(\lambda) \neq SPD_{t=50000h}(\lambda)$$

în general.

De aceea, în studiile de mentenanță poate fi utilă repetarea măsurătorilor.

8.3.38. Ce trebuie urmărit într-o evaluare comparativă?

Să presupunem că avem trei corpuri:

Parametru	Aparat A	Aparat B	Aparat C
Putere	100 W	100 W	100 W
Flux	15 000 lm	15 000 lm	15 000 lm
CCT	3000 K	4000 K	4000 K
CRI	70	80	90
SPD	diferit	diferit	diferit

Tabelul 8.10 – Trei aparate de iluminat cu aceeași putere și același flux, dar cu caracteristici spectrale diferite

Dacă ne uităm doar la:

$$P, \Phi, CCT$$

pierdem o parte importantă din informație. Analiza SPD ne permite să vedem **de ce** sursele sunt diferite și ce consecințe poate avea acest lucru.

8.3.39. SPD și evaluarea iluminării carosabilului

În iluminatul rutier este importantă percepția:

- marcajelor;
- pietonilor;
- vehiculelor;
- obstacolelor;
- semnalizării;
- marginilor drumului.

Un spectru cu o distribuție diferită poate modifica modul în care sunt percepute obiectele colorate. Totuși, SPD trebuie analizată împreună cu:

$$L$$

luminanța, U_0 uniformitatea, și caracteristicile fotometrice ale instalației.

8.3.40. O metodologie completă de evaluare

O metodologie experimentală solidă poate avea următoarea structură:

Etapa I — Caracterizarea sursei

$$P, \Phi, CCT, SPD, CRI$$

Etapa II — Caracterizarea fotometrică

$$I(C,\gamma)LEU_0$$

Etapa III — Caracterizarea spectrală

$$SPD(\lambda)X, Y, Zx, yCCTDuv$$

Etapa IV — Analiza energetică

$$\eta = \frac{lm}{W}E_{anual}$$

Etapa V — Analiza de mediu

- emisii către cer;
- spectru;
- componente scurte;
- zone ecologice sensibile.

Etapa VI — Evaluarea în exploatare

- temperatură;
- îmbătrânire;
- murdărire;
- variația fluxului;
- modificarea SPD.

8.3.41. Incertitudinea de măsurare

O analiză serioasă trebuie să includă și incertitudinea.

Putem avea contribuții provenite din:

- calibrarea spectroradiometrului;
- repetabilitate;
- stabilitatea sursei;
- temperatură;

- poziționare;
- geometrie;
- lumină parazită;
- rezoluție spectrală;
- zgomot detector;
- aliniere optică.

Dacă rezultatul este:

$$SPD(\lambda) = S$$

trebuie să existe și o estimare a incertitudinii:

$$S \pm U$$

unde U reprezintă incertitudinea extinsă, atunci când metodologia o definește astfel.

8.3.42. Erori frecvente

Eroarea 1: folosirea luxmetrului pentru determinarea SPD

Un luxmetru nu este spectroradiometru.
El măsoară o mărime fotometrică ponderată spectral.

Eroarea 2: considerarea CCT drept spectru $4000K$
nu descrie complet SPD.

Eroarea 3: compararea unor SPD normalizate ca și cum ar fi puteri absolute

Normalizarea elimină informația absolută.

Eroarea 4: ignorarea temperaturii

LED-ul poate avea caracteristici diferite la temperaturi diferite.

Eroarea 5: măsurarea înainte de stabilizarea sursei

Rezultatul poate să nu reprezinte condiția normală de funcționare.

Eroarea 6: ignorarea geometriei

Spectrul măsurat într-o direcție poate să difere de cel integrat spațial dacă există efecte optice sau surse multiple.

8.3.43. Spectrul și iluminatul adaptiv

În sistemele moderne de iluminat public există posibilitatea controlului:

- fluxului;
- puterii;
- uneori al temperaturii de culoare;
- programului de funcționare.

Un sistem adaptiv poate utiliza, de exemplu:

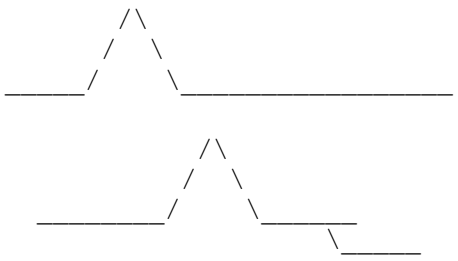
$$CCT_1 \rightarrow CCT_2$$

în funcție de intervalul orar. Dar schimbarea CCT trebuie analizată prin SPD, nu doar prin valoarea CCT declarată.

8.3.44. De ce SPD este un indicator mai bogat decât CCT?

Putem vedea conceptual:
Sursa A:

Sursa B:



Ambele:
CCT ≈ 4000 K

Ele pot produce culori globale asemănătoare, dar forma spectrală este diferită.
Această diferență poate avea consecințe asupra:

- redării culorilor;
- răspunsului vizual;
- componentelor spectrale;
- evaluării biologice;
- evaluării ecologice.

8.3.45. Relația dintre SPD și performanța generală

O formulare utilă pentru o lucrare de specialitate este:

$$\boxed{SPD(\lambda) \rightarrow \text{raspuns vizual} \rightarrow \text{percepția mediului}}$$

dar și:

$$SPD(\lambda) \rightarrow \text{fotometrie} \rightarrow \text{eficienta}$$

și:

$$SPD(\lambda) \rightarrow \text{interacție atmosferică/ecologică} \rightarrow \text{impact nocturn}$$

Prin urmare, SPD reprezintă o **legătură între caracteristicile fizice ale sursei și efectele fotometrice, colorimetrice, vizuale și de mediu**.

8.4. Măsurarea temperaturii de culoare (K) și indicele de redare a culorilor (CRI/Ra)

8.4.1. Temperatura de culoare — Kelvin (K)

Temperatura de culoare descrie **aspectul cromatic al luminii**: dacă lumina pare mai gălbuie/roșiatică („caldă”) sau mai albăstruie („rece”).

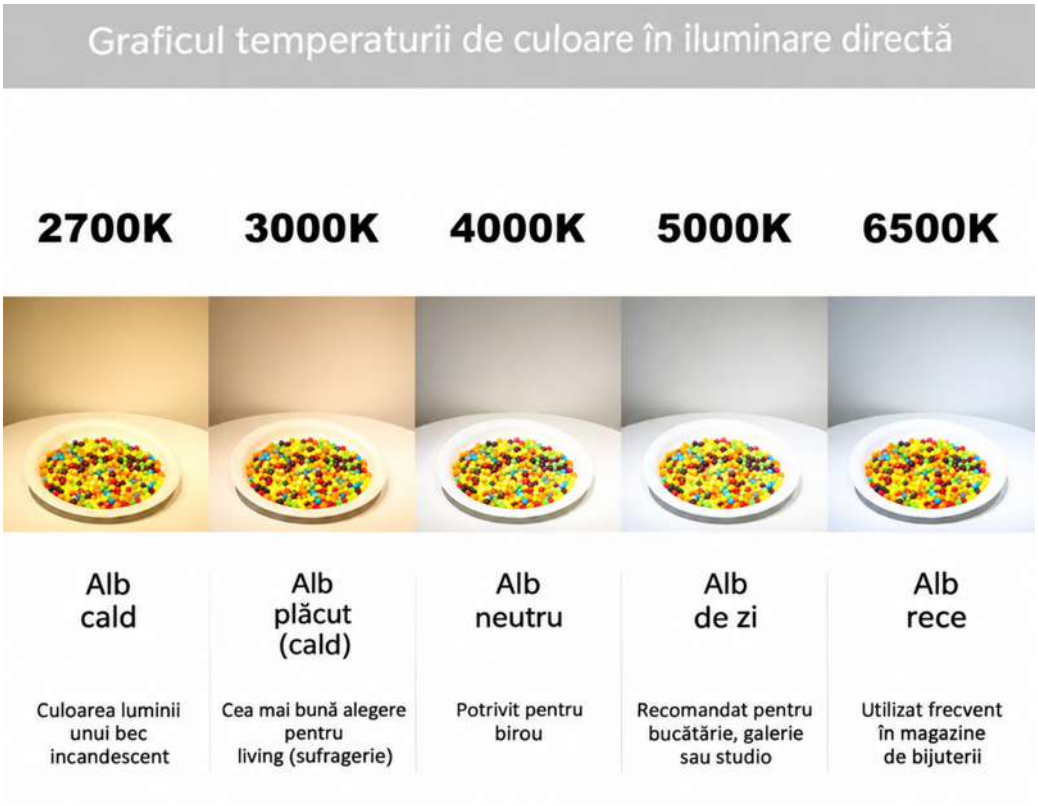


Figura 8.1 – Aspectul luminii albe pentru temperaturi de culoare între 2700 K și 6500 K

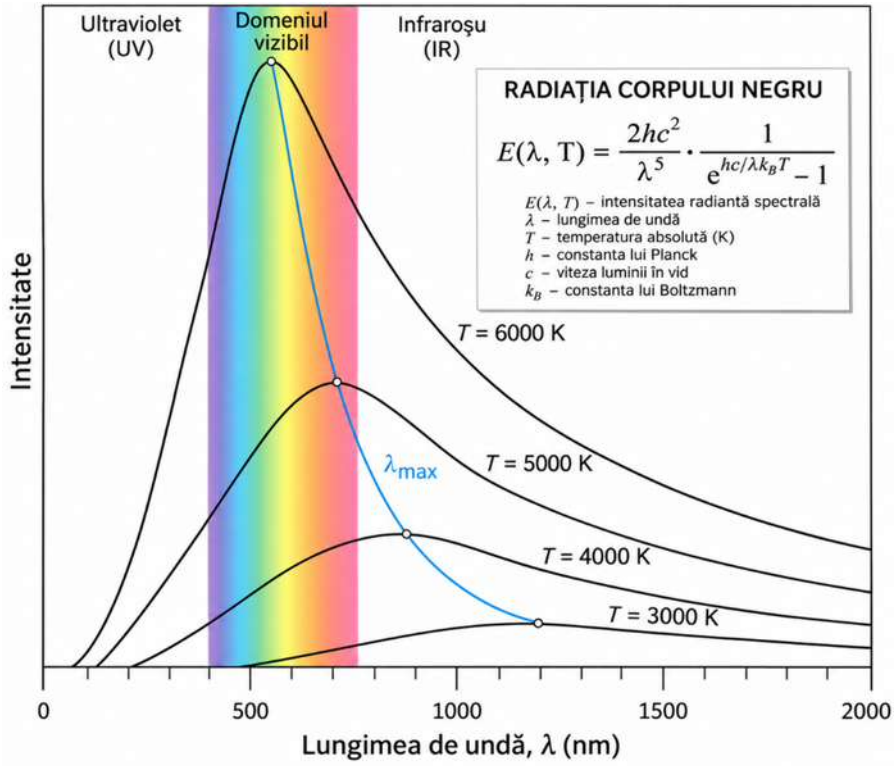


Figura 8.2 – Spectrul radiației corpului negru pentru diferite temperaturi (legea lui Planck)

Figura 8.3 – Lumină albă caldă (3000 K), neutră (4000 K) și rece (6000 K)

Valorile uzuale

Temperatură de culoare	Aspect perceput	Utilizare tipică
1800–2200 K	foarte cald, portocaliu	iluminat decorativ, lumânări
2700 K	cald, gălbui	locuințe, dormitoare
3000 K	alb cald	locuințe, hoteluri, restaurante
3500 K	alb ușor cald	spații comerciale
4000 K	alb neutru	birouri, magazine, bucătării
5000 K	alb rece/neutru	spații tehnice, fotografie
5500–6500 K	alb rece, apropiat de lumina zilei	fotografie, evaluarea culorilor
6500–7500 K	albăstrui	anumite aplicații tehnice

Tabelul 8.11 – Valori uzuale ale temperaturii de culoare, aspectul perceput și utilizarea tipică

Important: o temperatură mai mare în Kelvin înseamnă, paradoxal, o lumină percepută **mai rece/albăstruie**, nu „mai caldă”.

8.4.2. De ce se măsoară în Kelvin?

Conceptul provine de la **corpul negru** („blackbody”). Un corp negru ideal încălzit emite radiație electromagnetică. Pe măsură ce temperatura crește, culoarea radiației se schimbă aproximativ astfel:

roșu → portocaliu → galben → alb → alb-albăstrui

De aici rezultă scala temperaturii de culoare. De exemplu:

- ~2000 K → portocaliu-roșiatic
- ~2700 K → galben-alb
- ~4000 K → alb neutru
- ~5500 K → alb apropiat de lumina zilei

- ~6500 K → albăstrui

Dar aici apare o distincție foarte importantă.

CCT ≠ temperatura fizică a sursei

Când spunem că un LED are **4000 K**, nu înseamnă că LED-ul funcționează la 4000 K. Înseamnă că lumina produsă are o **temperatură de culoare corelată** de aproximativ 4000 K. Termenul corect pentru majoritatea LED-urilor este:

CCT = Correlated Color Temperature = temperatura de culoare corelată.

8.4.3. CCT și temperatura de culoare propriu-zisă

Pentru o sursă care urmează exact radiația unui corp negru putem vorbi de **color temperature**.

Pentru surse reale — LED-uri, fluorescente etc. — spectrul nu reproduce perfect un corp negru.

Se utilizează atunci **CCT**.

De exemplu, două surse pot avea:

CCT = 4000 K

dar să aibă spectre foarte diferite.

Asta este extrem de important deoarece:

Două corpuri de iluminat cu aceeași valoare de 4000 K nu reproduc neapărat culorile în același mod.

Aici intră în discuție **CRI/Ra**.

8.4.4. Ce este CRI?

CRI = Color Rendering Index

În română: **indice de redare a culorilor.**

Este notat de obicei: **Ra.** CRI/Ra încearcă să descrie cât de natural apar culorile obiectelor atunci când sunt iluminate de o anumită sursă.

Scala clasică este aproximativ: **0 → 100**

Cu cât valoarea este mai apropiată de 100, cu atât redarea culorilor este, în general, mai apropiată de sursa de referință utilizată pentru evaluare.

Exemple simplificate

CRI/Ra	Interpretare generală
< 60	slab
60–69	modest
70–79	acceptabil
80–89	bun
90–94	foarte bun
95–100	excelent

Tabelul 8.12 – Interpretarea orientativă a valorilor CRI/Ra

Aceste categorii sunt orientative; CRI nu este o măsură absolută a „calității” luminii.

8.4.5. CRI 80 nu înseamnă că „toate culorile au 80”

Aceasta este una dintre cele mai frecvente confuzii. Un aparat de iluminat poate avea: **Ra = 80** dar anumite culori pot fi redate foarte bine, iar altele mult mai slab. De aceea, în aplicațiile unde fidelitatea culorilor este importantă, **Ra singur nu este suficient**.

8.4.6. Ra — cum se calculează în sistemul clasic CRI

CRI-ul clasic folosește un set de **eșantioane de culoare** pentru evaluarea redării.
Primele opt eșantioane sunt denumite: **R1–R8** și sunt utilizate pentru calcularea indicelui general: **Ra**
În principiu:

Ra = media valorilor R1–R8

Așadar:

$$Ra = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8}{8}$$

8.4.7. R1–R8

Fiecare indice reprezintă o anumită culoare pastelată.
De exemplu, printre ele există:

- tonuri de roz
- galben
- verde
- albastru
- tonuri de piele etc.

Problema este că **R1–R8 nu acoperă suficient de bine toate culorile importante din viața reală**. De aceea există și: **R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15...**

8.4.8. R9 — extrem de important

R9 reprezintă roșul saturat.
Și este foarte important în:

- fotografie
- cinematografie
- magazine
- iluminarea alimentelor
- industria modei
- iluminatul pielii
- artă
- spații medicale

O sursă poate avea:

Ra = 90

dar:

R9 = 20

și atunci roșul saturat poate arăta foarte slab. De aceea, pentru iluminat de calitate, nu este suficient să vezi doar: **CRI 90+** Este foarte util să verifici și: **R9**

8.4.9. Exemplu concret

Imaginează-ți două LED-uri:

LED A

- CCT = 4000 K
- Ra = 95
- R9 = 90

LED B

- CCT = 4000 K
- Ra = 95
- R9 = 20

Ambele sunt:

4000 K / CRI 95

dar pot reproduce diferit anumite culori. Mai ales roșul, tonurile pielii și obiectele colorate intens pot arăta diferit.

8.4.10. CRI și temperatura de culoare sunt lucruri diferite

Aceste două caracteristici trebuie separate.

Temperatura de culoare

Îți spune: **„Ce nuanță generală are lumina?” CRI** Îți spune:

„Cât de fidel sunt redate culorile obiectelor sub această lumină?”

Prin urmare: **3000 K / CRI 80** și **3000 K / CRI 95** au aproximativ aceeași nuanță generală de lumină, dar pot reda culorile foarte diferit.

La fel: **2700 K / CRI 95** și **5000 K / CRI 95** pot avea aceeași calitate generală a redării culorilor, dar aspect cromatic complet diferit.

8.4.11. Cum se măsoară temperatura de culoare?

Există mai multe metode.

A. Spectroradiometrul

Este metoda profesională. Aparatul măsoară **spectrul luminii**. Rezultatul nu este doar o singură valoare. poți obține o curbă:

Putere relativă → lungime de undă

de exemplu între: **380–780 nm** pentru domeniul vizibil.

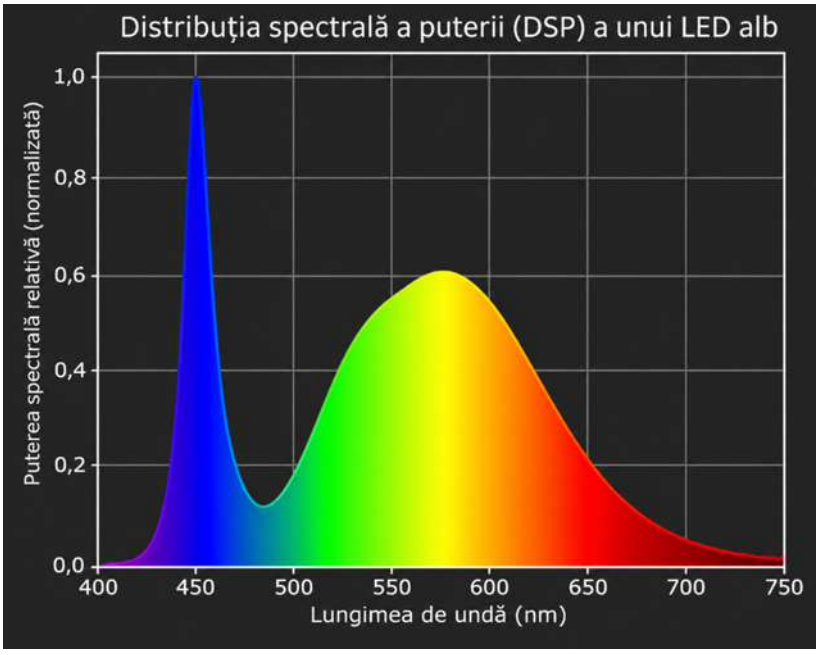


Figura 8.4 – Distribuția spectrală a puterii (SPD) a unui LED alb

Figura 8.5 – Spectrometru portabil pentru măsurarea CCT, Duv și a iluminării

Din spectru se pot determina apoi:

- CCT
- CRI
- Ra
- R1–R15
- coordonate cromatice
- Duv
- TLCI
- TM-30
- alte caracteristici spectrale

Este una dintre cele mai complete metode.

8.4.12. Colorimetrul

Un **colorimetru** măsoară lumina folosind senzori/filtre care aproximează răspunsul vizual uman.
Este mai simplu decât un spectroradiometru.
Poate furniza:

- CCT
- x, y
- uneori u', v'
- iluminanță
- Duv
- alți parametri, în funcție de aparat.

Avantaj: **rapid și relativ simplu.**
Dezavantaj: **nu vede spectrul complet la fel de detaliat ca un spectroradiometru.**

8.4.13. Luxmetrul nu este suficient

Aici apare o altă confuzie foarte importantă.

Un: **luxmetru** măsoară în principal:
iluminanța — lux (lx).
Nu este, în mod normal, suficient pentru determinarea corectă a:

- CRI
- R9
- spectrului
- CCT

Un luxmetru îți spune:

„Câtă lumină ajunge pe această suprafață?”

Nu îți spune complet:

„Ce spectru are această lumină?”

8.4.14. Ce este luxul?

Luxul este unitatea SI pentru **iluminare**.

$$1\ lux = 1\ lumen/m^2$$

Deci dacă pe o suprafață de 1 m² ajunge un flux luminos de 1000 lm distribuit uniform:

$$E = 1000\ lux$$

unde:

E = iluminarea

8.4.15. Diferența dintre lumen și lux

Lumen (lm)

Reprezintă **fluxul luminos** emis de sursă.

Lux (lx)

Reprezintă **fluxul luminos care ajunge pe o suprafață**.
De exemplu: O lampă poate avea:

3000 lm

dar la 2 metri distanță suprafața poate primi doar o anumită valoare de lux.
Luxul depinde de:

- distanță
- unghi
- optică
- orientare
- reflexii
- geometria spațiului.

8.4.16. Cum se măsoară corect CCT?

Pentru o măsurătoare serioasă:

Pasul 1 — stabilizezi sursa

LED-ul trebuie lăsat să ajungă la temperatura normală de funcționare. Unele surse își schimbă ușor caracteristicile după încălzire.

Pasul 2 — poziționezi instrumentul

Instrumentul trebuie să fie orientat corect față de sursă.

Pasul 3 — eviți lumina parazită

Lumina din:

- ferestre
- alte corpuri de iluminat
- ecrane
- reflexii

poate modifica rezultatul.

Pasul 4 — faci măsurarea

Instrumentul analizează lumina. Rezultatul poate fi, de exemplu: **CCT = 3985 K.** Nu trebuie să te aștepți ca un corp comercializat ca „4000 K” să măsoare exact 4000 K.

8.4.17. De ce un LED „4000 K” poate măsura 3920 K?

Pentru că valoarea înscrisă pe produs este o valoare nominală/toleranță. n practică pot exista variații datorate:

- binning-ului LED
- temperaturii
- curentului de alimentare
- driverului
- îmbătrânirii
- toleranțelor de fabricație
- metodei de măsurare.

8.4.18. Ce este Duv

Duv descrie abaterea culorii față de **locusul corpului negru**.

Două surse pot avea ambele: **4000 K**

dar una poate părea ușor:

- verzuie

iar alta:

- roz/magenta.

CCT-ul singur nu descrie complet această diferență.

De aceea este util să vezi: **CCT + Duv**

8.4.19. Exemplu

Sursă A:

4000 K, Duv ≈ 0

→ foarte apropiată de locusul de referință.

Sursă B:

4000 K, Duv pozitiv

→ poate avea o tentă mai verzuie.

Sursă C:

4000 K, Duv negativ

→ poate avea o tentă mai roz/magenta.

Valoarea exactă și interpretarea depind de sistemul de calcul și de instrument.

8.4.20. Cum se măsoară CRI?

Pentru CRI trebuie cunoscut **spectrul sursei**.

De aceea, un spectroradiometru este foarte potrivit.
Procesul este, conceptual:

Sursă → spectru → coordonate cromatice → comparație cu sursa de referință → R1...R15 → Ra

8.4.21. Ce sursă de referință se folosește?

În funcție de CCT, standardul utilizează diferite surse de referință. În termeni simplificați:

- la temperaturi de culoare mai joase se utilizează referințe bazate pe **radiatorul Planckian**
- la temperaturi de culoare mai ridicate se utilizează referințe apropiate de **lumina zilei**.

Astfel, CRI nu înseamnă:

„comparăm lumina cu lumina soarelui în orice situație."

Este o comparație standardizată cu o **sursă de referință adecvată CCT-ului**.

8.4.22. De ce CRI nu este perfect?

Sistemul CRI clasic are limitări. Două surse cu: **Ra = 90** nu sunt neapărat percepute ca având aceeași calitate cromatică. Motivul este că indicele comprimă informație spectrală complexă într-un singur număr.

8.4.23. TM-30

Un sistem modern este:

IES TM-30

Acesta oferă o analiză mult mai complexă a redării culorilor.
Printre parametrii importanți:

Rf

Fidelity Index

Descrie fidelitatea culorilor.

Rg

Gamut Index

Descrie aproximativ dacă saturația generală este:

- redusă
- apropiată de referință
- crescută.

De asemenea, TM-30 poate analiza multe eșantioane de culoare, nu doar cele 8 utilizate pentru Ra.

8.4.24. CRI vs TM-30

Foarte simplificat:

Parametru	Ce descrie
CCT	nuanța generală a luminii
Ra/CRI	fidelitatea culorilor în sistemul CRI
R9	redarea roșului saturat
Duv	abaterea față de locusul Planckian
Rf	fidelitatea în TM-30
Rg	schimbarea gamei/saturației în TM-30
Lux	cantitatea de iluminare pe suprafață

Tabelul 8.13 – Parametrii de caracterizare a culorii luminii și semnificația lor

8.4.25. Exemplu de fișă tehnică

Să presupunem că avem:

LED:

- 3000 K
- CRI ≥ 90
- R9 > 50
- 1000 lm
- 10 W

Ce înseamnă?

3000 K

Lumina este **alb cald**.

CRI ≥ 90

Redarea generală a culorilor este bună.

R9 > 50

Roșul saturat este redat rezonabil/bine, în funcție de cerințele aplicației.
1000 lm Flux luminos.
10 W Puterea electrică.

8.4.26. Eficiența luminoasă

Din exemplul de mai sus:

$$\varepsilon = \frac{\Phi}{P}$$

unde:

- Φ= flux luminos în lumeni
- P= putere în wați.

Deci:

$$\varepsilon = \frac{1000}{10} = 100\ lm/W$$

Asta descrie eficiența luminoasă. nu trebuie confundată cu CRI.

8.4.27. Un LED poate avea CRI mare și eficiență mai mică

Există compromisuri în proiectarea surselor LED. De exemplu, un LED poate fi optimizat pentru:

eficiență maximă

sau pentru:

calitatea redării culorilor.

Un produs foarte performant poate combina ambele obiective, dar nu trebuie presupus automat că:

CRI mai mare = eficiență mai mică.

Relația depinde de tehnologia LED și de spectrul utilizat.

8.4.28. Cum influențează temperatura de culoare percepția spațiului?

2700 K Dă impresia de:

- confort
- relaxare

- intimitate
- atmosferă caldă.

Potrivit pentru:

- dormitor
- living
- hotel
- restaurant.

3000 K Este un compromis foarte popular:

- cald
- dar suficient de clar.

4000 K Pare:

- neutru
- mai curat
- mai tehnic.

Potrivit pentru:

- birouri
- bucătării
- spații comerciale
- ateliere.

5000–6500 K Aspect:

- rece
- luminos
- apropiat de anumite condiții de lumină naturală.

Poate fi util în:

- aplicații tehnice
- anumite spații de lucru
- fotografie
- inspecție vizuală.

8.4.29. Atenție: CCT nu spune cât de „luminoasă” este o sursă

Două surse: **3000 K / 1000 lm**și **6000 K / 1000 lm** pot avea același flux luminos.

Dar percepția poate fi diferită. La fel, două surse de 4000 K pot avea: **500 lm** și **5000 lm**. Temperatura de culoare nu spune nimic despre cantitatea totală de lumină.

8.4.30. Măsurarea în laborator vs măsurarea pe teren

Laborator

Se pot controla:

- temperatura
- tensiunea
- curentul
- distanța
- geometria
- reflexiile
- lumina ambientală
- instrumentul.

Rezultatul este mult mai reproductibil.

Pe teren ai:

- pereți
- mobilier
- ferestre
- alte surse
- reflexii
- variații de tensiune
- temperatură diferită.

De aceea rezultatele pot varia.

8.4.31. De ce spectrul este atât de important?

Două surse pot produce aceeași impresie de „alb 4000 K”, dar distribuția spectrală poate fi complet diferită.

De exemplu, o sursă poate avea un spectru relativ continuu. Alta poate avea câteva „vârfuri” spectrale pronunțate. Ochiul uman poate percepe ambele ca fiind: **alb.** Dar obiectele colorate pot arăta diferit sub ele.

8.4.32. LED-urile albe

Majoritatea LED-urilor albe comerciale sunt obținute printr-o combinație de:

LED albastru + fosfor

În principiu:

1. LED-ul produce lumină albastră.
2. Fosforul convertește o parte din radiație.
3. Se obține un spectru compozit.
4. Creierul interpretează combinația ca lumină albă.

Spectrul rezultat influențează puternic:

- CCT
- CRI
- R9
- TM-30
- aspectul obiectelor.

8.4.33. Cum alegi un corp de iluminat bun?

Nu te uita doar la: **„4000 K”** și nici doar la: **„CRI 90”**. Ideal verifici:
1. CCT Ex.: 3000 K / 4000 K / 5000 K
2. Ra Ex.: ≥90
3. R9 Preferabil specificat, mai ales pentru aplicații unde roșul și pielea contează.
4. Duv Util pentru controlul tentelor verzi/magenta.
5. Spectrul SPD Foarte util în aplicații profesionale.
6. TM-30 Rf + Rg, dacă sunt disponibile.
7. Flux luminos lm
8. Eficiență lm/W
9. Distribuția luminii unghiul fasciculului, optic etc.

8.4.34. Exemplu pentru fotografie

Pentru fotografie de produs, de exemplu, ai putea prefera:

CCT stabil

CRI/Ra foarte ridicat

R9 ridicat

spectru bun

flicker foarte redus

CCT-ul singur nu garantează rezultate bune.

8.4.35. Exemplu pentru magazin alimentar

La alimente, redarea roșului poate fi foarte importantă. Un corp de iluminat cu:

R9 ridicat poate fi mai potrivit decât unul care are doar:

Ra 80 eoarece anumite produse — carne, fructe, legume — depind puternic de componentele spectrale.

8.4.36. Exemplu pentru artă

Într-o galerie sau într-un muzeu, este importantă:

- fidelitatea culorilor
- stabilitatea CCT
- controlul spectrului
- UV/IR, în funcție de obiect
- distribuția luminii
- evitarea deteriorării exponatelor.

Aici „CRI 90” poate fi insuficient ca specificație.

8.4.37. Exemplu pentru vopsitorie și controlul culorii

Aici problema devine și mai serioasă.

Dacă trebuie să compari două culori, ai nevoie de:

- spectru controlat
- CCT adecvat
- CRI ridicat
- R9/R12 etc.
- uniformitate
- iluminare suficientă
- condiții repetabile.

Altfel, aceeași vopsea poate părea diferită sub două surse.

Acest fenomen este legat de **metamerism**.

8.4.38. Metamerism

Două suprafețe pot părea de aceeași culoare sub o anumită lumină, dar diferite sub altă lumină.

De ce?

Pentru că reflectanța lor spectrală este diferită, chiar dacă răspunsul vizual este similar în primul iluminat.

De aceea iluminarea este critică în:

- industria textilă
- vopsitorie
- automotive

- grafică
- tipografie
- controlul calității.

8.4.39. Rezumat foarte important

Dacă vezi: **4000 K / CRI 90** înseamnă aproximativ:

4000 K→ aspectul cromatic al luminii. **CRI 90** → redare generală bună a culorilor conform sistemului CRI.

Dar NU înseamnă:

- 90 lux
- 90% eficiență
- toate culorile au aceeași fidelitate
- spectru perfect
- lumină „naturală” în orice situație.

8.4.40. Formula conceptuală a unei măsurători complete

Pentru o caracterizare serioasă a unei surse de lumină, gândește-te la:

Sursă → spectru SPD → CIE XYZ → coordonate cromatice → CCT/Duv → CRI/R1–R15 → TM-30 → iluminanță

Iar pentru o caracterizare practică:

CCT + Duv + Ra + R9 + SPD + lux

oferă mult mai multe informații decât simplul „4000 K / CRI 80”.

Dacă vrei să măsori efectiv aceste valori

Pentru **CCT + CRI + R9 + spectru**, alegem un **spectroradiometru**.
Pentru o verificare rapidă a **CCT**, un **colorimetru** poate fi suficient.

8.5. Bibliografie

Standarde și documente normative

[1] CEN. EN 13201-1 — Road lighting. Part 1: Guidelines on selection of lighting classes. Se utilizează pentru criteriile de selectare a claselor de iluminat.

[2] CEN. EN 13201-2 — Road lighting. Part 2: Performance requirements. Se utilizează pentru cerințele fotometrice ale iluminatului rutier.

[3] CEN. EN 13201-3 — Road lighting. Part 3: Calculation of performance. Se utilizează pentru calculul parametrilor și indicatorilor de performanță.

[4] CEN. EN 13201-4 — Road lighting. Part 4: Methods of measuring lighting performance. Se utilizează pentru metodele de măsurare a performanțelor iluminatului rutier.

[5] CEN. EN 13201-5 — Road lighting. Part 5: Energy performance indicators. Se utilizează pentru indicatorii de performanță energetică.

Publicații tehnice și metrologice

[6] CIE. (2010). CIE 115:2010 — Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic. 2nd edition. Commission Internationale de l'Éclairage. Pagina oficială a publicației.

[7] CIE. (2011). CIE 194:2011 — On Site Measurement of the Photometric Properties of Road and Tunnel Lighting. Commission Internationale de l'Éclairage. Pagina oficială a publicației.

[8] CIE. (2019). CIE 140:2019 — Road Lighting Calculations. 2nd edition. Commission Internationale de l'Éclairage.

[9] ISO/CIE. (2014). ISO/CIE 19476:2014 — Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters. International Organization for Standardization / Commission Internationale de l'Éclairage. Pagina oficială ISO.

[10] JCGM. (2008). JCGM 100:2008 — Evaluation of Measurement Data: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Joint Committee for Guides in Metrology. Documentația oficială BIPM.

[11] CIE. (2010). CIE 191:2010 — Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance. Commission Internationale de l'Éclairage. Pagina oficială a publicației.

[12] CIE. (2014). CIE 206:2014 — The Effect of Spectral Power Distribution on Lighting for Urban and Pedestrian Areas. Commission Internationale de l'Éclairage.

[13] CIE. (2017). CIE 150:2017 — Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations. 2nd edition. Commission Internationale de l'Éclairage. Pagina oficială a publicației.

9. Stâlpii de iluminat – de la proiectare la exploatare *[Tănasie A.]*

Cerințe de proiectare conform SR EN 40-5, clasificarea stâlpilor, siguranța pasivă (SR EN 12767:2019+A1:2025), fabricație, montaj, recepție, exploatare și mentenanță

Destinatari: proiectanți, verificatori de proiecte, responsabili tehnici cu execuția, diriginți de șantier, operatori ai serviciului de iluminat public, administratori de drumuri, specialiști achiziții tehnice

Notă privind utilizarea ghidului

Prezentul material este un ghid de bune practici, cu caracter de îndrumare. El sintetizează și explică cerințele standardelor din seria SR EN 40, ale SR EN 12767:2019+A1:2025 și ale reglementărilor tehnice aplicabile în România, dar nu înlocuiește textul oficial al acestora.

Valorile numerice citate (coeficienți, clase, limite) trebuie verificate de fiecare dată în ediția în vigoare a standardului și în anexele naționale. Unele standarde de referință citate de SR EN 40-5:2003 (de ex. seria EN 288, EN 50102) au fost înlocuite între timp; se aplică echivalentele actuale indicate în ghid.

Răspunderea pentru soluțiile tehnice adoptate revine proiectantului și verificatorului de proiect atestat, în condițiile Legii nr. 10/1995 privind calitatea în construcții.

9.1. Scopul și domeniul de aplicare

Stâlpul de iluminat este, în aparență, un element simplu. În realitate, el este o structură zveltă, solicitată dinamic de vânt, amplasată adesea în imediata vecinătate a traficului rutier și pietonal, care susține echipamente electrice și trebuie să funcționeze în siguranță 25–40 de ani în medii corozive. Deciziile luate la proiectare determină aproape în totalitate costul si riscul pe întreaga durată de viață.

Ghidul urmărește ciclul complet de viață al stâlpului și oferă, pentru fiecare etapă, cerințele normative, recomandările de bună practică și listele de verificare utilizabile direct în activitatea curentă:

- definirea temei și a datelor de intrare;
- alegerea tipului de stâlp și clasificarea acestuia, inclusiv din punct de vedere al siguranței pasive la impactul vehiculelor;
- proiectarea și verificarea structurală conform SR EN 40-3-1, SR EN 40-3-3 și cerințele specifice stâlpilor din oțel din SR EN 40-5;
- proiectarea fundației și a instalației electrice;
- achiziția, fabricația, controlul calității și marcajul CE;
- transportul, depozitarea, montajul și recepția;
- exploatarea, inspecția, mentenanța, intervenția după incidente și scoaterea din uz.

Domeniu: stâlpi pentru iluminat public stradal, rutier, pietonal și al spațiilor publice, cu accent pe stâlpii metalici din oțel. SR EN 40-5 se aplică stâlpilor pentru corpuri montate la vârf (post-top) cu înălțimea de cel mult 20 m și stâlpilor cu console pentru corpuri cu montaj lateral (side-entry) cu înălțimea de cel mult 18 m. Stâlpii de mare înălțime (high-mast) și structurile speciale care susțin indicatoare, panouri sau conductoare aeriene nu sunt acoperite de seria EN 40 și necesită proiectare dedicată (Eurocoduri).

9.2. Cadrul normativ de referință

Tabelul de mai jos prezintă principalele documente aplicabile, grupate pe etapele ciclului de viață. Se utilizează întotdeauna ediția în vigoare, inclusiv amendamentele și erata.

Document	Obiect	Etapa
SR EN 40-1	Stâlpi pentru iluminat public — Definiții și termeni	Toate
SR EN 40-2	Cerințe generale și dimensiuni (ușă, știft, toleranțe, adâncimi de încastrare)	Proiectare, fabricație
SR EN 40-3-1	Proiectare și verificare — Specificarea încărcărilor caracteristice (vânt, greutăți proprii)	Proiectare

Document	Obiect	Etapa
SR EN 40-3-2	Proiectare și verificare — Verificare prin încercări	Proiectare, fabricație
SR EN 40-3-3	Proiectare și verificare — Verificare prin calcul (SLU, SLS, oboseală)	Proiectare
SR EN 40-4	Cerințe pentru stâlpi din beton armat și precomprimat	Proiectare, fabricație
SR EN 40-5	Cerințe pentru stâlpi din oțel (materiale, sudare, protecție anticorozivă, marcaj, conformitate)	Proiectare, fabricație, achiziție
SR EN 40-6	Cerințe pentru stâlpi din aluminiu	Proiectare, fabricație
SR EN 40-7	Cerințe pentru stâlpi din compozite polimerice armate cu fibre (FRP)	Proiectare, fabricație
SR EN 12767:2019+A1:2025	Siguranța pasivă a structurilor suport pentru echipamente rutiere — cerințe și metode de încercare	Proiectare, achiziție
Regulamentul (UE) nr. 305/2011	Comercializarea produselor pentru construcții — declarația de performanță, marcajul CE	Achiziție, recepție
SR EN 1991-1-4 + CR 1-1-4/2012	Acțiunea vântului; valori de referință pentru România	Proiectare
SR EN 1993-1-1, SR EN 1993-1-8, SR EN 1993-1-9	Proiectarea structurilor din oțel; îmbinări; oboseală	Proiectare
SR EN 1997-1, NP 112	Proiectare geotehnică; fundații de suprafață	Proiectare fundații
SR EN 1090-2	Execuția structurilor din oțel — cerințe tehnice	Fabricație
SR EN ISO 1461, SR EN ISO 14713, SR EN ISO 12944, SR EN ISO 9223	Zincare termică; ghid de protecție; sisteme de vopsire; corozivitatea atmosferei	Proiectare, fabricație, mentenanță
SR EN ISO 3834, SR EN ISO 15614-1, SR EN ISO 9606-1, SR EN ISO 14731	Calitatea sudării; calificarea procedurilor; calificarea sudorilor; coordonarea sudării (înlocuiesc seria EN 288 / EN 287)	Fabricație
SR EN 62262	Grade de protecție împotriva impacturilor mecanice (cod IK) — înlocuiește EN 50102	Fabricație, încercări
SR EN 60598-2-3	Corpuri de iluminat pentru iluminat public	Proiectare, achiziție
Normativ I7/2011, SR HD 60364-7-714	Instalații electrice de joasă tensiune; instalații de iluminat exterior	Proiectare electrică, recepție
Legea nr. 10/1995, HG nr. 343/2017	Calitatea în construcții; recepția lucrărilor de construcții	Execuție, recepție, exploatare
Legea nr. 230/2006	Serviciul de iluminat public	Exploatare

Tabelul 9.1 – Principalele documente normative aplicabile, grupate pe etapele ciclului de viață

> **Bună practică**
> În caietul de sarcini se citează standardele cu an de ediție, iar pentru achiziția de produse se solicită explicit declarația de performanță (DoP) în conformitate cu Regulamentul (UE) nr. 305/2011 și cu SR EN 40-5. Formulări de tipul „conform normelor în vigoare” nu sunt valori verificabile la recepție.

9.3. Terminologie esențială

Termenii de mai jos sunt utilizați conform SR EN 40-1. Folosirea unui vocabular comun între proiectant, producător și operator elimină o mare parte din neconformitățile de livrare.

Termen	Definiție practică
Stâlp de iluminat (lighting column)	Suport destinat să susțină unul sau mai multe corpuri de iluminat, compus din corpul stâlpului, eventual consolă, element de îmbinare și elemente de fixare
Înălțime nominală (h)	Distanța de la nivelul terenului până la punctul de prindere a corpului de iluminat.

Termen	Definiție practică
Consolă / braț (bracket)	Element care asigură proeminența corpului de iluminat față de axul stâlpului
Element de îmbinare	Capăt tubular pe care se fixează corpul de iluminat; dimensiunile sunt standardizate în SR EN 40-2.
Adâncime de încastrare (planting depth)	Lungimea părții îngropate a unui stâlp montat direct în sol.
Flanșă (flange plate)	Placă de bază sudată la corpul stâlpului, cu ajutorul căreia stâlpul se fixează cu buloane pe fundație.
Compartiment de bază, ușă de vizitare	Zona inferioară a stâlpului care adăpostește cutia de conexiuni (clemă); golul ușii slăbește secțiunea și se verifică separat.
Clasă de încărcare (A / B)	Clasă care stabilește coeficienții parțiali de siguranță pentru încărcări (SR EN 40-3-3).
Clasă de deformație (1 / 2 / 3)	Clasă care limitează deplasarea orizontală a punctului de prindere a corpului de iluminat sub vânt (SLS).
Stâlp cu siguranță pasivă	Stâlp încercat la impact conform SR EN 12767:2019+A1:2025, care reduce gravitatea vătămărilor ocupanților vehiculului.

Tabelul 9.2 – Terminologie esențială (SR EN 40-1)

9.4. Clasificarea stâlpilor de iluminat

Clasificarea corectă a stâlpului este primul pas al proiectării. Fiecare criteriu de clasificare antrenează cerințe distincte de calcul, fabricație, montaj și mentenanță.

9.4.1. După material

Material	Standard	Avantaje	Limitări / atenționări
Oțel zincat termic (eventual și vopsit — sistem duplex)	SR EN 40-5	Rezistență mare, cost redus, gamă largă de înălțimi, ușor de reparat	Coroziune la nivelul solului; comportament NE sau HE în funcție de concepție; greutate mai mare
Aluminiu	SR EN 40-6	Greutate redusă, rezistență bună la coroziune, durată de viață lungă, variante HE/LE/NE certificate	Cost inițial mai mare; atenție la coroziunea galvanică în contact cu oțelul sau betonul; sudurile reduc rezistența locală
Beton armat / precomprimat	SR EN 40-4	Durabilitate, întreținere redusă, utilizare frecventă și ca stâlp de rețea (LEA)	Masă mare, risc sporit la impact (structură rigidă), transport și montaj dificile
Compozit FRP (fibră de sticlă)	SR EN 40-7	Nu corodează, izolant electric, greutate mică, comportament favorabil la impact	Sensibil la UV dacă nu este protejat; rigiditate redusă — atenție la deformații
Lemn, fontă, alte materiale	nu sunt acoperite explicit de seria EN 40	Valoare estetică / istorică	Necesită justificare prin calcul sau încercări dedicate

Tabelul 9.3 – Clasificarea stâlpilor după material

9.4.2. După forma stâlpului și a secțiunii

- Cilindric constant — din țeavă, ușor de prelucrat; utilizat la înălțimi mici.
- Cilindric în trepte (stepped) — tronsoane de diametre descrescătoare; îmbinările dintre tronsoane sunt detalii critice la oboseală.
- Octogonal, conic — secțiune octogonală, cu diametrul la bază mai mare decât cel de la vârf.
- Rotund, conic — secțiune circulară, cu diametrul la bază mai mare decât cel de la vârf.
- Poligonal — utilizat în special pentru stâlpii mai înalți sau pentru cei care susțin încărcări mai mari.

- Notă: SR EN 40-3-3 acoperă prin calcul secțiunile circulare și octogonale regulate; alte secțiuni se verifică prin încercări (SR EN 40-3-2).

9.4.3. După modul de fixare la bază

Tip	Descriere	Observații de proiectare
Încastrat direct în sol (planted)	Partea inferioară a stâlpului se îngroapă la adâncimea de încastrare și se reumple cu material compactat sau beton	Zona de trecere sol–aer este cea mai expusă la coroziune; tipul umpluturii influențează direct comportamentul la impact (vezi clasa de umplutură S / X / R din SR EN 12767:2019+A1:2025)
Cu flanșă pe fundație	Placă de bază fixată cu buloane de ancoraj pe fundație din beton sau pe fundație uscată pentru stâlp (FUS)	Verificarea flanșei, a sudurii flanșă–corp stâlp și a buloanelor; protecția anticorozivă a buloanelor și a mortarului de egalizare
Pe infrastructură (pod, zid, parapet)	Fixare pe elemente de construcții existente sau structuri metalice adaptate	Proiectare specifică a ancorelor; vibrații transmise de structură

Tabelul 9.4 – Clasificarea stâlpilor după modul de fixare la bază

9.4.4. După modul de montare a corpului de iluminat

- Stâlp pentru corp montat la vârf (post-top).
- Stâlp cu consolă pentru corp cu montaj lateral (side-entry). Consola introduce torsiune și moment suplimentar din greutatea proprie excentrică.

Înălțimile maxime acoperite de SR EN 40-5 pentru cele două tipuri sunt indicate în 9.1.

9.4.5. După înălțime și funcțiune

Categorie (orientativ)	Înălțime uzuală	Utilizare tipică
Stâlpi pietonali / decorativi	3 – 6 m	Parcuri, zone pietonale, piste de biciclete, ansambluri rezidențiale
Stâlpi stradali	6 – 10 m	Străzi urbane, drumuri locale, parcări
Stâlpi rutieri	10 – 15 m	Bulevarde, drumuri naționale, autostrăzi, noduri rutiere
Stâlpi înalți	15 – 20 m	Intersecții mari, platforme logistice, parcări extinse
Piloni de mare înălțime (high-mast)	peste 20 m	Noduri rutiere, porturi, stadioane, steaguri — în afara seriei EN 40, proiectare dedicată

Tabelul 9.5 – Clasificarea orientativă a stâlpilor după înălțime și funcțiune

> **Atenție – pentru stâlpii multifuncționali**
> Montarea pe stâlp a camerelor video, antenelor de telecomunicații, indicatoarelor rutiere, panourilor publicitare, bannerelor, decorațiunilor de sărbători sau a cablurilor aeriene modifică încărcarea din vânt și comportamentul dinamic al stâlpului. Cerințele tehnice sunt prezentate în 9.6.7, iar procedura de aviz a operatorului în 9.11.5.

9.4.6. Clasificarea structurală (SR EN 40-3-3)

Clasa de încărcare (A sau B) determină coeficienții parțiali de siguranță γf aplicați încărcărilor caracteristice la starea limită ultimă. Alegerea clasei se face conform ghidului național sau anexei naționale și se precizează obligatoriu în caietul de sarcini. Clasa A oferă o rezervă mai mare și se recomandă implicit acolo unde cedarea stâlpului ar avea consecințe grave (căi de circulație intensă, zone aglomerate).

Clasa de deformație (1, 2 sau 3) limitează deplasarea orizontală a punctului de prindere a corpului de iluminat sub încărcarea de vânt la starea limită de serviciu. Clasa 1 este cea mai severă. Valorile sunt detaliate în subcapitolul 9.6.5.

9.4.7. Clasificarea din punct de vedere al siguranței

Siguranța unui stâlp de iluminat se analizează pe patru componente, care trebuie tratate distinct în proiect:

Componenta de siguranță	Riscul gestionat	Cerința / referința
Siguranța structurală	Prăbușirea stâlpului sau a consolei sub vânt, oboseală, coroziune	SR EN 40-3-1, SR EN 40-3-3, SR EN 40-5 (rezistența la încărcări orizontale — caracteristică esențială declarată în DoP)
Siguranța pasivă (la impactul vehiculelor)	Vătămarea ocupanților vehiculului care lovește stâlpul; riscuri secundare pentru terți	SR EN 12767 :2019+A1:2025 (performanța la impactul vehiculelor — caracteristică esențială declarată în DoP)
Siguranța la impact mecanic local	Deteriorarea zonei ușii de vizitare (vandalism, lovituri)	SR EN 40-5, art. 9: încercare de tip IK08
Siguranța electrică	Electrocutare prin atingere directă sau indirectă, inclusiv după un accident	Normativ I7/2011, SR HD 60364-7-714, clasa de izolație a echipamentelor

Tabelul 9.6 – Componentele siguranței unui stâlp de iluminat

9.4.8. Siguranța pasivă a stâlpilor conform SR EN 12767

9.4.8.1. Principii și notația de clasificare

Standardul SR EN 12767 „Siguranța pasivă a structurilor suport pentru echipamentele rutiere. Cerințe și metode de încercare” clasifică structurile suport (stâlpi de iluminat, stâlpi pentru indicatoare, portaluri ușoare etc.) după comportamentul lor la impactul cu un autoturism. Clasificarea se stabilește prin încercări la scară reală (crash test) cu un autoturism de aproximativ 900 kg, la viteza clasei declarate. Standardul prevede și o încercare la viteză redusă (35 km/h).

Ediția din 2019 a înlocuit clasificarea din 2007 (de exemplu „100 HE 3”) cu o notație extinsă, cu șapte parametri.

Exemplu de notație: 100-NE-C-S-SE-MD-0

NR	Parametru	Clase	Semnificație
1	Clasa de viteză	50 / 70 / 100	Viteza de impact (km/h) la care stâlpul a fost încercat și calificat
2	Categoria de absorbție a energiei	HE / LE / NE	HE – absorbție mare; LE – absorbție redusă; NE – fără absorbție semnificativă (v. 9.4.8.2)
3	Nivelul de siguranță al ocupanților	A, B, C, D, E	Stabilit pe baza indicilor ASI și THIV. A este nivelul cel mai bun. În ediția 2019 nivelul nu mai depinde de categoria de absorbție
4	Tipul umpluturii / fundației	S / X / R	S – umplutură standard (pământ/agregate); X – umplutură specială definită de producător; R – fundație rigidă
5	Modul de cedare	SE / NS	SE – elementele se separă; NS – fără separare (stâlpul rămâne atașat de bază)
6	Clasa de direcție	SD / BD / MD	SD – performanță garantată dintr-o singură direcție; BD – din două direcții opuse; MD – din orice direcție
7	Riscul de înfundare a plafonului	0 / 1	0 – fără risc de deformare a plafonului; 1 – cu risc
–	Fără cerință	NR	Se folosește în caietele de sarcini pentru parametrii la care orice rezultat este acceptabil

Tabelul 9.7 – Parametrii notației de clasificare SR EN 12767:2019+A1:2025

Notă – ediția 2007 față de ediția 2019. În ediția 2007 notația avea trei elemente: viteza, categoria de absorbție și nivelul de siguranță al ocupanților, exprimat prin cifre (1–3, iar pentru NE și 4). Exemple: „100 NE

3”, „70 LE 2”. Notațiile din cele două ediții nu se pot converti direct una în alta. În documentațiile noi se folosește notația din 2019, cu toți cei șapte parametri sau cu NR acolo unde parametrul nu contează.

9.4.8.2. Categoriile de absorbție a energiei

Categoria se stabilește după viteza de ieșire a vehiculului (v_e) după impact, măsurată conform SR EN 12767:2019+A1:2025 (tabelul A.3):

Clasa de viteză	HE	LE	NE
50 km/h	$v_e = 0$	$0 < v_e \leq 5$ km/h	$5 < v_e \leq 50$ km/h
70 km/h	$0 \leq v_e \leq 5$ km/h	$5 < v_e \leq 30$ km/h	$30 < v_e \leq 70$ km/h
100 km/h	$0 \leq v_e \leq 50$ km/h	$50 < v_e \leq 70$ km/h	$70 < v_e \leq 100$ km/h

Tabelul 9.8 – Categoriile de absorbție a energiei în funcție de viteza de ieșire a vehiculului v_e

Criteriu	HE (absorbție mare)	LE (absorbție redusă)	NE (fără absorbție)
Comportament	Stâlpul se deformează progresiv și oprește sau încetinește puternic vehiculul	Comportament intermediar	Stâlpul se rupe sau se desprinde, iar vehiculul își continuă deplasarea cu viteza ușor redusă
Risc primar (ocupanți)	Decelerație mai mare, dar controlată	Intermediar	Decelerație redusă, de regulă cel mai mic risc pentru ocupanți
Risc secundar (terți)	Redus: vehiculul nu ajunge la pietoni, bicicliști, copaci sau obstacole din spatele stâlpului	Intermediar	Ridicat: vehiculul și stâlpul căzut pot lovi terți sau pot ajunge pe altă cale de circulație
Utilizare recomandată	Zone urbane; prezență de pietoni sau bicicliști; obstacole în spatele stâlpului; rampe și terasamente	Soluție de compromis, când nici HE, nici NE nu sunt adecvate	Drumuri cu viteze mari, fără terți sau obstacole în zona din spatele stâlpului

Tabelul 9.9 – Comparație între categoriile de absorbție HE, LE și NE

9.4.8.3. Nivelul de siguranță al ocupanților

Nivelul de siguranță al ocupanților (A–E) se stabilește pe baza a doi indici:

- ASI (Acceleration Severity Index), indicele de severitate a accelerației suportate de ocupanți;
- THIV (Theoretical Head Impact Velocity), viteza teoretică de impact a capului ocupantului cu habitaclul.

Nivelul A are limitele cele mai severe și oferă cea mai bună protecție. Valorile-limită pentru fiecare nivel se iau din tabelele SR EN 12767:2019+A1:2025.

Atenție: valorile ASI A ≤ 1,0 / B ≤ 1,4 / C ≤ 1,9 și THIV ≤ 33 km/h aparțin standardului SR EN 1317-2 (dispozitive de reținere) și nu se aplică stâlpilor.

9.4.8.4. Soluții constructive pentru stâlpi cu siguranță pasivă

- Stâlpi cu deformare controlată, din oțel sau aluminiu cu perete subțire sau din materiale compozite. Se îndoaie și se înfășoară pe vehicul. Sunt tipice pentru clasele HE și LE.
- Baze cu alunecare (slip base). Stâlpul se desprinde controlat de fundație. Sunt tipice pentru clasa NE.
- Baze cu elemente de rupere (breakaway): șuruburi calibrate, cuple fragile (frangible couplings) sau flanșe de rupere controlată. Sunt tipice pentru clasa NE.
- Stâlpi cu secțiune slăbită controlat, care cedează într-o zonă prestabilită.

Performanța declarată este valabilă numai pentru ansamblul încercat: stâlp, bază, fundație sau umplutură, ușa de vizitare și elementele montate pe stâlp (consolă, corp de iluminat, panou).

9.4.8.5. Alegerea clasei de siguranță pasivă – logica de decizie

1. Amplasarea. Se stabilește dacă stâlpul se află în zona de siguranță (zona liberă de obstacole) a drumului, conform reglementărilor administratorului drumului. Dacă stâlpul este în afara acesteia

sau în spatele unui dispozitiv de reținere conform SR EN 1317, la o distanță mai mare decât lățimea de lucru (W) a dispozitivului, siguranța pasivă nu este obligatorie.

2. Clasa de viteză. Se stabilește pe baza vitezei de proiectare sau a limitei de viteză a sectorului (50, 70 sau 100 km/h).
3. Riscul secundar. Se verifică dacă în spatele stâlpului există pietoni, bicicliști, stații de transport public, clădiri, copaci, o altă cale de circulație sau o diferență de nivel. Dacă da, se preferă HE (sau LE). Dacă nu, NE oferă de regulă cea mai bună protecție a ocupanților.
4. Nivelul de siguranță al ocupanților. Pentru drumurile cu viteze mari se recomandă cel puțin nivelul C. Nivelurile A și B se cer acolo unde produsele disponibile le pot asigura.
5. Tipul de umplutură sau fundație (S, X sau R) se corelează cu soluția reală de pe șantier. Un stâlp calificat cu umplutură S și montat într-o fundație rigidă din beton nu mai are performanța declarată.
6. Clasa de direcție. Clasa MD este preferabilă. Clasele SD și BD impun orientarea corectă la montaj, care se trece în planurile de execuție.
7. Verificări suplimentare:
   - riscul ca stâlpul sau părți ale lui să cadă pe alte căi de circulație (noduri denivelate, poduri);
   - riscul de înfundare a plafonului;
   - compatibilitatea cu instalația electrică (deconectarea sigură după impact).

Exemple orientative de specificare:

- drum extravilan, 100 km/h, fără terți în spatele stâlpului: 100-NE-C-S-SE-MD-0;
- zonă urbană, 50 km/h, cu trotuar în spatele stâlpului: 50-HE-C-S-NS-MD-0.

9.4.8.6. Stâlpi convenționali (fără siguranță pasivă)

Stâlpii care nu au fost încercați conform SR EN 12767 nu au o performanță declarată la impact. În Declarația de performanță (DoP) apare la această caracteristică mențiunea „NPD – performanță nedeterminată”. Sunt considerați obstacole rigide și trebuie fie amplasați în afara zonei de siguranță a drumului, fie protejați cu dispozitive de reținere conform SR EN 1317.

Bună practică

- Clasa de siguranță pasivă se stabilește pe fiecare tronson de drum, nu global pe proiect, în funcție de viteza de proiectare a tronsonului și de riscul secundar.
- Se recomandă un tabel de amplasare (pichetaj) în care fiecare stâlp are asociate tipul, clasa SR EN 12767 (notația completă), tipul fundației sau umpluturii și orientarea ușii de vizitare.
- La stâlpii HE și la cei cu clasa de direcție SD sau BD, poziția ușii de vizitare influențează deformarea și energia absorbită la impact. De aceea orientarea ușii trebuie să fie cea din raportul de încercare.

9.5. Cerințe de proiectare conform SR EN 40-5 (stâlpi din oțel)

SR EN 40-5 (EN 40-5:2002) este standardul de produs armonizat pentru stâlpii din oțel. El stabilește cerințele privind materialele, proiectarea, sudarea, îmbinările, protecția la impact mecanic, finisajul interior, protecția anticorozivă, marcajul și controlul conformității. Capitolele de mai jos urmăresc structura standardului și adaugă recomandări de aplicare.

9.5.1. Domeniul de aplicare și caracteristicile esențiale

- Domeniul de aplicare (tipurile de stâlpi și înălțimile maxime): vezi 9.1.
- Caracteristici esențiale declarate (cerința fundamentală nr. 4 — siguranța în exploatare): rezistența la încărcări orizontale (vânt) și performanța la impactul vehiculelor (siguranța pasivă). Se adaugă durabilitatea (protecția anticorozivă).
- Standardul include evaluarea conformității produselor, inclusiv încercările inițiale de tip (anexa D, normativă) și controlul producției în fabrică.

9.5.2. Materiale

Produs	Standard de material	Observații
Table și benzi laminate la cald	SR EN 10025 (cu excepția mărcii S185); SR EN 10149-1, -2	Oțelul trebuie să fie adecvat zincării termice atunci când aceasta este prevăzută
Țevi finisate la cald	SR EN 10210	—
Țevi formate la rece	SR EN 10219	—
Oțeluri inoxidabile	SR EN 10088	Atenție la contactul cu oțel carbon (coroziune galvanică)
Buloane de fundație	Proprietăți mecanice minime cel puțin S235JR (SR EN 10025)	Se recomandă zincarea termică a buloanelor și a piulițelor

Tabelul 9.10 – Materiale pentru stâlpii din oțel (SR EN 40-5)

- Oțelul necalmat (rimming steel) nu se utilizează.
- Recomandare: se solicită certificate de inspecție de tip 3.1 conform SR EN 10204 și se controlează conținutul de siliciu și fosfor al oțelului (reactivitatea la zincare), pentru a evita straturi de zinc excesiv de groase și fragile.

9.5.3. Dimensiuni și toleranțe

Dimensiunile și toleranțele (înălțime, rectilinitate, dimensiunile ușii de vizitare, ale golurilor de intrare a cablurilor, ale ștuțului, adâncimile de încastrare) se stabilesc conform SR EN 40-2. În tema de proiectare se precizează explicit: înălțimea nominală, tipul și dimensiunile ștuțului compatibile cu corpul de iluminat ales, poziția ușii față de golul de intrare a cablului și dimensiunile flanșei / ale grupului de buloane.

9.5.4. Proiectare și verificarea proiectului

Stâlpul trebuie proiectat astfel încât să preia în siguranță greutățile proprii și încărcările din vânt specificate în SR EN 40-3-1.

Acțiuni și combinații de încărcare.

Proiectarea stâlpilor de iluminat trebuie să ia în considerare toate acțiunile care pot acționa simultan sau independent pe durata de viață a structurii. Încărcările caracteristice se stabilesc conform SR EN 40-3-1 (acțiunea vântului pe baza SR EN 1991-1-4 și CR 1-1-4/2012), iar coeficienții parțiali de siguranță și combinațiile, conform SR EN 40-3-3 (v. 9.6.2 și 9.6.3).

9.5.5. Sudarea (art. 7 și 8)

Sudurile sunt detaliile cele mai solicitate ale stâlpului, atât la rezistență, cât și la oboseală: îmbinarea flanșei, zona ușii de vizitare și prinderea consolei. SR EN 40-5 cere controlul procedeului, al procedurilor și al personalului de sudare:

- **Procedeul.** Sudarea cu arc electric se face conform SR EN 1011-1 și SR EN 1011-2 pentru oțelurile feritice, respectiv SR EN 1011-1 și SR EN 1011-3 pentru oțelurile inoxidabile.
- **Proceduri scrise (WPS).** Se întocmesc pentru îmbinările structurale principale: îmbinarea flanșei, îmbinarea compartimentului de bază cu corpul stâlpului, întăritura ușii, îmbinările intermediare ale corpului, îmbinarea consolă–stâlp și sudura longitudinală a corpului, atunci când se execută la fabricarea stâlpului.
- **Calificarea procedurilor.** Procedurile se califică prin încercări pe epruvete care reprezintă tipurile principale de ansambluri. SR EN 40-5 trimite la seria EN 288, înlocuită între timp de SR EN ISO 15607 și SR EN ISO 15614-1 (v. 9.2).
- **Metalul depus.** Caracteristicile mecanice ale metalului depus nu pot fi mai mici decât valorile minime specificate de proiectant pentru metalul de bază. Verificarea revine coordonatorului de sudare (SR EN ISO 14731).

- **Revizuirea.** Procedurile se revizuiesc și, dacă este cazul, se recalifică după cel mult șapte ani.
- **Sudorii.** Fiecare sudor se califică pentru procedurile aprobate după care lucrează (SR EN ISO 9606-1).

Cerințele privind proiectarea îmbinărilor (art. 8), inclusiv îmbinările prin fricțiune dintre tronsoane, sunt prezentate în 9.6.2, iar categoriile de oboseală ale detaliilor sudate în 9.6.6.

Recomandare: la achiziție se solicită lista procedurilor de sudare (WPS) și rapoartele lor de calificare, certificatele sudorilor și dovada sistemului de calitate în sudare (SR EN ISO 3834). Pentru sudura flanșă–stâlp a stâlpilor înalți sau a celor din zone cu vânt puternic se recomandă control nedistructiv prin sondaj (ultrasunete sau pulberi magnetice), cu criterii de acceptare stabilite prin contract. Ca referință pentru execuție se poate folosi SR EN 1090-2.

9.5.6. Protecția împotriva impactului mecanic (art. 9)

Zona ușii de vizitare este cea mai expusă la lovituri (vandalism, utilaje de curățenie, impacturi minore), iar golul ușii slăbește secțiunea. De aceea, SR EN 40-5 cere o încercare de tip la impact mecanic:

- **Categoria.** Încercarea corespunde categoriei de protecție la impact IK08 (energie de impact 5 J), definită în SR EN 62262, care a înlocuit EN 50102; ușa este montată în timpul încercării.
- **Loviturile.** Se aplică cinci lovituri pe circumferință, la jumătatea înălțimii ușii: la stâlpii circulari, egal distanțate pe circumferința rămasă, fără ușă; la stâlpii octogonali, pe fiecare față adiacentă, cu excepția ușii. Se folosește un ciocan pendul sau un ciocan cu cădere liberă verticală.
- **Criteriul de acceptare.** După încercare nu trebuie să existe adâncituri mai mari de 3 mm, măsurate cu un șablon de profil.
- **Epruveta.** Încercarea se face pentru fiecare tip de bază de stâlp sau pe un tronson care se prelungește cu cel puțin 0,3 m deasupra și dedesubtul golului ușii. Tipul este definit de forma, dimensiunile, grosimea și materialul secțiunii la jumătatea înălțimii ușii.
- **Valabilitatea.** Rezultatul acoperă produsele cu diametrul exterior (sau dimensiunea între fețe) cel mult egal cu cel încercat, cu aceeași grosime a peretelui și aceeași rezistență a materialului.

Recomandare: raportul încercării IK08 face parte din încercările inițiale de tip (v. 9.5.10) și se cere la achiziție pentru tipul livrat. În zonele cu risc ridicat de vandalism se pot cere suplimentar o încuietoare antiefracție și o întăritură mai rigidă a golului ușii.

9.5.7. Finisajul interior și muchiile

- traseele de cablu trebuie să respecte cerințele SR EN 40-2.
- Toate punctele de acces folosite pentru montarea echipamentelor electrice trebuie să fie fără muchii ascuțite și bavuri — protecția izolației cablurilor și a personalului.
- Recomandare: se prevăd inele de protecție (passe-câble) la golurile de intrare a cablurilor și o placă / șină de montaj pentru cutia de conexiuni, cu punct de legare la pământ marcat.

9.5.8. Protecția anticorozivă (art. 11 și anexa A)

Extras din meniul România Zincată a paginii de web www.anaz.ro

ZINCARE TERMICĂ. MEDII DE COROZIVITATE ȘI VITEZA DE COROZIUNE A ZINCULUI

Argument privind utilizarea corectă a Standardului SR EN ISO 1461:2022

Prevederile Standardului SR EN ISO 1461:2022

1.1. Medii de corozivitate și viteza de coroziune a zincului

1.2. Grosimi minime și medii depuse funcție de grosimea materialului

1.3. Metode de măsurare a grosimii de strat și de stabilire a durabilității.

Legea achiziției și utilizarea standardelor adoptate de ASRO pentru domeniul protecției anticorozive prin zincare termică

Clasele de corozivitate		Viteza medie anuală de coroziune a zincului (µm/an)
C1	Interior: uscat	<0.1
C2	Interior: condensare ocazională Exterior: rural	0.1 la 0.7
C3	Interior: umiditate ridicată, uşoară poluare a aerului Exterior: mediu urban de uscat, sau în apropierea coastei marine	0.7 la 2
C4	Interior: bazine cu apă, uzine chimice Exterior: zone industriale de uscat sau pe coaste marine	2 to 4
C5	Exterior: zone industriale, cu umiditate crescută sau coaste marine cu salinitate ridicată	4 to 8

Figura 9.1 – Clasele de corozivitate și viteza medie anuală de coroziune a zincului (sursa: ANAZ)

Domeniul de grosime al piesei	Grosime locală (minimum)		Grosime medie (minimum)	
	g/m^2	µm	g/m^2	µm
oţel ≥ 6mm	505	70	610	85
oţel ≥ 3mm la < 6mm	395	55	505	70
oţel ≥ 1.5mm la < 3mm	325	45	395	55
oţel < 1.5mm	250	35	325	45
oţel turnat ≥ 6mm	505	70	575	80
oţel turnat < 6mm	430	60	505	70

Figura 9.2 – Grosimi ale acoperirilor obținute prin zincare termică pentru structuri din oțel (inclusiv stâlpi, console etc.) (sursa: ANAZ)

Domeniul de grosime al piesei	Grosime locală (minimum)		Grosime medie (minimum)	
	g/m²	µm	g/m²	µm
oțel ≥ 6mm	505	70	610	85
oțel ≥ 3mm la < 6mm	395	55	505	70
oțel ≥ 1.5mm la < 3mm	325	45	395	55
oțel < 1.5mm	250	35	325	45
oțel turnat ≥ 6mm	505	70	575	80
oțel turnat < 6mm	430	60	505	70

Clasele de corozivitate		Viteza medie anuală de coroziune a zincului (µm/an)
C1	Interior: uscat	<0.1
C2	Interior: condensare ocazională Exterior: rural	0.1 la 0.7
C3	Interior: umiditate ridicată, ușoară poluare a aerului Exterior: mediu urban de uscat, sau în apropierea coastei marine	0.7 la 2
C4	Interior: bazine cu apă, uzine chimice Exterior: zone industriale de uscat sau pe coaste marine	2 to 4
C5	Exterior: zone industriale, cu umiditate crescută sau coaste marine cu salinitate ridicată	4 to 8

Figura 9.3 – Citirea tabelelor pentru exemplul de mai jos: grosimea medie minimă a stratului de zinc pentru oțel de 3–6 mm și viteza de coroziune în categoria C3 (sursa: ANAZ)

Exemplu: pentru categoria de corozivitate C3 și oțel cu grosimea între 3 mm și 6 mm, SR EN ISO 1461:2022 prevede o grosime medie minimă a stratului de zinc de 70 µm. La viteza de coroziune a zincului în categoria C3 (0,7–2,1 µm/an, conform SR EN ISO 9223 și SR EN ISO 14713-1), durata până la prima întreținere este de aproximativ 33–100 de ani.

Mai jos veți găsi harta interactivă a coroziunii în timp real, cu informații transmise de la stațiile meteo https://qr2everythingro.tech/ANAZ-harta-interactiva/

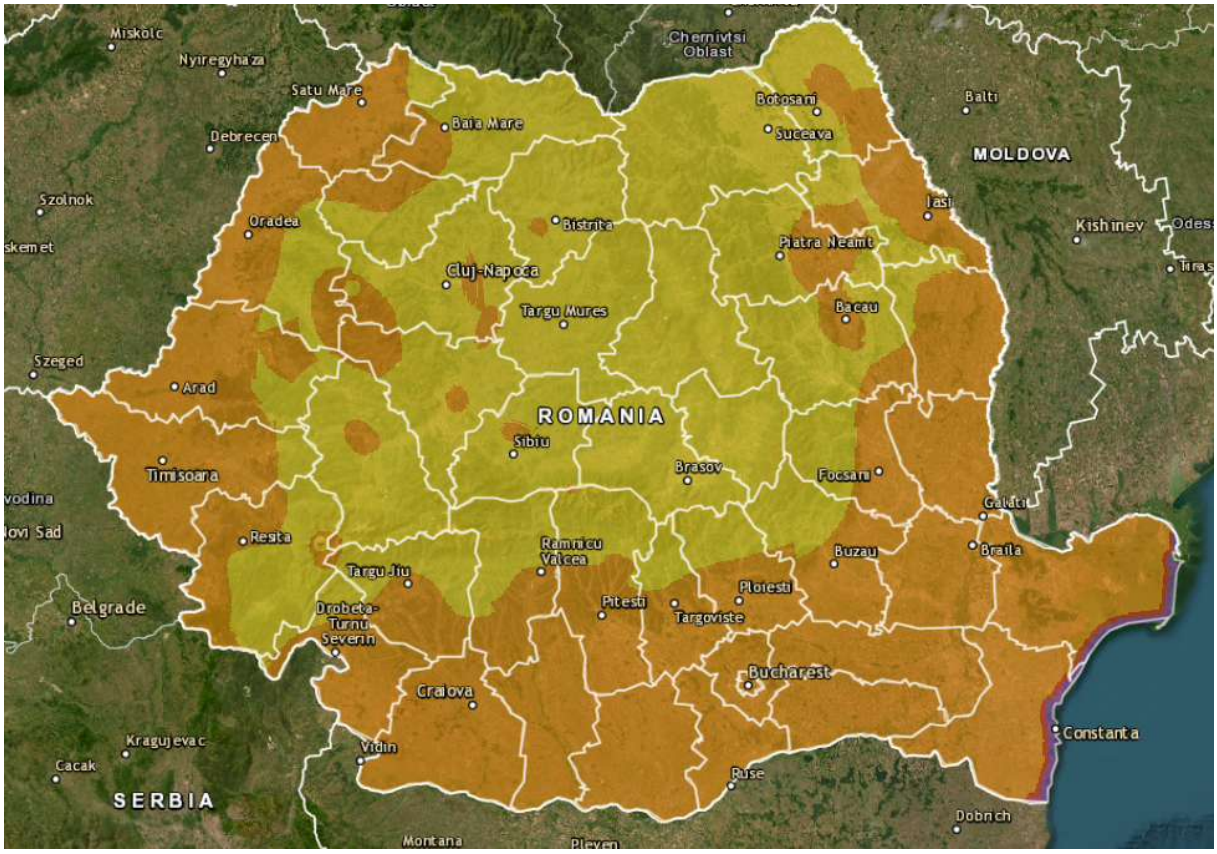


Figura 9.4 – Harta coroziunii atmosferice în România (sursa: ANAZ – harta interactivă)

9.5.9. Marcarea (art. 12)

Fiecare stâlp se marchează clar și durabil cu:

- numele sau simbolul producătorului;
- anul fabricației;
- referință la SR EN 40-5;

- un cod unic de produs.

Marcajul se realizează în material, prin vopsire, poansonare sau etichetă fixată sigur. Marcajul CE și informațiile însoțitoare se aplică conform anexei ZA și Regulamentului (UE) nr. 305/2011. Recomandare: marcajul se amplasează în interiorul compartimentului ușii sau într-o zonă vizibilă de la sol și se completează cu numărul de inventar al operatorului (eticheta de identificare / cod QR).

9.5.10. Evaluarea conformității și marcajul CE

Element	Conținut	Ce verifică beneficiarul
Încercări inițiale de tip (ITT)	Verificarea proiectului (calcul sau încercare), încercarea IK08, încercarea la impact SR EN 12767 (dacă se declară siguranță pasivă), protecția anticorozivă	Rapoarte de încercare pentru tipul livrat, emise de laboratoare competente
Controlul producției în fabrică (FPC)	Proceduri documentate, controlul materialelor, sudurilor, dimensiunilor, zincării; criterii de acceptare și reîncercare (art. 13–15)	Certificatul de conformitate a FPC emis de un organism notificat
Declarația de performanță (DoP)	Rezistența la încărcări orizontale (clase de încărcare și deformație, viteza de referință a vântului, categoria de teren), performanța la impact (clasa SR EN 12767 sau NPD), durabilitatea	Corespondența dintre clasele declarate și cerințele din proiect
Marcajul CE	Aplicat pe produs / etichetă / documente de însoțire	Prezența și coerența cu DoP

Tabelul 9.11 – Evaluarea conformității și marcajul CE

Bună practică la achiziție
Nu se acceptă la recepție o DoP generică pentru „gamă de stâlpi” fără identificarea clară a tipului livrat. Se cere tabelul producătorului care arată, pentru tipul ofertat, viteza de referință a vântului admisă, categoria de teren, aria expusă și masa maximă a corpului de iluminat, clasa de încărcare și clasa de deformație.

9.5.11. Performanța la impactul vehiculelor (art. 16)

Atunci când se declară siguranța pasivă, performanța se determină conform SR EN 12767:2019+A1:2025 (vezi subcapitolul 9.4.8). Clasa declarată este valabilă numai pentru configurația încercată: înălțime, consolă, masa corpului de iluminat, tipul de fundație / umplutură, orientarea ușii și tipul de conexiuni electrice.

9.6. Proiectarea și verificarea structurală

9.6.1. Date de intrare obligatorii

Categorie	Date necesare	Sursa
Amplasament	Localitate, coordonate, altitudine, categoria de teren, factor de topografie (deal, dig, pod, culoar de vânt)	Topografie, CR 1-1-4/2012, SR EN 1991-1-4
Vânt	Viteza de referință / presiunea de referință a vântului; clasa de importanță	CR 1-1-4/2012 (hărți de zonare pentru România)
Geometrie	Înălțime nominală h, număr și configurație console, înclinare consolă	Proiect luminotehnic
Corpul de iluminat	Masă, arie expusă la vânt (Scx), înclinare, număr de corpuri	Fișa tehnică a corpului de iluminat (SR EN 60598-2-3)
Echipamente suplimentare	Camere, senzori, antene, indicatoare, bannere, decorațiuni — masă și arie expusă	Tema beneficiarului
Clase	Clasa de încărcare (A/B), clasa de deformație (1/2/3), clasa SR EN 12767:2019+A1:2025	Tema de proiectare, administratorul drumului

Categorie	Date necesare	Sursa
Mediu	Categoria de corozivitate, utilizarea fondanților, durata de viață proiectată	SR EN ISO 9223, tema beneficiarului
Teren	Stratificație, caracteristici geotehnice, nivelul apei subterane, adâncimea de îngheț	Studiu geotehnic (NP 074), STAS 6054

Tabelul 9.12 – Date de intrare obligatorii pentru proiectare

9.6.2. Acțiuni (SR EN 40-3-1)

- Încărcări permanente: greutatea proprie a stâlpului, consolelor, corpurilor de iluminat și echipamentelor fixate.
- Încărcarea din vânt: pe stâlp, consolă și corp de iluminat, calculată cu presiunea vântului funcție de înălțime, categoria de teren, coeficienții de formă și un factor dinamic corespunzător. Se analizează direcțiile de vânt defavorabile (inclusiv perpendicular pe consolă, pentru torsiune).

9.6.2.1. Încărcări permanente (G)

- Greutatea proprie a stâlpului (calculată din masa pe unitatea de lungime și geometrie)
- Greutatea corpului de iluminat și a sistemului de fixare
- Greutatea cablurilor electrice interioare și exterioare
- Greutatea consolei sau consolelor laterale, dacă este cazul
- Greutatea suportului pentru panou fotovoltaic;
- Greutatea panoului fotovoltaic.

9.6.2.2. Acțiunea vântului (W)

Acțiunea vântului este acțiunea variabilă dominantă pentru stâlpii de iluminat.

Vântul acționează direct asupra ariei expuse a:

- stâlpului;
- corpului de iluminat;
- panoului fotovoltaic.

Calculul se efectuează conform SR EN 1991-1-4 și CR 1-1-4/2012, luând în considerare:

- Viteza de referință a vântului vb, obținută din presiunea de referință qb din harta de zonare CR 1-1-4/2012: qb = 0,4–0,7 kPa, adică vb ≈ 25–33,5 m/s ($vb = \sqrt{(2 \cdot qb/\rho)}$, $\rho = 1{,}25$ kg/m³); pentru sud-vestul Banatului ($qb \geq 0{,}7$ kPa) și pentru altitudini de peste 1000 m codul recomandă date specifice amplasamentului
- Profilul vertical al vitezei vântului în funcție de categoria de teren (0, I, II, III, IV)

Categoria de teren reprezintă gradul de rugozitate al suprafeței pe care vântul o traversează înainte să ajungă la construcție.

Aceasta influențează direct viteza vântului și presiunea asupra stâlpului.

Categoria	Descriere	Exemple
0	Mare sau zonă costieră expusă spre larg	Litoralul Mării Negre
I	Lacuri sau teren plat și orizontal, cu vegetație neglijabilă și fără obstacole	Lacuri întinse, câmpie fără copaci
II	Teren agricol cu obstacole rare	Câmpuri cu ferme izolate
III	Zone cu acoperire regulată cu vegetație sau construcții, cu obstacole izolate	Periferii de orașe, zone industriale, sate
IV	Zone urbane în care cel puțin 15 % din suprafață este acoperită cu clădiri cu înălțimea medie de peste 15 m	Centre de orașe, cartiere compacte cu blocuri

Tabelul 9.13 – Categorii de teren

Presiunea dinamică de referință (conform CR 1-1-4/2012), cu valorile plasate în centrul fiecărei zone colorate:

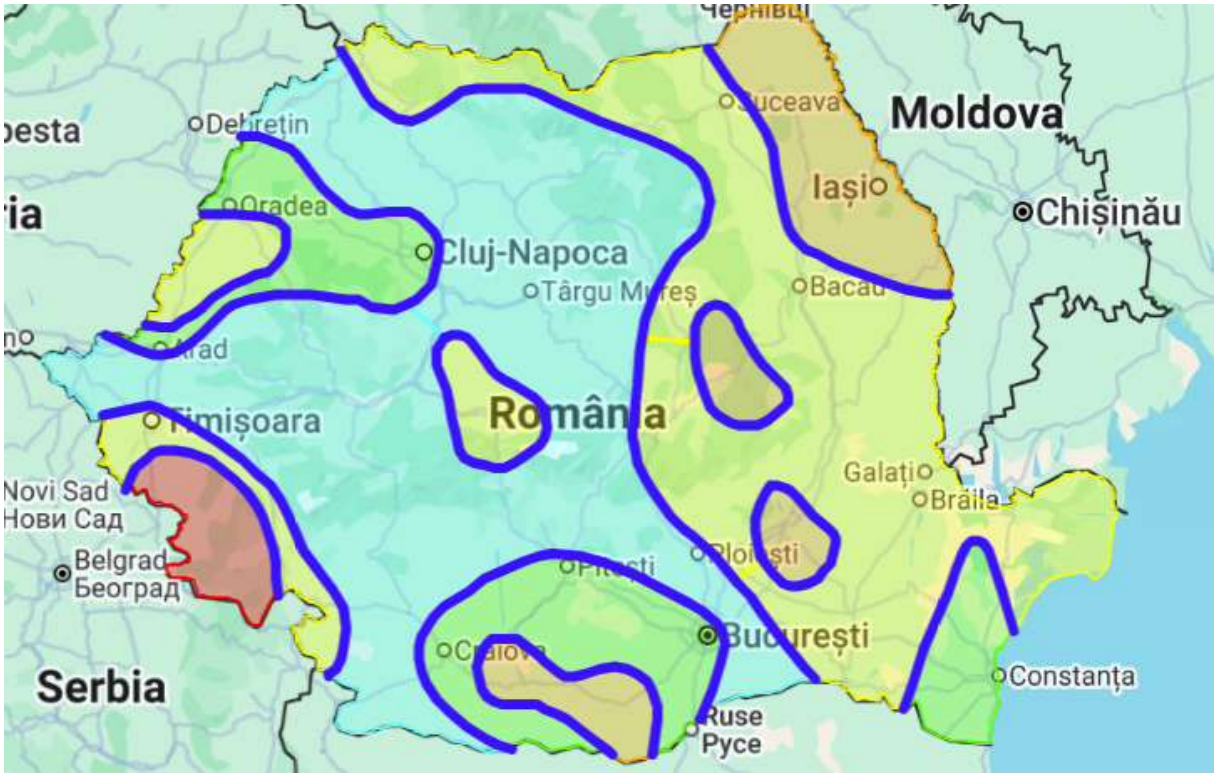


Figura 9.5 – Zonarea presiunii dinamice de referință a vântului qb, conform CR 1-1-4/2012

Link-ul pentru consultarea acestei hărți:
https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=15rQJ5Bqzu6Kuv5VfHLZTrjW9184uo_Bz&ll=46.3027653091014%2C25.208371226562562&z=7

- Verificarea structurală se face fie prin calcul conform SR EN 40-3-3, fie prin încercări conform SR EN 40-3-2.
- Toate îmbinările se proiectează la aceleași cerințe (art. 8). Detaliile constructive trebuie să evite reținerea umidității și coroziunea.
- Pentru îmbinările prin fricțiune (tronsoane îmbinate prin împănare / suprapunere conică), eforturile suplimentare din îmbinare se includ în calcul.
- Încărcări suplimentare din gheață în zonele expuse, acolo unde tema o impune.
- La stabilirea acestor încărcări se ține cont de altitudinea amplasamentului.
- Excluderi: impactul vehiculelor nu se tratează ca încărcare de calcul în SR EN 40-3-3; el face obiectul SR EN 12767:2019+A1:2025.

9.6.3. Coeficienți parțiali de siguranță pentru încărcări (SR EN 40-3-3)

Clasa	Încărcări din vânt (γf)	Încărcări permanente (γf)	Aplicare
Clasa A	1,4	1,2	Stare limită ultimă — rezervă de siguranță mai mare
Clasa B	1,2	1,2	Stare limită ultimă — conform ghidului național / anexei naționale
Stare limită de serviciu	1,0	1,0	Verificarea deformațiilor

Tabelul 9.14 – Coeficienți parțiali de siguranță pentru încărcări (SR EN 40-3-3)

Notă: selecția clasei se face conform ghidului național sau anexei naționale. Valorile coeficienților parțiali de material γm depind de material și de tipul verificării și se iau din ediția în vigoare a SR EN 40-3-3.

9.6.4. Verificări la starea limită ultimă (SLU)

- Rezistența secțiunii corpului de stâlp la încovoiere oblică și torsiune, în secțiunile critice (bază, deasupra ușii, schimbări de secțiune, îmbinări).
- Stabilitatea locală a pereților subțiri, funcție de raportul diametru / grosime și de forma secțiunii.
- Slăbirea secțiunii prin golul ușii de vizitare: verificarea secțiunii neîntărite sau dimensionarea întăriturii (bandă, cadru, profil sudat), cu prinderea continuă a întăriturii de peretele stâlpului.
- Îmbinarea consolă–stâlp (moment, forfecare, torsiune).
- Flanșa de bază (încovoiere), sudura flanșă–stâlp, buloanele de ancoraj (întindere, forfecare, ancorare în beton) — cu SR EN 1993-1-8 și SR EN 1992-4 pentru ancoraje.
- Îmbinările prin fricțiune dintre tronsoane, inclusiv eforturile suplimentare induse.

9.6.5. Verificări la starea limită de serviciu (SLS)

Deplasarea orizontală (săgeata) a punctului de prindere a corpului de iluminat se limitează pentru a menține calitatea iluminatului (orientarea fluxului luminos) și confortul vizual. SR EN 40-3-3 definește trei clase de deformație; valorile uzuale ale limitei, exprimate ca fracțiune din (h + w), sunt:

Clasa de deformație	Deplasare orizontală maximă (orientativ)	Recomandare de utilizare
Clasa 1	0,04 · (h + w)	Corpuri cu optică precisă, proiectoare, camere video, drumuri cu cerințe stricte de uniformitate
Clasa 2	0,06 · (h + w)	Iluminat rutier și stradal curent
Clasa 3	0,10 · (h + w)	Iluminat pietonal, decorativ, cerințe reduse

Tabelul 9.15 – Clase de deformație – deplasarea orizontală maximă (orientativ)

Atenție: valorile din tabel se verifică în ediția în vigoare a SR EN 40-3-3. Se verifică, de asemenea, deplasarea verticală a punctului de prindere la stâlpii cu consolă.

9.6.6. Oboseală și comportament dinamic

Stâlpii zvelți sunt supuși unui număr foarte mare de cicluri de solicitare din rafalele de vânt și din desprinderea vârtejurilor (vortex shedding), care poate produce oscilații de rezonanță la viteze moderate ale vântului. SR EN 40-3-3 conține îndrumări privind oboseala stâlpilor din oțel.

- Se verifică frecvențele proprii și viteza critică de desprindere a vârtejurilor, în special la stâlpi înalți, conici, cu corp de iluminat ușor (LED).
- Detaliile sudate se încadrează în categorii de oboseală conform SR EN 1993-1-9; se evită detaliile cu categorie redusă în zonele cu tensiuni maxime.
- Înlocuirea corpurilor de iluminat clasice cu corpuri LED, mai ușoare și cu arie expusă diferită, modifică frecvențele proprii și poate declanșa vibrații pe stâlpi existenți — se verifică la proiectele de modernizare.

9.6.7. Modificări ale stâlpului verificat

SR EN 40-3-3 precizează ce modificări sunt permise unui stâlp verificat. Orice modificare care depășește aceste limite — goluri suplimentare, console noi, schimbarea corpului de iluminat cu unul mai greu sau cu arie mai mare, montarea de echipamente, montarea de ghivece de flori, ancorarea iluminatului festiv necesită reverificarea structurală și, după caz, reevaluarea clasei de siguranță pasivă.

SR EN 40-3-3 nu acoperă structurile speciale care susțin indicatoare sau cabluri aeriene. De aceea, orice echipament suplimentar (camere video, antene de telecomunicații, indicatoare, panouri publicitare, bannere,

decorațiuni de sărbători, cabluri aeriene) se prevede în tema de proiectare sau se verifică prin calcul înainte de montare, cu masa și aria expusă la vânt reale. Procedura de aviz a operatorului este descrisă în 9.11.5.

9.7. Proiectarea fundațiilor

Soluție	Avantaje	Puncte de atenție
Încastrare în pahar din beton	Înlocuire ușoară după accidente	Poate modifica tipul de umplutură față de cel încercat (S → R) — se verifică compatibilitatea cu clasa SR EN 12767:2019+A1:2025
Bloc de fundație turnat cu buloane de ancoraj	Precizie de montaj, potrivit pentru stâlpi cu flanșă	Șablon pentru buloane; protecție anticorozivă; acces pentru strângere; drenarea apei de sub flanșă
Fundații prefabricate din beton	Timp de execuție redus, calitate controlată	Verificarea la răsturnare / rotire pe terenul real
Fundație uscată pentru stâlpi (FUS)	Montaj rapid, în orice anotimp	Compactarea umpluturii la gradul prevăzut în proiect; compatibilitatea cu clasa SR EN 12767 declarată

Tabelul 9.16 – Soluții de fundare pentru stâlpii de iluminat

9.7.1. Cerințe și bune practici

- Fundația se dimensionează la reacțiunile stâlpului (moment, forță tăietoare, torsiune, forță axială) obținute din combinațiile SLU, cu verificări la răsturnare, rotire excesivă, capacitate portantă și, după caz, la cedarea pământului în zona pasivă (SR EN 1997-1).
- Adâncimea minimă de fundare respectă adâncimea de îngheț conform STAS 6054.
- Fundația trebuie să fie compatibilă cu clasa de siguranță pasivă: tipul de umplutură (S, X, R) este parte a clasificării SR EN 12767:2019+A1:2025.
- Se prevăd tuburi de protecție pentru cabluri, cu raze de curbură adecvate, orientate corect față de golul de intrare a cablurilor în stâlp.
- La stâlpii cu flanșă se folosesc piulițe de reglaj și mortar fără contracție sub flanșă, cu cale de drenare a apei; buloanele se protejează cu capace sau masă de protecție.
- Se prevede priza de pământ și conductorul de legare la pământ încă din faza de turnare a fundației.
- Partea superioară a fundației se profilează astfel încât să nu rețină apa în jurul flanșei stâlpului

9.8. Instalația electrică și siguranța electrică

Stâlpul este, în același timp, suport și traseu pentru instalația electrică. Protecțiile electrice ale sistemului de iluminat public – schemele de legare la pământ, protecția împotriva șocurilor electrice, a supracurenților și a supratensiunilor, verificările – sunt tratate în capitolul 10. Acest subcapitol reunește cerințele care țin de stâlp și care trebuie corelate cu proiectarea structurală, cu siguranța pasivă și cu montajul.

9.8.1. Echiparea electrică a stâlpului

- Cutia de derivație, cu siguranța fuzibilă (sau întreruptorul) pentru derivația spre aparat, bornele de conexiuni și borna PE, se montează în compartimentul ușii, pe placa sau șina de montaj prevăzută de producător (v. 9.5.7), nu aparent pe exteriorul stâlpului.
- Gradele IP și IK ale cutiei se aleg după mediu (apă pulverizată de la carosabil, praf, condens, impact); valorile uzuale sunt indicate în 10.3.1.
- Cablul de urcare spre aparat se montează dintr-o bucată, fără îmbinări în interiorul stâlpului, se fixează la vârf astfel încât greutatea lui să nu tragă de borne și se protejează la trecerea prin goluri și peste muchii (inele de protecție, v. 9.5.7).

- Golurile de intrare a cablurilor în stâlp și tuburile de protecție din fundație se orientează conform planurilor (v. 9.7.1 și 9.9.3). Cablul de alimentare intră în stâlp cu o rezervă care permite reconectarea după înlocuirea stâlpului.
- Siguranța din cutia stâlpului trebuie să fie selectivă față de protecția plecării, astfel încât un defect în aparat sau în cablul de urcare să stingă un singur stâlp (v. 10.4.5).
- Echipamentele terților (camere video, echipamente de telecomunicații, senzori) au circuit și protecție proprii și se montează numai cu avizul operatorului (v. 9.11.5); nu se racordează în cutia de derivație a iluminatului fără proiect.

9.8.2. Protecția împotriva șocurilor electrice la nivelul stâlpului

- Ușa de vizitare se deschide numai cu cheie sau cu o unealtă specială. Cu ușa deschisă, părțile active rămân protejate cel puțin IPXXB (v. 10.3.1).
- Soluția recomandată este un lanț complet de clasa II: cutie de derivație, cablu de urcare și aparat. Dacă în stâlpul metalic există chiar și un singur element de clasa I, stâlpul se leagă la conductorul de protecție prin borna PE (v. 10.3.3).
- Borna de legare la pământ a stâlpului metalic este marcată, accesibilă din compartimentul ușii și protejată împotriva coroziunii. Contactul dintre metale diferite se realizează numai cu piese de legătură adecvate (v. 10.6).
- O ușă lipsă sau deteriorată, cu părți active accesibile, impune intervenție de urgență (v. 9.11.4).

9.8.3. Compatibilitatea cu siguranța pasivă

- La un stâlp cu siguranță pasivă, conexiunile electrice fac parte din configurația încercată (v. 9.5.11). Se folosesc conectorii sau cutiile indicate de producător, care se separă controlat la ruperea stâlpului, fără să rețină stâlpul și fără să lase conductoare active accesibile (v. 10.3.5).
- Cablul de alimentare nu se ancorează de stâlp sau de fundație într-un mod care să împiedice cedarea controlată (bază cu alunecare, elemente de rupere).
- Protecția diferențială a plecării reduce riscul ca, după un accident, cablul rămas la nivelul solului să fie sub tensiune (v. 10.3.4 și 10.3.5).

9.8.4. Legarea la pământ și protecția la supratensiuni

- Priza de pământ și conductorul de legare se prevăd încă de la turnarea fundației (v. 9.7.1). Valoarea rezistenței de dispersie se stabilește prin proiect și se confirmă prin măsurare (v. 10.6).
- Când lungimea cablului dintre punctul de aprindere și aparat o cere, în cutia din stâlp se montează un SPD de tip 2 sau 3, coordonat cu treptele de protecție din amonte și din aval (v. 10.5.3).

9.8.5. Verificări

- La montaj și recepție se verifică și se consemnează: continuitatea conductorului de protecție la fiecare stâlp, rezistența prizei de pământ, rezistența de izolație și funcționarea protecțiilor (v. 9.9.3, 9.10 și 10.9).
- În exploatare, stâlpul se include în programul de inspecții electrice (v. 9.11.2) și se verifică după orice eveniment – accident, furtună, vandalism – înainte de repunerea sub tensiune.

9.9. Achiziție, fabricație, transport și montaj

9.9.1. Documente care se solicită furnizorului

- Declarația de performanță (DoP) și marcajul CE pentru tipul exact livrat.
- Certificatul de conformitate a controlului producției în fabrică, emis de organism notificat.
- Breviarul de calcul sau raportul de încercare care demonstrează rezistența la încărcările din tema de proiectare (vânt, corp de iluminat, echipamente).

- Raportul de încercare SR EN 12767:2019+A1:2025 (dacă se cere siguranță pasivă), cu descrierea configurației încercate și a fundației.
- Certificate de calitate ale materialului, certificate de zincare / buletine de măsurare a grosimii stratului de zinc.
- Instrucțiuni de transport, depozitare, montaj și mentenanță; cupluri de strângere;

9.9.2. Transport și depozitare

- Stâlpii se transportă și se ridică cu chingi textile în punctele indicate de producător; nu se târăsc și nu se ridică de consolă.
- Se depozitează pe grinzi de lemn, deasupra solului, cu spațiu între stâlpi, ușor înclinați pentru scurgerea apei — se previne „rugina albă” (pete de depozitare umedă) pe suprafețele zincate.
- Ușile, piulițele, capacele și accesoriile se depozitează separat, inventariate pe tipuri.
- Deteriorările stratului de zinc se repară conform SR EN ISO 1461 (zincare la rece cu vopsea bogată în zinc / metalizare), în limitele de suprafață admise de standard.

9.9.3. Montaj

- Lucrările se execută cu semnalizarea rutieră temporară aprobată, cu respectarea distanțelor de siguranță față de liniile electrice aeriene și a cerințelor de securitate pentru lucrul la înălțime și cu macarale.
- Se verifică cota și orizontalitatea fundației, poziția buloanelor (cu șablon) și orientarea golurilor pentru cabluri.
- Stâlpul se montează vertical, în toleranțele prevăzute; orientarea ușii și a consolei se face conform planurilor; la stâlpii cu clasă de direcție SD / BD orientarea se verifică obligatoriu.
- Umplutura (la stâlpii încastrați) se realizează exact cu materialul și gradul de compactare din soluția proiectată.
- Piulițele se strâng cu cheie dinamometrică la cuplul indicat de producător; se aplică protecția buloanelor.
- Se execută legătura la pământ, se măsoară rezistența prizei de pământ și rezistența de izolație; se montează și se orientează corpurile de iluminat (înclinare, rotire) conform proiectului luminotehnic.
- Se consemnează datele „as-built”: identificator, coordonate, tip, clasă, lot, data montajului.

9.10. Recepția lucrărilor

Recepția se organizează conform Regulamentului de recepție a lucrărilor de construcții (HG nr. 343/2017), cu recepție la terminarea lucrărilor și recepție finală după perioada de garanție. Documentele se includ în cartea tehnică a construcției (Legea nr. 10/1995).

Verificare	Metodă	Referință
Conformitatea produselor	Examinarea DoP, marcajului CE, marcajului pe stâlp, certificatelor	SR EN 40-5, Reg. (UE) 305/2011
Verticalitate și poziție	Măsurători topografice / nivelă	Proiect, instrucțiuni producător
Protecția anticorozivă	Inspecție vizuală, măsurarea grosimii stratului de zinc cu aparat magnetic	SR EN ISO 1461
Strângerea buloanelor	Verificare prin sondaj cu cheie dinamometrică	Instrucțiuni producător
Instalația electrică	Continuitatea conductorului de protecție, rezistența prizei de pământ, rezistența de izolație, funcționarea protecțiilor	Normativ I7/2011
Documentație	Planuri as-built, inventar, certificate, procese-verbale de lucrări ascunse (fundații, prize de pământ)	Legea 10/1995, HG 343/2017

Tabelul 9.17 – Verificări la recepția lucrărilor

9.11. Exploatare și mentenanță

Stâlpii de iluminat sunt active de infrastructură cu impact direct asupra siguranței publice. Cedările apar în cele mai multe cazuri prin coroziune la nivelul solului sau în interiorul stâlpului, prin fisuri de oboseală la baza stâlpului / în jurul ușii sau prin avarii nedocumentate (impacturi minore, modificări neautorizate). O strategie de mentenanță bazată pe inventar și pe risc este esențială.

9.11.1. Inventarul (registrul stâlpilor)

Pentru fiecare stâlp se recomandă înregistrarea, de preferință într-un sistem GIS: identificator unic, coordonate, tip și material, înălțime și consolă, producător și an de fabricație, tip fundație, clasa de încărcare / deformație, clasa SR EN 12767:2019+A1:2025, sistemul de protecție anticorozivă, echipamentele montate, istoricul inspecțiilor și intervențiilor.

9.11.2. Tipuri de inspecții

Tip inspecție	Frecvență orientativă	Conținut
Inspecție vizuală de rutină	La fiecare intervenție de mentenanță la corpul de iluminat și cel puțin o dată pe an	Verticalitate, deteriorări vizibile, coroziune, ușă, consolă, echipamente neautorizate
Inspecție electrică	Periodic, conform programului operatorului și I7/2011	Cutia de conexiuni, izolație, legătura la pământ, protecții
Inspecție structurală detaliată	La stâlpii care se apropie de durata de viață proiectată, la cei cu defecte și prin eșantionare pe loturi; ca referință internațională, ghidurile de profil (de ex. ILP TR22, Marea Britanie) recomandă intervale de ordinul a 6 ani, ajustate în funcție de vârstă și stare	Măsurarea grosimii peretelui (ultrasunete), dezvelirea zonei de la nivelul solului, examinarea sudurilor (inclusiv control nedistructiv), verificarea buloanelor
Inspecție după eveniment	După accidente rutiere, furtuni, lucrări în vecinătate, vandalism	Integritate structurală, fundație, siguranță electrică imediată

Tabelul 9.18 – Tipuri de inspecții

9.11.3. Puncte critice de inspecție

Zona	Defecte urmărite
Zona de la nivelul solului (zona de trecere sol–aer)	Coroziune exterioară și interioară, pierdere de grosime, perforare; acumulare de pământ, apă, vegetație sau sare (vezi Figura 9.6)
Baza stâlpului / flanșa	Fisuri în sudura flanșă–stâlp, coroziunea flanșei și a buloanelor, piulițe slăbite, mortar degradat (vezi Figura 9.6)
Ușa de vizitare	Fisuri la colțurile golului și la capetele întăriturii, lipsa sau deteriorarea ușii, închidere nefuncțională
Corpul stâlpului	Lovituri, deformări, coroziune, perforații neautorizate, înclinare
Îmbinările dintre tronsoane	Fisuri, deschideri, coroziune
Consola, știutul, corpul de iluminat	Fisuri, coroziune, fixare slăbită, orientare modificată
Interiorul stâlpului	Condens, apă stagnantă, coroziune, deteriorarea cablurilor
Echipamente atașate	Elemente montate fără aviz (bannere, panouri, cabluri, antene)

Tabelul 9.19 – Puncte critice de inspecție

Figura 9.6 – Stâlp montat pe un pod: inițial s-a turnat asfalt peste flanșă, apoi s-a făcut o decopertare pentru înlocuirea parapetului rutier, iar stâlpii de iluminat au fost păstrați în exploatare. Protecția anticorozivă a dispărut complet și a apărut rugina. Aceste situații nu sunt conforme.

9.11.4. Criterii de intervenție

Situație constatată	Acțiune recomandată
Fisură în sudura de bază sau la colțurile ușii	Scoatere imediată din exploatare (delimitare, deconectare), înlocuire
Perforație prin coroziune / pierdere semnificativă de grosime	Evaluare structurală; înlocuire
Înclinare vizibilă sau stâlp lovit	Verificarea fundației și a stâlpului; readucere în poziție doar dacă integritatea este confirmată
Ușă lipsă sau deteriorată, părți active accesibile	Intervenție de urgență pentru siguranța electrică
Stâlp cu siguranță pasivă după impact	Înlocuire cu produs de aceeași clasă; nu se repară prin sudură
Echipamente neautorizate	Demontare sau verificare structurală înainte de acceptare
Deteriorări locale ale protecției anticorozive	Curățare și refacere a protecției (vopsea bogată în zinc / sistem compatibil)

Tabelul 9.20 – Criterii de intervenție

9.11.5. Gestionarea modificărilor

Operatorul serviciului de iluminat public trebuie să instituie o procedură de aviz pentru orice montaj pe stâlpi (telecomunicații, supraveghere video, decorațiuni de sărbători, publicitate). Avizul se acordă numai pe baza unei verificări structurale care ia în calcul masa și aria expusă a echipamentelor, cu reevaluarea, după caz, a siguranței pasive și a siguranței electrice.

9.11.6. Scoaterea din uz

La sfârșitul duratei de viață, stâlpii se demontează cu întreruperea și securizarea alimentării, se dezafectează fundațiile sau se reutilizează după verificare, iar materialele (oțel, aluminiu) se valorifică prin reciclare. Datele din registru se actualizează.

9.12. Liste de verificare

9.12.1. Faza de proiectare

Nr.	Verificare	Rezultat / Observații
1	☐ Tema de proiectare conține datele de amplasament, vânt, teren și corozivitate	
2	☐ Clasa de iluminat (SR EN 13201) și geometria (h, w, interdistanță) sunt stabilite	
3	☐ Toate echipamentele care se vor monta pe stâlp sunt incluse în calcul	
4	☐ Clasa de încărcare (A/B) și clasa de deformație (1/2/3) sunt specificate	
5	☐ Necesitatea siguranței pasive a fost analizată pe tronsoane; clasa SR EN 12767:2019+A1:2025 este specificată complet	
6	☐ Tipul de fundație / umplutură este compatibil cu clasa de siguranță pasivă	
7	☐ Oboseala și vibrațiile au fost verificate la stâlpi	
8	☐ Sistemul de protecție anticorozivă corespunde categoriei de corozivitate și duratei de viață, zincare sau zincare + vopsire	
9	☐ Soluția electrică (schemă, clasă de izolație, protecții, SPD) este definită	
10	☐ Orientarea ușii și a consolelor este indicată în planuri	
11	☐ Caietul de sarcini cere DoP, CE, FPC, rapoarte de încercare	

Tabelul 9.21 – Lista de verificare – faza de proiectare

9.12.2. Faza de achiziție și livrare

Legea nr. 98/2016 privind achizițiile publice, art. 156 alin. (1) lit. a) și b):

a) prin cerințe de performanță sau funcționale, inclusiv caracteristici de mediu, suficient de precise pentru identificarea obiectului contractului și atribuirea acestuia;

b) prin trimitere la specificații tehnice/standarde (în ordinea de prioritate: standarde naționale ce transpun standarde europene, evaluări tehnice europene, specificații tehnice comune, standarde internaționale, alte sisteme europene de referință sau, în lipsă, standarde/agremente naționale), fiecare trimitere fiind însoțită de mențiunea „sau echivalent”.

Nr.	Verificare	Rezultat / Observații
1	☐ DoP corespunde tipului livrat și claselor din proiect	
2	☐ Certificatul FPC este valabil	
3	☐ Raportul SR EN 12767:2019+A1:2025 acoperă configurația livrată (înălțime, consolă, fundație)	
4	☐ Marcajul pe stâlp este complet (producător, an, SR EN 40-5, cod unic)	
5	☐ Grosimea stratului de zinc este conformă (măsurători prin sondaj)	
6	☐ Nu există deformări, fisuri, deteriorări ale stratului protector	
7	☐ Ușa, încuietoarea, garnitura și accesoriile sunt complete	

Tabelul 9.22 – Lista de verificare – faza de achiziție și livrare

9.12.3. Faza de montaj și recepție

Nr.	Verificare	Rezultat / Observații
1	☐ Fundația și buloanele sunt conforme (cote, poziție, protecție)	
2	☐ Umplutura / fundația corespunde soluției proiectate	
3	☐ Verticalitatea și orientarea sunt conforme	
4	☐ Cuplurile de strângere sunt aplicate și consemnate	
5	☐ Legătura la pământ și măsurătorile electrice sunt efectuate și consemnate	
6	☐ Corpurile de iluminat sunt orientate conform proiectului	
7	☐ Datele as-built sunt introduse în registrul operatorului	

Tabelul 9.23 – Lista de verificare – faza de montaj și recepție

9.12.4. Faza de exploatare

Nr.	Verificare	Rezultat / Observații
1	☐ Programul de inspecții este aprobat și urmărit	
2	☐ Zona de la nivelul solului este curată și inspectată	
3	☐ Ușa este închisă și asigurată; nu există părți active accesibile	
4	☐ Nu există echipamente montate fără aviz	
5	☐ Stâlpii loviți au fost evaluați / înlocuiți	
6	☐ Istoricul intervențiilor este actualizat	

Tabelul 9.24 – Lista de verificare – faza de exploatare

Anexa A — Model de specificație tehnică pentru achiziție

Tabelul poate fi preluat în caietul de sarcini și completat pentru fiecare tip de stâlp.

Caracteristică	Valoare cerută	Referință
Tip stâlp / material	de ex. octogonal, conic, oțel zincat termic	SR EN 40-5
Înălțime nominală h	… m	SR EN 40-2
Consolă: număr, proeminență w, înclinare	… × … m, …°	Proiect luminotehnic
Știut	Ø … mm × … mm	SR EN 40-2
Corp de iluminat: masă / arie expusă	… kg / … m²	Fișă tehnică
Echipamente suplimentare	…	Tema beneficiarului
Viteza / presiunea de referință a vântului; categoria de teren	… m/s; categoria …	CR 1-1-4/2012, SR EN 40-3-1
Clasa de încărcare	A / B	SR EN 40-3-3
Clasa de deformație	1 / 2 / 3	SR EN 40-3-3
Performanța la impact	de ex. 70-HE-C-S-NS-MD-0 sau NPD	SR EN 12767:2019+A1:2025
Mod de fixare	încastrat / flanșă	Proiect
Protecție anticorozivă	zincare SR EN ISO 1461 + protecție a zonei de trecere sol–aer; duplex …	SR EN 40-5 anexa A, SR EN ISO 12944
Categoria de corozivitate / durata de viață	C… / … ani	SR EN ISO 9223
Protecție la impact a zonei ușii	IK08	SR EN 40-5, art. 9
Ușă / închidere	dimensiuni …, încuietoare specială	SR EN 40-2
Documente	DoP, CE, FPC, rapoarte încercări, certificate 3.1, instrucțiuni	Reg. (UE) 305/2011

Tabelul 9.25 – Model de specificație tehnică pentru achiziție

Anexa B — Abrevieri

Abreviere	Semnificație
ASI	Acceleration Severity Index — indice de severitate a accelerației
THIV	Theoretical Head Impact Velocity — viteza teoretică de impact a capului
HE / LE / NE	High / Low / Non Energy absorbing — categorii de absorbție a energiei
SE / NS	Separation / No separation — moduri de cedare
SD / BD / MD	Single / Bi / Multi Directional — clase de direcție
DoP	Declarația de performanță
FPC	Factory Production Control — controlul producției în fabrică
ITT	Initial Type Testing — încercări inițiale de tip
NPD	No Performance Determined — performanță nedeterminată
NR	No Requirement — fără cerință
SLU / SLS	Stare limită ultimă / stare limită de serviciu
WPS	Welding Procedure Specification — specificația procedurii de sudare
IK	Cod al gradului de protecție împotriva impacturilor mecanice
SPD	Surge Protective Device — dispozitiv de protecție la supratensiuni
FRP	Fibre Reinforced Polymer — compozit polimeric armat cu fibre
FUS	Fundație uscată pentru stâlpi
GIS	Geographic Information System — sistem informatic geografic
LEA	Linie electrică aeriană

Tabelul 9.26 – Abrevieri

Anexa C — Studiu de caz: influența amplasamentului asupra verificării structurale

Se analizează un stâlp din oțel cu înălțimea de 10 m, montat în trei amplasamente diferite.

Scenariul 1 — București: teren urban, categoria de teren IV; consolă dublă, cu brațele dispuse la 180°; două corpuri de iluminat de 8 kg, fiecare cu aria expusă la vânt de 0,2 m²; presiunea de referință a vântului qb = 0,5 kPa.

Clasa de secțiune =	2	=>
Grad de utilizare maxim [%] =	77,02	=>
Săgeata orizontală la vârf [cm] =	45,15	=>
Săgeata orizontală la cota [m] =		=>
Eforturi pentru dimensionarea fundației:		
My [kNm]=	13,59	
Mz [kNm]=	7,37	
Q [kN]=	2,05	
N [kN]=	1,40	

Tabelul 9.27 – Rezultatele verificării structurale – Scenariul 1 (București)

Scenariul 2 — Iași: teren urban, categoria de teren IV; consolă dublă, cu brațele dispuse la 180°; două corpuri de iluminat de 8 kg, fiecare cu aria expusă la vânt de 0,2 m²; presiunea de referință a vântului qb = 0,7 kPa.

Clasa de secțiune =	2	=>
Grad de utilizare maxim [%] =	97,43	=>

Săgeata orizontală la vârf [cm] =	60,37	=>
Săgeata orizontală la cota [m] =		=>
Eforturi pentru dimensionarea fundației:		
My [kNm]=	17,64	
Mz [kNm]=	8,93	
Q [kN]=	2,45	
N [kN]=	1,40	

Tabelul 9.28 – Rezultatele verificării structurale – Scenariul 2 (Iași)

Scenariul 3 — Port Constanța: categoria de teren 0 (zonă costieră expusă spre larg); consolă dublă, cu brațele dispuse la 180°; două corpuri de iluminat de 8 kg, fiecare cu aria expusă la vânt de 0,2 m²; presiunea de referință a vântului qb = 0,7 kPa.

Notă: Tabelul A.1 din CR 1-1-4/2012 indică pentru municipiul Constanța qb = 0,5 kPa. În acest scenariu s-a folosit qb = 0,7 kPa, ca ipoteză acoperitoare pentru un amplasament portuar expus, combinată cu categoria de teren 0. Într-un proiect real se folosește valoarea din cod pentru amplasament și categoria de teren reală; rezultatele de mai jos ilustrează sensibilitatea verificării la parametrii de vânt.

Clasa de secțiune =	2	=>
Grad de utilizare maxim [%] =	137,54	=>
Săgeata orizontală la vârf [cm] =	90,16	=>
Săgeata orizontală la cota [m] =		=>
Eforturi pentru dimensionarea fundației:		
My [kNm]=	25,59	
Mz [kNm]=	11,65	
Q [kN]=	3,17	
N [kN]=	1,40	

Tabelul 9.29 – Rezultatele verificării structurale – Scenariul 3 (Port Constanța)

Concluzie tehnică

În urma verificării structurale a celor trei amplasamente analizate, pentru același stâlp de 10 m și aceleași încărcări funcționale, s-au constatat diferențe ale gradului de utilizare și ale rezervelor de rezistență. Aceste diferențe sunt generate de variația parametrilor de amplasament care influențează acțiunile de proiectare, în special efectele vântului și coeficienții de expunere asociați terenului și topografiei locale.

Conform CR 1-1-4/2012 „Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii vântului asupra construcțiilor” și SR EN 1991-1-4 presiunea dinamică a vântului și coeficienții de expunere depind de categoria de teren, rugozitatea suprafeței și condițiile orografice ale amplasamentului. Ca urmare, pentru aceeași geometrie și aceleași încărcări nominale, valorile momentelor încovoietoare, forțelor tăietoare și deplasărilor rezultate pot varia semnificativ de la un amplasament la altul.

Verificările de rezistență și stabilitate au fost efectuate în conformitate cu SR EN 1993-1-1: Eurocod 3 - Proiectarea structurilor din oțel, utilizând criteriul stării limită ultime (SLU) și, după caz, verificările corespunzătoare stării limită de serviciu (SLS). Rezultatele demonstrează că nivelul de solicitare al stâlpului este puternic influențat de condițiile specifice de amplasare, chiar în condițiile menținerii aceleiași configurații constructive.

Pentru stâlpii de iluminat, SR EN 40-3-3 cere verificarea pe baza acțiunilor de proiectare și a combinațiilor de încărcări aplicabile.

În practică, trebuie verificat că viteza de referință a vântului și categoria de teren declarate în DoP pentru tipul de stâlp acoperă condițiile fiecărui amplasament.

În concluzie, aceeași soluție constructivă nu asigură automat același nivel de siguranță pentru toate amplasamentele.

- În Scenariul 2 (Iași), gradul de utilizare de 97,43 % lasă o rezervă foarte mică.
- În Scenariul 3 (Port Constanța), gradul de utilizare de 137,54 % depășește 100 %, deci stâlpul nu îndeplinește verificarea la SLU, iar săgeata de 90,16 cm (≈ 0,09·h) îl încadrează cel mult în clasa de deformație 3. Pentru acest amplasament soluția este neconformă și trebuie aleasă o secțiune mai rezistentă. Verificarea se face individual pentru fiecare amplasament, cu parametrii de vânt și de teren specifici (CR 1-1-4/2012, SR EN 40-3-1, SR EN 40-3-3)

Dacă beneficiarul dorește montarea de camere video sau de alți senzori pentru rețele Smart City, la alegerea stâlpului se ține cont de săgeata la vârf. Aceasta trebuie să respecte limita de deplasare sau de rotire cerută de producătorul camerei, la vântul de serviciu; în lipsa unei cerințe, se recomandă clasa de deformație 1 (v. 9.6.5). O săgeată nulă nu este realizabilă fizic.

Anexa D — Comparație orientativă între calculul la vânt conform CR 1-1-4/2012 (SR EN 1991-1-4) și ASCE

Diferența principală dintre CR 1-1-4/2012 (SR EN 1991-1-4) și standardul american ASCE 7 (Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures) nu este doar valoarea vitezei vântului, ci și modul în care aceasta este definită și statistic interpretată.

1. Definiția vitezei vântului

Eurocod (SR EN 1991-1-4)

Viteza de bază a vântului:

$$V_b$$

reprezintă:

- viteza medie pe 10 minute;
- măsurată la 10 m înălțime;
- deasupra unui teren deschis de categoria II;
- asociată unei perioade de revenire de 50 ani.

Exemplu România:

- București: qb = 0,5 kPa, adică vb ≈ 28 m/s (CR 1-1-4/2012)
- Dobrogea: qb = 0,5–0,6 kPa (de exemplu, Constanța, Mangalia și Medgidia 0,5 kPa; Tulcea, Babadag și Sulina 0,6 kPa – CR 1-1-4/2012, Tabelul A.1), adică vb ≈ 28–31 m/s

ASCE 7 (SUA)

Viteza de bază:

$$V_{ult}$$

reprezintă:

- viteza instantanee ("3-second gust");
- la 10 m înălțime;
- teren Exposure C;
- perioadă de revenire aproximativ 700 ani pentru structuri obișnuite.

Prin urmare:

nu se poate compara direct cu viteza Eurocodului.

2. Relația aproximativă între cele două metode

În practică:

$$V_{ASCE} \approx 1,45 - 1,55 \times V_{EC}$$

unde:

- V_{EC}= viteza medie pe 10 minute;
- V_{ASCE}= viteza de rafală de 3 secunde.

Exemplu

Eurocod:

$$V_b = 30\,m/s$$

echivalent aproximativ:

$$V_{ult} = 44 - 47\,m/s$$

sau

$$160 - 170\,km/h$$

în ASCE 7.

3. Comparația presiunilor

Eurocod

$$q_b = 0.5 \cdot \rho \cdot V_b^2$$

cu ρ = 1,25 kg/m³, adică qb = 0,625·vb² (qb în N/m², vb în m/s), conform CR 1-1-4/2012 și SR EN 1991-1-4. Coeficientul 0,613 aparține ASCE 7, care folosește ρ ≈ 1,225 kg/m³.

Pentru 30 m/s:

$$q_b = 0,625 \times 30^2 = 562,5 \text{ N/m}^2 \approx 0,56 \text{ kN/m}^2$$

ASCE 7

Pentru 45 m/s:

$$q = 0.613 \times 45^2$$
$$q = 1.24\,kN/m^2$$

La prima vedere pare de peste 2 ori mai mare, însă ASCE utilizează alți coeficienți de reducere și factori de importanță, astfel că încărcările finale sunt comparabile.

4. Exemplu pentru stâlpi de iluminat

Pentru un stâlp de 10 m:

Parametru	Eurocod	ASCE
Viteză bază	30 m/s	45 m/s
Tip viteză	medie 10 min	rafală 3 sec
Presiune bază	0,56 kN/m²	1,24 kN/m²
Moment bază	100 % (referință)	100 % ± 10…20 % (orientativ)
Rezultat final	similar	similar

Tabelul 9.30 – Comparație Eurocod – ASCE pentru un stâlp de 10 m

În practică, pentru stâlpi poligonali de iluminat, diferența dintre momentele finale calculate conform EN 40 și conform AASHTO/ASCE este de obicei în intervalul:

±10...20 %

pentru aceeași locație și aceeași configurație.

Valorile sunt orientative, rezultate din comparații uzuale între proiecte; nu sunt valori normate și nu înlocuiesc calculul. Diferențele provin din coeficienții de expunere, de formă, de rafală și de importanță ai fiecărei metode, nu din viteza de bază.

5. Conversii rapide utilizate în industrie

Eurocod (10 min)	ASCE (3 sec gust)
22 m/s	33-35 m/s
25 m/s	37-39 m/s

Eurocod (10 min)	ASCE (3 sec gust)
28 m/s	41-43 m/s
30 m/s	44-47 m/s
32 m/s	47-50 m/s
35 m/s	51-55 m/s
40 m/s	58-62 m/s

Tabelul 9.31 – Conversii rapide între viteza Eurocod (medie pe 10 min) și ASCE (rafală de 3 s)

Pentru stâlpi EN 40

Dacă un stâlp EN 40 este verificat la:

$$V_b = 30\, m/s$$

conform SR EN 1991-1-4, echivalentul aproximativ în metodologia americană ASCE/AASHTO este:

$$V_{gust} \approx 45\, m/s$$

adică aproximativ:

$$160\, km/h$$

Această conversie este folosită frecvent când se compară proiectele europene EN 40 cu proiectele americane AASHTO LTS (Structural Supports for Highway Signs, Luminaires and Traffic Signals).

Atenție: factorul 1,45–1,55 ține seama numai de trecerea de la viteza medie pe 10 minute la rafala de 3 secunde. El nu include diferența dintre perioadele de revenire (50 de ani în CR 1-1-4/2012 și SR EN 1991-1-4, aproximativ 700 de ani pentru categoria de risc II din ASCE 7) și nici coeficienții de încărcare ai celor două metode. De aceea, conversiile din această anexă servesc numai pentru comparații orientative.

În concluzie, se recomandă solicitarea breviarelor de calcul conform SR EN 40-3-1 și SR EN 40-3-3, cu acțiunea vântului stabilită conform CR 1-1-4/2012 (SR EN 1991-1-4). Declarația de performanță și marcajul CE ale stâlpilor din oțel se emit conform SR EN 40-5; un calcul ASCE/AASHTO nu poate înlocui această verificare.

9.13. Bibliografie

[1] SR EN 40-5:2002 - Stâlpi de iluminat. Stâlpi de iluminat din oțel. Cerințe

[2] SR EN 40-3-3:2003 - Stâlpi de iluminat. Proiectare și verificare. Verificare prin calcul

[3] SR EN ISO 1461:2022 - Acoperiri de zinc obținute prin zincare la cald a pieselor din fier și oțel

[4] ISO 9223:2012 - Coroziunea metalelor și aliajelor. Corozivitatea atmosferelor. Clasificare, determinare și estimare

[5] ISO 12944-1..9:2018 - Vopsele și lacuri. Protecția anticorozivă a structurilor de oțel prin sisteme de acoperire

[6] EN 1991-1-4:2005 - Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Acțiuni ale vântului

[7] NP 082:2004 - Normativ privind bazele proiectării și acțiunile în construcții. Acțiunea vântului

[8] Galvanizers Association (2022). 'Galvanizing for Corrosion Protection'. Birmingham, UK.

[9] Kuklick, K.R. (2017). 'Street Lighting Design'. Illuminating Engineering Society, New York.

[10] Brostow, W. et al. (2021). 'Corrosion protection of metals'. Materials Science and Engineering.

[11] SR EN 40-1 – Stâlpi pentru iluminat public. Definiții și termeni

[12] SR EN 40-2 – Stâlpi pentru iluminat public. Cerințe generale și dimensiuni

[13] SR EN 40-3-1 – Stâlpi pentru iluminat public. Proiectare și verificare. Specificarea încărcărilor caracteristice

[14] SR EN 40-3-2 – Stâlpi pentru iluminat public. Proiectare și verificare. Verificare prin încercări

[15] SR EN 40-4 – Stâlpi pentru iluminat public. Cerințe pentru stâlpi din beton armat și beton precomprimat

[16] SR EN 40-6 – Stâlpi pentru iluminat public. Cerințe pentru stâlpi din aluminiu

[17] SR EN 40-7 – Stâlpi pentru iluminat public. Cerințe pentru stâlpi din compozite polimerice armate cu fibre

[18] SR EN 12767:2019+A1:2025 – Siguranța pasivă a structurilor suport pentru echipamente rutiere. Cerințe și metode de încercare

[19] SR EN 1317-2 – Dispozitive de reținere pentru drumuri. Clase de performanță, criterii de acceptare la încercările la impact și metode de încercare pentru parapete de siguranță

[20] Regulamentul (UE) nr. 305/2011 de stabilire a unor condiții armonizate pentru comercializarea produselor pentru construcții

[21] CR 1-1-4/2012 – Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii vântului asupra construcțiilor

[22] SR EN 1993-1-1, SR EN 1993-1-8, SR EN 1993-1-9 – Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel (reguli generale; proiectarea îmbinărilor; oboseala)

[23] SR EN 1992-4 – Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 4: Proiectarea prinderilor pentru utilizare în beton

[24] SR EN 1997-1 – Eurocod 7: Proiectarea geotehnică. Reguli generale; NP 112 – Normativ privind proiectarea fundațiilor de suprafață

[25] NP 074 – Normativ privind documentațiile geotehnice pentru construcții; STAS 6054 – Teren de fundare. Adâncimi maxime de îngheț

[26] SR EN 1090-2 – Execuția structurilor de oțel și a structurilor de aluminiu. Cerințe tehnice pentru structurile de oțel

[27] SR EN ISO 14713 – Acoperiri de zinc. Ghid și recomandări pentru protecția împotriva coroziunii a structurilor din fontă și oțel

[28] SR EN ISO 3834, SR EN ISO 15614-1, SR EN ISO 9606-1, SR EN ISO 14731 – Calitatea sudării; calificarea procedurilor de sudare; calificarea sudorilor; coordonarea sudării

[29] SR EN 62262 – Grade de protecție asigurate prin carcasele echipamentelor electrice împotriva impacturilor mecanice externe (cod IK)

[30] SR EN 60598-2-3 – Corpuri de iluminat. Partea 2-3: Reguli particulare. Corpuri de iluminat pentru iluminat public

[31] SR EN 10025, SR EN 10149, SR EN 10210, SR EN 10219, SR EN 10088 – Produse și țevi din oțel pentru construcții; oțeluri inoxidabile

[32] SR EN 10204 – Produse metalice. Tipuri de documente de inspecție

[33] Normativ I7/2011 – Normativ pentru proiectarea, execuția și exploatarea instalațiilor electrice aferente clădirilor; SR HD 60364-7-714 – Instalații de iluminat exterior

[34] Legea nr. 10/1995 privind calitatea în construcții; HG nr. 343/2017 – Regulamentul de recepție a lucrărilor de construcții și instalații aferente acestora

[35] Legea nr. 230/2006 a serviciului de iluminat public

[36] Legea nr. 98/2016 privind achizițiile publice

[37] ILP TR22 – Managing a Vital Asset: Lighting Supports. Institution of Lighting Professionals, Marea Britanie

[38] ASCE/SEI 7 – Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers

[39] AASHTO LTS – LRFD Specifications for Structural Supports for Highway Signs, Luminaires, and Traffic Signals

[40] ANAZ – Asociația Națională a Zincatorilor din România: www.anaz.ro (secțiunea „România Zincată”; harta interactivă a coroziunii)

[41] SR EN 1011-1, SR EN 1011-2, SR EN 1011-3 – Sudare. Recomandări pentru sudarea materialelor metalice (reguli generale; oțeluri feritice; oțeluri inoxidabile); SR EN ISO 15607 – Specificația și calificarea procedurilor de sudare. Reguli generale

Note bibliografice capitolul 9 — Stâlpii de iluminat. Se verifică edițiile în vigoare și amendamentele aplicabile la data proiectării.

10. Protecții electrice pentru sistemele de iluminat public *[Cozma S.]*

10.1. Cadru general și normativ

Protecțiile electrice ale unui sistem de iluminat public au trei obiective, în această ordine de prioritate: **siguranța persoanelor**, **protecția instalației** (cabluri, aparataj, aparate de iluminat) și **continuitatea serviciului**. Capitolul tratează protecțiile instalației electrice de alimentare, de la punctul de delimitare până la bornele aparatului de iluminat. Protecțiile interne ale aparatului și ale driverului au fost prezentate în secțiunile 2.3 și 2.5.

10.1.1. De ce iluminatul public este un caz aparte

Principiile de protecție sunt aceleași ca în orice instalație de joasă tensiune. Condițiile de aplicare sunt însă mult mai severe [1, 17]:

- **rețele lungi și distribuite** — un circuit poate avea sute de metri sau peste un kilometru, iar curentul de scurtcircuit la capătul lui poate fi prea mic pentru declanșarea instantanee a protecției;
- **acces public nesupravegheat** — stâlpii, ușile de vizitare, cutiile de derivație și mobilierul urban iluminat sunt la îndemâna oricui, inclusiv a copiilor;
- **avarii mecanice** — accidentele rutiere, lucrările de terasament și vandalismul pot lăsa părți active neprotejate;
- **expunere la supratensiuni** — rețelele aeriene și cablurile lungi captează supratensiunile induse de trăsnet, iar electronica LED este mult mai sensibilă decât balasturile electromagnetice;
- **funcționare nocturnă, fără personal** — un defect este descoperit, de regulă, abia la următoarea patrulare sau alarmă;
- **sarcini electronice** — driverele LED produc curenți de pornire mari, curenți de scurgere spre PE și armonici, care influențează alegerea protecțiilor;
- **proprietate împărțită** — în multe localități, iluminatul public folosește stâlpii și rețeaua de joasă tensiune ale operatorului de distribuție, cu un punct de delimitare stabilit conform Legii nr. 230/2006 [1].

10.1.2. Cadrul normativ aplicabil în România

O observație importantă: standardul SR HD 60364-7-714, dedicat instalațiilor de iluminat exterior, **exclude explicit** instalațiile de iluminat stradal care fac parte din rețeaua electrică publică de distribuție [17]. Pentru acestea se aplică normativele specifice rețelelor de distribuție. Pentru rețelele de iluminat separate, aflate în proprietatea unității administrativ-teritoriale, se aplică seria SR HD 60364 și, prin analogie, Normativul I7 [2].

Domeniu	Document de referință	Ce reglementează
Serviciul de iluminat public	Legea nr. 230/2006 [1]	Componența sistemului, punctul de delimitare, obligațiile operatorului
Instalații electrice de joasă tensiune	Normativ I7-2011, cu modificările din 2023 [2]; seria SR HD 60364 [11–17]	Protecția la șoc electric, la supracurenți și la supratensiuni; verificări
Rețele în cablu	NTE 007/08/00 [5]	Pozarea, protecția mecanică și traversările cablurilor
Rețele aeriene de joasă tensiune	PE 106/2003 [6]	Liniile aeriene, inclusiv cele cu circuit de iluminat pe stâlpi comuni
Legarea la pământ	1.RE-Ip 30/2004 [7]	Dimensionarea și execuția prizelor de pământ
Curenți de scurtcircuit	NTE 006/06/00 [8]	Metodologia de calcul sub 1 kV
Supratensiuni	NTE 001/03/00 [9]; SR EN 62305 [22]; SR EN 61643-11 [21]	Coordonarea izolației, protecția la trăsnet, SPD

Domeniu	Document de referință	Ce reglementează
Încercări și măsurători	PE 116/1994 [10]; SR HD 60364-6 [16]	Verificări la punerea în funcțiune și periodice
Autorizare și atestare	Ordinul ANRE nr. 66/2023 [3]; Ordinul ANRE nr. 45/2016 [4]	Cine poate proiecta, executa și verifica instalațiile

Tabelul 10.1 – Documentele de referință pentru protecțiile electrice ale sistemelor de iluminat public

Proiectarea, executarea și verificarea acestor instalații se fac numai de electricieni autorizați ANRE, în limita gradului de autorizare, și de operatori economici atestați ANRE [3, 4]. Edițiile și amendamentele în vigoare se verifică la data proiectării.

10.1.3. Principiul de bază: protecția nu depinde de software

Sistemele moderne de iluminat public combină aparatajul clasic de protecție cu telegestiunea și cu funcțiile „SMART”. Regula care trebuie respectată este simplă: **funcțiile de siguranță rămân independente de internet, de comunicație și de software** [33]. Protecțiile se organizează pe trei niveluri:

1. **Protecții certificate** — siguranțe fuzibile, întreruptoare automate, dispozitive diferențiale, SPD. Funcționează fără alimentare auxiliară și fără comunicație, conform standardului de produs.
2. **Protecții integrate în echipamente** — protecțiile termice, la scurtcircuit și la supratensiune ale driverului. Protejează echipamentul respectiv, nu instalația.
3. **Funcții de monitorizare și comandă** — praguri de putere, alarme, deconectări comandate de la distanță. Informează și pot limita consecințele unui defect. **Nu înlocuiesc** nivelul 1.

10.2. Arhitectura electrică și nivelurile de protecție

Un sistem de iluminat public are cinci niveluri electrice, de la punctul de delimitare până la aparatul de iluminat. Fiecare nivel are protecții proprii, iar acestea trebuie **coordonate între ele**: un defect la un stâlp trebuie să deconecteze doar acel stâlp, nu întregul circuit sau întregul cartier.

Figura 10.1 – Nivelurile de protecție și coordonarea lor. Punctul de aprindere concentrează cele mai multe protecții; supratensiunile sunt limitate în trepte, iar selectivitatea face ca un defect la stâlp să stingă un singur stâlp.

10.2.1. Cele cinci niveluri

Nivel	Echipamente tipice	Protecții principale	Ce protejează
1. Punct de alimentare / delimitare	Post de transformare, firidă a operatorului de distribuție, grup de măsurare	Siguranțe sau întreruptor al operatorului de distribuție	Rețeaua operatorului de distribuție; selectivitatea față de aval

Nivel	Echipamente tipice	Protecții principale	Ce protejează
2. Punct de aprindere (PA)	Separator general, SPD, întreruptoare sau siguranțe pe plecări, dispozitive diferențiale, contactor, ceas astronomic, controler de telegestiune	Supracurenți, curent diferențial rezidual, supratensiuni, separare pentru lucru	Circuitele de iluminat, personalul de exploatare, echipamentele din tablou
3. Rețeaua de iluminat	Cablu subteran sau conductor aerian torsadat	Dispozitivul plecării din PA; protecție mecanică conform NTE 007 / PE 106	Cablul și persoanele din zona traseului
4. Stâlpul	Cutie de derivație cu siguranță fuzibilă, borne PE, ușă de vizitare, eventual SPD	Supracurent pe derivația spre aparat, protecție la atingere, eventual supratensiuni	Cablul de urcare, aparatul, trecătorii
5. Aparatul de iluminat	Driver, SPD intern, controler Zhaga sau NEMA	Protecțiile interne ale driverului, SPD, clasă de protecție I sau II	Electronica aparatului

Tabelul 10.2 – Nivelurile unui sistem de iluminat public și protecțiile asociate

10.2.2. Sistemul de legare la pământ — prima informație de stabilit

Alegerea protecțiilor depinde în primul rând de sistemul de legare la pământ. Acesta se stabilește **înainte de proiectare**, pe baza avizului tehnic de racordare și a măsurătorilor, nu prin presupunere [2, 11, 33].

- **TN-C** — un singur conductor PEN, cu legări repetate la pământ. Este frecvent întâlnit în rețelele aeriene de joasă tensiune ale operatorilor de distribuție. Pe porțiunea TN-C nu se pot utiliza dispozitive diferențiale, deoarece conductorul PEN trece prin transformatorul diferențial. Întreruperea PEN-ului este defectul cel mai periculos: carcasele metalice pot ajunge la potențial periculos, iar aparatele monofazate pot primi tensiuni apropiate de 400 V.
- **TN-C-S** — PEN-ul se separă în PE și N, de regulă în punctul de aprindere. După separare, conductorul N și conductorul PE **nu se mai reunesc niciodată**, iar N nu se leagă la pământ în aval.
- **TN-S** — PE și N separate pe toată lungimea. Este soluția recomandată pentru rețelele de iluminat noi, separate de rețeaua de distribuție.
- **TT** — masele sunt legate la priza locală a punctului de aprindere sau a stâlpului, independentă de neutrul sursei. Impedanța buclei de defect este mare, astfel încât deconectarea se obține practic numai cu dispozitive diferențiale.

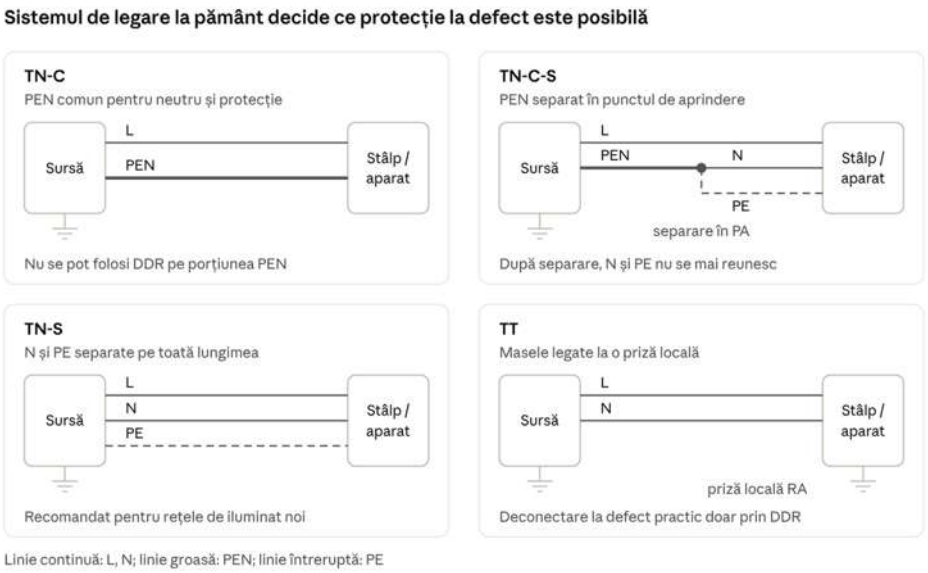


Figura 10.2 – Sistemele de legare la pământ întâlnite în iluminatul public (schemă monofazată simplificată).

Pentru rețelele noi, separate, recomandarea de bună practică este **TN-S în aval de punctul de aprindere** sau **TT cu protecție diferențială pe fiecare plecare**. Alegerea se justifică în memoriul tehnic și se corelează cu cerințele operatorului de distribuție.

10.3. Protecția împotriva șocurilor electrice

Protecția persoanelor se bazează pe două măsuri independente: **protecția de bază**, care împiedică atingerea părților active, și **protecția la defect**, care limitează durata unei tensiuni periculoase apărute pe părțile metalice accesibile [11, 18]. În iluminatul public, unde instalația este accesibilă oricui, la acestea se adaugă frecvent **protecția suplimentară** prin dispozitive diferențiale de 30 mA.

10.3.1. Protecția de bază

- **Izolația** conductoarelor și a componentelor, adecvată tensiunii, temperaturii și radiației UV.
- **Carcase și bariere** — părțile active din cutiile de derivație, din stâlpi și din punctul de aprindere rămân protejate cel puțin IPXXB (IP2X) **și cu ușa deschisă**.
- **Ușile de vizitare** ale stâlpilor și ale mobilierului urban, aflate la înălțimea mâinii, se deschid numai cu cheie sau cu o unealtă specială [17].
- **Gradul de protecție IP și IK** al cutiilor din stâlp și al tablourilor se alege după mediu: apă pulverizată de la carosabil, praf, condens, impact. Pentru cutiile din stâlp, IP54 este o alegere uzuală de pornire, nu o limită normativă.

10.3.2. Protecția la defect prin deconectare automată

La un defect de izolație spre o masă metalică, dispozitivul de protecție trebuie să deconecteze circuitul într-un timp suficient de scurt [11].

În schema TN, condiția este:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

unde:

- Z_s = impedanța buclei de defect, de la sursă până la locul defectului și înapoi [Ω];
- I_a = curentul care asigură deconectarea în timpul impus [A];
- U_0 = tensiunea nominală față de pământ, 230 V.

În schema TT, condiția pentru protecția prin dispozitiv diferențial este:

$$R_A \cdot I_{\Delta n} \leq 50 \text{ V}$$

unde R_A este suma rezistenței prizei de pământ și a conductorului de protecție [Ω], iar $I_{\Delta n}$ este curentul diferențial nominal [A].

Tip de circuit	Schema TN, 230 V	Schema TT, 230 V
Circuit final, $I_n \leq 32$ A	0,4 s	0,2 s
Circuit de distribuție sau $I_n > 32$ A	5 s	1 s

Tabelul 10.3 – Timpii maximi de deconectare conform SR HD 60364-4-41 [11]

O plecare din punctul de aprindere care alimentează direct aparate de iluminat este un **circuit final**. Pentru un curent nominal de cel mult 32 A, timpul de deconectare impus în schema TN este deci 0,4 s.

Exemplu (schema TT). Cu un dispozitiv diferențial de 300 mA, condiția cere $R_A \leq 50/0,3 \approx 167\ \Omega$. Cu 30 mA, limita devine aproximativ 1 667 Ω. Valorile arată de ce, în schema TT, protecția la defect se realizează practic numai cu dispozitive diferențiale. Un întreruptor automat ar cere o priză de pământ de câțiva ohmi, greu de obținut și de menținut. Valoarea rezistenței de dispersie impusă prin proiect rămâne, însă, cea din 1.RE-Ip 30 și din cerințele operatorului de distribuție [7].

10.3.3. Clasa II de protecție — soluția recomandată

La aparatele de clasa II, protecția la defect se realizează prin izolație dublă sau întărită, nu prin conductorul PE [18]. Pentru iluminatul public, aceasta este soluția de bună practică, cu o condiție: **întregul lanț din stâlp să fie de clasa II** — cutia de derivație, cablul de urcare și aparatul.

Dacă în stâlp există măcar un element de clasa I (o cutie metalică, armura unui cablu, un echipament de telegestiune cu borne PE), stâlpul metalic se leagă la conductorul de protecție. Interacțiunea dintre clasa II și protecția la supratensiuni este tratată în 10.5.4.

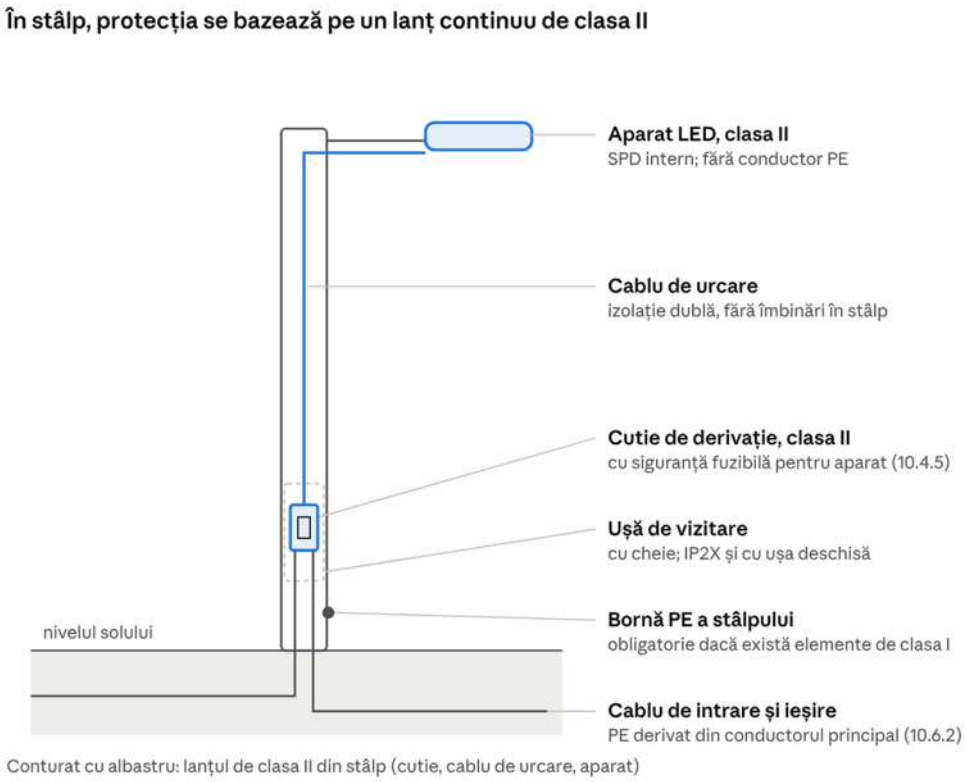


Figura 10.3 – Echiparea electrică a unui stâlp, cu lanțul de clasa II și elementele de protecție la atingere (schemă de principiu, fără scară).

10.3.4. Protecția suplimentară prin dispozitive diferențiale

Dispozitivele diferențiale (RCCB) sau combinate (RCBO) sunt alese după trei criterii: sensibilitate, tip și imunitate la declanșări nedorite [14, 19].

Unde este necesar 30 mA:

- echipamentele care includ iluminat și sunt accesibile publicului — stații de autobuz, panouri publicitare, hărți urbane, cabine [17];
- **prizele montate pe stâlpi**, de exemplu pentru iluminatul ornamental-festiv, care sunt prize de uz general de cel mult 32 A [11];
- circuitele în schema TT, unde rezistența prizei de pământ nu permite o valoare mai mare;
- orice altă situație în care evaluarea riscului o justifică: parcuri, locuri de joacă, zone cu umiditate ridicată.

Tipul dispozitivului. Driverele LED cu corecția factorului de putere pot produce curenți de defect cu componentă pulsatorie. Tipul **AC nu este recomandat**. Tipul **A** este minimul uzual, de preferință în varianta cu imunitate crescută la impulsuri. Tipul **B** sau un tip A împreună cu detecția componentei continue de 6 mA se folosește când pe stâlpi se montează și stații de încărcare pentru vehicule electrice, conform instrucțiunilor producătorului acestora.

Curenții de scurgere ai driverelor. Fiecare driver are filtre EMC cu condensatoare spre PE, care conduc un curent permanent de scurgere. La aceasta se adaugă curentul capacitiv al cablurilor lungi. Pentru a evita declanșările nedorite, suma curenților de scurgere în regim normal nu trebuie să depășească aproximativ $0,3 \times I_{\Delta n}$ [14]:

$$\sum I_{PE} \leq 0,3 \cdot I_{\Delta n}$$

Exemplu. Pentru un dispozitiv de 30 mA, limita este 9 mA. Dacă fișa tehnică indică 0,5 mA pe driver (valoare ilustrativă), pe acel dispozitiv se pot conecta cel mult 18 drivere, fără a lua în calcul cablul. Cu 300 mA, limita crește la aproximativ 180 de drivere. Valoarea reală se ia **întotdeauna din fișa tehnică a driverului**.

Selectivitatea între dispozitive diferențiale. Când se montează două niveluri în serie, de exemplu 300 mA pe plecare și 30 mA local, dispozitivul din amonte trebuie să fie de tip selectiv (S), cu întârziere, și cu un curent diferențial nominal de cel puțin trei ori mai mare decât cel din aval [14].

10.3.5. Stâlpi metalici, uși și accidente rutiere

- Borna PE a stâlpului se leagă la conductorul de protecție al circuitului, iar continuitatea se verifică prin măsurători la recepție (10.9).
- Un stâlp lovit de un vehicul poate lăsa cablul de urcare sub tensiune, la nivelul solului. Protecția diferențială a plecării și conectorii care se separă controlat la ruperea stâlpului reduc acest risc. Pentru stâlpii cu siguranță pasivă (SR EN 12767 [34]), conexiunile electrice se aleg conform instrucțiunilor producătorului stâlpului.
- Cutiile de derivație se montează în interiorul stâlpului, în spatele ușii de vizitare, nu aparent pe exteriorul acestuia.

10.4. Protecția la supracurenți

În iluminatul public, problema rar este suprasarcina. Mai dificil este să garantăm că protecția **declanșează la capătul unui circuit lung** și că **nu declanșează la pornirea driverelor LED**. Cele două cerințe tind în direcții opuse, iar proiectul trebuie să le satisfacă simultan.

10.4.1. Suprasarcina

Pentru fiecare circuit se verifică [12]:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \qquad I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$$

unde:

- I_B = curentul de calcul al circuitului [A];
- I_n = curentul nominal al dispozitivului de protecție [A];
- I_Z = curentul admisibil al cablului, corectat pentru pozare, temperatură și grupare [A];
- I_2 = curentul care asigură funcționarea sigură a protecției în timpul convențional [A].

La circuitele trifazate cu sarcini LED monofazate, armonica a treia se însumează în conductorul neutru. Prin urmare, **secțiunea neutrului nu se reduce** față de secțiunea fazelor.

10.4.2. Scurtcircuitul — două valori de verificat

- **Curentul maxim**, la bornele dispozitivului, stabilește capacitatea de rupere necesară. Un punct de aprindere amplasat lângă postul de transformare poate vedea câțiva kiloamperi [8].
- **Curentul minim**, la capătul cel mai îndepărtat al circuitului, stabilește dacă protecția declanșează în timpul impus de protecția la șoc electric (Tabelul 10.3). În iluminatul public, aceasta este verificarea care eșuează cel mai des.

10.4.3. Exemplu de calcul pentru un circuit lung

Date de intrare (ipoteze de calcul):

- schema TN-S, $U_0 = 230$ V;

- plecare monofazată în cablu de cupru, secțiune $S = 10\ \text{mm}^2$, lungime $L = 800\ \text{m}$ până la ultimul stâlp;
- 25 de aparate LED de 60 W, factor de putere 0,95;
- impedanța rețelei din amonte, până la punctul de aprindere: $Z_{ext} = 0,25\ \Omega$ (valoare presupusă, se obține de la operatorul de distribuție sau prin măsurare).

Curentul de calcul:

$$I_B = \frac{25 \cdot 60}{230 \cdot 0,95} \approx 6,9\ \text{A}$$

Rezistența buclei fază–PE. Pentru curentul minim se folosește rezistivitatea cuprului la temperatura de defect, aproximativ $\rho = 1,25 \times 0,0178 \approx 0,0222\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. Reactanța se neglijează, ceea ce este acceptabil la această secțiune.

$$R = \rho \cdot \frac{2L}{S} = 0,0222 \cdot \frac{2 \cdot 800}{10} \approx 3,56\ \Omega \qquad Z_s \approx 3,56 + 0,25 = 3,81\ \Omega$$

Curentul minim de defect, cu factorul de tensiune $c_{min} = 0,95$:

$$I_{k1,min} = \frac{c_{min} \cdot U_0}{Z_s} = \frac{0,95 \cdot 230}{3,81} \approx 57\ \text{A}$$

Verificarea dispozitivelor (declanșare instantanee garantată la $5 \times I_n$ pentru curba B și la $10 \times I_n$ pentru curba C [19]):

Dispozitiv	Prag de declanșare instantanee	$I_{k1,min} = 57$ A	Rezultat
B10	50 A	57 A ≥ 50 A	Satisface, cu rezervă mică
B16	80 A	57 A < 80 A	Nu satisface
C10	100 A	57 A < 100 A	Nu satisface
C16	160 A	57 A < 160 A	Nu satisface

Tabelul 10.4 – Verificarea declanșării la capătul circuitului de 800 m, 10 mm²

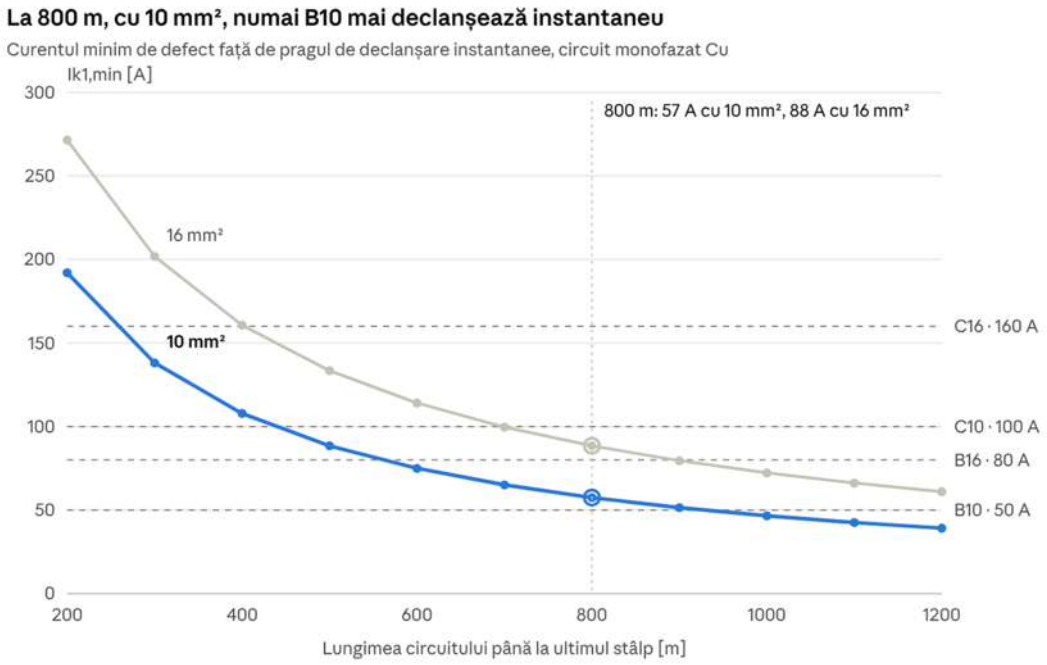


Figura 10.4 – Curentul minim de defect la capătul circuitului, în funcție de lungime și secțiune, comparat cu pragurile de declanșare instantanee. Unde curba coboară sub pragul unui dispozitiv, acesta nu mai garantează deconectarea în 0,4 s.

Interpretare. Numai B10 asigură deconectarea, iar rezerva este de doar 14%. În plus, curba B este cea mai expusă la declanșări nedorite la pornirea driverelor (10.4.4). Soluțiile corecte sunt:

1. **Creșterea secțiunii.** La 16 mm² rezultă $Z_s \approx 2,48\ \Omega$ și $I_{k1,min} \approx 88$ A. Astfel, B16 devine utilizabil.
2. **Împărțirea circuitului** în două plecări mai scurte.
3. **Protecția diferențială pe plecare.** Ea asigură deconectarea la defect spre PE independent de Z_s. Nu rezolvă însă scurtcircuitul fază–neutru, care trebuie verificat separat.

Repartizarea aparatelor pe trei faze reduce curentul și căderea de tensiune, dar **nu modifică impedanța buclei fază–PE**. Prin urmare, nu rezolvă problema curentului minim de defect. Căderea de tensiune se verifică separat. În exemplul de mai sus, cu sarcina distribuită uniform, ea este de circa 9,8 V (4,3%) și se compară cu limita din normativul aplicabil și din tema de proiectare.

10.4.4. Curenții de pornire ai driverelor LED

La conectare, condensatoarele de intrare ale driverelor se încarcă printr-un vârf de curent de zeci de amperi, cu o durată de ordinul sutelor de microsecunde. Pe un circuit cu multe drivere, aceste vârfuri se însumează și pot declanșa magnetic întreruptorul plecării.

- Numărul maxim de drivere pe un întreruptor de un anumit tip și curent nominal se ia din **tabelul producătorului driverului**. Nu se deduce din puterea instalată.
- Tabelele producătorilor presupun, de regulă, cabluri scurte. Impedanța unui cablu lung amortizează vârful, deci tabelele sunt acoperitoare.
- Dacă tabelul nu permite curba B cerută de calculul de la 10.4.3, se folosesc limitatoare de curent de pornire, pornirea în trepte prin telegestiune sau împărțirea circuitului.
- **Contactorul** din punctul de aprindere se alege din tabelele producătorului pentru sarcini LED (număr de drivere sau putere capacitivă admisă), nu doar după curentul nominal. Un contactor subdimensionat își poate suda contactele, iar circuitul rămâne aprins ziua. Contactoarele cu comutare la trecerea prin zero reduc solicitarea.

10.4.5. Selectivitatea între stâlp și punctul de aprindere

Siguranța fuzibilă din cutia de derivație a stâlpului trebuie să ardă **înaintea** întreruptorului plecării. Astfel, un defect în aparat sau în cablul de urcare stinge un singur stâlp. Atenție: la curenți de defect mici, care intră în zona instantanee a unui întreruptor de curbă B, selectivitatea se poate pierde. Ea se verifică pe caracteristicile timp–curent ale ambelor dispozitive, la curentul de defect calculat pentru stâlpul respectiv [19, 20]. Calibrul fuzibilului se alege după recomandarea producătorului driverului, ținând seama de curentul de pornire.

10.4.6. Dispozitivele de detectare a arcului electric (AFDD)

Dispozitivele AFDD (SR EN 62606 [26]) sunt concepute pentru circuitele finale din clădiri. Pentru rețelele exterioare de iluminat public, utilitatea lor este redusă. Ele se justifică numai după o evaluare a riscului de incendiu, de exemplu pentru un punct de aprindere amplasat într-o clădire sau pentru iluminatul unei construcții cu materiale combustibile [2, 33].

10.5. Protecția împotriva supratensiunilor

Pentru iluminatul public cu LED, supratensiunile sunt principala cauză electrică de defectare prematură a aparatelor. O protecție eficientă nu constă într-un singur dispozitiv. Ea este o **protecție în cascadă**: punct de aprindere, stâlp, aparat [13, 21, 32].

10.5.1. Tipuri de supratensiuni

Tip	Cauză	Durată	Cum se protejează
Tranzitorie atmosferică	Trăsnet direct sau, mult mai frecvent, indus în linii și cabluri	Microsecunde	SPD în cascadă
Tranzitorie de comutație	Manevre în rețea, comutarea sarcinilor inductive sau capacitive	Microsecunde – milisecunde	SPD, contactoare adecvate
Temporară (TOV)	Întreruperea neutrului, defecte în rețeaua de medie tensiune	Secunde – ore	Releu de supraveghere a tensiunii; SPD rezistent la TOV

Tabelul 10.5 – Tipurile de supratensiuni în rețelele de iluminat public

Un SPD **nu protejează împotriva supratensiunilor temporare**. Dacă tensiunea sa maximă de funcționare continuă (U_c) este prea mică, SPD-ul se distruge el însuși în cazul unei întreruperi a neutrului. De aceea, U_c se alege ținând seama de sistemul de legare la pământ și de valorile TOV indicate în standard [13, 21].

10.5.2. Imunitatea aparatelor de iluminat

SR EN IEC 61547:2023 cere ca echipamentele de iluminat rutier și stradal să reziste la impulsuri de **2 kV între conductoarele active și 4 kV între conductoarele active și pământ** [23]. Producătorii declară frecvent valori mai mari, de 6–10 kV, obținute cu un SPD intern. Așa cum s-a arătat în 2.5.5, valoarea declarată are sens numai împreună cu modul de încercare (diferențial sau comun) și cu raportul de încercare.

10.5.3. Protecția în cascadă

1. **În punctul de aprindere** — SPD de tip 1+2 când punctul de aprindere este alimentat din linie aeriană sau este expus trăsnetului, altfel SPD de tip 2. Dispozitivul preia cea mai mare parte a energiei impulsului venit dinspre rețea.
2. **În stâlp** — SPD de tip 2 sau 3 în cutia de derivație, atunci când lungimea cablului dintre punctul de aprindere și aparat face ineficientă protecția din tablou. Ca regulă practică, dincolo de aproximativ 10 m de cablu între SPD și echipamentul protejat, eficiența scade și este necesar un SPD suplimentar lângă echipament [21]. Cablul lung poate capta și el supratensiuni induse.
3. **În aparat** — SPD-ul intern și protecțiile driverului, ultima treaptă.

Treptele se coordonează între ele: nivelul de protecție (U_p) al fiecărei trepte trebuie să fie sub tensiunea de abținere a echipamentului din aval. **Legăturile SPD-ului** (fază – SPD – bara PE) trebuie să fie cât mai scurte, cu o lungime totală de preferință sub 0,5 m. Altfel, tensiunea indusă în conductoare se adună la U_p [13]. Fiecare SPD are în amonte protecția la supracurent indicată de producător.

10.5.4. Montaj în serie sau în paralel; clasa I sau clasa II

- **SPD în paralel** — la sfârșitul duratei de viață se deconectează singur, iar aparatul continuă să lumineze **fără protecție**. Defectul trece neobservat dacă nu este semnalizat.
- **SPD în serie** — la sfârșitul duratei de viață întrerupe alimentarea aparatului, care se stinge [32]. Defectul devine vizibil și aparatul nu mai funcționează neprotejat. Pentru iluminatul public, această variantă este de preferat. Alternativ, se poate folosi montajul în paralel, cu semnalizarea stării SPD-ului prin sistemul de telegestiune.
- **Aparat de clasa I** — SPD-ul poate proteja atât în mod diferențial (L–N), cât și în mod comun (L/N–PE). Un SPD destinat clasei II, montat într-un aparat de clasa I, nu este recomandat, deoarece nu acoperă modul comun [31].
- **Aparat de clasa II** — nu există PE, deci SPD-ul intern protejează doar în mod diferențial. Impulsurile de mod comun solicită izolația dintre modulul LED și carcasă, mai ales pe stâlpi metalici, care sunt practic la potențialul pământului [30]. Se cer de la producător rezistența de izolație la impuls a aparatului și soluția sa pentru modul comun.

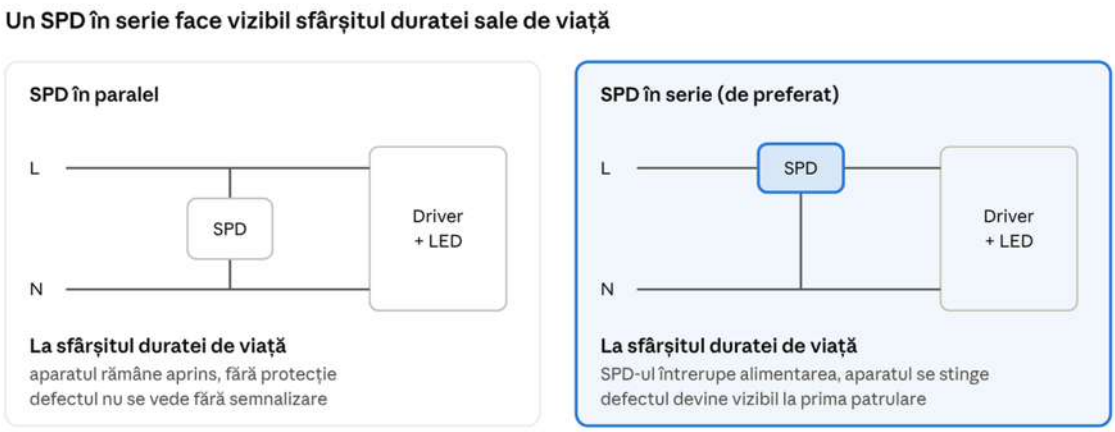


Figura 10.5 – Comportamentul SPD-ului la sfârșitul duratei de viață, în funcție de modul de montaj (schemă de principiu, mod diferențial).

10.5.5. Liniile de comunicație și telegestiune

Orice conductor care intră sau iese din punctul de aprindere poate aduce supratensiuni: antena modemului, cablurile de date, liniile DALI sau RS-485 spre senzori. Acestea se protejează cu SPD-uri pentru semnale, de tipul potrivit interfeței. Toate SPD-urile, de forță și de semnal, se leagă la **aceeași bară de echipotențializare** a tabloului.

10.5.6. Întreruperea neutrului

Într-un circuit trifazat cu aparate monofazate repartizate pe faze, întreruperea neutrului comun deplasează punctul neutru. Aparatele de pe faza cea mai puțin încărcată pot primi o tensiune apropiată de 400 V. Măsurile de bună practică sunt:

- neutrul **nu se protejează niciodată separat** cu o siguranță fuzibilă; se folosesc dispozitive multipolare care întrerup neutrul împreună cu fazele și nu înaintea lor;
- conexiunile neutrului se execută și se strâng cu aceeași grijă ca ale fazelor și se verifică la mentenanță;
- în punctul de aprindere se montează un **releu de supraveghere a tensiunii** (minimă, maximă, asimetrie, lipsă fază). Acesta deschide contactorul la depășirea pragurilor și transmite alarma prin telegestiune;
- driverele se aleg cu protecție la supratensiuni de durată (de tipul celor descrise în 2.3.3). Pragul și durata suportate se verifică în fișa tehnică.

10.6. Legarea la pământ și echipotențializarea

Instalația de legare la pământ servește simultan protecției la șoc electric și protecției la supratensiuni. Ea se dimensionează conform 1.RE-Ip 30 [7] și SR HD 60364-5-54 [15], iar valoarea rezistenței de dispersie se stabilește prin proiect și se confirmă prin măsurători.

10.6.1. Priza de pământ a punctului de aprindere

- Se realizează din electrozi verticali și/sau orizontali din oțel zincat sau cupru, cu legătură demontabilă pentru măsurare.
- În schema TT, valoarea rezistenței trebuie să satisfacă condiția din 10.3.2 pentru toate dispozitivele diferențiale pe care le deservește.
- În schema TN, priza punctului de aprindere este o legare repetată la pământ a conductorului PE sau PEN și se corelează cu cerințele operatorului de distribuție.

10.6.2. Conductorul de protecție de-a lungul rețelei

- Secțiunea conductorului PE respectă SR HD 60364-5-54. Într-un cablu multiconductor, PE are de regulă aceeași secțiune ca fazele, până la 16 mm² Cu [15].
- **Derivațiile spre stâlpi se fac din conductorul PE principal, nu în serie prin bornele aparatelor.** Îndepărtarea unui aparat sau a unei cutii nu trebuie să întrerupă conductorul PE pentru stâlpii din aval.
- La capătul circuitelor lungi și la ramificațiile importante, legarea repetată la pământ a conductorului de protecție limitează tensiunea de atingere în cazul întreruperii acestuia [7].
- Conexiunile din stâlp se protejează împotriva coroziunii. Contactul dintre metale diferite (cupru–aluminiu, cupru–oțel zincat) se face numai cu piese de legătură adecvate.

10.6.3. Echipotențializarea în punctul de aprindere

Tabloul are o **bară principală de echipotențializare** la care se leagă:

- conductorul de legătură la priza de pământ;
- conductoarele PE ale tuturor plecărilor;
- ușa metalică a tabloului, printr-un conductor flexibil;
- armurile și ecranele cablurilor;
- SPD-urile de forță și de semnal (10.5.5).

Structurile metalice din apropiere care nu fac parte din instalație, cum sunt gardurile sau grătarele, nu se leagă la instalație decât dacă proiectul o justifică. O astfel de legătură le poate aduce potențialul unui defect.

10.7. Protecțiile din punctul de aprindere

Punctul de aprindere concentrează protecțiile, comanda și monitorizarea unui grup de circuite. Este un ansamblu de aparataj de joasă tensiune și se realizează și se încearcă conform SR EN 61439 [27].

10.7.1. Echipamentele și rolul lor

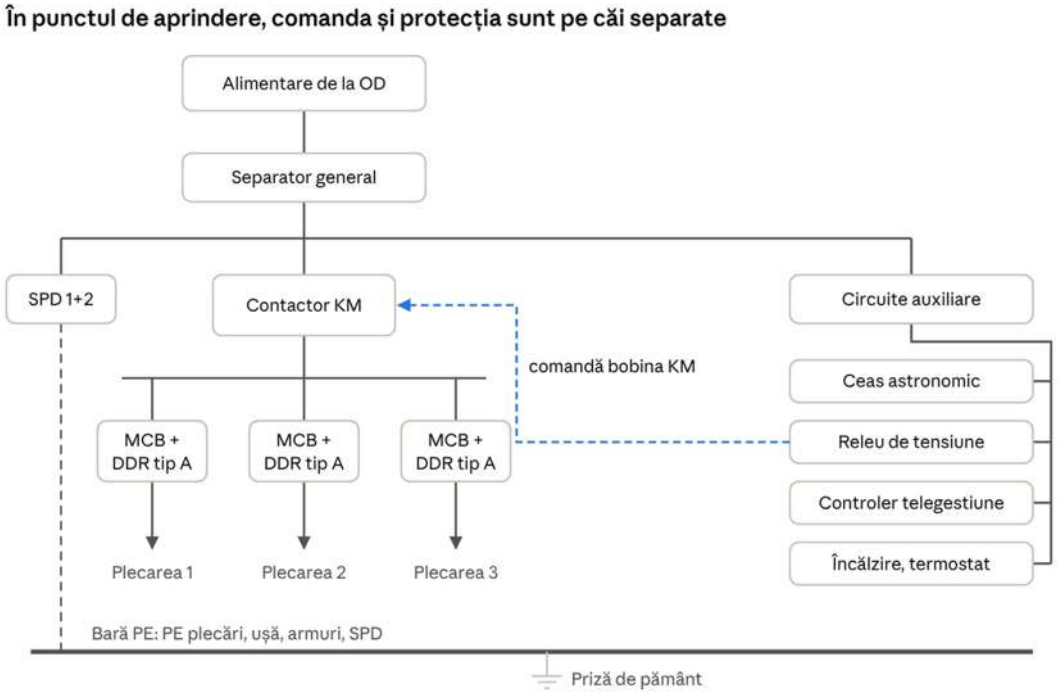


Figura 10.6 – Schema monofilară de principiu a unui punct de aprindere. Circuitele auxiliare sunt alimentate înaintea contactorului, iar releul de tensiune acționează bobina contactorului independent de telegestiune.

Echipament	Rol	Recomandare de bună practică
Separator general	Separarea vizibilă pentru lucru	Blocabil cu lacăt în poziția deschis
SPD de tip 1+2 sau 2	Limitarea supratensiunilor tranzitorii	U_c ales pentru sistemul de legare la pământ; semnalizarea stării la distanță
Protecția circuitelor auxiliare	Alimentarea comenzii, ceasului, telegestiunii, încălzirii	Separată de plecările de forță, în amontele contactorului
Releu de supraveghere a tensiunii	Deconectare la supratensiune, subtensiune, asimetrie	Acționează bobina contactorului; alarmă transmisă
Contactor de comandă	Aprinderea și stingerea circuitelor	Dimensionat pentru sarcini LED (10.4.4); comandă manuală de rezervă
Întreruptor automat sau siguranță pe fiecare plecare	Protecția la suprasarcină și scurtcircuit	Verificat la $I_{k1,min}$ la capătul circuitului (10.4.3)
Dispozitiv diferențial pe fiecare plecare	Protecția la defect și, după caz, protecția suplimentară	Tip A cu imunitate crescută; contact auxiliar de semnalizare
Controler de telegestiune	Măsurare, alarme, comandă de la distanță	Nu intervine în lanțul de protecție (10.8)

Tabelul 10.6 – Echipamentele de protecție și comandă ale unui punct de aprindere

10.7.2. Carcasa și amplasarea

- Gradele IP și IK se aleg pentru exterior și pentru riscul de vandalism. Tabloul are încuietoare cu cheie.
- Condensul din tablou este o cauză frecventă de declanșări diferențiale nedorite și de coroziune. Se prevăd ventilație și, după caz, rezistență de încălzire comandată de termostat și higrostat.
- Tabloul se amplasează în afara zonelor inundabile și ferit de impactul vehiculelor.
- Pe ușă se află schema monofilară actualizată, iar fiecare plecare este etichetată cu zona pe care o alimentează.

10.7.3. Reanclanșarea automată a dispozitivelor diferențiale

În punctele de aprindere izolate, o declanșare diferențială provocată de umiditate poate lăsa o stradă întunecată până la sosirea echipei. Dispozitivele de reanclanșare automată (SR EN IEC 63024 [25]) pot restabili alimentarea, cu trei condiții de bună practică:

1. reanclanșarea se face numai **după o verificare automată a izolației** circuitului, care confirmă că defectul nu mai este prezent;
2. numărul de încercări este limitat, după care dispozitivul se blochează;
3. fiecare declanșare și fiecare reanclanșare se transmit ca alarme și se înregistrează în jurnal.

O reanclanșare fără verificarea izolației, pe un stâlp deteriorat, poate repune sub tensiune un defect accesibil publicului. Comanda de reanclanșare de la distanță, prin software, nu înlocuiește această verificare.

10.7.4. Separarea pentru lucru

Lucrul la circuitele de iluminat se face numai după separarea vizibilă, blocarea în poziția deschis, verificarea lipsei tensiunii și, unde se cere, legarea la pământ și în scurtcircuit. Pe stâlpii comuni cu rețeaua de joasă tensiune a operatorului de distribuție, lucrările se coordonează cu acesta. Separarea circuitului de iluminat nu scoate de sub tensiune conductoarele rețelei de distribuție de pe același stâlp.

10.8. Telegestiune și funcții SMART în raport cu protecțiile

Telegestiunea, descrisă în capitolele 6 și 7, îmbunătățește mult exploatarea, dar **nu este un dispozitiv de protecție**. Rolul ei corect este să facă vizibilă starea protecțiilor și să reducă timpul de intervenție [33].

10.8.1. Cine face ce

Funcție	Realizată de	Poate fi înlocuită de software?
Protecția la scurtcircuit și suprasarcină	Întreruptor automat sau siguranță fuzibilă	Nu. Pragurile de putere ale unui controler nu înlocuiesc funcția magnetotermică.
Protecția la defect spre pământ	Dispozitiv diferențial	Nu
Protecția la supratensiuni tranzitorii	SPD	Nu
Protecția termică a driverului	Protecția certificată a driverului	Nu; protejează doar echipamentul respectiv
Supravegherea consumului, detectarea aparatelor defecte	Controler de telegestiune	Este o funcție de diagnostic, nu de protecție
Semnalizarea declanșării protecțiilor și a uzurii SPD	Contacte auxiliare citite de telegestiune	Este o funcție de informare
Aprinderea, stingerea, reglarea fluxului	Contactor, controler de telegestiune	Este o funcție de exploatare; comanda manuală locală rămâne disponibilă

Tabelul 10.7 – Separarea funcțiilor de protecție de funcțiile de monitorizare și comandă

10.8.2. Comportamentul în situații anormale

Pentru fiecare sistem de telegestiune, caietul de sarcini precizează explicit:

- **la pierderea comunicației** — programul de aprindere (astronomic sau orar) continuă local, fără server;
- **la revenirea tensiunii** — circuitul revine într-o stare definită prin proiect;
- **după o declanșare pe defect** — nu există repornire automată necontrolată (vezi 10.7.3);
- **jurnalul de evenimente** — declanșările, alarmele și comenzile se înregistrează cu data, ora și utilizatorul;
- **securitatea cibernetică** — comenzile de la distanță sunt autentificate, conform 7.9. O comandă neautorizată nu poate dezactiva o protecție, tocmai pentru că protecțiile nu depind de software.

10.8.3. De la un circuit de 100 W la o rețea de iluminat public

Aceste principii au fost formulate inițial pentru un circuit de iluminat de 100 W dintr-o clădire comercială, cu modul SMART în doza întrerupătorului [33]. Acolo, curentul de calcul este de numai 0,48 A, iar ipoteza de protecție este un RCBO 1P+N, B6 A, 30 mA, tip A, în tablou. Concluziile se transferă direct la iluminatul public, la altă scară:

- protecția certificată se află în tablou, iar modulul inteligent doar comandă și măsoară;
- sistemul de legare la pământ și prezența neutrului se identifică înainte de alegerea schemei;
- curentul de pornire al driverelor se verifică separat de curentul nominal;
- protecțiile nu se verifică provocând defecte reale, ci cu aparate și proceduri de încercare adecvate.

10.9. Verificări la punerea în funcțiune și verificări periodice

O protecție neverificată este doar o ipoteză de proiect. Verificările se fac de personal autorizat, cu aparate conforme seriei SR EN 61557 [29], iar rezultatele se consemnează în buletine de încercări și măsurători (uzual numite buletine PRAM) [10, 16].

10.9.1. Programul de verificare

Verificare	Moment	Metodă	Criteriu de acceptare
Examinare vizuală	Înainte de punerea sub tensiune; periodic	Conformitate cu proiectul, IP, marcaje, etichete, încuietori, strângerea conexiunilor	Fără neconformități

Verificare	Moment	Metodă	Criteriu de acceptare
Continuitatea conductorului PE	Înainte de punerea sub tensiune	Ohmmetru de rezistențe mici, la fiecare stâlp și la ușa tabloului	Valori mici, coerente cu lungimea și secțiunea
Rezistența de izolație	Înainte de punerea sub tensiune; periodic	Megohmmetru 500 V c.c.; L și N legate împreună față de PE, pentru a nu solicita driverele și SPD-urile	≥ 1 MΩ pentru circuitele de 230/400 V [16]
Rezistența prizei de pământ	La recepție; periodic	Metoda cu electrozi auxiliari	Valoarea impusă prin proiect
Impedanța buclei de defect	După punerea sub tensiune	Măsurare la **ultimul stâlp** al fiecărui circuit	Z_s măsurată sub valoarea maximă admisă, cu marjă pentru încălzirea conductoarelor
Dispozitive diferențiale	După punerea sub tensiune; periodic	Tester de dispozitive diferențiale: curent și timp de declanșare	În limitele standardului de produs
SPD	La recepție; periodic și după furtuni	Indicatorul de stare; semnalizarea la distanță	Module în stare bună; cele consumate se înlocuiesc
Funcționare	La recepție; periodic	Contactor, ceas astronomic, releu de tensiune, telegestiune, comandă manuală	Comportamentul descris în 10.8.2
Termografie	Periodic, sub sarcină	Cameră de termoviziune în punctul de aprindere	Fără puncte calde la conexiuni

Tabelul 10.8 – Verificările protecțiilor electrice ale unui sistem de iluminat public

10.9.2. Reguli de bună practică

- **Nu se provoacă intenționat un scurtcircuit sau un defect real** pentru a demonstra funcționarea protecțiilor. Se folosesc aparate și proceduri de încercare adecvate [33].
- Impedanța buclei se măsoară acolo unde este cea mai mare, adică la capătul circuitului. Valoarea măsurată se compară cu cea calculată în proiect (10.4.3). O diferență mare indică o conexiune defectă sau o lungime reală diferită.
- Periodicitatea verificărilor respectă PE 116 [10] și regulamentul serviciului de iluminat public al localității. Se recomandă și o inspecție a punctelor de aprindere înaintea sezonului cu descărcări atmosferice, precum și după orice accident sau furtună puternică.
- Rezultatele se păstrează împreună cu documentația as-built: schema monofilară, traseele, lungimile, tipurile de cablu și fișele tehnice ale echipamentelor de protecție.

10.10. Greșeli frecvente și listă de verificare

10.10.1. Greșeli frecvente

Greșeală	Consecință	Practica corectă
Protecția plecării aleasă doar după curentul nominal	Nu declanșează la defect la capătul circuitului lung	Verificarea $I_{k1,min}$ și a lui Z_s (10.4.3)
Prea multe drivere pe un întreruptor	Declanșări la fiecare aprindere	Tabelul de curent de pornire al producătorului (10.4.4)
Contactor ales după curentul nominal	Contacte sudate, iluminat aprins ziua	Contactor dimensionat pentru sarcini LED
Dispozitiv diferențial de tip AC sau supraîncărcat cu drivere	Lipsa protecției sau declanșări nedorite	Tip A; $\sum I_{PE} \leq 0,3 \cdot I_{\Delta n}$ (10.3.4)
Doar SPD-ul din aparat, fără SPD în tablou	Defectarea în masă a aparatelor după o furtună	Protecție în cascadă (10.5.3)
SPD cu U_c prea mic	Distrugerea SPD-ului la întreruperea neutrului	U_c ales pentru sistemul de legare la pământ și TOV

Greșeală	Consecință	Practica corectă
Neutru protejat separat cu siguranță fuzibilă	Supratensiuni de până la circa 400 V pe aparatele monofazate	Dispozitive multipolare; releu de supraveghere a tensiunii
Conductor PE trecut în serie prin bornele aparatelor	Stâlpii din aval rămân fără PE la demontarea unui aparat	Derivații din PE-ul principal (10.6.2)
Aparat de clasa II într-un stâlp cu cutie metalică nelegată la PE	Pierderea avantajului clasei II	Întregul lanț de clasa II sau stâlp legat la PE
Pragurile de putere ale telegestiunii considerate protecție	Defecte neeliminate	Protecții certificate independente de software (10.8)
Sistemul de legare la pământ presupus, nu verificat	Protecție la defect inoperantă	Identificare și măsurători înainte de proiectare

Tabelul 10.9 – Greșeli frecvente în protecția electrică a iluminatului public

10.10.2. Listă de verificare pentru proiectant și beneficiar

Lista poate fi folosită la verificarea proiectului și la redactarea caietului de sarcini.

☐ Sistemul de legare la pământ este identificat și confirmat de operatorul de distribuție.

☐ Punctul de delimitare și proprietatea fiecărui element sunt stabilite.

☐ Pentru fiecare plecare există calculul I_B, I_Z, $I_{k,max}$, $I_{k1,min}$, Z_s și al căderii de tensiune.

☐ Dispozitivele de protecție au capacitatea de rupere peste $I_{k,max}$.

☐ Timpul de deconectare la capătul fiecărui circuit respectă Tabelul 10.3.

☐ Numărul de drivere pe întreruptor și pe contactor respectă datele producătorilor.

☐ Tipul și sensibilitatea dispozitivelor diferențiale sunt justificate, inclusiv curenții de scurgere.

☐ Selectivitatea stâlp – plecare – alimentare este verificată pe caracteristici.

☐ Protecția la supratensiuni este în cascadă, cu U_c, I_n și U_p precizate.

☐ Există releu de supraveghere a tensiunii în punctul de aprindere.

☐ Clasa de protecție a aparatelor și soluția pentru stâlpii metalici sunt coerente.

☐ Priza de pământ are valoarea impusă și punct de măsurare.

☐ Comportamentul telegestiunii la pierderea comunicației și a tensiunii este specificat.

☐ Programul de verificări la recepție și periodice este inclus în documentație.

☐ Proiectul, execuția și verificările sunt realizate de personal autorizat și operatori economici atestați ANRE.

10.11. Concluzii

Protecția electrică a unui sistem de iluminat public nu se rezumă la alegerea unui întreruptor pentru fiecare plecare. Ea este un **sistem coordonat**, de la punctul de delimitare până la driverul aparatului. Coordonarea are în vedere trei condiții specifice: rețele lungi, acces public și electronică sensibilă.

Pe scurt, în limbaj simplu:

- **se stabilește mai întâi sistemul de legare la pământ**, apoi toate celelalte;
- **protecția trebuie să declanșeze la capătul circuitului**, nu doar la începutul lui;
- **protecția nu trebuie să declanșeze la aprindere** din cauza curenților de pornire;
- **supratensiunile se opresc în trepte**: tablou, stâlp, aparat;
- **telegestiunea vede și raportează, dar nu protejează**;
- **nimic nu este considerat protejat până nu este măsurat**.

Un sistem proiectat și verificat astfel este sigur pentru trecători, protejează investiția în aparatele LED și reduce numărul intervențiilor de noapte.

10.12. Bibliografie

Note bibliografice capitolul 10 — Protecții electrice pentru sistemele de iluminat public. Se verifică edițiile în vigoare și amendamentele aplicabile la data proiectării.

A. Legislație și reglementări tehnice naționale

[1] Parlamentul României. Legea nr. 230/2006 a serviciului de iluminat public, cu modificările și completările ulterioare. Portal legislativ: legislatie.just.ro

[2] Ministerul Dezvoltării Regionale și Turismului. Normativ I7-2011 pentru proiectarea, executarea și exploatarea instalațiilor electrice aferente clădirilor, aprobat prin Ordinul nr. 2741/2011, cu modificările și completările ulterioare, inclusiv Ordinul MDLPA nr. 959/2023.

[3] Autoritatea Națională de Reglementare în Domeniul Energiei (ANRE). Ordinul nr. 66/2023 privind aprobarea Regulamentului pentru autorizarea electricienilor în domeniul instalațiilor electrice, respectiv a verificatorilor de proiecte și a experților tehnici de calitate și extrajudiciari în domeniul instalațiilor electrice tehnologice. anre.ro

[4] ANRE. Ordinul nr. 45/2016 privind aprobarea Regulamentului pentru atestarea operatorilor economici care proiectează, execută și verifică instalații electrice, cu modificările și completările ulterioare.

[5] ANRE. NTE 007/08/00 — Normativ pentru proiectarea și executarea rețelelor de cabluri electrice, aprobat prin Ordinul ANRE nr. 38/2008.

[6] PE 106/2003 — Normativ pentru proiectarea și executarea liniilor electrice aeriene de joasă tensiune.

[7] 1.RE-Ip 30/2004 — Îndreptar de proiectare și execuție a instalațiilor de legare la pământ.

[8] ANRE. NTE 006/06/00 — Normativ privind metodologia de calcul al curenților de scurtcircuit în rețelele electrice cu tensiunea sub 1 kV, aprobat prin Ordinul ANRE nr. 7/2006.

[9] ANRE. NTE 001/03/00 — Normativ privind alegerea izolației, coordonarea izolației și protecția instalațiilor electroenergetice împotriva supratensiunilor.

[10] PE 116/1994 — Normativ de încercări și măsurători la echipamente și instalații electrice.

B. Standarde

[11] SR HD 60364-4-41 — Instalații electrice de joasă tensiune. Partea 4-41: Măsuri de protecție pentru asigurarea securității. Protecția împotriva șocurilor electrice.

[12] SR HD 60364-4-43 — Instalații electrice de joasă tensiune. Partea 4-43: Protecția împotriva supracurenților.

[13] SR HD 60364-4-443 și SR HD 60364-5-534 — Protecția împotriva supratensiunilor tranzitorii; alegerea și instalarea dispozitivelor de protecție la supratensiuni.

[14] SR HD 60364-5-53 — Alegerea și instalarea echipamentelor electrice. Dispozitive de protecție, separare, comutare, comandă și monitorizare.

[15] SR HD 60364-5-54 — Alegerea și instalarea echipamentelor electrice. Sisteme de legare la pământ și conductoare de protecție.

[16] SR HD 60364-6 — Instalații electrice de joasă tensiune. Partea 6: Verificare.

[17] SR HD 60364-7-714 — Cerințe pentru instalații și amplasamente speciale. Instalații de iluminat exterior (corespunzător IEC 60364-7-714:2011).

[18] SR EN 61140 — Protecția împotriva șocurilor electrice. Aspecte comune pentru instalații și echipamente.

[19] SR EN 60898-1; SR EN 61008-1; SR EN 61009-1 — Întreruptoare automate, întreruptoare diferențiale fără și cu protecție la supracurent încorporată.

[20] SR EN 60269-1 — Siguranțe fuzibile de joasă tensiune. Cerințe generale.

[21] SR EN 61643-11 și CLC/TS 61643-12 — Dispozitive de protecție la supratensiune de joasă tensiune: cerințe, încercări, alegere și principii de aplicare.

[22] SR EN 62305 (seria) — Protecția împotriva trăsnetului.

[23] SR EN IEC 61547:2023 — Echipamente pentru iluminat general. Cerințe de imunitate CEM (corespunzător IEC 61547:2020).

[24] SR EN 60598-2-3 — Aparate de iluminat. Cerințe particulare. Aparate de iluminat pentru iluminatul public.

[25] SR EN IEC 63024 — Cerințe pentru dispozitive de reanclanșare automată (ARD) pentru întreruptoare automate, RCBO și RCCB.

[26] SR EN 62606 — Cerințe generale pentru dispozitive de detectare a defectelor de arc (AFDD).

[27] SR EN 61439-1 și SR EN 61439-2 — Ansambluri de aparataj de joasă tensiune.

[28] SR EN 60529 și SR EN 62262 — Grade de protecție asigurate prin carcase (cod IP); protecția la impact mecanic (cod IK).

[29] SR EN 61557 (seria) — Echipamente pentru încercarea, măsurarea sau supravegherea măsurilor de protecție în rețele de joasă tensiune.

C. Ghiduri tehnice și documentație de referință

[30] ZVEI — Lighting Division. Immunity of LED Luminaires to Transient Overvoltages, 2014. zvei.org

[31] Signify. Philips Surge Protection Devices — Design-in Guide, Outdoor SPD, martie 2019. signify.com

[32] Mersen. Surge-Trap LED — Surge Protection for LED Outdoor Lighting, 2019. mersen.com

[33] Protecție electrică completă SMART pentru circuit de iluminat de 100 W — documentație conceptuală, versiunea 1.0, 31 octombrie 2026 (studiu preliminar, document de lucru).

[34] SR EN 12767 — Siguranța pasivă a structurilor de susținere pentru echipamente rutiere.

Cataloage oficiale pentru identificarea edițiilor: ASRO, IEC Webstore.

Secțiunea capitolului	Referințe recomandate
10.1 Cadru general și normativ	[1–10], [17]
10.2 Arhitectura și sistemele de legare la pământ	[1], [2], [11], [15]
10.3 Protecția împotriva șocurilor electrice	[11], [14], [17], [18], [19], [34]
10.4 Protecția la supracurenți	[8], [12], [19], [20], [26]
10.5 Protecția împotriva supratensiunilor	[9], [13], [21–23], [30–32]
10.6 Legarea la pământ	[7], [15]
10.7 Punctul de aprindere	[25], [27], [28]
10.8 Telegestiune și funcții SMART	[33]
10.9 Verificări	[10], [16], [29]

Tabelul 10.10 – Corespondența dintre notele bibliografice și secțiunile capitolului 10

Bibliografie generală

Lista reunește, o singură dată și în ordine alfabetică, sursele menționate în bibliografiile celor zece capitole: acte normative, standarde, publicații tehnice și științifice, documentații ale producătorilor și pagini web consultate. După fiecare sursă sunt indicate, între paranteze drepte, capitolele în care este citată. Standardele se utilizează în ediția în vigoare la data aplicării, dacă nu este precizată o ediție anume.

[1] 1.RE-Ip 30/2004 — Îndreptar de proiectare și execuție a instalațiilor de legare la pământ. *[cap. 10]*

[2] 3GPP – specificațiile Release 13–18 pentru NB-IoT, LTE-M și 5G RedCap / eRedCap. *[cap. 6, 7]*

[3] AASHTO LTS – LRFD Specifications for Structural Supports for Highway Signs, Luminaires, and Traffic Signals. [cap. 9]

[4] Administrația Fondului pentru Mediu – Programul privind creșterea eficienței energetice a infrastructurii de iluminat public (ghidul de finanțare în vigoare). *[cap. 7]*

[5] ANAZ – Asociația Națională a Zincatorilor din România: www.anaz.ro (secțiunea „România Zincată”; harta interactivă a coroziunii). [cap. 9]

[6] ANCOM – Tabelul național de atribuire a benzilor de frecvențe și reglementările tehnice pentru interfețele radio (RO-IR), inclusiv RO-IR 01 pentru dispozitivele cu rază mică de acțiune. *[cap. 7]*

[7] ANRE. NTE 001/03/00 — Normativ privind alegerea izolației, coordonarea izolației și protecția instalațiilor electroenergetice împotriva supratensiunilor. *[cap. 10]*

[8] ANRE. NTE 006/06/00 — Normativ privind metodologia de calcul al curenților de scurtcircuit în rețelele electrice cu tensiunea sub 1 kV, aprobat prin Ordinul ANRE nr. 7/2006. *[cap. 10]*

[9] ANRE. NTE 007/08/00 — Normativ pentru proiectarea și executarea rețelelor de cabluri electrice, aprobat prin Ordinul ANRE nr. 38/2008. *[cap. 10]*

[10] ANRE. Ordinul nr. 45/2016 privind aprobarea Regulamentului pentru atestarea operatorilor economici care proiectează, execută și verifică instalații electrice, cu modificările și completările ulterioare. *[cap. 10]*

[11] ANSI C136.10 Roadway and Area Lighting Equipment – Locking-Type Photocontrol Devices and Mating Receptacles; ANSI C136.2 (seria ANSI C136 pentru echipamente de iluminat rutier). *[cap. 6]*

[12] ANSI C136.41-2025 Roadway and Area Lighting Equipment – Dimming Control between an External Locking Type Photocontrol and Ballast or Driver. *[cap. 6, 7]*

[13] ANSI/IES LM-63 – IES Standard File Format for the Electronic Transfer of Photometric Data. *[cap. 3]*

[14] ANSI/ISA-101.01 Human Machine Interfaces for Process Automation Systems. *[cap. 7]*

[15] Arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses, Journal officiel de la République française. *[cap. 4]*

[16] ASCE/SEI 7 – Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers. [cap. 9]

[17] ASRO. Seria SR EN 12464 – Lumină și iluminat. Iluminatul locurilor de muncă; utilizare numai unde domeniul de aplicare este relevant. *[cap. 4]*

[18] Autoritatea Națională de Reglementare în Domeniul Energiei (ANRE). Ordinul nr. 66/2023 privind aprobarea Regulamentului pentru autorizarea electricienilor în domeniul instalațiilor electrice, respectiv a verificatorilor de proiecte și a experților tehnici de calitate și extrajudiciari în domeniul instalațiilor electrice tehnologice. https://www.anre.ro/ *[cap. 10]*

[19] Autoritatea Națională de Reglementare pentru Serviciile Comunitare de Utilități Publice (ANRSC). Ordinul nr. 86/2007 pentru aprobarea Regulamentului-cadru al serviciului de iluminat public. *[cap. 4]*

[20] Born, M., Wolf, E., Principles of Optics, ediția a 7-a (extinsă), Cambridge University Press, 1999. *[cap. 1]*

[21] Brostow, W. et al. (2021). 'Corrosion protection of metals'. Materials Science and Engineering. *[cap. 9]*

[22] Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), The International System of Units (SI), Broșura SI, ediția a IX-a, 2019, cu actualizările publicate ulterior. https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/annex-1/luminous-intensity *[cap. 1, 3]*

[23] CEN, EN 12464-1:2021 – Light and lighting. Lighting of work places. Part 1: Indoor work places, 2021. *[cap. 1]*

[24] CEN. CEN/TR 13201-1:2014 – Road Lighting. Part 1: Guidelines on Selection of Lighting Classes. *[cap. 4, 6, 7]*

[25] CEN. EN 13201-1 — Road lighting. Part 1: Guidelines on selection of lighting classes. *[cap. 8]*

[26] CEN. EN 13201-2:2015 – Road Lighting. Part 2: Performance Requirements. *[cap. 4, 6, 7, 8]*

[27] CEN. EN 13201-3:2015 – Road Lighting. Part 3: Calculation of Performance. *[cap. 4, 8]*

[28] CEN. EN 13201-4:2015 – Road Lighting. Part 4: Methods of Measuring Lighting Performance. *[cap. 4, 8]*

[29] CEN. EN 13201-5:2015 – Road Lighting. Part 5: Energy Performance Indicators. *[cap. 4, 6, 7, 8]*

[30] CEN/CR 14380 Lighting applications – Tunnel lighting. *[cap. 7]*

[31] CEPT ERC/REC 70-03 Relating to the use of Short Range Devices (SRD). *[cap. 7]*

[32] CIE 094:1993 — Guide for floodlighting. Commission Internationale de l'Éclairage, Viena. *[cap. 4]*

[33] CIE 121:1996 – The Photometry and Goniophotometry of Luminaires. *[cap. 3]*

[34] CIE 126:1997 – Guidelines for minimizing sky glow. *[cap. 4]*

[35] CIE 234:2019 — A Guide to Urban Lighting Masterplanning. Commission Internationale de l'Éclairage, Viena. https://cie.co.at/publications/guide-urban-lighting-masterplanning *[cap. 4]*

[36] CIE 243:2021 – Discomfort Glare in Road Lighting and Vehicle Lighting. *[cap. 4]*

[37] CIE 69 – Methods of Characterizing Illuminance Meters and Luminance Meters. *[cap. 3]*

[38] CIE 70 – The Measurement of Absolute Luminous Intensity Distributions. *[cap. 3]*

[39] CIE 84 – The Measurement of Luminous Flux. *[cap. 3]*

[40] CIE 88:2004 Guide for the lighting of road tunnels and underpasses. *[cap. 7]*

[41] CIE S 025/E:2015 – Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules. *[cap. 3]*

[42] CIE S 026/E:2018 – CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light. *[cap. 4]*

[43] CIE TN 006:2016 – Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems – Definitions and Measurement Models. *[cap. 4]*

[44] CIE, CIE PS 003:2025 – CIE Position Statement on Obtrusive Light and Light Pollution, prima ediție, 2025. *[cap. 5]*

[45] CIE, Colorimetry, ediția a 4-a, CIE 015:2018, Viena, 2018. *[cap. 1]*

[46] CIE, Discomfort Glare in Interior Lighting, CIE 117:1995. https://www.cie.co.at/publications/discomfort-glare-interior-lighting *[cap. 1]*

[47] CIE. (2010). CIE 115:2010 — Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic. 2nd edition. Commission Internationale de l'Éclairage. https://www.cie.co.at/publications/lighting-roads-motor-and-pedestrian-traffic-2nd-edition. *[cap. 4, 8]*

[48] CIE. (2010). CIE 191:2010 — Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance. Commission Internationale de l'Éclairage. https://www.cie.co.at/publications/recommended-system-mesopic-photometry-based-visual-performance. *[cap. 8]*

[49] CIE. (2011). CIE 194:2011 — On Site Measurement of the Photometric Properties of Road and Tunnel Lighting. Commission Internationale de l'Éclairage. https://www.cie.co.at/publications/site-measurement-photometric-properties-road-and-tunnel-lighting. *[cap. 8]*

[50] CIE. (2014). CIE 206:2014 — The Effect of Spectral Power Distribution on Lighting for Urban and Pedestrian Areas. Commission Internationale de l'Éclairage. *[cap. 4, 8]*

[51] CIE. (2017). CIE 150:2017 — Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations. 2nd edition. Commission Internationale de l'Éclairage. https://www.cie.co.at/publications/guide-limitation-effects-obtrusive-light-outdoor-lighting-installations-2nd-edition. *[cap. 4, 5, 8]*

[52] CIE. CIE 136:2000 – Guide to the Lighting of Urban Areas. Viena: Commission Internationale de l'Éclairage, 2000. *[cap. 4]*

[53] CIE. CIE 140:2019 – Road Lighting Calculations, 2nd Edition. Viena: Commission Internationale de l'Éclairage, 2019. *[cap. 4, 8]*

[54] Comisia Europeană – EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and Traffic Signals, 2018. *[cap. 4]*

[55] Comisia Europeană – „Cyber Resilience Act – Reporting obligations", https://digital-strategy.ec.europa.eu. *[cap. 6, 7]*

[56] Comisia Europeană, NIS Cooperation Group – A Coordinated Implementation Roadmap for the Transition to Post-Quantum Cryptography, iunie 2025. *[cap. 7]*

[57] Comisia Internațională de Iluminat (CIE), ILV: International Lighting Vocabulary, ediția a II-a, CIE S 017/E:2020. https://www.cie.co.at/publications/ilv-international-lighting-vocabulary-2nd-edition-0 *[cap. 1, 3]*

[58] Comitetul European de Standardizare (CEN), seria de standarde EN 13201, Road lighting, cu aplicarea părților relevante pentru clasificarea iluminatului, cerințe de performanță, calcul și măsurare. *[cap. 2, 4, 5]*

[59] CR 1-1-4/2012 – Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii vântului asupra construcțiilor. *[cap. 4, 9]*

[60] Criteriile ecologice pentru sistemele de iluminat rutier, publicate în Portalul Legislativ în 2024. *[cap. 5]*

[61] DALI Alliance – specificațiile D4i (inclusiv partea 351) și programele de certificare DALI-2, D4i și DALI+. *[cap. 6, 7]*

[62] DALI Alliance – „D4i: Standardization and Certification for Intra-luminaire DALI", 2019; „IEC publishes further standards based on DiiA Specifications". *[cap. 6, 7]*

[63] Decizia 2006/771/CE a Comisiei privind armonizarea spectrului de frecvențe radio pentru utilizarea de către dispozitivele cu rază mică de acțiune, cu modificările ulterioare, inclusiv Decizia de punere în aplicare (UE) 2022/180. *[cap. 7]*

[64] Decizia de punere în aplicare (UE) 2018/1538 a Comisiei privind armonizarea spectrului radio pentru dispozitivele cu rază mică de acțiune în benzile 874–876 MHz și 915–921 MHz. *[cap. 7]*

[65] DiLaura, D. L., Houser, K. W., Mistrick, R. G., Steffy, G. R. (editori), The Lighting Handbook, ediția a 10-a, IES, 2011. *[cap. 1]*

[66] DIN SPEC 91357:2017 Reference Architecture Model Open Urban Platform (OUP). *[cap. 7]*

[67] Directiva (UE) 2019/1024 privind datele deschise și reutilizarea informațiilor din sectorul public. *[cap. 7]*

[68] Directiva (UE) 2022/2555 privind măsuri pentru un nivel comun ridicat de securitate cibernetică în Uniune (NIS2). *[cap. 6, 7]*

[69] Directiva (UE) 2023/1791 privind eficiența energetică. *[cap. 6]*

[70] Directiva 2007/2/CE de instituire a unei infrastructuri pentru informații spațiale în Comunitatea Europeană (INSPIRE). *[cap. 7]*

[71] Directiva 2011/65/UE privind restricțiile de utilizare a anumitor substanțe periculoase în echipamentele electrice și electronice (RoHS). *[cap. 4, 6]*

[72] Directiva 2014/30/UE privind compatibilitatea electromagnetică (EMC). *[cap. 4, 6]*

[73] Directiva 2014/32/UE privind punerea la dispoziție pe piață a mijloacelor de măsurare (MID). *[cap. 6]*

[74] Directiva 2014/34/UE privind echipamentele și sistemele de protecție destinate utilizării în atmosfere potențial explozive (ATEX). *[cap. 6]*

[75] Directiva 2014/35/UE privind echipamentele electrice destinate utilizării în cadrul unor anumite limite de tensiune (LVD). *[cap. 4, 6]*

[76] Directiva 2014/53/UE a Parlamentului European și a Consiliului privind armonizarea legislațiilor statelor membre referitoare la punerea la dispoziție pe piață a echipamentelor radio (RED). *[cap. 6, 7]*

[77] Documentații de produs eSave Elveția. *[cap. 7]*

[78] Documentații de produs Zhaga Book 18 (Tridonic), conectori ANSI C136.41 (TE Connectivity), Zhaga Consortium – comunicatul privind Book 18 ediția 4. *[cap. 6, 7]*

[79] Eclipse Foundation – anunțul privind publicarea Sparkplug ca ISO/IEC 20237:2023. *[cap. 7]*

[80] Efficiency Valuation Organization – International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP). *[cap. 7]*

[81] EN 12464-2:2024 – Light and lighting – Lighting of work places – Part 2: Outdoor work places. *[cap. 4]*

[82] EN 13032-4 – Light and lighting – Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires – Part 4: LED lamps, modules and luminaires. *[cap. 3]*

[83] EN 1991-1-4 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions. *[cap. 4, 9]*

[84] EN 40-3-1 – Lighting columns – Part 3-1: Design and verification – Specification for characteristic loads. *[cap. 4, 9]*

[85] EN 60529 – Degrees of protection provided by enclosures (IP Code). *[cap. 4, 6, 10]*

[86] EN 60598-2-21 – Luminaires – Part 2-21: Particular requirements – Rope lights. *[cap. 4]*

[87] EN 60825-1 – Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements. *[cap. 4]*

[88] EN IEC 60598-2-20:2024 + A11:2024 – Luminaires – Part 2-20: Particular requirements – Lighting chains. *[cap. 4]*

[89] ETSI EN 300 440 Dispozitive cu rază mică de acțiune în domeniul de frecvențe 1 GHz – 40 GHz; ETSI EN 305 550 Dispozitive cu rază mică de acțiune în domeniul 40 GHz – 246 GHz. *[cap. 6]*

[90] ETSI EN 303 645 Cyber Security for Consumer Internet of Things: Baseline Requirements. *[cap. 7]*

[91] ETSI – NGSI-LD API (Context Information Management); FIWARE – Smart Data Models. *[cap. 7]*

[92] EUR-Lex – Decizia de punere în aplicare (UE) 2022/180; Decizia de punere în aplicare (UE) 2018/1538. *[cap. 7]*

[93] European Commission. Regulamentul (UE) 2019/2020 al Comisiei din 1 octombrie 2019 de stabilire a cerințelor în materie de proiectare ecologică aplicabile surselor de lumină și dispozitivelor de comandă separate. Textul și modificările sale pot fi consultate în baza legislativă oficială EUR-Lex. *[cap. 2, 4, 6]*

[94] European Committee for Standardization (CEN). EN 13032 – Light and lighting – Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires. *[cap. 2, 3]*

[95] Fluke — Sisteme de achiziție a datelor https://www.fluke.com/en/products/calibration-tools/data-acquisition-and-general-test/data-acquisition *[cap. 3]*

[96] Galvanizers Association (2022). 'Galvanizing for Corrosion Protection'. Birmingham, UK. *[cap. 9]*

[97] Gaston, K. J.; Sánchez de Miguel, A., „Environmental Impacts of Artificial Light at Night", Annual Review of Environment and Resources, vol. 47, 2022, pp. 373–398. DOI: 10.1146/annurev-environ-112420-014438. *[cap. 5]*

[98] Gigahertz-Optik — Site oficial https://www.gigahertz-optik.com/en-us/ *[cap. 3]*

[99] GL Optic — Sfere integratoare https://gloptic.com/products/integrating-spheres/ *[cap. 3]*

[100] Guvernul României, Ordonanța de urgență nr. 5/2015 privind deșeurile de echipamente electrice și electronice, în forma consolidată aplicabilă. *[cap. 5]*

[101] Guvernul României, Ordonanța de urgență nr. 92/2021 privind regimul deșeurilor, aprobată prin Legea nr. 17/2023. Portalul Legislativ – Legea nr. 17/2023. *[cap. 5]*

[102] Guvernul României. Hotărârea Guvernului nr. 487/2016 privind compatibilitatea electromagnetică. *[cap. 2]*

[103] Guvernul României. Ordonanța nr. 10/2016 pentru modificarea și completarea Legii nr. 422/2001 privind protejarea monumentelor istorice, aprobată prin Legea nr. 248/2016. *[cap. 4]*

[104] HD 60364-7-711 – Low-voltage electrical installations – Part 7-711: Requirements for special installations or locations – Exhibitions, shows and stands. *[cap. 4]*

[105] HD 60364-7-740 – Low-voltage electrical installations – Part 7-740: Requirements for special installations or locations – Temporary electrical installations for structures, amusement devices and booths at fairgrounds, amusement parks and circuses. *[cap. 4]*

[106] Hecht, E., Optics, ediția a 5-a, Pearson, 2017. *[cap. 1]*

[107] I 7-2011 – Normativ pentru proiectarea, execuția și exploatarea instalațiilor electrice aferente clădirilor. *[cap. 4]*

[108] ICAO – Doc 9815, Manual on Laser Emitters and Flight Safety, Montreal, 2003. *[cap. 4]*

[109] IEC 60598 – Luminaires. *[cap. 3]*

[110] IEC 60870-5-104 Telecontrol equipment and systems – Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles. *[cap. 7]*

[111] IEC 60929 AC and/or DC-supplied electronic control gear for tubular fluorescent lamps – Performance requirements (interfața analogică de dimare). *[cap. 6, 7]*

[112] IEC 62443 (seria) Security for industrial automation and control systems, inclusiv părțile 3-2, 3-3, 4-1 și 4-2. *[cap. 6, 7]*

[113] IEC 62541 (seria) OPC Unified Architecture. *[cap. 7]*

[114] IEC 62682 Management of alarm systems for the process industries; ANSI/ISA-18.2 Management of Alarm Systems for the Process Industries. *[cap. 7]*

[115] IEC TR 62778 – Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires. *[cap. 4]*

[116] IEEE 802.15.4 Standard for Low-Rate Wireless Networks, inclusiv amendamentul 802.15.4g (Smart Utility Networks). *[cap. 6, 7]*

[117] IETF RFC 7252 The Constrained Application Protocol (CoAP); RFC 8446 The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3. *[cap. 6, 7]*

[118] ILAC G8 și ILAC G17 – documente de orientare privind regulile de decizie, raportarea și incertitudinea măsurării, în contextul acreditării laboratoarelor. *[cap. 3]*

[119] Illuminating Engineering Society (IES), ANSI/IES TM-15-20: Luminaire Classification System for Outdoor Luminaires, 2020. *[cap. 5]*

[120] Illuminating Engineering Society (IES). (2021). ANSI/IES LM-80-21: Approved Method: Measuring Maintenance of Light Output Characteristics of Solid-State Light Sources. *[cap. 2]*

[121] Illuminating Engineering Society (IES). (2021). ANSI/IES TM-21-21: Projecting Long-Term Luminous, Photon, and Radiant Flux Maintenance of LED Light Sources. *[cap. 2]*

[122] Illuminating Engineering Society (IES). (2024). ANSI/IES TM-30-24: Technical Memorandum: IES Method for Evaluating Light Source Color Rendition. *[cap. 2, 4]*

[123] Illuminating Engineering Society (IES). IES Lighting Library – Standards Collection. https://ies.org/standards/lighting-library/ *[cap. 2]*

[124] ILP TR22 – Managing a Vital Asset: Lighting Supports. Institution of Lighting Professionals, Marea Britanie. [cap. 9]

[125] Institution of Lighting Professionals (ILP). Guidance Note GN01/21 — The Reduction of Obtrusive Light, 2021. https://theilp.org.uk/publication/guidance-note-1-for-the-reduction-of-obtrusive-light-2021/ *[cap. 4]*

[126] inteliLIGHT – „inteliLIGHT cabinet controllers integrated in Bristol's TALQ-based multi-vendor smart street lighting project", 2025. *[cap. 7]*

[127] International Commission on Illumination (CIE). (2017). CIE 224:2017 – CIE 2017 Colour Fidelity Index for accurate scientific use. *[cap. 2]*

[128] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 60598-1 – Luminaires – Part 1: General requirements and tests. *[cap. 2, 4, 6]*

[129] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 60598-2-3:2002 + AMD1:2011 – Luminaires – Part 2-3: Particular requirements – Luminaires for road and street lighting. *[cap. 2, 6, 9, 10]*

[130] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 61000-3-2 – Electromagnetic compatibility (EMC) – Limits for harmonic current emissions. *[cap. 2, 6]*

[131] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 61347-1 – Controlgear for electric light sources – Part 1: General and safety requirements. *[cap. 2, 6]*

[132] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 62031 – LED modules for general lighting – Safety specifications. *[cap. 2]*

[133] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 62262 – Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK Code). *[cap. 2, 4, 6, 9, 10]*

[134] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 62471 – Photobiological safety of lamps and lamp systems. *[cap. 2, 4, 6]*

[135] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC Webstore – International Standards. https://webstore.iec.ch/ *[cap. 2]*

[136] International Organization for Standardization (ISO) și CIE, ISO/CIE 23539:2023 — Photometry: The CIE System of Physical Photometry, ediția 1, 2023. https://www.iso.org/standard/83178.html *[cap. 1]*

[137] Inventronics – Technical application guide 2DIMLT2 P LED drivers; fișe tehnice OPTOTRONIC 4DIM (funcții AstroDIM, StepDIM, MainsDIM). *[cap. 7]*

[138] ISO 12944-1..9:2018 - Vopsele și lacuri. Protecția anticorozivă a structurilor de oțel prin sisteme de acoperire. *[cap. 9]*

[139] ISO 9223:2012 - Coroziunea metalelor și aliajelor. Corozivitatea atmosferelor. Clasificare, determinare și estimare. *[cap. 9]*

[140] ISO 9241-391:2016 – Ergonomics of human-system interaction – Part 391: Requirements, analysis and compliance test methods for the reduction of photosensitive seizures. *[cap. 4]*

[141] ISO/CIE, ISO/CIE 8995-1:2025 — Light and lighting — Lighting of work places — Part 1: Indoor, 2025. https://www.iso.org/standard/76342.html *[cap. 1]*

[142] ISO/CIE. (2014). ISO/CIE 19476:2014 — Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters. International Organization for Standardization / Commission Internationale de l'Éclairage. https://www.iso.org/standard/65048.html. *[cap. 8]*

[143] ISO/IEC 17025 – General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. *[cap. 3]*

[144] ISO/IEC 20237:2023 Sparkplug 3.0 – MQTT-based interoperability specification for the industrial internet of things. *[cap. 7]*

[145] ISO/IEC 27001 Information security, cybersecurity and privacy protection – Information security management systems – Requirements. *[cap. 6, 7]*

[146] ISO/IEC 30145 (seria) Smart city ICT reference framework; ISO/IEC 30173:2023 Digital twin – Concepts and terminology. *[cap. 7]*

[147] ITU-R P.1411 Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems. *[cap. 7]*

[148] ITU-T G.9903 Narrowband OFDM power line communication transceivers for G3-PLC networks; ITU-T G.9904 … for PRIME networks; IEEE 1901.2 Low-frequency narrowband power line communications. *[cap. 7]*

[149] ITU-T Y.4505 (08/2024) Minimal interoperability mechanisms for smart and sustainable cities and communities; OASC – MIMs. *[cap. 7]*

[150] JCGM. (2008). JCGM 100:2008 — Evaluation of Measurement Data: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Joint Committee for Guides in Metrology. https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/publications. *[cap. 8]*

[151] Konica Minolta — Luminanțmetre https://sensing.konicaminolta.eu/mi-en/products/light-and-display-measurement/luminance-meters *[cap. 3]*

[152] Konica Minolta — Luxmetre https://sensing.konicaminolta.eu/mi-en/products/light-and-display-measurement/illuminance-meters *[cap. 3]*

[153] Kuklick, K.R. (2017). 'Street Lighting Design'. Illuminating Engineering Society, New York. *[cap. 9]*

[154] Labsphere — Sisteme de măsurare a flickerului https://www.labsphere.com/product/flicker-test-accessory/ *[cap. 3]*

[155] Labsphere — Sisteme illumiaPlus2 https://www.labsphere.com/product/illumiaplus2-integrating-sphere-spectroradiometers/ *[cap. 3]*

[156] Labsphere — Surse și echipamente optice https://www.labsphere.com/ *[cap. 3]*

[157] Legea nr. 10/1995 privind calitatea în construcții; HG nr. 343/2017 – Regulamentul de recepție a lucrărilor de construcții și instalații aferente acestora. [cap. 9]

[158] Legea nr. 121/2014 privind eficiența energetică, cu modificările și completările ulterioare. *[cap. 4, 6, 7]*

[159] Legea nr. 179/2022 privind datele deschise și reutilizarea informațiilor din sectorul public. *[cap. 7]*

[160] Legea nr. 98/2016 privind achizițiile publice, cu modificările și completările ulterioare. *[cap. 7, 9]*

[161] LightNOW – „TALQ Consortium Releases V2.7.0 Smart City Protocol", aprilie 2026. *[cap. 7]*

[162] LISUN — Goniofotometre și ghidul ANSI/IES LM-75 https://www.lisungroup.com/standards/ansi-ies-lm-75-19.html *[cap. 3]*

[163] LISUN — Sisteme de măsurare optică https://gl.lisungroup.com/produtos/esfera-integradora/ *[cap. 3]*

[164] LoRa Alliance – LoRaWAN L2 1.0.4 Specification și RP002 Regional Parameters; ITU-T Y.4480 Low power protocol for wide area wireless networks. *[cap. 6, 7]*

[165] Mersen. Surge-Trap LED — Surge Protection for LED Outdoor Lighting, 2019. https://ep-ca.mersen.com/sites/mersen_ca/files/2019-11/BR-Mersen-SPD-for%20LED-Outdoor-Lighting-EN.pdf *[cap. 10]*

[166] Ministerul Culturii. Normele metodologice și procedurile de avizare a intervențiilor asupra monumentelor istorice și în zonele lor de protecție, în vigoare la data proiectării. *[cap. 4]*

[167] Ministerul Dezvoltării Regionale și Turismului. Normativ I7-2011 pentru proiectarea, executarea și exploatarea instalațiilor electrice aferente clădirilor, aprobat prin Ordinul nr. 2741/2011, cu modificările și completările ulterioare, inclusiv Ordinul MDLPA nr. 959/2023. *[cap. 9, 10]*

[168] Ministerul Dezvoltării, Lucrărilor Publice și Administrației, Ordinul nr. 2.837 din 2 noiembrie 2022, privind modificarea și completarea normativului NP 062/2002. *[cap. 4, 5]*

[169] Modbus Organization – Modbus Application Protocol Specification; MODBUS/TCP Security Protocol Specification (2021). *[cap. 6, 7]*

[170] Modest, M. F., Radiative Heat Transfer, ediția a 3-a, Academic Press, 2013. *[cap. 1]*

[171] National Institute of Standards and Technology (NIST), „Photometry", material de referință privind măsurarea luminii în raport cu sensibilitatea vizuală umană și realizarea unităților fotometrice. https://www.nist.gov/programs-projects/photometry *[cap. 1]*

[172] NIST FIPS 203, FIPS 204 și FIPS 205 – standardele de criptografie post-cuantică (2024). *[cap. 7]*

[173] Nordic Semiconductor Academy – materiale despre NB-IoT și LTE-M; Trialog – G3-PLC; Ericsson – 5G RedCap și eRedCap. *[cap. 6, 7]*

[174] NP 062-02 – Normativ pentru proiectarea sistemelor de iluminat rutier și pietonal, cu modificările și completările aduse prin Ordinul nr. 2837/2022. *[cap. 4]*

[175] NP 074 – Normativ privind documentațiile geotehnice pentru construcții; STAS 6054 – Teren de fundare. Adâncimi maxime de îngheț. [cap. 9]

[176] NP 082:2004 - Normativ privind bazele proiectării și acțiunile în construcții. Acțiunea vântului. *[cap. 9]*

[177] OASC – Minimal Interoperability Mechanisms și European Local Digital Twin Toolbox. *[cap. 7]*

[178] OASIS – MQTT Version 3.1.1 (ISO/IEC 20922:2016) și MQTT Version 5.0 (2019). *[cap. 6, 7]*

[179] Oficiul pentru Publicații al Uniunii Europene. EUR-Lex – Acces la legislația Uniunii Europene. https://eur-lex.europa.eu/ *[cap. 2]*

[180] OGC – City Geography Markup Language (CityGML) 3.0 Conceptual Model. *[cap. 7]*

[181] Ohno, Yoshihiro, „Chapter A.2.1 Photometry", în Handbook of Optoelectronics, 2006. https://www.nist.gov/publications/chapter-a21-photometry-handbook-optoelectronics *[cap. 1]*

[182] Ohno, Yoshihiro, „Photometry", în Handbook of Visual Optics, vol. 1, Taylor & Francis, 2017. https://www.nist.gov/publications/photometry-chapter-handbook-visual-optics *[cap. 1]*

[183] OpenAPI Initiative – OpenAPI Specification, versiunea 3. *[cap. 7]*

[184] Ordinul ANRE nr. 103/2015 pentru aprobarea Codului de măsurare a energiei electrice. *[cap. 6]*

[185] Ordinul ANRSC nr. 86/2007 pentru aprobarea Regulamentului-cadru al serviciului de iluminat public. *[cap. 4, 6]*

[186] Ordonanța de urgență a Guvernului nr. 155/2024 privind instituirea unui cadru pentru securitatea cibernetică a rețelelor și sistemelor informatice din spațiul cibernetic național civil, cu modificările aduse prin Legea nr. 124/2025. *[cap. 7]*

[187] Ordonanța de urgență a Guvernului nr. 195/2002 privind circulația pe drumurile publice, republicată, cu modificările și completările ulterioare. *[cap. 4]*

[188] Parlamentul European și Consiliul Uniunii Europene, Directiva 2012/19/UE din 4 iulie 2012 privind deșeurile de echipamente electrice și electronice (DEEE), cu modificările ulterioare. *[cap. 4, 5, 6]*

[189] Parlamentul României. Legea nr. 230/2006 a serviciului de iluminat public, cu modificările și completările ulterioare. https://legislatie.just.ro/ *[cap. 4, 6, 9, 10]*

[190] Parlamentul României. Legea nr. 422/2001 privind protejarea monumentelor istorice, republicată, cu modificările și completările ulterioare. *[cap. 4]*

[191] PE 106/2003 — Normativ pentru proiectarea și executarea liniilor electrice aeriene de joasă tensiune. *[cap. 10]*

[192] PE 116/1994 — Normativ de încercări și măsurători la echipamente și instalații electrice. *[cap. 10]*

[193] Pedrotti, F. L., Pedrotti, L. S., Pedrotti, L. M., Introduction to Optics, ediția a 3-a, Pearson, 2007. *[cap. 1]*

[194] Performance in Lighting. EN 60598-2-13 — Installation areas for in-ground and linear recessed luminaires (notă tehnică de producător). https://www.performanceinlighting.com/au/en/en-60598-2-13 *[cap. 4]*

[195] Primăria Municipiului București – Regulamentul programului „Sărbători de iarnă, împreună, în București", ediția 2022–2023. *[cap. 4]*

[196] Protecție electrică completă SMART pentru circuit de iluminat de 100 W — documentație conceptuală, versiunea 1.0, 31 octombrie 2026 (studiu preliminar, document de lucru). *[cap. 10]*

[197] Regulamentul (UE) 2016/679 privind protecția persoanelor fizice în ceea ce privește prelucrarea datelor cu caracter personal (GDPR). *[cap. 6, 7]*

[198] Regulamentul (UE) 2023/2854 privind normele armonizate pentru accesul echitabil la date și utilizarea corectă a acestora (Data Act). *[cap. 6, 7]*

[199] Regulamentul (UE) 2024/1781 al Parlamentului European și al Consiliului din 13 iunie 2024 de instituire a unui cadru pentru stabilirea cerințelor în materie de proiectare ecologică pentru produse durabile. *[cap. 4]*

[200] Regulamentul (UE) 2024/2847 privind cerințele orizontale de securitate cibernetică pentru produsele cu elemente digitale (Cyber Resilience Act). *[cap. 6, 7]*

[201] Regulamentul (UE) 2024/903 privind măsuri pentru un nivel ridicat de interoperabilitate a sectorului public în Uniune (Interoperable Europe Act). *[cap. 7]*

[202] Regulamentul (UE) nr. 305/2011 de stabilire a unor condiții armonizate pentru comercializarea produselor pentru construcții. [cap. 9]

[203] Regulamentul delegat (UE) 2022/30 al Comisiei de completare a Directivei 2014/53/UE în ceea ce privește aplicarea cerințelor esențiale prevăzute la articolul 3 alineatul (3) literele (d), (e) și (f). *[cap. 6, 7]*

[204] Saleh, B. E. A., Teich, M. C., Fundamentals of Photonics, ediția a 3-a, Wiley, 2019. *[cap. 1]*

[205] Seria IEC 62386 Digital addressable lighting interface (DALI), inclusiv părțile 101, 102, 103, 104, 207, 209, 303, 304 și 250–253 (ediția 1, 2023). *[cap. 6]*

[206] Signify. Philips Surge Protection Devices — Design-in Guide, Outdoor SPD, martie 2019. https://www.signify.com/api/assets/v1/file/Signify/content/Philips-Surge-protection-devices-OEM/Philips_Surge_protection_devices_OEM_pdf.pdf *[cap. 10]*

[207] SR EN 10025, SR EN 10149, SR EN 10210, SR EN 10219, SR EN 10088 – Produse și țevi din oțel pentru construcții; oțeluri inoxidabile. [cap. 9]

[208] SR EN 1011-1, SR EN 1011-2, SR EN 1011-3 – Sudare. Recomandări pentru sudarea materialelor metalice (reguli generale; oțeluri feritice; oțeluri inoxidabile); SR EN ISO 15607 – Specificația și calificarea procedurilor de sudare. Reguli generale. [cap. 9]

[209] SR EN 10204 – Produse metalice. Tipuri de documente de inspecție. [cap. 9]

[210] SR EN 1090-2 – Execuția structurilor de oțel și a structurilor de aluminiu. Cerințe tehnice pentru structurile de oțel. [cap. 9]

[211] SR EN 12767 — Siguranța pasivă a structurilor de susținere pentru echipamente rutiere. *[cap. 9, 10]*

[212] SR EN 1317-2 – Dispozitive de reținere pentru drumuri. Clase de performanță, criterii de acceptare la încercările la impact și metode de încercare pentru parapete de siguranță. [cap. 9]

[213] SR EN 18031-1, -2, -3 Cerințe comune de securitate pentru echipamentele radio. *[cap. 6, 7]*

[214] SR EN 1992-4 – Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 4: Proiectarea prinderilor pentru utilizare în beton. [cap. 9]

[215] SR EN 1993-1-1, SR EN 1993-1-8, SR EN 1993-1-9 – Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel (reguli generale; proiectarea îmbinărilor; oboseala). [cap. 9]

[216] SR EN 1997-1 – Eurocod 7: Proiectarea geotehnică. Reguli generale; NP 112 – Normativ privind proiectarea fundațiilor de suprafață. [cap. 9]

[217] SR EN 300 220 (seria) Dispozitive cu rază mică de acțiune în domeniul de frecvențe 25 MHz – 1 000 MHz. *[cap. 6, 7]*

[218] SR EN 300 328 Sisteme de transmisie de bandă largă în banda de 2,4 GHz. *[cap. 6, 7]*

[219] SR EN 301 489 (seria) Standardul EMC pentru echipamente și servicii radio. *[cap. 6]*

[220] SR EN 301 893 Rețele radio de acces de bandă largă în banda de 5 GHz. *[cap. 7]*

[221] SR EN 301 908 (seria) Rețele celulare IMT – echipamente de utilizator și stații de bază. *[cap. 6, 7]*

[222] SR EN 40-1 – Stâlpi pentru iluminat public. Definiții și termeni. [cap. 9]

[223] SR EN 40-2 – Stâlpi pentru iluminat public. Cerințe generale și dimensiuni. [cap. 9]

[224] SR EN 40-3-2 – Stâlpi pentru iluminat public. Proiectare și verificare. Verificare prin încercări. [cap. 9]

[225] SR EN 40-3-3:2003 - Stâlpi de iluminat. Proiectare și verificare. Verificare prin calcul. *[cap. 9]*

[226] SR EN 40-4 – Stâlpi pentru iluminat public. Cerințe pentru stâlpi din beton armat și beton precomprimat. [cap. 9]

[227] SR EN 40-5:2002 - Stâlpi de iluminat. Stâlpi de iluminat din oțel. Cerințe. *[cap. 9]*

[228] SR EN 40-6 – Stâlpi pentru iluminat public. Cerințe pentru stâlpi din aluminiu. [cap. 9]

[229] SR EN 40-7 – Stâlpi pentru iluminat public. Cerințe pentru stâlpi din compozite polimerice armate cu fibre. [cap. 9]

[230] SR EN 50065-1 Transmisia de semnale pe rețelele electrice de joasă tensiune în domeniul de frecvențe 3 kHz – 148,5 kHz. *[cap. 6, 7]*

[231] SR EN 50160 Caracteristicile tensiunii furnizate de rețelele electrice publice. *[cap. 6]*

[232] SR EN 60269-1 — Siguranțe fuzibile de joasă tensiune. Cerințe generale. *[cap. 10]*

[233] SR EN 60598-2-13 — Aparate de iluminat. Partea 2-13: Cerințe particulare. Aparate de iluminat încastrate în sol. *[cap. 4]*

[234] SR EN 60598-2-5 — Aparate de iluminat. Partea 2-5: Cerințe particulare. Proiectoare. *[cap. 4]*

[235] SR EN 60898-1; SR EN 61008-1; SR EN 61009-1 — Întreruptoare automate, întreruptoare diferențiale fără și cu protecție la supracurent încorporată. *[cap. 10]*

[236] SR EN 61000-6-2 și SR EN 61000-6-4 Compatibilitate electromagnetică – standarde generice de imunitate și de emisie pentru mediile industriale. *[cap. 6]*

[237] SR EN 61140 — Protecția împotriva șocurilor electrice. Aspecte comune pentru instalații și echipamente. *[cap. 10]*

[238] SR EN 61439 (seria) Ansambluri de aparataj de joasă tensiune. *[cap. 6, 10]*

[239] SR EN 61557 (seria) — Echipamente pentru încercarea, măsurarea sau supravegherea măsurilor de protecție în rețele de joasă tensiune. *[cap. 10]*

[240] SR EN 61643-11 și CLC/TS 61643-12 — Dispozitive de protecție la supratensiune de joasă tensiune: cerințe, încercări, alegere și principii de aplicare. *[cap. 6, 10]*

[241] SR EN 61672-1 Electroacustică. Sonometre. Partea 1: Specificații. *[cap. 6]*

[242] SR EN 62056 / IEC 62056 (seria) Schimbul de date pentru citirea contoarelor, tarife și controlul sarcinii (DLMS/COSEM); EN 13757 (seria) Sisteme de comunicație pentru contoare (M-Bus). *[cap. 6, 7]*

[243] SR EN 62305 (seria) — Protecția împotriva trăsnetului. *[cap. 10]*

[244] SR EN 62311 și SR EN 62479 Evaluarea echipamentelor electronice și electrice în raport cu restricțiile de expunere umană la câmpuri electromagnetice. *[cap. 6]*

[245] SR EN 62368-1 Echipamente audio/video, pentru tehnologia informației și a comunicațiilor – cerințe de securitate. *[cap. 6]*

[246] SR EN 62384 Dispozitive electronice de comandă alimentate în c.c. sau c.a. pentru module LED – cerințe de performanță. *[cap. 6]*

[247] SR EN 62606 — Cerințe generale pentru dispozitive de detectare a defectelor de arc (AFDD). *[cap. 10]*

[248] SR EN IEC 55015 Limite și metode de măsurare a caracteristicilor de perturbații radioelectrice ale echipamentelor electrice de iluminat și similare. *[cap. 6]*

[249] SR EN IEC 61547:2023 — Echipamente pentru iluminat general. Cerințe de imunitate CEM (corespunzător IEC 61547:2020). *[cap. 2, 6, 10]*

[250] SR EN IEC 63024 — Cerințe pentru dispozitive de reanclanșare automată (ARD) pentru întreruptoare automate, RCBO și RCCB. *[cap. 10]*

[251] SR EN ISO 1461:2022 - Acoperiri de zinc obținute prin zincare la cald a pieselor din fier și oțel. *[cap. 9]*

[252] SR EN ISO 14713 – Acoperiri de zinc. Ghid și recomandări pentru protecția împotriva coroziunii a structurilor din fontă și oțel. [cap. 9]

[253] SR EN ISO 3834, SR EN ISO 15614-1, SR EN ISO 9606-1, SR EN ISO 14731 – Calitatea sudării; calificarea procedurilor de sudare; calificarea sudorilor; coordonarea sudării. [cap. 9]

[254] SR EN ISO 50015 Sisteme de management al energiei. Măsurarea și verificarea performanței energetice a organizațiilor. *[cap. 7]*

[255] SR EN ISO/IEC 17025 – versiunea națională a standardului privind competența laboratoarelor de încercări și etalonări. *[cap. 3]*

[256] SR HD 60364-4-41 — Instalații electrice de joasă tensiune. Partea 4-41: Măsuri de protecție pentru asigurarea securității. Protecția împotriva șocurilor electrice. *[cap. 10]*

[257] SR HD 60364-4-43 — Instalații electrice de joasă tensiune. Partea 4-43: Protecția împotriva supracurenților. *[cap. 10]*

[258] SR HD 60364-4-443 și SR HD 60364-5-534 — Protecția împotriva supratensiunilor tranzitorii; alegerea și instalarea dispozitivelor de protecție la supratensiuni. *[cap. 10]*

[259] SR HD 60364-5-53 — Alegerea și instalarea echipamentelor electrice. Dispozitive de protecție, separare, comutare, comandă și monitorizare. *[cap. 10]*

[260] SR HD 60364-5-534 Instalații electrice de joasă tensiune – dispozitive pentru protecția împotriva supratensiunilor. *[cap. 6]*

[261] SR HD 60364-5-54 — Alegerea și instalarea echipamentelor electrice. Sisteme de legare la pământ și conductoare de protecție. *[cap. 10]*

[262] SR HD 60364-6 — Instalații electrice de joasă tensiune. Partea 6: Verificare. *[cap. 10]*

[263] SR HD 60364-7-714 — Cerințe pentru instalații și amplasamente speciale. Instalații de iluminat exterior (corespunzător IEC 60364-7-714:2011). *[cap. 4, 9, 10]*

[264] TALQ Consortium – https://www.talq-consortium.org. *[cap. 6, 7]*

[265] TALQ Consortium – TALQ Smart City Protocol Specification, versiunea 2 (inclusiv 2.7.0, aprilie 2026); White Paper „The Smart City Protocol” (2024); TALQ Tender Template, ediția 4 (2025); lista produselor certificate. *[cap. 6, 7]*

[266] Tridonic GmbH & Co KG. Documentația tehnică a driverelor LED pentru iluminat exterior și rutier. *[cap. 2]*

[267] Wi-SUN Alliance – Field Area Network (FAN) specification. *[cap. 6, 7]*

[268] Yokogawa — Analizoare de putere https://tmi.yokogawa.com/solutions/products/power-analyzers/ *[cap. 3]*

[269] Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja, Narodne novine nr. 14/2019, Republica Croația. *[cap. 4]*

[270] Zhaga Consortium – Book 18: Outdoor connectivity, ediția 4 (noiembrie 2025); Book 20: Smart interface between indoor luminaires and sensing/communication modules; programul de certificare Zhaga-D4i. *[cap. 6, 7]*

[271] ZVEI — Lighting Division. Immunity of LED Luminaires to Transient Overvoltages, 2014. https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2015/mai/Immunity_of_LED_Luminaires_to_Transient_Overvoltages/Transient-Overvoltages-LED-Luminaires.pdf *[cap. 10]*

Glosar de termeni

Glosarul explică termenii tehnici, acronimele și neologismele folosite în manual. Definițiile sunt formulate pentru utilizarea în iluminatul public; pentru definițiile normative complete se consultă vocabularul CIE S 017 și standardele citate în capitole.

A

Achiziție publică (caiet de sarcini) – Documentul prin care beneficiarul formulează cerințele tehnice și de performanță verificabile pentru echipamentele și serviciile achiziționate.

AECI (indicatorul anual al consumului de energie) – Indicator definit în SR EN 13201-5, exprimat în kWh/m² pe an; caracterizează energia consumată anual de instalație raportată la suprafața iluminată.

Alarmă – Mesaj generat automat la depășirea unui prag sau la apariția unui eveniment care necesită acțiunea operatorului.

Analiza costului pe durata de viață (LCCA) – Evaluarea tuturor costurilor unei soluții – investiție, energie, mentenanță, comunicații, înlocuire – pe întreaga durată de exploatare.

Aparat de iluminat – Echipament care distribuie, filtrează sau transformă lumina emisă de una sau mai multe surse și care cuprinde elementele necesare fixării, protecției și alimentării acestora.

Aparataj (dispozitiv de comandă) – Ansamblul componentelor electrice și electronice care alimentează și comandă sursa de lumină (driver, protecții, conectori, module de comunicație).

Arhitectură de referință (telegestiune) – Modelul pe cinci niveluri al unui sistem de telegestiune: driverul, controlerul (nodul) aparatului, rețeaua de comunicații, gateway-ul și platforma centrală.

Arhitectură Smart City – Organizarea pe niveluri a infrastructurii, rețelelor, platformelor de date și aplicațiilor urbane, cu interfețe deschise între ele.

B

B.U.G. (Backlight–Uplight–Glare) – Sistem de clasificare a aparatelor de exterior (ANSI/IES TM-15) după fluxul emis spre spate, în sus și în zonele care pot produce orbire.

Backhaul (rețea de transport) – Legătura de capacitate mare dintre gateway și platforma centrală, realizată prin rețele celulare, fibră optică sau Ethernet.

Bandă ISM / SRD – Benzi de frecvență utilizabile fără licență individuală (de exemplu 863–870 MHz și 2,4 GHz), în condițiile de putere și ciclu de emisie stabilite de reglementări.

Buclă închisă (control în) – Mod de control în care mărimea realizată este măsurată și comparată cu valoarea de referință, iar comanda este corectată în funcție de eroare.

C

Calcul luminotehnic – Determinarea prin calcul a iluminărilor, luminanțelor și indicatorilor de calitate ai unei instalații, pe o grilă de puncte definită de standard.

Candelă (cd) – Unitatea SI a intensității luminoase; una dintre cele șapte unități fundamentale ale Sistemului Internațional.

CCT (temperatură de culoare corelată) – Temperatura, în kelvin, a radiatorului Planck a cărui culoare se apropie cel mai mult de culoarea sursei de lumină.

Ceas astronomic – Funcție care calculează orele de răsărit și de apus pentru coordonatele instalației și comandă aprinderea și stingerea iluminatului.

Ciclu de emisie (duty cycle) – Fracțiunea maximă din timp în care un emițător radio poate transmite într-o bandă reglementată (de exemplu 1 % în sub-banda 868,0–868,6 MHz).

Clasă de corozivitate (C1–CX) – Categoria de agresivitate a atmosferei definită în ISO 9223, stabilită pe baza vitezei de coroziune a oțelului și a zincului.

Clasă de iluminat – Categorie definită în seria SR EN 13201 (M, C, P, HS, SC, EV) căreia îi corespund cerințe fotometrice minime pentru o anumită situație de trafic.

CLO (Constant Light Output) – Funcție a driverului care crește treptat curentul prin LED-uri pentru a compensa deprecierea fluxului luminos pe durata de viață.

Coeficient (factor) de utilizare – Raportul dintre fluxul luminos care ajunge pe suprafața de referință și fluxul emis de sursele aparatelor de iluminat.

Coeficient de reflexie (ρ) – Raportul dintre fluxul luminos reflectat de o suprafață și fluxul luminos incident pe aceasta.

Comandă de grup – Comandă transmisă simultan tuturor nodurilor unui grup logic (stradă, zonă, circuit), de regulă printr-un singur mesaj difuzat.

Consolă – Brațul lateral al stâlpului pe care se montează aparatul de iluminat; definește avansul aparatului față de bordura carosabilului.

Contor de decontare – Contorul operatorului de distribuție pe baza căruia se facturează energia consumată de punctul de aprindere.

Contrast de luminanță – Raportul dintre diferența luminanțelor obiectului și fondului și luminanța fondului; determină vizibilitatea obstacolelor și a pietonilor.

Controler (nod) al aparatului de iluminat – Dispozitiv montat pe aparat sau în aparat care comandă driverul, măsoară parametrii de funcționare și comunică cu rețeaua de telegestiune.

Coordonate cromatice (x, y) – Mărimi colorimetrice CIE care definesc poziția culorii unei surse în diagrama de cromaticitate.

Corp negru (radiator Planck) – Corp ideal care absoarbe toată radiația incidentă și emite un spectru determinat numai de temperatura sa; referință pentru temperatura de culoare.

CRI / Ra (indice de redare a culorilor) – Indicator CIE (0–100) care arată cât de fidel redă o sursă culorile unor eșantioane de referință în comparație cu o sursă etalon.

Curbă fotometrică (diagramă polară) – Reprezentarea intensității luminoase a unui aparat în funcție de direcție, de regulă în planurile C–γ, exprimată în cd/klm.

Curbă isolux – Linie care unește punctele unei suprafețe în care iluminarea are aceeași valoare.

Curent de pornire (inrush current) – Vârful de curent absorbit de driverele LED la conectare, de care se ține seama la alegerea contactoarelor și a protecțiilor.

D

D4i – Extensie a protocolului DALI pentru aparatele de exterior: alimentare auxiliară a modulelor, memorie cu date despre aparat, energie și diagnoză și conectare prin interfața Zhaga.

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) – Interfață digitală standardizată (seria IEC 62386) pentru comanda și interogarea adresabilă a dispozitivelor de iluminat pe o magistrală cu două fire.

DALI-2 – Generația a doua a protocolului DALI, cu certificare de interoperabilitate și cu definirea dispozitivelor de control și a senzorilor.

Declarație de performanță (DoP) – Documentul prin care producătorul declară performanța produselor pentru construcții, conform Regulamentului (UE) nr. 305/2011.

Declarație UE de conformitate – Documentul prin care producătorul declară că produsul respectă legislația de armonizare aplicabilă și pe baza căruia aplică marcajul CE.

DEEE – Deșeuri de echipamente electrice și electronice; colectarea și tratarea lor sunt reglementate de Directiva 2012/19/UE și OUG nr. 5/2015.

Depreciere a fluxului luminos (LxBy) – Scăderea în timp a fluxului emis de sursele LED; notația LxBy indică durata după care fluxul scade la x % pentru cel mult y % din produse.

Dimare (reglarea fluxului luminos) – Reducerea controlată a fluxului luminos al aparatului, prin comanda driverului, în funcție de program, trafic sau condițiile de mediu.

Distribuție spectrală a puterii (SPD) – Repartiția puterii radiante a unei surse pe lungimi de undă; din ea se calculează mărimile fotometrice și colorimetrice.

Driver LED – Dispozitiv electronic care transformă tensiunea rețelei în curentul continuu stabilizat necesar modulelor LED și permite reglarea fluxului și transmiterea datelor de funcționare.

Duv – Abaterea punctului cromatic al sursei față de locusul Planckian; valorile pozitive indică o tentă verzuie, cele negative o tentă purpurie.

E

Edge computing (logică locală) – Prelucrarea datelor și luarea deciziilor în gateway sau în nod, fără intervenția platformei centrale, pentru continuitatea funcționării.

Eficacitate luminoasă – Raportul dintre fluxul luminos emis și puterea electrică absorbită, exprimat în lm/W.

Eficiență luminoasă spectrală V(λ) – Funcția CIE care descrie sensibilitatea relativă a ochiului uman la lungimile de undă din domeniul vizibil, în vedere fotopică.

Emitanță luminoasă (M) – Fluxul luminos emis de o suprafață, raportat la aria acesteia, exprimat în lm/m².

eSIM – Cartelă SIM integrată în echipament, al cărei profil de operator se încarcă și se schimbă de la distanță.

F

Factor de menținere (MF) – Raportul dintre iluminarea (luminanța) medie după o perioadă de funcționare și valoarea inițială; înglobează deprecierea fluxului, murdărirea și defectarea surselor.

Factor de putere – Raportul dintre puterea activă și puterea aparentă absorbite de un echipament; pentru driverele LED de calitate depășește de regulă 0,9.

Fereastră de alimentare – Intervalul în care circuitul de iluminat este sub tensiune; pe circuitele alimentate numai noaptea limitează comunicația cu nodurile pe timp de zi.

Firmware – Programul încorporat al unui echipament electronic (driver, controler, gateway), care poate fi actualizat local sau de la distanță.

Flicker (pâlpâire) – Variația temporală a fluxului luminos, perceptibilă direct sau prin efecte stroboscopice, provocată de alimentare sau de modul de dimare.

Flux ascendent (ULOR) – Fracțiunea din fluxul aparatului emisă deasupra planului orizontal; principala cauză directă a strălucirii artificiale a cerului.

Flux luminos (Φ) – Puterea radiantă a unei surse evaluată după sensibilitatea ochiului uman; se măsoară în lumeni (lm).

Fotocelulă – Senzor de lumină ambientală care comandă aprinderea și stingerea iluminatului la praguri prestabilite de iluminare.

Fotometrie – Domeniul măsurării radiației vizibile evaluate după sensibilitatea ochiului uman (flux, intensitate, iluminare, luminanță).

G

Gateway (concentrator de date) – Echipament care leagă rețeaua de acces a nodurilor de platforma centrală, cu conversie de protocol, memorie tampon și logică locală.

Geamăn digital (digital twin) – Reprezentare digitală actualizată a infrastructurii, alimentată cu date din exploatare, folosită pentru analiză, simulare și planificare.

GIS (sistem informatic geografic) – Sistem care gestionează date georeferențiate; în iluminatul public conține inventarul stâlpilor, aparatelor și punctelor de aprindere.

Goniofotometru – Aparat de laborator care măsoară distribuția spațială a intensității luminoase a unui aparat de iluminat.

Grad de protecție IK – Cod definit de SR EN 62262 care exprimă rezistența carcasei la impact mecanic (IK00–IK10).

Grad de protecție IP – Cod definit de SR EN 60529 care exprimă protecția carcasei împotriva pătrunderii corpurilor solide și a apei (de exemplu IP66).

Grilă de calcul / de măsurare – Rețeaua de puncte, definită de SR EN 13201-3 și -4, în care se calculează sau se măsoară mărimile fotometrice.

H

Histerezis – Diferența intenționată dintre pragul de pornire și cel de oprire al unei comenzi, care previne comutările repetate în jurul pragului.

I

Iluminare (E) – Fluxul luminos incident pe unitatea de suprafață; se măsoară în lucși (lx = lm/m²).

Iluminare medie menținută – Valoarea iluminării medii sub care instalația nu trebuie să coboare pe durata de exploatare, ținând seama de factorul de menținere.

Iluminare semicilindrică și verticală – Iluminări măsurate pe planuri verticale sau pe suprafața unui semicilindru; caracterizează recunoașterea fețelor și vizibilitatea pietonilor.

Iluminat adaptiv – Iluminat al cărui nivel se modifică automat în funcție de trafic, condițiile meteo sau programul orar, cu respectarea clasei de iluminat.

Iluminat arhitectural – Iluminarea fațadelor, monumentelor și obiectelor urbane pentru evidențierea valorii lor estetice și istorice.

Iluminat festiv (decorativ) – Iluminat temporar sau sezonier cu caracter decorativ (ghirlande, motive luminoase, proiecții), cu cerințe specifice de siguranță electrică.

Incertitudine de măsurare – Parametru asociat rezultatului unei măsurări care caracterizează dispersia valorilor ce pot fi atribuite mărimii măsurate (JCGM 100).

Indicator-cheie de performanță (KPI) – Valoare măsurabilă prin care se urmărește îndeplinirea unui obiectiv (disponibilitate, consum, timp de intervenție).

Intensitate luminoasă (I) – Fluxul luminos emis într-o direcție, raportat la unghiul solid elementar; se măsoară în candele (cd).

Interoperabilitate – Capacitatea echipamentelor și sistemelor de la producători diferiți de a funcționa împreună prin interfețe și protocoale standardizate și verificate.

Intersecție (zonă de conflict) – Zonă în care fluxurile de trafic se intersectează; se iluminează conform claselor C din SR EN 13201-2.

K

Kelvin (K) – Unitatea SI a temperaturii termodinamice; folosită pentru exprimarea temperaturii de culoare a surselor de lumină.

L

LED (diodă electroluminescentă) – Dispozitiv semiconductor care emite lumină la trecerea curentului; lumina albă se obține de regulă printr-un LED albastru și un strat de fosfor.

Legea inversului pătratului distanței – Iluminarea produsă de o sursă punctiformă scade proporțional cu pătratul distanței dintre sursă și suprafață.

Legea lui Lambert (a cosinusului) – Iluminarea unei suprafețe variază cu cosinusul unghiului de incidență; o suprafață lambertiană are luminanță egală în toate direcțiile.

LoRa / LoRaWAN – Tehnologie radio de bandă îngustă și rază mare (LoRa) și protocolul de rețea asociat (LoRaWAN), cu gateway-uri și network server.

LTE-M / NB-IoT – Tehnologii celulare 3GPP pentru dispozitive IoT, cu consum redus și acoperire extinsă, utilizate în controlerele cu conexiune celulară directă.

Lumen (lm) – Unitatea de măsură a fluxului luminos: fluxul emis într-un steradian de o sursă punctiformă cu intensitatea de o candelă.

Lumină intruzivă – Lumina care ajunge în afara zonei ce trebuie iluminate (ferestre, cer, spații naturale) și produce disconfort sau efecte nedorite.

Luminanță (L) – Mărimea care exprimă strălucirea percepută a unei suprafețe într-o direcție; se măsoară în cd/m².

Luminanță de voal – Luminanță echivalentă produsă în ochi de lumina difuzată a surselor orbitoare; reduce contrastul și stă la baza calculului indicelui TI.

Luminanțmetru – Instrument care măsoară luminanța unei suprafețe într-un câmp de vedere definit.

Lux (lx) – Unitatea de măsură a iluminării; un lux corespunde unui lumen distribuit uniform pe un metru pătrat.

Luxmetru – Instrument care măsoară iluminarea, cu senzor corectat după curba V(λ) și după legea cosinusului.

M

Magistrală (DALI, RS-485) – Mediu de comunicație partajat de mai multe dispozitive conectate în paralel, cu reguli de acces și adresare.

Marcaj CE – Marcajul prin care producătorul declară conformitatea produsului cu legislația UE de armonizare aplicabilă.

Măsurare și verificare (M&V) – Procedura de determinare a economiilor reale de energie prin comparație cu o situație de referință ajustată (IPMVP, SR EN ISO 50015).

Mentenanță predictivă – Planificarea intervențiilor pe baza datelor de funcționare și a tendințelor măsurate, înainte de apariția defectului.

Metoda lumenului (factorului de utilizare) – Metodă de calcul a iluminării medii din fluxul instalat, factorul de utilizare, factorul de menținere și suprafața iluminată.

Mezopică (vedere) – Regimul de vedere la niveluri intermediare de luminanță (aproximativ 0,005–5 cd/m²), specific iluminatului exterior pe timp de noapte.

Modbus – Protocol industrial de comunicație de tip interogare–răspuns (RTU pe RS-485 sau TCP pe rețele IP), folosit la contoare și automate.

Model fotometric (fișier IES/LDT) – Fișierul electronic cu distribuția intensității luminoase a unui aparat, folosit de programele de calcul.

MQTT – Protocol de mesagerie de tip publicare–abonare, cu broker central, folosit pentru schimbul de date între dispozitive IoT și platforme.

N

NEMA (soclu ANSI C136.41) – Interfață de montaj cu 3, 5 sau 7 contacte pentru fotocelule și controlere montate pe partea superioară a aparatului.

Network server – Componenta software a unei rețele LoRaWAN care gestionează gateway-urile, elimină duplicatele și transmite datele către aplicații.

NIS2 – Directiva (UE) 2022/2555 privind securitatea cibernetică a rețelelor și sistemelor informatice, transpusă în România prin OUG nr. 155/2024.

Nivel minim de dimare – Cel mai mic nivel al fluxului la care driverul funcționează stabil și la care instalația mai respectă cerințele clasei de iluminat.

Nod de retransmisie – Nod al rețelei mesh plasat pentru a acoperi un gol de acoperire sau pentru a scurta traseele mesajelor.

O

Orbire de disconfort – Senzație de jenă vizuală produsă de surse cu luminanță ridicată în câmpul vizual, fără reducerea obligatorie a capacității de a vedea.

Orbire fiziologică (de incapacitate) – Reducerea capacității de a vedea obiectele din cauza luminii difuzate în ochi de sursele orbitoare; în iluminatul rutier se evaluează prin TI.

OTA (actualizare de la distanță) – Transmiterea și instalarea firmware-ului sau a configurației echipamentelor prin rețeaua de comunicații, fără intervenție la fața locului.

P

PDI (indicatorul densității de putere) – Indicator definit în SR EN 13201-5, exprimat în W/(lx·m²); compară eficiența energetică a instalațiilor de iluminat rutier.

PIR (senzor infraroșu pasiv) – Senzor care detectează mișcarea corpurilor calde prin variația radiației infraroșii recepționate prin lentile segmentate.

Platformă centrală (CMS) – Aplicația software de gestiune a sistemului de telegestiune: inventar, comenzi, programe, alarme, rapoarte și integrări.

Platformă urbană de date – Sistem care colectează, normalizează și pune la dispoziție datele mai multor servicii urbane prin interfețe standardizate.

PLC (comunicație prin rețeaua electrică) – Transmiterea datelor prin conductoarele circuitului de alimentare, între un concentrator din punctul de aprindere și aparate.

Poluare luminoasă – Ansamblul efectelor nedorite ale luminii artificiale: strălucirea cerului, lumina intruzivă și orbirea, cu impact asupra oamenilor și mediului.

Pragul de detecție – Valoarea minimă a semnalului unui senzor la care se generează un eveniment de detecție.

Profil de dimare – Succesiunea programată a nivelurilor de flux pe durata nopții, corelată cu traficul și cu clasele de iluminat admise.

Proiect luminotehnic – Documentația care stabilește clasa de iluminat, soluția constructivă, calculele și verificarea cerințelor normative pentru o instalație.

Protecție diferențială (DDR) – Protecție care deconectează circuitul când curentul diferențial (de defect spre pământ) depășește pragul nominal.

Protecție la suprasarcină și scurtcircuit – Deconectarea automată a circuitului la curenți care depășesc capacitatea conductoarelor sau la defecte între conductoare active.

Punct de aprindere (PA) – Tabloul din care se alimentează și se comandă unul sau mai multe circuite de iluminat public; conține protecții, contactoare, contor și automatizare.

R

Radar (senzor) – Senzor cu microunde care detectează prezența, distanța și viteza obiectelor în mișcare prin efect Doppler.

Radiometrie – Domeniul măsurării radiației electromagnetice în unități energetice (W, W/m², W/sr), fără ponderare după sensibilitatea ochiului.

Recepția instalației – Verificarea finală, prin calcule și măsurări, a conformității instalației cu proiectul și cu cerințele normative, înainte de punerea în exploatare.

Reflexie difuză și speculară – Reflexia luminii în toate direcțiile (difuză) sau după legea reflexiei (speculară); proprietățile carosabilului combină cele două componente.

Regulator de flux – Echipament din punctul de aprindere care reduce tensiunea de alimentare a circuitului pentru reducerea fluxului lămpilor clasice.

Releu bistabil – Releu care își păstrează poziția fără alimentarea bobinei; folosit în controlere pentru reducerea consumului propriu.

Rețea de acces – Segmentul rețelei de comunicații care ajunge până la fiecare aparat și leagă nodurile de gateway sau direct de platformă.

Rețea mesh – Topologie în care nodurile retransmit mesajele vecinilor, formând trasee multiple și autovindecabile.

S

SCADA – Sistem de supraveghere, control și achiziție de date pentru procese distribuite; în iluminat integrează punctele de aprindere și alarmele.

Schemă de legare la pământ (TN, TT) – Modul de legare la pământ a rețelei și a maselor echipamentelor, care determină protecția împotriva șocurilor electrice.

Scotopică (vedere) – Regimul de vedere la luminanțe foarte reduse, asigurat de bastonașe, cu sensibilitate maximă în jurul lungimii de undă de 507 nm.

Securitate cibernetică – Ansamblul măsurilor tehnice și organizatorice care protejează echipamentele, comunicațiile și datele sistemului împotriva accesului neautorizat.

Senzor de lumină ambientală – Senzor care măsoară iluminarea naturală și permite corectarea programului de aprindere sau adaptarea fluxului.

Senzor de prezență – Senzor (PIR, radar, cameră) care detectează vehiculele sau pietonii și declanșează creșterea nivelului de iluminat.

Sferă integratoare – Sferă cu interior difuz reflectant folosită pentru măsurarea fluxului luminos total și a mărimilor spectrale ale surselor.

Sistem duplex (zincare și vopsire) – Protecție anticorozivă combinată, în care stratul de zinc este acoperit de un sistem de vopsire, cu durabilitate mai mare decât suma celor două.

Sky glow (strălucirea cerului) – Creșterea luminanței cerului nocturn prin difuzia în atmosferă a luminii artificiale emise direct sau reflectate.

SPD (dispozitiv de protecție la supratensiuni) – Dispozitiv care limitează supratensiunile tranzitorii și deviază curentul de impuls spre pământ (SR EN 61643-11).

Specificație tehnică – Descrierea cerințelor măsurabile pe care trebuie să le îndeplinească un echipament sau un sistem.

Spectroradiometru – Instrument care măsoară distribuția spectrală a radiației și calculează din aceasta mărimile fotometrice și colorimetrice.

Stâlp de iluminat – Structură de susținere a aparatelor de iluminat, proiectată și verificată conform seriei SR EN 40.

Steradian (sr) – Unitatea SI a unghiului solid: unghiul care delimitează pe o sferă o suprafață egală cu pătratul razei.

T

TALQ – Specificație deschisă pentru interfața dintre platforma centrală și sistemele de telegestiune ale diferiților producători, cu program de certificare.

Telegestiune – Comanda, monitorizarea și administrarea de la distanță a instalației de iluminat, prin noduri, rețele de comunicații și platformă centrală.

Temperatură de culoare – Aspectul cromatic al luminii albe, exprimat în kelvin; valorile mici corespund luminii calde, cele mari luminii reci.

TI (creșterea de prag) – Indicator al orbirii fiziologice în iluminatul rutier, exprimat în procente; arată cât trebuie crescut contrastul pentru a compensa orbirea.

TM-30 (Rf, Rg) – Metodă IES de evaluare a redării culorilor prin indicele de fidelitate Rf și indicele de gamă Rg, calculate pe 99 de eșantioane.

Topologie star – Organizare a rețelei în care fiecare nod comunică direct cu un punct central (gateway sau stație de bază).

Trecere de pietoni – Zonă de traversare a carosabilului, iluminată suplimentar pentru a asigura contrastul pietonului față de fond și iluminarea verticală necesară.

U

UGR (Unified Glare Rating) – Indicator CIE al orbirii de disconfort în iluminatul interior.

Unghi solid (Ω) – Porțiunea de spațiu delimitată de un con cu vârful în centrul unei sfere; se măsoară în steradiani.

Uniformitate generală (U0) – Raportul dintre valoarea minimă și valoarea medie a iluminării sau luminanței pe suprafața de calcul.

Uniformitate longitudinală (Ul) – Raportul dintre luminanța minimă și cea maximă de-a lungul axei unei benzi de circulație.

V

Vedere fotopică – Regimul de vedere la luminanțe ridicate, asigurat de conuri, descris de funcția V(λ) cu maximul la 555 nm.

Z

Zhaga Book 18 – Specificația interfeței de montaj pentru aparatele de exterior, cu conector cu patru contacte, alimentare de 24 V și magistrală DALI.

Zincare la cald (termică) – Acoperirea pieselor din oțel prin imersare în zinc topit (SR EN ISO 1461), care asigură protecție catodică și de barieră.