



UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ ENERGETICĂ

REZUMAT

TEZĂ DE DOCTORAT

*CREȘTEREA EFICIENȚEI ENERGETICE ÎN SISTEMELE
DE ILUMINAT PUBLIC MODERNE*

*INCREASING ENERGY EFFICIENCY IN MODERN
PUBLIC LIGHTING SYSTEMS*

Autor: Ing. Ionuț CIOBANU

Conducător de doctorat: Prof. Dr. Ing. George Cristian LĂZĂROIU

CUPRINS

CAPITOLUL 1	
INTRODUCERE.....	4
1.1. Prezentarea domeniului de cercetare	5
1.2. Scopul tezei de doctorat	5
1.3. Indicatorii de eficiență energetică pentru iluminatul public în Uniunea Europeană și România	5
CAPITOLUL 2	
SISTEME INTELIGENTE PENTRU ILUMINATUL PUBLIC.....	7
2.1. Elementele componente ale sistemului de iluminat public	7
2.2. Stâlpii sistemului de iluminat public	7
2.3. Liniile electrice pentru alimentare a corpurilor de iluminat public	7
2.4. Punctele de aprindere ale sistemului de iluminatului public și cutiile de distribuție.....	8
2.5. Corpurile de iluminat.....	8
2.6. Rețele moderne de comunicație pentru sistemele de iluminat public.....	8
2.7. Dispozitivele de comunicație	9
2.8. Senzorii pentru detecția mișcării	9
2.9. Platforma de telegestiune aferentă unui sistem de iluminat public	9
2.10. Calitatea energiei electrice în iluminatul public	11
CAPITOLUL 3	
EFICIENȚA ENERGETICĂ	12
CAPITOLUL 4	
STUDIU PRIVIND ÎMBUNĂȚĂȚIREA EFICIENȚEI ENERGETICE ÎN SISTEMUL DE ILUMINAT PUBLIC DIN BUCUREȘTI.....	14
4.1. Modalitatea de organizare și funcționare a serviciului de iluminat în București	14
4.2. Regulamentul de funcționare al serviciului de iluminat public în București.....	14
4.2. Evoluția sistemului de iluminat public în București în ultimii 20 de ani	15
CAPITOLUL 5	
OPTIMIZĂRI ÎN SISTEMELE DE ILUMINAT PUBLIC	17
5.1. Introducere.....	17
5.2. Studiu de caz privind rezultatele calculelor luminotehnice în varianta sodiu și LED.....	17
5.3. Eficiența energetică a sistemului „reproiectat” propus comparativ cu varianta „existentă” și a indicatori de performanță energetică specificați în EN13201 în partea a 5-a.....	18
5.3.1. Clasa ME2	18
5.3.2. Clasa ME3a	18

CREȘTEREA EFICIENȚEI ENERGETICE ÎN SISTEMELE DE ILUMINAT PUBLIC MODERNE

5.3.3. Clasa ME4a	18
5.3.4. Clasa ME5	19
CAPITOLUL 6	
CONCLUZIILE TEZEI ȘI CONTRIBUȚIILE PERSONALE.....	20
6.1. Concluziile tezei	20
6.2. Contribuțiile personale ale autorului	22
6.3. Domeniile ulterioare de cercetare.....	22
6.4. Diseminarea rezultatelor.....	23
BIBLIOGRAFIE	24

Cuvinte cheie: eficiența energetică, iluminat public, indicatori eficiența energetică LED,

CAPITOLUL 1

INTRODUCERE

1.1 Prezentarea domeniului de cercetare

În ultimele decenii poluarea aerului a devenit cea mai mare amenințare la adresa sănătății oamenilor, din partea mediului și un factor important al deceselor.

Energia curată și eficiența energetică reprezintă capitole importante ale Strategiei Energetice a României pe termen mediu până în 2030 și pe termen lung spre 2050.

În contextul necesității implementării măsurilor de eficiență energetică în toate domeniile cu potențial real de economisire a energie, iluminatul public devine un element important al procesului de eficientizare energetică.

1.2. Scopul tezei de doctorat

Scopul acestei teze de doctorat este de a identifica și prezenta soluții moderne în domeniul iluminatului public în scopul creșterii eficienței energetice.

Implementarea unui proiect de iluminat stradal eficient depinde în mare măsură de:

- analiza nevoilor locale, a infrastructurii existente și tehnologia disponibilă;
- înțelegere clară a economiilor potențiale de energie electrică și de costuri care urmează să fie realizate prin proiect.

1.3. Indicatorii de eficiență energetică pentru iluminatul public în Uniunea Europeană și România

Indicatorul - este un element care oferă o indicație și ar putea fi oricare dintre diferitele valori statistice care oferă o indicație.

Aferent iluminatului public la nivel de țară se pot identifica mai mulți indicatori de eficiență energetică, cei mai importanți fiind [1]:

- consumul total anual de energie electrică aferent întregului sistem de iluminat public într-o țară (11);
- consumul total anual de energie electrică aferent întregului sistem de iluminat public raportat la consum final de energie electrică al unei țări (12);
- consumul total anual de energie electrică aferent sistemului de iluminat public raportat la numărul de locuitori ai țării (13).

CAPITOLUL 2

SISTEME INTELIGENTE PENTRU ILUMINATUL PUBLIC

2.1. Elementele componente ale sistemului de iluminat public

Sistemul de iluminat aferent căilor de circulație auto este compus din construcții, instalații și echipamente cu o anumită specificitate.

În prezent, pe lângă componentele standard ale sistemului de iluminat public prezentate anterior, apar și elementele inteligente de control al iluminatului stradal care oferă interoperabilitate cu diferite tehnologii de comunicații și platforme IoT (Internet of Things), asigurând în același timp compatibilitatea cu diferiți producători de corpuri de iluminat și dispozitive smart city (senzori de lumină, camere video, senzori pentru determinarea calității aerului, semafoare inteligente).

2.2. Stâlpii sistemului de iluminat public

Stâlpul de iluminat este suportul destinat a susține unul sau mai multe corpuri de iluminat, constituit din una sau mai multe părți, un stâlp eventual o piesă de prelungi și dacă este necesar o consolă, conform standardului european EN 40-1:1991 privind stâlpii pentru iluminat [2].

2.3. Liniile electrice pentru alimentare a corpurilor de iluminat public

Sistemul de iluminat public este o instalație electrică care funcționează la joasă tensiune, respectiv la tensiuni de 400 V și 230 V.

2.4. Punctele de aprindere ale sistemului de iluminatului public și cutiile de distribuție

Punctele de aprindere și cutiile de distribuție au rolul de a realiza distribuția energiei electrice de la postul de transformare până la corpul de iluminat.

2.5. Corpurile de iluminat

Corpul de iluminat este elementul principal al unei instalații de iluminat public, fiind definit ca ansamblul constructiv format din sursa de lumină (lampa clasică sau LED), sistemul de distribuție și repartiție spațială a fluxului luminos constând în reflector (lentilele pentru tehnologia LED) și dispensor, precum și sistemul de rezistență mecanică (carcasa) în care se montează accesoriile (sursa de lumină, balast, igniter, dulie, sau driverul pentru LED).

Corpurile de iluminat cu LED au, de asemenea, potențialul de a crește nivelul factorilor de calitate ai sistemului de iluminat public, împreună cu reducerea orbirii fiziologice maxime, îmbunătățind atât confortul ochilor, cât și capacitatea vizuală a participanților la trafic. Acesta este motivul pentru care, în ultimii ani, autoritățile publice locale, în orașele din întreaga lume au îmbunătățit iluminatul stradal prin investiții în tehnologii LED, care pot oferi o oportunitate unică de reducere a costurilor cu energia electrică și mentenanța, cât și de creștere a protecției mediului.

Producătorii consacrați de corpuri de iluminat stradale cu LED utilizează peste 50 de curbe fotometrice dedicate în funcție de tipul utilizării.

2.6. Rețele moderne de comunicație pentru sistemele de iluminat public

2.6.1. LoRa

LoRa Alliance este o asociație non-profit care a devenit una dintre cele mai mari alianțe din sectorul tehnologic, angajată să permită desfășurarea pe scară largă a „Low Power Wide Area Networks (LPWAN) IoT” prin dezvoltarea și promovarea standardului deschis LoRaWAN® [34].

Gradul de acoperire a rețelei LoRaWAN® la nivel global este semnificativ și se extinde lunar având în prezent 148 operatori de rețea LoRaWAN în 162 țări [3].

2.6.2. ZigBee

ZigBee Alliance a dezvoltat un standard de comunicații fără fir cu un consum foarte redus cu două căi [4].

Arhitectura ZigBee este alcătuită dintr-un set de blocuri numite straturi. Fiecare strat realizează un set specific de servicii pentru stratul de mai sus. O entitate de date furnizează un serviciu de transmisie de date și o entitate de gestionare furnizează toate celelalte servicii..

2.6.3. Zhaga

Zhaga este înființată în 2010 ca o asociație globală de companii de iluminat care vizează standardizarea interfețelor componentelor corpurilor de iluminat LED, inclusiv module LED, echipamente electronice de control (driver LED) și senzorii de detectare [5]. DiiA este organizația globală a industriei pentru interfața digitală de iluminare adresabilă (DALI), standardul global pentru comunicația digitală între dispozitivele de control al iluminatului.

2.6.4. KNX

KNX este o asociație cu peste 500 membri, prezentă în peste 190 de țări care promovează automatizarea clădirilor și a iluminatului public. Dispozitivele KNX sunt conectate prin intermediul unei magistrale de comunicație și pot fi acționate printr-un controler. Rețeaua KNX poate include echipamente de iluminat, senzori, dispozitive de acționare.

2.7. Dispozitivele de comunicație

Comunicarea M2M permite dispozitivelor (corpurilor de iluminat moderne) să se conecteze direct la telefonie mobilă locală prin dispozitive tip prize (socket) Nema și Zhaga. Aceste prize se montează pe carcasa corpului de iluminat la partea superioară și este conectată cu driverul corpului de iluminat cu LED..

2.8. Senzorii pentru detecția mișcării

Autoritățile publice locale care administrează sistemele de iluminat public au impuneri legislative privind îmbunătățirea eficienței energetice. Pornirea iluminatului doar unde și când este nevoie prin utilizarea senzorilor de mișcare, minimizează utilizare irațională a luminii fără a compromite siguranța oamenilor sunt cerințe care pot fi rezolvate prin utilizarea senzorilor pentru detecția mișcării.

2.9. Platforma de telegestiune aferentă unui sistem de iluminat public

Producătorii consacrați de corpuri de iluminat public au dezvoltat odată cu corpurile de iluminat având comunicație de la distanță și platforma software de telegestiune.

Telegestiunea este o suită completă de aplicații software bazate pe web care oferă o gestionare completă de la distanță pentru întreaga infrastructură de iluminat, atât la nivel individual de corp de iluminat cât și de grup.

Platformele de telegestiune sunt concepute pentru a administra, monitoriza și controla iluminatul din întregul oraș, oferind informații în timp real și de analize privind comportamentul infrastructurii de iluminat.

Platformele de telegestiune oferă mai multe nivele de acces:

- **de a administra baza de date** cu corpurile de iluminat și implicit posibilitatea de a opri/porni sau modifica scenariile de funcționare ale corpurilor de iluminat. Acest acces îl au în general firmele care administrează sistemul de iluminat public într-o localitate
- **de a vizualiza și monitoriza datele disponibile în platforma** , dar fără a avea posibilitatea de comandă a corpurilor de iluminat. Acest acces îl au în general reprezentanții autorității publice locale care au în subordine serviciul de iluminat public;
- **de a accesa doar posibilitatea de variere a fluxului luminos** aferent corpurilor de iluminat în anumite zone în situația unui accident sau infracțiune. Acest acces se poate da către Poliția Locală sau Poliția Națională sau către Inspectoratul pentru Situații de Urgență în cazul apariției unui accident auto sau infracțiune într-o anumită zonă în scopul creșterii nivelului de iluminare în zonă.

Administrarea corpurilor de iluminat

Fiecare corp de iluminat integrat în platforma de telegestiune vine cu id-ul unic și cu informații privind tipul corpului de iluminat, puterea instalată, localizarea GPS, data la care a fost integrat în platformă.

Nivelul de variere al fluxului luminos pentru corpurile de iluminat public se stabilește calendaristic în funcție de traficul auto pe perioada nopții și ținând cont de zilele de weekend sau zile lucrătoare inclusiv de existența unor spectacole și evenimente în anumite perioade ale anului în diferite zone ale orașului.

Monitorizarea corpurilor de iluminat

Corpurile de iluminat transmit către platforma în mod direct informații privind starea acestora și eventuale defecțiuni în timp real. Aceste informații permit inițializarea promptă a unei reparații sau înlocuire a corpului de iluminat defect.

Sistemul poate identifica mai multe defecte legate de iluminat, astfel încât să se poată identifica exact de ce un anumit corp de iluminat s-a defectat.

În timpul funcționării se pot afla în orice moment date despre parametrii funcționali ai corpului de iluminat: este pornit/oprit, și alți parametri de funcționare.

Datele contorizate privind consumul de energie electrică pot ajuta la optimizarea întregii infrastructuri de iluminat. Aceste date pot ajuta la realizarea unui plan de acțiune în viitor și la modificarea scenariilor de variație a fluxului luminos pe intervale orare de timp.

Operarea și mentenanța corpurilor de iluminat

Informațiile despre starea corpurilor de iluminat sunt transmise în timp real la nivel de corp de iluminat sau grup de corpuri de iluminat. Defectele și întreruperile în funcționare ale corpurilor de iluminat sunt înregistrate automat și notificările sunt trimise către operatorul platformei. Aceste informații ajută personalul desemnat cu întreținerea sistemului de iluminat public pentru a ajunge la amplasamentul și a interveni asupra acestui echipament.

2.10. Calitatea energiei electrice în iluminatul public

Până în urmă cu câțiva ani corpurile de iluminat aferente sistemului de iluminat public aveau în componența surse de lumină clasice, cele mai utilizate fiind de tip vapori de sodiu. În prezent sunt utilizate cu preponderență sursele de iluminat modern cu LED.

În rețeaua electrică de alimentare a sistemelor de iluminat public apar perturbații electromagnetice care pot afecta calitatea energiei electrice livrată altor consumatori din zonă.

CAPITOLUL 3

EFICIENȚA ENERGETICĂ

În orice domeniu care utilizează energia, eficiența energetică are la bază indicatori specifici.

La nivelul unei localități, pentru iluminatul public se propun mai multi indicatori de eficiență energetică, respectiv:

- consumul total anual de energie al iluminatului public (kWh/an);
- consumul total anual de energie al iluminatului public raportat la consumul global de energie electrică al autorității locale (%);
- consumul total anual de energie al iluminatului public raportat la numărul de locuitori ai localității (kWh/an/locuitor);
- consumul total anual de energie al iluminatului public raportat la numărul corpurilor de iluminat (kWh/an/corp iluminat);
- consumul total anual de energie al iluminatului public raportat la lungimea străzilor iluminate (kWh/km);
- puterea electrică totală instalată a sistemului raportată la numărul de corpuri pentru iluminat (kW/corp iluminat);
- puterea electrică totală instalată a sistemului de iluminat public raportată la lungimea străzilor iluminate (kW/km);
- puterea electrică totală instalată a sistemului de iluminat public raportată la numărul de locuitori ai localității (kW/locuitor);

- fluxul luminos total al corpurilor de iluminat existente în localitate raportat la suprafața străzilor iluminate (lm/m^2).

Standardul european privind iluminatul rutier EN 13201 în partea a 5-a definește indicatori de performanță energetică. În această parte a standardului european se definește modul de calcul pentru indicatorul de densitate a puterii (D_P) și indicatorul consumului anual de energie (D_E) [6].

CAPITOLUL 4

STUDIU PRIVIND ÎMBUNĂȚIREA EFICIENȚEI ENERGETICE ÎN SISTEMUL DE ILUMINAT PUBLIC DIN BUCUREȘTI

4.1. Modalitatea de organizare și funcționare a serviciului de iluminat în București

Serviciul de iluminat public este componentă a serviciilor comunitare de utilități publice definit ca „totalitatea acțiunilor și activităților de utilitate publică și de interes economic și social general desfășurate la nivelul unităților administrativ-teritoriale sub conducerea, coordonarea și responsabilitatea autorităților administrației publice locale, în scopul asigurării iluminatului public”.

4.2. Regulamentul de funcționare al serviciului de iluminat public în București

În anul 2007, Autoritatea Națională de Reglementare pentru Serviciile de Gospodărie Comunală a emis Regulamentul cadru pentru serviciul de iluminat public [7]. Acesta se aplică pentru etapele de proiectare, execuție, întreținere a componentelor iluminatului public.

În 2015 s-a aprobat noul Regulament al Serviciului de Iluminat Public în Municipiul București [8]. Nivelul de iluminare este stabilit prin regulament în conformitate cu SR 13433/1999.

4.2.Evoluția sistemului de iluminat public în București în ultimii 20 de ani

Odată cu demararea contractului având ca obiectiv delegarea pentru serviciului de iluminat public în București a început un amplu proces de dezvoltare și extindere a iluminatului pe străzile neiluminate sau neconforme cu standardele în vigoare.

Conform Strategiei Energetice a Municipiului București realizate de către Grontmij, Carl Bro și ATHenerg, la nivelul anului 2007 puterea electrică pentru iluminatul public a fost 13 MW. Cantitatea anuală de energie electrică utilizată de sistemul de iluminat public pentru 2007 a reprezentat 57 GWh/an (1,1% din totalul consumului din Municipiul București) [9].

Evoluția cantitativă și calitativă a corpuri de iluminat public în București între 2010-2016 este specificată mai jos [10] :

Tabel. 4.1. Evoluția cantitativă și calitativă a corpuri de iluminat public în București între 2010-2016

Anul de referință	Număr corpuri de iluminat	Tehnologie (sodiu/halogenura /LED)	Putere totală instalată (MW)	Consum total pe an (GWh/an)
2010	115.176	Toate	14,45	61,97
2011	116.000	Toate	15,12	64,88
2012	117.437	Toate	14,17	59,57
2013	112.015	Toate	14,20	59,92
2014	114.613	Toate	14,10	59,30
2015	115.522	Toate	Neidentificat	59,45
2016	125.513	Toate	14,50 (plus 0,35 MW iluminat festiv)	62,68

Din tabel rezultă că, între 2010-2016 deși numărul de corpuri de iluminat (puncte luminoase) a crescut cu aproximativ 10%, puterea totală instalată a rămas aproximativ la fel. Explicația este legată de faptul că, pe lângă extinderea sistemului de iluminat public au existat și măsuri de modernizare și eficientizare a consumatorilor prin înlocuirea corpurilor cu mercur, sodiu sau halogen cu corpuri care utilizează tehnologia LED.

Evoluția puterii medii pe corpul de iluminat (W), a consumului mediu anual de energie electrică/corp iluminat (kWh/an) și costului energie electrică/corp iluminat (lei), aferente iluminatului public în București între 2012-2016 este prezentată în tabelul următor [11]:

Tabel 4.2. Evoluția energiei electrice utilizate și a costurilor aferente a sistemului de iluminat public în București între 2012-2016

An	Putere medie/ corp iluminat (W)	Cantitatea medie anuală de energie electrică utilizată/corp iluminat (kWh/an)	Cost cu energia electrică/ corp iluminat (lei)
2012	126,80	507,23	181,27
2013	124,20	496,80	181,27
2014	120,33	481,30	185,39
2015	122,84	491,36	181,88
2016	122,73	490,93	164,10

Între anii 2012-2016 puterea medie pe corpul de iluminat (punct luminos) a scăzut cu 3,3%, de la 126,80 W/corp de iluminat la 122,73 W/corp de iluminat.

CAPITOLUL 5

OPTIMIZĂRI ÎN SISTEMELE DE ILUMINAT PUBLIC

5.1. Introducere

Optimizarea este procesul de alegere și aplicare a soluției optime dintre mai multe posibile în anumite ipoteze. În procesul de optimizare se definește problema, se stabilesc variantele disponibile, se evaluează toate variantele posibile și se alege varianta optimă [56].

Variabilele în optimizarea iluminatului public sunt:

- tipul corpurilor de iluminat;
- distanța între stâlpi;
- înălțimea deasupra planului util a corpului de iluminat care determină înălțimea stâlpului;
- iesirea în consolă a punctului de lumină (lungimea consolei);
- înclinația (consolei și/sau a corpului de iluminat);
- tipul de aranjament al stâlpilor pe stradă, respectiv : unilateral, bilateral față în față și bilateral alternant.

5.2. Studiu de caz privind rezultatele calculelor luminotehnice în varianta sodiu și LED

În prezentul studiu de caz sunt evidențiate prin calcule luminotehnice în programul Dialux [13], criteriile de performanță conform standardul pentru iluminat CEN/TR 13201-2003 [6], pentru patru tipuri de străzi având clasa de iluminare ME2, ME3a, ME4a, ME5 în două situații cu sodiu și LED [13, 14]:

- a) Situația “existentă” cu corpuri de iluminat cu sodiu.

- b) Situația “reproiectată” cu corpuri de iluminat LED amplasate pe stâlpi metalici octogonali.

Factorul de mentinere utilizat în calculul luminotehnici este 0,67 pentru spațiu curat, ciclu de intretinere la 3 ani.

- 5.3. Eficiența energetică a sistemului „reproiectat” propus comparativ cu varianta „existentă” și a indicatori de performanță energetică specificați în EN13201 în partea a 5-a

Eficiența energetică a sistemului „reproiectat” propus comparativ cu varianta „existentă” și a indicatori de performanță energetică specificați în EN 13201 în partea a 5-a s-au calculate pentru rute de trafic (clasele ME2, ME3a, ME4a, ME5 în standardul EN 13201-1).

5.3.1. Clasa ME2

Calculul eficienței energetice a variantei propuse cu sistem “reproiectat” utilizând corpuri de iluminat cu LED de 156 W, comparativ cu varianta “existentă” utilizând corp de iluminat cu sodiu de 256 W [15]:

Se constată că eficiența energetică a crescut cu aproximativ 39%, în condițiile respectării criteriilor de performanță și calitate ai iluminatului, conform Standardului pentru iluminat CEN/TR 13201-2003.

5.3.2. Clasa ME3a

Calculul eficienței energetice a variantei propuse cu sistem “reproiectat” utilizând corpuri de iluminat cu LED de 97 W, comparativ cu varianta “existentă” utilizând corp de iluminat cu sodiu de 158 W [15]:

Se constată că eficiența energetică a crescut cu aproximativ 38%, în condițiile respectării criteriilor de performanță și calitate ai iluminatului, conform Standardului pentru iluminat CEN/TR 13201-2003.

5.3.3. Clasa ME4a

Calculul eficienței energetice a variantei propuse cu sistem “reproiectat” utilizând corpuri de iluminat cu LED de 49,5 W, comparativ cu varianta “existentă” utilizând corp de iluminat cu sodiu de 105,4 W [15]:

Se constată că eficiența energetică a crescut cu aproximativ 53%, în condițiile respectării criteriilor de performanță și calitate ai iluminatului, conform Standardului pentru iluminat CEN/TR 13201-2003.

5.3.4. Clasa ME5

Calculul eficienței energetice a variantei propuse cu sistem “reproiectat” utilizând corpuri de iluminat cu LED de 39,5 W, comparativ cu varianta “existentă” utilizând corp de iluminat cu sodiu de 84,5 W [15]:

Se constată că eficiența energetică a crescut cu aproximativ 53%, în condițiile respectării criteriilor de performanță și calitate a iluminatului, conform Standardului pentru iluminat CEN/TR 13201-2003.

CAPITOLUL 6

CONCLUZIILE TEZEI ȘI CONTRIBUȚIILE PERSONALE

Teza de doctorat a realizat o analiză a sistemelor moderne de iluminat public, modalități de creștere a eficienței energetice aferente acestor sisteme dar și optimizări pentru parametrii variabili de aranjament în scopul scăderii consumului de energie electrică, având la bază costuri investiționale minime.

6.1. Concluziile tezei

Impunerile care stau la baza optimizării în sistemele de iluminat public țin de îndeplinirea criteriilor de performanță specificate în standardului internațional pentru iluminat CEN/TR 13201-2003 aferente fiecărei clase luminotehnice privind: luminanța medie L_{med} [cd/m^2], uniformitatea luminanței $U_0 = L_{min}/L_{med}$, uniformitatea longitudinală a luminanței $U_1 [\%] = L_{min}/L_{max}$, orbirea fiziologică maximă $T_i [\%]$ și raport de zonă alăturată SR [16].

Procesul de optimizarea în sistemele de iluminat public se poate realiza pentru următoarele situații: modernizarea parțială sau totală a iluminatului public și extinderi ale iluminatului public în zonele neiluminate.

Variabilele identificate în procesul de optimizare a iluminatului public asupra cărora se poate acționa sunt:

- tipul corpurilor de iluminat și puterea electrică instalată a acestuia;
- distanța între stâlpi;
- înălțimea deasupra planului util a corpului de iluminat care determină înălțimea stâlpului;

- iesirea în consolă a punctului de lumină (lungimea consolei);
- înclinația (consolei și/sau a corpului de iluminat);
- tipul de aranjament al stâlpilor pe stradă, respectiv: unilateral, bilateral față în față și bilateral alternant.

Prin utilizarea programului de calcul luminotehnic Dialux se pot realiza optimizării prin intermediul secțiunii *Aranjament optimizat pentru corpurile de iluminat*.

Varianta finală optimă tehnic și economic este cea care are:

- corpul de iluminat cu puterea electrică instalată **cea mai scăzută**;
- **valoarea maximă** pentru distanța între stâlpi (rezultă un număr mai mic de stâlpi pe stradă);
- **valoarea minimă** pentru înălțimea stâlpilor (cu cât stâlpii au înălțimea mai mică vor avea un pret mai scăzut);
- **valoarea minimă** a lungimii consolei (consola având o lungime mai mică are și un cost mai mic);
- costul total al investiției pentru stâlpi, console și corpurile de iluminat în cazul analizei mai multor tipuri de corpuri de iluminat trebuie să fie **minimul** tuturor variantelor analizate.

În cadrul Capitolului II s-au prezentat sistemele inteligente utilizate în iluminatul public modern și beneficiile adoptării acestora. Au fost evidențiate rețelele moderne de comunicație pentru sistemele de iluminat public dezvoltate de asociații globale de companii de iluminat (LoRa Alliance, Zigbee, Zhaga, KNX) care vizează standardizarea interfețelor componentelor corpurilor de iluminat LED, inclusiv module LED, echipamente electronice de control (drive LED) și senzorii de detectare prezență.

Prin Capitolul III s-a urmărit identificarea unor indicatori de eficiență energetică la nivelul unei localități în scopul cuantificării soluțiilor pentru sistemele inteligente adoptate pentru modernizarea iluminatului public.

Capitolul IV a analizat componentea sistemului de iluminat public din București oferind informații despre situația evoluției cantitative și calitative a elementelor sistemului de iluminat stradal în ultimii 20 de ani dar și o propune privind costurile investitoriale estimate pentru trecerea la tehnologia LED a corpurilor de iluminat.

În Capitolul V s-a cercetat, prin studii de caz, pentru principalele clase luminotehnice aferente iluminatului stradal evoluția eficienței energetice și a indicatorilor de performanță

energetică în varianta existentă cu corpuri de iluminat utilizând tehnologia cu sodiu la înaltă presiune și variantă optimizată utilizând tehnologia LED.

6.2. Contribuțiile personale ale autorului

În prezenta teză de doctorat s-au adus următoarele contribuții personale:

- realizarea unor studii bibliografice privind componentele moderne ale sistemelor de iluminat public;
- identificarea prin studii bibliografice a indicatorilor de eficiență energetică pentru iluminatul public la nivel de țară;
- crearea și identificarea unor indicatori de eficiență energetică la nivelul unei localități în scopul cuantificării soluțiilor pentru sistemele inteligente adoptate pentru modernizarea iluminatului public;
- cercetarea situației sistemului de iluminat public din București privind regulamentul de funcționare;
- identificarea evoluției cantitative și calitative a elementelor sistemului de iluminat public în ultimii 20 de ani în București;
- stabilirea costurilor investitoriale estimate pentru trecerea la tehnologia LED a corpurilor de iluminat public în București;
- analiza variabilelor în optimizarea sistemului de iluminatului public pentru situațiile de modernizare parțială, modernizare totală cât și pentru extinderi ale acestuia;
- elaborarea unor studii de caz privind analiza evoluției eficienței energetice și a indicatorilor de performanță energetică în cazul unei situații existente cu corpuri de iluminat utilizând tehnologia cu sodiu la înaltă presiune dar și a situației optimizate utilizând tehnologia LED.

6.3. Domeniile ulterioare de cercetare

Eficiența energetică în sistemele de iluminat public moderne analizată prin prezenta teză de doctorat este parte componentă a unui domeniu foarte vast reprezentat de eficiența energetică.

Domeniile ulterioare de cercetare pot include:

- posibilitatea integrării surselor regenerabile de energie în sistemele de iluminat public;
- analiza perturbațiilor electromagnetice produse de corpurile de iluminat cu LED-uri montate în sistemele de iluminat public;

- dezvoltarea unor algoritmi de variere a fluxului luminos pentru corpurile de iluminat public pe intervale de timp nocturne în funcție de traficul auto;
- dezvoltarea sistemelor de iluminat public aferente trecerilor de pietoni;
- interconectarea sistemelor de iluminat public modern în platforme de smart city.

6.4. Diseminarea rezultatelor

Diseminarea rezultatelor s-a făcut prin publicarea unui număr de cinci lucrări științifice în domeniul tezei. Dintre articolele publicate, trei lucrări [1 ÷ 3] sunt indexate în baza de date Web of Science, o lucrare [4] este în Buletinul AGIR (Supliment Buletinul AGIR 1/2016), o lucrare [5] este în Revista “Buletin Științific” din cadrul Universității Politehnica din București.

1. **I. Ciobanu**, R. D. Pentiuc, "Cercetare privind soluțiile de creștere a eficienței energetice în sistemele de iluminat public din România", 2016 Conferința Internațională privind Dezvoltarea și Aplicarea Sistemelor (DAS), Suceava, 2016, pp. 50-56.
2. **I. Ciobanu**, R. D. Pentiuc, "Analiza posibilității de utilizare a soluțiilor retrofit pentru creșterea eficienței energetice a sistemului de iluminat public", 2016 Conferința Internațională privind Electricitatea Aplicată și Teoretică (ICATE), Craiova, 2016
3. **I. Ciobanu**, N.Golovanov, G.C. Lazaroiu, " Îmbunătățirea eficienței energetice pentru iluminatul public al trecerilor de pietoni", 2017 Conferința Internațională privind Energia și Mediul (CIEM), București, 2017
4. **I. Ciobanu**, R. D. Pentiuc, "Iluminatul fotovoltaic în comunitățile urbane și rurale", 2016 Forumul Regional pentru Europa Centrală și de Est (FOREN), Costinești, 2016
5. **I. Ciobanu**, M. Ciurescu-Țibrian, "Creșterea eficienței energetice în sisteme de iluminat public", 2021 Revista “Buletin Științific” din cadrul Universității Politehnica din București - U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 83, Iss. 4, ISSN 2286-3540, București, 2021

BIBLIOGRAFIE

- [1] **I. Ciobanu, R. D. Pentiuc, "Cercetare privind soluțiile de creștere a eficienței energetice în sistemele de iluminat public din România," 2016 Conferința Internațională privind Dezvoltarea și Aplicarea Sistemelor (DAS), Suceava, 2016, pp. 50-56.**
- [2] EN 40-1:1991 privind stâlpii pentru iluminat.
- [3] <https://lora-alliance.org>
- [4] <https://zigbeealliance.org>
- [5] <https://www.zhagastandard.org/about-us.html>
- [6] <https://www.ledil.com>
- [7] <http://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/81975>
- [8] <http://www4.pmb.ro/wwwt/institutii/CGMB/sedinte>
- [9] Grontmij, Carl Bro si ATHenerg - Strategia Energetică a Municipiului București 11. 2007.
- [10] SC Interproiect Consulting - Raport de evaluare la valoarea justă a mijloacelor fixe ce urmează a fi predate către Primăria Municipiului București -2018
- [11] Asociației de Dezvoltare Intercomunitară pentru Iluminat Public București - Studiu de Oportunitate privind Modalitatea de Gestiune a Serviciului de Iluminat Public pentru arealul teritorial al Asociației de Dezvoltare Intercomunitară pentru Iluminat Public București -2018
- [12] http://gheorghe-grigoras.ieeia.tuiasi.ro/SDOE/1_Introducere.pdf
- [13] www.dial.de.
- [14] **I. Ciobanu, R. D. Pentiuc, "Analiza posibilității de utilizare a soluțiilor retrofit pentru creșterea eficienței energetice a sistemului de iluminat public," 2016 Conferința Internațională privind Electricitatea Aplicată și Teoretică (ICATE), Craiova, 2016**
- [15] PE 136/80 Normativ republican privind folosirea rațională a energiei electrice la iluminatul artificial, precum și în utilizari casnice.