



UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI
FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ,
ENERGETICĂ ȘI INFORMATICĂ APLICATĂ



TEZĂ DE ABILITARE

INGINERIA ILUMINATULUI, ÎN ADEVĂRATA LUMINĂ

Domeniul: **INGINERIE ELECTRICĂ**

Autor: Prof.univ.dr.ing. Cătălin Daniel Gălățanu

2022

Cuprins

Cuprins	iii
Rezumat	1
Abstract	4
Cuvânt înainte.....	8
1. Probleme speciale în calculul sistemelor de iluminat	14
1.1. Calculul sistemelor de iluminat pentru clădiri de patrimoniu	14
1.1.1. Metodă nouă de calcul pentru iluminarea directă.....	14
1.1.2. Modelarea arcurilor în Dialux Evo9	17
1.1.3. Modelarea arcurilor în Matlab	18
1.1.4. Modelarea iluminării arcului în Matlab	19
1.1.5. Referințe	20
1.2. Optimizarea iluminării într-un tunel scurt și drept, prin proiectarea cu software specializat	22
1.2.1. Particularitățile proiectării iluminatului la un tunel	22
1.2.2. Proiectarea iluminatului pentru tunelu TMK din Reșița	22
1.2.3. A doua iterație pentru proiectarea tunelului TMK.....	25
1.2.4. Referințe	28
1.3. Optimizarea mediului luminos utilizând software-ul DiaLUX la Căminul de bătrâni „Constantin și Elena” – Studiu de caz.....	29
1.3.1. Limitările metodei clasice pentru proiectarea iluminatului interior	29
1.3.2. Evaluarea contrastului de luminanță utilizând simulări MATLAB	32
1.3.3. Discuții	34
1.3.4. Referințe	35

CUPRINS

1.4.	Factorul de utilizare pentru iluminatul architectural	37
1.4.1.	Relevanța factorului de utilizare (FU).....	37
1.4.2.	Factorul de amplificare al fluxului luminos la interreflecțiile din concavități	38
1.4.2.1.	Fațada plană	38
1.4.2.2.	Amplificarea utilă a fluxului dintr-un cilindru complet	40
1.4.2.3.	Calculul MATLAB pentru FU pentru un cilindru complet.....	42
1.4.2.4.	Flux luminos incident pe o concavitate cilindrică a unei fațade.....	43
1.4.3.	Măsurarea amplificării FU	45
1.4.4.	Amplificarea luminanței la profiluri longitudinale multiple	47
1.4.5.	Referințe	49
2.	Măsurarea luminanței și efecte asupra poluării luminoase	51
2.1.	Măsurători ale luminanței pentru evaluarea poluării luminoase.....	51
2.1.1.	Probleme în calibrarea DSLR.....	51
2.1.2.	Metoda de calibrare rapidă pentru DSLR.....	54
2.1.3.	Interpretarea datelor	58
2.1.4.	Referințe	60
2.2.	Câmpul de luminanțe al fațadelor: de la iluminat agresiv la atractiv.....	62
2.2.1.	Hărți de luminanțe.....	62
2.2.2.	Metodologie	63
2.2.3.	Referințe	68
2.3.	Identificarea poluării luminoase: studiu de caz Jeju, Korea.....	70
2.3.1.	Tendențe în studierea poluării luminoase	70
2.3.2.	Măsurarea globală a poluării luminoase.....	71
2.3.3.	Veriga lipsă din lanțul de evaluare a poluării luminoase	73
2.3.4.	Fațada Hotel Pacific din Jeju, Coreea de Sud – studiu de caz	74
2.3.4.1.	Localizare	74
2.3.4.2.	Viziunea nocturnă a peisajului.....	75

CUPRINS

2.3.4.3. Evenimentul revelator pentru poluarea luminoasă	76
2.3.4.4. Fațada nord-estică fără poluare luminoasă	77
2.3.4.5. Evaluarea sursei de poluare luminoasă	78
2.3.5. Referințe	79
2.4. Evaluarea contrastului de luminanțe pentru confortul vizual al vârnichilor, utilizând măsurători imagistice	82
2.4.1. Metoda de evaluare cantitativă pentru contrastul de luminanță	82
2.4.2. Analiza scenei – Căminul de bătrâni Constantin și Elena, Iași	83
2.4.3. Interpretări	86
2.4.4. Referințe	87
2.5. Reducerea consumului de energie pentru sistemele de iluminat arhitectural.....	88
2.5.1. Introducere.....	88
2.5.2. Optimizarea iluminatului arhitectural pe baza contrastului de luminanță.....	89
2.5.3. Descrierea sistemului de iluminat arhitectural	92
2.5.4. Achiziția datelor.....	93
2.5.5. Studiu de caz.....	94
2.5.6. Referințe	98
3. Studiu numeric al efectului vântului asupra încălzirii panourilor fotovoltaice	100
3.1. Studiu numeric al efectului vântului asupra încălzirii panourilor fotovoltaice	100
3.1.1. Introducere.....	100
3.1.2. Datele problemei	101
3.1.2.1. Geometrie	101
3.1.2.2. Model fizic.....	104
3.1.2.3. Metoda numerică	105
3.1.3. Rezultate și discuții	105
3.1.4. Referințe	108
3.2. Poziționarea senzorilor încorporați în izolația termică pentru clădiri.....	109

CUPRINS

3.2.1.	Introducere.....	109
3.2.2.	Veriga lipsă a lanțului de măsurare.....	110
3.2.3.	Sistemul de măsurare propus.....	111
3.2.4.	Amplasarea senzorului în bara de senzori.....	114
3.2.5.	Concluzii.....	115
3.2.6.	Referințe	116
4.	Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor	117
4.1.	Măsurători temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor ..	117
4.1.1.	Provocările temperaturii de culoare a surselor de lumină	117
4.1.1.1.	Percepția subiectivă a calității culorii	117
4.1.1.2.	Metrici de culoare pentru evaluarea surselor de lumină	118
4.1.1.3.	Cercetări experimentale pentru evaluarea calității culorii surselor de lumină LED	119
4.1.2.	Colorimetrie și indicatori specifici.....	119
4.1.2.1.	Colorimetrie	119
4.1.2.2.	Funcții de potrivire a culorilor și valori tristimul	120
4.1.2.3.	Diagrama cromaticității	120
4.1.2.4.	Temperatura de culoare corelată.....	121
4.1.2.5.	Calculul Delta u, v	121
4.1.3.	Caracteristicile senzorului de imagini	122
4.1.4.	Metoda de măsurare a prelucrării imaginilor	122
4.1.5.	Referințe	126
4.2.	Studiu asupra influenței diferiților factori asupra măsurării CCT pentru un sistem de iluminat cu reglare automată a CCT	127
4.2.1.	Strucura hardware utilizată.....	127
4.2.2.	Măsurarea CCT	128
4.2.3.	Influența distanței dintre senzor și sursa de lumină	129
4.2.4.	Influența nivelului de iluminare - dimmarea	131

CUPRINS

4.2.5.	Influența poziției	132
4.2.6.	Reducerea erorilor de măsurare	134
4.2.7.	Referințe	136
4.3.	Dispozitiv portabil pentru măsurarea expunerii la iluminatul artificial	137
4.3.1.	Descrierea sistemului	137
4.3.2.	Metodologie	139
4.3.3.	Hardware	139
4.3.4.	Software	140
4.3.5.	Resultate și discuții	141
4.3.6.	Referințe	143
5.	Măsurători imagistice pentru iluminatul stradal	145
5.1.	Evaluarea parametrilor zonei de conflict	145
5.1.1.	Calculul parametrilor luminotehnici	145
5.1.2.	Studiul de caz: Calculul intersecției Bucșinescu	147
5.1.3.	Referințe	152
5.2.	Măsurători imagistice în tuneluri scurte	154
5.2.1.	Prezentare generală a tunelurilor	154
5.2.2.	Măsurători luminotehnice	155
5.2.3.	Rezultatele măsurării luminanței pentru tunelul TMK	156
5.2.4.	Câmpul de luminanțe pentru Pasajul Mihai Eminescu	159
5.2.5.	Variația luminanței de-a lungul căii de circulație	160
5.2.6.	Referințe	163
5.3.	Măsurători imagistice pentru mentenanța predictivă a iluminatului public	164
5.3.1.	Introducere	164
5.3.1.1.	Mentenanța tradițională în iluminatul public	164
5.3.1.2.	Întreținerea iluminatului public în orașele inteligente	165
5.3.1.3.	Măsurători pentru lucrări de mentenanță în iluminatul public	166

CUPRINS

5.3.2.	Măsurări de luminanță pentru aparate de iluminat stradal	168
5.3.3.	Măsurări de temperatură a culorii corelate pentru iluminarea străzii	171
5.3.4.	Referințe	172
5.4.	Optimizarea conectării/deconectării sistemelor de iluminat public în funcție de clasa de drum	174
5.4.1.	Problema coectării/deconectării sistemelor de iluminat public	174
5.4.2.	Vederea mezopică	175
5.4.3.	Răsăritul și apusul soarelui	176
5.4.4.	Pragul de iluminare pentru comanda iluminatului stradal.....	177
5.4.5.	Contrastul de luminanță și vederea în timpul crepusculului	178
5.4.6.	Referințe	181
5.5.	Măsurarea proprietăților de reflexie a asfaltului folosind metode fotografice	182
5.5.1.	Introducere.....	182
5.5.2.	Argumente pentru măsurarea reflexiei asfaltului.....	182
5.5.2.1.	Recoltarea energiei solare și factorul de reflexie.....	182
5.5.2.2.	Eficiența energetică și importanța factorului de reflexie	183
5.5.2.3.	Reflectanța asfaltului și poluarea luminoasă	184
5.5.3.	Complexitatea măsurării reflectanței și performanța iluminatului stradal	184
5.5.4.	Evaluarea coeficientului de luminanță redus pentru tipul de asfalt C2, N1 și W4	186
5.5.5.	Măsurători experimentale	190
5.5.6.	Referințe	192
5.6.	Măsurarea expunerii șoferului la poluarea luminoasă. Dezvoltarea standului experimental ...	194
5.6.1.	Studiul domeniul de luminanță primit de șofer	194
5.6.2.	Principalele componente ale standului experimental.....	196
5.6.3.	Simularea luminotehnică a senzorului de luminanță	197
5.6.4.	Calibrarea camerei PI	199
5.6.5.	Referințe	202

Rezumat

Autorul are cinci direcții de cercetare principale, după care este structurată și Teza de abilitare, respectiv următoarele:

1. Modelarea și calculul sistemelor de iluminat

- a. Chiar dacă există programe specializate foarte puternice, teoria clasică a calculului luminotehnic admite încă îmbunătățiri, prin generalizarea calculului iluminării suprafețelor oarecare, calculul reflexiilor multiple între suprafețe de forme oarecare.
- b. Calculul sistemelor de iluminat pentru tuneluri, datorită slabei dezvoltări a infrastructurii respective din România, pune probleme de calcul speciale, care nu sunt accesibile programelor de calcul generale.
- c. Proiectarea sistemelor de iluminat pentru persoane vârsnice este altă direcție în care calculul tradițional nu este acoperitor, autorul demonstrând că este necesară o proiectare nu după nivelul de iluminare, ci după contrastul de luminanță.

2. Măsurarea imagistică a luminanței și lupta cu poluarea luminoasă

- a. Calibrarea camerelor digitale pentru măsurarea luminanței este o realizare de mare valoare, pe baza căreia autorul a câștigat trei granturi specializate și a reușit să abordeze numeroase subiecte de cercetare.
- b. Măsurarea luminanței și mai ales a câmpului de luminanțe este o metodă de cercetare cu mare impact, deoarece în mod uzual, în ingineria luminotehnică, această mărime nu este nici calculată și nici măsurată. Realizarea hărților de luminanțe ale fațadelor de clădiri a permis autorului să „descopere” lumea, și mai ales să descopere poluarea luminoasă.
- c. Măsurarea imagistică a luminanței i-a permis autorului să pună evidență nu numai prezența poluării luminoase, la care ochiul nu este sensibil, dar i-a permis să identifice chiar și sursa acestei poluări, prin studii de caz.
- d. Măsurarea în teren a contrastului de luminanță este foarte utilă pentru estimarea vizibilității unor scene reale, atât pentru observatorul normal dar și pentru observatorii vârsnici sau cu afecțiuni. Metoda are potențial de aplicare la multe alte probleme legate de vizibilitate, de la marcaje rutiere la semnalizări diverse, pe timp senin sau ceață etc.
- e. Proiectarea iluminatului architectural în funcție de contrastul de luminanță, cu implicarea

microsistemelor încorporate și a posibilităților oferite de IoT , este altă direcție de cercetare valoroasă, deoarece adaugă și economia de energie ca prioritate strategică.

3. Studiul regimului termic al dispozitivelor electrice

- a. Dispozitivul studiat este panoul fotovoltaic, funcționând într-un mediu tropical, dar metodologia de studiu are aplicabilitate cu potențial de valorificare în două contracte de cercetare în care autorul este membru, cu desfășurare în anii 2020 – 2022. Primul contract are ca temă optimizarea regimului termic a panourilor fotovoltaice, prin răcire forțată. Al doilea contract are ca temă un sistem modular solar hibrid pentru încălzirea clădirilor cu producere simultană de energie electrică cu panouri fotovoltaice și producție și de apă caldă de consum. Acest contract are perioadă de desfășurare tot între anii 2020 – 2022.
- b. A doua direcție de cercetare, desfășurată în prezent, este studiul regimului termic al unei sfere integratoare. Această sferă este realizată prin printare 3D, și are o structură caracteristică de tip fagure. Materialul utilizat este foarte sensibil la temperatură și de aceea trebuie studiate degajările maxime admisibile ale surselor de iluminat, pentru care nu se atinge temperatura limită admisibilă.

4. Colorimetrie – Măsurarea temperaturii de culoare și calitatea surselor de lumină

- a. Măsurătorile imagistice pot fi utilizate pentru caracterizarea surselor de lumină, a căror parametri se pot deprecia în timp.
- b. Măsurarea imagistică a temperaturii de culoare este o metodă mult mai accesibilă comparativ cu utilizarea unui spectrometru.
- c. Microsistemele încorporate sunt altă direcție de cercetare, care stau la baza unui sistem purtabil capabil să analizeze expunerea subiecților la diverse medii luminoase, posibil vătămătoare.

5. Măsurători imagistice pentru iluminatul public

- a. Iluminatul stradal este în plină re tehnologizare, prin implementarea surselor cu LED. Reproiectarea iluminatului stradal face ca interesul pentru acest subiect să fie major, cu multe aspecte particulare, cum ar fi vizibilitatea în intersecții.
- b. Măsurătorile imagistice au aplicabilitate în evaluarea cantitativă a zonelor în care vizibilitatea este o prioritate de care depinde siguranța traficului rutier, cum este cazul tunelurilor rutiere.
- c. Menținerea predictivă, atât de importantă în multe domenii tehnice, nu are suport tehnic pentru iluminatul stradal, deși durata mare de viață a LED-urilor ar justifica aceste

intervenții. Metoda autorului pentru măsurarea luminanțelor mari ale LED-urilor permite urmărirea degradării în timp a parametrilor și găsirea unor strategii pentru mentenanța predictivă.

- d. Conectarea iluminatului public în funcție de vizibilitatea minimă obligatorie, care depinde de clasa de drum, este altă direcție de cercetare cu grad mare de originalitate, în care analiza contrastului de luminanță este valorificată.
- e. Analiza câmpului de luminanțe care solicită vederea unui șofer pe durata conducerii pe timp de noapte este altă direcție de cercetare. O reușită maximă ar fi implementarea standului experimental realizat ca sistem de siguranță suplimentar la bordul autovehiculelor, dar și în variantă mai modestă, se vor obține rezultate sub forma monitorizării mediului luminos agresiv al orașelor.

Abstract

The author has five main research directions, after which the Habilitation Thesis is structured, respectively the following:

1. Modeling and calculation of lighting systems

- a. Even if there are very strong specialized programs, the classical theory of lighting calculation still admits improvements, by generalizing the calculation of the illumination of some surfaces, the calculation of multiple reflections between surfaces of any shapes.
- b. The calculation of lighting systems for tunnels, due to the poor development of the respective infrastructure in Romania, poses special calculation problems, which are not accessible to general calculation programs.
- c. The design of lighting systems for the elderly is another direction in which the traditional calculation is not comprehensive, the author demonstrating that a design is necessary not according to the lighting level, but according to the luminance contrast.

2. Imaging luminance measurement and the fight against light pollution

- a. The calibration of digital cameras for luminance measurement is a valuable achievement, based on which the author has won three specialized grants and has managed to address many research topics.
- b. Measuring luminance and especially the luminance field is a high-impact research method, because usually, in lighting engineering, this quantity is neither calculated nor measured. The creation of luminance maps of building facades allowed the author to "discover" the world, and especially to discover light pollution.
- c. The imaging measurement of luminance allowed the author to highlight not only the presence of light pollution, to which the eye is not sensitive, but also allowed him to identify the source of this pollution, through case studies.
- d. Field measurement of luminance contrast is very useful for estimating the visibility of real scenes, both for the normal observer but also for elderly or afflicted observers. The method has the potential to be applied to many other problems related to visibility, from road markings to various signs, in clear weather or fog, etc.
- e. Designing architectural lighting according to luminance contrast, with the involvement of

embedded microsystems and the possibilities offered by IoT, is another valuable research direction, as it adds energy saving as a strategic priority.

3. Study of the thermal regime of electrical devices

- a. The studied device is the photovoltaic panel, operating in a tropical environment, but the study methodology has applicability with potential for capitalization in two research contracts in which the author is a member, running from 2020 to 2022. The first contract is about optimization thermal regime of photovoltaic panels, by forced cooling. The second contract has as its theme a hybrid modular solar system for heating buildings with simultaneous production of electricity with photovoltaic panels and production and hot water consumption. This contract also runs from 2020 to 2022.
- b. The second research direction, currently carried out, is the study of the thermal regime of an integrating sphere. This sphere is made by 3D printing, and has a characteristic honeycomb structure. The material used is very sensitive to temperature and therefore the maximum permissible clearances of the lighting sources must be studied, for which the permissible temperature limit is not reached.

4. Colorimetry - Measurement of color temperature and quality of light sources

- a. Imaging measurements can be used to characterize light sources, whose parameters can depreciate over time.
- b. Imaging measurement of color temperature is a much more affordable method compared to using a spectro-meter.
- c. Embedded microsystems are another direction of research, which underlie a portable system capable of analyzing the exposure of subjects to various light environments, possibly harmful.

5. Imaging measurements for public lighting

- a. The street lighting is in full refurbishment, by implementing LED sources. The redesign of street lighting makes the interest for this subject to be major, with many particular aspects, such as visibility in intersections.
- b. Imaging measurements are applicable in the quantitative assessment of areas where visibility is a priority on which road traffic safety depends, as is the case with road tunnels.
- c. Predictive maintenance, so important in many technical areas, has no technical support for street lighting, although the long life of LEDs would justify these interventions. The author's method for measuring high luminances of LEDs allows tracking the degradation of parameters over time and finding strategies for predictive maintenance.

- d. The connection of the public lighting according to the obligatory minimum visibility, which depends on the road class, is another research direction with a high degree of originality, in which the analysis of the luminance contrast is capitalized.
- e. Analyzing the luminance field that requires a driver's vision while driving at night is another area of research. A maximum success would be the implementation of the experimental stand made as an additional safety system on board vehicles, but also in a more modest version, results will be obtained in the form of monitoring the aggressive lighting environment of cities.

Cuvânt înainte

Principalele rezultate științifice ale autorului se concretizează în articole și brevete de invenție:

- 32 de publicații indexate World of Science, dintre care 5 în jurnale, din care patru articole în jurnale cu factor de impact. Tot în acest număr se regăsesc și șapte brevete de invenție indexate WOS.
- 17 publicații indexate BDI, din care două în reviste indexată BDI.
- Patru granturi câștigate în competiție națională, ca director de proiect.

Autorul are cinci direcții de cercetare principale, după care este structurată și Teza de abilitare, respectiv următoarele:

1. Modelarea și calculul sistemelor de iluminat

- a. Chiar dacă există programe specializate foarte puternice, teoria clasică a calculului luminotehnic admite încă îmbunătățiri, prin generalizarea calculului iluminării suprafețelor oarecare, calculul reflexiilor multiple între suprafețe de forme oarecare.
- b. Calculul sistemelor de iluminat pentru tuneluri, datorită slabei dezvoltări a infrastructurii respective din România, pune probleme de calcul speciale, care nu sunt accesibile programelor de calcul generale.
- c. Proiectarea sistemelor de iluminat pentru persoane vârstnice este altă direcție în care calculul tradițional nu este acoperitor, autorul demonstrând că este necesară o proiectare nu după nivelul de iluminare, ci după contrastul de luminanță.

2. Măsurarea imagistică a luminanței și lupta cu poluarea luminoasă

- a. Calibrarea camerelor digitale pentru măsurarea luminanței este o realizare de mare valoare, pe baza căreia autorul a câștigat trei

granturi specializate și a reușit să abordeze numeroase subiecte de cercetare.

- b. Măsurarea luminanței și mai ales a câmpului de luminanțe este o metodă de cercetare cu mare impact, deoarece în mod uzual, în ingineria luminotehnică, această mărime nu este nici calculată și nici măsurată. Realizarea hărților de luminanțe ale fațadelor de clădiri a permis autorului să „descopere” lumea, și mai ales să descopere poluarea luminoasă.
- c. Măsurarea imagistică a luminanței i-a permis autorului să pună evidență nu numai prezența poluării luminoase, la care ochiul nu este sensibil, dar i-a permis să identifice chiar și sursa acestei poluări, prin studii de caz.
- d. Măsurarea în teren a contrastului de luminanță este foarte utilă pentru estimarea vizibilității unor scene reale, atât pentru observatorul normal dar și pentru observatorii vârstnici sau cu afecțiuni. Metoda are potențial de aplicare la multe alte probleme legate de vizibilitate, de la marcaje rutiere la semnalizări diverse, pe timp senin sau ceață etc.
- e. Proiectarea iluminatului arhitectural în funcție de contrastul de luminanță, cu implicarea microsystemelor încorporate și a posibilităților oferite de IoT , este altă direcție de cercetare valoroasă, deoarece adaugă și economia de energie ca prioritate strategică.

3. Studiul regimului termic al dispozitivelor electrice

- a. Dispozitivul studiat este panoul fotovoltaic, funcționând într-un mediu tropical, dar metodologia de studiu are aplicabilitate cu potențial de valorificare în două contracte de cercetare în care autorul este membru, cu desfășurare în anii 2020 – 2022. Primul contract are ca temă optimizarea regimului termic a panourilor fotovoltaice, prin răcire forțată. Al doilea contract are ca temă un sistem modular solar hibrid pentru încălzirea clădirilor cu producere simultană de energie electrică cu panouri fotovoltaice

și producție și de apă caldă de consum. Acest contract are perioadă de desfășurare tot între anii 2020 – 2022.

- b. A doua direcție de cercetare, desfășurată în prezent, este studiul regimului termic al unei sfere integratoare. Această sferă este realizată prin printare 3D, și are o structură caracteristică de tip fagure. Materialul utilizat este foarte sensibil la temperatură și de aceea trebuie studiate degajările maxime admisibile ale surselor de iluminat, pentru care nu se atinge temperatura limită admisibilă.

4. Colorimetrie – Măsurarea temperaturii de culoare și calitatea surselor de lumină

- a. Măsurătorile imagistice pot fi utilizate pentru caracterizarea surselor de lumină, a căror parametri se pot deprecia în timp.
- b. Măsurarea imagistică a temperaturii de culoare este o metodă mult mai accesibilă comparativ cu utilizarea unui spectrometru.
- c. Microsistemele încorporate sunt altă direcție de cercetare, care stau la baza unui sistem portabil capabil să analizeze expunerea subiecților la diverse medii luminoase, posibil vătămătoare.

5. Măsurători imagistice pentru iluminatul public

- a. Iluminatul stradal este în plină re tehnologizare, prin implementarea surselor cu LED. Reproiectarea iluminatului stradal face ca interesul pentru acest subiect să fie major, cu multe aspecte particulare, cum ar fi vizibilitatea în intersecții.
- b. Măsurătorile imagistice au aplicabilitate în evaluarea cantitativă a zonelor în care vizibilitatea este o prioritate de care depinde siguranța traficului rutier, cum este cazul tunelurilor rutiere.
- c. Menținerea predictivă, atât de importantă în multe domenii tehnice, nu are suport tehnic pentru iluminatul stradal, deși durata mare de viață a LED-urilor ar justifica aceste intervenții. Metoda autorului pentru măsurarea luminanțelor mari ale LED-urilor permite urmărirea degradării în timp a parametrilor și găsirea unor strategii pentru menținerea predictivă.
- d. Conectarea iluminatului public în funcție de vizibilitatea minimă obligatorie, care depinde de clasa de drum, este altă direcție de

cercetare cu grad mare de originalitate, în care analiza contrastului de luminanță este valorificată.

- e. Analiza câmpului de luminanțe care solicită vederea unui șofer pe durata conducerii pe timp de noapte este altă direcție de cercetare. O reușită maximă ar fi implementarea standului experimental realizat ca sistem de siguranță suplimentar la bordul autovehiculelor, dar și în variantă mai modestă, se vor obține rezultate sub forma monitorizării mediului luminos agresiv al orașelor.

Detalii suplimentare despre aceste rezultate științifice se regăsesc dezvoltate în conținutul Tezei de abilitare.

Evoluția carierei poate suporta o analiză interesantă, care poate fi înțeleasă mai deplin cunoscând traiectoria profesională de până acum.

Titlului didactic de profesor universitar l-am obținut pe baza criteriilor din 2003. Nici o publicație de până atunci nu mai este luată în considerație astăzi, deși erau conferințe internaționale prestigioase unde acceptarea, prezentarea și publicarea unei lucrări era o performanță. Este suficient să amintim seria de conferințe anuale ale CIB, Comitetul Internațional pentru Construcții. Similar, articolele publicate în reviste de specialitate dar care nu au reușit să fie indexate nu mai pot fi astăzi luate în considerație. Aceste articole sunt menționate totuși în lista de lucrări, ca argument pentru plaja de subiecte abordate, care nu s-a restrâns doar la iluminat. Cele mai multe lucrări științifice au reflectat proiectele de inginerie unde am fost implicat nemijlocit, de la alimentări cu apă la termoficare sau conectarea unui grup de cogenerare în Pașcani, investiție la vremea ei unică și foarte spectaculoasă pentru ingineria electrică.

După obținerea titlului didactic de profesor universitar am urmat doi ani cursurile de Master Educația Adulților la Facultatea de psihologie și științele educației, Universitatea Alexandru-Ion Cuza din Iași. Acest Masterat a beneficiat în acea perioadă de profesori invitați prestigioși, mulți din străinătate. Absolvirea acestui Masterat a reprezentat un salt în dezvoltarea personală în zona de explicare și facilitare a învățării.

Apoi, deoarece legislația apărută la acea vreme specifica faptul că abilitarea se acordă pentru domeniul studiilor de licență, m-am înscris și am urmat cursurile Facultății de construcții și instalații, deoarece ingineria instalațiilor a fost inclusă în ingineria civilă! Aceștia au fost niște ani

în care ritmul de publicare a fost mai redus. Astăzi mă întorc firesc la domeniul ingineriei electrice, domeniu pe care nu l-am părăsit niciodată.

Din anul 2014, începând cu participarea la Conferința EPE de la Facultatea de inginerie electrică, energetică și informatică aplicată, mi-am focalizat interesul în publicarea numai la un nivel în care indexarea în baze de date recunoscute să asigure vizibilitatea rezultatelor, ritmul de publicare cu indexare în WOS/BDI fiind următorul:

2014	– o lucrare WOS
2015	-
2016	3 WOS
2017	3 WOS
2018	4 WOS
2019	15 WOS și 7 BDI
2020	2 WOS și 8 BDI (indexate în IEEE și urmează indexarea în WOS)
2021	3 WOS, Jurnal cu IF 2.7

O explicație este necesară, anul 2019 fiind anul în care am avut finanțarea a trei granturi de cercetare, inclusiv lucrul în echipă alături de colegii implicați în mod efectiv. Cele trei granturi, chiar dacă au fost relativ modeste ca finanțare, au generat o motivare generală apropiată de entuziasm, datorită dotării materiale care altfel lipsește cu desăvârșire.

Mi-am perfecționat coordonarea echipelor de cercetare cu ocazia celor patru contracte de cercetare câștigate în ultima perioadă, ca Director de proiect. De asemenea, deschiderea către colaborări este demonstrată prin numărul mare de coautori cu care am interacționat la realizarea lucrărilor științifice. Printre acești colaboratori se regăsesc și patru doctoranzi, doi de la universitatea noastră, unul din Reșița și unul din Toulouse, Franța.

O altă serie de experiențe în zona iluminatului au fost implicarea în proiectele europene PLUS, ca expert pentru Primăria Iași, în perioada 2011-2012 și în proiectul COST, proiectul Loss of the Night Network (LoNNe) (http://www.cost.eu/COST_Actions/essem/ES1204) în echipa de management pentru România, în perioada 2012-2016. Cel mai valoros beneficiu a fost networking-ul cu un mare număr de specialiști pasionați de iluminat, relații care au continuat și după încheierea finanțării și s-au concretizat într-un număr interesant de lucrări elaborate împreună.

Ingineria iluminatului și titlul Tezei de abilitare afirmă în fapt o direcție principală de cercetare, deoarece iluminatul este mai mult decât un capitol din domeniul utilizării energiei electrice. Așa cum am avut ocazia să descopăr alături de prof. Cornel Bianchi, formator de școală de iluminat la București, fondatorul și multă vreme Președintele Comitetului Național Român de Iluminat, afiliat CIE, apoi lucrând împreună cu prof. Florin Pop sau explorând limite ale înțelegerii

luminotehnicii împreună cu prof. Nicoale Mira, iluminatul își extinde domeniul către zone interdisciplinare unde se interfațează cu medicina, cu psihologia, cu astronomia, cu ecologia și chiar se aventurează să riște un dialog cu arhitectectii.

Măsurătorile imagistice pentru luminanță reprezintă un punct forte care mi-a permis abordarea unor probleme foarte diverse din luminotehnică, deoarece se poate afirma că și astăzi, încă, luminanța NU este măsurată. Motivul este că luminanțmetrele imagistice au un preț care le face impropriei utilizării pe teren, și rămân să fie utilizate ca aparate de laborator.

O altă direcție care are potențial de dezvoltare pentru cercetările viitoare ale candidatului o reprezintă sistemele încorporate. Descoperită cu forțe proprii, din dorința de autoperfecționare, familia Arduino va permite rezolvarea unor probleme de măsurători sau de comenzi dedicate.

1. Probleme speciale în calculul sistemelor de iluminat

1.1. Calculul sistemelor de iluminat pentru clădiri de patrimoniu

1.1.1. Metodă nouă de calcul pentru iluminarea directă

Metodologia clasică pentru calculul iluminării directe este disponibilă într-o monografie clasică [10], dar sunt cunoscute limitările serioase ale metodei, fiind aplicabilă doar pentru suprafețe orizontale sau verticale. O clădire istorică are multe alte situații, în care abordarea clasică nu este utilă. O nouă metodă, cu grad de generalizare nelimitat, este prezentată de autor în [11]. Considerațiile geometrice sunt prezentate în Figura 1, iar metoda ar putea fi extinsă pentru orice alte forme, considerând un software dedicat, ca MATLAB (vezi mai jos).

Suprafața de calcul este generată prin punctele $X_1, X_2, \dots, X_I, \dots, X_{MAX}$, respectiv $Y_1, Y_2, \dots, Y_J, \dots, Y_{MAX}$ și evident $Z_1, Z_2, \dots, Z_K, \dots, Z_{MAX}$ unde N_X, N_Y, N_Z sunt numerele elementelor finite.

Rația acestor vectori va fi constantă, dar nu este obligatoriu. Exemplul din Figura 1 este particularizat pentru o suprafață dreptunghiulară, așezată înclinat, dar metoda de calcul este valabilă pentru orice suprafață, inclusiv curbă. Pentru Figura 1 se poate scrie:

$$\begin{aligned}\Delta X &= \frac{X_{MAX} - X_1}{N_X - 1} \\ \Delta Y &= \frac{Y_{MAX} - Y_1}{N_Y - 1} \\ \Delta Z &= \frac{Z_{MAX} - Z_1}{N_Z - 1}\end{aligned}\tag{1}$$

În acest punct se calculează proiecția în plan orizontal a pasului de creștere pe verticală (Figura 1):

(2)

Metodologia clasică presupune că unghiurile ar putea fi măsurate, dar se propune calcularea unghiului β în plan orizontal, unghi între dreapta de intersecție dintre planul de lucru și planul orizontal:

$$\beta = \operatorname{atg} \frac{X_{MAX} - X_1}{Y_{MAX} - Y_1}\tag{3}$$

Pentru increment constant există și egalitatea:

$$ZOT = \Delta ZO \times (N_z - 1) \quad (4)$$

Coordonatele X, Y, Z pentru punctul curent de calcul I, J, K :

$$\begin{aligned} X_{I,J,K} &= X_1 + (I - 1) \times \Delta X + \Delta ZO \times (k - 1) \cos \beta \\ Y_{I,J,K} &= Y_1 + (J - 1) \times \Delta Y + \Delta ZO \times (k - 1) \sin \beta \\ Z_{I,J,K} &= Z_1 + \Delta Z \times (k - 1) \end{aligned} \quad (5)$$

Cu aceste coordonate se calculează proiecția în plan orizontal a distanței dintre fiecare punct de calcul și poziția corpului de iluminat:

$$DPO_{I,J,K} = \sqrt{(X_{I,J,K} - XC)^2 + (Y_{I,J,K} - YC)^2} \quad (6)$$

Unghiul γ este definit în plan vertical, între axa optică a corpului de iluminat și direcția de calcul a iluminării, respectiv va identifica intensitatea luminoasă care va produce iluminarea directă. Intensitatea luminii va avea două componente, longitudinale $I(\gamma)_{I,J,K}^{long}$ și transversale $I(\gamma)_{I,J,K}^{transv}$, cu excepția situației în care sunt utilizate fișiere LDT sau fișiere IES:

$$\gamma = \operatorname{atg} \frac{DPO_{I,J,K}}{ZC - Z_{I,J,K}} \quad (7)$$

În plan orizontal, unghiul ω este definit între proiecția razei luminoase către punctul de calcul ($DPO_{I,J,K}$) și axa OX :

$$\omega = \operatorname{atg} \frac{Y_{I,J,K} - YC}{X_{I,J,K} - XC} \quad (8)$$

Unghiul ω ar putea fi util pentru media ponderată dintre aceste două intensități luminoase $I(\gamma)_{I,J,K}^{long}$ și $I(\gamma)_{I,J,K}^{transv}$, respectiv:

$$I(\gamma, \omega)_{I,J,K} = \frac{I(\gamma)_{I,J,K}^{transv} \times \omega + I(\gamma)_{I,J,K}^{long} \times (90 - \omega)}{90} \quad (9)$$

Pentru calculul iluminării este necesar unghiul dintre intensitatea luminoasă $I(\gamma, \omega)_{I,J,K}$ și normala la suprafața de calcul. Acesta este punctul în care teoria clasică nu a fost capabilă să genereze soluții, deoarece acest unghi nu este determinat pentru suprafețe oarecare. Folosind algebra vectorială, normala la suprafața ABCD (dar și pentru fiecare suprafață elementară) ar putea fi descrisă folosind unghiuri α și β :

$$\vec{N} = N_x \vec{X} + N_y \vec{Y} + N_z \vec{Z} \quad , \text{ unde} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} N_x &= \cos \alpha \sin \beta \\ N_y &= \cos \alpha \cos \beta \\ N_z &= \sin \alpha \end{aligned} \quad (11)$$

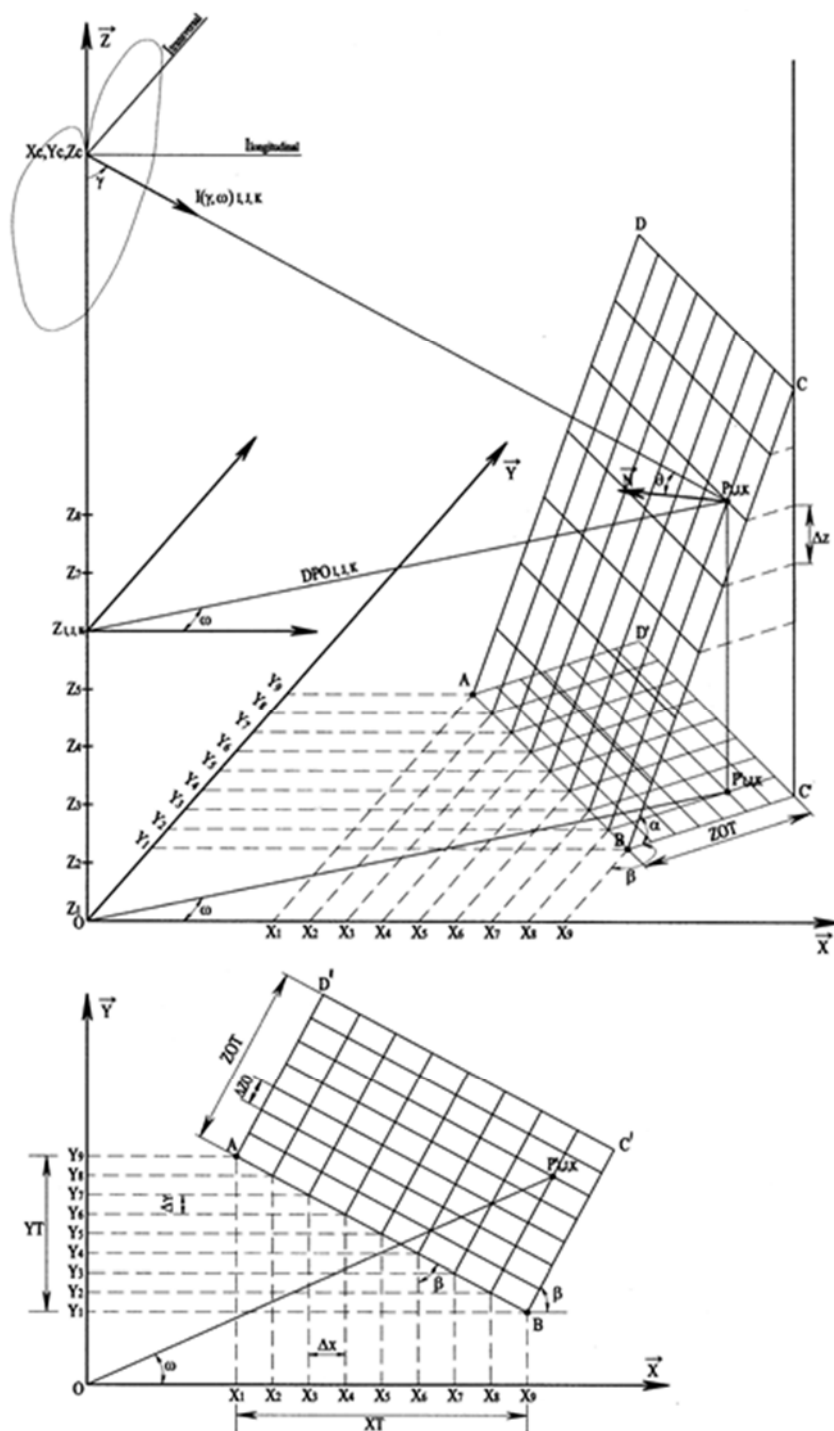


Figura 1 Calculul iluminării pentru suprafața înclinată oarecare

Pentru punctul de calcul curent (I, J, K) se obține direcția de la corpul de iluminat până la acest punct:

$$\vec{D}_{I,J,K} = X_{I,J,K}\vec{X} + Y_{I,J,K}\vec{Y} + (ZC - Z_{I,J,K})\vec{Z} \quad (12)$$

Și acum unghiul dintre raza luminoasă și normala la suprafața ABCD:

$$\cos \theta = \frac{N_X X_{I,J,K} + N_Y Y_{I,J,K} + N_Z (ZC - Z_{I,J,K})}{\sqrt{N_X^2 + N_Y^2 + N_Z^2} \sqrt{X_{I,J,K}^2 + Y_{I,J,K}^2 + (ZC - Z_{I,J,K})^2}} \quad (13)$$

Cu toate aceste elemente, iluminarea directă ar putea fi calculată pentru un factor de întreținere M_f :

$$E_{I,J,K} = M_f \frac{I(\gamma, \omega)_{I,J,K} \cos^3 \theta}{(ZC - Z_{I,J,K})^2} \quad (14)$$

Pentru mai multe corpuri de iluminat efectul este aditiv.

Pentru primul moment, complexitatea calculului impune utilizarea unui limbaj general de programare (MATLAB), dar se așteaptă ca DIALux să ofere avantaje importante, oferind o simulare completă a iluminatului. În mod surprinzător, pentru clădirile antice, chiar și DIALux EVO 9 are unele limitări.

1.1.2. Modelarea arcurilor în Dialux Evo9

Dezvoltarea continuă a software-ului DIALux EVO9 oferă o soluție profesională pentru simularea sistemelor de iluminat interior și exterior. Modelarea detaliilor arhitecturale nu este o problemă, grație importării obiectelor din AutoCAD și 3DS. Construirea modelului nu face obiectul acestei lucrări, dar interpretarea rezultatelor este un element diferit. În Figura 2 se prezintă un astfel de model de iluminare, pentru o frescă, situată într-o nișă. Această nișă generează probleme suplimentare, suplimentare celor impuse exponatelor de artă: contrast de luminanță, reflexii, uniformitate etc.

Problemele apar din cauza lipsei suprafeței de calcul cilindrice (sau sferice) în DIALux EVO. Cilindrul este realizat de elemente plane și pentru fiecare element este posibil să se obțină rezultate (iluminare medie, valoare minimă, maximă, luminanță). În Figura 2 este evidențiat unul dintre aceste elemente cilindrice. În opinia autorului, este foarte dificil să se analizeze rezultatele pe un arc, mai ales atunci când se impune o precizie ridicată a modelului, folosind minimum 60 de elemente cilindrice pentru un singur arc. Din nou, este posibil să analizăm element cu element, dar întreaga situație luminoasă este imposibil de obținut.



Figura 2 Fresca Sabin Balașa, studiu de soluție de iluminat în Sala Pașilor Pierduți, Palatul Universității „A.I. Cuza” din Iași

1.1.3. Modelarea arcurilor în Matlab

Funcțiile MATLAB realizate de autor pentru calculul iluminării directe bazate pe metoda anterioară pentru suprafețe generalizate oferă posibilitatea de a analiza rezultatele pe orice suprafață, utilizând funcțiile generale din MATLAB, ca SURF, MESH sau CONTOUR. Toate aceste funcții pot asocia rezultatele unei suprafețe plane, oferind posibilitatea de a interpreta configurația globală finală. Demonstrând acest lucru, următorul exemplu va da ilustra modul de realizare rețelei pentru discretizarea suprafețelor și modul de vizualizare a rezultatelor.

Generarea rețelei se referă la cele patru suprafețe principale (ca în Figura 3), suprafața frontală (fresca), arcul superior și două suprafețe dreptunghiulare laterale.

Generarea rețelei este cea mai importantă fază în construirea modelului numeric. Pentru a înțelege cum este generată rețeaua superioară a arcului, sunt prezentate câteva linii din scriptul MATLAB, cu câteva comentarii:

```
R=1.35; % Dimensiune fresca: 2,70m lățime
for j=1:19, for i=44 % elemente pentru axa Y, elemente pentru axa X
    Xarch(j,i)=R*cos((i-1)*pi/43);
    Yarch(j,i)=1.6/2-(j-1)*1.6/18; % 1.6m este adâncimea nișei
    Zarch(j,i)=3.4+R*sin((i-1)*pi/43); % 3.4m este înălțimea peretelui lateral
end, end
```

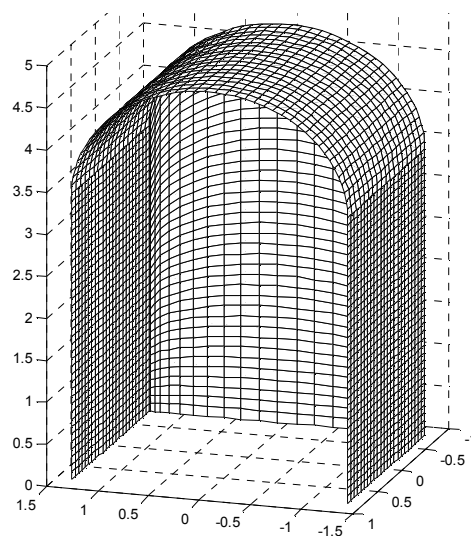


Figura 3 Rețea generată pentru fresca Sabin Balașa din Figura 2

Suprafața verticală pentru frescă este generată în mod similar:

```
for j=1:39, for i=1:24 % numărul de elemente pe verticală și pe orizontală
    X_fresco(j,i)=R*cos((i-1)*pi/23); % pasul este variabil, pentru a se „racorda” cu arcul
                                     % care are pas constant
    Y_fresco(j,i)= -.8;
    Z_fresco(j,i)=(3.4+R*sin((i-1)*pi/23))/38*(j-1); % pasul este variabil pe verticală, pentru a
                                                         se „racorda” cu pereții laterali și zona centrală mai înaltă
end, end
```

După aceste suprafețe, sunt generate direct două suprafețe dreptunghiulare, cu funcție de grilă a ochiurilor, obținându-se ochiurile ca în Figura 3. În acest punct, nivelul de iluminare este gata să fie calculat.

1.1.4. Modelarea iluminării arcului în Matlab

Scriptul MATLAB elaborat de autor pentru calculul iluminării se poate aplica pe suprafețele generate anterior și va genera iluminarea directă și reflectată, ca prim pas în proiectarea soluției de iluminare a frescei. Un efect vizual calitativ a putut fi observat în Figura 5, pe harta în nuanțe de gri. Pentru zona arcului, o analiză specială ar putea fi realizată folosind funcția *surf* (X_{arch} , Y_{arch} , E_{arch}) unde nivelul de iluminare E_{arch} este utilizat ca parametru vertical pentru suprafața vizualizată în Figura 4. Alte funcții sunt disponibile pentru analiza datelor, de exemplu CONTOUR.

În acest moment, datele calculate pentru zona arcului ar putea fi analizate într-o matrice

unitară, așa cum se vede în Figura 4, în contrast total cu situația din DIALux EVO, așa cum se vede în Figura 2.

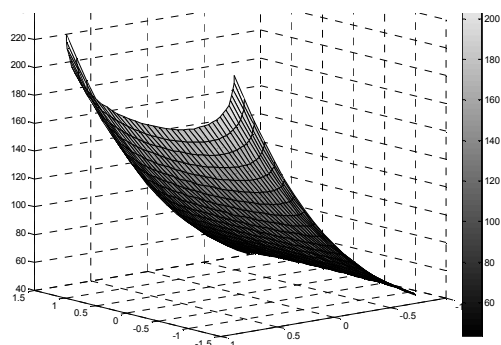


Figura 4 Nivelul de iluminare (lux) pentru zona arcului din **Figura 5**, într-o reprezentare separată

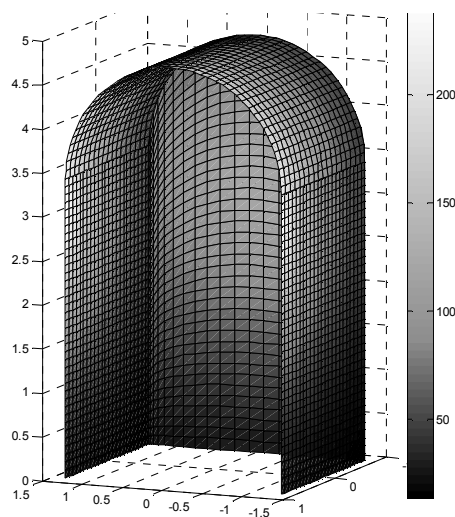


Figura 5 Nivel de iluminare (lux) pentru o sursă de iluminare simetrică în
nuanțe de gri

Folosind generarea rețelei de discretizare pentru orice alte detalii arhitecturale, clădirile de patrimoniu ar putea fi analizate în detaliu folosind funcțiile MATLAB, iar pentru simulările de iluminat general DIALux EVO va genera rezultate de încredere.

1.1.5. Referințe

- [1] Berg, F., Flyen Anne-Cathrine, Godbolt A.L., Broström T., User-driven energy efficiency in historic buildings: A review, Journal of Cultural Heritage (2017), <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2017.05.009>
- [2] CEN, Conservation of cultural heritage – Guidelines for improving the energy performance of historic buildings TC 346, EN 16883: 2017, Comité Européen de Normalisation, 2017
- [3] Balocco Carla, Calzolari Rachele, Natural light design for an ancient building: A case study, Journal of Cultural Heritage 9 (2008) 172-178, doi:10.1016/j.culher.2007.07.007

- [4] Bernardini Gabriele, Azzolini M., D'Orazio M., Quagliarini E., Intelligent evacuation guidance systems for improving fire safety of Italian-style historical theatres without altering their architectural characteristics, *Journal of Cultural Heritage* 22 (2016) 1006–1018, <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2016.06.008>
- [5] D'Orazio M., Bernardini Gabriele, Tacconi Silvia, Arteconi Valentina, Quaglia-rini., Fire safety in Italian-style historical theatres: How photolumines-cent way finding can improve occupants' evacuation with no architect-ture modifications , *Journal of Cultural Heritage* 19 (2016) 492–501 <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2015.12.002>
- [6] Quagliarini E., Lenci S., Seri Elena, On the damage of frescoes and stuccoes on the lower surface of historical flat suspended light vaults, *Journal of Cultural Heritage* 13 (2012) 293–303, doi:10.1016/j.culher.2011.11.008
- [7] Pinilla S.M., Vázquez D., Fernández-Balbuen A., Muro Carmen, Munoz J., Spectral damage model for lighted museum paintings: Oil, acrylic and gouache, *Journal of Cultural Heritage* 22 (2016) 931–939, <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2016.05.005>
- [8] Lowea B.J., Smith Catherine A, Fraser-Miller Sara J., A. Paterson Rachel, Daroux Frances, Ngarimu-Cameron R., Ford B., Gordon K., Light-ageing characteristics of Maori textiles: Colour, strength and molecular change, *Journal of Cultural Heritage* 24 (2017) 60–68 <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2016.11.012>
- [9] Viénola F., Corona G., Lavédrinea B., LEDs as a tool to enhance faded colors of museums artefacts, *Journal of Cultural Heritage* 12 (2011) 431–440 doi:10.1016/j.culher.2011.03.007
- [10] Bianchi C., *Luminotehnica*, Editura Tehnică, București, 1990
- [11] *** GEx012 – 2015, Ghid de bună practică pentru proiectarea instalațiilor de iluminat/protecție în clădiri, Anexa la Ordinul MDRAP-833/2015
- [12] Degani Laura, Gulmini Monica, Piccablotto Gabriele, Iacomussi Paola, Gastaldi Daniela, Dal Bellod F., Chiantore O., Stability of natural dyes under light emitting diode lamps, *Journal of Cultural Heritage* xxx (2017), <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2017.02.002>
- [13] Di Salvo S., Innovation in lighting for enhancing the appreciation and preservation of archaeological heritage, *Journal of Cultural Heritage* 15 (2014) 209–212, <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2013.03.001>
- [14] Balocco Carla, Frangioni Elena, Natural lighting in the Hall of Two Hundred. A proposal for exhibition of its ancient tapestries, *Journal of Cultural Heritage* 11 (2010) 113–118, doi:10.1016/j.culher.2009.02.005

1.2. Optimizarea iluminării într-un tunel scurt și drept, prin proiectarea cu software specializat

1.2.1. Particularitățile proiectării iluminatului la un tunel

Proiectarea sistemelor de iluminat pentru tuneluri nu este o problemă nouă, reglementările au fost în vigoare de la [1]. Cu toate acestea, aceste opere de geniu sunt foarte rare pe teritoriu. Pe măsură ce urbanizarea s-a extins și a devenit explozivă (a se vedea China, dar nu numai), atunci ingineria a revenit la problema detaliată a proiectării iluminatului tunelurilor. Sistemul de iluminat pentru un tunel este foarte diferit comparat cu sistemul de iluminat stradal. Problema cea mai dificilă în dimensionarea sistemului de iluminat este asigurarea vizibilității pe timp de zi și cer însoțit, când trebuie să fie asigurată adaptarea de la lumină puternică la un nivel scăzut, adaptare care depinde de luminanța medie a zonei de intrare în tunel precum și de viteza de circulație.

1.2.2. Proiectarea iluminatului pentru tunelu TMK din Reșița

În pasajul subteran TMK din municipiul Reșița, județul Caraș-Severin, au fost efectuate măsurători de luminanță, ale căror rezultate nu sunt în conformitate cu recomandările prezentate în ghidul pentru iluminatul tunelurilor rutiere. Acesta este motivul pentru care a fost necesară reproiectarea iluminatului în tunel conform CIE 88: 2004. Deoarece opțiunea iluminării tunelurilor în conformitate cu standardul nu este disponibilă în DIALux EVO și nici în DIALux 4.13, a fost utilizat SifisaLux - Software de calcul pentru iluminarea tunelurilor.

Figura 6 arată unul dintre cele 2 tuneluri adiacente care formează împreună calea de rulare și pasajul subteran pietonal.



Figura 6 Tunelul TMK de la Reșița - una dintre cele două direcții de circulație cu două benzi pentru mașini și trotuar pentru pietoni

Datele de proiectare ale tunelului sunt următoarele:

- profil dreptunghiular cu înălțimea de 5 m, lățimea drumului 7 m și lungimea de 90 m;

Probleme speciale în calculul sistemelor de iluminat

- 2 benzi de circulație pe fiecare sens;
- lățimea trotuarului 2 m;
- limita de viteză 50 km / h;
- direcția de circulație de la nord-est la sud-vest;
- ieșirea din tunel este vizibilă de la distanță de oprire;
- traficul este redus.

Software-ul folosit este specializat pentru tuneluri, există posibilitatea de a modela geometria și proprietățile materialelor de finisare. Secțiunea tunelului poate fi aleasă dintr-un număr de patru variante, o situație destul de limitativă. În cazul nostru, faptul că tunelul are un perete central ne-a obligat să efectuăm două simulări separate, pentru fiecare direcție de circulație. Acest detaliu subtil este o consecință a faptului că luminozitatea zonei de intrare este diferită pentru cele două direcții de deplasare.

Specificul acestui software este că, în funcție de luminanța zonei de intrare și în funcție de viteza traficului, calculează curba de variație a luminanței de-a lungul tunelului conform CIE 88: 2004.

Figura 7 prezintă curba de luminanță necesară în tunel obținută după introducerea datelor de proiectare, cu software-ul SifisaLux-Tunnel v.1.2 utilizat. Se observă că luminanța L20 la intrarea în tunel este de 7,150 cd/m², o valoare foarte mare (o zi însorită). Apoi, în cele două zone de prag, luminanța scade la valorile de 161 cd/m², respectiv 113 cd/m², în zonele de tranziție luminanța scade de la 64 cd/m² la 22 cd/m², iar în zonele interioare luminozitatea scade de la valoarea 2 cd/m² la 1 cd/m². În zona de ieșire luminoasă are valoarea 0 cd/m² (absența iluminării artificiale), după care crește din nou la un nivel specific de iluminare naturală după părăsirea tunelului. Trebuie menționat faptul că variația luminanței reprezentată în Figura 7 corespunde unei zile însorite când soarele este la prânz (12 AM). Pentru tunelul Reșița, lungimea scurtă a acestuia face relevante doar zona de prag (38m) și parțial zona de tranziție (52m), așa cum se vede de către un șofer.

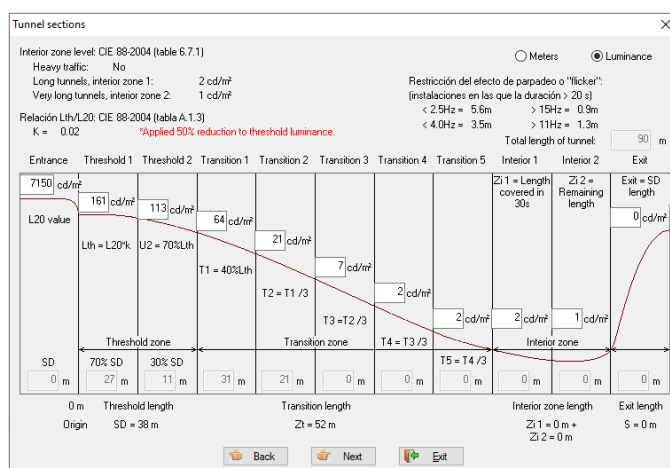


Figura 7 Variația luminanței (cd/m²) de-a lungul tunelului

Această etapă este destul de importantă, dar în etapele următoare facilitățile programului sunt reduse. Chiar dacă manualul de utilizare specifică faptul că este disponibil un „vrăjitor” pentru poziționarea

corpurilor de iluminat, s-a constatat că rezultatele sale sunt destul de modeste. În concluzie, poziționarea corpurilor de iluminat se face manual, decizia în etape succesive aparținând proiectantului. Există o anumită proporționalitate între pasul de amplasare al corpurilor de iluminat și luminanța calculată, dar această proporționalitate nu este o garanție, datorită distribuției particulare a lentilelor din corpurile de iluminat cu LED-uri.

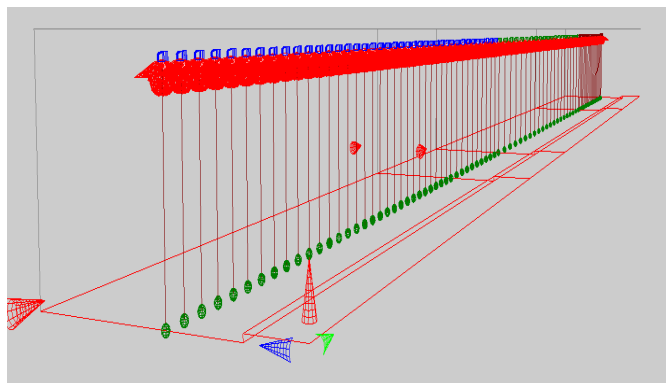


Figura 8 Vedere 3D cu pozițiile corpurilor de iluminat și axa optică a acestora

Poziționarea corpurilor de iluminat în tunel după primul pas este disponibilă Figura 8.

Rezultatele de calcul imediate sunt prezentate în Figura 9. O examinare ne permite să observăm nivelul ridicat de supradimensionare, care este mascat de scara logaritmică a reprezentării.

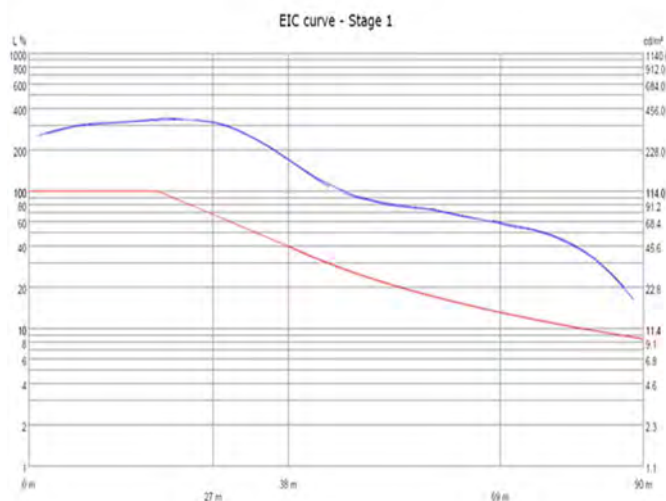


Figura 9 Curba de luminanță impusă de (linia roșie) și luminanța (cd/m^2) obținute după prima etapă de calcul (linia albastră)

Curba de luminanță colorată în albastru corespunzătoare corpurilor de iluminat. Caracteristica luminanței în roșu este cea standard generată de program după [1]. Observație: curba de luminanță albastră obținută este peste caracteristica roșie a luminanței, astfel încât rezultatele obținute sunt superioare celor standard.

Chiar dacă supradimensionarea pare acceptabilă din punct de vedere tehnic, analiza valorilor indică o supradimensionare de 150% (la intrarea în tunel), 200% la 30m, aproximativ 380% la 70m și din nou aproximativ 20% la 90m. În aceste condiții, calculul continuă, măbind distanța dintre corpurile de iluminat pe diferite secțiuni, respectând aceste proporții.

Pentru o prezentare generală se poate folosi Fig. 5, unde este prezentat nivelul de supradimensionare corespunzător etapei intermediare de calcul din Figura 9.

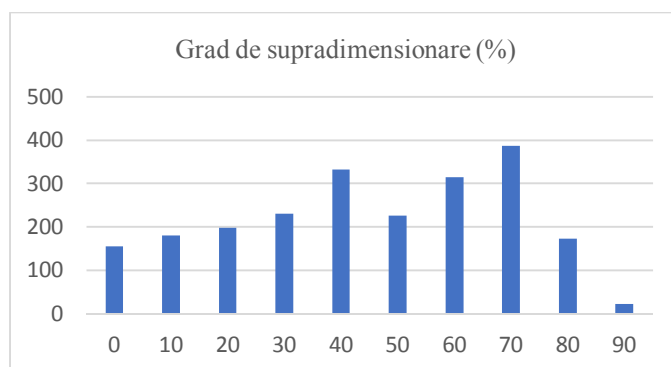


Figura 10 Luminanța supradimensionată de-a lungul tunelului (m), pentru iterația din Figura 9

Această reprezentare este mult mai sugestivă și indică proiectantului cum poate optimiza pașii dintre două iterații succesive.

1.2.3. A doua iterație pentru proiectarea tunelului TMK

Figura 9 și Figura 10 arată rezultatele obținute folosind corpuri de iluminat specializate Schröder pentru tuneluri, cu o putere de 369 W și respectiv 294 W și o eficiență specifică de 170lm/W. Se observă că rezultatele sunt prezentate în detaliu, pentru fiecare zonă. Efectuând modificările sugerate din Figura 10, următoarea distribuție a luminanței este disponibilă în Figura 11:

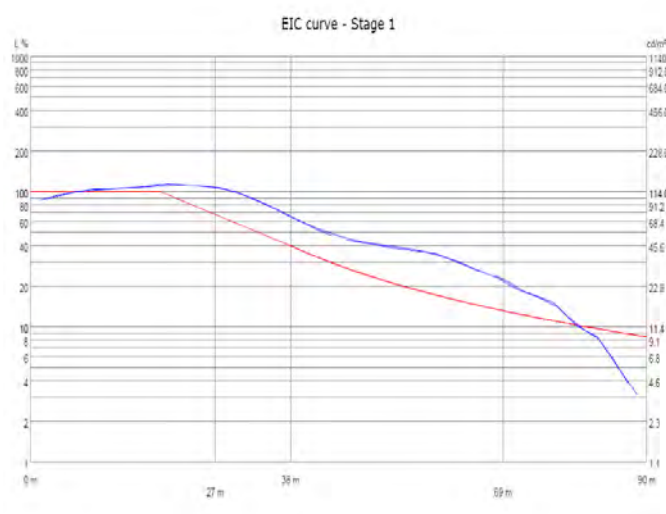


Figura 11 Luminanța (cd/m^2) calculată după a doua iterație (albastru)

Probleme speciale în calculul sistemelor de iluminat

Se observă că, deși fluxurile de lumină au fost ajustate în funcție de supradimensionarea ilustrată în figură, rezultatele s-au redus proporțional doar la intrarea în tunel și nu așa cum ne-am fi așteptat. Acest lucru ne obligă să continuăm iterațiile, pentru a obține o soluție optimă. Din nou, programul nu are nicio facilitare pentru a scurta acest proces. Mai mult, în zona de intrare există un nivel mai redus de luminanță, ceea ce ar necesita amplasarea corpurilor de iluminat cu pas variabil, o opțiune care nu există în program.

Rezultatele sunt disponibile și sub formă de tabel ca în Figura 12, cu diferite criterii calitative și cantitative (nu toate sunt rezolvate):

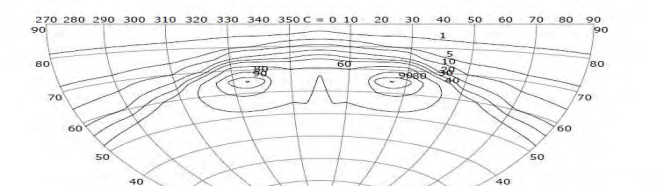
Class	Lave	Uo	UI	TI	SR	Eave	Emin	Uo
User	70.0	0.40	0.60	15.00	0.50	--	--	--
Threshold 1	105.7	0.52	0.95	6.13	--	1532.7	1013.7	0.66
	X	OK	OK	OK	--	--	--	--
User	--	--	--	--	--	--	--	--
" - Left wall	32.0	0.50	--	--	--	334.8	167.0	0.50
	--	--	--	--	--	--	--	--
User	--	--	--	--	--	--	--	--
" - Right wall	97.6	0.52	--	--	--	1022.2	534.8	0.52
	--	--	--	--	--	--	--	--
User	49.0	0.40	0.60	15.00	0.50	--	--	--
Threshold 2	71.7	0.56	0.75	6.58	--	1210.9	738.6	0.61
	X	OK	OK	OK	--	--	--	--

Figura 12 Rezultate cantitative și calitative după prima iterație

Figura 13 prezintă datele corpului de iluminat utilizat, distribuția intensității luminoase și curbele izo-candelă. Se observă că distribuția intensității luminoase este optimizată pentru distribuția de-a lungul străzii, dar va exista și un flux luminos transversal, deoarece aceste corpuri de iluminat de mare putere se presupune că vor deservi mai mult de două benzi de circulație.

Luminaire type:	FV32 LED 3 5141 240 XP-G3@500mA NW 740 230V Symmetrical
Lamp type:	1 x 240 XP-G3@500mA NW 740 230V-369W
Photometric code:	FV32 LED 3 5141 240 XP-G3 500mA NW 740 369W 7x6 II-Short 390685 Flat glass Symmetrical
Total rendering in lower hemisphere:	78.1 %
Total rendering in upper hemisphere:	0.0 %
Intensity in GM 80:	43.48 cd/klm
Intensity in GM 90:	0.00 cd/klm
Rate I80/I88:	44.44
Maximum intensity:	365.15 cd/klm
Specific index of luminaire:	2.89
Throw:	Intermedium
Spread:	Medium
Control:	Moderate
Luminaire type:	Semi cut - off

Isocandela diagram (%)



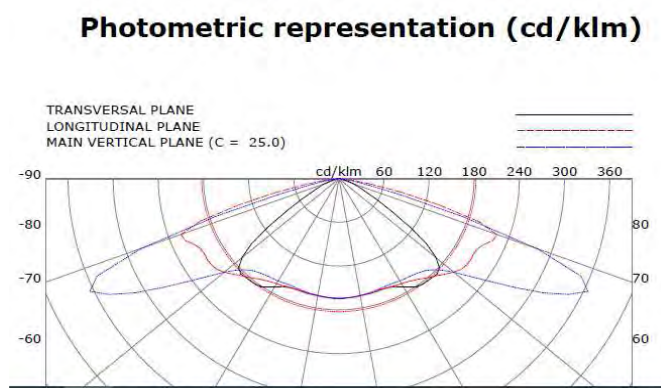


Figura 13 Extras din fișa de catalog pentru aparatul Schröder 369 W

Figura 14 arată puterea instalată a corpurilor de iluminat utilizate. Se obțin rezultate foarte utile pentru diferite perioade ale zilei, numite etape:

- Etapa 1: Nivel însoțit;
- Etapa 2: Cer acoperit;
- Etapa 3: Nivel înnoțat;
- Etapa 4: Nivel noapte;
- Etapa 5: Nivel redus de trafic nocturn.

Stage 1				
Model	Luminaire Mod.	Lamp W and type	Units	Lamp+Equip. power
1	PV32 LED 3 5141 240 XP-G3@500mA NW 740 230V ₊	Symmetrical 140 230V-369W	28	10332 W
2	PV32 LED 3 5141 240 XP-G3@400mA NW 740 230V ₊	Symmetrical 140 230V-244W	24	7056 W
Power installed for project surface: 27.60 W/m ²				17388 W
Stage 2				
Model	Luminaire Mod.	Lamp W and type	Units	Lamp+Equip. power
1	PV32 LED 3 5141 240 XP-G3@500mA NW 740 230V ₊	Symmetrical 140 230V-369W	28	3600 W
2	PV32 LED 3 5141 240 XP-G3@400mA NW 740 230V ₊	Symmetrical 140 230V-244W	24	1800 W
Power installed for project surface: 8.57 W/m ²				5400 W
Stage 3				
Model	Luminaire Mod.	Lamp W and type	Units	Lamp+Equip. power
1	PV32 LED 3 5141 240 XP-G3@500mA NW 740 230V ₊	Symmetrical 140 230V-369W	28	3300 W
2	PV32 LED 3 5141 240 XP-G3@400mA NW 740 230V ₊	Symmetrical 140 230V-244W	24	900 W
Power installed for project surface: 6.67 W/m ²				4200 W
Stage 4				
Model	Luminaire Mod.	Lamp W and type	Units	Lamp+Equip. power
1	PV32 LED 3 5141 240 XP-G3@500mA NW 740 230V ₊	Symmetrical 140 230V-369W	20	3000 W
2	PV32 LED 3 5141 240 XP-G3@400mA NW 740 230V ₊	Symmetrical 140 230V-244W	0	0 W
Stage 5				
Model	Luminaire Mod.	Lamp W and type	Units	Lamp+Equip. power
1	PV32 LED 3 5141 240 XP-G3@500mA NW 740 230V ₊	Symmetrical 140 230V-369W	20	1500 W
2	PV32 LED 3 5141 240 XP-G3@400mA NW 740 230V ₊	Symmetrical 140 230V-244W	0	0 W
Power installed for project surface: 2.38 W/m ²				1500 W

Figura 14 Puterea instalată pentru Etapa 1 (cer senin) și până la Etapa 5 (trafic redus noaptea)

O observație suplimentară poate fi făcută aici, respectiv diferența mare între densitățile puterilor necesare în timpul zilei cu cer însoțit (Etapa 1 = 27,60 W/m² și un total de 17,4 kW) comparativ cu modul de noapte (Etapa 4 = 4,78 W/m² și un total de 3 kW) și mai ales cu modul de trafic redus nocturn (Etapa 5 = 2,38 W/m² și un total de 1,5 kW).

Complexitatea proiectării sistemelor de iluminat pentru tuneluri este dovedită. Limitările unui software specializat pentru tuneluri reprezintă un argument suplimentar pentru complexitatea acestui subiect. Faptul că DIALUX sau RELUX, cele mai profesionale softuri din domeniul iluminatului nu au facilități pentru proiectarea sistemelor de iluminat ale tunelurilor demonstrează că acesta este un domeniu în care sunt justificate cercetări suplimentare.

1.2.4. Referințe

- [1] CIE 88:2004 Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses
- [2] Shao X, Wang M, Zhou Q 2017, The Design of Tunnel Lighting, Asia Communications and Photonics Conference (ACP) pg.1-3
- [3] Chen M, Tseng W, Liao H; Chen S; Ma H; Lee H, 2019, Design of Counter Beam Lights for Road Tunnels Lighting with CIE Regulations , 2019 IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE)
- [4] Parise G, Martirano L, Parise L, 2016, The Energetic Impact of the Lighting System in the Road Tunnels, IEEE Transactions on Industry Applications
- [5] Lai W, Liu X, Chen W, Lei X, Cheng X, 2014, Optimization optical design for tunnel lamps with LED source, 2014 11th China International Forum on Solid State Lighting (SSLCHINA)
- [6] Abdul Salam A O, Mezher K A, 2014, Energy saving in tunnels lighting using shading structures, International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)
- [7] Pan G, Ke H, 2012, Study on Energy-Saving Lighting of Optical Catheter System at Road Tunnel Threshold Zone, 2012 Symposium on Photonics and Optoelectronics
- [8] Cai C Q, Zhang X, Kon Y K, 2010, Monitoring system of ventilation and lighting for high way tunnel, 6th International Conference on Digital Content, Multimedia Technology and its Applications
- [9] Parise G, Martirano L, Parise L, Carrarini L, Mitolo M, The Electrical Systems of Roadway Tunnels: Safety Design and Ecomanagement, IEEE Transactions on Industry Applications
- [10] Musa M S, Nallagownden P, Chiu K W, Sarwar M B, 2015, Design and development of intelligent adaptive tunnel lighting system, 2015 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON)
- [11] Li B, Yang T, 2018, The Design of Tunnel Lighting Intelligent Control System, International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS)
- [12] Doulos L.T, Sioutis I, Tsangrassoulis A, Canale L, Faidas K, 2019, Minimizing lighting consumption in existing tunnels using a no-cost fine-tuning method for switching lighting stages according revised luminance levels, 2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)
- [13] Manual of SifisaLux-Tunnel software
- [14] Online Schröder catalog and technical brochures

1.3. Optimizarea mediului luminos utilizând software-ul DiaLUX la Căminul de bătrâni „Constantin și Elena” – Studiu de caz

1.3.1. Limitările metodei clasice pentru proiectarea iluminatului interior

Munca noastră privind proiectarea unui sistem de iluminat adaptat nevoilor vizuale ale persoanelor în vârstă se bazează pe un studiu de caz în Căminul de bătrâni *Constantin și Elena*, Iași, România. A fost ales pentru caracterul său cromatic impersonal și care nu a fost adaptat nevoilor vizuale particulare ale persoanelor în vârstă care ocupă incinta. Într-adevăr, finisajele pereților sunt albe și imaculate, prezentând astfel contraste sau referințe spațiale foarte reduse.

Am ales să aplicăm metodologia clasică inerentă utilizării software-ului DIALUX EVO 9, specializat în proiectarea sistemelor de iluminat interior. La aceste sisteme de iluminat parametrii normați sunt corespunzători observatorului mediu. În situația particulară abordată am adăugat, de asemenea, noii parametri de proiectare care vor oferi un design adecvat pentru utilizatorii vârstnici, cu afecțiuni vizuale, cum ar fi plinte, rame ale ușilor și alte elemente arhitecturale și structurale. Datorită integrării acestor noi parametri în faza de modelare și până la interpretarea rezultatelor, suntem capabili să propunem un proces de proiectare diferit față de sistemele obișnuite de proiectare.

S-a pornit de la proiectarea obișnuită a iluminatului, care înseamnă o abordare foarte simplă și fără cerințe specifice. Pe baza EN 12464-1 și -2, nivelul de iluminare, uniformitatea, limitarea orbirii sunt calculate pentru planul de lucru. Rezultatele sunt prezentate în Figura 15, unde planul de lucru este calea de acces.



Figura 15 Designul clasic pentru sistemul de iluminat interior, cu iluminare orizontală (lux) pentru planul de lucru

Există unele situații în care aceste cerințe minime sunt extinse. O situație tipică este o sală de expoziții, când iluminarea verticală a peretelui este relevantă pentru vizibilitate. În Dialux EVO este posibil să se obțină aceste rezultate, ca în Figura 16:



Figura 16 Designul extins pentru sistemul de iluminat interior, inclusiv iluminarea verticală în lux pentru pereți

Pentru cazul studiat, sunt necesare unele sarcini vizuale suplimentare care trebuie identificate și studiate. Una dintre ele este vizibilitatea ușii, văzută ca o cale de circulație, dar și ca un obstacol. În Dialux EVO este posibilă introducerea ușii în simularea iluminării, cu câțiva parametri particularizați (material, textură, culoare) și pe baza cărora se obțin unele rezultate, ca în Figura 17.

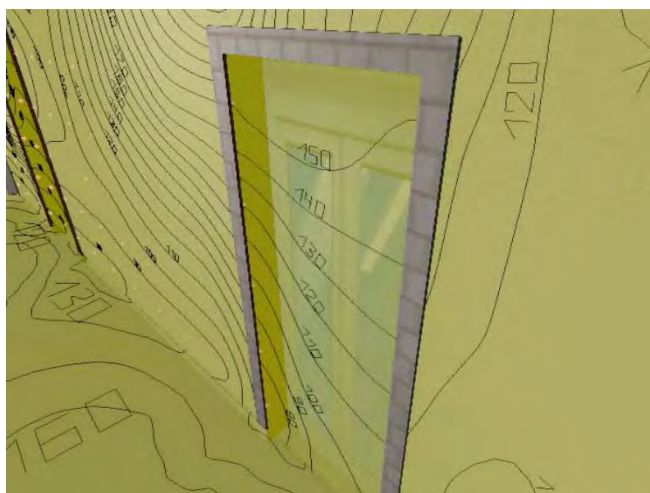


Figura 17 Detaliu pentru iluminarea verticală pe zona vizată (ușa)

Problema principală este absența detaliilor specifice din ușă, deoarece sunt disponibile doar câteva uși predefinite, inclusiv cadrul. Pentru a crește fidelitatea simulărilor, pot fi create anumite obiecte, folosind „corpul de extrudare”, util pentru cazul nostru. În

Figura 18 este prezentat un astfel de detaliu, scalabil ca în realitate (lucrând m sau mm în raport cu ușa reală):

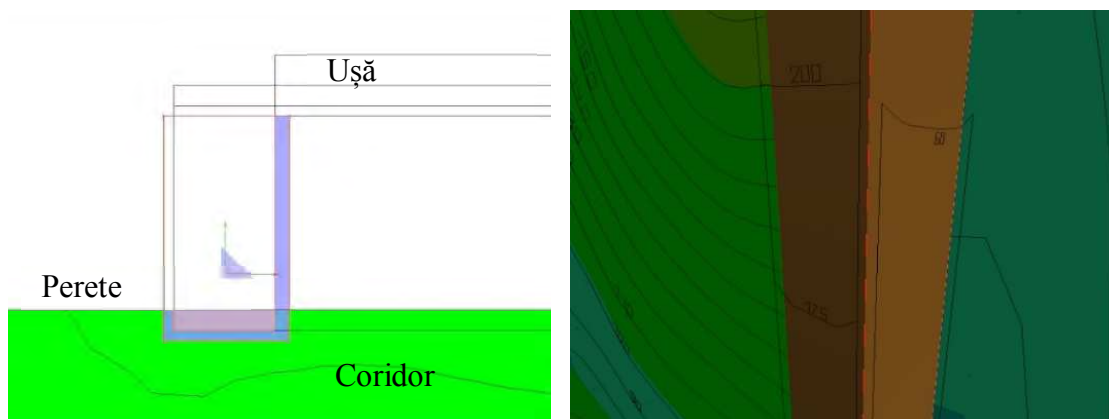


Figura 18 Construirea cadrului ușii (cu „obiect de extrudare”) în stânga și iluminare (lux) pe obiectul de calcul (dreapta)

Chiar dacă unele rezultate sunt disponibile pentru distribuția luminanței (cu valori medii, valori maxime și minime), contrastul de luminanță disponibil pentru cadrul ușii este dificil de evaluat. Creșterea fineței grilei de calcul ar putea fi o soluție, așa cum este prezentat în Figura 19:

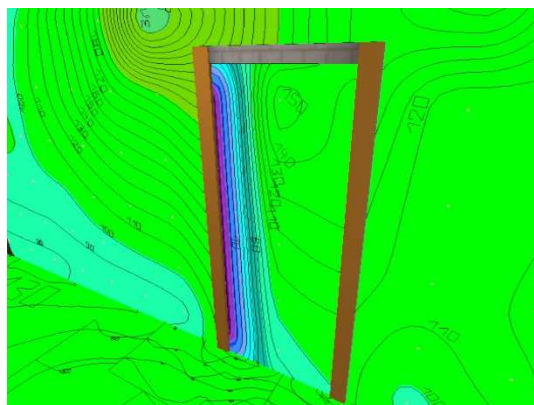


Figura 19 Creșterea fineței grilei de calcul oferă o rezoluție mai bună pentru distribuția iluminării, dar nu există informații satisfăcătoare despre contrastul de luminanță

În concluzie, contrastul de luminanță este dificil de evaluat, deoarece Dialux EVO, ca și EN 12464, nu ia în considerare diferite suprafețe conectate, când contrastul de luminanță devine important. Deoarece evaluarea contrastului de luminanță pentru diferite obiecte spațiale este importantă pentru vârstnici pentru a evita căderea sau rănirea, se propune o abordare originală pentru acest tip de detalii, folosind MATLAB.

1.3.2. Evaluarea contrastului de luminanță utilizând simulări MATLAB

Problema principală este de a demonstra diferența dintre designul luminotehnic bazat pe iluminare (conform EN 12464) și evaluarea luminanței, în special a contrastului de luminanță. Modelul MATLAB este construit doar pentru un detaliu din interiorul clădirii, respectiv cadrul ușii (și similar se poate aborda o treaptă, scări, balustradă). Modelul se bazează pe profilul cadrului, adânc de 15 cm, cu o margine rotunjită cu o rază de 4 cm, ca în Figura 20:

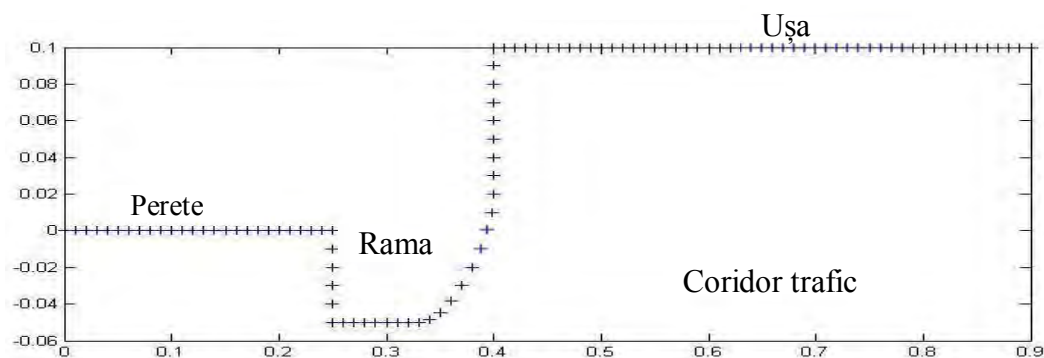


Figura 20 Profilul orizontal al ramei ușii, dimensiunile în *m*

După această validare rapidă 2D, a fost generată o rețea 3D, având atribuite proprietățile materialului, respectiv coeficientul de reflexie pentru materiale, ca în Figura 21:

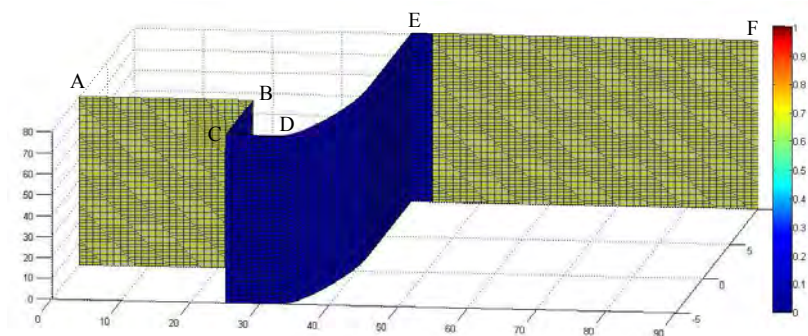


Figura 21 Modelul spațial al ramei ușii (dimensiuni în cm), iar colțul din stânga este la (0, 0, 0), cu hartă de culori pentru reflexivitatea materialelor

Folosind funcțiile originale MATLAB ale autorului, se poate calcula nivelul de iluminare (I_x). Pentru a maximiza efectul vizual al luminanței (la care ochiul este sensibil) în comparație cu nivelul de iluminare (la care ochiul este sensibil în mod indirect), s-a impus o sursă de lumină cu o intensitate a luminii cu simetrie sferică și valoare de 500 *cd*, situată la coordonatele ($x = 2,60$; $y = -0,9$; $z = 0,4$), conform cu Figura 20 și Figura 21. Rezultatele relative pentru nivelul de iluminare sunt afișate cu funcția MATLAB *surf*, ca în Figura 22:

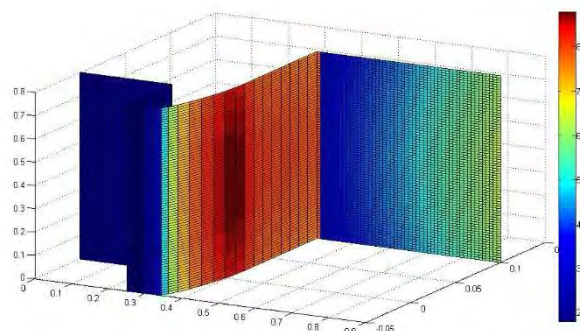


Figura 22 Nivelul de iluminare (lx) obținut de la o lampă cu intensitate luminoasă sferică de 500 cd , situată la coordonatele în m ($x = 2,60$; $y = -0,9$; $z = 0,4$)

Această hartă de iluminare este ușor de validat, datorită unghiului incident al iluminării care este aproape de normal pentru regiunea DE din Figura 21 și tangențială pentru regiunea EF . Pentru a evidenția diferențele dintre proiectarea pe baza nivelului de iluminare și designul de bazat pe contrastul de luminanță, se extrag și se prezintă valorile nivelului de iluminare pe profilul longitudinal (orizontal) al ușii, în Figura 23:

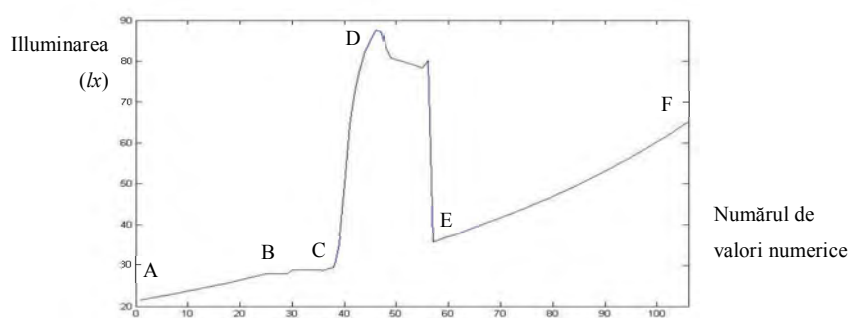


Figura 23 Nivelul de iluminare (lx) pe linia mediană a modelului de cadru al ușii (conform Figura 21), reprezentată pentru elementele (40, 1: 106) din matricea totală de iluminari

Următorul pas, evaluarea luminanței, este prezentat în Fig. 10, presupunând că suprafețele ușii și ale peretelui sunt perfect difuze (lambertiene):

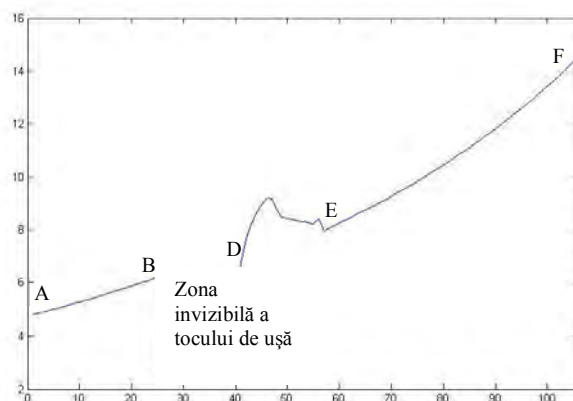


Figura 24 Variația de luminanță (cd/m^2) pe linia mediană a modelului de cadru de ușă (conform Figura 21), reprezentată pentru elementele (40, 1:106) din matricea totală de luminanțe (conform Figura 22)

Se observă că diferențele dintre Figura 23 și Figura 24 sunt uriașe, ajungând la concluzia că valorile mari pentru iluminare nu este obligatoriu să producă și valori mari pentru luminanțe. De fapt, contrastul de luminanță dintre cadru și ușă este foarte slab, mult mai mic de 0.7, care este pragul de vizibilitate. Acest lucru a putut fi observat în Figura 22, generat pentru contrastul de luminanță.

1.3.3. Discuții

Rezultatele obținute aici arată că este posibil să se obțină soluții de iluminare adaptate nevoilor utilizatorilor vârstnici prin utilizarea software-ului de proiectare a luminii utilizat de obicei pentru aplicații destinate observatorului mediu. Confortul și calitatea vieții persoanelor în vârstă se numără printre principalele preocupări ale societăților noastre europene, aceste rezultate vor constitui un ghid de bune practici, în conformitate cu dorințele și așteptările utilizatorilor.

Acest posibil ghid de bune practici poate fi pus la dispoziția autorităților pentru a facilita dezvoltarea și aplicarea acestuia în case de bătrâni ca prim pas. Într-adevăr, va fi posibil ca în viitor un astfel de cămin de bătrâni să fie refăcut pentru a se potrivi nevoilor și așteptărilor unei vieți la un confort asemănător celui „de acasă”.

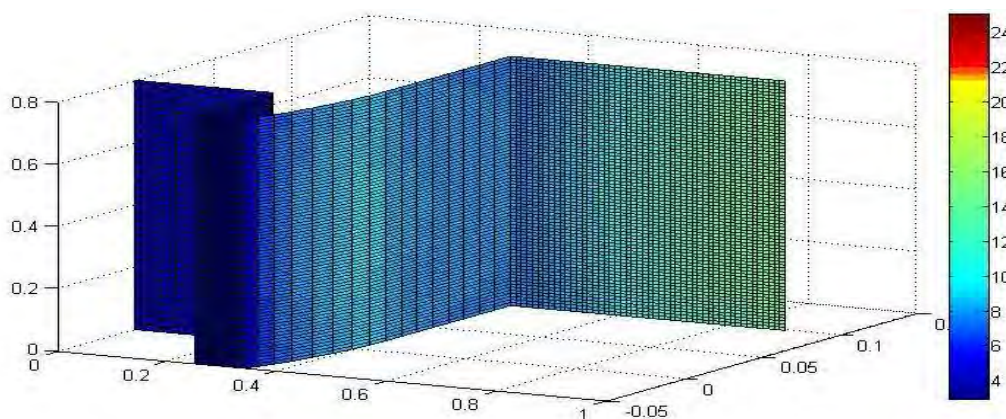


Figura 25 Harta luminanțelor (cd/m^2) pentru raportul de iluminare din Figura 22, dezvăluind un contrast de luminanță slab și o vizibilitate mai mică pentru cadrul ușii.

Contrar practicilor obișnuite ale arhitecților, noua metodă bazată pe DIALUX dar completată cu scripturi proprii pentru MATLAB, face posibilă modelarea unui prototip al spațiului final și, de asemenea, evaluarea cantitativă a caracteristicilor luminoase și, în special, pentru contrastul de luminanță, caracteristică majoră pentru asigurarea vizibilității. Această abordare este astfel de mare folos pentru proiectant, pentru a înțelege complexitatea proiectării luminotehnice, corelată cu nevoile particulare ale utilizatorilor vârstnici. Este, de asemenea, util atât pentru investitori, cât și pentru autorități, pentru a fi capabili să asigure un mediu luminos sigur și confortabil pentru persoanele vârstnice.

1.3.4. Referințe

- [1] S. Moroszlay, La vision des personnes âgées en EMS, Réhabilitation visuelle (2013).
- [2] MP. Christiaen, et al., Voir en EMS : Etude sur présence des déficits visuels dans la population âgées vivant en EMS (2005).
- [3] B. Felix, De la vision au projet : Nouvelles construction, agrandissement ou rénovation d'un EMS (2012).
- [4] R. Marks, Falls Among the Elderly and Vision : A Narrative Review, Open Medecine Journal, 1 (2014) 54-65.
- [5] Lighting your way to better vision, Illuminating Engineering Society of North America & American Optometric Association, 1 (2009).
- [6] S. Bell, Visual Deficits in the Elderly, The art of Geronursing, 3 (2006).
- [7] MR. Pinto, et al., Reduced visual acuity in elderly people : the role of ergonomics and gerontechnology, Age And Aging, 26 (1997) 339-344.
- [8] MP. Christiaen, Vivre mieux dans un environnement adapté, Lumières, contrastes et repères au service des personnes âgées en EMS (2004).
- [9] FH. Mahrke, RH. Mahrke, Color and Light in Man-made Environments. Van Nostrand Reinhold Comapgny, New York, 1947.
- [10] Silver Economy, Definition. *Site of the actor of the silver eco, industrial sector supported by the French government* [Online], (Viewed on March 24, 2018). <https://www.silvereco.fr/silver-economy>

- [11] French Ministries of Solidarity and Health, Improve the quality of care and support in institutions. *Site of the French Ministries of Solidarity and Health* [Online], (Viewed on April 18, 2018).
<http://solidarites-sante.gouv.fr/affaires-sociales/personnes-agees/>
- [12] G. Kutas, et al., Luminance contrast and chromaticity contrast preference on the colour display for young and elderly users, *Displays*, 29 (2008) 297-307.
- [13] C. Owsley, et al., Aging and low-contrast vision : face perception, *Assoc. for Res. in Vis. and Opthal.*, 2 (1981) 362-365.

1.4. Factorul de utilizare pentru iluminatul architectural

1.4.1. Relevanța factorului de utilizare (FU)

FU este un indicator clasic în proiectarea iluminatului artificial interior sau a iluminatului stradal. FU este încă utilizat în lucrările recente.

FU este raportul dintre fluxul luminos (lumen) efectiv primit de o anumită suprafață și totalul fluxului emis de o sursă luminoasă.

O definiție specifică, adaptată la reflectoare este dată mai jos:

$$FU = \frac{\phi_u}{\phi_t} \quad (1)$$

unde:

FU – factor de utilizare a reflectorului;

ϕ_u – flux luminos util;

ϕ_t – fluxul luminos nominal al sursei de lumina.

Randamentul corpului de iluminat (LOR – *light output ratio*) este, de asemenea, un parametru foarte important, deoarece este luată în considerare și pierderea totală de energie luminoasă, inclusiv transmisia prin optica aparatului.

Se folosește următoarea expresie:

$$LOR = \frac{\text{Fluxul corpului de iluminat}}{\text{Fluxul sursei luminoase}} \quad (2)$$

Această convenție ar putea fi acceptată (FU este echivalent cu LOR), dar următoarea afirmație, în ecuația (3) din [10], trebuie analizată cu atenție:

$$FU \leq LOR \quad (3)$$

Orice încercare de a nega ecuația (3) pare a nega legea conservării energiei. Contrar acestui fapt, se demonstrează că ecuația (3) nu este adevărată. Argumentul se bazează pe inter-reflecții (iluminarea unui obiect prin lumina reflectată din alte obiecte care nu sunt surse de lumină), care generează un efect de „multiplicare” a fluxului luminos. După demonstrarea acestui lucru, se utilizează rezultatele pentru a obține efectul vizual maxim cu flux luminos minim, echivalent cu o reducere a poluării luminoase.

Este necesară o discuție, pentru că ϕ_u (fluxul luminos util) nu este un parametru teoretic. Tot în [10] se determină fluxul util folosind măsurarea luminanței unei fațade, care include, în cele din urmă, interreflecțiile!

Urmând același autor, în [11] descoperim detalii despre măsurarea fluxului luminos util, pe baza măsurărilor de luminanță a câmpului vizual: „Când se cunoaște nivelul mediu de

luminanță al fațadei, suprafața S și factorul de reflectanță ρ al materialelor sale este posibil să se calculeze fluxul luminos util...*(presupunând că nu există interreflecții)*”. Dar această ultimă ipoteză nu a fost deloc studiată în [10], iar pentru un număr mare de fațade (care sunt în general diferite de o suprafață perfect plană) este greu de acceptat absența interreflecțiilor.

1.4.2. Factorul de amplificare al fluxului luminos la interreflecțiile din concavități

Ideea factorului de amplificare a fluxului se bazează pe binecunoscuta expresie a iluminării într-o sferă integratoare [12]:

$$E_{fin} = E_1 \frac{\rho}{1-\rho} \quad (4)$$

unde:

E_{fin} – iluminare finală (după interreflecții) în interiorul sferei,

E_1 - iluminare inițială (directă) în interiorul sferei (lux),

ρ - factorul de reflexie al suprafeței interioare.

Evident, afectând ecuația (4) cu suprafața interioară a sferei (S), se obține expresia fluxului luminos util:

$$\Phi_u = \Phi_t \frac{\rho}{1-\rho} \quad (5)$$

și

$$FU = \frac{\Phi_u}{\Phi_t} \cdot 100 \% = \frac{\rho}{1-\rho} \cdot 100 \% > 100 \% \quad (6)$$

Desigur, FU va fi maxim în cazul sferei integratoare, datorită fenomenelor de interreflexie maxime (unde și coeficientul de reflexie este impus la valori cât mai mari) . Se poate concluziona că pentru alte configurații (cazul unor fațade) FU va fi în proporție diferită. Pentru a demonstra acest lucru, se evaluează fenomenele care se manifestă la iluminarea unei fațade plecând de la o ipoteză simplă și se crește treptat complexitatea problemei, urmărind validarea fiecărei etape.

1.4.2.1.Fațada plană

Aceasta este cea mai comună situație, considerată a reprezenta o referință pentru următoarele configurații.

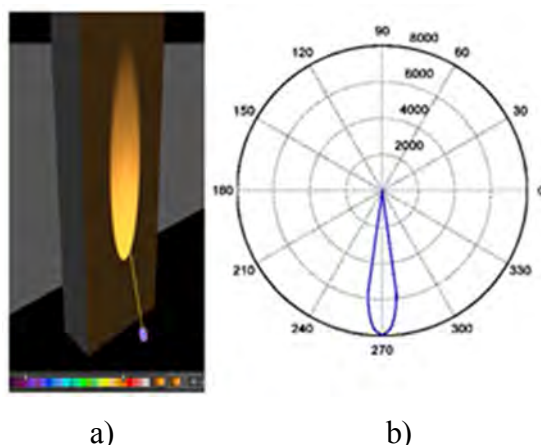


Figura 26 (a) Modelul DIALux pentru o fațadă plană și (b) curbele polare pentru intensitatea luminoasă ($cd/1000lm$) a corpului de iluminat

Modelul DIALux se bazează pe o fațadă verticală, cu dimensiuni 1,2 m x 4 m (dreptunghi vertical) implementată cu un cuboid cu 0,5 m grosime, poziționat la (0, 4, 0) și rotație (0°, 0°, 180°). Dimensiunile oferă posibilitatea de a reproduce modelul în DIALux. Un reflector este orientat de la o distanță de 0,3 m de fațadă, respectiv din punctul în coordonatele DIALux (0; 3.4; 0.1) și un unghi de 165° față de orizontală, respectiv (0°; 165°; -90°). Proiectorul are o sursă de 2700 lm, cu $LOR = 46,7\%$. Această valoare extrem de scăzută este calculată în programul *LDT Editor* (de la DIAL GmbH), după modificarea fișierului original al corpului de iluminat, pentru a elimina intensitatea luminoasă emisă peste 9° de la axa optică. Scopul acestei constrângeri este de a impune un OUF egal cu 100%, pe baza unui control total al fluxului emis. Având în vedere un corp de iluminat punctiform cu simetrie de rotație, valorile impuse pentru această intensitate luminoasă sunt prezentate în Tabel 1:

Tabel 1 Intensitate luminoasă pentru corpul de iluminat utilizat în modelul DIALux, Figura 26

Unghi	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
$cd/1000lm$	8000	7900	7800	7700	7500	7200	6800	6300	5700	0

Rezultatele (din Tabel 2) sunt previzibile, dar utile pentru următoarele considerații:

Tabel 2 Rezultatele obținute din simularea DIALux (vezi Figura 26)

	Intrări				Rezultate		
Simbol	Φ_t	S_{facade}	M_f	LOR	E_{med}	Φ_u	OUF
Unități	lm	m^2	-	%	lx	lm	%
Rezultate	2700	1.2x4	0.85	46.7	223	2696	99.8

unde $S_{fa\acute{t}ada}$ este suprafața țintă, M_f este factorul de întreținere, iar E_{med} este iluminarea medie.

Observație: valoarea pentru FU este practic de 100%, dar valoarea sa calculată este de 99.8 se datorează erorilor de rotunjire din DIALux.

Anticipăm că FU egal cu 100% nu este situația ideală, în sensul că nu tot fluxul luminos emis de aparatul de iluminat este recepționat de fațadă. Pe de altă parte, dacă luăm în considerare ecuația (5), dacă luăm în considerare un finisaj alb ($\rho = 0,86$), există o valoare maximă (limită) a amplificării fluxului luminos mai mare de șase! Căutăm să determinăm valori posibile ale acestei amplificări a fluxului luminos.

1.4.2.2. Amplificarea utilă a fluxului dintr-un cilindru complet

Interreflecțiile de pe fațadele obișnuite sunt generate de formă cilindrică, la scară mică (încadrarea ferestrelor) sau la scară mai mare (pe intrare sau arcade). Pentru a estima valorile posibile, amplificarea fluxului luminos va fi generată într-un cilindru, formă apropiată prin asemănare cu sfera integratoare așa cum se arată în Figura 27.

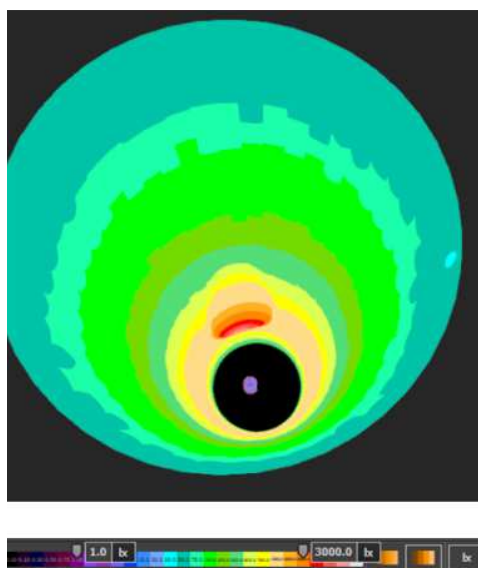


Figura 27 Reflexiile multiple în interiorul al unui cilindru

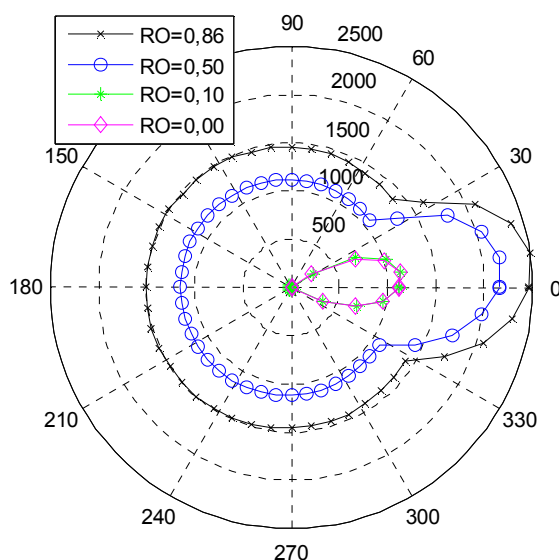


Figura 28 Iluminarea medie (lx) în interiorul cilindrului, pentru un factor de reflexie diferit RO (ρ).

Pentru o mai bună înțelegere, Figura 27 a fost obținută prin menținerea lămpii în aceeași poziție ca în Figura 26. Peretele este înlocuit cu un cilindru cu raza de 0,3 m și poziționat la (0, 3.4, 0.1). Înălțimea cilindrului este aceeași de 4 m, iar numărul suprafețelor elementare utilizate pentru aproximarea cilindrului a fost de 44 (dimensiuni 42,84 mm x 4 m, echivalentul suprafeței = 0,17136 m²). Pentru fiecare suprafață individuală din Figura 28, a fost calculată o iluminare medie (lx), oferind posibilitatea de a compara iluminarea directă (disponibilă pentru factorul de reflexie $\rho = 0.0$) cu cealaltă situație, în care interreflexiile sunt prezente pentru $\rho = 0.10$, $\rho = 0.50$ și $\rho = 0.86$. Rezultatele arată că $\rho = 0.10$ este foarte aproape de iluminarea directă și $\rho = 0.86$ oferă interreflecții maxime.

Este necesară o observație tehnică: datorită exportului specific al rezultatelor din DIALux, toate datele trebuie extrase individual, mai ales că în DIALux cilindrul este rezolvat ca o colecție de elemente deconectate cu valori particulare, nu ca un vector specific. Chiar și cu aceste dificultăți, se obține echilibrul dintre fluxul total al lămpii Φ_t și fluxul luminos util Φ_u pe perețele cilindric:

Tabel 3 Optical Utilization Factor for the cylinder used in DIALux model, Figura 27

Reflectanță perete	0.0	0.10	0.50	0.86
Φ_u – flux luminos util (lm)	2715	3110	23885	30340
Φ_t – flux luminos total (lm)	2700	2700	2700	2700
FU	1	1.152	8.846	11.237

Încă o dată, FU indică faptul că fluxul luminos total va fi amplificat de interreflexii. Datorită metodei specifice de calcul a DIALux (metoda *Photon*) și dificultăților în stabilirea

punctelor de calcul pentru elementele cilindrice, trebuie evitată o anumită incertitudine asupra rezultatelor din Tabel 3. Principala sursă de incertitudine este comparația cu sfera integratoare, unde FU are o valoare bine cunoscută, calculată pornind de la constanta sferei $\frac{\rho}{1-\rho}$ în plus cu unu (iluminarea directă de la sursă), ca în Tabelul 4:

Tabel 4 FU pentru o sferă integratoare

Factor de reflexie al peretelui (ρ)	0.0	0.10	0.50	0.86
$FU = \frac{\rho}{1-\rho} + 1$	1	1.11	2.0	7.14

Această corecție este posibilă utilizând calculul exact al interreflexiilor, dezvoltat în MATLAB de către autor.

1.4.2.3. Calculul MATLAB pentru FU pentru un cilindru complet

Interiorul unui cilindru similar cu cel din Figura 27, cu diametrul de 0,6 m și lungimea de 4 m a fost generat în MATLAB. O iluminare directă a fost impusă pentru o regiune centrală, cu un nivel constant de 100 lx. Această ipoteză ar putea simplifica analiza fluxului reflectat, cu contribuția la valoarea finală a FU . Avantajul calculului MATLAB constă în posibilitatea de a evalua succesiv valoarea fiecărui flux reflectat.

Generarea rețelei pentru acest cilindru este prezentată mai jos:

```

R=0.3m;      % Raza cilindrului utilizat pentru inter-reflexii interioare
for j=1:59    % Numărul de elemente de pe generatoare
for i=1:36    % Numărul de elemente de pe direcția circumferinței cilindrului
XCIL(j,i)=R*cos((i-1)*2*pi/35); % domeniul (-0.5 ÷ 0.4) în Figura 29
YCIL(j,i)=2-(j-1)*4/58;         % domeniul (-2 ÷ 2) în Figura 29
ZCIL(j,i)=.30-R*sin((i-1)*2*pi/35); % domeniul (0 ÷ 0.6) în Figura 29
end
end
end

```

După impunerea nivelului de iluminare directă (inițială) egal cu 100 lx (culoare galbenă în Figura 29), a fost obținut modelul inițial pentru interreflexii în MATLAB:

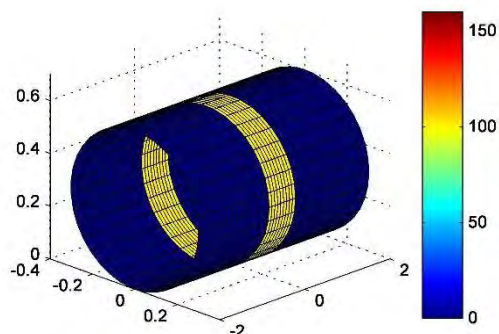


Figura 29 Modelul MATLAB pentru interreflecții într-un cilindru apropiat (iluminare inițială, 100 lux)

Interreflexiile din interiorul profund al cilindrului *urmează modelul sferei integratoare* ca în Tabel 4. Explicația este că fluxul luminos pierdut prin extremitatea cilindrului ar putea fi neglijat (deoarece are o lungime de 4 m). În acest fel se obține o confirmare rapidă a preciziei calculului nostru.

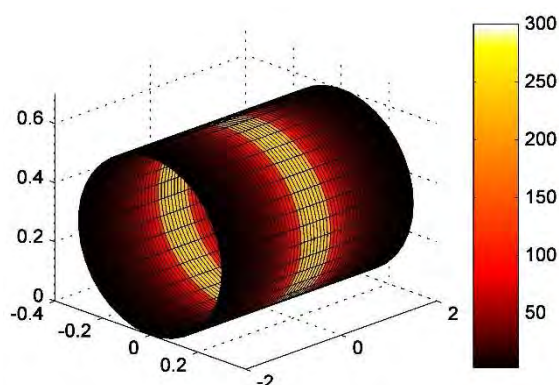


Figura 30 Iluminarea interioară (lux) după șase interreflexii (proportia diametru/lungime este deformată)

O examinare vizuală indică faptul că fluxul luminos, după șase reflexii lambertiene, este regăsit în regiunea centrală a cilindrului, așa cum se arată în Figura 30, fără să se piardă în cantități semnificative pe la capetele cilindrului.

1.4.2.4. Flux luminos incident pe o concavitate cilindrică a unei fațade

După validarea anterioară a modelului MATLAB, ar putea fi evaluată o situație generală a unei concavități cilindrice cu o zonă centrală iluminată. Această ipoteză se bazează pe concavitățile de dimensiuni mici sau medii din fațade, iar scopul nu este calculul FU , deoarece depinde de factori aleatori. Vom demonstra că FU este mai mare de 100%, doar pentru a ilustra faptul că FU nu este un indicator relevant pentru poluarea luminoasă.

În Figura 31 configurația inițială este prezentată cu elemente cilindrice în număr de 36x56, iluminate cu 100 lx (de la elementul 9 la 28 pe circumferință și de la elementul 9 la 49 pe generatoare):

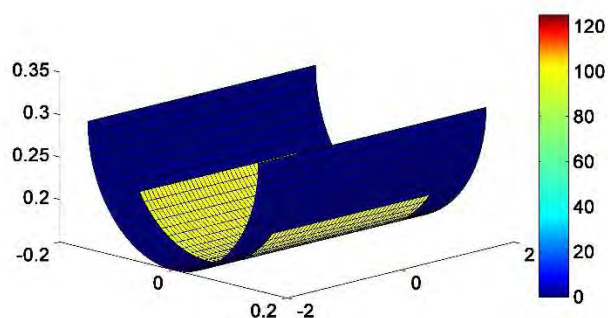


Figura 31 Concavitatea cilindrică, cu iluminare directă inițială (100 lux)

În Figura 32 poate fi vizualizat fluxul total reflectat, după șase etape de inter-reflexie.

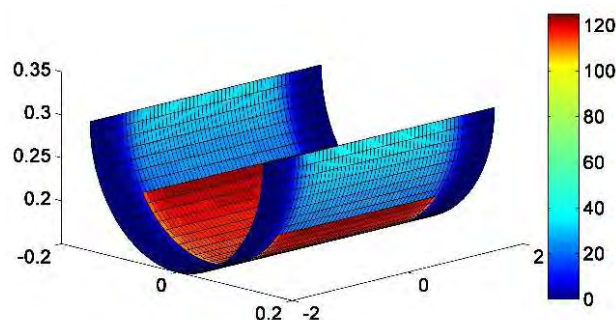


Figura 32 Concavitatea cilindrică, cu iluminare finală reflectată după șase trepte

După evaluarea calitativă, o evaluare cantitativă este disponibilă în Tabel 5, unde fluxul luminos reflectat este evaluat la fiecare etapă.

Tabel 5 Calculul *OUF*, după fiecare reflecție în concavitatea cilindrică

Nr. de reflecții	1	2	3	4	5	6
Fluxul transmis (lm)	5679	1587	512	159	50,2	15,7
Atenuare	-	0,279	0,323	0,312	0,314	0,313
Flux total (lm)	5679	7267	7779	7939	7990	8005
<i>OUF</i>	1,000	1,279	1,370	1,398	1,407	1,409

Un comentariu rapid este foarte important, deoarece după a șasea interreflexie, fluxul luminos a scăzut semnificativ și poate fi neglijat. Chiar și în această situație specială, valoarea *FU* se schimbă foarte repede și devine mai mare de 1 (sau 100%), indicând faptul că poluarea luminoasă nu ar putea fi descrisă cu ajutorul *FU* ca indicator de calitate.

1.4.3. Măsurarea amplificării FU

Un FU mai mare ar putea reprezenta un bun obiectiv în proiectare, pentru a obține poluare luminoasă scăzută. Semnificația sa rămâne aceeași, indicând faptul că un cât mai mare procent din fluxul emis de aparatul de iluminat este incident pe fațadă și nu este pierdut în mod necontrolat către cer.

Luând în considerare interreflexiile, se poate obține creșterea luminanței fațadei cu același flux luminos emis de corpurile de iluminat. O demonstrație experimentală va adetermina amploarea beneficiilor atunci când sunt implicate interreflexiile pe fațadă. S-a folosit o stand de testare simplu, constând într-un reflector care funcționează tangențial pe o suprafață plană. Această configurație inițială servește ca un referențial pentru situația în care suprafața plană este înlocuită cu un profil decorativ prismatic cu suprafețe laterale de 3cm la un unghi de 80° . Luminanța câmpului a fost măsurată, folosind o cameră foto calibrată pentru măsurarea imagistică a luminanței. În Figura 33 sunt prezentate standul de test și în Figura 34 luminanța (cd/m^2).

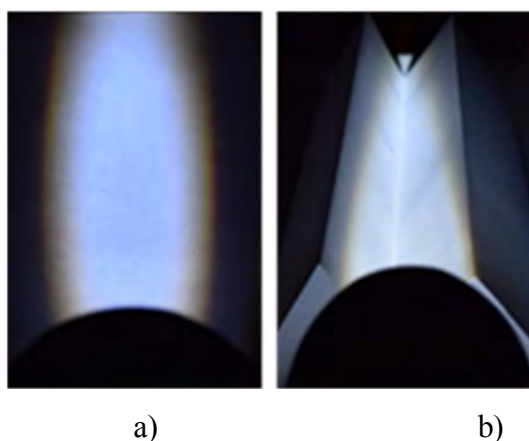


Figura 33 Imaginea standului experimental pentru măsurarea luminanței pentru (a) suprafața plană și (b) concavitatea prismatică

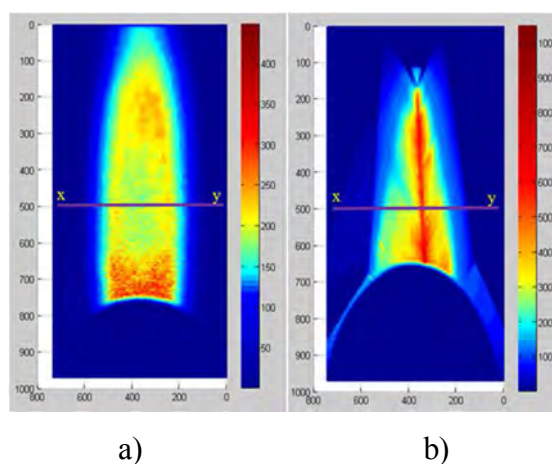


Figura 34 Luminanța (cd/m^2) pentru suprafața plană (a) și concavitatea prismatică (b)

Rezultatele inițiale pentru Figura 34 (a) sunt prezentate în Figura 35, unde se poate observa că luminanța în regiunea centrală iluminată este cvasi constantă, cu un nivel RGB apropiat de valoarea de 180.

După introducerea în câmpul luminos a unei mici concavități prismatice (fără nicio altă modificare, poziția sursei de lumină și a camerei foto sunt neschimbate), câmpul de luminanțe generează rezultate diferite, așa cum se arată în Figura 35.

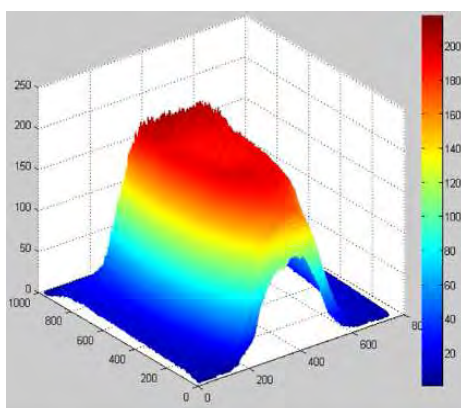


Figura 35 Valorile RGB pentru suprafața plană iluminată a fațadei, ca în Figura 34, a.

În Figura 36 se vizualizează rezultatele scenei din Figura 34 (b), iar luminanța din câmpul central are o creștere evidentă cu valori RGB maxime apropiate de 230. Unghiul diedru interior are o luminanță mai mare, ceea ce reprezintă un efect pozitiv, respectiv un accent luminos pe fațadă. Merită menționat faptul că acest efect de accentuare se obține cu aceeași configurație lumnotehnică din Figura 33.

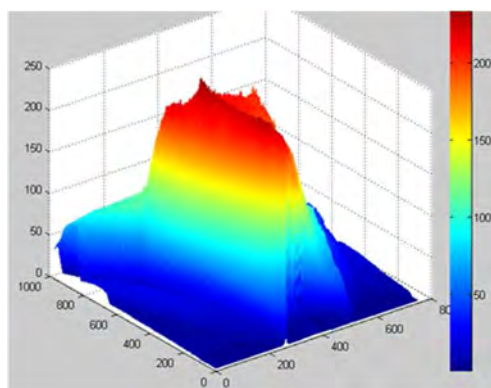


Figura 36 Valorile RGB pentru concavitatea prismatică, iluminate în aceeași configurație ca în Figura 35

Chiar și după o concluzie calitativă obținută din Figura 35 în comparație cu Figura 36, este necesară o evaluare cantitativă a luminanței, pe baza faptului că senzorul CCD (s-a utilizat pentru această lucrare este camera foto NIKON D5300) nu are caracteristici liniare [13, Fig.1] și introduce un efect de *saturație* pentru valori mai mari de luminanță. Folosind OECF (funcție de conversie opto-electronică) determinată experimental de către autor pentru camera foto și luând în

considerare setările particulare (timpul de expunere 1/20s, diafragma F8 și ISO100), este prezentată luminanța (cd/m^2) pentru cele două ipoteze diferite.

În Figura 36, câmpul de luminanță are o hartă de culori diferită în comparație cu Figura 35, dar se poate observa că diferențele efective sunt foarte mari. Pentru a evidenția proporția acestei amplificări, valorile de luminanță din direcția x-y (linia orizontală din Figura 34) sunt extrase și prezentate pe același grafic și aceeași axă, pentru o comparație mai bună, ca în Figura 37.

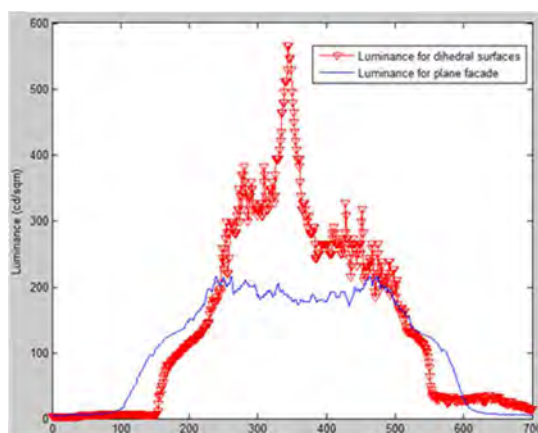
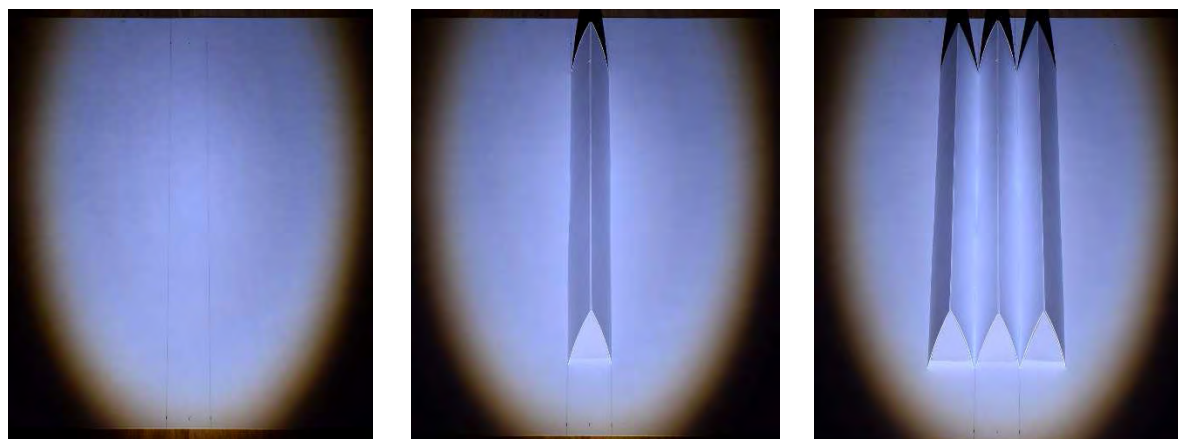


Figura 37 Compararea luminanței (cd/m^2) pentru câmpul central al imaginilor din **Figura 33**, pe direcția x-y din **Figura 34**.

În valori absolute, efectul de amplificare al luminanței este mai mult decât dublu și acesta este un alt efect interesant, oferind posibilitatea de a obține același efect vizual cu un flux luminos mai mic și o poluare luminoasă mai mică. Un comentariu suplimentar este necesar pentru nivelul luminanței din Figura 37, care a fost obținut datorită scării mici a modelului. Totuși, dimensiunea de 3 cm este una realistă pentru un element de detaliu arhitectural la o fațadă.

1.4.4. Amplificarea luminanței la profiluri longitudinale multiple

Pentru detalii arhitecturale, câștigul de luminanță generat de profilele longitudinale ar putea fi util pentru scăderea nivelului general de iluminare, datorită creșterii contrastului de luminanță pe unele cadre de ferestre, de exemplu. Scăderea iluminării generale reprezintă metoda de reducere a poluării luminoase. Pentru a demonstra cum se produce câștigul de luminanță, se compară luminanța obținută pe o fațadă plană (Figura 38, a) cu luminanța obținută pe o fațadă cu un profil longitudinal (triunghiular) (Figura 38, b), respectiv trei profiluri longitudinale (Figura 38, c):



a) Fațadă plană

b) Fațadă cu un profil

c) Fațadă cu trei profile

Figura 38 Câștig de luminanță pe profiluri triunghiulare longitudinale

Luminanța transversală, pentru mijlocul scenei, va demonstra câștigul de luminanță, ca în Figura 39:

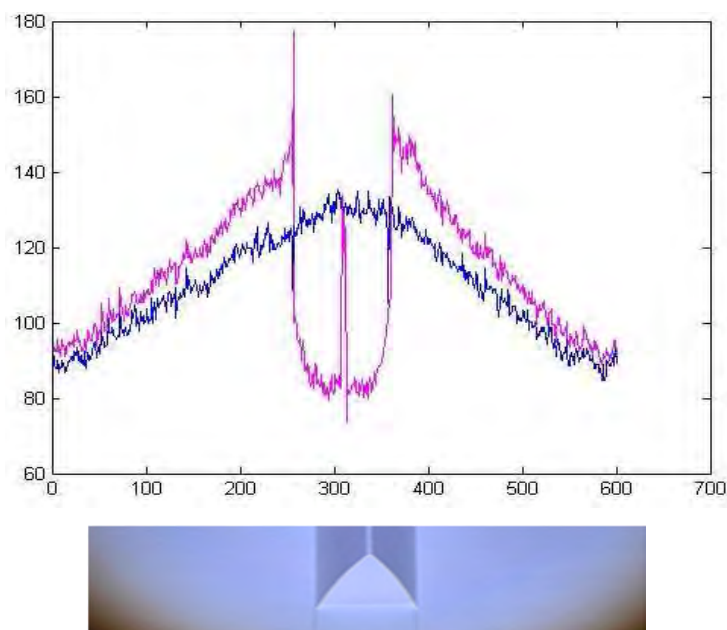


Figura 39 Câștig de luminanță (cd/m^2) într-un profil transversal (magenta) în comparație cu luminanța fațadei plane (albastru)

În cele din urmă, introducând trei profiluri longitudinale, se pot compara toate cele trei scene:

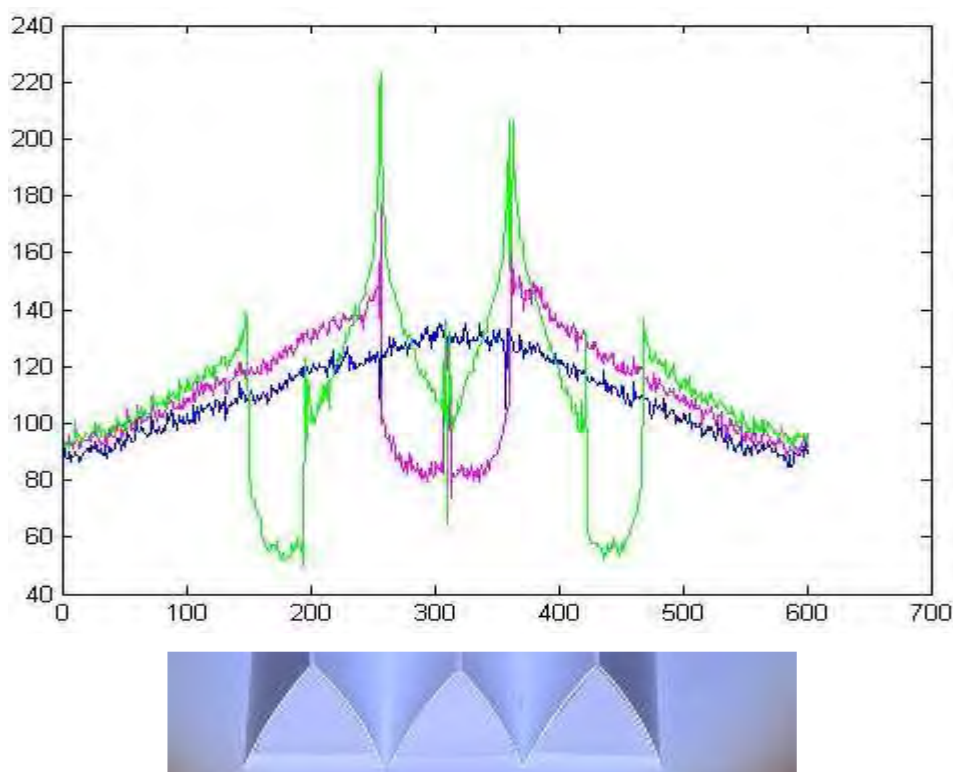


Figura 40 Amplificarea luminanței (cd/m^2) de la trei profile longitudinale (verde) comparativ cu luminanța cu profil unic (magenta) și luminanța plană a fațadei (albastru) ca referință.

Dimensiunile profilelor sunt de 25 mm la bază și 48 mm înălțime, iar materialul este vopsea albă mediu de lucioasă. Geometria și parametrii electrici ai sistemului de iluminat au fost constante pentru toate scenele.

Un singur profil nu produce un câștig de luminanță semnificativ (magenta, Figura 40), dar înmulțind profilurile, efectul va fi mai intens în concavități, unde vor fi prezente interreflexiile (verde, Figura 40), producând 160 până la maxim 200 cd/m^2 comparativ cu 120 cd/m^2 ca valoare inițială, pentru fațada plană. Câștigul de luminanță de 50% este foarte important, în special pentru observatorul apropiat. Acest lucru ar putea încuraja proiectantul sistemului de iluminat să reducă nivelul general de iluminare (mediu), știind că unele detalii de pe fațadă vor genera niveluri de luminanță crescute.

1.4.5. Referințe

- [1] Muñoz Conte T., Ferrandis I.G., Ferrandis X.G., Light pollution in natural science textbooks in Spanish secondary Education, European Journal of Science and Mathematics Education, Vol. 4, No. 2, 2016, 129–139.
- [2] Haenel, A., Posch, T., Ribas, S. J. et al. Measuring night sky brightness: methods and challenges, Journal Of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, Volume 205, 2018, 278-290
- [3] Falchi, F., et al. Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. Journal of Environmental Management 2011, doi:10.1016/j.jenvman.2011.06.029

- [4] Garner, C. Talking unwanted light: an international perspective. *Light & Engineering* 2012. Vol. 25 no. 1, pp.24-39
- [5] Saraiji, R., Saju Oommen, M. Light Pollution Index (LPI): An Integrated Approach to Study Light Pollution with Street Lighting and Façade Lighting. *Leukos* 2012. 9:2, pp. 127-145
- [6] <http://stars4all.eu/index.php/lp/>, cited on 15.05.2017
- [7] *** - Colchester Borough Council, External Artificial Lighting Guidance 2012, <http://www.colchester.gov.uk/CHttpHandler.ashx?id=17398&p=0>, cited on 12.04.2017
- [8] Zagan W., Opinion: Obtrusive light and floodlighting, *Lighting Res. Technol.* 2015; Vol. 47: 640
- [9] Pracki P, A proposal to classify road lighting energy efficiency, *Lighting Res. Technol.* 2011; 43: 271–280
- [10] Skarżyński K, An attempt at controlling the utilization factor and light pollution within the context of floodlighting, *Przegląd Elektro-techniczny*, ISSN 0033-2097, R. 92 NR 9/2016
- [11] Skarżyński K, Field Measurement of Floodlighting Utilization Factor, *Proceedings of 2016 IEEE Lighting Conference Of The Visegrad Countries (LUMEN V4)*, IEEE, 345 E 47TH ST, New York
- [12] Gălăţanu, C.D., Geometry Influence on the Precision of Light Flux Measurement with Ulbricht Integrating Sphere, 9th International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), 604-608, 2016
- [13] Wüller D., Gabele H, *Digital Photography III*, edited by Russel A. Martin, Jeffrey M. DiCarlo, Nitin Sampat, *Proc. Of SPIE-IS&T Electronic Imaging*, SPIE Vol. 6502, 65020U, © 2007 SPIE-IS&T · 0277-786X/07/\$18
- [14] Gutierrez JA, Ortiz de Lejarazu D, Real JA, Mansilla A and Vizmanos J, Dynamic measurement of traffic sign luminance as perceived by a driver, *Lighting Res. Technol.* 2012; 44: pp.350–363

2. Măsurarea luminanței și efecte asupra poluării luminoase

2.1. Măsurători ale luminanței pentru evaluarea poluării luminoase

2.1.1. Probleme în calibrarea DSLR

Măsurarea luminanței cu ajutorul camerei digitale este un subiect foarte bine documentat. Există o bogată literatură de specialitate. Cea mai izbitoare observație este că metoda nu a fost răspândită pe scară largă, cel puțin comparativ cu răspândirea SQM (Sky Quality Meter). Motivul general este că lucrările pe această temă oferă informații interesante, dar evită aspectul pragmatic care să permită multiplicarea metodei pe scară largă. Cu alte cuvinte, majoritatea lucrărilor care abordează calibrarea camerei digitale oferă informații incomplete sau chiar eronate.

În [8] există problema calibrării camerei, pornind de la baza OECF. Există o astfel de curbă, luminanța în funcție de valorile RGB, dar fără a furniza nicio indicație a parametrilor de expunere, ca în Figura 41.

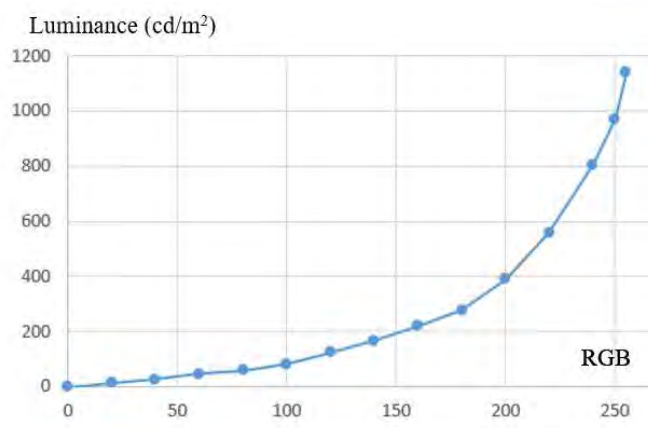


Figura 41 Funcția de conversie opto electronică OECF (după [8]).

Se face referire la EV (Valoarea expunerii) și se indică relația de bază (pentru 100 ISO viteză/ sensibilitate):

$$2^{EV} = \frac{k^2}{t} \quad (1)$$

unde t - timpul de expunere;

k - diafragmă (numărul f).

Se afirmă următoarele „din diferența dintre din valoarea curentă a expunerii și valoarea calibrată a expunerii, împreună cu ieșirea digitală, se poate determina luminanța scenei.”

Această afirmație nu este corectă, deoarece rezultă că ar trebui să se cunoască curbele de calibrare pentru fiecare EV. Nu se indică alte informații care să permită măsurarea luminanței. Cu toate acestea, sunt făcute detalii importante despre transformarea RGB în luminanță. Se menționează că „curba CIE XYZ și $V(\lambda)$ este aproape echivalentă cu eficiența luminoasă spectrală a ochiului uman pentru vederea fotopică”, cu observația importantă că transformarea este valabilă pentru RGB liniar.

$$Y = 0.2162 R_{linear} + 0.7152 G_{linear} + 0.0722 B_{linear} \quad (2)$$

Se mai indică ecuația:

$$2^{EV} = \frac{L_s S}{k_m} \quad (3)$$

unde:

EV - valoare de expunere;

S – setare ISO;

L_s – luminanță scenă, cd/m^2 ;

k_m - constanta de calibrare pentru aparat.

Relația nu este utilă pentru calibrare, deoarece este valabilă pentru expunerea imaginilor cu un nivel mediu de gri. Dacă este utilizat pentru ținte predominant albe, fișierul de imagine va fi supraexpus (situație văzută în fotografiile de iarnă dacă nu sunt făcute setările corespunzătoare).

Problema constantei devine importantă atunci când este explicită ca în [9]:

$$k_c = \frac{N_{RGB}}{L_s} \frac{f^2}{t \cdot S} \quad (4)$$

unde:

k_c constanta de calibrare a camerei

N_{RGB} numărul digital (valoarea) pixelului din imagine

t timpul de expunere, secunde

f numărul diafragmei (f-stop)

S sensibilitatea ISO a filmului

L_s luminozitatea scenei

Existența unei astfel de constante este incertă dacă observăm OECF din Figura 41.

De asemenea, în [9] se descrie metoda de calibrare: „pentru calibrarea camerei se fotografiază o luminanță cunoscută, se aplică valorile pentru luminanță, timpul de expunere, sensibilitatea filmului și setarea diafragmei în ecuația (3) și se calculează constanta de calibrare k_c . Apoi, ar trebui să fie posibilă utilizarea camerei la alte setări ale timpului de expunere, sensibilitatea filmului și setarea diafragmei. Se determină valoarea pixelilor din imagine și apoi se aplică ecuația (3) în cealaltă direcție pentru a calcula o luminanță necunoscută.”

Nu putem fi de acord cu acest mod de lucru. Din (3), este posibil să se extragă luminanța scenei în funcție de valoarea RGB, **dar problema k_c nu este rezolvată deoarece nu este o constantă**. Tot în [9] autorul se contrazice, deoarece, după ce a susținut că doar o măsurătoare este suficientă pentru a determina constanta aparatului, se găsește, câteva rânduri mai jos, descrierea procedurii: „Cu un număr mare de măsurători pentru diferite valori ale vitezei de declanșare, diafragmă și ISO, excluzând valorile în care relația este neliniară, s-a folosit o foaie de calcul pentru a rezolva valoarea corespunzătoare a constantei camerei k_c în ecuația (3). Pentru camera SX120IS, folosind 55 de combinații diferite de setări am măsurat o valoare constantă a camerei k_c de 815 cu o abatere RMS de 4,7%.”

Practic, recomandarea spune că trebuie verificate toate zonele de variație pentru parametrii fotografici. Dar relația de interdependență dintre ISO, numărul f și timpul de expunere este bine cunoscută. Mai mult, dacă se măsoară luminanța normală (adică mare și foarte mare), ISO nu ar trebui verificat, deoarece va funcționa doar cu ISO 100.

Spre deosebire de [3], calibrarea realizată de autor constă în utilizarea unui standard de luminanță (o singură valoare), menținând constantă diafragma și efectuând un set de expuneri variabile în timp pentru a obține valori RGB pe întregul domeniu ($0 \div 255$). Nu este recomandat să lucrați cu valori de diafragme variabile, deoarece aproximarea rotunjirii generată de dorința de a lucra cu numere întregi este, de asemenea, inclusă în calcule. În mod specific, valorile numărului f ar trebui să fie cele din Tabel 1, unde f_{cor} este valoarea exactă și f este valoarea rotunjită.

Tabel 6 Comparația numărului f între valori rotunjite și exacte

No	f	$1/t$	f_{cor}	No	f	$1/t$	f_{cor}
1	5	4000	5.000	9	13	640	12.500
2	5.6	3200	5.590	10	14	500	14.142
3	6.3	2500	6.325	11	16	400	15.811
4	7.1	2000	7.071	12	18	320	17.678
5	8	1600	7.906	13	20	250	20.000
6	9	1250	8.944	14	22	200	22.361
7	10	1000	10.000	15	25	160	25.000
8	11	800	11.180	16	29	100	31.623

Diferențele ar putea fi importante, de la zero la 8% sau chiar 14,2%. Efectuând o calibrare bazată pe numere f , toate aceste diferențe se vor găsi în funcția de conversie.

Alte strategii de calibrare ar putea fi menționate, ca în [10], unde obiectivul era „o înțelegere a relației dintre setările reglabile ale sensibilității și declanșatorului și valorile de gri rezultate. Pe baza acestui lucru și a momentului în care imaginile ar deveni saturate, a fost formulat

un model de calibrare a luminanței.” Unul include corecția gamma (specifică oricărui fabricant) și se găsește o ecuație precum (2) în [10]:

$$L_s = N_{RGB} \cdot 0,0143 \cdot t^{-0,9827} \cdot e^{0,1174 \cdot Gain} \quad (5)$$

Comparând (5) cu (4), termenul $t^{-0,9827}$ este exact t^{-1} , așa cum era de așteptat de la început. Toate aceste considerații justifică găsirea unei metode de calibrare pentru DSLR.

2.1.2. Metoda de calibrare rapidă pentru DSLR

În [11] se prezintă o metodă generală de măsurare a OECF folosind „diagrame de testare cu douăsprezece grile cu niveluri de gri neutre, în diferite trepte de densitate vizuală și o sferă integratoare. Pentru a determina OECF-urile camerei, imaginile grilelor de testare au fost capturate în condiții controlate, pentru ca computerul să le poată calcula. Pentru fiecare probă, nivelul mediu de ieșire digitală se determină dintr-o zonă de 64 x 64 pixeli situată la aceeași poziție relativă în fiecare imagine. Mai multe camere digitale cu imagini statice au fost selectate ca probe de testare, iar OECF-urile lor au fost diferite într-o *gamă mai mare de iluminare*.” La prima vedere, metoda este acceptabilă, expunând senzorul la întreaga gamă de luminanțe. Problema este numărul mai mare de măsurători, pentru diferite iluminări (pentru a genera luminanțe diferite pe graficul de gri).

S-a mai identificat o metodă bazată pe un singur standard de luminanță, cu mai multe imagini obținute pentru același număr f (diafragmă) și pentru toți timpul de expunere disponibil al DSLR, ca în Figura 42. Numărul f depinde de standardul de luminanță, datorită necesității de a obține imagini în valori RGB în intervalul $0 \div 255$.

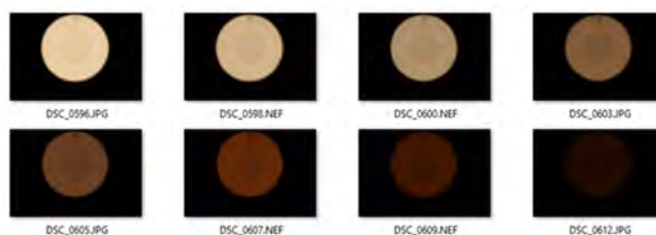


Figura 42 O selecție de imagini cu EV de la 1/8 sec (expunere saturată, supraexpunere) la 1/1250 sec (subexpunere totală, pixeli negri), $f/10$, ISO100

Imaginile au fost obținute dintr-un standard de luminanță Newport 70667, cu o sursă de alimentare și un controler 69931 și o sursă QTH 63360 (Newport). Luminanța disponibilă pe portul optic de 2” a fost de 371.1 cd/m^2 . A fost folosită o cameră NIKON D5300, generând fișiere RAW (.NEF pentru Nikon) și JPG. Fișierele RAW au fost convertite în fișiere TIF (necomprimate), citibile de MATLAB.

O primă problemă a fost citirea luminanței din zona țintă. Folosind ViewNX2 ver.2.8.2 (Nikon) pentru evaluarea vizuală și MATLAB pentru evaluarea cantitativă, autorul a pus în

evidență o altă încadrare pentru imagini. Pentru a evita confuzia, trebuie identificată originea axei și a indicelui matricei obținute din imagini, ca în Figura 43:

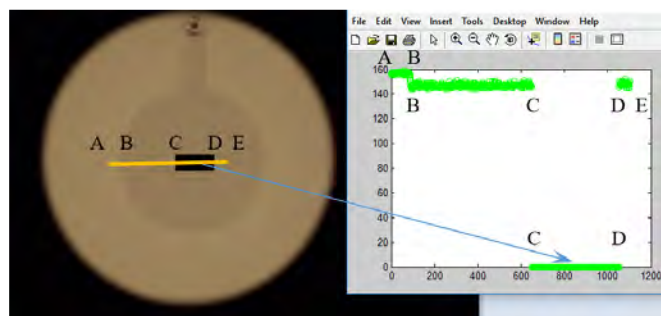


Figura 43 Valorile RGB citite din imaginea etalonului de luminanță.

Interiorul etalonului de luminanță (Figura 43, în stânga) are o regiune diferită, deoarece este vizibil interiorul sferei integratoare, iar discul central, mai întunecat decât sfera, este acela care generează luminanța standard. Pentru mai multă siguranță, pe o imagine s-a adăugat un dreptunghi întunecat suplimentar (într-un editor foto), pentru a facilita recunoașterea datelor care urmează să fie citite (linia A-E, Figura 43). Citind datele din linia A-E, observăm valorile:

- A-B = interiorul sferei, inutil
- B-C = disc cu luminanță standard, 371.1 cd/m^2
- C-D = dreptunghi întunecat, accesoriu/reper temporal, pentru validare
- D-E = luminanță standard, 371.1 cd/m^2

În Figura 44 se prezintă diferite date capturate în funcție de coordonatele punctelor:

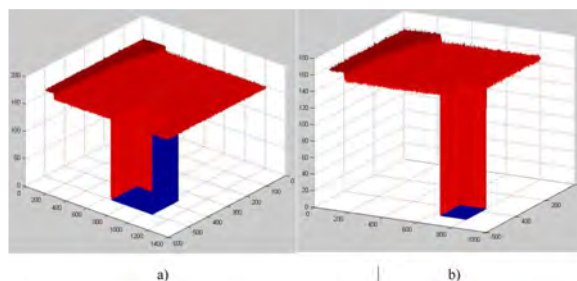


Figura 44 Date capturate pentru elementele matriciale (1200:1700, 2200:3400) – a) și pentru (1200:1700, 2200:3300) – b)

Recapitulând, valorile zero se datorează dreptunghiului negru din Figura 43. Deoarece în absența răspunsului dinamic al funcției mesh, care generează Figura 44, este dificil de înțeles Figura 44, un rezultat suplimentar este reprezentat în Figura 45:

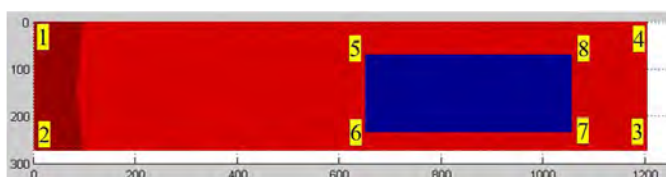


Figura 45 Date citite din Figura 43, cu coordonatele din Tabelul II. (Valorile axelor sunt locale, nu sunt legate de Figura 43)

Figura 45 trebuie citită împreună cu

Nr. crt.	Coordonate	
	<i>X</i>	<i>Y</i>
1	2200	1500
2	2200	1770
3	3400	1770
4	3400	1500
5	2846	1567
6	2846	1730
7	3251	1730
8	3251	3251

coordonatele punctelor reprezentative:

Tabel 7 Coordonatele punctelor din Figura 45

Nr. crt.	Coordonate	
	<i>X</i>	<i>Y</i>
1	2200	1500
2	2200	1770
3	3400	1770
4	3400	1500
5	2846	1567
6	2846	1730
7	3251	1730
8	3251	3251

O remarcă finală este necesară, deoarece în MATLAB coordonatele axei *X* sunt organizate după coloane, iar axa *Y* sunt organizate prin linii ale matricei.

Folosind această metodă pentru a selecta datele RGB citite din imagini, este posibil să fie utilizată (5) pentru a calcula funcția de conversie:

$$k(N_{RGB}) = \frac{N_{RGB}}{L_s} \frac{f^2}{t \cdot S} \quad (6)$$

Rezultatul obținut pentru NIKON D5300 este prezentat în Figura 46:

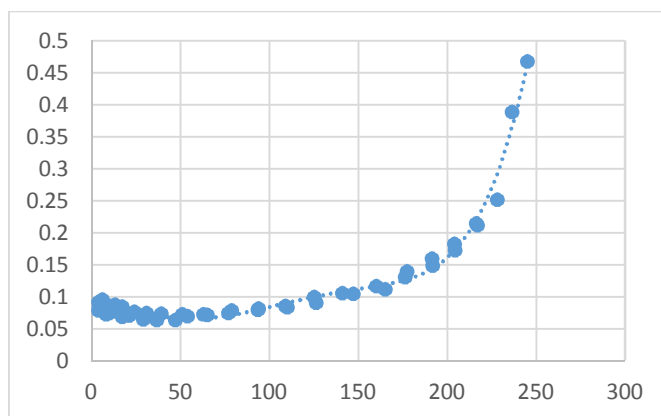


Figura 46 Funcția de calibrare RGB la luminanță $k(N_{RGB})$, măsurată pentru NIKON D5300

Linia de tendință, în aproximare polinomială pentru OECF a Nikon D5300, este:

$$k(x)^{NIKON} = 6.9676E-12x^5 - 3.2643E-09x^4 + 5.1211E-07x^3 - 2.5702E-05x^2 + 5.1953E-06x + 8.4553E-02 \quad (7)$$

În (7), x reprezintă valoarea RGB, transformată în nivel de gri cu curba λ . Precizia măsurătorii pentru aceste rezultate este de aproximativ 6% și include toate sursele de erori descrise în [2], unde se menționează, de asemenea, că o eroare de 10% este acceptabilă pentru măsurarea luminanței.

Demonstrând că metoda este rezonabilă de rapidă, a fost analizată și o cameră diferită, SONY F828. Nu este un DSLR, dar are posibilitatea de a seta manual toți parametrii. OECF este disponibil în Figura 47:

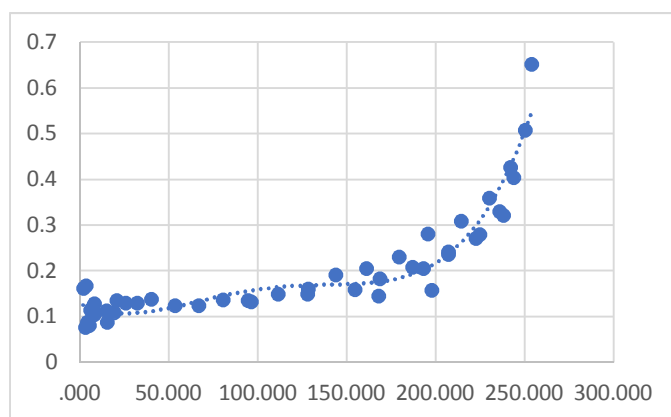


Figura 47 Funcția de calibrare RGB la luminanță, măsurată pentru SONY F828

Curbele sunt foarte asemănătoare, datorită standardizării ISO, impusă pentru fiecare cameră (ISO 12232/2006 specifică metoda de atribuire și raportare a vitezei ISO, a valorilor ISO

a latitudinii vitezei, a valorilor standard ale sensibilității de ieșire și a valorilor recomandate ale indicelui de expunere pentru camerele foto digitale).

Pentru Sony F828 funcția de tendință este:

$$k(x)^{SONY} = 9.5506E-10x^4 - 3.9293E-07x^3 + 5.2404E-05x^2 - 1.9629E-03x + 1.2867E-01 \quad (8)$$

Acest lucru încurajează utilizatorii să transforme direct fișierele RAW în luminanță, cu precizie acceptabilă pentru alte DSLR, pentru determinarea în scop informativ a valorilor de luminanță.

2.1.3. Interpretarea datelor

Ecuția (5) ar putea fi utilizată pentru transformarea fișierului, de la RGB la luminanță, reconsiderând constanta $k' = 1/k$:

$$L_s = k'(N_{RGB}) \cdot N_{RGB} \frac{f^2}{t \cdot S} \quad (9)$$

Cu aceasta, ciclul de măsurare va include:

- o serie de fotografii, pentru a acoperi un domeniu mare de luminanțe
- transformare RAW în TIF (în editor foto)
- deschiderea fișierului în Matlab
- transformarea RGB în gri cu (3)
- calculul luminanței cu (8)
- vizualizarea și interpretarea câmpului de luminanțe

În Figura 48 se prezintă o fațadă, unde luminanța trebuie evaluată.



Figura 48 Detalii ale fațadei Universității Tehnice "Gh.Asachi" (Exponere 2s, f/5, ISO100)

Evaluarea vizuală nu produce informații semnificative, luminanța fațadei pare a fi într-un interval normal. Acesta este motivul pentru care evaluarea cantitativă este importantă. Efectuând algoritmul anterior, se obțin datele pentru Figura 49:

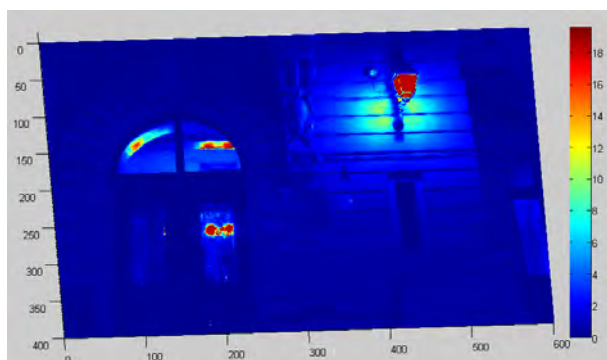


Figura 49 Lumină fațadă, culori false, cd/m^2

Imaginea din Figura 49 este generată cu funcția *mesh* din MATLAB, valorile suprafeței sunt calculate ca luminanță. Pentru luminanța medie ($2 \div 10 \text{ cd/m}^2$), rezoluția legendei este relevantă. Pentru luminanța foarte mică ($0 \div 2 \text{ cd/m}^2$) trebuie făcută o analiză suplimentară. Funcția MATLAB *contour* oferă aceste posibilități, ca în Figura 50:

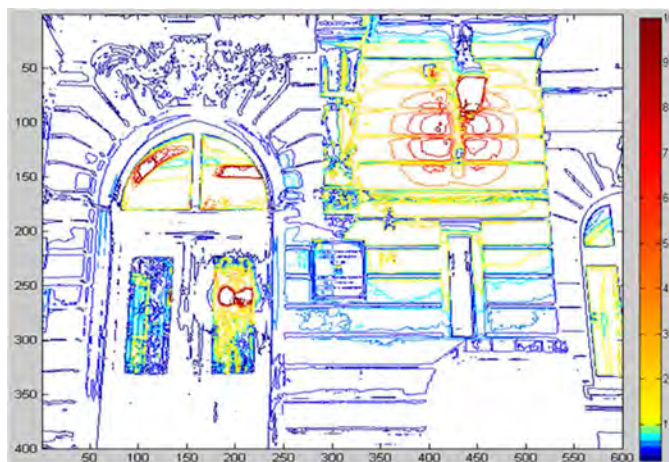


Figura 50 Curbele izocandela/ m^2 pentru $[0.2 \ 0.4 \ 0.6 \ 0.8 \ 1 \ 2 \ 4 \ 6 \ 8 \ 10] \text{ cd/m}^2$

Figura 50 este un bun exemplu în care contrastul de luminanțe (de fapt combinația lumină-umbră) mărește vizibilitatea detaliilor arhitecturale, chiar și la un nivel scăzut de luminanță, cu impact direct pentru înfrumusețare fațadelor fără poluare luminoasă.

Și, pentru valori ridicate ale luminanței (respectiv corpurile de iluminat), nu sunt disponibile informații din Figura 50, deoarece valorile RGB sunt saturate. Pentru aceste valori maxime va fi nevoie de alte imagini, cu valori de expunere diferite: $f-25$, $t = 1/100 \text{ s}$, ISO 100 ca în Figura 51:

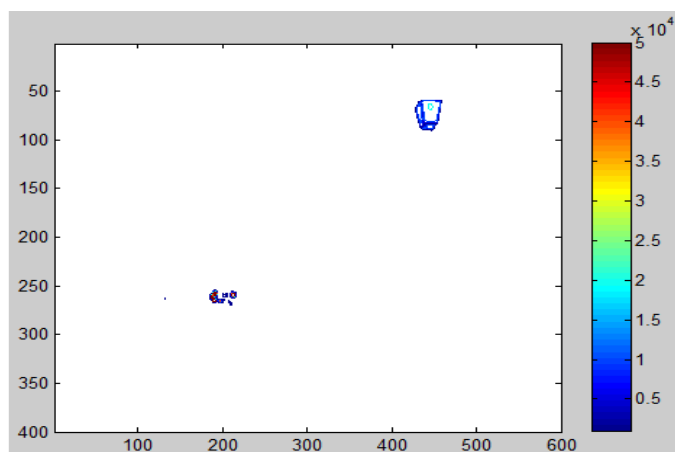


Figura 51 Curbele izocandela/ m^2 pentru [0.5 1 2 1000 1500 5000 10000 20000 40000 50000] cd/m^2

Figura 51 trebuie interpretată împreună cu Figura 50, deoarece detaliile pentru luminanță scăzută sunt absente, dar sunt disponibile valori ridicate pentru corpul de iluminat exterior (aproximativ $20000\text{ }cd/m^2$) și foarte importante, pentru corpul de iluminat interior, mai mult de $8 \times 10^3\text{ }cd/m^2$. Aceste valori sunt în concordanță cu senzația vizuală, deoarece este prezentă strălucirea, generată de ambele surse de lumină neecranate. Pentru publicul larg, aceste surse de lumină sunt considerate normale, fiind dificil de imaginat un design diferit sau un ecran suplimentar. Pentru corpul de iluminat din interior, conexiunea cu exteriorul este mai puțin subliniată. Strălucirea are un efect suplimentar, fațada este percepută mult mai întunecată decât în mod normal, obligând administratorul clădirii să crească nivelul general de iluminare arhitecturală.

Calibrarea camerei digitale reprezintă o realizare foarte valoroasă, deoarece permite măsurarea în mod curent a unor mărimi care practic sunt neglijate. Există luminanțmetre optice, care permit măsurători într-un unghi vizual de 1,5 grade sau chiar mai puțin (0,5 grade), dar numai măsurătorile imagistice, ca metode globale, permit o analiză completă a câmpului vizual. Aplicațiile acestor măsurători sunt foarte variate, și acoperă un domeniu practic neacoperit în luminotehnică.

2.1.4. Referințe

- [1] <http://www.darksky.org/resources/research/alan-database/>, cited on 15.07.2017
- [2] <http://www.cost-lonne.eu/>, cited on 16.07.2017
- [3] S. Poiani, C. Dietrich; A. Barroso; AM Costa-Leonardo, “Effects of residential energy-saving lamps on the attraction of nocturnal insects”, *Lighting Res. Technol.*; Vol.47: pp.338–348, 2015
- [4] A. Haim, A.E. Zubidat, “Artificial light at night: melatonin as a mediator between the environment and epigenome”. *Phil. Trans. R. Soc. B* 370: 20140121., <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0121>, 2015
- [5] C.C.M. Kyba, S. Garz, H. Kuechly, A. de Miguel, J. Zamorano, J. Fischer, et al., “High-Resolution Imagery of Earth at Night: New Sources, Opportunities and Challenges”, *Remote Sensing*, 7(1), pp.1–23, 2015

- [6] A. Jechow, Z. Kolláth, S.J. Ribas, H. Spoelstra, F. Hölder, C. Kyba, “Imaging and mapping the impact of clouds on skyglow with all-sky photometry”, *Sci Rep*, 7(1), Article number 6741, 2017
- [7] O. Rabaza, F. Aznar-Dols, M.J. Mercado-Vargas and A. Espin-Estrella, “A new method of measuring and monitoring light pollution in the night sky”, *Lighting Res. Technol.*; Vol 46 : pp. 5–19, 2014
- [8] D. Wüller, H. Gabele, “The usage of digital cameras as luminance meters”, *Digital Photography III*, edited by Russel A. Martin, Jeffrey M. DiCarlo, Nitin Sampat, *Proc. Of SPIE-IS&T Electronic Imaging*, SPIE Vol. 6502, 65020U, © 2007 SPIE-IS&T · 0277-786X/07/\$18
- [9] P. D. Hiscocks, “Measuring Luminance with a Digital Camera”, www.syscompdesign.com, February 16, 2014, cited on 11.06.2017
- [10] J. E. Meyer, R. B. Gibbons, C. J. Edwards, *Development and Validation of a Luminance Camera*, 2009, http://scholar.lib.vt.edu/VTTI/reports/Luminance_Camera_021109.pdf, cited on 14.07.2016
- [11] H.P.Wu, P. Li, Y. Wang, Y.W. He, C. Li, “Measurement for opto-electronic conversion functions (OECFs) of digital still-picture camera”, *Conference on Optoelectronic Imaging and Multimedia Technology*, DOI: 10.1117/12.869364, 7850, Article Number: 78501D, 2010
- [12] <http://stars4all.eu/index.php/lpi/>

2.2. Câmpul de luminanțe al fațadelor: de la iluminat agresiv la atractiv

2.2.1. Hărți de luminanțe

În contextul intensificării poluării luminoase, situația iluminatului arhitectural a fost slab înțeleasă și chiar neglijată. Un exemplu este [1], în care problema este abordată în mod similar confortului vizual în general, pentru diferite sarcini vizuale. Astfel, ... „ca rezultat al preferințelor estetice individuale ale respondenților, s-au obținut setul de luminanțe medii a zonelor respective de fațadă. În timpul analizei statistice a rezultatelor, au fost utilizate elemente de estimare a intervalului pentru a evalua o valoare medie a nivelurilor de luminanță a zone de fațadă iluminate. Rezultatele studiilor statistice au permis determinarea celor mai preferate niveluri de iluminare ale respectivelor zone de fațadă, precum și a nivelurilor medii de luminanță ale acelor zone.” Nu putem fi de acord, deoarece pentru arhitectură problema iluminării trebuie formulată diferit: *cum se poate obține un efect vizual maxim (nu vizibilitate) cu un flux de lumină minim?* Pentru că dacă lăsăm ochiul și impresia subiectivă pentru a impune soluțiile, este clar se va manifesta o tendință de creștere a nivelului de iluminare și, implicit, al poluării luminoase.

Un argument pentru posibilitățile reduse de utilizare a ochiului ca „instrument” pentru evaluarea calitativă a mediului luminos poate fi găsit în [2], unde subiectivismul este înlocuit cu imaginea digitală. Mai mult, metoda este aplicată mediului luminos în timpul zilei, când pot fi studiate valorile ridicate ale contrastelor (fațade, vegetație, cer). Noaptea, mai multe informații pot fi dezvăluite și de aceea s-a optat pentru această abordare.

Faptul că iluminatul fațadelor a fost neglijat este demonstrat în [3], care este un ghid de proiectare pentru iluminarea suprafețelor verticale, dar are o zonă de utilizare foarte limitată. Și atunci ce se întâmplă dacă iluminatul arhitectural se dezvoltă numai pe baza inspirației subiective?

Un semnal de alarmă este tras în [4] deoarece „optica atmosferei și tehnologia de iluminare sunt printre sursele primare de incertitudine în prezicerea efectelor optice colective pe care toate luminile orașului le pot avea asupra luminii difuze ale cerului nocturn ... emisia de lumină cumulată din toate structurile dintr-un mediu urban eterogen care emite lumină și care blochează vizibilitatea cerului este dificil de obținut și rămâne încă necorespunzător cuantificată.” Evident, există încercări de a descrie efectul tuturor surselor de lumină din mediul urban și se demonstrează [5] că iluminatul fațadei prezintă o tendință în creștere. Desigur, iluminatul arhitectural nu poate fi interzis, mai ales că era folosit și în antichitate [6]. În aceeași lucrare, autorii specifică riscul de a comite greșeli, dar și exemple de reușită. Una dintre aceste metode de succes este modelarea

detaliată a fațadelor și analizarea imaginilor HDR (High Dynamic Range), așa cum se propune în [7].

Aceleași metode bazate pe imagini cu luminanță de înaltă rezoluție sunt disponibile în [8], aplicate și pentru confort vizual în aer liber. Evident, beneficiile imaginilor HDR vor fi extinse în cazul monitorizării luminanței fațadei. Valabilitatea utilizării hărților de luminanță este subliniată în [9], unde se evidențiază detalii pe care observația vizuală directă nu le poate detecta.

În mod similar, așa cum se poate găsi în [10], dacă se extinde studiul fațadelor de la reflexivitate diurna la aspectul nocturn, ne putem aștepta la unele consecințe foarte grave, și anume fluxul luminos emis direct către cer.

Acest criteriu este, de asemenea, important în contextul iluminării fațadelor și concluzii interesante pot fi găsite în [11], unde se demonstrează că o direcție bună *de jos în sus* a reflectoarelor care lucrează pe o fațadă poate fi o soluție mai bună decât soluția *de sus în jos*. Această din urmă soluție ar putea reflecta un flux luminos enorm către cer prin efectul reflectorizant al pavajului. Pentru cercetarea noastră, și acest tip de efect poate fi evidențiat prin intermediul hărților de luminanță.

2.2.2. Metodologie

Aceste hărți de luminanță nu ar putea fi disponibile fără calibrarea camerelor digitale. Există, de asemenea, camere digitale specializate, standard, dar prețul lor le face nepotrivite pentru utilizare pe scară largă, de către un număr mare de specialiști. Calibrarea camerelor digitale este menționată în multe lucrări, dar majoritatea lucrărilor evită etapele esențiale ale calibrării. În această lucrare, au fost utilizate principiile de calibrare descrise în [12, 13 și 14]. Aceste detalii de calibrare sunt disponibile în [15], pentru camera foto utilizată (NIKON D5300).

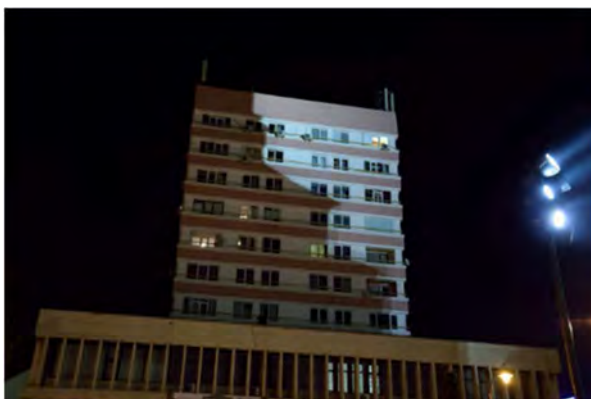


Figura 52 Luminanțe deranjante, blocul „Casa Cărtii”, Iași

Criteriul cantitativ propus va fi luminanța fațadelor, precum și contrastul de luminanță. Acest parametru (Luminance contrast - LC) nu este utilizat în prezent pentru fațade, dar este bine

cunoscut faptul că vizibilitatea depinde de LC. Oferă posibilitatea de a obține o vizibilitate mai bună a fațadei cu niveluri de iluminare mai reduse.

Metoda se bazează pe o prelucrare succesivă a imaginii, pentru a transforma informațiile RGB în harta luminanțelor. Se folosește funcția optoelectronică a camerei, precum și timpul de expunere, numărul F și sensibilitatea ISO. Pentru a ilustra acest lucru, sunt prezentate unele cazuri de studiu, cu comentarii și detalii relevante.

În Figura 52 este prezentat un exemplu evident cu o fațadă care este țintă pentru un sistem de iluminare invaziv (se observă umbra bisericii Trei Ierarhi din Iași, iluminată din stâlpii situați în patru colțuri). Surpriza constă în valorile luminanței fațadei, ca în Figura 53:

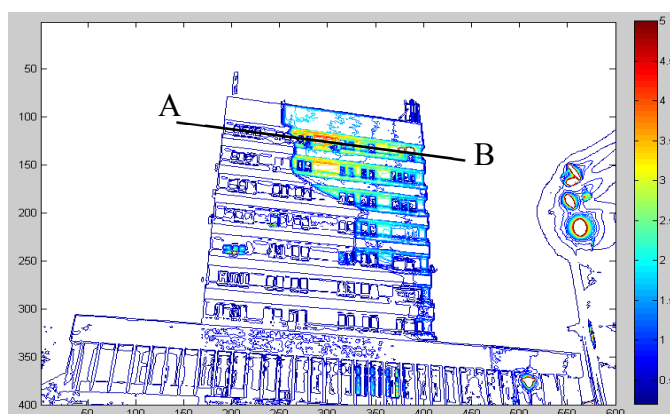


Figura 53 Harta de luminanțe pentru fațada blocului Casa Cărții, cu lumină invazivă

Cunoscând legătura dintre iluminarea E și luminanța L pentru o reflexie difuză perfectă:

$$L = \frac{\rho}{\pi} E \quad (1)$$

găsim o iluminare apropiată de $15 \div 17$ lx, o valoare total inacceptabilă. Pentru chiriași, disconfortul generat de lumina obositoare (care ajunge în interior) este accentuat de „pierderea” cerului nocturn și, de asemenea, de pierderea perspectivei nocturne asupra peisajului orașului.

Extragând valorile dintr-o regiune specială (A-B în Figura 53), sunt disponibile informații suplimentare:

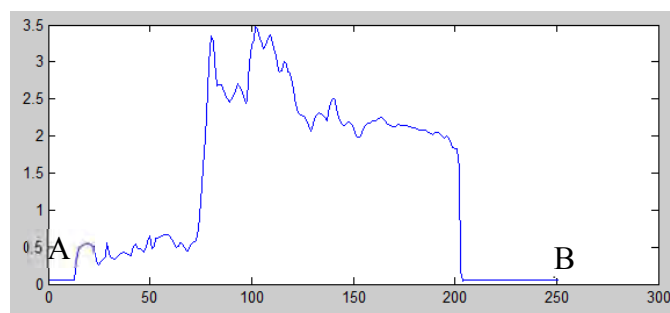


Figura 54 Variația de luminanță pe fațada din Figura 53, zona A - B

Diferența dintre regiunea stângă (umbră relativă) și cea dreaptă este evidentă, și chiar partea de umbră are o luminanță relativ mare.

O scenă diferită este prezentată în Figura 55, unde subiectul este un avion expus și iluminat în fața unei fațade:

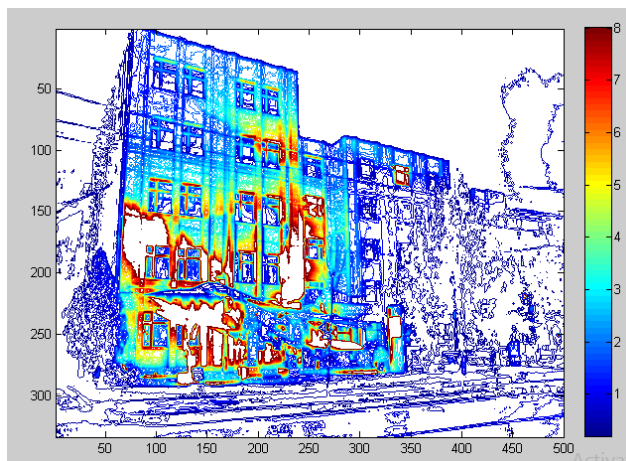


Figura 55 Un avion de luptă cu reacție expus în fața unei fațade, Bd. Mangeron, Iași

Pentru început, se observă că intervalul dinamic nu este suficient pentru a dezvălui tot câmpul de luminanțe. A fost făcută o fotografie suplimentară, extinzând astfel intervalul dinamic al imaginii, ca în Figura 56. Valorile absolute pentru iluminare sunt mai mari decât în primul caz, se descoperă mai mult de 50 lx pe unele regiuni ale fațadei! Mai interesant este efectul vizual slab obținut pentru avionul de luptă în sine, datorită suprafeței netede (cu reflexie dirijată) și a vopselii de camuflaj, întunecate!

Sublinierea luminii invazive este un obiectiv, dar fațadele ar putea fi studiate și pentru a căuta să subliniem importanța nivelului de luminanță împreună cu contrastului de luminanță, ca în exemplul următor.

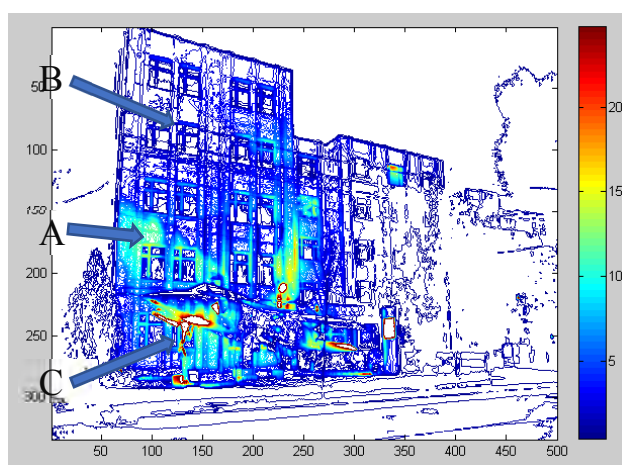


Figura 56 Imaginea din Figura 55, cu HDR, și luminanța pentru iluminare excesivă (zona „A”), umbra avionului (zona „B”) și poziția avionului (zona „C”)

Următorul studiu de caz este Muzeul Municipal, orașul Iași, ca în Figura 57. Situat într-o zonă relativ întunecată, între case rezidențiale și străzi secundare, muzeul sugerează o atmosferă plăcută, destul de atractivă. Însă valorile luminanței reprezintă o surpriză, astfel încât a fost necesară o imagine/expunere suplimentară, datorită luminanțelor excesiv de mari, conform Figura 58:



Figura 57 Fațada Muzeului Municipal, municipiul Iași



Figura 58 Fațada Muzeului Municipal , cu timp mai scurt de expunere, pentru gamă dinamică ridicată

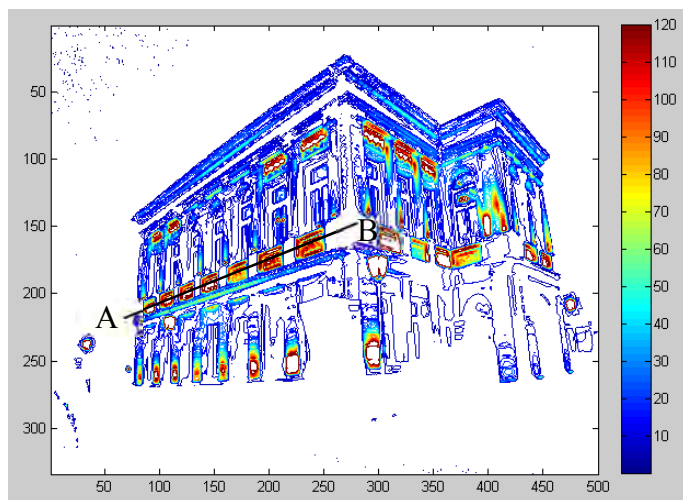


Figura 59 Harta de luminanțe pentru fațada Muzeului Municipal, cd/m^2

Unele detalii sunt interesante, cum ar fi linia A-B, de unde profilul de variație a luminanței este prezentat în Figura 60:

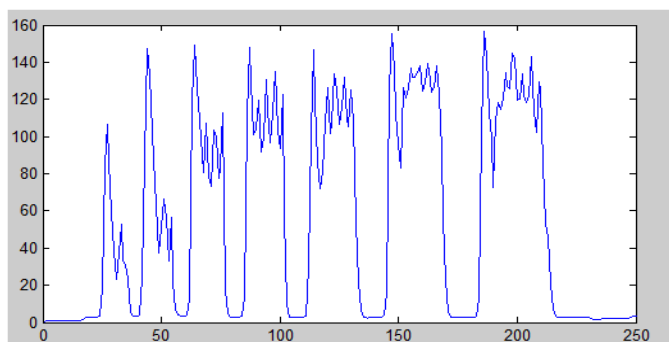


Figura 60 Contrastul de luminanțe pe linia A-B, din Figura 59 (cd/m^2)

Valorile luminanței din Figura 60 sunt produse de iluminări de cca 1000 lx, valoare care exprimă nivelul de supradimensionare. În Figura 60 se mai observă ceva interesant, și anume existența contrastului de luminanță, foarte evident. Acest contrast de luminanță face posibil ca detaliile arhitecturale să poată fi accentuate la valori de luminanță cu mult mai mici, în orice caz nu atât de agresive.

Un astfel de exemplu, de vizibilitate obținută pentru luminanțe mult mai mici este iluminatul arhitectural al Mănăstirii Golia, din Iași conform cu Figura 61:

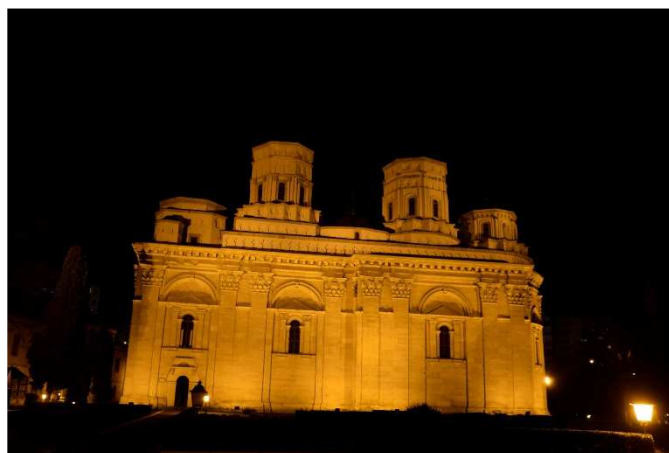


Figura 61 Mănăstirea Golia cu luminanțe reduse dar și contrast luminos redus

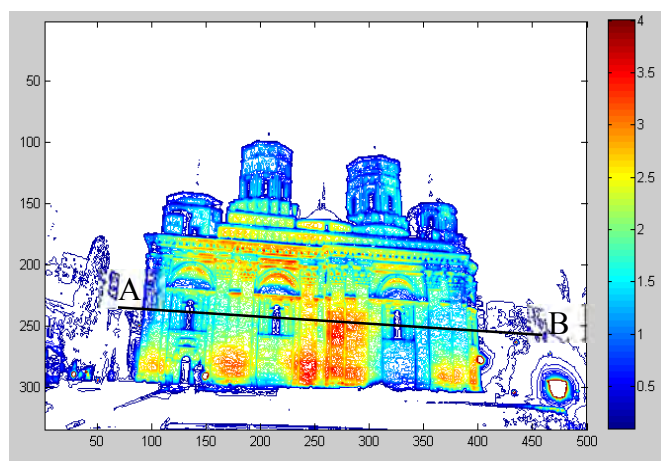


Figura 62 Harta luminanței (cd/m^2) pentru Mănăstirea Golia

Luminanța medie este mai puțin agresivă decât în Figura 57, dar chiar și aici valorile sunt prea mari, clădirea fiind situată între zidurile propriei fortificații, zonă amenajată ca parc cu vegetație bogată. Se observă o uniformitatea slabă a luminanțelor, generată de neoptimizarea etajului optic din corpurile de iluminat. Această afirmație este mult mai evidentă studiind profilul luminanței pe linia ferestrelor, dreapta A-B din Figura 63, ilustrată în Figura 63:

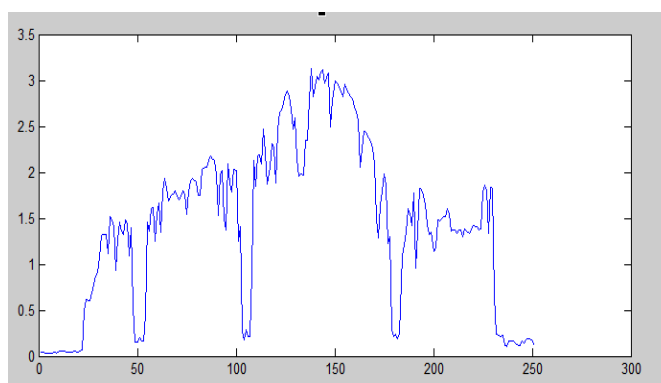


Figura 63 Profilul de luminanță de pe direcția A-B din Figura 62, cu neuniformitate pentru zona centrală a bisericii și (trei) ferestre întunecate

Studiul de caz poate servi ca bază pentru un ghid cu comentarii practice și soluții pentru îmbunătățirea atractivității fațadelor și reducerea poluării luminoase, ca etapă de implementare și valorificare a metodei de măsurare imagistică.

2.2.3. Referințe

- [1] W. Malska, H. Wachta, „Elements of Inferential Statistics in a Quantitative Assessment of Illuminations of Architectural Structures”, Conference: IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries (Lumen V4) Location: Karpacz, POLAND Date: SEP 13-16, 2016
- [2] J. Lopez-Besora, A. Isalgué, H. C. Roura, “A digital image processing method for urban scenes brightness assessment”, ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno, 11 (32): 157-170, 2016. DOI: 10.5821/ace.11.32.4837. ISSN: 1886-4805

- [3] T. Schielke, "Tutorial: Rationale, Concepts, and Techniques for Lighting Vertical Surfaces", LEUKOS Volume: 9 Issue: 4 Pages: 223-243 Published: APR 2013
- [4] M. Kocifaj, "Towards a comprehensive city emission function (CCEF), Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer" 205 (2018) 253–266
- [5] M. Kocifaj, "Multiple scattering contribution to the diffuse light of a night sky: A model which embraces all orders of scattering", Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer 206 (2018) 260–272
- [6] Y. Demiroz, B. Acarkan, "Facade Lighting of Historical Buildings and Galata Tower Application", IEEE Conference: National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO) Location: Bursa, TURKEY Date: DEC 01-03, 2016
M.T. Araj, M. Boubekri, M., "A novel way of utilising Radiance-Matlab visualisation for facade design optimisation", LIGHTING RESEARCH & TECHNOLOGY Volume: 43 Issue: 1 Pages: 103-118 Published: MAR 2011
- [7] K. Konis, E.S. Lee, R.D. Clear, "Visual comfort analysis of innovative interior and exterior shading systems for commercial buildings using high resolution luminance images", LEUKOS Volume: 7 Issue: 3 Pages: 167-188 Published: JAN 2011
- [8] M. Moeck, YJ Yoon, "Modeling intensity distributions of advanced daylight systems surrounded by arbitrary luminance maps", LEUKOS Volume: 2 Issue: 1 Pages: 61-77 Published: JUL 2005
- [9] A.K. Solovyov, "Reflective facades and their influence on illumination of nearby buildings", LIGHT & ENGINEERING Volume: 25 Issue: 2 Pages: 88-93 Published: 2017
- [10] W. Zagan, K. Skarzynski, "A analysis of light pollution from floodlighting: is there a different approach to floodlighting? ", LIGHT & ENGINEERING Volume: 25 Issue: 1 Pages: 75-82 Published: 2017
- [11] C. A. Bouroussis, F. V. Topalis, "Smart multi-workplane lighting control and utilization of daylight using an imaging photosensor", 16 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering, 7-10 June, 2016, Florence, Italy
- [12] C.A. Bouroussis, F.V. Topalis: "Automated luminance measurements of tunnel and road lighting installations", Proceedings of the 11th European Lighting Conference Lux Europa, Istanbul, 9-11 September 2009.
- [13] C.A. Bouroussis, F.V. Topalis, "A novel digital system for real-time luminance measurements of road and tunnel lighting", Balkan Light 2008, Ljubljana, Slovenia, 7-10 October 2008.
- [14] C.D. Galatanu, "Luminance Measurements For Light Pollution Assessment", 2017 International Conference On Electromechanical And Power Systems (SIELMEN) Pages: 456-461 Published: 2017

2.3. Identificarea poluării luminoase: studiu de caz Jeju, Korea

2.3.1. Tendințe în studierea poluării luminoase

Poluarea luminoasă este un fenomen aflat în continuă expansiune și de aceea este studiat mai atent în ultima perioadă. Un efect al poluării luminoase (LP) este strălucirea cerului. O lucrare monografică despre acest subiect este [1], unde se subliniază utilitatea camerei digitale calibrate cu obiectiv Fisheye. Principalul beneficiu este posibilitatea studierii efectului produs de spectrul luminii artificiale, chiar dacă nu este examinat tot spectrul. Ca rezultat al [1] este faptul că măsurătorile globale generează informații despre efectul LP, fără a avea o corelație cu sursele de poluare.

Măsurarea strălucirii cerului devine și mai complexă dacă se iau în considerare efectul aerosolilor sau norii. În [2] este studiat efectul norilor, care întunecă peisajul natural, dar are efectul opus în cazul iluminării artificiale. De aici și obligația de a limita în continuare iluminarea artificială dacă se are în vedere mărirea efectului strălucirii cerului. Cerul înnorat poate fi folosit și ca „ecran” pe care se pot face măsurători diferențiale [3]. Aceste măsurători compară strălucirea cerului atunci când diferite scene luminoase (iluminat arhitectural, decorativ, publicitar, iluminat stradal) sunt active sau nu. Se poate estima efectul fiecărei surse de lumină. Un principiu similar va fi, de asemenea, utilizat în această lucrare, prin măsurarea luminanței pe o fațadă în diferite situații de operare a sistemelor de iluminat din vecinătate.

Abordările clasice, bazate pe confortul vizual și eficiența energetică, nu au reușit să limiteze poluarea luminoasă, așa cum se va vedea mai departe. Acest lucru s-a întâmplat deoarece eficiența specifică a LED-ului (lm/W) duce la tendința de a impune niveluri mai ridicate de iluminare sau de a ilumina suplimentar locuri altădată întunecate. Prin urmare, în [4] există trei principii pentru limitarea iluminării: dimarea inteligentă, limitarea nivelului maxim de iluminare și eficiența energetică specifică ($kWh/km/an$) pentru căile rutiere. Aceste criterii nu se pot aplica iluminării fațadelor, așa cum este scopul acestei lucrări.

Problema poluării luminoase a depășit cu mult problema eficienței energetice, cercetări recente [5] care implică echilibre ecologice extrem de delicate, cu posibile efecte de avalanșă, descrise ca un *Armageddon* autentic [5]. Acesta este cazul insectelor polenizatoare, a căror populație este în continuă scădere. Polenizarea poate duce la dispariția unor specii de plante, dar efectul poate fi extrem, inclusiv cu afectarea regnului animal.

Poluarea luminoasă are, de asemenea, manifestări cuplate cu alte fenomene. Astfel, dacă acceptăm că iluminatul artificial prelungește durata activităților umane, atunci este suficient să

adăugăm un alt poluant: zgomotul [6]. Lumina însoțită de zgomot se transformă într-o barieră mult mai fermă pentru o multitudine de ființe, terestre sau chiar zburătoare.

Dacă impactul asupra mediului poate fi neglijat, este mai dificil să acceptăm efectul poluării luminoase asupra sănătății oamenilor. Inhibarea secreției de melatonină, singurul hormon anticancerogen, este un astfel de fenomen [7]. Acest proces este influențat nu numai de nivelul de iluminare, ci și de componenta albastră a spectrului de lumină. Un alt element care intră în ecuație este durata expunerii fiecărui individ. S-a demonstrat [8] că există unele profesii cu un ciclu de activitate non-circadian în care incidența diferitelor tipuri de cancer este semnificativă: cancerul de sân sau de prostată [9]. Această descoperire este cu atât mai importantă cu cât s-a realizat diferențierea față de alți factori de risc (obezitate, stres, fumat, poluanți atmosferici etc.). A doua corelație demonstrată în [9] este aceea a incidenței cancerului de prostată în zonele foarte urbanizate, unde lumina artificială pe timp de noapte (ALAN) este evident mai intensă. Există, de asemenea, studii diferențiate despre cancerul de sân între rural și urban [10], unde variabila principală este ALAN. Fără a epuiza efectele poluării luminoase, putem considera că măsurarea acestui fenomen este foarte importantă.

2.3.2. Măsurarea globală a poluării luminoase

Poluarea luminoasă este o consecință naturală a creșterii nivelului civilizației. Efectul general al poluării luminoase este de a crește strălucirea/luminozitatea cerului [11]. În același timp, dezvoltarea durabilă a sistemelor de iluminat înseamnă, de asemenea, utilizarea în proiectare a unor valori de iluminare judicios dimensionate pentru fiecare posibilă sursă de lumină (sau de poluare luminoasă), care trebuie identificată și limitată, așa cum este scopul cercetării noastre.

Există metode foarte avansate pentru monitorizarea imagistică a poluării luminoase, bazate pe utilizarea sateliților [11]. Imaginile nu pot fi procesate fără compensarea variațiilor cauzate de condițiile meteorologice locale, precum și a încărcării atmosferice cu aerosoli. Aceste metode, bazate pe tehnologie înaltă dar și accesibilitate limitată, justifică promovarea metodei noastre, care este insensibilă la aceste restricții. Rezultatele obținute prin observațiile de imagistică prin satelit indică tendința continuă a expansiunii ALAN [13], ca răspândire geografică (în mod natural prin urbanizare), dar și ca intensitate (cea mai îngrijorătoare). Se pot găsi corelații între creșterea economică a diferitelor țări, dar eficiența energetică ridicată a LED-ului are un efect secundar de amplificare a fluxului de lumină instalat. Se remarcă faptul că legislația anti-poluare nu reușește să limiteze această tendință. Pe lângă dezvoltarea economică, diferențele spațiale pot evidenția diferențele dintre culturile comunităților locale [14], chiar dacă aplică aceleași reglementări tehnice pentru iluminat sau foarte similare (între continente, de exemplu). Această observație

întărește necesitatea studierii diferitelor surse de poluare la sol, singura modalitate de a le limita. Această abordare pe care o susținem este una activă, spre deosebire de abordările pasive, de tipul [15], în care este realizată o bază de date originală cu imagini ale planetei noastre pe timp de noapte, realizată de astronauți care sunt și fotografi pasionați. Similar cu sociologia, ca știință, această abordare globală nu poate oferi soluții concrete pentru anumite scene luminoase, pentru a reduce în final LP.

În plus, imaginile din spațiu au limitări datorită rezoluției camerelor digitale obișnuite. Pentru a crește această rezoluție, imaginile din avion se dovedesc a fi mai utile [16]. Observațiile pot fi făcute cu o rezoluție de 1m pentru iluminatul rutier, dar iluminatul arhitectural nu poate fi investigat. Pentru a depăși această limitare, au fost propuse metode mai complexe bazate pe imagini obținute de la două camere digitale [17] montate pe un avion. Această metodă poate identifica și direcția sursei de poluare. Metoda de imagistică terestră, prezentată în cercetarea noastră, oferă aceste informații pe baza analizei distribuției luminanțelor pe fațade.

Problema fațadei devine importantă atunci când le asociem cu reclamele publicitare. Acestea au cunoscut o dezvoltare necontrolată în multe locuri din lume, iar Coreea de Sud este un exemplu recunoscut. Istoria acestui fenomen a fost studiată din 1995, conform [18], când a început dezvoltarea explozivă a țării, dar inegală între regiuni. În același timp, expunerea populației la poluarea luminoasă a fost inegală, provocând diferite incidente ale cancerului. Situația a necesitat introducerea unor reglementări specifice și, totuși, efectul în privința reducerii poluării luminoase nu a fost cel așteptat [19, 20]. Fenomenul coreean a fost specific unei țări în curs de dezvoltare care a atins praguri mai ridicate de dezvoltare, în special în Seul. Studiul de caz din [21], bazat pe măsurători, poate fi util pentru alte zone cu dezvoltare accelerată. Istoria amplificării poluării luminoase înregistrează momentul în care are loc o reglementare importantă în 2013 și, cu toate acestea, în 2018, conform [22], tendința nu este oprită, așa cum vor arăta măsurătorile noastre. Nivelurile de iluminare care depășesc pragurile reglementate se întâlnesc și în 2016 conform [23] și s-ar putea explica prin *lipsa mijloacelor curente pentru măsurarea luminanței*. O comparație subiectivă ne permite să afirmăm că literatura clasică de poluare generală (încălzirea globală...) este foarte bogată și specifică [24], în timp ce poluarea luminoasă are o abordare relativ recentă [18].

Reducerea poluării luminoase poate fi realizată numai dacă percepția asupra riscului este împărtășită de marea masă a populației în comparație cu alte riscuri din alte surse de poluare. Aceasta este una dintre noile direcții de acțiune [25]. Așa cum încălzirea globală este un fenomen popular, este necesară o implicare largă a populației, așa cum o face un proiect de succes [26]. Folosind un dispozitiv de măsurare a strălucirii cerului, se pot obține date foarte detaliate despre

evoluția timpului și răspândirea geografică, cu implicarea populației. Mai concret, acest dispozitiv este SQM (Sky Quality Meter), un luminanțmetru etalonat pentru a indica luminanța globală a cerului, valori pentru care este indicată magnitudinea maximă a stelelor care pot fi observate. Acest dispozitiv este creat prin prisma interesului pe care îl au astronomii. Prezenta cercetare se bazează, de asemenea, pe dispozitive de măsurare accesibile (camere digitale comerciale), care sunt calibrate suplimentar pentru măsurarea luminanței. Aceste dispozitive pot sta la baza conștientizării modului în care este generată poluarea luminoasă, fenomen care nu poate fi evidențiat, de cele mai multe ori, cu ochiul liber.

În plus, după ce am văzut că, în ciuda existenței unor reglementări tehnice, poluarea luminoasă nu scade, este necesară implicarea întregii populații prin colaborarea școală-universitate [27]. Pe lângă educație, dacă populația are un mijloc tehnic de măsurare a poluării luminoase, conștientizarea fenomenului va fi mult mai rapidă și acesta este scopul acestei lucrări, de a prezenta o metodă prin care poluarea luminoasă poate fi observată și măsurată.

2.3.3. Veriga lipsă din lanțul de evaluare a poluării luminoase

Din capitolul anterior se poate concluziona că există multe metode de monitorizare a fenomenului de poluare luminoasă, în special [1]. Cea mai importantă poate fi ilustrată grafic în Figura 64. Fenomenul poluării este descris simplificat, schematic, prin lumina direct distribuită către cer (poluarea luminoasă integrală - Figura 64 –LP1), sau prin lumina reflectată pe suprafețele incidente și din care parte este împrăștiată spre cer Figura 64 - LP2 (procent incomplet de LP, deoarece o parte din acest flux luminos poate fi și util, Figura 64 - LP3). Mijloacele de măsurare care vizează cerul și, implicit, strălucirea cerului (1, 2, Figura 64), vizând iluminarea artificială măsurată de pe sateliți artificiali (3) sau din aeronave (4). Există multe (5-10) alte metode (indirecte) de estimare a efectelor LP prin studiul sănătății oamenilor, mamiferelor, insectelor, păsărilor, peștilor etc. Printre toate aceste metode, cercetarea de față aduce o altă metodă de măsurare, în afară de cele existente, care abordează fațadele clădirilor utilizate ca ecrane care materializează poluarea luminoasă (11) și apoi studiarea directă a surselor de poluare luminoasă nedepistate(12), care reprezintă veriga lipsă.

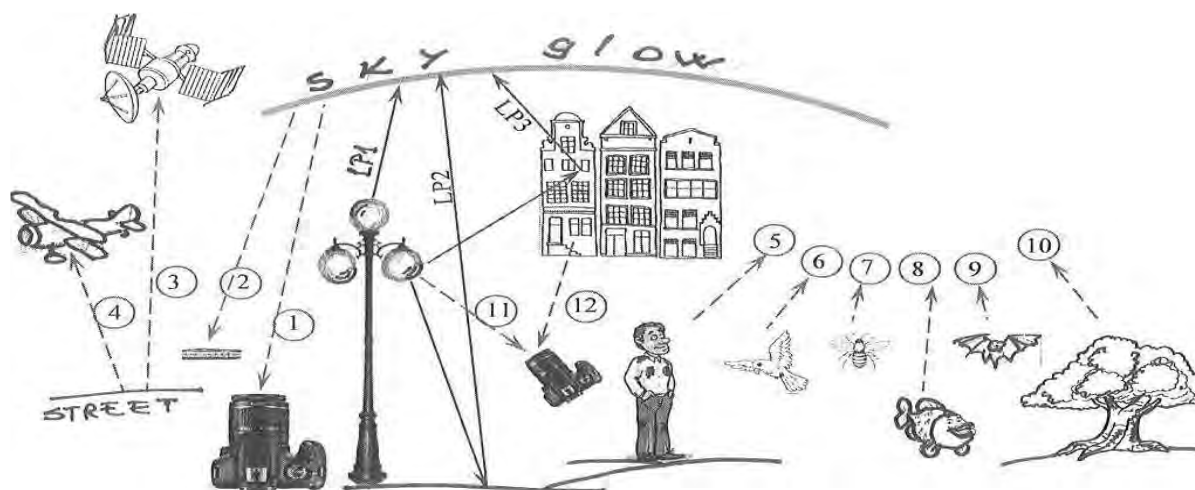


Figura 64 Studiul poluării luminoase

2.3.4. Fațada Hotel Pacific din Jeju, Coreea de Sud – studiu de caz

Fiind știut din [18-22, 25] că poluarea luminoasă în Coreea este un fenomen semnificativ, observațiile asupra orașului Jeju din Coreea de Sud au fost deosebit de atente (în noiembrie 2017), în special în zona centrală, care este zona turistică. La o observare vizuală, nimic nu pare să depășească limitele acceptabile. Urmărirea dinamicii sistemelor de iluminat și în special a primelor măsurători au fost punctul de plecare pentru acest studiu de caz.

2.3.4.1. Localizare

Hotelul Pacific din Jeju poate fi localizat la coordonatele GPS: 33.510801, 126.519147. Pentru o imagine de ansamblu, imaginea aeriană a site-ului este prezentată în Figura 65:

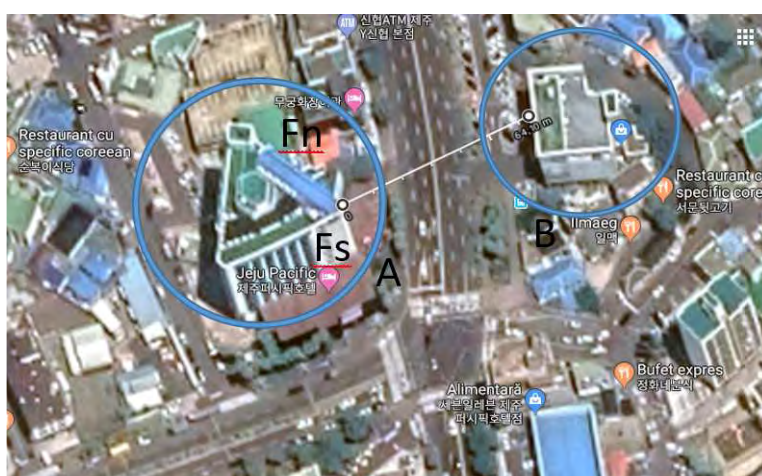


Figura 65 Hotel Pacific în Jeju (A), coordonate GPS: 33.510801, 126.519147 și HiMart Store (B).

2.3.4.2. Viziunea nocturnă a peisajului

Scena studiată are ca punct central fațadele de nord-est și de sud a hotelului Pacific din Figura 66 și Figura 67:



Figura 66 Fațada nord-estică a Hotelului Pacific - Jeju



Figura 67 Fațada de sud a Hotelului Pacific - Jeju

Fațadele hotelului Jeju interacționează cu un sistem de iluminare publicitar mai apropiat, bazat pe interacțiunea cu fațada opusă a magazinului HiMart, din Figura 68:



Figura 68 Sistemul de iluminare decorativă / publicitară a magazinului HiMart

Magazinul atrage fără îndoială atenția datorită luminanțelor ridicate percepute de orice pieton. Senzația este, totuși, de oarecare armonie, deoarece întreaga zonă este iluminată la un nivel relativ ridicat. Timp de multe zile și numeroase observații vizuale, între cele două fațade (Figura 66 și Figura 67) nu s-au putut observa diferențe substanțiale, deoarece observatorul are nevoie de un timp relativ mare pentru a se deplasa și a putea observa iluminarea celor două fațade, timp în care are loc adaptarea vederii.

2.3.4.3. Evenimentul revelator pentru poluarea luminoasă

Toată scena luminoasă ar fi putut trece neobservată. Un eveniment aparent banal a declanșat o analiză mai amănunțită, și anume sfârșitul programului la magazin (ora 24 !), cu iluminarea decorativă oprită. Efectul acestui lucru a fost remarcat pe fațada nordică a hotelului. Distanța mare dintre cele două clădiri (64 m), amplitudinea clară a variației de luminanță a dus la unele analize cantitative. Această analiză constă în mai multe etape în care luminanța este analizată succesiv, permițând evaluarea cantitativă a sursei de poluare luminoasă.

Harta de luminanță [28] a fațadei de nord-est atunci când luminile publicitare vor servi drept referință este disponibilă în Figura 69:

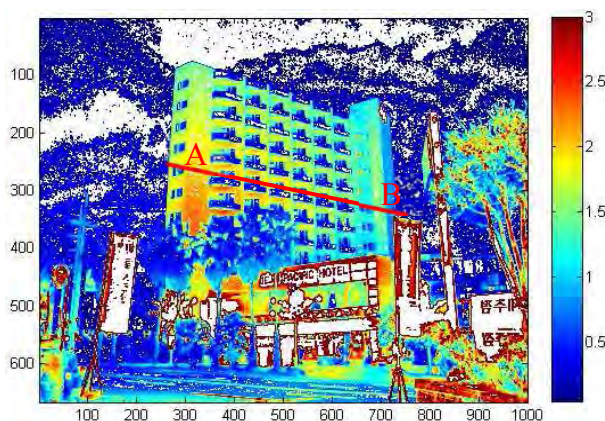


Figura 69 Harta de luminanțe a fațadei de nord-est a hotelului Pacific cu LP

Pentru a evidenția limitele observației vizuale, prezentăm și harta luminanței sudice a fațadei, în Figura 70:



Figura 70 Harta de luminanțe a fațadei sudice (cd/m^2) fără LP

Putem comenta că luminanțele sunt destul de diferite și totuși nu ar putea fi estimată prin simpla schimbare a poziției observatorului de-a lungul trotuarelor, deoarece adaptarea ochilor este mai rapidă.

2.3.4.4. Fațada nord-estică fără poluare luminoasă

Captarea momentului în care poluarea luminoasă este *oprită* este foarte importantă pentru analiza diferențială a celor două situații, vezi Figura 71 comparată cu Figura 69:

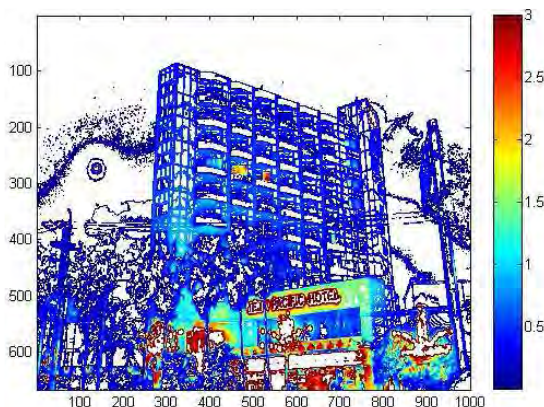


Figura 71 Harta de luminanțe a fațadei nord-estice (cd/m^2) fără LP

Subliniem că ochiul nu percepe valorile absolute ale luminanței pe fațadă (valori constante, cu sau fără sursă LP în funcțiune), datorită adaptării pupilei. Doar variația bruscă a luminanței este observabilă, stingerea sursei LP generând situația din Figura 71.

Analiza hărților de luminanță (Figura 69 comparativ cu Figura 71) oferă primele informații globale, dar distribuția luminanței pe o anumită direcție (transversală sau A-B în Figura 69) poate furniza informații relative la direcția sursei de poluare. Această distribuție este disponibilă în Figura 72:

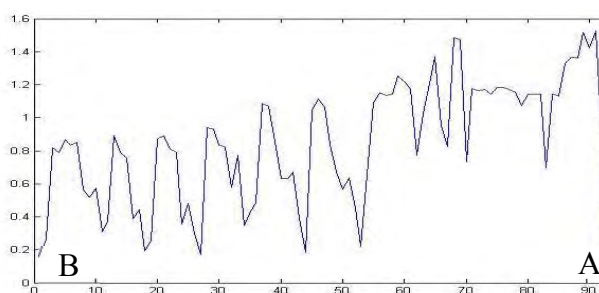


Figura 72 Distribuția luminanței (cd/m^2) de-a lungul punctelor A-B (Figura 69) de la fațada nord-estică a hotelului Pacific cu prezență LP.

Distribuția luminanței pe aceeași direcție A-B pe fațada nord-estică evidențiază un nivel evident mai scăzut în absența unei surse de poluare luminoasă (HiMart), conform Figura 73:

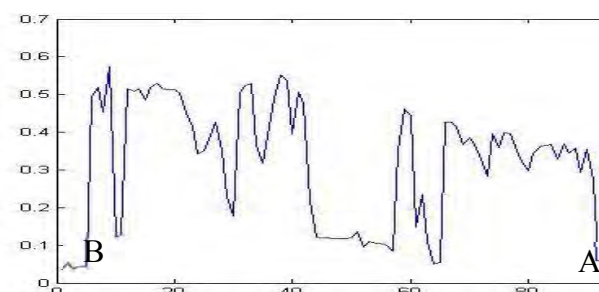


Figura 73 Distribuția luminanței (cd/m^2) de-a lungul punctelor A-B (Figura 69) din fațada nord-estică fără prezența LP (din Figura 71)

2.3.4.5. Evaluarea sursei de poluare luminoasă

Din distribuția asimetrică a profilului de luminanțe, cu un maxim în vecinătatea punctului B (Figura 72), se poate deduce că sursa de poluare se află în vecinătatea punctului B (în teren). Din analiza locației (Figura 65) se ajunge rapid la concluzia că HiMart poate fi principala sursă de poluare luminoasă. În acest moment, se poate face o analiză mai amănunțită a fațadei HiMart și a luminanțelor care generează poluare luminoasă.

Primele observații ale hărții luminoase (Figura 74) pentru fațada HiMart indică valori moderate ale fațadei iluminate indirect, dar există zone cu luminanță foarte mare, cu mult peste $1000\text{ }cd/m^2$:

- Interiorul magazinului, vizibil prin ferestre clare, fără jaluzele;
- Banda orizontală din partea superioară a fațadei, cu o distribuție inferioară, dar și cu o componentă superioară accentuată;
- Banda orizontală din partea de jos a fațadei, cu distribuție superioară și, astfel, cu o contribuție puternică la poluarea luminoasă.

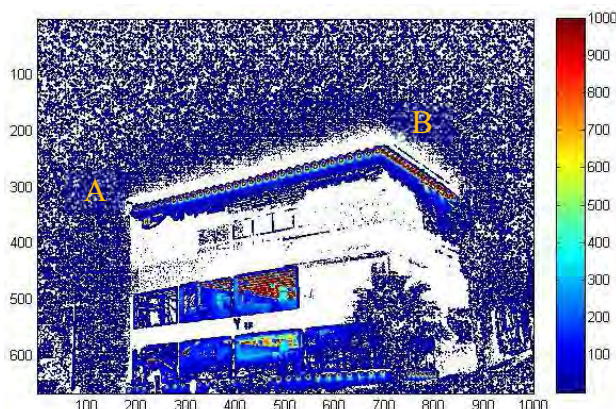


Figura 74 Harta luminanței (cd/m^2) a fațadei vestice a magazinului HiMart

După această identificare a zonelor extreme, este posibil să se extragă valorile particulare care generează poluarea luminoasă, cum ar fi zona A-B, pentru care poate fi extras profilul de distribuție al luminanțelor, Figura 75:

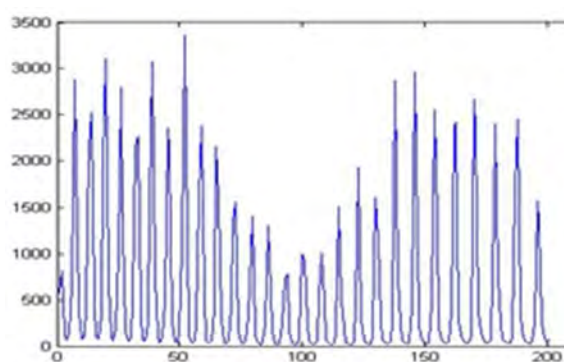


Figura 75 Profilul distribuției luminanței (cd/m^2) pe banda superioară a fațadei magazinului HiMart

În Figura 75 sunt observate valori foarte ridicate ale luminanței. Această analiză se face doar din poziția unei viziuni pietonale, fluxul luminos distribuit în sus și evident către fațada de nord-est fiind foarte ridicat. Faptul că această sursă de poluare se manifestă fără a fi neapărat identificată de observator din primul moment (chiar și integrată în peisajul nocturn) întărește utilitatea utilizării metodei imagistice de evaluare cantitativă.

2.3.5. Referințe

- [1] A. Haenel, T. Posch, S.J. Ribas et al., “Measuring night sky brightness: methods and challenges”, Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, Volume: 205, Pages: 278-290, January 2018
- [2] A. Jechow, F. Hoelker, C.C.M. Kyba, “Using all-sky differential photometry to investigate how nocturnal clouds darken the night sky in rural areas”, Scientific Reports, Volume: 9 Article Number: 1391 February 2019

- [3] A. Jechow, S.J. Ribas, R. Canal Domingo, et al., "Tracking the dynamics of skyglow with differential photometry using a digital camera with fisheye lens", *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, Volume: 209, Pages: 212-223, Apryl 2018
- [4] C.C.M. Kyba, A. Haenel, F. Hoelker, "Redefining efficiency for outdoor lighting", *Energy & Environmental Science*, Volume: 7, Issue: 6, Pages: 1806-1809, Jun 2014
- [5] M. Grubisic, R.H.A. van Grunsven, C.C.M. Kyba, et al., "Insect declines and agroecosystems: does light pollution matter?", *Annals Of Applied Biology*, Volume: 173, Issue: 2, Pages: 180-189, Sep 2015
- [6] J.P. Swaddle, C.D. Francis, J.R. Barber, et al., "A framework to assess evolutionary responses to anthropogenic light and sound", *Trends in Ecology & Evolution*, Volume: 30, Issue: 9, Pages: 550-560, Sep 2015
- [7] C.C.M. Kyba, T. Kantermann, "Does ambient light at night reduce total melatonin production?", *Hormones-International Journal Of Endocrinology And Metabolism*, Volume: 15 Issue: 1 Pages: 142-143, Jan-Mar 2016
- [8] C.C.M. Kyba, K.J. Aronson, "Assessing Exposure to Outdoor Lighting and Health Risks", *Epidemiology*, Volume: 26, Issue: 4, Pages: E50-E50, Jul 2015
- [9] K.Y. Kim, E. Lee, Y.J. Kim et al, "The association between artificial light at night and prostate cancer in Gwangju City and South Jeolla Province of South Korea", *Chronobiology International*, Volume: 34 Issue: 2, Pages: 203-211, 2017
- [10] Y.J. Kim, E.Lee, H.S. Lee et al., "High prevalence of breast cancer in light polluted areas in urban and rural regions of South Korea: An ecologic study on the treatment prevalence of female cancers based on National Health Insurance data", *Chronobiology International*, Volume: 32, Issue: 5, Pages: 657-667, Jun 2015
- [11] C.C.M. Kyba, K.P. Tong, J. Bennie, et al., "Worldwide variations in artificial skyglow", *Scientific Reports*, Volume: 5, Article Number: 12180, Aug 2015
- [12] J. Coesfeld, S.J. Anderson, K. Baugh, K et al., "Variation of Individual Location Radiance in VIIRS DNB Monthly Composite Images", *Remote Sensing*, Volume: 10, Issue: 12, Article Number: 1964, Dec 2018
- [13] C.C.M. Kyba, T. Kuester, A. Sanchez de Miguel, et al., "Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent", *Science Advances*, Volume: 3, Issue: 11, Article Number: e1701528, Nov 2017
- [14] C.C.M. Kyba, S. Garz, H. Kuechly et al., "High-Resolution Imagery of Earth at Night: New Sources, Opportunities and Challenges", *Remote Sensing*, Volume: 7, Issue: 1, Pages: 1-23, Jan 2015
- [15] A. Sanchez de Miguel, J. Gomez Castano, J. Zamorano et al., "Atlas of astronaut photos of Earth at night", *Astronomy & Geophysics* Volume: 55, Issue: 4, Pages: 36-36, Aug 2014
- [16] H.U. Kuechly, C.C.M. Kyba, T. Ruhtz et al., "Aerial survey and spatial analysis of sources of light pollution in Berlin, Germany", *Remote Sensing of Environment*, Volume: 126, Pages: 39-50, Nov 2012
- [17] C.C.M. Kyba, T. Ruhtz, C. Lindemann, et al., "Two camera system for measurement of urban uplight angular distribution", *Conference: International Radiation Symposium on Radiation Processes in the Atmosphere and Ocean (IRS)*, Berlin, GERMANY, Aug 2012
- [18] M. Kim, J. Choi, "Spatiotemporal patterns of outdoor artificial nighttime lights exposure in the Republic of Korea between 1995 and 2010", *Cartography and Geographic Information Science*, Volume: 42 Issue: 1, Pages: 69-78, Jan 2015
- [19] J. Ngarambe, G. Kim, "Sustainable lighting policies: the contribution of advertisement and decorative lighting to local light pollution in Seoul, South Korea", *Sustainability*, Volume: 10, Issue: 4, Article: 1007, Apr 2018
- [20] J.S. Cha, J.W. Lee, W.S. Lee et al., "Policy and status of light pollution management in Korea", *Lighting Research & Technology*, Volume: 46 Issue: 1, Pages: 78-88, Feb 2014
- [21] H.S. Lim, J. Ngarambe, J.T. Kim et al, "The reality of light pollution: a field survey for the determination of lighting environmental management zones in South Korea", *Sustainability*, Volume: 10 Issue: 2, Article: 374, Feb 2018
- [22] T.K. Ko, I.T. Kim; A.S. Choi et al, "Quantitative assessment methods for determining luminous environmental zones in Korea", *Lighting Research & Technology*, Volume: 48, Issue: 3, Pages: 307-322, May 2016
- [23] S. Yoo, M. Lee, J. Han et al., "The survey and the limit method of light pollution by decorative lighting", *CIE Conference on Lighting Quality and Energy Efficiency*, Melbourne, AUSTRALIA, Pages: 618-625, Mar 03-05, 2016

- [24] H.L.A. Wong, T. Wang, T.; A. Ding et al., “Impact of Asian continental outflow on the concentrations of O-3, CO, NMHCs and halocarbons on Jeju Island, South Korea during March 2005”, *Atmospheric Environment*, Volume: 41, Issue: 14, Pages: 2933-2944, May 2007
- [25] K.H. Kim, J.W. Choi, E. Lee, et al., “A study on the risk perception of light pollution and the process of social amplification of risk in Korea”, *Environmental Science and Pollution Research*, Volume: 22, Issue: 10 Pages: 7612-7621, May 2015
- [26] C.C.M. Kyba, J.M. Wagner, H.U. Kuechly et al., “Citizen science provides valuable data for monitoring global night sky luminance”, *Scientific Reports*, Volume: 3, Article 1835, May 2013
- [27] N. N. M. Shariff ; M. R. Osman ; M. S. Faid ; Z. S. Hamidi ; S. N. U. Sabri ; N. H. Zainol ; M. O. Ali ; N. Husien, “Creating awareness on light pollution' (calp) project: essential requirement for school-university collaboration”, 2016 International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Application (ICIMSA), Pages: 1 – 4, 2016
- [28] C.D.Galatanu, “Luminance measurements for light pollution assessment”, International Conference on Electromechanical and Power Systems, SIELMEN, Pages: 456-461, 2017

2.4. Evaluarea contrastului de luminanțe pentru confortul vizual al vârnichilor, utilizând măsurători imagistice

2.4.1. Metoda de evaluare cantitativă pentru contrastul de luminanță

Cel mai eficient mod de a măsura nivelurile de contrast de luminanță este utilizarea imaginii digitale. Această metodă face posibilă simplificarea măsurării nivelurilor de contrast de luminanță, deoarece, de fapt, măsurarea luminanței în sine este în zilele noastre foarte puțin utilizată. Imagistica digitală face posibilă corectarea acestei probleme și poate fi considerată o metodă de măsurare eficientă și obiectivă. Permite furnizarea de rezultate imperceptibile de către ochi. Iar acest lucru este la fel de adevărat atât pentru observatorul mediu cât și pentru vârstnici, datorită adaptării pupilei continue.

Imaginea digitală face posibilă dezvoltarea de hărți de luminanță ale câmpului vizual. Acestea fac posibilă identificarea punctelor slabe și punctelor forte ale câmpului vizual în cauză, precum și a nivelurilor de contrast de luminanță ale fiecărui detaliu care trebuie observat. Pentru o discriminare optimă a acestor elemente de către vârstnici, contrastul pragului de luminanță între două suprafețe juxtapuse trebuie să fie egal cu 0,7 (sau mai mare, depinde și de nivelul mediu de luminanță) [6] [15].

Având în vedere acest prag al contrastului de luminanță, ne așteptăm ca numărul pragurilor detectabile în urma măsurărilor să fie oarecum limitat. Acest lucru se găsește rapid, dacă acceptăm că luminanța maximă este obținută pentru valoarea gri (codificată pe un octet) de 255, ca în Tabel 8. Pragurile maxime detectabile sunt 14, dar în mod normal ar putea fi considerate apropiate de 10, din cauza relevanței reduse a valorilor apropiate de zero.

Tabel 8 Valori numerice în tonuri de gri - niveluri de contrast ale luminanței

Nivel (1 - 9)	0	1	2	3	4	5	6	7
Luminanță (niveluri de gri)	255	178	124	86	60	42	29	20
Nivel (10 - 14)	8	9	10	11	12	13	14	
Luminanță (niveluri de gri)	14	9	6	4	2	1	0	

Apare o întrebare imediată cu privire la impactul real asupra observatorului obișnuit. Pentru a răspunde, trebuie să ia în considerare funcția de conversie optoelectronică (*OCF*) pentru cameră (Nikon D5300), obținută de autor în mod empiric, în laboratorul LAPLACE, Universitatea Paul Sabatier, Toulouse. Pentru parametrii de expunere aleși arbitrar (pentru timp, număr F și ISO), funcția de conversie globală a camerei este disponibilă în Figura 76:

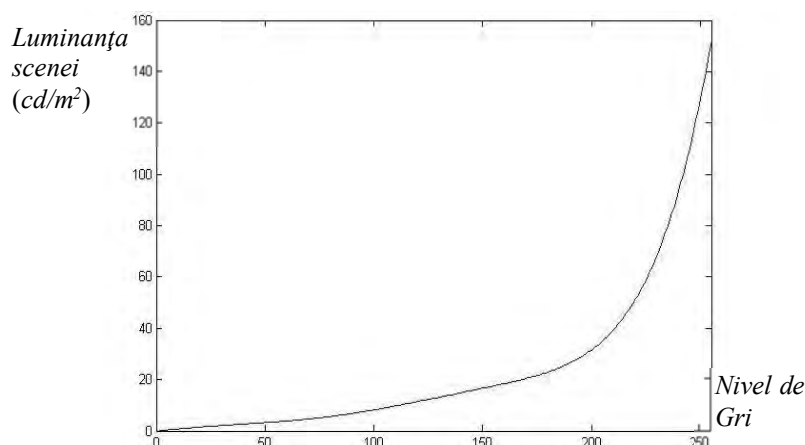


Figura 76 Funcția de conversie optoelectronică pentru Nikon D5300: luminanța (cd/m^2) – Nivel de gri

În Figura 76, luminanțele reduse sunt convertite cu o funcție aproape liniară, dar pentru luminanțe mai mari (mai mari de 20 cd/m^2) conversia este evident neliniară, oferind posibilitatea de a obține niveluri de gri relevante chiar și pentru valori foarte ridicate de luminanță. Rezultă că numărul de praguri ale contrastului de luminanță care poate fi evidențiat este mult mai mare, dar contrastul trebuie calculat cu valorile reale ale luminanței scenei și nu cu valorile nivelului de gri. Concluziile sunt aceleași chiar dacă imaginea este obținută pe doi octeți, cu rezoluție de gri crescută.

2.4.2. Analiza scenei – Căminul de bătrâni Constantin și Elena, Iași

Metoda de analiză cantitativă bazată pe hărți de luminanță necesită o abordare progresivă a investigării detaliilor relevante pentru deplasarea persoanelor în vârstă. Un studiu de caz a fost dezvoltat la azilul de bătrâni din Iași, România. Clădirea este relativ nouă, cu un grad ridicat de confort, demonstrând atenția sporită acordată de municipalitate acestei categorii de populație. Finisajele pereților sunt în general albe, subordonate criteriilor igienice. Acest criteriu, pe lângă

avantajele sale, generează posibile dezavantaje. Prima scenă (Figura 77) este o sală comună de circulație, cu acces la diverse zone. Analiza cantitativă începe cu o primă expunere a camerei DSLR și conversia imaginii în valori de luminanță. Harta de luminanță este obținută prin trasarea liniilor de luminanță egală între valorile minime (de obicei zero) și maxime (dar nu egale cu luminanța maximă a imaginii, deoarece, de regulă, valoarea maximă este generată de un corp de iluminat neecranat, care saturează pixelii).

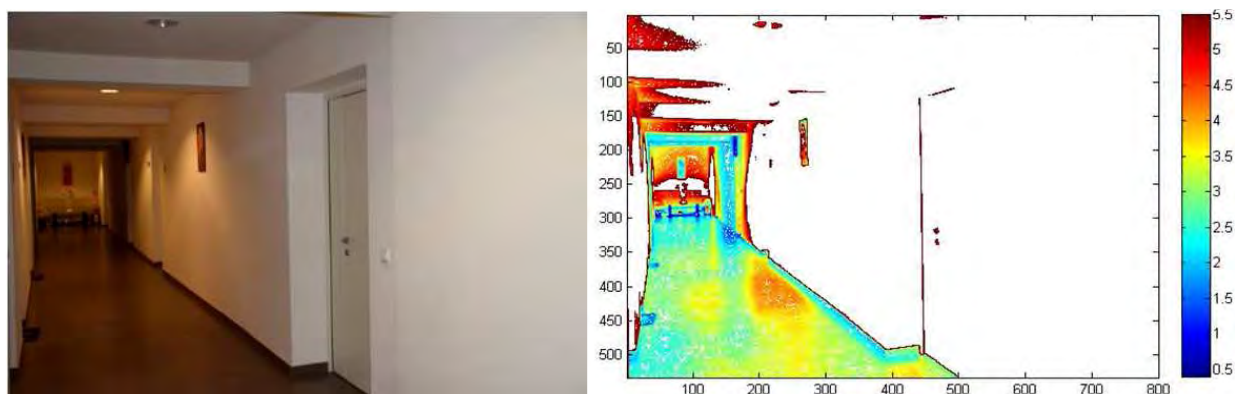


Figura 77 Scena interioară și prima hartă de luminanță (cd/m^2)

Pentru un observator mediu, scena este acceptabilă și plăcută vizual. Acest lucru este mai puțin important, deoarece se caută interpretarea cantitativă. Prima hartă a luminanțelor (Figura 77, în dreapta) evidențiază contrastul evident dintre podea și pereți, dar este clar și că multe valori ale luminanței nu sunt afișate. Pentru a corecta acest lucru, este generată o a doua hartă a luminanței, pentru valorile dintr-un domeniu mai mare ($0 \div 20 cd/m^2$) ca în Figura 78:

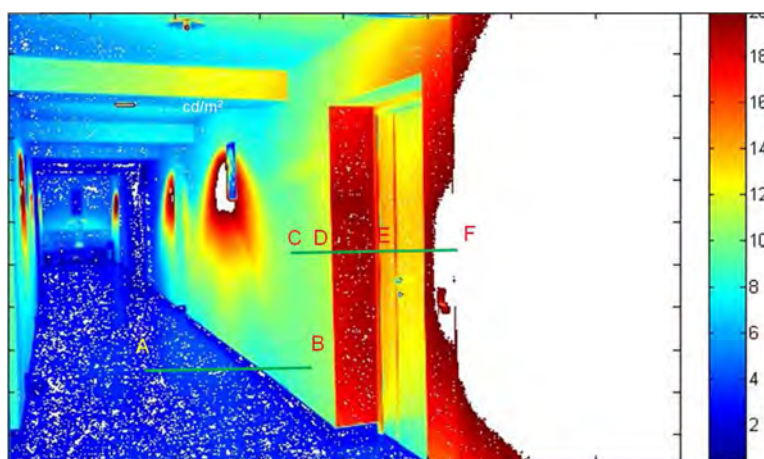


Figura 78 A doua hartă de luminanță pentru scena din Figura 76, cu valori de luminanță extinse ($0 \div 20 cd/m^2$)

Harta culorilor nu are altă semnificație, este oricum diferită de reprezentarea în „culori false”, ca în DIALux. Pornind de la imagine (Figura 76), contrastul dintre podeaua întunecată și perețele alb este pozitiv. Extragând datele din harta luminanței, s-ar putea calcula un contrast deosebit. Pentru contrastul podea-perete avem linia A-B, iar pentru vizibilitatea ușii avem linia C-D-E-F. Variația de luminanță pe aceste zone este ilustrată în Figura 79:

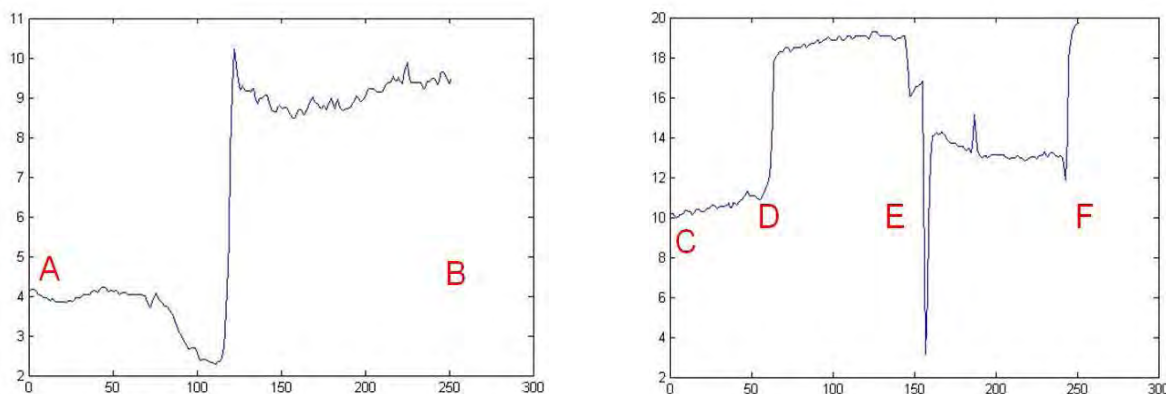


Figura 79 Variația de luminanță pentru harta de luminanțe din Figura 78 (cd/m^2)

Este posibilă o evaluare rapidă pentru fiecare detaliu. Contrastul de luminanță (LC) pentru tranziția podea - perete, cu luminanță în cd/m^2 , este:

$$LC_{AB} = \frac{L_B - L_A}{L_A} = \frac{9 - 4}{4} = 1.2 > 0.7 \quad (10)$$

Deci vizibilitatea este sigură. Situația pentru perețele alb și rama ușii, cu luminanță în cd/m^2 :

$$LC_{CE} = \frac{L_{DE} - L_{CD}}{L_{CD}} = \frac{18 - 10}{10} = 0.8 > 0.7 \quad (11)$$

Vizibilitatea este posibilă, dar pragul este aproape. Orice depreciere suplimentară a vederii vârstnicului va afecta percepția cadrului. Următorul contrast de luminanță este între cadru și ușa însăși, D – E – F, Figura 78:

$$LC_{DF} = \frac{L_{DE} - L_{EF}}{L_{EF}} = \frac{18 - 13}{13} = 0.38 < 0.7 \quad (12)$$

Aici, situația este problematică, deoarece ușa este invizibilă. Pentru un observator normal, nu este evident, dar amintiți-vă ce s-a întâmplat dacă o ușă de sticlă curată este aproape, fără altă semnalizare: în scurt timp, ușa va fi lovită de cineva! Aici situația este similară și chiar dacă un accident grav nu este posibil, disconfortul vizual este semnificativ.

Această demonstrație este suficientă pentru a argumenta utilitatea metodei, deci există posibilitatea de a examina toate celelalte căi. Se poate chiar aprofunda scena anterioară dacă este examinată o gamă și mai largă de luminanțe, ca în Figura 80:

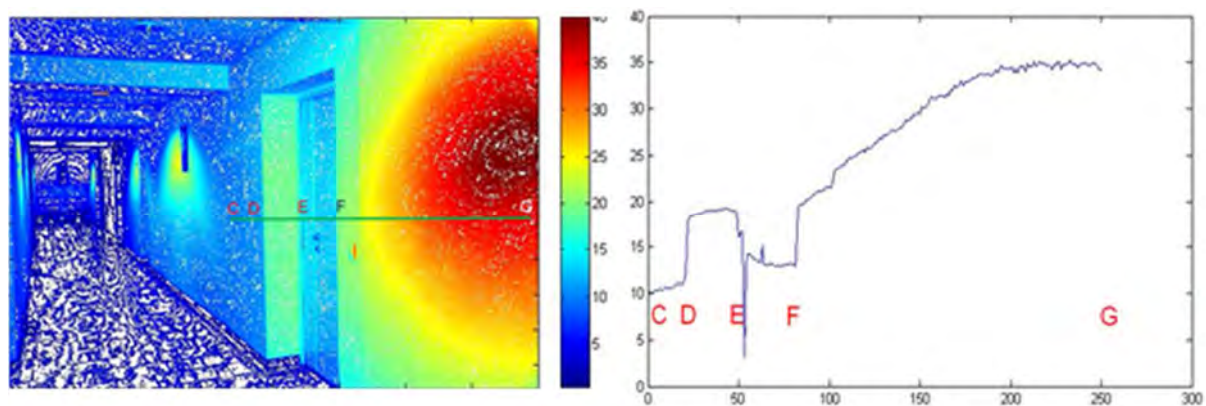


Figura 80 A treia hartă de luminanțe pentru scena din Figura 76, cu gamă extinsă pentru valorile de luminanță ($0 \div 40 \text{ cd/m}^2$)

Noile date disponibile dezvăluie efectul celui mai apropiat corp de iluminat pe perete, cu o creștere continuă a luminanței (F la G, Figura 80). Efectul este dificil de estimat, dar contrastul cu ușa a devenit important și este posibil obținem o ușă total invizibilă, datorită orbirii produse de strălucirea peretelui.

2.4.3. Interpretări

Folosind imagistica digitală pentru a analiza și măsura nivelurile de contrast de luminanță ne permite să oferim rezultate care nu sunt perceptibile ochiului uman, producând măsurători cu rezultate obiective, atât calitative cât și cantitative. Cantitativ deoarece se pot implementa parametri care vor determina criteriile impuse unui mediu de luminos optim. Folosind rezultatele definite de acești parametri, putem determina transformările care trebuie efectuate în acest mediu pentru a oferi confort vizual, adaptat aici nevoilor persoanelor în vârstă. De aceea este și o metodă calitativă. Este posibil să identificăm factorii determinanți care vor permite persoanelor în vârstă care trăiesc în acest mediu de a-și exersa activitățile zilnice, într-un context mai bun al calității vieții, prin iluminare de calitate.

Provocarea majoră transmisă prin această metodă este abilitatea de a propune o proiectare care nu mai este doar rezultatul normelor standar, ci rezultatul unei luări în considerare a nevoilor corelate cu punctele slabe și punctele forte ale mediului existent. Prin urmare, este mult mai mult decât rezultatul unui calcul al eficienței luminoase. Pe baza acestei metode, este, prin urmare, posibil să se optimizeze intervențiile necesare pentru a transforma în bine un mediu de viață și, astfel, să se proiecteze un spațiu interior optimizat care să țină seama de repere spațiale care altfel sunt neglijate. Pentru scena analizată, intervenția imediată (și ieftină) trebuie să schimbe finisajele pentru cadrul ușii și chiar și albul total al ușii ar putea fi modificat, cu o imagine decorativă. Al doilea pas, mai complex, constă în reproiectarea

sistemului de iluminare, pentru a evita valorile ridicate ale luminanței pe perete care produc orbire fiziologică.

2.4.4. Referințe

- [1] World Health Organization, OMS. Aging and quality of life, Highlights on aging. Site of the world health organization [Online], (viewed on May 18, 2018). <http://www.who.int/ageing/about/facts/fr>
- [2] C. Owsley, Aging and Vision, Vision Research, 51 (2011) 1610–1622.
- [3] Thomas, C. Hazif-Thomas, Les nouvelles approches de la dépression de la personne âgée, Gériologie et société, 126 (2008) 141 -155.
- [4] X. Zanlonghi, La vision de la personne âgée, Metrovision. Archives sites pdf of Metrovision [Online], (viewed on October 27, 2017).
- [5] http://www.metrovision.fr/pdf/2001_zanlonghi_B.pdf
- [6] S. Bell, Visual Deficits in the Elderly, The art of Gerontology, 3 (2006).
- [7] C. Owsley, et al., Aging and low-contrast vision : face perception, Assoc. for Res. in Vis. and Opthal., 2 (1981) 362-365.
- [8] National Institute of Health and Medical Research, INSERM. Information files, Cataract. Site of the national institute of health and medical research [Online], (viewed on January 26, 2018). <https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/cataracte>
- [9] National Institute of Health and Medical Research, INSERM. Information files, Macular degeneration. Site of the national institute of health and medical research [Online], (viewed on January 26, 2018).
- [10] <https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/degenerescence-maculaire-liee-age-dmla>
- [11] National Institute of Health and Medical Research, INSERM. Information files, Glaucoma. Site of the national institute of health and medical research [Online], (viewed on January 26, 2018). <https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/glaucome>
- [12] MJ. Decrion, E. Abraham, Les déficiences visuelles de la personne âgée, Projet des réseaux gérontologiques du Sud Lorraine (2009).
- [13] DB. Elliot, et al., Demographic Characteristics of the Vision-Disabled Elderly, Investigative Ophthalmology & Visual Science, 12 (1997) 2566-2575.
- [14] H. Bowers, et al., Older people's vision for long-term care, Joseph Rowntree Foundation (2009).
- [15] Les normes européennes de l'éclairage, Cahier technique, Lux, 288 (2004) 45-50.
- [16] Lighting your way to better vision, Illuminating Engineering Society of North America & American Optometric Association, 1 (2009).
- [17] M. Sloane, C. Owsley, S. Alvarez, Aging, senile miosis and spatial contrast sensitivity at low luminance. Vision Res. 11 (1988) 1235-1246.

2.5. Reducerea consumului de energie pentru sistemele de iluminat arhitectural

2.5.1. Introducere

Aplicația este un studiu de caz bazat pe situația concretă a Facultății de Inginerie Electrică, Universitatea Tehnică „Gh.Asachi” din Iași. Un sistem de iluminat arhitectural poate aduce unei clădiri o componentă suplimentară care poate accentua acele combinații pe care doar arhitectura în fuziune cu lumina le poate evidenția.

Iluminatul arhitectural implică anumite costuri. Prin urmare, în multe cazuri, pentru furnizarea energiei necesare pentru acest iluminat, pot fi adoptate soluții care iau în considerare utilizarea energiei regenerabile. În acest scop, pot fi utilizate panouri solare sau turbine eoliene care, împreună cu un sistem de stocare a energiei, pot acoperi parțial sau complet electricitatea necesară pentru acest tip de iluminat. Pentru cazul nostru de studiu, au fost luate în considerare panourile fotovoltaice, fiind instalate deja în vecinătatea Facultății, ca în Figura 81:



Figura 81 Facultatea de Inginerie Electrică din Iași cu panouri fotovoltaice

Chiar dacă sunt utilizate resurse regenerabile (care nu implică costuri cu energia electrică), este important ca sistemul în ansamblu să fie cât mai eficient posibil. În același timp, trebuie asigurați parametrii de bază ai sistemului de iluminat și caracteristicile necesare modului de iluminare considerat.

În general, sistemele de iluminat arhitectural sunt statice, ceea ce înseamnă că, odată proiectate, sistemele își păstrează caracteristicile pe tot parcursul funcționării sistemului.

Alte sisteme sunt dinamice în sensul că parametrii pot fi modificați pentru a oferi anumite tipare de funcționare pe parcursul perioadei de funcționare în timpul nopții, inclusiv, de exemplu, diminuarea poluării luminoase[2]. În cadrul acestei lucrări, se propune un sistem care are caracteristici dinamice care se referă la două aspecte [3]:

- adaptarea nivelului de iluminare în funcție de iluminatul natural și artificial care poate varia din următoarele motive:

- lumina naturală este variabilă în timpul apusului și răsăritului;
- o schimbări de mediu datorate fazelor Lunii, cerului înnorat, condițiilor meteorologice nefavorabile (ploaie, zăpadă, ceață);
- o modificări ale iluminatului artificial (iluminat stradal) din cauza defectiunilor sau a unei perioade de oprire a acestuia din diverse motive;
- adaptarea nivelului de iluminare în funcție de:
 - prezența persoanelor în zona clădirii care posedă iluminat arhitectural;
 - prezența oamenilor în zonele de unde clădirea respectivă este vizibilă, creând efectul de „atractivitate” sau de creștere a vizibilității acesteia (creșterea intensității luminanței, schimbarea culorilor, iluminarea variabilă sau intermitentă a întregului ansamblu arhitectural sau a unor elemente principale (siglă, steaguri, statui, turnuri, cornișe etc.) ca în Figura 82:



Figura 82 Facultatea de Inginerie Electrică din Iași cu detalii pentru iluminatul arhitectural: a) sigla; b) statui; c) turn; d) ramele ferestrelor

2.5.2. Optimizarea iluminatului arhitectural pe baza contrastului de luminanță

Asigurarea unui nivel optim de vizibilitate este reglementată în funcție de nivelul de iluminare (pentru iluminatul interior) sau în funcție de luminanță pentru iluminatul stradal [4]. La baza setării pragurilor pentru diferite niveluri de confort vizual se află contrastul de luminanță. Pragul percepției vizuale depinde de mărimea obiectelor în cauză, dar și de durata expunerii sau de frecvența expunerii. Pentru anumite situații în care siguranța pietonilor este în prim-plan, sunt specificate anumite praguri ale contrastului de luminanță necesar. În [5], un contrast de iluminare de 0,3 este indicat pentru cele mai frecvente sarcini vizuale (cadrul ușii sau marginea scărilor) și pentru scenele cu pericol crescut, este necesar un contrast egal cu 0,6. În cazul iluminării arhitecturale, scopul este de a pune accente pe fațada iluminată, astfel încât impunerea unui contrast de luminanță de 0,6 să fie o acoperitoare. Asigurarea acestui contrast de luminanță poate fi realizată

prin iluminarea dinamică, în special în amurg. Pentru a demonstra importanța contrastului de luminanță [6] ca obiectiv al unui sistem automat, evoluția luminanței unui detaliu arhitectural al unei fațade, respectiv cadrul unei ferestre din Figura 82, a fost analizată conform Figura 83:

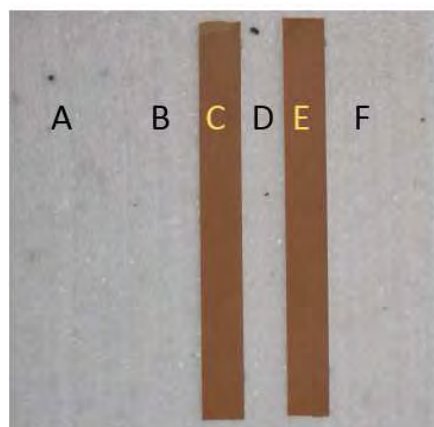


Figura 83 Cadrul ferestrei analizat pentru evoluția contrastului de luminanță în timpul amurgului

În detaliul din Figura 83 există mai multe zone, respectiv: A - zona care va rămâne neiluminată după întuneric; B, D, F - zone accentuate de iluminatul arhitectural; C, E - nuanțe mai întunecate. Cadrul a fost urmărit în timpul apusului folosind [7, 8], începând cu momentul conectării iluminatului arhitectural. În Figura 84 este prezentat profilul de luminanță pe direcția orizontală de la A la F, având în vedere soluția cu corpuri de iluminat tip „wallwash” amplasate în partea de jos a ferestrei:

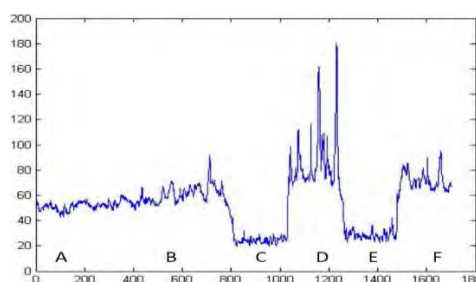


Figura 84 Distribuția luminanței (cd/m^2) pentru începutul apusului

În Figura 84 se observă un salt nesemnificativ pentru zonele B, D, F (iluminate), rezultând conectarea prematură a sistemului de iluminare (de fapt, iluminarea naturală a fost de 618 lx, la ora 19:55, 20 aug.). Menționăm că iluminatul artificial nu trebuie întârziat, deoarece scopul său este de a înfrumuseța orașul în momente de maxim interes, dar conectarea sa fără efecte vizibile nu este de dorit. Pe măsură ce crepusculul evoluează, distribuția luminanței progresează ca în Figura 85:

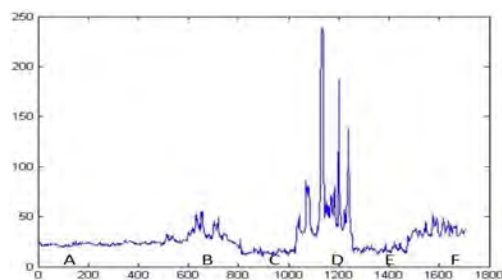


Figura 85 Distribuția luminanței (cd/m^2) la ora 20:06 pentru cadrul din Figura 81

Se poate observa că zonele B, D și F beneficiază de un contrast de luminanță mai mare de 0,6 în comparație cu A și evident cu C și E, rezultând în iluminarea arhitecturală care generează deja imaginea de seară a fațadei (20:06, 323 lx). Scena evoluează progresiv, iluminarea naturală reducându-se și iluminarea artificială menținându-se relativ constantă (50 cd/m^2 pentru zona D):

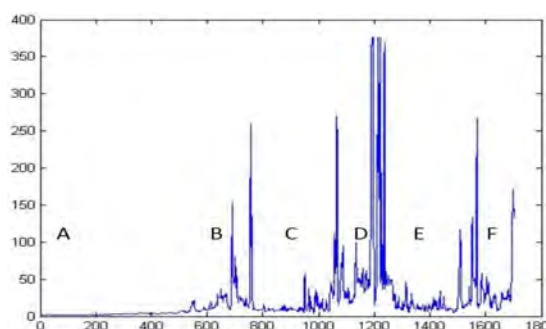


Figura 86 Distribuția luminanței (cd/m^2) la ora 20:30 pentru cadrul din Figura 81

Se observă că zona A rămâne în întuneric, dar zonele B, D și F sunt puternic accentuate (20:30, iluminare naturală de 13 lx), cu un contrast cu mult peste pragul minim necesar. Această observație ne conduce la concluzia că atunci când iluminarea generală scade, nivelul iluminării arhitecturale poate scădea și el. Cu alte cuvinte, la începutul serii este necesar un iluminat arhitectural mai intens, care apoi poate fi dimat.

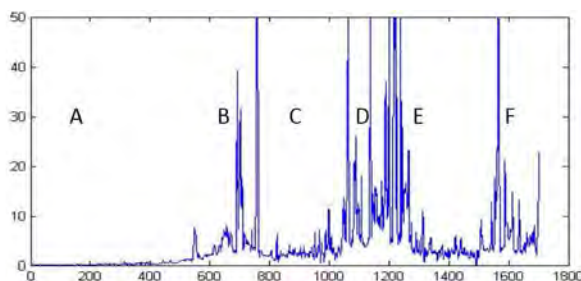


Figura 87 Distribuția luminanței (cd/m^2) la ora 20:50 și diminuare (curent continuu de 0,15 A față de 0,67A ca în Figura 82, Figura 83, Figura 84)

Această diminuare progresivă este mai eficientă pe măsură ce mediul luminos general este redus, pentru orele târzii ale nopții, atunci când și iluminatul stradal este dimat, de exemplu.

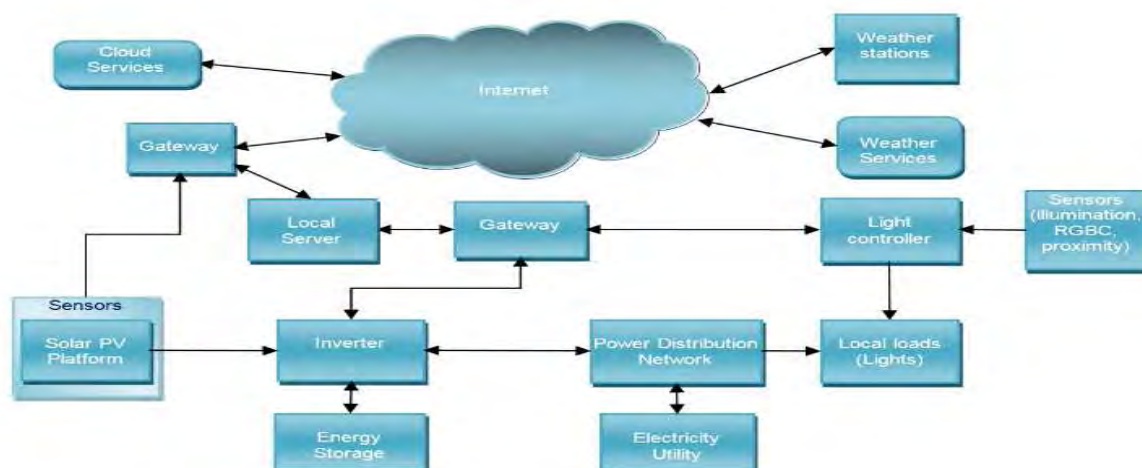


Figura 88 Sistem de iluminat conectat la sistemul fotovoltaic cu sistem de monitorizare și analiză

În Figura 85 se observă că se menține un contrast de luminanță suficient de ridicat, dar cu valori absolute acceptabile (zona centrală D are o luminanță de peste 50 cd/m^2 în Figura 84, o valoare exagerată și aproximativ 15 cd/m^2 în Figura 85, mai acceptabil) [9, 10].

Această strategie trebuie implementată de sistemul automat prezentat în această lucrare și este total diferită de strategia „*iluminării constante a fațadei*”, în care sistemul de iluminare ar trebui intensificat treptat, pentru a compensa scăderea iluminării naturale. Această abordare este valabilă pentru cei care acceptă că iluminatul arhitectural nu extinde imaginea unei fațade în timpul nopții, ci *crează o altă imagine*, mai dramatică, mai teatrală [1].

Un astfel de sistem este propus considerând ca studiu de caz Facultatea de Inginerie Electrică din Iași, care are și un parc fotovoltaic care alimentează iluminatul arhitectural [11].

2.5.3. Descrierea sistemului de iluminat arhitectural

Structura sistemului propus este dată în Figura 86. Sistemul de iluminat arhitectural descris în prezenta lucrare este furnizat de o platformă fotovoltaică (PV) care transformă energia solară primită în timpul zilei în electricitate pentru a fi utilizată pe timp de noapte.

Conversia energiei solare în panourile fotovoltaice este controlată de invertore și controlere de încărcare, astfel încât energia electrică, dacă nu este trimisă la rețea, poate fi stocată într-un banc de baterii.

Controlerele de încărcare asigură, de asemenea, monitorizarea continuă a sistemului și a procesului de conversie și protecția necesară a sistemului.

2.5.4. Achiziția datelor

Datele care trebuie utilizate de controlerul iluminatului arhitectural provin din diferite surse [12, 13]:

- senzori localizați în zona sitului considerat;
- controlere de conversie a panourilor PV;
- stații meteo situate în zona sitului considerat;
- servicii meteorologice accesibile prin Internet.

Nodurile senzorilor conțin în principal senzori pentru măsurarea parametrilor de iluminare a amplasamentului și senzori pentru detectarea prezenței oamenilor în zona amplasamentului sau în amplasamentele (zonele) din care clădirea este vizibilă.

Nodurile senzorilor sunt construite pe baza senzorilor, microcontrolerelor și modulelor de comunicații. Microcontrolerul citește datele de la senzori, prelucrează datele la nivel local dacă este necesar și trimite date către stațiile de date atunci când acestea sunt solicitate. Se realizează și stocare locală a datelor, limitată pentru o perioadă mică de timp, pentru situațiile când se pierde legătura de comunicație între nodul senzorului și stația de date. O metodologie de creare a unui sistem bazat pe noduri de senzori și stații de date este dată în [14], iar exemple de implementare a unor astfel de sisteme sunt date în [15].

Informații despre funcționarea sistemului fotovoltaic, energia electrică convertită în timpul zilei și deci disponibilitatea ei pentru alimentarea sistemului de iluminat pot fi obținute de la controlerele de conversie. Dacă panourile PV utilizează sisteme de urmărire solară, algoritmi de urmărire se bazează de obicei pe senzori de detectare a luminii. Informațiile de la acești senzori pot fi, de asemenea, utilizate pentru a detecta caracteristicile cerului și a împrejurimilor pe timp de noapte [9].

Stațiile meteo și serviciile meteo pot oferi, de asemenea, informații utile pentru controlerul sistemului de iluminat. Din datele furnizate de aceste stații sau servicii de importanță pentru sistemul de iluminat sunt datele privind:

- starea cerului (senin sau înnorat);
- condițiile meteorologice (ploaie, zăpadă, rouă, ceață) care pot afecta parametrii și calitatea iluminatului;
- momentul apusului și răsăritului astronomic, care pot oferi o estimare a perioadei de activitate a sistemului de iluminat.

2.5.5. Studiu de caz

Ca caz de studiu, am ales iluminatul architectural al Facultății de Inginerie Electrică. În acest caz au fost studiate următoarele aspecte:

- poziția clădirilor facultății și posibilele evenimente declanșatoare locale;
- elemente care să fie accentuate cu iluminare architecturală;
- alte site-uri cu vizibilitate la clădirile facultății și eventuale evenimente declanșatoare;
- stațiile meteo din zona facultății și informațiile pe care le pot furniza, care pot fi utile pentru sistemul de iluminat;
- platforme de energie regenerabilă care pot alimenta sistemul de iluminat și datele pe care le pot furniza pentru controlerul sistemului de iluminat.

Poziția principalelor clădiri ale facultății (clădirile E și EN) poate fi văzută în Figura 89. Clădirile sunt situate pe malul râului Bahlui și sunt lângă un bulevard cu trotuare pe ambele părți. Pe partea din apropierea râului există și o pistă pentru biciclete. Posibile evenimente declanșatoare pentru accentuarea sistemului de iluminat sunt mașinile care trec pe bulevard, oamenii care trec pe trotuare sau merg pe biciclete.



Figura 89 Amplasarea clădirilor și punctelor de observare/contemplare ale facultății: 1) clădiri ale facultății, 2) trotuare, 3) străzi

Elementele de arhitectură care trebuie accentuate pot fi identificate astfel: intrările clădirii facultății, sigla facultății, totemul facultății și ansamblul celor patru statui din fața facultății.

Clădirile facultății sunt vizibile din cealaltă parte a râului Bahlui, unde există o bandă auto cu trotuare pe ambele părți și din clădirile rezidențiale din partea benzii (a se vedea Figura 89). In

mod similar, posibile evenimente declanșatoare sunt mașinile care trec pe carosabil sau persoanele care trec pe trotuare.

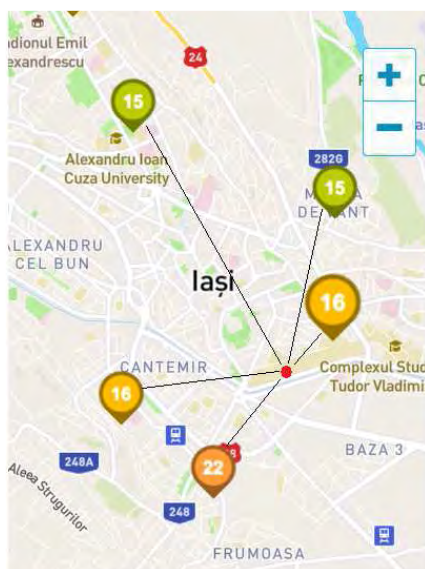


Figura 90 Amplasarea stațiilor meteo în raport cu clădirile facultății

Figura 90 prezintă harta rețelei de stații meteorologice care face parte din rețeaua Weather Underground situată în zona facultății. În Figura 91 este prezentată pagina web a stației meteo IIAI19 ca parte a rețelei Weather Underground unde pot fi văzute principalele date meteorologice furnizate de stație. Unele informații utile pentru sistemul de iluminare constau în informații dacă cerul este senin sau noros, dacă există precipitații (ploaie / zăpadă).

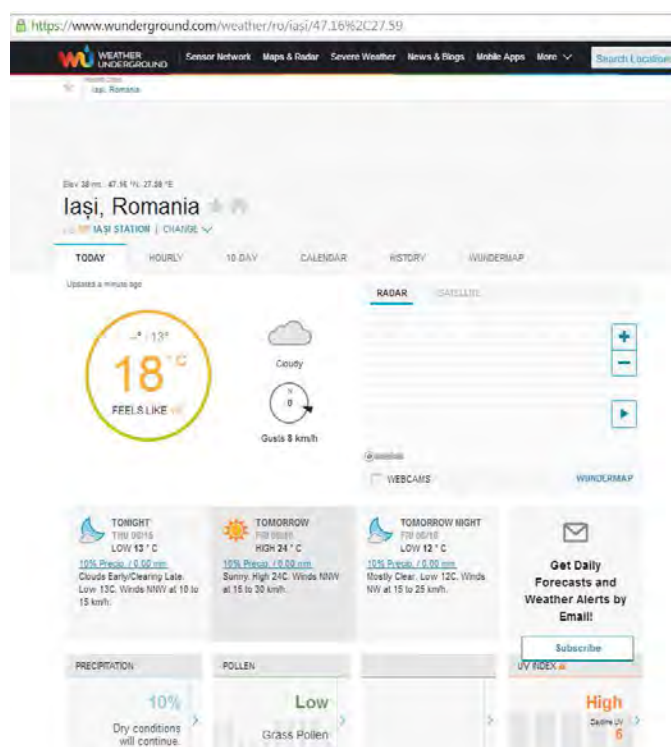


Figura 91 Date meteo afișate pe pagina web a unei stații meteo în zona de amplasare a sistemului de iluminat

Informații suplimentare pot fi colectate din serviciile cloud meteo precum Yahoo sau MNS weather.

Sistemul de iluminat arhitectural prezentat în acest caz de studiu poate fi alimentat de platforma fotovoltaică ENERED care a fost creată în cadrul proiectului ENERED, finanțat de Uniunea Europeană [16]. Platforma fotovoltaică este formată din 9 panouri fotovoltaice organizate pe trei rânduri cu câte trei panouri pe fiecare rând. Primul rând constă din trei panouri fotovoltaice fixe, rândul doi are trei sisteme de urmărire solară cu o singură axă, în timp ce al treilea rând are trei panouri cu sistem de urmărire solară cu două axe. Platforma a fost instalată în partea stângă a clădirilor facultății. Alte sisteme de panouri fotovoltaice sunt instalate lângă facultate sau pe clădirile facultății.

Conversia energiei solare este controlată de invertoare și controlere de încărcare OutBack. Aceste dispozitive asigură monitorizarea continuă a sistemului și necesită, de asemenea, protecție. Pentru moment, sistemul nu trimite energia electrică la rețea, dar, dacă nu este utilizată, poate fi stocată într-un banc de 14 baterii de 12V.

Modificarea setărilor invertorului și monitorizarea datelor de conversie pot fi efectuate folosind un dispozitiv MATE [16]. Pentru comunicarea cu sistemul de conversie se utilizează un hub de comunicare și gestionare a sistemului.

Din diferitele date care pot fi monitorizate și afișate pe dispozitivul MATE, unele sunt utile pentru sistemul de iluminat care va fi alimentat de panourile fotovoltaice:

- starea sistemului și parametrii de funcționare;
- energie convertită sau consumată, curenți absorbiți de sistemul de iluminat;
- starea bateriei (încărcare, descărcare, valori minime și maxime ale tensiunii bateriei și valori ale diferiților parametri de la invertoare, controlere de încărcare și baterie);

Datele monitorizate de dispozitivul MATE sunt de asemenea accesibile într-o rețea locală și pot fi afișate pe un site web local.

Pentru a citi datele de pe dispozitivul MATE, un set de scripturi shell au fost scrise folosind *bash* și au fost rulate pe un server care rulează sistemul de operare *CentOS Linux*. Scripturile rulează un browser fără cap scriptabil *phantomjs*.

Scripturile rulează *phantomjs* la fiecare secundă pentru a rula codul javascript pe site-ul local al controlerului convertorului și a extrage noi date monitorizate. Un set de peste 30 de parametri sunt citați de pe dispozitivul MATE și sunt salvate în fișiere, în format csv (Valori separate prin virgulă). Fiecare fișier va conține date pentru o perioadă de o zi, adică 1440 de rânduri de date. Figura 92 descrie variația parametrilor panourilor fotovoltaice pentru o săptămână din vară (iulie 2018) și o săptămână din iarnă (ianuarie 2019).

Scripturi similare care folosesc *phantomjs* sunt scrise pentru a accesa paginile web ale stațiilor meteo sau ale serviciilor cloud meteorologice, pentru a extrage informații utile pentru funcționarea sistemului de iluminare.

Majoritatea componentelor hardware și software ale sistemului propus au fost demonstrate cu prototipuri de lucru, următorul pas este integrarea acestora pentru a implementa operația de iluminare dinamică care ia în considerare observațiile din secțiunea II și care se bazează pe informațiile colectate din surse locale și îndepărtate așa cum s-a descris anterior.

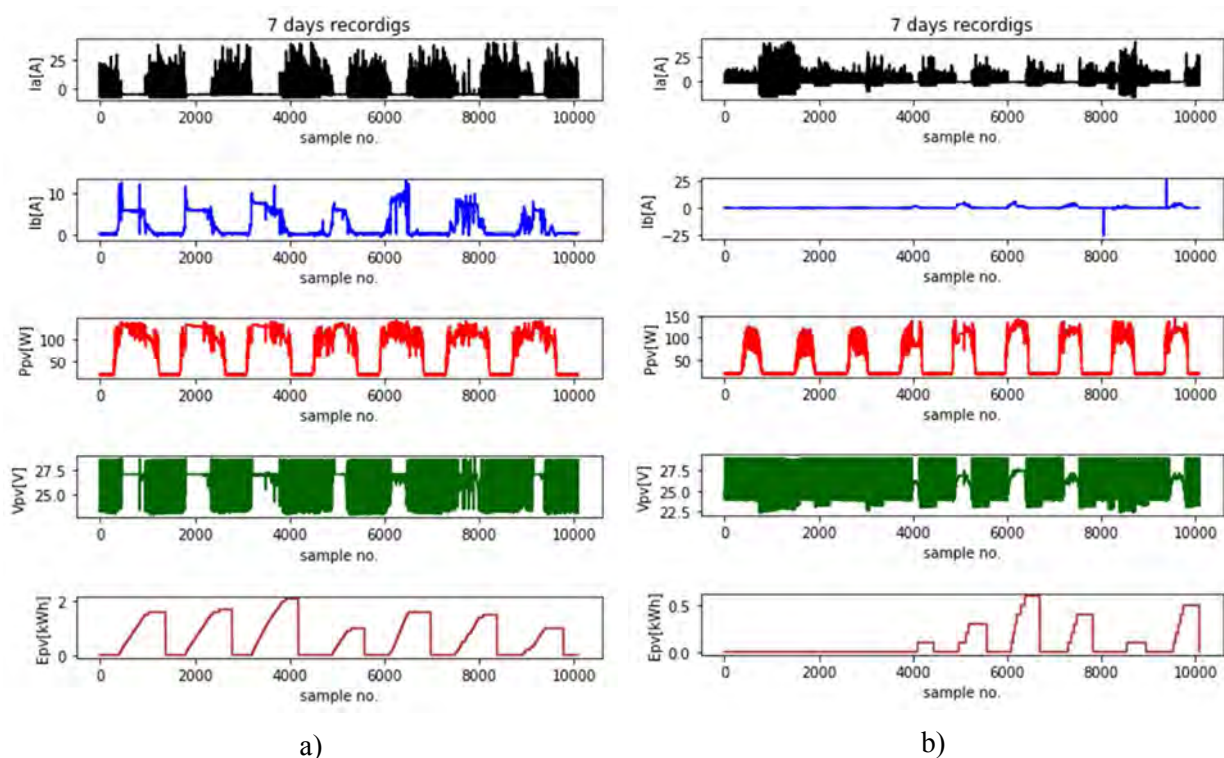


Figura 92 Variația parametrilor panoului solar pentru o perioadă de 7 zile: a) iulie 2018, b) ianuarie 2019

2.5.6. Referințe

- [1] K. P. Mansfield, "Architectural lighting design: A research review over 50 years," *Light. Res. Technol.*, vol. 50, no. 1, pp. 80–97, Jan. 2018.
- [2] T. Kyuchukov, "LIGHT POLLUTION and ITS PRICE," in *2018 7th Balkan Conference on Lighting, BalkanLight 2018 - Proceedings*, 2018.
- [3] W. Xu *et al.*, "The Design, Implementation, and Deployment of a Smart Lighting System for Smart Buildings," *IEEE Internet Things J.*, pp. 1–1, May 2019.
- [4] P. Zak and S. Vodrackova, "Conception of public lighting," in *Proceedings of 2016 IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries, Lumen V4 2016*, 2016.
- [5] AS 1428.1: 2009 Design for access and mobility Part 1: General requirements for access—New building work.
- [6] W. Henryk and P. Bojda, "Usability of luminaries with LED sources to illuminate the window areas of architectural objects," in *2016 Selected Issues of Electrical Engineering and Electronics, WZEE 2016*, 2016.
- [7] E. Guerry, C.D. Galatanu, L. Canale, G. Zissis, G. Luminance contrast assessment for elderly visual comfort using imaging measurements, *12th International Conference Interdisciplinarity In Engineering (Inter-Eng 2018)*, Procedia Manufacturing, Volume: 32, pp. 474-479, 2019
- [8] C.D. Galatanu, Luminance measurements for light pollution assessment, *2017 International Conference On Electromechanical And Power Systems (Sielmen)*, pp. 456-461, 2017
- [9] R. Dang and G. Liu, "Research on the hardware system of measurement on urban residential areas night light," in *2011 2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, MACE 2011 - Proceedings*, 2011, pp. 5184–5187.
- [10] F. Fantozzi, F. Leccese, G. Salvadori, M. Rocca, and I. Capranelli, "Opportunities for energy savings with interventions on the lighting systems of historical buildings: The case of 'Palazzo Medici' in Pisa, Italy," in *EEEIC 2016 - International Conference on Environment and Electrical Engineering*, 2016.
- [11] P. A. Berde and R. G. Bhavani, "Investigation for reducing energy consumption for a university campus in Dubai using automation," in *2015 IEEE Recent Advances in Intelligent Computational*

- Systems, RAICS 2015*, 2016, pp. 358–363.
- [12] J. Byun, I. Hong, B. Lee, and S. Park, “Intelligent household LED lighting system considering energy efficiency and user satisfaction,” *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 59, no. 1, pp. 70–76, 2013.
- [13] Y. Liang, Z. Jia, H. Yao, and J. Chen, “Housing intelligent lighting control strategy research,” in *CCIS 2014 - Proceedings of 2014 IEEE 3rd International Conference on Cloud Computing and Intelligence Systems*, 2014, pp. 728–731.
- [14] C.-G. Haba, L. Breniuc, and V. David, “Chapter 9 - Developing Embedded Platforms for Ambient Assisted Living,” in *Ambient Assisted Living and Enhanced Living Environments*, C. Dobre, C. Mavromoustakis, N. Garcia, R. Goleva, and G. Mastorakis, Eds. Butterworth-Heinemann, 2017, pp. 211–246.
- [15] L. Breniuc and C.-G. Haba, “A development system for the sunshine duration estimation,” *Bul. Institutului Politeh. din Iasi, Sect. III (Electrotehnica, Energ. Electron.)*, vol. 59, no. 4, pp. 79–91, Jan. 2013.
- [16] C.-G. Haba, “Monitoring photovoltaic parks for damage prevention and optimal operation”, 2017 International Conference on Electromechanical and Power Systems (SIELMEN), 2017

3. Studiu numeric al efectului vântului asupra încălzirii panourilor fotovoltaice

3.1. Studiu numeric al efectului vântului asupra încălzirii panourilor fotovoltaice

3.1.1. Introducere

Energia solară este cea mai curată și mai durabilă sursă de energie disponibilă pentru o mare majoritate a populației lumii. Energia solară primită de Pământ este abundentă și inepuizabilă. Aproximativ, puterea solară continuă care ajunge la suprafața pământului este de aproximativ 120000 TW [1]. În fiecare an, aceasta corespunde unui potențial de 6.500 de ori mai mare decât cantitatea de energie necesară anual în lume. Într-adevăr, în 2014, consumul mondial de energie primară se ridica la 13684 Mtone, care sunt echivalente cu 159000 TWh [2]. Doar o mică parte din această energie solară este exploatată de om pentru nevoile sale zilnice. Producția industrială de energie electrică solară se împarte în două sectoare: producția solară fotovoltaică și generarea solară termică. Sectorul fotovoltaic contribuie exclusiv la generarea de energie electrică prin intermediul panourilor solare fotovoltaice, în timp ce sectorul termic contribuie nu numai la generarea de energie electrică prin intermediul unei turbine cu aburi supraîncălziți, ci și la producerea de apă caldă sanitară sau producția de căldură pentru încălzirea clădirilor. Performanța electrică a generatoarelor fotovoltaice (PV) depinde puternic de temperatura de funcționare. Se știe că tensiunea în gol scade odată cu creșterea temperaturii celulei fotovoltaice și că, într-o măsură mai mică, curentul fotovoltaic crește odată cu aceasta. Acest lucru are ca rezultat o scădere semnificativă a puterii maxime disponibile atunci când temperatura celulei fotovoltaice crește. Documentația tehnică a panourilor fotovoltaice indică doi coeficienți care fac posibilă corectarea caracteristicilor principale într-un mod proporțional. Aceste caracteristici sunt definite în condiții standard de testare (STC), inclusiv, printre altele, temperatura ambiantă. Această abordare face posibilă obținerea de rezultate care sunt de obicei satisfăcătoare, deși nu foarte precise. Într-adevăr, fenomenul fotoelectric este foarte sensibil la temperatura cristalului semiconductor în care se produce. Celula este prinsă între diferite straturi de materiale, realizând, printre altele, tratamentul optic și conferindu-i rezistența mecanică. Prin urmare, se propune completarea simulării electrice a generatorului cu un studiu termic, pentru a evalua mai precis temperatura celulelor fotovoltaice. Prin urmare, ne concentrăm în acest studiu asupra analizei fluxului de convecție forțată laminară în jurul unui panou fotovoltaic, componenta principală a unei centrale fotovoltaice. Indiferent de

îmbunătățirea preciziei în estimarea temperaturii celulei, această abordare ne va permite, de asemenea, să luăm în considerare influența vântului asupra performanței panourilor fotovoltaice, ceea ce nu este posibil cu abordarea clasică bazată pe temperatura ambiantă (fără vânt).

În timpul funcționării modulelor fotovoltaice, celulele lor se încălzesc datorită unui număr de fenomene precum termalizarea, recombinarea purtătorului de sarcină, efectul Joule, efectul Peltier și efectul Thomson. Cunoașterea temperaturii celulei fotovoltaice este de o importanță semnificativă în prezicerea eficienței pe care o poate realiza sistemul PV în timpul funcționării. Zondag și colab. [3] a constatat că o temperatură mai scăzută a modulului PV îmbunătățește eficiența acestuia. Mai mult, încălzirea panourilor fotovoltaice poate fi atenuată de fluxul de aer din jurul panoului, debitul indus de vânt [4]. Edgar și colab. [5] arată că răcirea prin convecție pasivă a modulelor fotovoltaice poate îmbunătăți puterea electrică cu 2% în condiții nominale de funcționare. Goverde și colab. [6] au efectuat un studiu experimental care variază iradierea panoului PV și viteza vântului între 1 și 5 m / s. Au descoperit că temperatura modulului, precum și coeficientul de transfer convectiv de căldură au fost afectate semnificativ de vânt. În plus, au fost propuse modele analitice pentru a evalua temperatura celulei în funcție de viteza vântului [7-8].

Cercetarea noastră face parte dintr-un program de cooperare științifică cu Mali, cu obiectivul de a optimiza producția de energie electrică a unei centrale fotovoltaice de 50 MWp situată în KITA în zona Sahel-Saharan Africa, unde clima este caracterizată de temperaturi ridicate. Pentru a atinge acest obiectiv, este potrivit să se stabilească relația fizică dintre temperatura celulei fotovoltaice, iluminarea și parametrii meteorologici relevanți, cum ar fi vântul, este cel mai important factor care influențează temperatura celulei.

3.1.2. Datele problemei

În acest studiu, ne concentrăm pe analiza fluxului de convecție forțată laminar în jurul unui panou fotovoltaic, element principal al unei centrale fotovoltaice, având în vedere temperatura ambiantă, iradierea, precum și viteza și direcția vântului. Au fost analizate mai multe configurații de funcționare în raport cu condițiile climatice specifice Mali pentru o zi tipică de soare cu o iradiere zilnică de o durată de 12 ore între orele 6:00 și 18:00.

3.1.2.1. Geometrie

Panoul fotovoltaic (Figura 93) utilizat pentru simulările numerice are următoarele dimensiuni: lungime $L = 1,65$ m, lățime $l = 0,992$ m și grosime $H = 6,243$ mm. Panoul PV este

format din 9 straturi (Tabel 9) și este plasat în partea superioară a unui cadru din aluminiu de 40 mm înălțime, lățime de 35 mm și grosime de 8 mm (Figura 94).

În cazul instalației fotovoltaice KITA, condițiile climatice din Mali necesită instalarea de panouri fotovoltaice la 2 m de sol cu o înclinație de 15° față de orizontală, precum și cu o orientare de 7° est față de sud în planul orizontal (xy). Domeniul fluidului din jurul panoului PV (Figura 95) este construit pentru a asigura independența soluției față de condițiile de contur și de aceea se extinde 3 m în amonte, stânga, dreapta și sus și 9 m în aval.

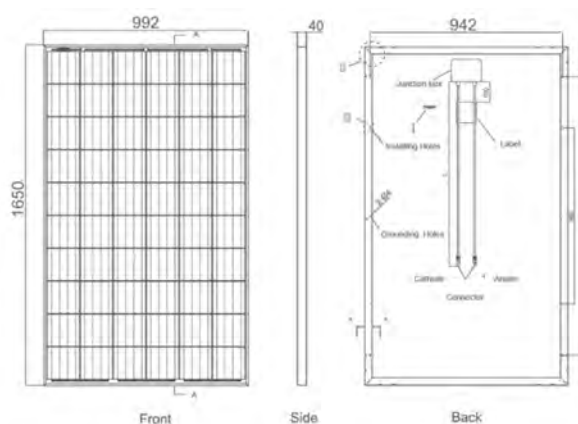


Figura 93 Panou fotovoltaic

Tabel 9 Proprietățile panoului PV

Strat	Material	Grosime (mm)	ρ $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$	C_p $\left(\frac{J}{kg.K}\right)$	k $\left(\frac{W}{m.K}\right)$
1	Sticlă	3.2	2500	500	1.1
2	Sigilant 3M	0.45	955	2090	0.311
3	Adeziv	0.5	860	2090	0.311
4	Celulă PV	0.208	2330	677	130
5	Adeziv 3M	0.45	911	2090	0.311
6	Primul încapsulant	0.5	820	2090	0.311
7	Tedlar TPE	0.345	1400	1250	0.15
8	Tedlar TFB	0.3	1100	1250	0.15
9	Tedlar TPF	0.29	1400	1250	0.15

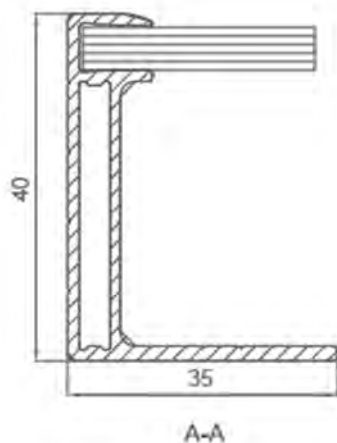


Figura 94 Integrarea panoului PV în cadrul din aluminiu

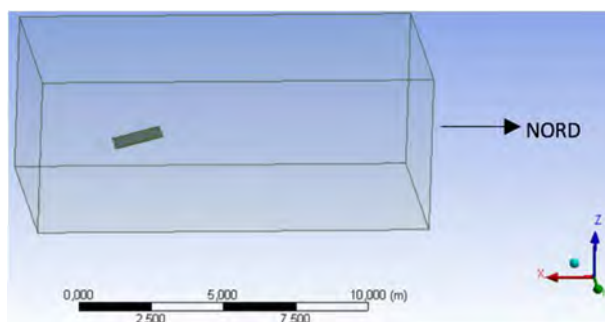


Figura 95 Geometria domeniului de curgere a fluidului

Rețeaua de discretizare structurată a domeniului fluid (Figura 96) cuprinzând 41 de milioane de celule este realizată cu o finețe care depinde, pe de o parte, de tipul stratului limită în apropierea panoului PV și, pe de altă parte, mai puțin fină pentru distanțe care cresc progresiv față de panoul PV.

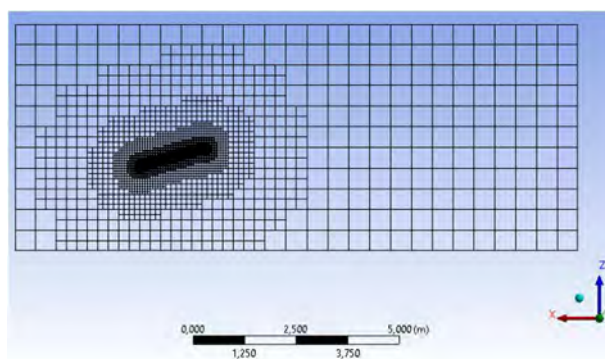


Figura 96 Rețeaua de discretizare a domeniului fluid

3.1.2.2. Model fizic

Modelul fizic al fluxului de aer prin convecție forțată în jurul panoului fotovoltaic include ecuațiile de transport ale masei, impulsului și energiei (ecuațiile (1)). Considerăm fluxul ca laminar, constant și tridimensional. Ecuațiile care guvernează procesul sunt:

- Ecuația de continuitate:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

- Ecuațiile impulsului:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial \rho u}{\partial x} + v \frac{\partial \rho u}{\partial y} + w \frac{\partial \rho u}{\partial z} \right) \\ = - \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial \mu}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial \mu}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial \mu}{\partial z} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial \rho v}{\partial x} + v \frac{\partial \rho v}{\partial y} + w \frac{\partial \rho v}{\partial z} \right) \\ = - \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial \mu}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial \mu}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial \mu}{\partial z} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial \rho w}{\partial x} + v \frac{\partial \rho w}{\partial y} + w \frac{\partial \rho w}{\partial z} \right) \\ = - \frac{\partial P}{\partial z} - \rho g + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \frac{\partial u}{\partial z} \frac{\partial \mu}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial z} \frac{\partial \mu}{\partial y} \\ + \frac{\partial w}{\partial z} \frac{\partial \mu}{\partial z} \end{aligned} \quad (4)$$

- Ecuația energetică:

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (5)$$

Fluidul este considerat newtonian, iar proprietățile fizice (ρ , C_p , k , μ) ale fluidului sunt dependente de temperatură. Într-adevăr, aproximarea Boussinesq nu este valabilă pentru aerul cu variații de temperatură mai mari de 10 K [8].

Condițiile la graniță corespunzătoare mai multor cazuri studiate pentru o zi tipică (01 aprilie 2013) iau în considerare condițiile climatice specifice Mali (Tabel 10). Iradierea zilnică cu o durată de 12 ore este între 6:00 și 18:00. Temperatura solului a fost ridicată cu 2 K mai mare decât temperatura ambiantă pentru a lua în considerare încălzirea sa datorită radiației solare directe [5]. În ceea ce privește iradierea generală primită de panoul PV, doar 31,9% din această energie este transformată în căldură și va contribui la încălzirea celulei PV [10].

Tabel 10 Condițiile climatice la 01 aprilie 2013 în Kita, Mali

<i>Ora</i>	ϕ $\left(\frac{W}{m^2}\right)$	T_{amb} (K)	V $\left(\frac{m}{s}\right)$	<i>Direcția vântului dinspre sud (°)</i>
6h30	174	291.85	1.4	291
7h30	434	299.85	2.5	280
8h30	685	303.75	2.7	289
9h30	897	308.25	2.5	300
10h30	1039	311.85	2.2	313
11h30	1102	314.55	2,1	328
12h30	1075	315.65	2	337
13h30	967	315.65	2.1	333
14h30	780	315.15	2.2	332
15h30	539	314.05	2.2	334
16h30	278	312.25	2.1	333
17h30	49	305.75	1.9	330
Valori medii	668	309	2.2	317

3.1.2.3. Metoda numerică

Ecuatiile de transport ale masei, impulsului și energiei (1) sunt rezolvate numeric folosind metoda volumului finit. Această metodă se bazează pe integrarea spațială a ecuațiilor de transport pe volumele de control. Cuplarea dintre viteză și presiune se realizează cu algoritmul cuplat care rezolvă simultan ecuațiile continuității și impulsului și oferă un avantaj pentru tratarea fluxurilor cu o puternică interdependență între câmpurile dinamice și termice. Criteriile de convergență s-au bazat pe reziduurile absolute rezultate din integrarea ecuațiilor de conservare pe volume de control finite. Pentru toate simulările efectuate în acest studiu, soluțiile convergente au fost realizate după o scădere a reziduurilor mai mică de 10^{-4} pentru toate ecuațiile. Simulările numerice 3D sunt efectuate cu software-ul comercial ANSYS Fluent® CFD.

3.1.3. Rezultate și discuții

Eficiența celulei fotovoltaice este în general măsurată în condiții standard de testare (STC) cu o temperatură a celulei fotovoltaice de 25°C și o iradiere incidentă de $1000 \frac{W}{m^2}$. Aceste condiții sunt rareori îndeplinite în instalațiile din aer liber. Modelul numeric dezvoltat în acest studiu reprezintă un instrument pentru analiza temperaturii de funcționare a panourilor fotovoltaice. În acest studiu, prezentăm rezultatele pentru o zi tipică folosind condițiile climatice specifice din Mali, adică temperatura ambiantă, iradierea, precum și viteza și direcția vântului. Ziua tipică însorită în Mali are o iradiere zilnică de o durată de 12 ore între 6:00 și 18:00. De exemplu, radiația solară la 6:30 și 17:30 în orașul Kita este respectiv $174 \frac{W}{m^2}$ și $49 \frac{W}{m^2}$.

Figura 97, Figura 98 și Figura 99 prezintă izotermele modulului PV pentru trei cazuri reprezentative ale unei zile obișnuite, adică 7:30, 11:30 și 15:30. Temperatura celulei fotovoltaice, care poate fi presupusă a fi identică cu temperatura modulului fotovoltaic [12], prezintă o mare variabilitate în condiții exterioare în schimbare. În timpul unei zile de vară fără nori în Mali, în orașul Kita, temperatura celulei este între 309K și 341K pe parcursul unei zile. Temperatura maximă de 341K este atinsă la 11h30 când iradierea zilnică este maximă și când vântul suflă din direcția sud-est (328°) cu o viteză apropiată de viteza medie a zilei. Această încălzire a celulelor fotovoltaice poate duce la o eficiență energetică considerabil redusă. De asemenea, se observă că, în ciuda unei temperaturi ambientale substanțial constante de la 11:30 la 15:30, temperatura panoului PV la 15:30 este de doar 324K. Răcirea celulei fotovoltaice se datorează vitezei mai mari a vântului și orientării sale mai favorabile în comparație cu vânturile predominante.

Figura 100 arată curenții în planul median în jurul panoului PV la 11:30 AM când iradierea este maximă ($1102 \frac{W}{m^2}$), viteza vântului este 2.1 m/s iar vântul predominant suflă din direcția sud-est (pe azimut 328°).

Știind că panoul PV este instalat în partea superioară a cadrului de susținere din aluminiu (Figura 94), fluxul de aer din jurul panoului PV este caracterizat de viteze mici în partea inferioară a panoului PV, care favorizează încălzirea celulelor situate în această zonă.

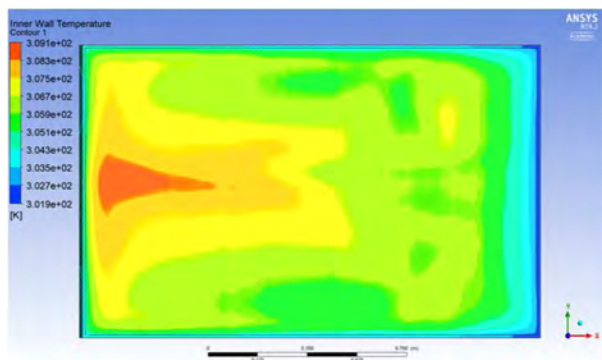


Figura 97 Temperatura panoului PV la 7:30 (vedere de sus)

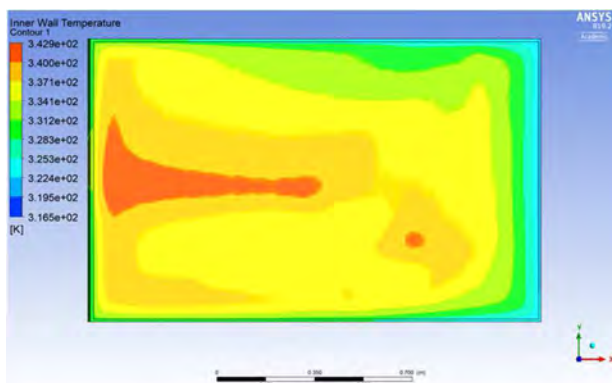


Figura 98 Temperatura panoului PV (K) la 11:30 (vedere de sus)

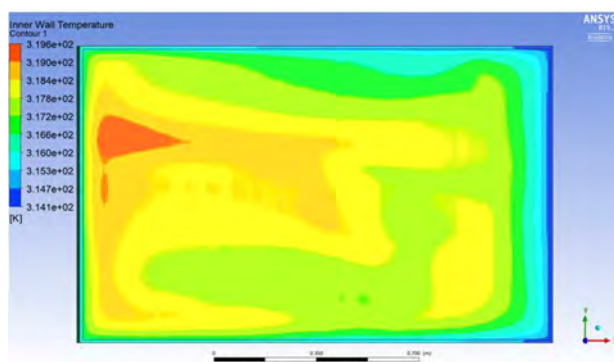


Figura 99 Temperatura panoului PV (K) la 16:30 (vedere de sus)

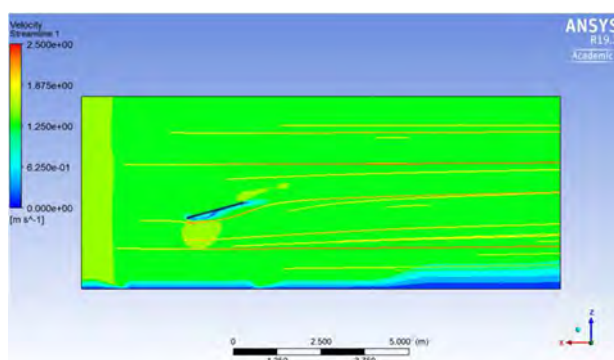


Figura 100 Linii de curent în planul median la 11:30

În a doua parte au fost testate două înclinații suplimentare ale panoului PV (10° și 20° față de orizontală) pentru a studia influența înclinației panoului PV în ceea ce privește încălzirea acestuia, știind că inițial panoul PV a fost testat pentru o înclinare de 15° . Aceste înclinații față de orizontală au fost testate pentru cele mai nefavorabile condiții climatice, adică la 11:30 într-o zi tipică.

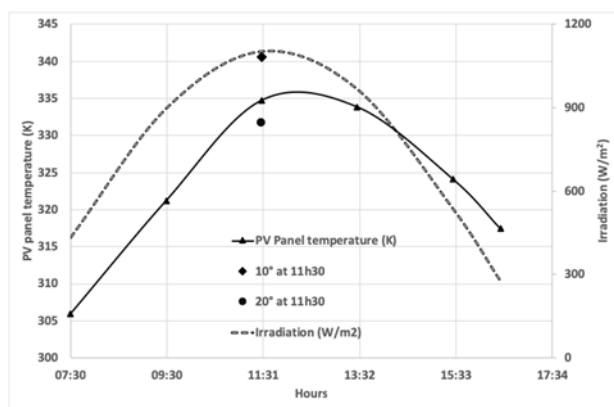


Figura 101 Evoluția zilnică a temperaturii PV și a iradierii panoului

Figura 101 reprezintă evoluția temperaturii în ziua tipică de 01 aprilie 2013 și iradierile corespunzătoare. În plus, influența înclinației panoului PV față de orizontală este afișată pentru 2 înclinații (10° și 20°). Se poate observa că evoluția temperaturii depinde de iradierea locală, cu un maxim atins la 11:30. Mai mult, se constată că pentru o înclinație mai mare (20°) față de orizontală decât cea testată inițial (15°), panoul PV supus acelorași condiții climatice este mai rece cu 3K.

Aceste cercetări vor fi continuate în cadrul celor două contracte de cercetare la care autorul este membru în colectivul de cercetători, contracte care au ca temă eficiența răcirii panourilor fotovoltaice și respectiv integrarea panourilor fotovoltaice în fațadele clădirilor.

3.1.4. Referințe

- [1] O. Morton A new day dawning?: Silicon Valley sunrise, *Nature*, 443, 19–22 (2006)
- [2] International Energy Agency (IEA). *World Energy Outlook*, 6-61 (2016)
- [3] H.A. Zondag, D.W. De Vries, W.G.J. Van Helden, R.J.C. Van Zolengen, A.A. Van Steenhoven The thermal and electrical yield of a PV-thermal collector, *Solar Energy* 72 (2), 113-128 (2002)
- [4] N. Boulfaf, J. Chaoufi Identification of Thermal Parameters of a Solar Photovoltaic Panel in Three-Dimensional using Finite Element Approach, *International Journal of Renewable Energy Research* 7 (2), 578-584 (2017)
- [5] R. Edgar, S. Cochard, Z. Stachurski A computational fluid dynamic study of PV cell temperatures in novel platform and standard arrangements, *Solar Energy* 144, 203 -214 (2017)
- [6] H. Goverde, D. Goossens, J. Govaerts, F. Catthoor, K. Baert, J. Poortmans, J. Driesen Spatial and temporal analysis of wind effects on PV modules: Consequences for electrical power evaluation, *Solar Energy* 147, 292-299 (2017)
- [7] M. Koehl, M. Heck, S. Wiesmeier, J. Wirth Modeling of the nominal operating cell temperature based on outdoor weathering, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 95 (7), 1638-1646 (2011)
- [8] M. Akhsassi, A. El Fathi, N. Erraissi, N. Aarich, A. Bennouna, A., M. Raoufi, A. Outzourhit Experimental investigation and modeling of the thermal behavior of a solar PV module, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 180, 271-279 (2018)
- [9] D.D. Gray, A. Giorgini The validity of the Boussinesq approximation for liquids and gases, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 19, 545-551 (1976)
- [10] O. Dupre, M. Amara, et R. Vaillon TASC-1D-cSi: a simulation tool to scrutinize the thermal impacts on the performances of crystalline silicon solar cells, eprint: arXiv, no 1306.5723, p. 11 (2013)
- [11] S.V. Patankar Numerical heat transfer and fluid flow (Hemisphere Publishing Corporation, Mc. Graw Hill Book Company, 1980)
- [12] M. Mattei, G. Notton, G. Cristofari, M. Muselli, P. Poggi Calculation of the polycrystalline PV module temperature using a simple method of energy balance *Renewable Energies* 31, 553-567 (2006)

3.2. Poziționarea senzorilor încorporați în izolația termică pentru clădiri

3.2.1. Introducere

Îmbunătățirea izolației termice a clădirilor a fost o prioritate în strategiile energetice de mulți ani, cu atât mai mult cu cât se adresează stocului existent de clădiri, care este foarte mare. De obicei, metodologia pentru calcularea eficienței energetice se bazează pe regimul staționar [1], în timp ce regimul tranzitoriu este menționat doar. În [1] este studiat răspunsul termic bazat pe termografia în infraroșu, care este o metodă utilizată în mod tradițional pentru regimul stabilizat. Aceste cercetări, deși evidențiază importanța regimului tranzitoriu, au un dezavantaj important, fiind o metodă de laborator aplicabilă probelor de dimensiuni reduse. Chiar dacă se afirmă că metoda poate fi aplicată pe teren, avem dreptul să avem o rezervă cu privire la această afirmație din cauza principiului de bază folosit: „un stimul termic sinusoidal impus pe o față a probei” [1]. Or, această ipoteză este greu de materializat în condiții normale. Necesitatea identificării unor noi metode de măsurare a proprietăților termice este generată și de diversitate materialelor studiate. Astfel, în [2] este studiată folosirea mortarului cu perlite expandate. Acest material, prin îmbunătățirea izolației termice, face parte din măsurile de dezvoltare durabilă, dar este în sine neregenerabil. Chiar dacă resursele geologice sunt relativ mari, ele sunt limitate. Din această cauză, singura proprietate care menține perlitele în competiție este energia încorporată redusă [2]. Problema materialelor folosite pentru izolația termică este foarte actuală, cu abordări de înaltă tehnologie, cum ar fi nanomaterialele. În [3] este studiată o vopsea care încorporează microsferice de sticlă, cu proprietăți de reflexie a căldurii. Scopul este de a înlocui izolația de 50 mm și 70 mm grosime folosind un singur strat de vopsea de 1 mm grosime! Soluția poate avea zonă în care aspectul arhitectural trebuie să prevaleze, iar dimensiunile externe trebuie păstrate, dar informațiile despre prețul unui astfel de soluții limitează într-un mod descurajant aplicabilitatea acesteia. Dacă vine vorba de un material modern și de înaltă tehnologie, panourile cu izolație sub vid sunt o soluție modernă care permite creșterea exponențială a rezistenței termice, respectiv, reducerea grosimei panourilor. Problemele tehnologice ale acestor materiale noi și avansate semnalate în [4] sunt legate nu numai de producția lor, ci mai ales de conservare lor în timp (este cazul explicit al vidului). Chiar și atunci când se adoptă soluții [4] bazate pe substanțe absorbante („obținute pentru a colecta gazele scurse prin membrană sau gazele din membrană”), incertitudinea care apare pe perioade lungi de timp duce la ideea utilizării unor senzori specifici încorporați în structura panourilor. Un alt argument pentru includerea senzorilor în structura plăcilor izolante rezultă din [5], unde sunt studiate performanțele higrotermice cvasi-staționare și dinamice ale izolației din

câneapă fibroasă și fibre minerale. Prin determinări specifice ale conductivității termice în condiții dinamice, se raportează că umiditatea afectează conductivitatea termică, ceea ce este evident. Deoarece ciclurile de funcționare ale unei clădiri sunt aleatorii, la fel cu expunerea la elementele meteo naturale sau perturbații din mediul interior, se poate concluziona că un senzor încorporat în structura izolației ar putea genera indicații importante de care ar putea depinde eficiența energetică a întregii clădiri. Soluțiile atipice aplicabile clădirilor existente fac necesare, de asemenea, soluții specifice de monitorizare a lor. Pentru un perete din piatră sau de zidărie existent, aplicarea unui material pe bază de aerogel ar putea fi o soluție, așa cum s-a studiat în [6]. Datorită gradului ridicat de noutate, soluția a necesare studii asupra modelului, într-un regim stabilizat sau dinamic. Deoarece în practică nu este acceptabil să se studieze de fiecare dată noile soluții înainte de implementare, rămâne interesant să se introducă senzori care să genereze informații despre evoluția proprietăților termice în timp.

Soluțiile cu adevărat durabile se bazează pe materiale reciclabile reutilizabile care înlocuiesc fibrele minerale tradiționale, spuma poliuretanică sau polistirenul expandat. Există studii sistematice cunoscute pentru utilizarea recipientelor din PVC, rumeguș sau polistiren expandat sfărâmat [7]. Aceste materiale aduc argumente suplimentare pentru încorporarea senzorilor, deoarece chiar dacă se poate realiza o standardizare a procesului de producție, este dificil de estimat evoluția în timp a proprietăților, în special pe perioade lungi de timp și cu variații extinse de umiditate. În cazul produselor inovatoare, o altă situație este raportată în [8]: „Producătorii prezintă caracteristici tehnice pentru materiale, care nu sunt susținute de reglementări tehnice”. În acest caz, sunt necesare teste de laborator sau in situ. Problema materialelor inovatoare este că este suficientă caracterizarea noilor eșantioane. La fel ca în cazul oricărui material, îmbătrânirea poate fi accelerată de incidența radiațiilor solare și, în special, a radiațiilor UV și de prezența ciclurilor frecvente de îngheț / dezgheț. În aceste situații, utilizarea senzorilor încorporați în structura panoului izolator ar putea furniza date nu numai pentru momentul punerii în funcțiune, ci și pentru evoluția lor în timp, pentru durate foarte mari (decenii).

3.2.2. Veriga lipsă a lanțului de măsurare

Dacă căutăm o imagine de ansamblu asupra măsurărilor efectuate pentru parametrii materialului termoizolant, vom găsi trei categorii, fiecare cu două sub-clase:

- Amplasarea măsurărilor: în laborator sau in situ;
- Variație: regim stabilizat sau regim dinamic;
- Tipul de material: material tradițional sau deșeuri în vrac

Combinarea posibilă a acestor categorii și sub-clase ne conduce la șase situații posibile, conform Figura 102, în care ipoteza 1 este cea mai comună rutină (măsurători de laborator pentru materialul tradițional și regimul stabilizat) în timp ce ipotezele 5 și 6 sunt mai puține interesante dar sunt abordate chiar și în [1]. Situația ipotezei 4 din Figura 102 este complet diferită, măsurători in situ și regimuri dinamice fiind insuficient utilizate, chiar dacă materialul nou ar trebui studiat mai mult. Aceasta ar putea fi considerată veriga lipsă în toate abordările care studiază și aprobă noile materiale izolante.

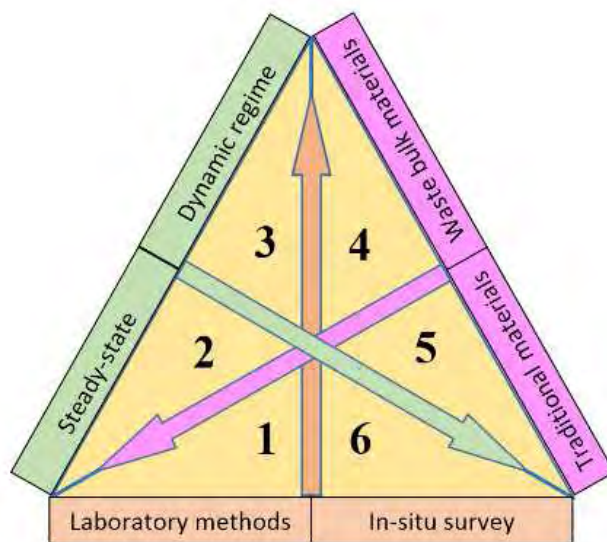


Figura 102 Măsurătorile proprietăților termice ale termoizolațiilor

Despre importanța studierii comportamentului real al materialelor există și informații în [9], unde se demonstrează că umezeala semnificativă are influență asupra răspunsului termic al materialului.

3.2.3. Sistemul de măsurare propus

Sistemul de măsurare propus constă dintr-o rețea de senzori, un sistem încorporat și un PC (pentru etapa de dezvoltare), Figura 103.

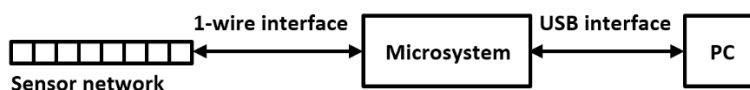


Figura 103 Structura sistemului de măsurare

Rețeaua de senzori este formată din opt senzori de temperatură DS18B20 compatibili cu interfața cu un fir, care se conectează la un microsistem. Sistemul de microcontroler utilizat este

Arduino Uno conectat la un PC prin interfața USB. Imaginea sistemului de măsurare este dată în Figura 104:

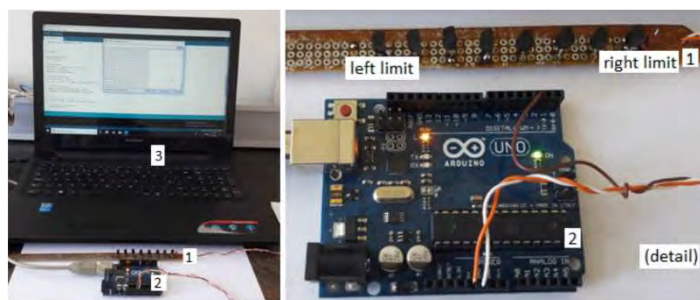


Figura 104 Imaginea componentelor proiectului:
rețea de senzori (1), sistem cu microcontroler (2), PC (3)

Interfața cu 1 fir este bidirecțională, semi-duplex. Sunt standardizate mai multe rate de transfer, dintre care unul este de 16,3 kbps, rata utilizată în proiect. Distanța unei conexiuni cu 1 fir depinde de topologia legăturii și de puterea circuitului de comandă. Aceasta este de obicei câțiva metri, dar cu ajutorul circuitelor de comandă adecvate, se pot ajunge la sute de metri. În cazul nostru a fost utilizată o topologie liniară simplă de câțiva metri și nu s-au utilizat circuite de comandă specializate. Interfața cu 1 fir utilizează 3 conexiuni: conexiune la masă - GND, conexiune de date - conexiune de date și alimentare - VCC ($2,8 \div 6V$, 5V tipic). Conexiunea DATA trebuie să fie polarizată de la VCC la o rezistență de câțiva k Ω . Alimentarea circuitelor cu 1 fir se poate face și direct din legătura DATA (alimentarea se face în timp ce logica este transmisă pe interfață), modul de alimentare parazit. Acest mod este util în aplicații de consum redus și reduce o conexiune, dar complică protocolul de comunicație (acest mod nu este utilizat în această lucrare).

Accesul la senzorul DS18B20 se face prin memoriile sale: ROM-ul pe 64 de biți (8 octeți) și scratchpad-ul (6 octeți implementați). Memoria ROM conține: 1 octet pentru definirea familiei de componente cu 1 fir (28 de ore pentru DS18B20), 6 octeți (48 de biți) pentru identificarea unică a componentelor, 1 octet CRC calculat pe primii 7 octeți. Memoria scratchpad conține: 2 octeți pentru a stoca temperatura măsurată, 1 octet pentru a seta un prag de temperatură ridicată, 1 octet pentru a seta un prag de temperatură scăzută, 1 octet pentru a configura rezoluția senzorului ($9 \div 12$ biți; în cazul nostru a fost utilizată rezoluția de 12 biți) și 1 octet conținând CRC calculat pe primii octeți.

Comunicarea senzorului se realizează prin trei secvențe: resetare / sincronizare dispozitive, selecție dispozitiv (comenzi la nivel ROM), funcție dispozitiv (comenzi la nivel dispozitiv). Comenzile de nivel ROM permit:

- să identifice adresele tuturor componentelor cu 1 fir de pe interfață (comanda SEARCH ROM) sau numai cele alimentate în modul de alimentare parazit (comanda ALARM SEARCH),
- citirea ROM dacă există o singură componentă pe interfața cu 1 fir (comanda READ ROM),
- selectarea unei componente cu 1 fir din mai multe componente conectate la interfață (comanda MATCH ROM + address64, unde *address64* este adresa pe 64 de biți a componentei selectate),
- selectarea tuturor componentelor de pe interfață (comanda SKIP ROM).

Comenzile la nivel de dispozitiv permit: declanșarea unei conversii pentru componenta / componentele selectate (comanda CONVERT), comenzile de funcționare a scratchpad-ului (WRITE SCRATCHPAD, READ SCRATCHPAD, COPY SCRATCHPAD și RECALL E2) etc. Detalii despre funcționarea senzorului DS18B20 se găsesc în [10].

Rețeaua de senzori utilizată în proiect este formată din 8 senzori de temperatură DS18B20 amplasați la aproximativ 1cm distanță. Funcționarea senzorului se face după cum urmează:

- inițializarea senzorilor din rețea cu secvențele de resetare / sincronizare a dispozitivelor;
- cu comanda SEARCH ROM se execută algoritmul SEARCH și sunt detectate adresele tuturor celor 8 senzori din rețea și ordinea în care sunt citite, această ordine fiind un index pentru fiecare senzor sau adresă;
- selectarea senzorilor din rețea cu comanda SKIP ROM;
- inițierea conversiei pentru toți senzorii cu comanda CONVERT;
- citirea și afișarea temperaturile măsurate de cei opt senzori în ordinea adreselor sau a indexurilor;
- afișarea și memorarea rezultatelor măsurătorilor în format *.csv (valoare separată prin virgulă);
- se stabilește o întârziere care determină rata măsurătorilor;
- repetarea măsurătorile.

Datele din fișierul logger *.csv vor fi extrase și procesate într-un program matematic, de ex. EXCEL. Algoritmul SEARCH detectează cei 8 senzori cu adresele lor unice, dar poziția senzorilor rămâne neidentificată. Ordinea în care senzorii răspund nu are nicio legătură cu poziția fizică a senzorilor din rețea. În mod similar, ordinea este păstrată dacă se schimbă poziția fizică a senzorilor sau numărul lor. Dacă poziția senzorilor este importantă, în cazul nostru, trebuie stabilită o corespondență între adresa index / senzor și poziția senzorului în rețea. Identificarea poziției

senzorului poate avea loc fie în procesul de fabricație al sistemului de măsurare, pentru a oferi ordinea de citire pentru utilizatorul sistemului, fie în etapa de configurare a sistemului, dacă ordinea senzorilor nu este furnizată de către producător. În al doilea caz, producătorul ar trebui să furnizeze cel puțin o procedură pentru o astfel de identificare.

O soluție este cunoașterea sau determinarea cu algoritmul SEARCH a adresei fiecărui senzor, cunoașterea ordinii în care algoritmul SEARCH aranjează adresele și atașează indexurile și apoi, adaptarea fizică a senzorilor în ordinea indexurilor. Această metodă a fost utilizată în proiect, în etapa de dezvoltare.

O altă soluție este de a monta senzorii în rețea în orice ordine și de a rula programul pe microcontroler pentru a prelua numărul de senzori, adrese / indici și temperaturi măsurate. În această situație, este necesar un algoritm specific pentru a identifica poziția fiecărui senzor.

3.2.4. Amplasarea senzorului în bara de senzori

Strategia pentru identificarea poziției fiecărui senzor este obiectul acestei cercetări. Metoda se bazează pe o temperatură treaptă aplicată pe o suprafață a panoului izolator, cu senzorii încorporați. Senzorii vor măsura creșterea temperaturii în timp, ca în Figura 105:

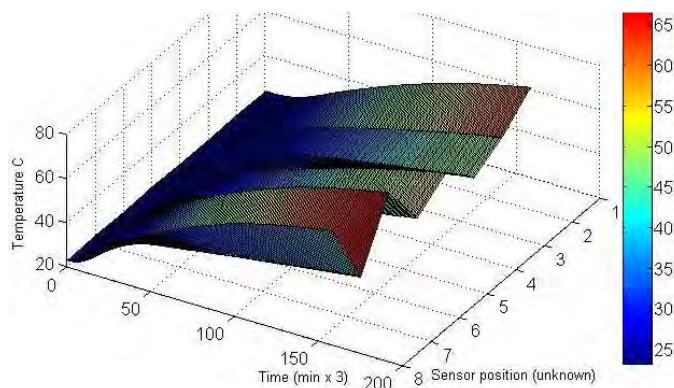


Figura 105 Tendința de temperatură, citită de la senzorul 1 la 8, cu poziție necunoscută.

Din Figura 106 este dificil de identificat locația senzorilor, dispuși fiind la întâmplare. Dacă experimentul termic se realizează numai pe conducție termică (fără convecție între suprafețele panoului), transmisia fluxului va fi unidirecțională și poziția senzorilor va putea fi determinată, așa cum se poate vedea în Figura 106:

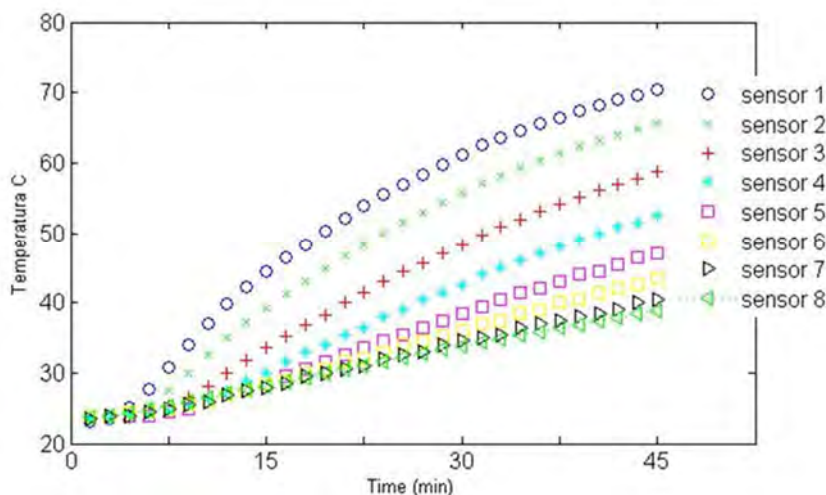


Figura 106 Localizarea senzorilor, pentru transferul de căldură conductiv mono-direcțional

După cum rezultă din Figura 106, senzorul 1 va fi mai aproape de suprafața încălzită a panoului izolator, iar senzorul 8 mai aproape de suprafața neîncălzită. Caracteristicile sistemului de măsurare pot fi modificate prin creșterea numărului de senzori din rețea și prin modificarea distanței dintre senzori.

3.2.5. Concluzii

Introducerea unei rețele de senzori de temperatură ar putea genera posibilitatea monitorizării la fața locului a panourilor izolatoare. Folosind senzori necostisitori, se vor obține informații esențiale despre transferul căldură în timp. De exemplu, câmpul de temperatură, după localizarea senzorilor, este prezentat în Figura 107:

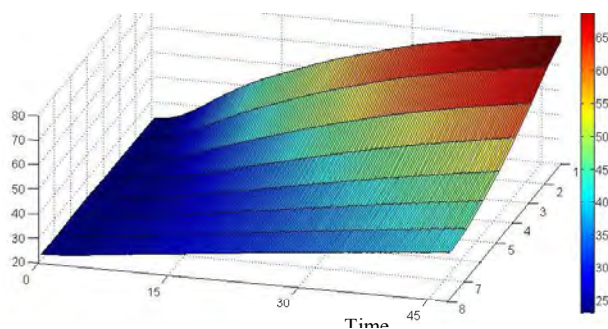


Figura 107 Evoluția temperaturii pentru experimentul de identificare cu semnal determinist treaptă

Imaginea globală a câmpului termic ar putea oferi informații despre proprietățile inițiale ale materialului, fluxul termic în timp sau influențele negative în timp ale unor fenomene de

umiditate sau de îngheț / dezgheț. Citirea senzorilor se poate face continuu sau la intervale de timp standardizate, cu microsisteme încorporate.

Direcția aceasta de cercetare are mult potențial de dezvoltare, deoarece în Facultatea de Construcții și Instalații există mulți cercetători care lucrează la îmbunătățirea unor noi categorii de materiale termoizolatoare, care înglobează diverse materiale reciclabile, de la PET-uri la cauciuc, polistiren granular etc. Urmărirea proprietăților acestor materiale noi în timp este un domeniu de interes, mai ales că este dificil de standardizat proprietățile unor loturi diferite de materiale, care utilizează șarje diferite de materii prime.

3.2.6. Referințe

- [1] I. Zapodeanu, D. Isopescu, M. Pruteanu and A. Leizeriuc, Advanced thermal protection solution for construction, Vols. Nano, Bio and Green - technologies for a sustainable future, Book Series: International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM , no. Vol II, (2015) 27-34.
- [2] M. Vasilache, M. Pruteanu and C. Avram, Use of waste materials for thermal insulation in buildings, Environmental engineering and management journal, (2010) 1275-1280.
- [3] A. Ciobanu, A. Iacob, M. Pruteanu, D. Nedelcu, L. Slatineanu, S. Mazuru and O. Milocevic, The influence of thermal bridge effects on vacuum insulations panels, MODTECH 2011: New face of T.M.C.R., vol. I and II, (2011) 237-240.
- [4] M. Pruteanu, L. Diaconu, M. Rujan and D. Babor, Studies on the possibilities of using expanded perlite for reducing buildings energy consumption, Environmental engineering and management journal, 6th International Conference on Biomaterials, Tissue Engineering and Medical Devices, (2014) 1103-1108.
- [5] M. Pruteanu, A. Radu, A. Ciobanu, A. Iacob, D. Nedelcu, L. Slatineanu, S. Mazuru and O. Milocevic, A closer examination of the thermal performance of multifoil insulations, MODTECH 2011: New face of T.M.C.R., vol I and II, (2011) 901-904.
- [6] E. Lucchi, F. Roberti and A. Troi, Definition of an experimental procedure with the hot box method for the thermal performance evaluation of inhomogeneous walls, Energy and building, vol. 179, (2018) 99-111.
- [7] G. Ferrarini, P. Bison and A. Bortolin, Thermal response measurement of building insulating materials by infrared thermography, Energy and buildings, vol. 133, (2016) 559-564.
- [8] E. Latif, S. Tucker, Ciupala MA, D. Wijeyesekera, D. Newport and M. Pruteanu, Quasi steady state and dynamic hygrothermal performance of fibrous Hemp and Stone Wool insulations: Two innovative laboratory based investigations, Building and Environment, (2016) 391-404.
- [9] Zhang, TF, Xu, YH; Lin, CH; Wei, ZG; Wang, SG , Measuring moisture content in a porous insulation package with finite thickness, International journal of heat and mass transfer, 129 (2019), 144-151.
- [10] DS18B20 – Programmable Resolution 1-wire Digital Thermometer, DS18B20 Data Sheet Maxim integrated Inc., <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf> cited in June 2019.

4. Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

4.1. Măsurători temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

4.1.1. Provocările temperaturii de culoare a surselor de lumină

4.1.1.1. Percepția subiectivă a calității culorii

Principala provocare a evaluării calității culorilor apare din percepția subiectivă a calității culorilor de către observatorii reprezentativi. Percepția subiectivă diferită a unei scene iluminate de o sursă de lumină cu parametri cunoscuți, face din aceasta încă o provocare de cercetare care subliniază importanța aplicațiilor de iluminat adaptate pentru a satisface cerințele luate în considerare la iluminarea centrată pe om.

Această cercetare abordează proprietățile sistemelor de iluminat proiectate care iau în considerare percepția subiectivă a utilizatorilor finali umani, descrisă printr-o anumită distribuție a preferințelor lor, luând în considerare și cerințele specifice aplicației. Cerințele specifice aplicației (de exemplu, iluminatul public, locuința, clădirile publice etc.) trebuie luate în considerare la proiectarea și evaluarea performanței și a calității culorilor unui sistem de iluminat [1].

Un rol cheie în proiectarea sistemului de iluminare solicitat pune accentul pe o modelare riguroasă a cerințelor de calitate a culorilor care la final controlează dinamic sistemul de iluminare pentru a satisface factorii vizuali și non-vizuali care influențează modul în care oamenii percep scena. Cercetătorii propun indicatori simpli de utilizat și de înțeles care utilizează un parametru de optimizare a sursei de lumină, care ia în considerare măsurători multiple legate de sursele de iluminare, formând cunoștințele generale despre cele mai bune practici de iluminare [6].

Conceptul unui parametru ușor de înțeles necesită luarea în considerare a următoarelor contribuții: temperatura corelată a culorii (CCT), nivelul de iluminare, măsurarea performanței cromatice a sursei de iluminare, factorii non-vizuali și o metrică de calitate a culorii în general ușor de înțeles care caracterizează indicele de redare a culorilor (CRI – Color Rendering Index) definit de CIE (Comitetul Internațional de iluminat), împreună cu o indicație complementară a modului în care culorile saturate apar atunci când sunt iluminate de sursa de lumină evaluată.

4.1.1.2. Metrice de culoare pentru evaluarea surselor de lumină

Progresele în definirea acestui concept, dezvoltă metricele de redare a culorilor care modelează dependențele dintre evaluarea vizuală umană a sistemului de iluminare și cerințele așteptate ale surselor de lumină, având în vedere intensitatea culorii percepute, asemănările cu lumina naturală și preferința de culoare [7]. Sistemele de iluminat de ultimă generație sunt capabile să respecte performanța necesară controlând: intensitatea culorii, preferința culorii și asemănarea percepută cu lumina naturală atunci când iluminează obiecte colorate, reglând totodată componenta de saturație. Caracteristica CCT (Correlated Color Temperature – Temperatura de Culoare Corelată) a componentelor spectrale ale unei surse de lumină are o influență importantă asupra confortului general și a acuității vizuale a utilizatorilor finali.

Există sistemele certificate care sunt deja disponibile pe piață și care sunt capabile să controleze răspunsul spectral al surselor de lumină integrate. Această capacitate tehnologică duce la definirea noilor concepte și modele de surse de lumină, facilitând o descriere robustă a percepției vizuale a utilizatorului final, a valorilor de calitate și a performanței generale a sistemului de iluminat. Pentru a facilita etapele de dezvoltare pentru conceptul de calitate a iluminării și pentru a identifica schema necesară de optimizare a iluminatului, studii recente au analizat metricele legate de calitatea vizuală și a culorilor care influențează deciziile în proiectare atunci când se dezvoltă o sursă de lumină [7].

Primul aspect important se referă la aprecierea și preferințele utilizatorului cu privire la tonul alb al sursei de lumină analizate. Preferințele luate în considerare de utilizatorii luminii albe trebuie să includă diferențe generate de un eșantion reprezentativ de observatori și o gamă largă de surse de lumină albă examinate.

Al doilea indicator a fost nivelul de iluminare care influențează în mod direct acuitatea vizuală. Această valoare descrie influența sursei de lumină asupra locului de muncă. Cu toate acestea, este necesar un echilibru între iluminare și CCT pentru a asigura o bună acuitate vizuală. Aplicațiile de uz general necesită niveluri de iluminare peste 500 lx pentru a asigura performanța vizuală.

Al treilea aspect luat în considerare se referă la temperatura percepută a culorii. Acest lucru indică preferințele utilizatorului pentru tonul luminii albe, care poate fi cald, neutru sau rece (lumina zilei) variind de la 2500 K până la 7000 K. Această valoare subiectivă este puternic dependentă de caracteristicile umane și este legată în mod specific de tipul de obiecte iluminate de sursa de lumină țintă [8].

4.1.1.3. Cercetări experimentale pentru evaluarea calității culorii surselor de lumină LED

Toate aspectele menționate mai sus au fost obiectul experimentelor de calitate a culorilor în laboratoare luminotehnice specializate, care cercetează acest subiect. Rezultatele acestor studii experimentale au lărgit plaja de cunoștințe în domeniul colorimetriei, facilitând progrese semnificative ale soluțiilor tehnice pentru dezvoltarea surselor de lumină LED. Rezultatele experimentale obținute au indicat că indicele general de redare a culorilor CIE și anume CRI Ra, deoarece este standardizat în prezent, nu ar putea exprima percepției subiectivă a culorilor sau chiar capacitatea sa de a discrimina între culori.

Cercetarea aplicativă de față rezonează din necesitatea de a avea un dispozitiv de măsurare care să poată analiza un mediu iluminat artificial, să utilizeze o colorimetrie ușor de înțeles și să identifice măsurile de optimizare a iluminării aplicabile pentru a satisface indicatorii solicitați. Un caz special care este o provocare pentru implementarea unui astfel de dispozitiv sunt problemele legate de percepția albului, acceptarea tonului alb și preferința subiectivă a tonului alb al sursei de lumină. Propunem o metodă de evaluare bazată pe CCT și Delta uv (Duv).

4.1.2. Colorimetrie și indicatori specifici

4.1.2.1. Colorimetrie

Colorimetria este știința responsabilă de cuantificarea percepției culorii umane și de propunerea metodelor de descriere fizică și derivare a indicatorilor colorimetrici utilizând măsurători reale ale distribuției spectrale a diferitelor componente ale lungimii de undă generate de sursa de lumină. Colorimetria utilizează cantități colorimetrice pentru a prezice atributele de culoare percepute și pentru a le încorpora în schemele de proiectare și optimizare a unui mediu iluminat artificial. Complexitatea fenomenelor de percepție a culorilor este responsabilitatea acestei științe complementare, colorometria, responsabilă de modelarea cuprinzătoare a percepției culorilor. Scopul final al colorimetriei este de a defini cantități măsurabile prin intermediul unor proceduri instrumentale, fără a fi necesară măsurarea distribuțiilor spectrale de putere (SPD). Aceste cantități măsurabile permit inginerilor să caracterizeze o sursă de lumină în așa fel încât culoarea percepută sau o proprietate a culorii percepute să fie ușor de descris și de înțeles [3]. Metoda propusă folosește următoarele mărimi colorimetrice predefinite: valorile tristimulului, coordonatele cromaticității și temperatura de culoare corelată (CCT).

**Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri
folosind procesarea imaginilor**

4.1.2.2. Funcții de potrivire a culorilor și valori tristimul

Funcțiile de potrivire a culorilor sunt folosite pentru a prezice distribuțiile de strălucire spectrală rezultă în același aspect al culorii, pentru a prezice potrivirea stimulilor de culoare, în condițiile în care unghiul de vizualizare este identic, ceea ce înseamnă că stimulii luminoși sunt în acord cu percepția retine centrale în cazul unui observator mediu, conform teoriei de bază:

$$\begin{aligned}
 r_{lin} &= f^{-1}\left(\frac{\tilde{r}}{255}\right) \\
 g_{lin} &= f^{-1}\left(\frac{\tilde{g}}{255}\right) \\
 b_{lin} &= f^{-1}\left(\frac{\tilde{b}}{255}\right) \\
 f^{-1}(h) &= \begin{cases} h \div 12.92 & \text{if } h \geq 0.04045 \\ \left(\frac{h + 0.555}{1.055}\right)^{2.4} & \text{if } h < 0.04045 \end{cases} \\
 \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0.4142 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_{lin} \\ g_{lin} \\ b_{lin} \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Se poate utiliza distribuția spectrală a strălucirii stimulului de culoare măsurată cu ajutorul unui spectroradiometru, pentru a calcula valorile tristimulilor XYZ [10] folosind funcțiile de potrivire a culorilor (1). În ecuația (1), $\tilde{r}$, $\tilde{g}$, $\tilde{b}$ indică respectiv componentele corectate gamma, folosind $\gamma = 2.2$, descriind culoarea în spațiul de culoare RGB.

Cazuri particulare, în care valorile tristimulilor XYZ ale două surse de culoare sunt egali, indică faptul că omul percepe aceeași culoare. În această situație, doi stimuli de culoare cu diferite distribuții de putere spectrală pot avea valori identice ale tristimulului, rezultând o potrivire vizuală percepută în ciuda diferitelor componente spectrale. Cazul particular descrie efectul numit metamerism, unde cei doi stimuli de culoare sunt numiți metameri.

4.1.2.3. Diagrama cromaticității

Coordonatele de cromaticitate x , y , z sunt calculate conform CIE 1931 și sunt utilizate în continuare pentru a descrie diagrama de cromaticitate CIE [11]. Coordonatele cromatice x , y , z sunt calculate folosind relațiile bazate pe tristimulii din CIE 1931 (2).

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{X}{X + Y + Z} \\
 y &= \frac{Y}{X + Y + Z} \\
 z &= \frac{Z}{X + Y + Z}
 \end{aligned} \tag{2}$$

4.1.2.4. Temperatura de culoare corelată

Temperatura culorii este o valoare metrică a calității culorii folosită pentru a aproxima doar sursele de lumină de culoare albă. Temperatura de culoare corelată (CCT) este o valoare metrică a calității culorii care specifică aspectul culorii luminii emise de o sursă de lumină, corelând culoarea sa cu culoarea unei surse de referință încălzite la o temperatură specifică măsurată în grade Kelvin (K). Evaluarea CCT specifică a unei surse de lumină oferă o indicație despre aspectul de culoare perceput ca fiind „caldă” sau „rece”. CCT este calculat din componentele CIE 1931 x , y utilizând aproximarea McCamy (3) definită anterior [12].

$$n = \frac{(x - 0.3320)}{(0.1858 - y)} \quad (3)$$

$$CCT = 437 \times n^3 + 3601 \times n^2 + 6861 \times n + 5517$$

4.1.2.5. Calculul Delta u , v

Metrica Delta u , v (Duv) este utilizată pentru a descrie cât de departe, în raport cu curba corpului negru, se află un punct luminos de o anumită nuanță de alb. Este o metrică a distanței care indică diferența delta în raport cu curba corpului negru de referință.

$$v = \frac{4x}{(-2x + 12y + 3)}$$

$$v = \frac{6y}{(-2x + 12y + 3)}$$

$$Lfp = \sqrt{(u - 0.292)^2 + (v - 0.24)^2} \quad (4)$$

$$a = \arccos\left(\frac{u - 0.292}{Lfp}\right)$$

$$Lbb = k_6 a^6 + k_5 a^5 + k_4 a^4 + k_3 a^3 + k_2 a^2 + k_1 a + k_0$$

$$Duv = Lfp - Lbb$$

Metrica Duv combinată de obicei cu CCT indică cât de aproape de curba de referință a albului pur se află sursa de lumină analizată. O valoare negativă Duv specifică faptul că punctul de culoare analizat este situat sub referința de alb pur, spre tonuri de culoare magenta sau roz.

Pe de altă parte, o indicație Duv pozitivă plasează punctul de culoare deasupra referinței albe, spre tonuri de culoare verde sau galben. Metrica Duv este calculată utilizând valorile CIE 1931 xy folosind următoarele formule (4). Unde, valorile coeficienților k_n utilizați sunt: $k_6 = -0.00616793$, $k_5 = 0.0893944$, $k_4 = -0.5179722$, $k_3 = 1.5317403$, $k_2 = -2.4243787$, $k_1 = 1.925865$, $k_0 = -0.471106$.

American National Standards Institute (ANSI) împreună cu EnergyStar, un organism de certificare independent pentru eficiența energetică a bunurilor electronice de consum, indică o marjă acceptabilă de Duv pentru sistemele de iluminat cu ratinguri cuprinse între $\pm 0,006$.

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

Instalațiile de iluminat cu destinație specială necesită un control mai mare asupra valorii totale D_{uv} în intervalul de $\pm 0,003$.

4.1.3. Caracteristicile senzorului de imagini

Procesul de măsurare a valorilor de calitate a culorilor este adaptat unei camere video ASI290. Camera integrează un senzor de imagine Sony IMX291LQR, cu rezoluție 2.1MPix, un factor de formă 1/2.8, diagonală de 6,5 mm, interval de expunere de la 32us la 2000.

Sensibilitatea spectrală a senzorului este prezentată în Figura 108, conform specificațiilor producătorului. Răspunsul spectral al ferestrei de protecție D21 AR indicat în Figura 109. Caracteristicile spectrale ale filtrului și senzorului sunt utilizate pentru a calcula matricea de compensare care încorporează dependențe optice, senzor și lumină albă în răspunsul normalizat.

4.1.4. Metoda de măsurare a prelucrării imaginilor

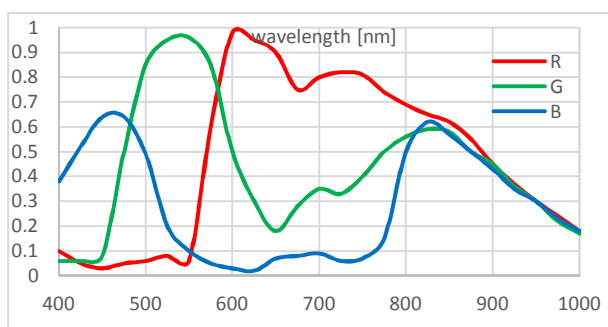


Figura 108 Caracteristicile spectrale ale senzorului de imagine IMX291LQR

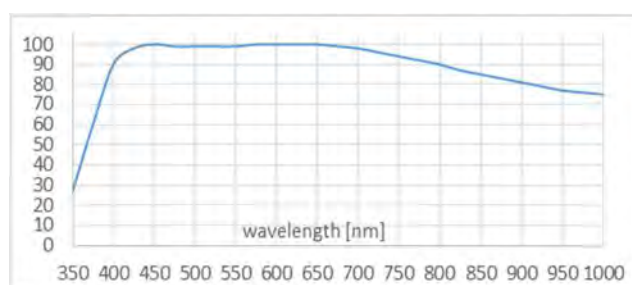


Figura 109 Caracteristică spectrală a filtrului D21 AR

Metoda de procesare a imaginii propusă pentru măsurarea valorilor de calitate a culorii este descrisă în **Figura 110**. Procesul de achiziție și măsurare a datelor începe prin configurarea parametrilor camerei după cum urmează: luminozitate = 1, expunere = 488μs, câștig = 240, gamma = 0,5 și balans de alb = 5000. Algoritmul de achiziție a imaginii care generează o imagine

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

reprezentată în spațiul de culoare RGB. Componentele RGB sunt utilizate pentru a calcula reprezentarea tristimulus XYZ cu modelul matematic indicat (1).

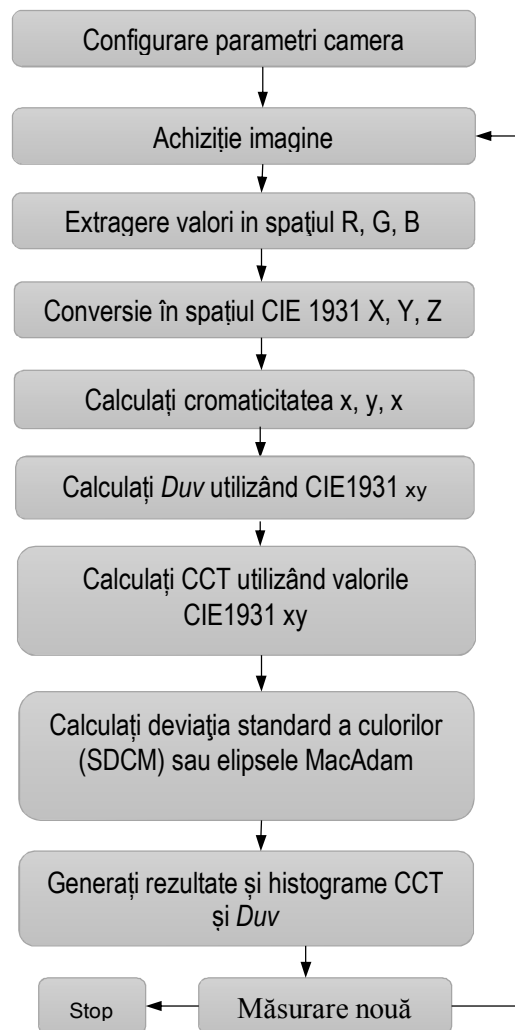


Figura 110 Metoda de măsurare a calității culorii

În etapa următoare, componentele tristimulilor XYZ sunt utilizate pentru a determina reprezentarea CIE 1931 x , y , z . Componentele de cromaticitate obținute x , y , z descriu spectrul imaginii originale distribuite în diagrama de cromaticitate CIE 1931. Următoarea etapă calculează pe baza componentelor cromaticității x , y metrica Duv prin aplicarea modelului matematic (4) și a temperaturii de culoare corelate (3). Metrica deviației standard a culorilor este apoi calculată pe baza componentelor CIE 1931. Procedura de măsurare continuă prin afișarea rezultatelor măsurate ale valorilor de calitate a culorilor și a histogramelor relevante care caracterizează sursa de lumină analizată. Utilizatorul este întrebat dacă dorește să realizeze o nouă măsurare. În cazul în care decizia utilizator nu confirmă o nouă măsurare, procesul se oprește. Când utilizatorul confirmă că

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

este necesară o nouă măsurare, întregul proces de măsurare se repetă începând cu etapa de achiziție a imaginii.

Sursele de lumină utilizate în studiile experimentale sunt fabricate de Phillips, sunt evaluate la 7W și au calificări de alb cald, alb neutru și lumină rece. Sursa de lumină albă caldă este evaluată la un CCT de 2700K și un flux luminos de 806 lumeni. Sursa de lumină albă neutru este evaluată la un CCT de 4000K și un flux luminos de 830 lumen. Sursa de lumină rece de zi este evaluată la un CCT de 6500K și un flux luminos de 830 lumen.

Configurarea experimentală a constatat în orientarea sursei de lumină LED perpendicular spre o suprafață albă netedă și perfect difuză situată la o distanță de 50 cm de sursa de lumină.

În timpul încercărilor experimentale, camera video a fost montată la 10 cm deasupra sursei de lumină pe aceeași axă verticală, focalizată perpendicular pe suprafața țintă. Imaginile care surprind proiecția surselor de lumină LED analizate pe suprafața țintă sunt prezentate în Figura 111.

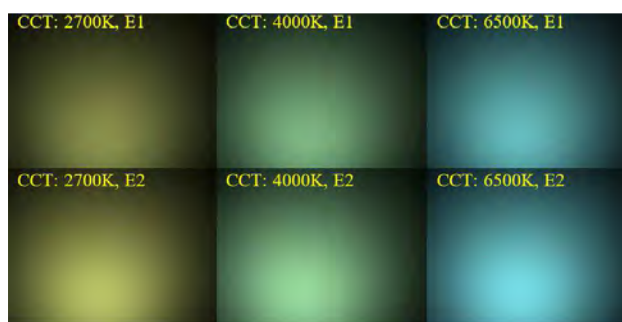


Figura 111 Imagini achiziționate cu camera video care indică lumina proiectată de sursele de lumină LED analizate pe suprafața albă țintă

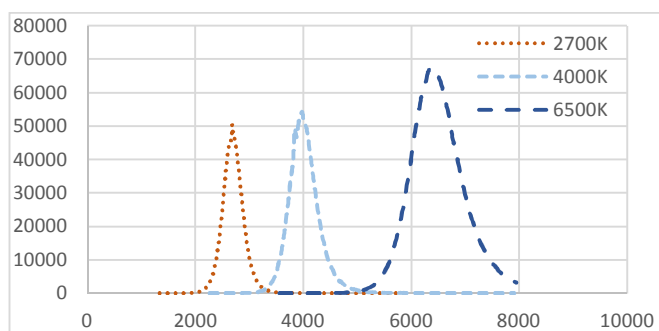


Figura 112 Histograme care indică componentele CCT găsite în spectrul CCT calculat al imaginilor pentru sursele de lumină LED analizate

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

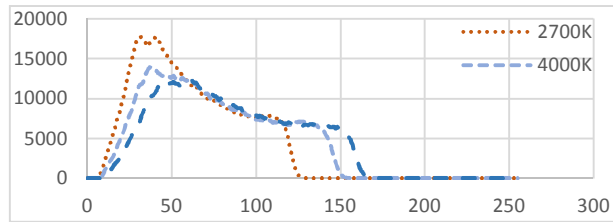


Figura 113 Histogramă pentru nivelurile de gri a imaginilor captate de senzorul de imagine la diferite valori CCT ale surselor de lumină LED analizate

Mai mult, metoda calculează și metrica calității culorii *Duv* a surselor de lumină LED analizate, Figura 114.

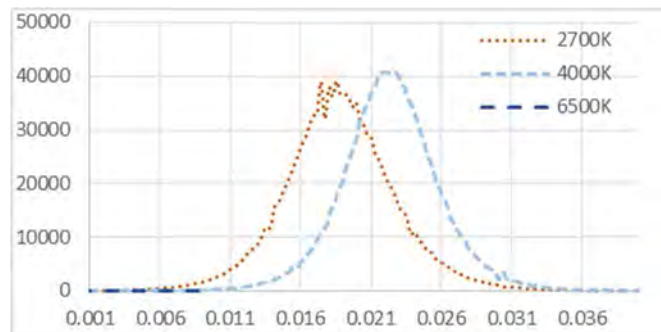


Figura 114 Distribuții *Duv* calculate pentru spectrele CCT determinate pentru sursele de lumină LED analizate

Metrica *Duv* este un indicator important atunci când se discută despre aplicațiile de iluminare sensibilă la culoare și indică dacă pentru o anumită CCT, nuanța este deasupra sau sub curba corpului negru.

Figura 115 indică histogramele RGB pentru fiecare dintre imaginile care surprind scena cu sursele de lumină LED analizate. Sursele de lumină analizate au confirmat valorile producătorului pentru valorile CCT-uri de 2700K, 4000K și 6500K. Se pot analiza histogramele prezentate în Figura 115 și se poate identifica distribuția componentelor spectrale în spațiul de culoare RGB considerat util atunci când se dorește controlul sursei de lumină LED pentru a optimiza culoarea percepută. Așa cum se afirmă la începutul paragrafului, histogramele sunt corespunzătoare imaginilor din Figura 111 și nu caracterizează neapărat sursele de lumină. Histogramele exprimă mai mult gradul de neuniformitate al luminanțelor din imaginile respective.

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

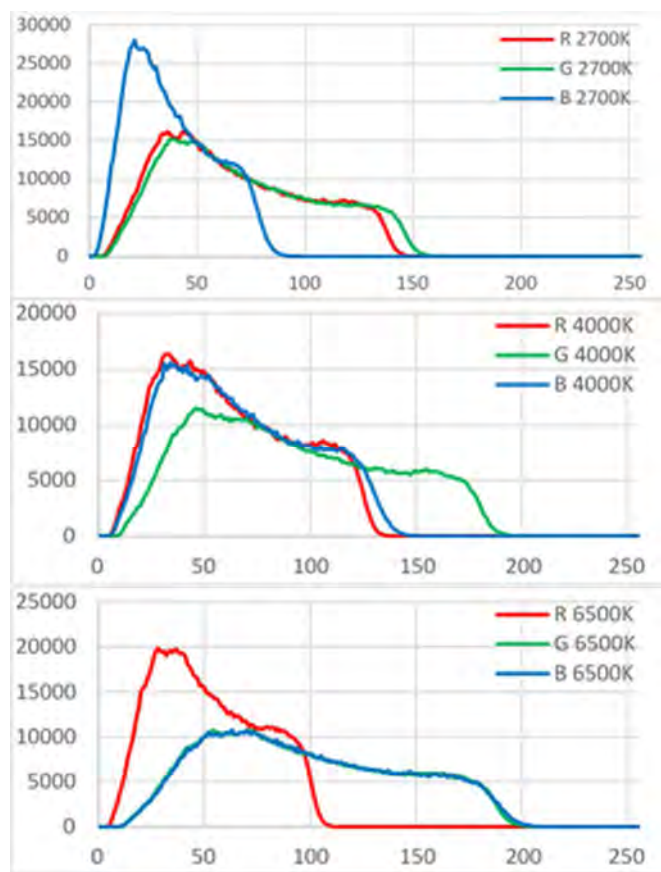


Figura 115 Histogramele RGB ale imaginilor dobândite corespunzătoare spectrelor CCT pentru sursele de lumină LED analizate, exprimând neuniformitatea iluminării / luminanței

4.1.5. Referințe

- [1] Ohno, Y. (2005) Spectral design considerations for white LED color rendering. *Opt. Eng.*, 44 (11), 111302.
- [2] Bodrogi, P., Brückner, S., Khanh, T.Q., and Winkler, H. (2013) Visual assessment of light source color quality. *Color Res. Appl.*, 38, 4–13.
- [3] David, A., Fini, P.T., Houser, K.W., Ohno, Y., Royer, M.P., Smet, K.A.G., Wei, M., and Whitehead, L. (2015) Development of the IES method for evaluating the color rendition of light sources. *Opt. Express*, 23 (12), 15888–15906.
- [4] CIE 17.4-1987 International Lighting Vocabulary, 2010.
- [5] Bodrogi, P., Csuti, P., Horváth, P., and Schanda, J. (2004) Why does the CIE colour rendering index fail for white RGB LED light sources? *Proceedings of the CIE Expert Symposium on LED Light Sources: Physical Measurement and Visual and Photobiological Assessment*, Tokyo, 2004.
- [6] Boyce, P. (2015) Editorial: the problem with light. *Light. Res. Technol.*, 47, 387.
- [7] Energy Star (2012) Energy Star Program Requirements for Luminaires. Partner Commitments, Eligibility Criteria Version 1.2.
- [8] Fotios, S.A. and Levermore, G.J. (1998) Chromatic effect on apparent brightness in interior spaces II: Lumens model. *Light. Res. Technol.*, 30 (3), 103–106.
- [9] Cuttle, K. (2010) Opinion: lighting criteria for the future. *Light. Res. Technol.*, 42, 270.
- [10] C. A. Bouman: Digital Image Processing – Color Spaces, online course, January 2019.
- [11] David, A., Fini, P.T., Houser, K.W., and Whitehead, L. (2015) Development of the IES method for evaluating the color rendition of light sources. *Opt. Express*, 23, 15888–15906.
- [12] Javier H.A., Raymond L. Lee, Jr., and Javier R., Calculating correlated color temperatures across the entire gamut of daylight and skylight chromaticities, *APPLIED OPTICS*, Vol. 38, No. 27, 1999.

4.2. Studiu asupra influenței diferiților factori asupra măsurării CCT pentru un sistem de iluminat cu reglare automată a CCT

4.2.1. Structura hardware utilizată

Sistemul de iluminare constă din: Aparat de iluminat (driver adresabil + sursă de lumină), modul de comandă și senzor RGBC, Figura 116.

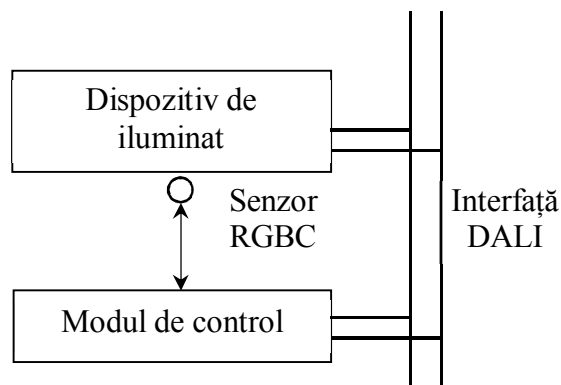


Figura 116 Sistem de iluminare cu reglare automată a CCT

Modulul de control configurează corpul de iluminat prin trimiterea de comenzi către driver prin intermediul interfeței DALI (PORNIT / OPRIT, temperatura de culoare CCT, nivel maxim, nivel minim etc.). Senzorul RGB măsoară componentele RGBC (roșu, verde, albastru și clar) și transmite aceste informații către modulul de control. Modulul de control procesează aceste informații, calculează CCT-ul real și reconfigurează parametrii corpurilor de iluminat astfel încât să fie atins CCT-ul presetat. Corpul de iluminat include un driver TRIDONIC LCA 50W 350-1050mA DT8 Ip PRE și LED-uri tip LLE G2 24x280mm 927-965 PRE. Modulul de control este construit în jurul micro-sistemului Digilent WF32, în timp ce senzorul RGBC utilizat este un senzor TAOS TCS 34725.

Utilitarul *masterCONFIGURATOR* care rulează pe un PC și comunică cu interfața DALI prin intermediul unui convertor USB/DALI sau RS232/DALI a fost utilizat pentru testarea inițială a dispozitivului de iluminare. Au fost efectuate teste pentru cele 9 CCT implicite (2700K, 3000K, 3500K, 4000K, 4500K, 5000K, 5700K, 6000K și 6500K) și 3 niveluri de iluminare de 100%, 60% și 26%. Pentru setarea CCT, o variabilă *cct_var* este transmisă driverului într-o secvență specifică. Pentru cele 9 CCT implicite, *cct_var* are următoarele valori: 370, 334, 286, 250, 222, 200, 176, 167 și 154. În mod similar, pentru a seta nivelul de iluminare, modulul de control transmite driverului, într-o secvență specifică, o variabilă *level_var*. Valorile acestei variabile sunt 254

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

pentru nivelul 100%, 235 pentru nivelul 60% și 204 pentru nivelul 26%. În mod similar, ceilalți parametri (ON / OFF, Fade Time etc) ai sistemului de iluminat pot fi programați.

Aceeași metodă inițială de programare a parametrilor este utilizată și în sistemul final. Se observă că relația dintre CCT și cct_var este neliniară. De exemplu, între 2700K și 3000K (variație de 300K), cct_var este între 370 și 334 (variația 36), adică o sensibilitate a comenzii de 300K/36 deci aproximativ 8K/ cct_var (o variație de 8K pentru o variație cu o unitate pentru cct_var). În ultima parte, pentru CCT între 6000K și 6500K, cct_var variază între 167 și 154, ceea ce înseamnă o sensibilitate a comenzii de 500K/13 deci aproximativ 38K/ cct_var . Cu toate acestea, pentru a stabili cct_var între două CCT predeterminate, va fi considerată o dependență liniară. Să presupunem că CCT-ul dorit este cuprins între CCT_i și CCT_{i+1} pentru care variabila cct_var este cuprinsă între cct_var_i și cct_var_{i+1} , cct_var va fi calculată cu relația (5).

$$cct_{var} = cct_{var_i} - \frac{(cct - cct_i)}{cct_{i+1} - cct_i} \cdot (cct_{var_i} - cct_{var_{i+1}}) \quad (5)$$

De exemplu, pentru $CCT = 2900K$, care este în intervalul 2700K până la 3000K, se obține $cct_var = 346$. Valoarea optimă pentru cct_var va fi calculată în faza de control pe baza valorilor RGBC măsurate de senzorul RGBC.

4.2.2. Măsurarea CCT

Valorile pentru CCT și iluminare sunt determinate pe baza valorilor RGBC obținute de la senzorul RGBC, în cazul nostru TCS34725. În documentația senzorului [5] relațiile (6), (7) și (8) sunt prevăzute pentru calcularea Lux (lux) și a CCT (K) ale sistemului de iluminat.

$$Lux(lux) = (0.136 \cdot R_{comp} + 1.000 \cdot G_{comp} - 0.444 \cdot B_{comp}) / CPL \quad (6)$$

$$CPL = (AGAIN_x \cdot ATIME_{ms}) / (310 \cdot GA) \quad (7)$$

$$CPL = (AGAIN_x \cdot ATIME_{ms}) / (310 \cdot GA) \quad (8)$$

În aceste relații $AGAIN_x$ este câștigul senzorului, $ATIME_{ms}$ este timpul de integrare, iar GA (Glass Attenuation Factor) este considerat 1 dacă măsurarea este în aer. Valorile de compensare ale componentelor RGB sunt $R_{comp} = R - IR$, $G_{comp} = G - IR$, $B_{comp} = B - IR$. $IR = (R + G + B - C) / 2$ dacă $R + G + B > C$, altfel $IR = 0$, IR fiind componenta infraroșie utilizată pentru compensare.

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

4.2.3. Influența distanței dintre senzor și sursa de lumină

Precizia măsurătorilor depinde într-un mod semnificativ de geometria sistemului. Prin urmare, este important să se găsească cea mai bună poziție a senzorului față de sursele de lumină (LED-uri), păstrând în același timp parametrii de luminotehnici și aspectul estetic al ansamblului aparatului de iluminat. Figura 117 prezintă prototipul aparatului de iluminat cu senzorul RGBC poziționat în fața LED, la mijlocul aparatului.

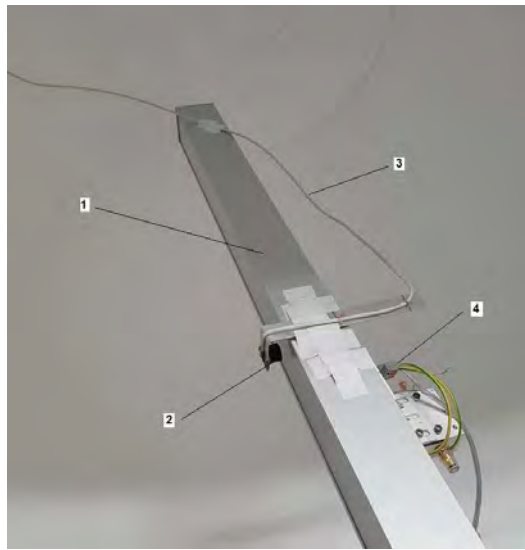


Figura 117 Sistemul testat: 1- Aparat de iluminat programabil, 2- Senzor RGBC TCS34725, 3- conexiune la microsistemul WF32, 4- sursă de alimentare și conexiuni de control DALI.

Senzorul a fost plasat în centru, în fața barei de LED-uri, inițial la o distanță de 1,5cm. Apoi distanța (perpendiculară pe centru) a fost mărită la 6cm, 11cm și 16cm. A fost utilizat un nivel de iluminare de 60%, cele 9 CCT predeterminate au fost setate pentru a măsura CCT (Figura 118), nivelul de iluminare (Figura 119) și erorile relative cu care a fost măsurată CCT (Figura 120).

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

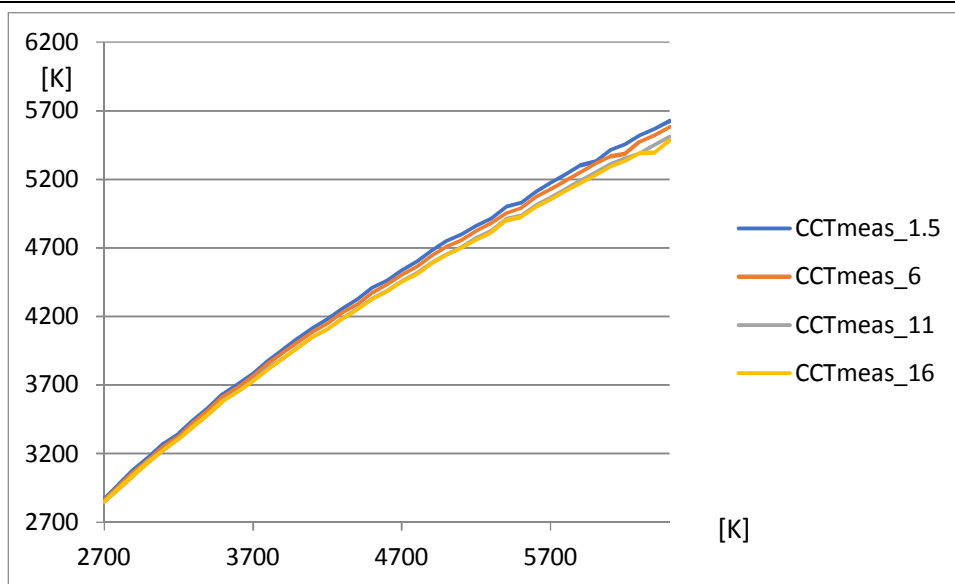


Figura 118 CCT măsurată (ordonată) față de CCT presetată (abscisă).

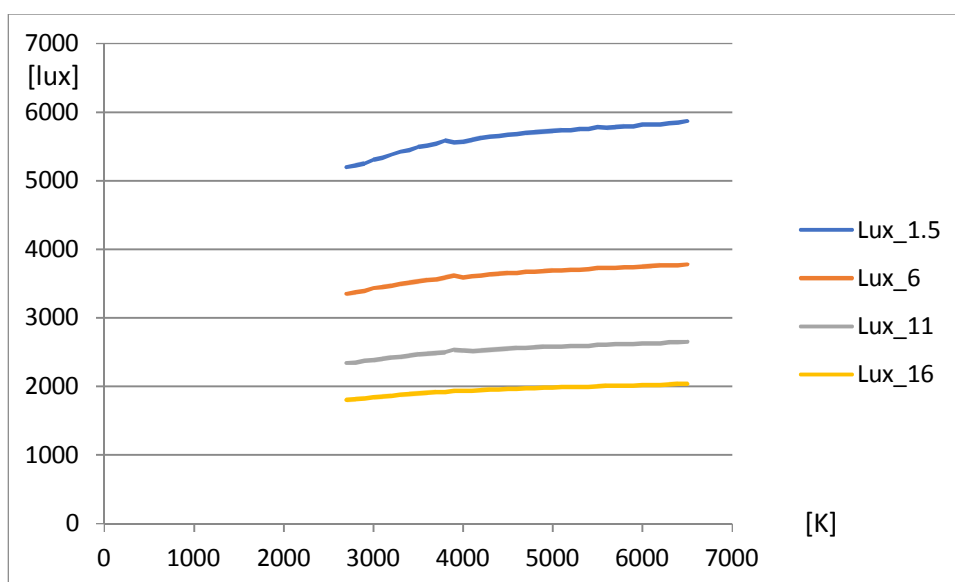


Figura 119 CCT măsurată și niveluri de iluminare pentru diverse distanțe ale senzorului față de LED

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

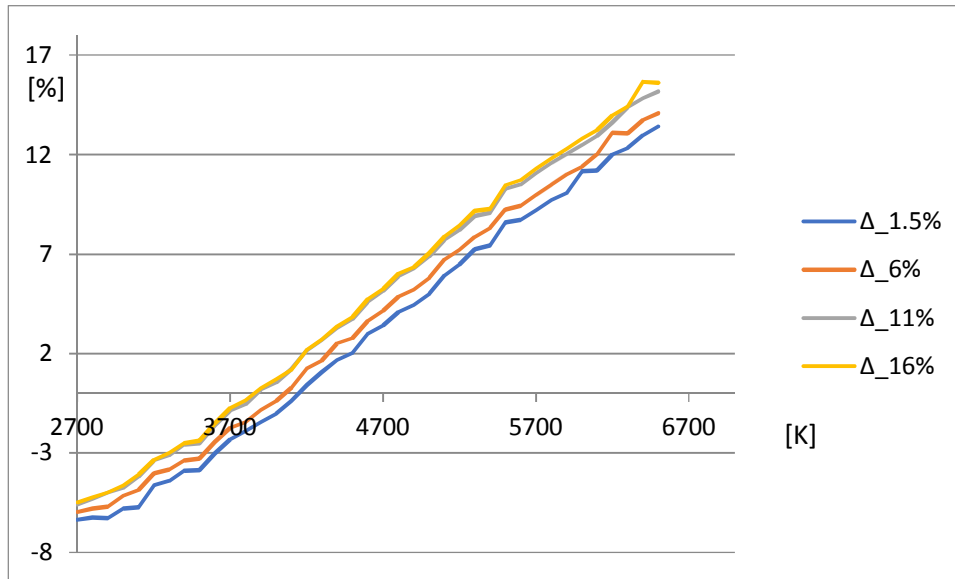


Figura 120 Erori relative ale CCT pentru diverse distanțe de montaj pentru senzor.

4.2.4. Influența nivelului de iluminare - dimmarea

Schimbarea nivelurilor de iluminare (dimmare) poate fi comandată de utilizator sau poate rezulta din interferența cu alte sisteme de iluminare. Măsurătorile CCT pentru diferite niveluri de iluminare au arătat că rezultatele pot fi influențate de iluminare. Pentru a compensa acest efect, am determinat influența iluminării asupra sistemelor noastre controlate de iluminat. Rezultatele pentru nivelurile de iluminare de 100%, 60%, 26% și 13% sunt prezentate în Figura 121, Figura 122 și Figura 123.

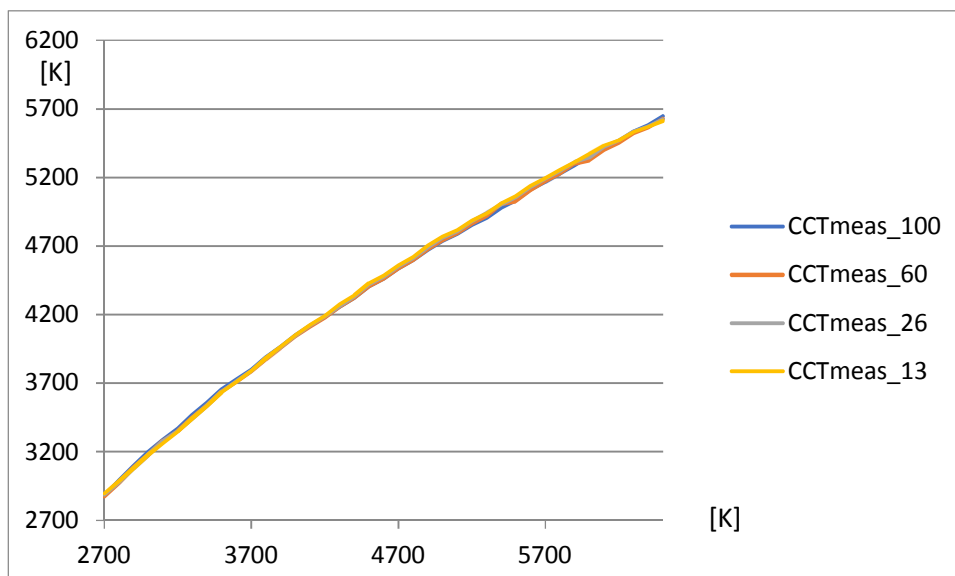


Figura 121 CCT măsurat (pe ordonată) în funcție de CCT presetat (pe ordonată) pentru patru niveluri de dimmare

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

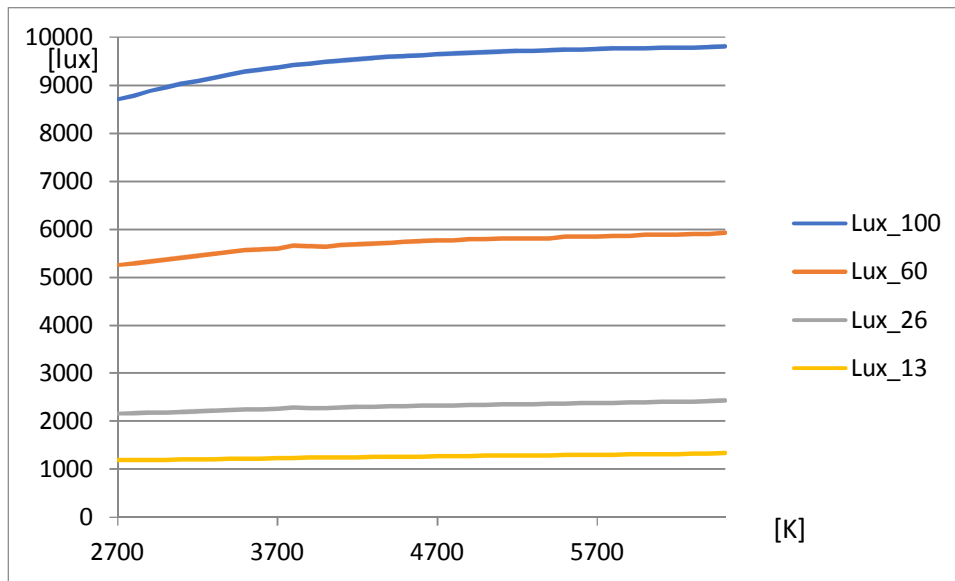


Figura 122 Testarea nivelului de dimmare pentru CCT variabil

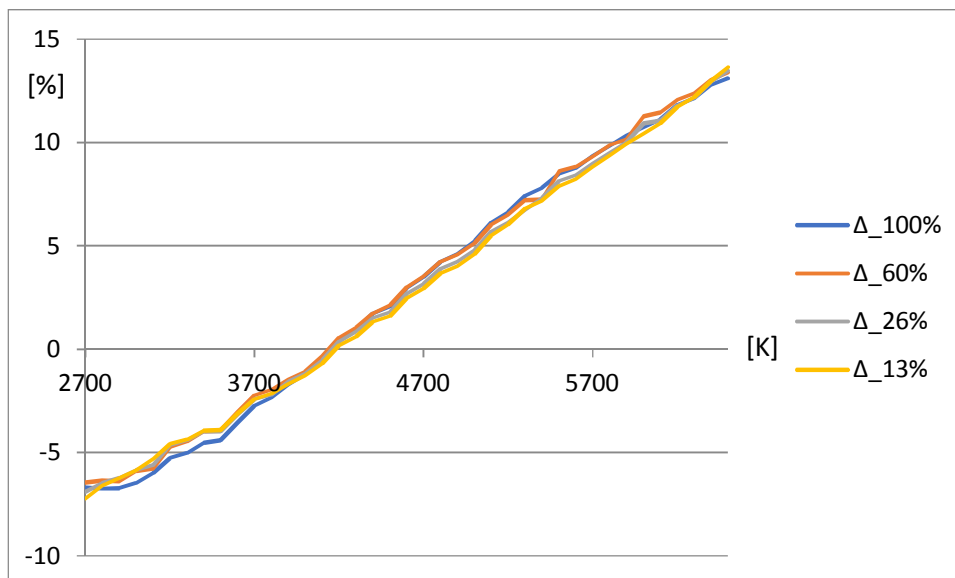


Figura 123 CCT erori relative pentru diverse niveluri de dimmare

4.2.5. Influența poziției

Găsirea celei mai bune poziții a senzorului (centrat sau în poziție diferită față de capetele aparatului de iluminat) este importantă pentru aceleași motive ca și pentru schimbarea distanței. Scopul acestor teste a fost păstrarea aceluiași parametri de iluminare, oferirea unui aspect estetic al aparatului de iluminat, reducând în același timp erorile de măsurare a CCT. Figura 124, Figura 125 și Figura 126 prezintă rezultatele pentru poziționarea senzorului la distanțe de 1,5 cm și 2 cm de capete.

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

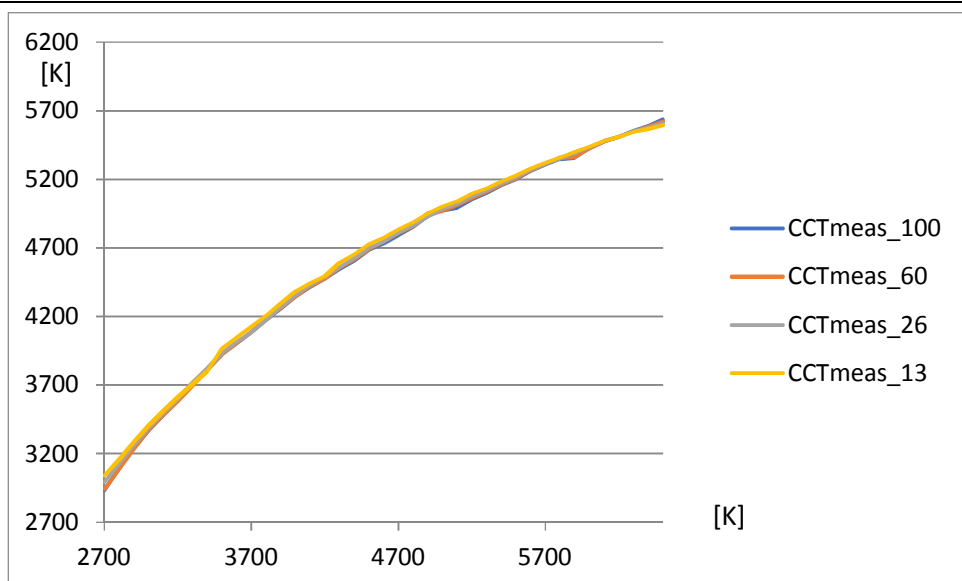


Figura 124 CCT măsurată în funcție de CCT presetată pentru patru niveluri de dimmare

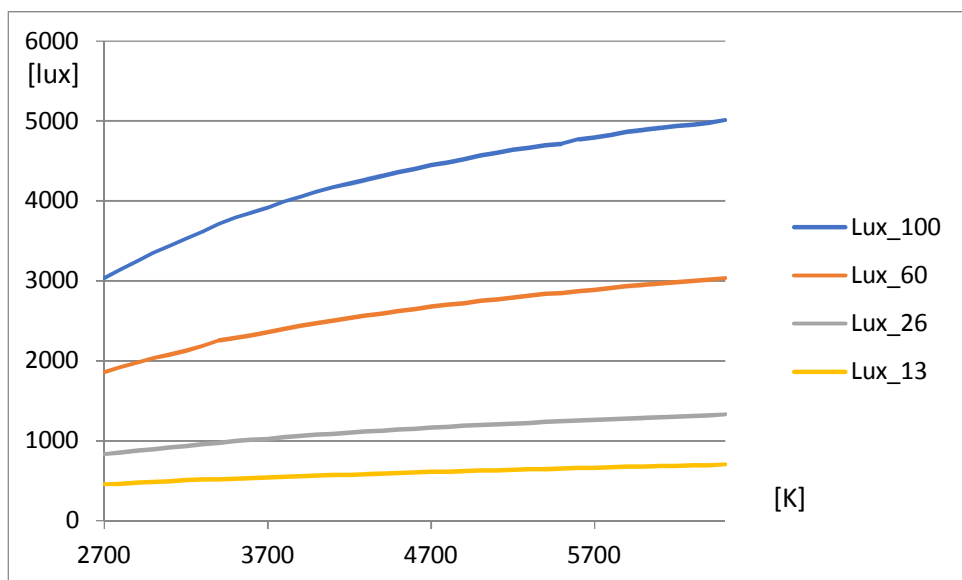


Figura 125 Iluminarea (Lux) pentru CCT variabil și patru procente de dimmare

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

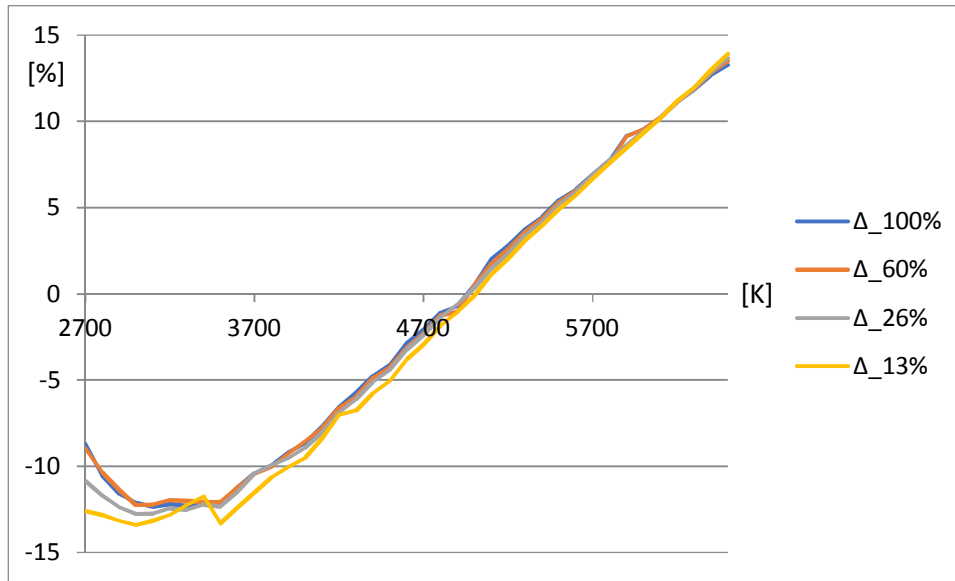


Figura 126 Erori relative la setarea CCT la plasarea laterală a sensorului.

4.2.6. Reducerea erorilor de măsurare

Pentru a reduce erorile de măsurare, calibrarea senzorului s-a făcut într-o sferă integrativă, în cele 9 CCT presetate (2700K, 3000K, 3500K, 4000K, 4500K, 5000K, 5700K, 6000K și 6500K) și 3 niveluri de iluminare de 100%, 60 % și 26%. Senzorul fiind plasat în față și în mijloc la o distanță de 1,5 cm de bara cu LED-uri. Se obțin astfel trei domenii în funcție de nivelul de iluminare și 8 subdomenii corespunzătoare calibrării obținute în fiecare domeniu. Calibrarea s-a făcut prin comparație cu CCT măsurată cu un spectrometru. După calibrare, CCT poate fi determinată cu relația (9).

$$cct(K) = CTcoef_{il} \cdot \left(\frac{B_{comp}}{R_{comp}} \right) + CToffset_{il} \quad (9)$$

$CTcoef_{il}$ și $CToffset_{il}$ sunt coeficienții obținuți la calibrare, $l = 1 \div 3$ specifică domeniul în timp ce $i = 1 \div 8$ specifică subdomeniul. Domeniile sunt selectate automat pe baza nivelului de iluminare: domeniu 1 - iluminare mai mare de 7000 lux, domeniu 2 - iluminare între 4000 și 7000 lux și domeniu 3 - iluminare mai mică de 4000 lux, respectiv.

Figura 127 prezintă eroarea obținută după calibrare.

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

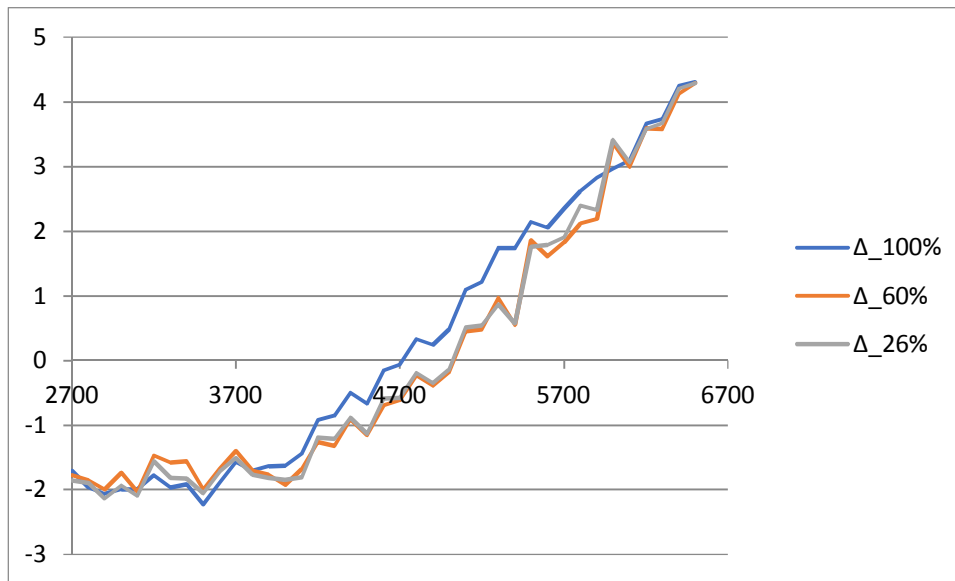


Figura 127 Eroare obținută după calibrare

Rețineți că aceste erori sunt reduse la $-2,5\%$ și $+4,5\%$, iar erorile sunt mai mari la capete datorită modului de funcționare al aparatului de iluminat.

În [6] este specificată o metodă care ajustează aceste erori în jurul valorilor de 2700K și 6500K. Figura 128 prezintă erorile relative obținute după corecție. Analizând curbele din aceste cifre arată că sistemul de control este eficient pentru toate nivelurile de iluminare, erori reglabile pentru intervalul 2900K ÷ 6300K, rămânând sub $\pm 0,7\%$. Erorile arată o creștere față de CCT, acest lucru este mai bine observat pentru valorile CCT mai mari de 4500K. Există două motive care pot explica acest comportament. O cauză este efectul luminii ambientale în care au fost efectuate măsurătorile (în funcție de poziția de funcționare viitoare a corpului de iluminat), efect care este mai important pentru CCT mai mare de 3700K. Al doilea aspect este dat de variația neliniară dintre CCT_{var} și CCT.

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

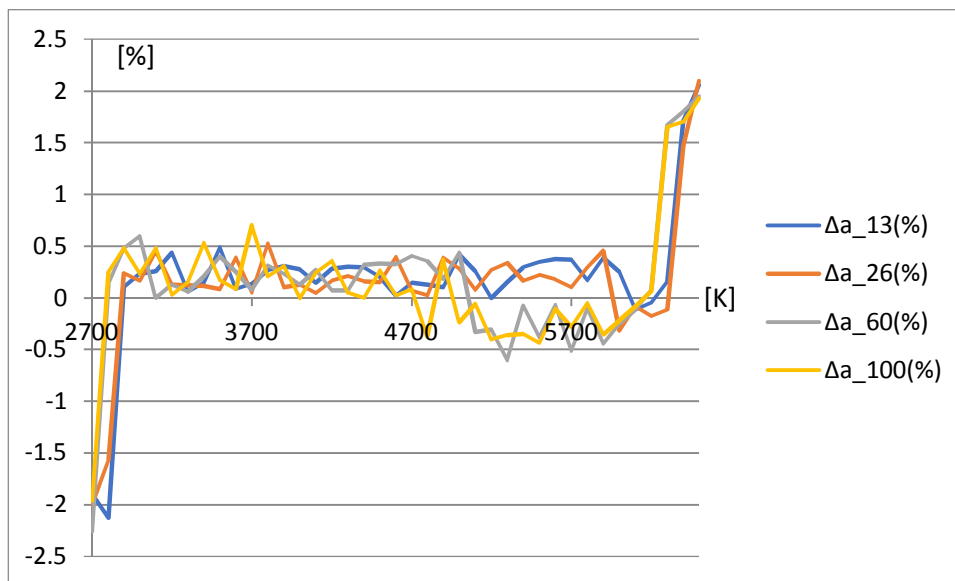


Figura 128 Erori obținute după ajustare

Aceste rezultate au fost obținute în contextul în care un producător local de corpuri de iluminat (SC GREENTEK SRL) este interesat să dezvolte astfel de aparate cu CCT variabil și dimmare.

4.2.7. Referințe

- [1] L. E. Hartstein, M. T. Durniak, R. F. Karlicek, and N. E. Berthier, “A comparison of the effects of correlated colour temperature and gender on cognitive task performance,” *Light. Res. Technol.*, vol. 50, no. 7, pp. 1057–1069, 2018.
- [2] I. Golasi, F. Salata, E. D. L. Vollaro, and A. Peña-García, “Influence of lighting colour temperature on indoor thermal perception: A strategy to save energy from the HVAC installations,” *Energy Build.*, vol. 185, pp. 112–122, 2019.
- [3] V. Shalamanov and N. Yaneva, “Color space distribution of luminaire for dynamic „tunable white” lighting at different color temperatures,” in *2018 Seventh Balkan Conference on Lighting (BalkanLight)*, 2018, pp. 1–4.
- [4] A. T. L. Lee, H. Chen, S. Tan, and S. Y. Hui, “Precise Dimming and Color Control of LED Systems Based on Color Mixing,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 31, no. 1, pp. 65–80, 2016.
- [5] ams AG, *Lux and CCT Calculations using ams Color Sensors*, Application Note DN40-Rev 1.0 – Lux and CCT, August 2013.
- [6] L. Breniuc, C.G. Haba, C.D. Gălățanu, D. Petrișor, R. Herțanu, *Correlated Color Temperature Measuring and Adjustment System*, submitted to 11th International Symposium On Advanced Topics In Electrical Engineering, March 28-30, 2019, Bucharest, Romania.

4.3. Dispozitiv portabil pentru măsurarea expunerii la iluminatul artificial

4.3.1. Descrierea sistemului

Ipoteza de lucru pleacă de la observația că activitățile desfășurate la interior, la un nivel ridicat al iluminării și surse de lumină cu CCT foarte diferit poate avea un impact asupra ciclului circadian, cu efect indirect asupra secreției de melatonină, care poate fi inhibată.

Proiectul EXPILART abordează aceste provocări propunând o nouă abordare care se bazează pe integrarea mai multor componente într-un dispozitiv portabil și o metodologie de măsurare bazată pe un concept „caracterizează și identifică”.

Metodologia de măsurare va consta într-un proces în doi pași, cu scopul de a reduce cantitatea de date care trebuie achiziționate și transferate de dispozitivul portabil. Acest lucru are ca rezultat un consum redus de energie și o complexitate mai mică a sursei de tensiune.

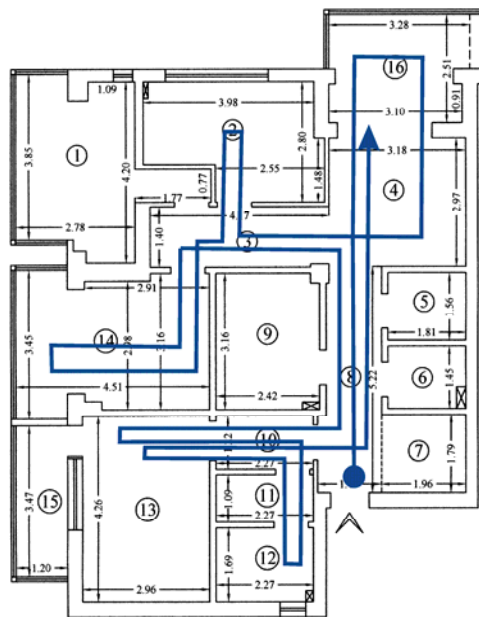


Figura 129 Calea obișnuită a unui asistent medical în clinica medicală



Figura 130 Amplasarea dispozitivului EDEV propus de proiectul EXPILART

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

Se consideră locul de muncă din Figura 129 corespunzător unei mici clinici medicale. Are mai multe încăperi care, de obicei, pot avea diferite sisteme de iluminare în funcție de procedurile efectuate în acele camere (de exemplu, examinarea pacientului – 500 lx, lumină caldă; interpretarea radiografiilor / tomografiilor – 25 lx, lumină rece; cameră obscură - lumină roșie etc.). Într-o zi lucrătoare, un medic sau un asistent va trece sau va sta de multe ori în camere diferite cu iluminare diferită, urmând căi similare cu cele descrise în Figura 129 a).

În primul pas al metodologiei, caracteristicile de iluminare (distribuție spectrală a puterii, componente UV, IR și lumină albastră, pâlpare) ale mediului de lucru (pentru fiecare cameră) vor fi determinate de un set de măsurători cu precizie ridicată efectuate cu aparate de laborator (spectrometre și analizoare de flicker). EDEV va avea un minim de senzori cu care va determina „semnătura” fiecărei încăperi (nivel de iluminare mediu, un răspuns RGB cu care se poate calcula Correlated Color Temperature CCT, eventual ponderea flickerului. Aceste măsurători vor fi folosite în mod relativ, „semnătura” fiecărei încăperi fiind asociată cu măsurătorile de precizie efectuate la instalarea sistemului. Semnătura fiecărei zone va fi folosită și pentru a sesiza modificări ale spațiului luminos interior, moment în care se vor relua măsurătorile de precizie, pe baza aparaturii de laborator. În acest mod se rezolvă problema costului redus al dispozitivului, care nu poate îngloba senzori sofisticăți și scumpi și nici nu va fi nevoie de o calibrare dedicată.

În al doilea pas, angajații vor purta EDEV propus (vezi Figura 130) pentru perioade lungi de timp, înregistrând caracteristicile luminii pe măsură ce se deplasează în limitele mediului de lucru (de exemplu, clinica medicală). Măsurătorile efectuate de EDEV vor fi suficient de precise pentru a identifica locația în locul de lucru (încăperea) și, astfel, lumina la care au fost expuse (ale căror caracteristici au fost determinate în primul pas).

Datele achiziționate vor fi transferate printr-o legătură de comunicație fără fir către o aplicație cloud pentru a fi stocate, procesate și afișate într-un mod relevant pentru fiecare tip specific de aplicație.

Dispozitivul și metodologia propuse pot fi aplicate și altor medii de lucru, ceea ce implică prezența angajaților în diferite medii de cu iluminat artificial pentru o perioadă de timp prelungită. Cazurile de utilizare imediată includ angajații care trec prin diferite hale de producție dintr-o companie producătoare, personalul medical din spitale, clienții sau personalul de curățenie din mall-uri etc.

EDEV-urile pot fi utilizate și în aplicații pentru o evaluare inițială a expunerii la iluminatul artificial. Aceasta poate include cazul expunerii șoferilor la farurile altor mașini sau la luminile

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

stradale, la expunerea oamenilor la iluminarea dinamică în timpul concertelor sau la spectacole artistice cu lumini de scenă excesive, persoane asistate medical etc.

Se așteaptă ca odată cu progresele continue ale tehnologiei legate de senzorii de lumină, bateriile, microcontrolerele de consum redus și modulele de comunicații și implicarea aplicațiilor software emergente bazate pe cloud computing, big data și inteligență artificială, primul pas al metodologiei să fie implementat la o scară largă.

4.3.2. Metodologie

Proiectul EXPILART își propune să creeze un dispozitiv portabil pentru măsurarea expunerii umane la lumina artificială. Dispozitivul va fi utilizat în următoarele scopuri:

- înregistrarea expunerii la iluminatul artificial a personalului a cărui activitate implică trecerea mai multor spații de lucru care au iluminare diferită. Aceasta poate însemna sisteme diferite (incandescentă / descărcare de gaz / LED-uri) sau sisteme cu caracteristici diferite ale surselor de iluminat (corpuri de iluminat cu LED-uri care au temperatură de culoare sau intensitate luminoasă diferită);
- înregistrarea expunerii la iluminatul artificial a personalului care lucrează în locuri cu iluminare dinamică
- caracterizarea locurilor de lucru prin înregistrarea parametrilor de iluminare pe o perioadă de timp.

Este dezvoltată o metodologie în doi pași care se bazează pe dispozitivul implementat și utilizând instrumente de măsurare de precizie sporită pentru caracterizarea mediului.

În această lucrare prezentăm descrierea unui prototip inițial al EDEV și testele inițiale care au ca scop determinarea uzabilității, ușor de utilizat și consumul de energie.

4.3.3. Hardware

Partea de bază a sistemului EXPILART va fi dezvoltată ca un sistem încorporat bazat pe un microcontroler de consum redus. Prototipul va fi construit prin plasarea modului cu microcontroler, a modulelor de comunicație, a senzorilor de lumină, precum și a altor periferice (cititor de card SD, afișaj) pe o singură placă PCB.

Pentru faza de dezvoltare, a fost folosit Thunderboard EFR32BG22 de la Silicon Labs pe baza unor caracteristici optime pentru această aplicație.

Principalele caracteristici ale plăcii de dezvoltare utilizate pentru prototip sunt:

- EFR32 Wireless Gecko System-on-Chip

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

- (EFR32BG22C224F512IM40)
- ARM® Cortex®-M33 pe 32 de biți cu o frecvență maximă de operare de 76,8 MHz
- Memorie EEPROM de 512 kB și 32 kB de RAM
- Modul radio eficient din punct de vedere energetic, necesitând curenți activi și de așteptare reduși, ceea ce îl face potrivit pentru aplicații cu putere redusă
- Antena cu cip ceramic de 2,4 GHz
- Controlul puterii perifericelor pentru funcționare cu putere redusă
- mai mulți senzori, cum ar fi: senzor de umiditate relativă și temperatură, indice UV și senzor de lumină ambientală, senzor de efect Hall, senzor inerțial pe 6 axe
- Memorie de 8 Mbit pentru programarea OTA și înregistrarea datelor
- LED utilizator și buton

Schema bloc a plăcii de dezvoltare folosită pentru prototipul EDEV este dată în Figura 131:

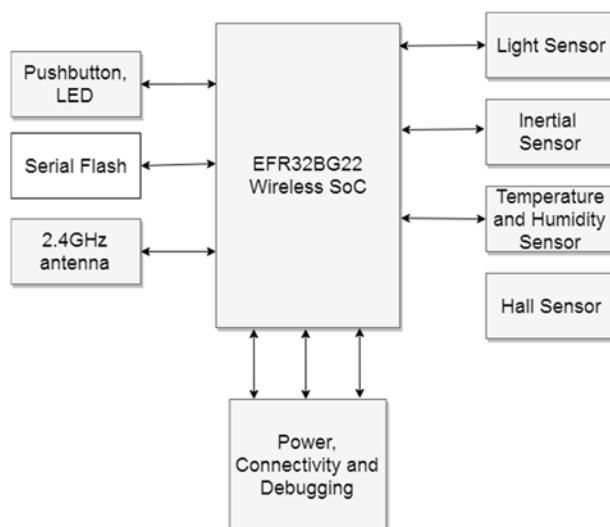


Figura 131 Schema bloc a plăcii de prototipare

4.3.4. Software

Complexitatea sistemului propus necesită instrumente de proiectare adecvate, care au o evoluție foarte rapidă, ceea ce face ca versiunea mai veche să devină depășită într-un timp foarte scurt.

Pentru a citi datele mediului luminos și a le afișa convenabil, a fost creată o aplicație care poate rula pe un dispozitiv Android (smartphone, tabletă). Interacțiunea dintre utilizator și EDEV implică parcurgerea mai multor pași, în funcție de starea în care se află aplicația.

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

Pentru ca platforma să funcționeze, senzorul de lumină trebuie configurat și datele trebuie citite și trimise către aplicația mobilă. Comunicarea dintre EDEV și dispozitivul care rulează aplicația utilizează protocolul Bluetooth Low Energy.

După începerea aplicației, trebuie să ne conectăm la EDEV. Apoi, senzorul este citit la intervale egale și valorile se trimit la aplicația mobilă.

În faza de testare, EDEV va fi orientat în direcții diferite pentru a identifica diferite surse de lumină. Disponibilitatea senzorului inercial oferă posibilitatea de a înregistra și orientarea EDEV, oferind astfel posibilitatea de a localiza aproximativ sursele de lumină.

Diagrama logică a programului care efectuează acești pași este dată în figura următoare:

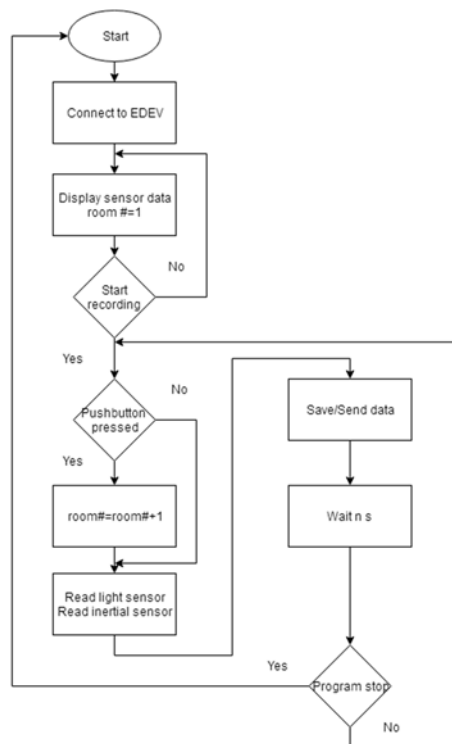


Figura 132 Diagrama logică a aplicației

4.3.5. Resultate și discuții

De-a lungul anilor, au fost luate în considerare multe efecte ale luminii și au fost puse în aplicare metodologii de măsurare asociate. Calitatea luminii este un factor important nu numai pentru performanță și confort, ci și legat de sănătate, deoarece poate afecta vigilența, starea de bine și calitatea somnului. Au fost propuse mai multe mărimi pentru aspectele variabile ale calității iluminatului, cele mai importante fiind nivelul de iluminare, distribuția spațială, orbirea, distribuția spectrală a puterii, lumina naturală, dinamica nivelului de iluminare(Kruisselbrink, Dango1 și Rosemann, 2018).

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

Comisia Europeană a recunoscut efectele iluminatului artificial (GreenFacts, 2012) și monitorizează continuu evoluția tehnologiei de iluminat nu numai din punct de vedere al reducerii consumului de energie, ci și din punctul de vedere al efectelor acestora asupra sănătății umane - a se vedea politica al Comisiei Europene pentru Iluminarea Viitorului ca parte a strategiei pentru piața unică digitală (Comisia Europeană, 2018).

Avantajul utilizării dispozitivelor portabile pentru măsurarea diferiților parametri de mediu în general și a celor care se referă în special la microclimat, a fost demonstrat de ceva timp (Aarts, van Duijnhoven, Aries și Rosemann, 2017 și 2015). Soluțiile propuse de acești cercetători au fost dezvoltate pentru abordarea problemelor specifice.

După cum a declarat Comisia Internațională pentru Iluminat (CIE), există o provocare de a defini și utiliza cantitățile corecte pentru iluminat, având în vedere diferitele sale efecte legate de sănătate. CIE identifică, de asemenea, necesitatea unor cercetări suplimentare care să îmbunătățească instrumentarea și calibrarea și dezvoltarea de metode mai bune de măsurare pe teren (CIE, 2014). Aceste afirmații sunt, de asemenea, întărite de recenziile recente ale literaturii în domeniu (Aarts, van Duijnhoven, Aries și Rosemann, 2017) (Kruisselbrink, Dangol și Rosemann, 2018), (Chen, și colab., 2019).

Sistemele de iluminat sunt componente importante ale orașelor inteligente emergente. Fie că este vorba despre iluminatul exterior sau interior, noile tehnologii bazate pe dispozitive SSD pentru aparatele de iluminat susțin conceptul de iluminare inteligentă, deoarece oferă nu numai un spectru larg de radiații luminoase, ci și o flexibilitate ridicată în control și reducere a consumul de energie.

Noutatea abordării noastre este dezvoltarea unui dispozitiv portabil și a unei metodologii pentru măsurarea și înregistrarea caracteristicilor luminii într-o gamă largă a spectrului, inclusiv lumina vizibilă, UV, IR și albastră într-un mod simplu și rapid.

Instrumentele precise pentru măsurarea parametrilor luminotehnici sunt mari și consumă mai multă energie, prin urmare sunt destinați laboratorului. Dispozitivele portabile pot fi făcute pentru un consum foarte mic, dar cu sacrificarea rezonabilă a preciziei. Metodologia propusă profită de ambele alternative, realizând o caracterizare inițială completă și precisă a mediului de lucru și apoi utilizând EDEV pentru identificarea parcursului la locul de muncă și înregistrarea parametrilor luminotehnici și integrarea lor în timp.

Evaluarea expunerii umane la lumina artificială utilizând EDEV și metodologia propusă implică generarea, prelucrarea, transmiterea, stocarea și manipularea datelor. Acestea sunt posibile

Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri folosind procesarea imaginilor

folosind tehnologiile informaționale care vor fi încorporate în software-ul EDEV și în aplicația cloud.

4.3.6. Referințe

- [1] Aarts, M., van Duijnhoven, J., Aries, M., & Rosemann, A. (2017). Performance of personally worn dosimeters to study non-image forming effects of light: Assessment methods. *Building and Environment* , 117, 60-72.
- [2] Aisling, I. (2018). The dark side of light: how artificial lighting is harming the natural world. *Nature* (553), 268-270.
- [3] Are LED Lights Safe? Are They Harmful to Your Health? (s.d.). Récupéré sur Waveformlight: <https://www.waveformlighting.com/human-centric/are-led-lights-safe-are-they-harmful-to-your-health>
- [4] Bergland Christopher. (2016). Too Much Artificial Light Exposure Can Make You Sick. Récupéré sur Psychology Today: <https://www.psychologytoday.com/us/blog/the-athletes-way/201607/too-much-artificial-light-exposure-can-make-you-sick>
- [5] Breniuc, L., & Haba, C.-G. (2013). A development system for the sunshine duration estimation. *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, Sectia III (Electrotehnica, Energetica, Electronica)* , 59 (4), 79-91.
- [6] Breniuc, L., & Haba, C.-G. (2013). GPS and GSM System for the Development of Car Tracking Application. *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, Sectia III (Electrotehnica, Energetica, Electronica)* , 59 (3), 71-81.
- [7] Breniuc L., C.G.Haba, V.David, Wireless Network for the Development of Measurement Applications Based on ZigBee Protocol, *Bul.Inst.Polit.Iasi, Vol. LVI (LX), f.1, 2010*, pp. 41-54.
- [8] Breniuc, L., Haba, C.G., Embedded system for increasing home comfort and security, 2014 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), 16-18 October 2014, Iasi, Romania, 2014, pp. 881-886.
- [9] Breniuc, L., David, V., & Haba, C.-G. (2014). Wearable impedance analyzer based on AD5933. 2014 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE). Gheorghe Asachi Technical University, Faculty of Electrical Engineering, Dept. of Electrical Engineering, Iasi, Romania, 87271: IEEE.
- [10] Breniuc, L., Haba, C., Gălățanu, C., Petrișor, D., & Herțanu, R. (2019). Correlated Color Temperature Measuring and Adjustment System. 2019 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), (pp. 1-6).
- [11] Chen, Q., Ru, T., Zhai, D., Huang, X., Li, Y., Qian, L., et al. (2019, 6 27). Half a century of Lighting Research & Technology: A bibliometric review. *Lighting Research & Technology* , 1477153519857788.
- [12] Cho, Y., Ryu, S.-H., Lee, B., Kim, K., Lee, E., & Choi, J. (2015). Effects of artificial light at night on human health: A literature review of observational and experimental studies applied to exposure assessment. *Chronobiology International* , 32 (9), 1294-1310.
- [13] CIE. (2014). Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters ISO/CIE, ISO/CIE 19476. CIE, Vienna, Austria.
- [14] European Commission. (2018). Lighting the Future. Récupéré sur <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/lighting-future>
- [15] Fischer, A. (2019). Top Ten Trends in Light Technologies, 2019. Récupéré sur Novus Light: https://www.novuslight.com/top-ten-trends-in-light-technologies-2019_N8826.html
- [16] Garcia Ariadna. (2019). Potential Risks to Human Health of LED Lighting - Health is Global Blog - ISGLOBAL. Récupéré sur <https://www.isglobal.org/en/healthisglobal/-/custom-blog-portal/possibles-riscos-de-la-il-luminacio-led-per-la-salut-humana/6113877/0>
- [17] Gălățanu, C., Haba, C., Petrișor, D., & Breniuc, L. (2019). Imaging Measurements for Public Lighting Predictive Maintenance. 2019 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), (pp. 1-5).

**Măsurători ale temperaturii de culoare a surselor de lumină cu LED-uri
folosind procesarea imaginilor**

- [18] Gooley, J., Rajaratnam, S., Brainard, G., Kronauer, R., Czeisler, C., & Lockley, S. (2010). Spectral Responses of the Human Circadian System Depend on the Irradiance and Duration of Exposure to Light. *Science Translational Medicine* , 2 (31), 31ra33.
- [19] GreenFacts. (2012). Health Effects of Artificial Light. DG Health and Consumers of the European Commission.
- [20] Haba, C., Breniuc, L., Gălăţanu, C., Petrişor, D., & Herţanu, R. (2019). IoT System for Implementation of Connected Lighting. 2019 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), (pp. 1-5).
- [21] Haba, C.-G., & Breniuc, L. (2015). Monitoring system based on ADM1191 device. *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, Sectia III (Electrotehnica, Energetica, Electronica)* , 61 (4), 19-31.
- [22] Haba, C.-G., Breniuc, L., & David, V. (2017). Chapter 9 - Developing Embedded Platforms for Ambient Assisted Living. Dans C.-G. Haba, L. Breniuc, V. David, C. Dobre, C. Mavromoustakis, N. Garcia, R. Goleva, & G. Mastorakis (Eds.), *Ambient Assisted Living and Enhanced Living Environments* (pp. 211-246). Butterworth-Heinemann.
- [23] Haba, C.-G., Breniuc, L., Canale, L., & Gălăţanu, C.-D. (2019). Study on the Influence of Various Factors on Measurement of CCT for a Controlled Lighting System. 2019 Annual Meeting IEEE Industry Applications Society . Baltimore.
- [24] Haba, C.-G., Gălăţanu, C.-D., & Breniuc, L. (2019). Reduction of Energy Consumption for Architectural Lighting Systems. 2019 international Conference and Exhibition on Electromechanical and Energy Systems . Chisinau.
- [25] Kruisselbrink, T., Dangol, R., & Rosemann, A. (2018). Photometric measurements of lighting quality: An overview. *Building and Environment* , 138, 42-52.
- [26] Markvart, J., Hansen, Å., & Christoffersen, J. (2015). Comparison and Correction of the Light Sensor Output from 48 Wearable Light Exposure Devices by Using a Side-by-Side Field Calibration Method. *LEUKOS* , 11 (3), 155-171.
- [27] Scutti Susan (2019). LED lights damage eyes and disturb sleep, European health authority warns. Récupéré sur CNN Health: <https://edition.cnn.com/2019/05/16/health/blue-light-led-health-effects-bn-trnd/index.html>
- [28] Ticleanu Cosmin, & Littlefair Paul. (2015). A summary of LED lighting impacts on health. *International Journal of Sustainable Lighting* , 17 (3-4).

5. Măsurători imagistice pentru iluminatul stradal

5.1. Evaluarea parametrilor zonei de conflict

Zona de conflict este reprezentată de intersecții, iar specificul mediului luminos este dat de faptul că este dificil să fie repectate condițiile de măsurare din SR EN 13201, unde observatorul trebuie să fie situat la 60 de metri de punctul vizat. Într-o intersecție este necesar să existe vizibilitate nu numai pe direcția de mers „înainte”, ci și pe toate direcțiile posibile în intersecție.

5.1.1. Calculul parametrilor luminotehnici

Nivelul de iluminare și luminanța sunt cei doi parametri principali care pot fi măsurați pentru a determina calitatea mediului luminos pe o anumită zonă de circulație rutieră.

Iluminarea este lumina incidentă pe o suprafață și este definită ca un raport al fluxului luminos al lămpii $d\phi$ peste aria de calcul dA_D .

$$E_v = \frac{\partial \phi_v}{\partial A_D} [\text{lx}] \quad (1)$$

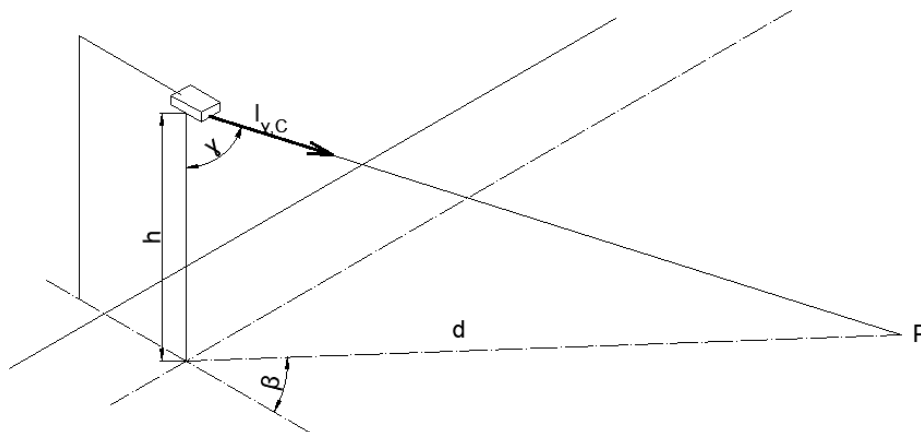


Figura 133 Axele de rotație în sistemul de coordonate cartezian

Terminologie:

E_h – iluminare orizontală într-un punct [lx];

$I(C, \gamma)$ – tabel de intensitate luminoasă în sistem C, γ [cd];

γ – unghiul fotometric de elevație, pentru suprafețe orizontale [°];

Φ – fluxul luminos inițial total al lămpii [lm];

f_M – factorul general de întreținere;

H – înălțimea de montare a corpului de iluminat [m];

r – coeficient de luminanță redus [sr^{-1}].

Iluminarea orizontală într-un punct dat de o lampă poate fi calculată folosind formula:

$$E_h = \frac{I(C, \gamma) \times \cos^3 \gamma \times \Phi \times f_M}{H^2} \quad (2)$$

Valoarea totală poate fi calculată prin însumarea iluminării generate de fiecare lampă în fiecare punct particular.

Când se ia în calcul calculul luminanței, nu este la fel de simplu. Luminanța ia în considerare lumina reflectată de un obiect și percepută de observatorul uman. Luminanța este definită ca fluxul luminos emis de la o suprafață, într-un unghi solid unitar, având în vedere aria aparentă a suprafeței emitente.

$$L_v = \frac{\partial^2 \Phi_v}{\partial \Omega \partial A_S \cos v} [cd \cdot m^2] \quad (3)$$

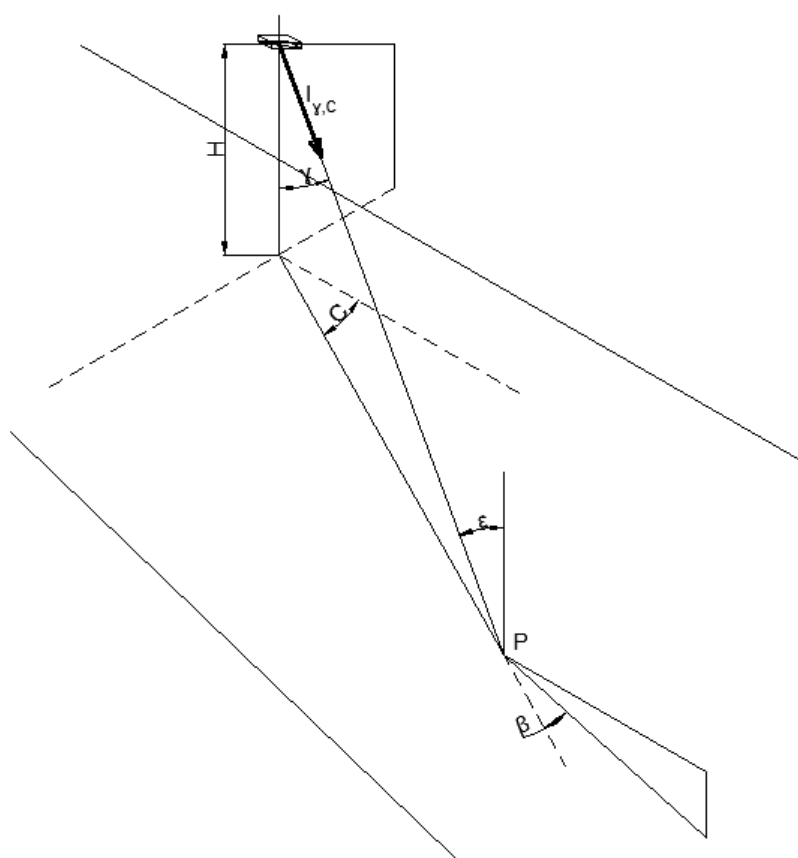


Figura 134 Notațiile unghiurilor care descriu raza incidentă care produce luminanța căii de rulare, relativ la corpul de iluminat, observator și punctul de calcul

Pe baza parametrilor din Figura 134 se poate calcula luminanța într-un punct dat de un anumit corp de iluminat:

$$L = \frac{I(C, \gamma) \times r \times \Phi \times M_f \times 10^{-4}}{H^2} \quad (4)$$

În ceea ce privește luminanța, valoarea acesteia într-un punct este suma valorilor calculate pentru fiecare corp de iluminat.

Principala diferență între Iluminare și Luminanță este că se ia în considerare un parametru suplimentar r , coeficient de luminanță redus, disponibil pentru intervale și direcții unghiulare. Aceste valori depind de unghiurile β și ε date în Figura 134 [19], pentru fiecare tip de asfalt.

Atunci când nu se poate măsura/calcula luminanța, așa cum este cazul intersecțiilor, se admite utilizarea iluminării.

În [13], Tabelul 2 există o echivalență între clasele de drum (clasele de iluminat M și C cu un nivel de iluminare comparabil pentru diferite valori ale Q_0 pentru suprafața drumului) și unde se observă ponderea mare a stării asfaltului. Acest parametru poate „transfera” un drum de la o clasă la alta. Acesta ar putea fi un punct forte al utilizării dimming-ului ca soluție de adaptare la condițiile de asfalt, ceea ce ar putea spori eficiența sistemului de iluminat și eficiența energetică a întregii instalații.

5.1.2. Studiul de caz: Calculul intersecției Bucșinescu

În acest studiu de caz, se prezintă o comparație între măsurătorile efectuate cu o cameră foto într-o intersecție reală din Iași, în zona Bucșinescu și valorile calculate folosind software-ul Dialux 4.13. Un studiu similar a fost făcut pentru trecerile de pietoni [12].

Pentru o mai bună înțelegere a intersecției studiate, o imagine a zonei privită din punctul de măsurare este prezentată în Figura 135, iar o imagine de ansamblu pe un plan topografic este evidențiată în Figura 136.

Doar uitându-ne la Figura 135, se poate vedea că zona de conflict nu este iluminată corect și că în centrul intersecției există unele zone care sunt puțin în umbră.

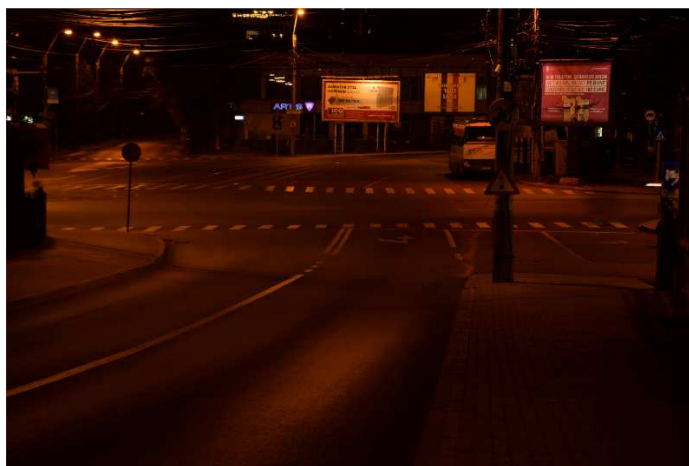


Figura 135 Intersecția Bucșinescu – vedere de ansamblu

Figura 136 evidențiază punctul în care se efectuează măsurarea care are aceeași locație ca cea din vizualizarea din Figura 135.

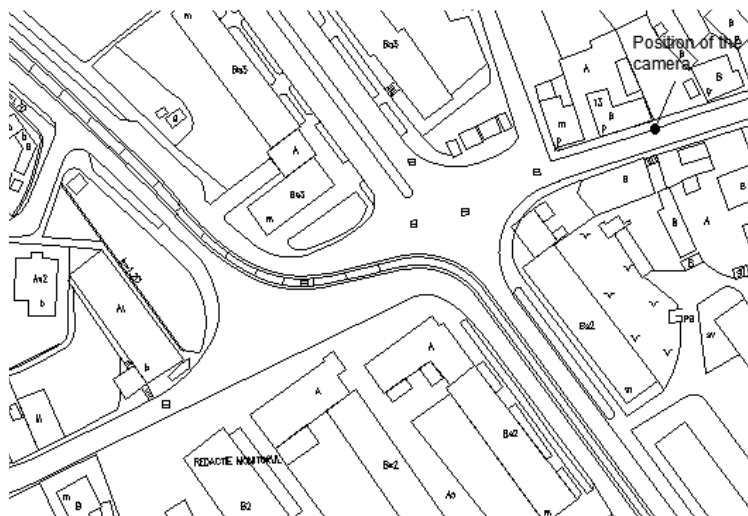


Figura 136 Intersecția Bucșinescu - imagine de ansamblu

Primul pas al studiului de caz este calculul DIALux care va fi comparat cu măsurătoarea de pe teren. Autorul a folosit planul topografic ca bază pentru calculul DIALux și a realizat o grilă de calcul a suprafeței intersecției. Corpurile de iluminat utilizate în calcul sunt PHILIPS SGP340 FG 1xSON-TTP150W TP P1 [16]. Factorul de întreținere luat în considerare pentru acest studiu particular este 0,53 (sistem vechi, neîntreținut).

Se poate vedea în Figura 137, că aranjamentul este destul de simetric. Un detaliu foarte important atunci se realizează un calcul de intersecție este că, pentru a obține uniformitatea, trebuie întotdeauna să fie introdus în calcul și primul stâlp din afara grilei de calcul, pentru că altfel s-ar putea să existe zone cu iluminare slabă.

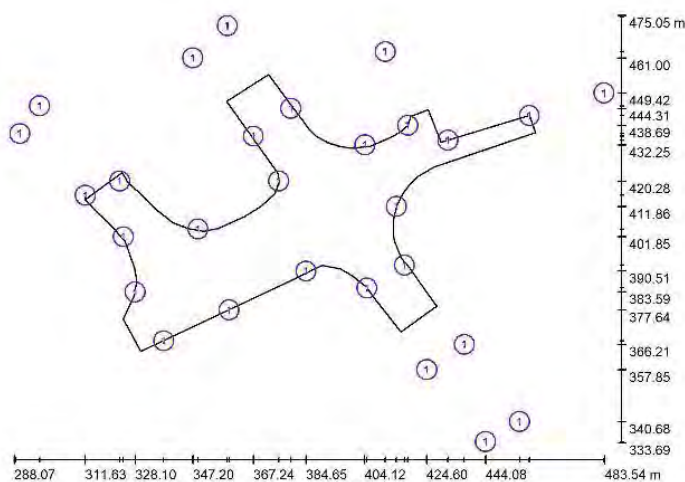


Figura 137 Intersecție Bucșinescu: poziția corpurilor de iluminat

În Figura 138 și Figura 139 este disponibilă o prezentare generală a rezultatelor. Se poate observa că distribuția iluminării este destul de bună, foarte apropiată de valorile recomandate în [2], dar valorile iluminării medii E_{mediu} sunt mult mai mici decât valorile recomandate. Având în vedere importanța intersecției, respectiv clasă de zonă de conflict C1 care are o recomandare minimă pentru iluminarea menținută de 30 lx și o valoare pentru uniformitatea minimă de 0,4. Pentru o mai bună înțelegere a rezultatelor, în Tabelul 11 există o centralizare, atât pentru valorile de iluminare, cât și pentru cele de luminanță. Primul lucru care se observă este că uniformitatea este foarte apropiată de valoarea $u0$ din [2] și că toate valorile luminanței sunt mai mari. Aceasta înseamnă că intersecția a fost probabil proiectată corect.

Tabel 11 Centralizarea valorilor calculate

L_{mediu} [cd/m ²]	L_{min} [cd/m ²]	L_{max} [cd/m ²]	E_{mediu} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$u0$
1.27	0.49	2.01	13	5.18	21	0.389

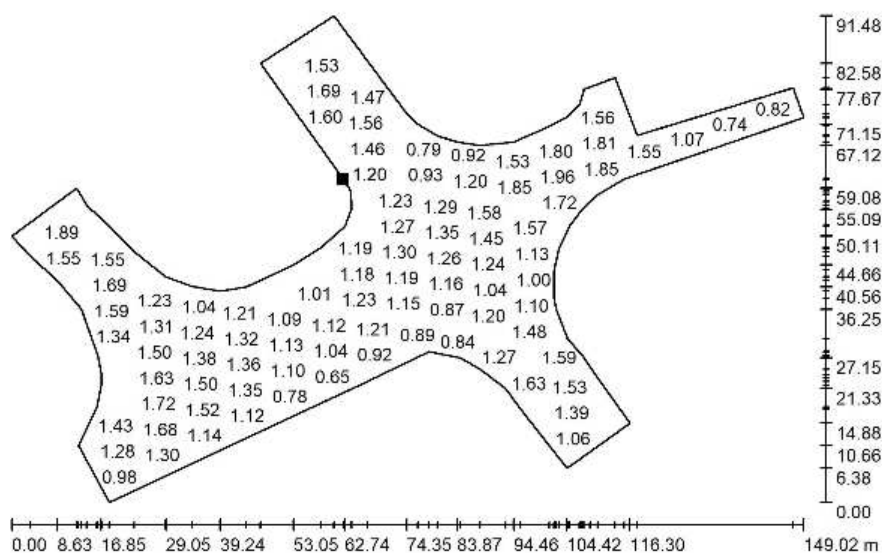


Figura 138 Rezultatele valorice pentru luminanță ale intersecției Bucșinescu

Figura 139 prezintă vizualizarea în culori false pentru care autorul a folosit culori similare și unghi de vizualizare similar ca în Figura 140, astfel încât comparația este foarte sugestivă.

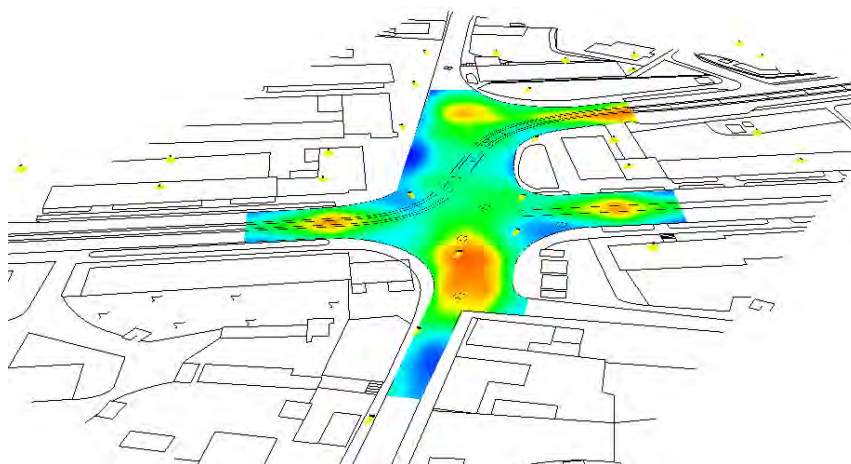


Figura 139 Intersecția Bucșinescu – rezultate redată în culori false

Al doilea pas al studiului au fost măsurătorile pe teren folosind o cameră digitală. O imagine de ansamblu a măsurătorii la o rezoluție înaltă este prezentată în Figura 140. Chiar și la rezoluția înaltă, în Figura 140 se poate observa că rezultatele măsurării sunt foarte similare cu cele din calculul realizat cu software-ul Dialux 4.13. În general, punctele în care calculul are valori maxime sunt similare cu cele măsurate. Pentru o mai bună înțelegere a valorilor, autorul a făcut mai multe teste la rezoluții diferite pentru a verifica dacă valorile sunt mai bine evidențiate atunci când rezoluția este diferită (mai mică).

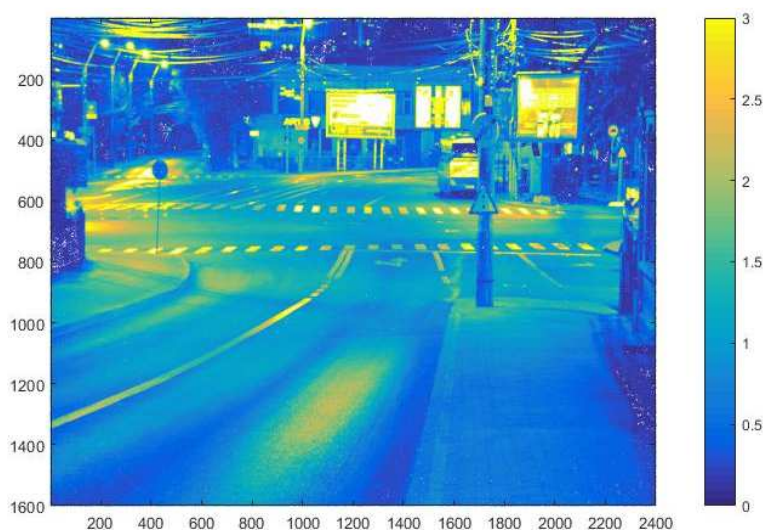


Figura 140 Intersecția Bucșinescu: hartă de luminanțe în rezoluție înaltă

După mai multe expuneri, autorul a ajuns la concluzia că imaginile cu rezoluție redusă pot fi mai utile pentru studiu datorită faptului că este mai ușor să se evidențieze diferențele dintre valori. O imagine cu rezoluție redusă este prezentată în Figura 141. Un lucru important care poate fi observat atunci când se compară Figura 139 cu Figura 141 este că valorile sunt foarte similare

și că, în comparație cu imaginea în culori false din calculul DIALux, în Figura 141 se pot observa câteva maxime suplimentare pentru luminanță pe asfalt. Aceste zone cu luminanță ridicată sunt de fapt macajele de pe asfalt. Această imagine deosebită este o dovadă clară a importanței marcajelor pentru vizibilitatea șoferilor. Analizând Figura 142 se poate vedea că punctul 1, care este la intrarea în intersecție, punctul 2, care este la trecerea de pietoni și punctul 3, punctul de ieșire, au valori mai mari, care ajută observatorul să perceapă ușor scena luminoasă, inclusiv intenția șoferilor care doresc să intre în intersecție.

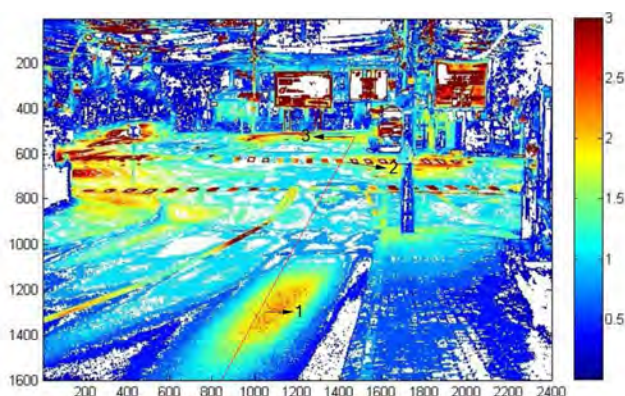


Figura 141 Harta luminanțelor din Intersecția Bucșinescu (cd/m^2), rezoluție redusă

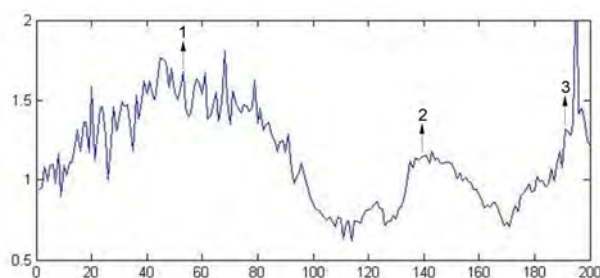


Figura 142 Profilul de luminanță (cd/m^2) pe direcția de studiu conform Figura 141

Pentru o mai bună înțelegere a importanței marcajelor, din Figura 144 se extrage un profil de luminanțe pentru o nouă direcție studiată. Direcția poate fi văzută în Figura 143, iar punctele 1-5 sunt de fapt valorile maxime care pot fi mai bine înțelese în Figura 144, deoarece este pus în valoare un parametru foarte important pentru vizibilitate, respectiv contrastul de luminanță.

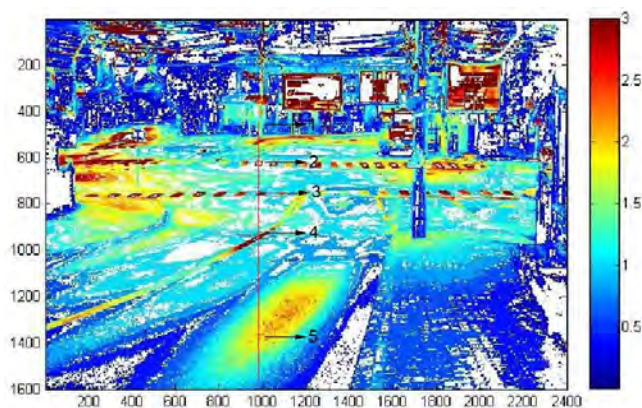


Figura 143 Intersecție Bucșinescu: hartă de luminanță la rezoluție mică

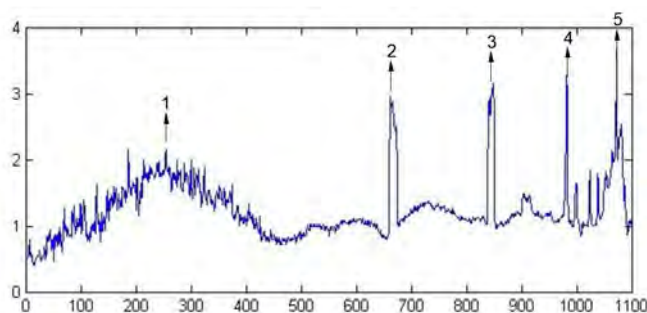


Figura 144 Profilul de luminanță pe direcția de studiu conform Figura 143

Metoda prezentată are potențial de a fi utilizată în multe alte măsurători pentru vizibilitatea unor detalii sau pentru analiza luminotehnică a unor zone de conflict, unde accesul cu alte mijloace de măsurare este foarte limitat datorită traficului rutier.

5.1.3. Referințe

- [1] *** EN13201-4, Road lighting - Methods of measuring lighting Performance, 2015
- [2] *** EN13201-2, Road lighting - Performance requirements, 2015
- [3] CD Galatanu, DD Lucache, L Canale, G. Zissis, Reduction in Light Pollution by Measurements According to EN 13201 Standard, International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), Pages: 1074-1079, 2018
- [4] C.D. Galatanu, C.G. Haba, D. Petrisor, L. Breniuc, Imaging Measurements for Public Lighting Predictive Maintenance, 11th International symposium on advanced topics in electrical engineering (ATEE), 2019
- [5] CD Galatanu, L. Canale, G. Zissis, I. Gherasim, Measuring the driver exposure to the light pollution Developing experimental setup, IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), 2018
- [6] Liyuan Gao et. al., “A novel Method for Measuring Spatial Distribution of Illuminance”
- [7] Mitsunori Miki et. al., “Construction of Illuminance Distribution Measurement System and Evaluation of Illuminance Convergence in Intelligent lighting System”
- [8] Mikolaj Pryzbyla, “modern Lighting Audits – Technology Supporting Designers and Contractors to Verify Lighting Installation Quality”
- [9] C.D. Galatanu, Light Pollution Assessment Using Photographical Methods, International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE) , Pages: 699-703, 2014

- [10] Marek Bálský, “Luminance values extraction from digital images”
- [11] Pietro Fiorentin, Alessandro Scroccaro, “Illuminance from Luminance Measurement Experimental Results”
- [12] Toivo Varjas et. al., “Assessment of pedestrian crossings measuring parameters and implementation of new measuring methods in Estonia”
- [13] BS EN 13201-1, “Road lighting - Part 1: Guidelines on selection of lighting classes”, 2014
- [14] E. Guerry, C.D. Galatanu, L. Canale, G. Zissis, Luminance Contrast Assessment for Elderly Visual Comfort Using Imaging Measurements, 12TH International Conference Interdisciplinarity in Engineering (INTER - ENG 2018), Procedia Manufacturing, Volume: 32 Pages: 474-479, 2019
- [15] E. Guerry, C.D. Gălăţanu, L. Canale, G. Zissis, Optimizing the luminous environment using DiaLUX software at “Constantin and Elena” Elderly House – Study Case, 12th International Conference Interdisciplinarity in Engineering (INTER-ENG), Book Series: Procedia Manufacturing Volume: 32 Pages: 466-473, 2019
- [16] https://www.lighting.philips.com/content/B2B_LI/en_AA/LP_PROF_ATG/910925733312_EU.html
- [17] D. Beu, C. Ciugudeanu, M. Maiercan, C.D. Galatanu, Introducing a new profession: lighting specialist, Conference Ecology, Economics, Education and Legislation, vol iii , SGEM, Pages: 863-869, 2016
- [18] C D Galatanu, Lighting systems calculations for heritage buildings, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 586, 012016, 2019
- [19] BS EN 13201-1, “Road lighting -Part 3: Calculation of performance”, 2015

5.2. Măsurători imagistice în tuneluri scurte

5.2.1. Prezentare generală a tunelurilor

Unul dintre tunelurile studiate este pasajul rutier subteran TMK din municipiul Reșița, județul Caraș-Severin. Acesta este situat între străzile Traian Lalescu și Paul Iorgovici, în imediata vecinătate a uzinei TMK. Acest pasaj a fost construit în anii 1970 pentru a asigura transportul semifabricatelor de oțel pe calea ferată, de la oțelărie până la laminorul Blooming, fără a bloca traficul rutier. Pasajul subteran constă din două tuneluri paralele, unul pe fiecare sens unic, separate printr-un perete despărțitor. Fiecare tunel este format din două benzi de circulație, dintre care una este comună pentru mașini și tramvaie, precum și un trotuar situat la o înălțime de 2,5m față de drum, pe partea dreaptă în direcția de deplasare. Lungimea pasajului este de 87 m. Pasajul rutier subteran este prezentat în Figura 145.

Ultima modernizare a sistemului de iluminat s-a realizat în 2006, când vechile corpuri de iluminat care erau echipate cu lămpi de descărcare cu gaz cu mercur de înaltă presiune (HID) cu o putere de 250W, au fost înlocuite în pasajul rutier subteran cu noi lămpi echipate cu lămpi cu sodiu de înaltă presiune (HPS) cu o putere de 150W [1]. Corpurile de iluminat existente în fiecare tunel au fost fabricate sub marca General Electric (GE) și un astfel de corp de iluminat este ilustrat în Figura 146. Pasajul reprezintă un obiectiv arhitectural important datorită rarității sale, fiind un rezultat al dezvoltării industriale pe care Reșița a avut-o la un moment dat.

Optimizarea sistemului de iluminat este necesară deoarece este situată pe un bulevard important.



Figura 145 Pasajul rutier subteran TMK, Reșița

Al doilea tunel este pasajul subteran Mihai Eminescu, din orașul Iași, cu 286 m în total și 98m subteran. Acest pasaj subteran are particularitatea că se află într-o curbă, astfel încât ieșirea nu este vizibilă. Lățimea benzii de rulare este de doar 3,5 m, fără acces pietonal (trotuare), ceea ce

face dificilă conducerea vehiculelor. În timpul zilei pasajul are lumină naturală, datorită unui luminator central, generos ca dimensiune. Rezultă că cea mai dificilă perioadă din punct de vedere al vizibilității este noaptea, deși ne-am fi așteptat ca cele mai mari probleme să fie în timpul zilei, pe vreme însorită – ca în orice alt tunel.



Figura 146 Corp de iluminat PF-400 - HPS 150 W

5.2.2. Măsurători luminotehnice

Pentru a verifica performanțele sistemului de iluminat din tunel [2], măsurătorile de luminanță au fost efectuate în tunel folosind o cameră digitală care funcționează ca luminanțmetru, precum și dispozitivul specializat *LMK Mobile Air* de la TechnoTeam Vision [3]. *Notă: între denumirile tunelului TMK și al camerei specializate LMK este o coincidență întâmplătoare.* Măsurarea luminanței a fost efectuată în luna ianuarie 2020 [4], în conformitate cu standardul EN 13201-4: 2015 - Iluminat rutier - Partea 4: Metode de măsurare a performanței iluminatului [5]. Luminanța a fost măsurată la intrarea în tunel. Aspectele din timpul măsurătorilor sunt prezentate în Figura 147.



Figura 147 Măsurători de luminanță în tunelul TMK, cu trafic blocat

5.2.3. Rezultatele măsurării luminanței pentru tunelul TMK

În urma măsurătorilor de luminanță s-au obținut rezultatele prezentate în Figura 148 [4].

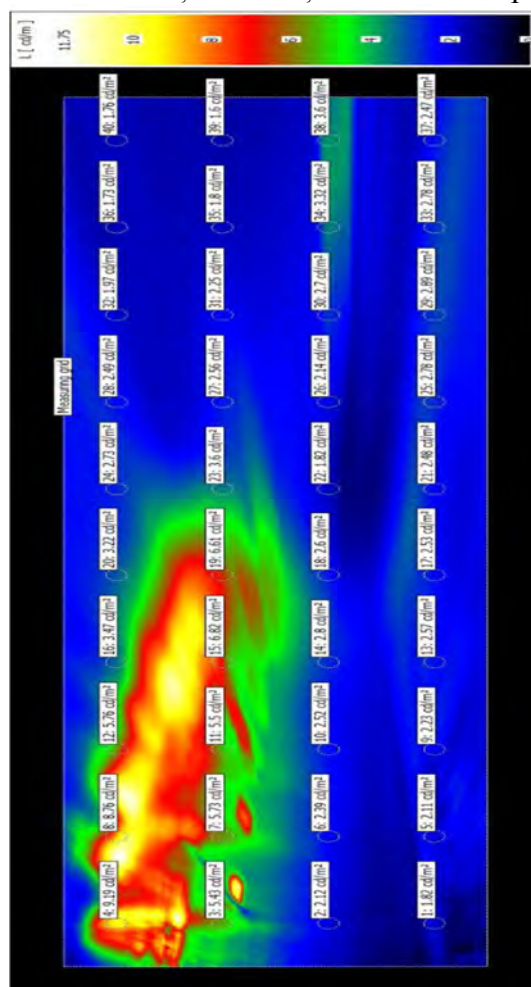


Figura 148 Rezultatele măsurării luminanței (cd/m^2) în tunelul TMK, noaptea [4]

În urma calculului, luminanța medie este $L_{\text{average}} = 3,34 \text{ cd}/\text{m}^2$ pentru datele din Tabelul din Figura 148. Distribuția luminanței în tunel obținută cu un software specializat [4] este ilustrată în Figura 149.



Figura 149 Distribuția luminanței în câmpul vizual în tunelul TMK

În Figura 149 se observă că în câmpul vizual sunt prezente corpuri de iluminat, deci creșterea pragului de percepție vizuală TI (threshold index) trebuie calculată. Conform standardului EN 13201-3: 2015 Iluminat stradal. Partea 3: Calculul performanței [6], creșterea pragului de percepție vizuală este calculată cu formula:

$$TI = \frac{65}{(L_{av})^{0,8}} \times L_v \quad (5)$$

unde L_v este luminanța de voal în câmpul vizual.

Tabel 12 prezintă analiza TI efectuată de software-ul specializat al camerei LMK .

Tabel 12 Analiza indicelui de creștere a percepției vizuale

Value	Summary	LS1	LS2	LS3	LS4	LS5	LS6	LS7	LS8	LS9	LS10	LS11	LS12
L(mean) (cd/m ²)		4.215	11.66	4.107	10.74	3.929	4.182	9.768	4.139	6.832	6.915	7.045	7.607
Omega (sr)	0.012	208.4e-6	575e-6	48e-6	369.3e-6	0.002762	28.11e-6	247.9e-6	15.03e-6	426e-6	914.6e-6	623.8e-6	0.001855
Theta (°)		25.15	21.43	20.2	15.62	18.9	15.66	9.832	14.44	7.034	7.863	4.091	5.25
E(vert) (lx)	0.0684	795.2e-6	0.0062	185e-6	0.00382	0.01026	113.2e-6	0.00239	60.27e-6	0.0029	0.006264	0.00438	0.01405
L(veil) (cd/m ²)	0.0188	12.58e-6	136e-6	4.536e-6	156.8e-6	291.3e-6	4.617e-6	246.9e-6	2.889e-6	590.1e-6	0.001012	0.00282	0.005678
TI value (%)	0.537	360e-6	0.0039	130e-6	0.00448	0.00833	132e-6	0.00706	82.6e-6	0.0169	0.0289	0.0805	0.162
Value	Summary	LS21	LS22	LS23	LS24	LS25	LS26	LS27	LS28	LS29	LS30	LS31	LS32
L(mean) (cd/m ²)		4.236	4.14	4.093	4.134	4.099	4.157	4.118	4.098	4.21	4.082	4.139	3.997
Omega (sr)	0.012	429.9e-6	114.9e-6	74.69e-6	4.766e-6	38e-6	371.3e-6	35.54e-6	22.63e-6	334.9e-6	12.33e-6	806.8e-6	66.52e-6
Theta (°)		22.55	18.98	17.99	24.77	21.68	20.04	18.29	23.98	21.73	21.22	23.5	24.77
E(vert) (lx)	0.0684	0.00168	449.6e-6	290.8e-6	17.89e-6	144.8e-6	0.00145	138.9e-6	84.74e-6	0.0013	46.92e-6	0.00306	241.4e-6
L(veil) (cd/m ²)	0.0188	33.11e-6	12.47e-6	8.998e-6	291.6e-6	3.079e-6	36.1e-6	4.153e-6	1.473e-6	27.75e-6	1.041e-6	55.54e-6	3.933e-6
TI value (%)	0.537	947e-6	357e-6	257e-6	8.34e-6	88e-6	0.00103	119e-6	42.1e-6	793e-6	29.8e-6	0.00159	112e-6

Tabel 12 arată calculul TI pentru două șiruri de câte 12 puncte, pentru care sunt luate în considerare luminanța medie (cd/m^2), unghiurile de observare pentru sursele de strălucire, luminanța verticală (lx), luminanța de voal (cd/m^2) .

Condiția $0,05 < \text{luminanța medie a drumului} < 5 \text{ cd/m}^2$ pentru ca relația (5) să fie valabilă este considerată respectată, deoarece $L_{av} = 5,44$ ca în Tabel 12 (diferența calculată este de numai 4,3%). Rezultatul este destul de surprinzător, TI fiind foarte mic, departe de valoarea maximă admisă (10 pentru clasa de drum M1). Pe teren a fost prezentă senzația de orbire, datorită

reflectanței asfaltului și a corpurilor de iluminat mai joase (înălțime de montaj 4,8 m). Dar așa cum impune (5), reflectanța asfaltului și corpurile de iluminat privite dintr-un unghi peste 60° nu sunt luate în considerare.

Pentru o analiză completă, pe lângă valorile numerice, este necesar să se cunoască distribuția luminanțelor în planul util. În software-ul specializat [4] această distribuție este prezentată sub forma din Figura 150.

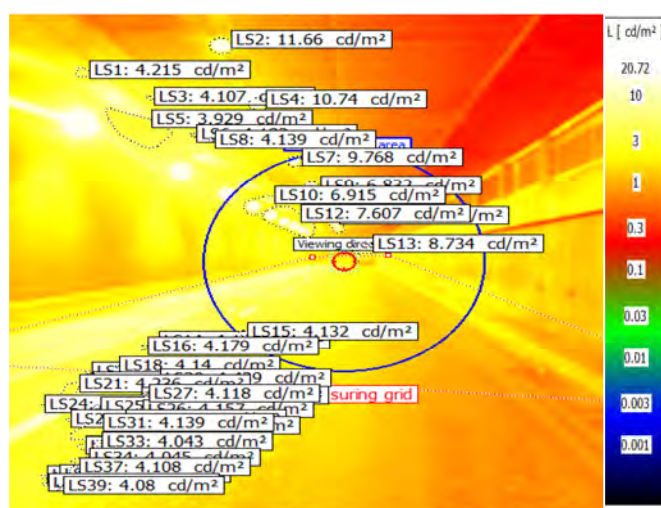


Figura 150 Evaluarea câmpului de luminanță, cu valori locale [4].

Se observă că etichetele pentru valorile punctuale ale luminanței se suprapun și, în plus, acoperă câmpul de luminanță în sine, făcând improprie o analiză cantitativă. Modul de lucru elaborat de autor, ilustrat în Figurile 141 ÷ 144, este mult mai sugestiv, existând posibilitatea extragerii valorilor luminanței pe o direcție de mers sau pe o direcție de observare, în general. Se pot extrage și compara mai multe variații ale luminanței în lungul căii de circulație rutieră, afișându-se pe același grafic, așa cum se va proceda mai departe.

Tabel 13 Luminanța în zona măsurată

Nr. punct	Numărul direcției de măsură			
	1	2	3	4
1	1.82	2.12	5.43	9.19
2	2.11	2.39	5.73	8.76
3	2.23	2.52	5.5	5.76
4	2.57	2.8	6.82	3.47
5	2.53	2.6	6.61	3.22
6	2.48	1.82	3.6	2.73
7	2.78	2.14	2.56	2.49
8	2.89	2.7	2.25	1.97
9	2.78	3.32	1.8	1.73
10	2.48	3.6	1.6	1.76
L _{MAX}	2.89	3.6	6.82	9.19

Măsurători imagistice pentru iluminatul stradal

L_{MIN}	1.82	1.82	1.6	1.73
Uniformitate longitudinală	0.628	0.506	0.255	0.188
Uniformitate totală	0.479			

Din Tabel 13 se observă că luminanța medie în zona de prag, uniformitatea longitudinală și generală a luminanței nu corespund prevederilor CEN / TR 13201-1: 2015 Iluminat public. Partea 1: Selectarea claselor de iluminat [7], respectiv cu ghidul pentru iluminarea tunelurilor rutiere și a pasajelor subterane CIE 88: 2004 [8].

Comparând Tabel 13 cu Figura 150, se ajunge la concluzia că Figura 150 nu este utilă și că sunt necesare metode suplimentare pentru analiza și evaluarea datelor, ca pentru următorul studiu de caz elaborat de autor.

5.2.4. Câmpul de luminanțe pentru Pasajul Mihai Eminescu

Un caz particular este reprezentat de pasajul rutier subteran din Iași, județul Iași, România, prezentat în Figura 151, Figura 152 și Figura 153.

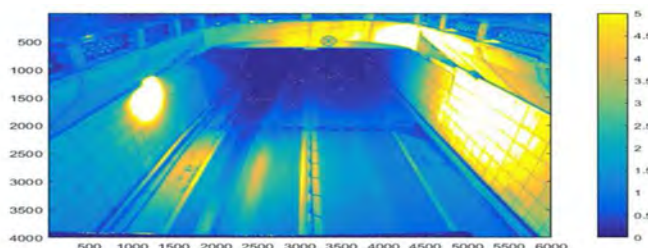


Figura 151 Intrare Bulevardul Independenței în Pasajul subteran Piața Eminescu, Iași (Lungime 286m, din care 98 m subteran și curbat) - Harta luminanțelor (cd/m^2)

Se folosește o cameră digitală NIKON D5300 calibrată de autor. Pe harta de luminanță din Figura 151 se observă senzația vizuală necorespunzătoare, percepția efectului de gaură neagră!

Pentru intrarea din Bulevardul Pacurari, este prezent același efect negativ, ca în Figura 152:

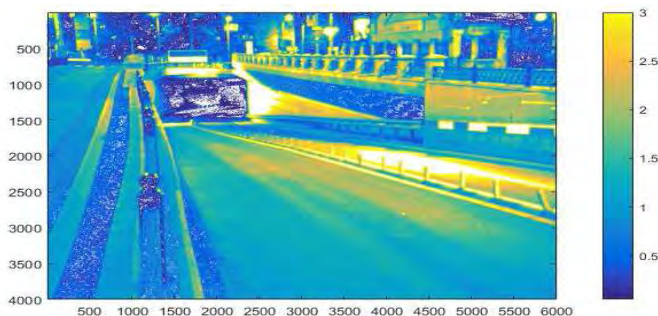


Figura 152 Intrarea din Bulevardul Pacurari în Pasajul subteran Piața Eminescu, Iași
- Harta luminanțelor (cd/m^2)

Pentru o analiză suplimentară, scala luminanțelor este modificată în Figura 153, pentru o mai bună examinare a luminanței de nivel scăzut, între 0 și $1,5 \text{ cd/m}^2$. De asemenea, senzația vizuală inadecvată este prezentă, efectul găurii negre este evident și datorită rezoluției hărții de luminanță este și mai ușor de interpretat!

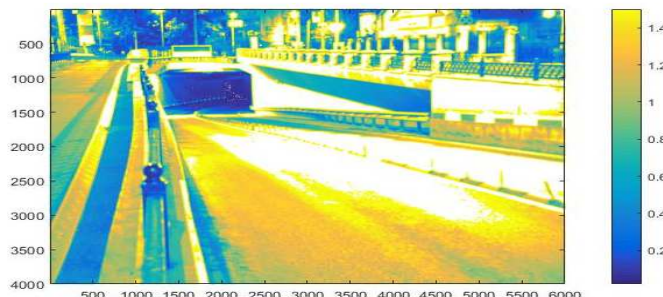


Figura 153 Intrarea din Bulevardul Pacurari în Pasajul subteran Piața Eminescu, Iași - Harta luminanțelor (cd/m^2) la un domeniu diferit și rezoluție îmbunătățită

Pentru ambele zone de intrare, senzația vizuală negativă este prezentă, efectul de gaură neagră este prezent chiar și noaptea. Ca o mică consolare, se observă efectul vizual pozitiv al marcajelor rutiere reflectorizante. Pentru timpul zilei, pasajul are o soluție specială, având o un luminator vitrat de dimensiune mare, amplasat la mijlocul acestuia, cu efect pozitiv pentru vizibilitatea în timpul zilei. Pentru evaluarea cantitativă a mediului vizual, trebuie luată în considerare varianța luminanței.

5.2.5. Variația luminanței de-a lungul căii de circulație

Problema valorilor luminanței este importantă, dar mai importantă este variația luminanței. Acest lucru poate fi analizat folosind un număr limitat de puncte de măsurare (conform SR EN 13201). Cu toate acestea, în Figura 148, chiar dacă valorile luminanței sunt situate în planul util al străzii, este dificil de înțeles cum variază luminanța de-a lungul străzii, așa cum este percepută de șoferi. Datele prezentate în Figura 150 sunt și mai greu de înțeles, așa cum s-a afirmat deja. Pentru a rezolva acest lucru, este prezentată o metodă originală pentru extragerea datelor din măsurători imagistice. Măsurătorile din Figura 153 sunt reprezentate grafic pentru un interval extins de valori din Figura 154, unde sunt ilustrate și liniile din care luminanța va fi prezentată într-o diagramă specifică.

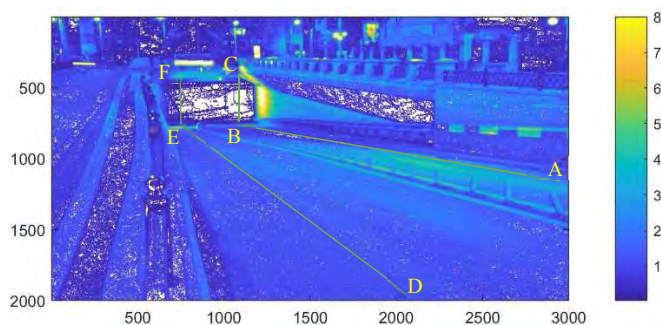


Figura 154 Linii de măsurare pentru luminanță (cd/m^2) pentru intrarea din Bulevardul Pacurari la Pasajul subteran Eminescu

Luminanțele au fost extrase dintr-o bandă carosabilă (segmentul AB, pentru care s-au citit 400 de valori), dar și din fundalul tunelului (segmentul BC pentru care s-au citit 100 de valori ale luminanței), pentru a ilustra efectul de gaură neagră. Variația de luminanță este disponibilă în Figura 155, unde datele pot fi citite împreună cu Figura 154:

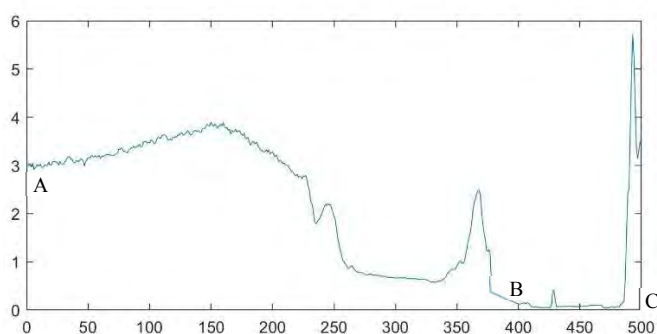


Figura 155 Variația luminanței (cd/m^2) pe calea de circulație din **Figura 154** (AB) și fundalul tunelului (BC).

Pentru a doua pistă, datele sunt extrase în mod similar și sunt prezentate în Figura 156:

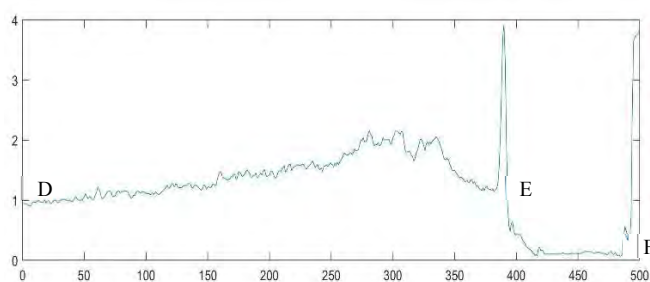


Figura 156 Variația luminanței (cd/m^2) pe calea de transport din **Figura 154** (direcția DE) și fundalul tunelului (EF)

În aceste ultime două grafice se observă că în apropierea intrării în pasaj luminanța scade inacceptabil, există o discrepanță între sistemul de iluminat extern și cel subteran. În plus, valorile vectorului între elementele 400 și 500 indică o zonă de întuneric efectiv percepută de șoferi. Acest

aspect este cu atât mai negativ cu cât este înregistrat pe timp de noapte, când luminanța din tunel ar trebui să fie egală cu luminanța din exterior. Fenomenul de gaură neagră este cel mai dificil de anulat pe timp de zi cu cer însoțit, iar noaptea nu ar trebui să se manifeste.

Mai pot fi observate și alte detalii ale mediului luminos, cum ar fi frontonul luminos al pasajului sau fasciculul de lumină puternică de la intrarea în tunel.

O analiză similară a fost efectuată pentru pasajul TMK de la Reșița, caz în care există avantajul că rezultatele a două metode și mijloace diferite de măsurare pot fi comparate, unul comercial [4] și unul dintre autori [9, 10].

Măsurătorile imagistice se bazează pe Figura 157:

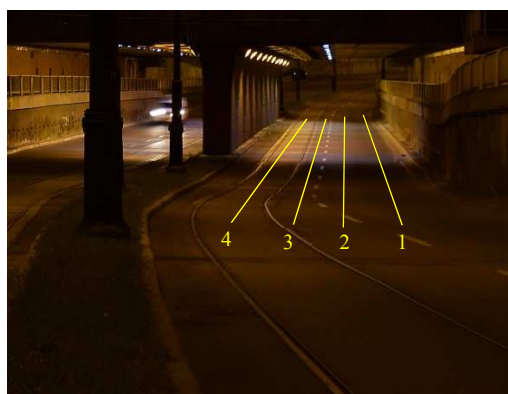


Figura 157 Studiu de caz pentru tunelul TMK

Harta luminanței este disponibilă în Figura 158 și este similară în unele moduri cu Figura 149:

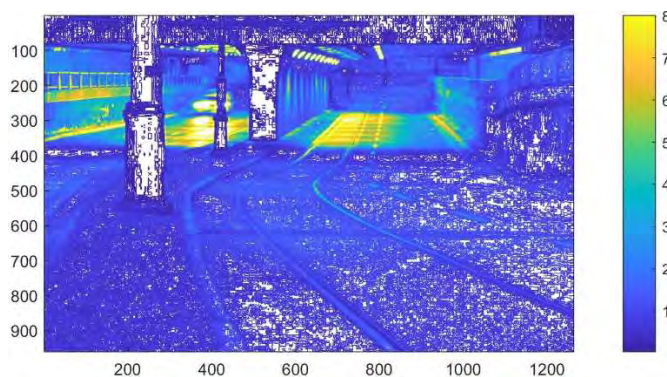


Figura 158 Harta luminanței (cd/m^2) pentru scena din Figura 157.

În Figura 157 au fost indicate patru direcții de măsurare, asemănătoare cu grila de măsurare din Figura 148. Pentru fiecare dintre aceste direcții, au fost extrase 200 de valori de luminanță, ceea ce ne permite să vizualizăm variația luminanței de la apropierea de tunel (elementele din vector între 0 și 80) și intrarea în tunel (începând de la punctul 80) până la ieșire (punctul 190, observatorul deplasându-se de la stânga la dreapta), ca în Figura 159:

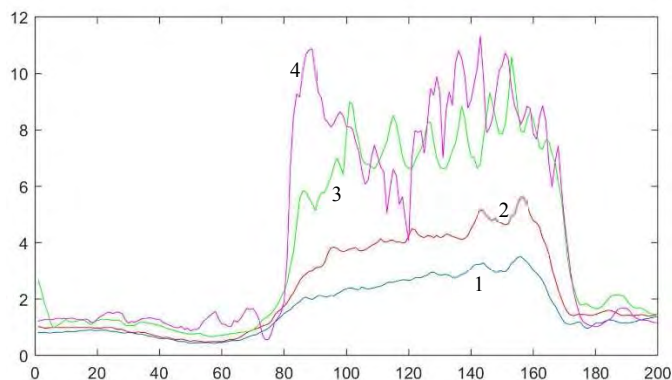


Figura 159 Variația luminanței (cd/m^2) pe calea de transport din Figura 157, tunelul TMK și grila de măsurare din Figura 157

Se observă că partea dreaptă a tunelului (curbele 1 și 2) este mai puțin iluminată decât partea stângă (curbele 3 și 4). Ceea ce este mai interesant este faptul că, comparativ cu pasajul din Iași, nivelul de luminanță din pasaj este mai mare decât în exterior, ceea ce este mult mai corect, conform reglementărilor. S-a observat și sursa factorului de neuniformitate inacceptabil calculat în Tabelul 13, respectiv distribuția foarte dezechilibrată. O observație secundară este corelația bună între valorile măsurate cu cele două metode diferite, mai ales că punctele de măsurare nu au fost identice. Neuniformitățile mari ale curbelor de luminanță 3 și 4 sunt vizibile, dar marea variație a curbei 4, cu un minim pronunțat în centrul tunelului, nu a putut fi observată pe teren.

Se poate concluziona că acest tip de măsurători este util și pentru un program de întreținere periodică sau la punerea în funcțiune după modernizarea unui sistem de iluminat.

5.2.6. Referințe

- [1] GE Lighting catalog and technical brochures
- [2] L.T. Doulos, I. Sioutis, A. Tsangrassoulis, L. Canale, K. Faidas, Minimizing lighting consumption in existing tunnels using a no-cost fine-tuning method for switching lighting stages according revised luminance levels, 2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), 2019
- [3] Matei S, 2018 Luminance measurement during commissioning according to EN13201 (CCD camera measurements), Electricianul Magazine, Bucharest, Romania
- [4] Matei S, 2020 Resita underpass road measurement report, Electromagnetica, Bucharest, Romania
- [5] EN 13201-4:2015 - Road lighting - Part 4: Methods of measuring lighting performance
- [6] EN 13201-3:2015 - Road lighting - Part 3 - Performance calculation
- [7] EN 13201-1:2015 - Road lighting - Part 1- Selection of lighting classes
- [8] CIE 88:2004 Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses
- [9] C.D. Galatanu, Study of facades with diffuse asymmetrical reflectance to reduce light pollution, Energy Procedia, Volume: 112, 296-305, DOI: 10.1016/j.egypro.2017.03.1100, 2017
- [10] C.D. Galatanu, D.D. Lucache, L. Canale, G.Zissis, Reduction in Light Pollution by Measurements According to EN 13201 Standard, 2018 International Conference And Exposition On Electrical And Power Engineering (EPE), 074-1079, 2018

5.3. Măsurători imagistice pentru mentenanța predictivă a iluminatului public

5.3.1. Introducere

Există trei metode în care se manageriază mentenanța iluminatului public: tradițional, bazat pe sisteme inteligente (Orașe inteligente), și al treilea bazat pe măsurători periodice, metodă care justifică această nouă cercetare.

5.3.1.1. Mentenanța tradițională în iluminatul public

Subiectul mentenanței iluminatului a devenit important odată cu modernizarea surselor de lumină bazate pe tehnologia SSD. Investigarea metodelor care stau la baza întreținerii iluminatului public a început cu marile orașe ale lumii, cum ar fi Los Angeles [1], unde pentru un program de modernizare de 140.000 de lămpi, se menționează economii de energie importante (estimate la 40%, dar până la urmă 57,6%). Alte orașe New York sau Birmingham au o abordare similară. Această surpriză este confirmată de dezvoltarea metodelor de întreținere utilizate în România, unde acestea sunt empirice și slab standardizate. Din cazurile studiate, se pot găsi informații importante, un exemplu fiind [2], cu un proiect pilot pentru sisteme inteligente de iluminat. Aici accentul se pune pe strategiile de comandă și control și nimic despre întreținerea necesară. Chiar și atunci când subiectul cercetării este în mod explicit *întreținerea iluminatului exterior*, ca în [3], se poate demonstra că este studiată o problemă complet diferită. Astfel, în acest exemplu [3], sensul operației și întreținerii înțelege doar partea de comenzi, în timp ce mentenanța generează chiar confuzie. Astfel, întreținerea se referă la scopul pentru care este utilizat sistemul de iluminat, și anume întreținerea unor centrale electrice, fără referire la întreținerea sistemului de iluminare în sine. Prin urmare, atunci când este identificată o lucrare care se adresează chiar și *întreținerii preventive a iluminatului public* [4], destul de rar, așteptările sunt foarte mari. Cu toate acestea, întreținerea predictivă este descrisă în [4] ca se realizează pe baza inspecțiilor vizuale demarate în urma reclamațiilor utilizatorilor finali. Chiar dacă sunt implementate sisteme de control al iluminatului fără fir, există un singur parametru care este monitorizat în scopuri de întreținere, și anume timpul de funcționare al lămpii, parametru care vă permite să se estimeze momentul când lămpile vor trebui înlocuite. Și, mai mult de atât, din [4] rezultă că se realizează în fapt o mentenanță *reactivă*. Contrar situației din România, întreținerea iluminatului public este mult mai bine reglementată, ca în cazul [5]. Fiind un document relativ recent și având un capitol dedicat *cerințelor de întreținere*, ne așteptăm să găsim soluția la problemă. Chiar dacă găsim unele detalii legate de întreținere (cum ar fi decalajele de timp pentru comenzile On-Off pentru LED-uri spre

deosebire de lămpile de sodiu de înaltă presiune), elementele specifice întreținerii preventive sunt reduse până la absență (se indică doar unele intervale pentru înlocuirea lămpilor). Un alt standard local [6] conține prescripții pentru întreținerea iluminatului public, dar și pe baza inspecțiilor periodice sau a rapoartelor publicului larg. Se afirmă că aceste inspecții nu sunt rentabile, de aceea se recomandă ca inspecțiile (anuale) să poată fi însoțite de lucrări de reparații în același timp. Continuarea studiului unor reglementări în domeniu ne conduce la [7], care a stabilit măsuri detaliate pentru întreținerea preventivă. Găsim doar inspecții regulate (anuale pentru străzile cu mai mult de 200 de stâlpi). Pentru a verifica stâlpii, se indică alte intervale (patru ani pentru stâlpii din lemn sau opt ani pentru stâlpii din beton). Cu toate acestea, inspecția vizuală este foarte limitată în ceea ce privește stâlpii (se poate stabili că un stâlp este înclinat, dar defectele structurale vor rămâne ascunse), dar și asupra parametrilor luminotehnici. În orice caz, se dovedește că inspecțiile sunt necesare atât pe timp de zi (pentru vizualizarea defectelor mecanice), cât și pe timp de noapte (cu iluminare funcțională, pentru observații vizuale sau chiar măsurători). Aceste informații nu sunt găsite [7].

5.3.1.2.Întreținerea iluminatului public în orașele inteligente

Așteptările noastre au fost ca implementarea sistemelor inteligente distribuite să aducă un salt tehnologic în mentenanță. În [8] este prezentat un astfel de sistem de iluminare, cu control predictiv, în sensul că există posibilitatea stabilirii diferitelor ipoteze de variație a traficului rutier, în timp ce se elaborează programe de dimmare cu anticipare. Nu există mențiuni cu privire la anticiparea măsurilor de întreținere (predictive).

Un nou concept este întreținerea *proactivă* [9]. Acest concept include diagnosticarea defectelor și rezolvarea de la distanță fără prezența tehnicianului. Deși principiul pare foarte avansat și ar fi extrem de util pentru unele aplicații (energia nucleară, de exemplu), în cazul iluminatului public inteligent se referă doar la posibilitatea „ocolirii” unui bloc de comunicație sau înlocuirea transferului de date prin utilizarea tehnologiei cloud, foarte fiabilă. Problema întreținerii surselor de lumină, a evoluției acestora în timp nu este abordată.

Un alt studiu [10] ne oferă detalii tehnice importante în cazul în care defectele sunt localizate prin utilizarea extinsă a sistemului GPS. Prezentările planificării lucrărilor de întreținere sunt prezentate pe baza consumului de energie, adică a intensității și a duratei de funcționare a lămpilor. Singura funcție de întreținere suplimentară este semnalizarea și localizarea absenței tensiunii de alimentare. Cu toate acestea, această caracteristică poate depăși cu greu viteza și precizia (geografică) a sistemului clasic de semnalizare, pe baza reclamațiilor utilizatorilor finali.

Cu toate acestea, posibilitățile sistemelor inteligente de iluminat au rezerve nelimitate pentru strategia de întreținere. O astfel de cercetare este disponibilă în [11], unde sistemul de iluminat este asistat de senzori de inundații pentru zonele predispuse la acest fenomen natural. Desigur, acesta este un caz special, dar încorporarea dispozitivelor inteligente în corpurile de iluminat permite astfel de realizări. Întreaga funcționare a sistemului de iluminat răspunde la alarmele de inundații: dimmarea este resetată, trecând de la nivelul economic la nivelul maxim de iluminare, pentru intervenții. Panourile cu afișaj LED vor da avertismente explicite despre pericol, durata, locația și rutele de ocolire. Acest exemplu ilustrează faptul că lămpile în sine ar putea face obiectul unei reacții predictive de întreținere, în urma deprecierei fluxului luminos de ieșire. Pentru a demonstra că această depreciere a fluxului de lumină este o problemă reală, este suficient să se analizeze o metodă de calcul pentru factorii de pierdere a luminii [12]. Metoda dorește să fie precisă, luând în considerare multe variabile. Cu toate acestea, gradul de incertitudine crește, de asemenea, deoarece diferența dintre estimări și evoluția în timp a condițiilor la fața locului poate fi diferită. Prin urmare, pentru noi, măsurarea timpului pentru a calcula factorul de pierdere a luminii este foarte utilă pentru întreținerea predictivă a surselor de lumină.

Un argument suplimentar este obținut în cazul în care lucrările de întreținere (curățarea lentilelor, vopsirea stâlpilor) sunt efectuate de roboți specializați [13]. Se pare că aceasta va fi soluția pentru viitor, transformând întreținerea într-o activitate de rutină. Și totuși există implicații nedorite, iar siguranța pietonilor și a vehiculelor este una dintre ele. Prin urmare, chiar și în cazul întreținerii robotizate, determinarea momentului optim de intervenție se poate face nu prin planificare arbitrară, ci prin măsurători periodice.

5.3.1.3. Măsurători pentru lucrări de mentenanță în iluminatul public

După ce am evidențiat unele limitări de întreținere, chiar și în sistemele inteligente de iluminat, este rândul nostru să arătăm că măsurătorile in situ pot furniza date mai bune decât se aștepta. Un sistem modern care funcționează pe baza fluxului luminos constant CLO (Constant Light Output) [14] ridică astfel de probleme. Problema centrală este viteza de îmbătrânire a semiconductorului, a pieselor optice, care depinde de regimul de funcționare și temperatura exterioară. Indiferent cât de precise sunt modelele care estimează acest fenomen, ele vor lăsa câteva aproximații. Temperatura va fi o variabilă permanentă, fără a fi necesar să se conformeze statisticilor multianuale. Și mai importante sunt concluziile din [14], unde utilizarea metodei CLO poate prelungi durata de viață a lămpilor cu LED de la 16 ani la 21 de ani! Observăm că miza în cauză este de cinci ani. Dacă întrebarea când să se intervină pentru a înlocui lămpile, plus sau minus un an, poate fi prea lungă, ușor indusă din cauza diferențelor inerente dintre estimare și

realitate. Din nou, măsurarea in situ ar putea genera informații prețioase, predictive, dar natura măsurătorilor nu este ușor de determinat.

O problemă reală legată de întreținere este defectarea driverelor de dimmare. În [15] se afirmă că acest tip de defect nu este detectabil prin inspecții vizuale. Evident, corpurile de iluminat cu LED au o luminanță foarte mare chiar și în regim de dimmare. În consecință, funcționarea dimabilă este nedetectabilă, dar aduce economie de energie sistemului de iluminat. Problema este că dimmarea se poate defecta fără să existe posibilitatea de a sesiza. Soluția propusă în [15] constă în măsurarea precisă a energiei consumate pentru a detecta defectele de dimmare. Acesta este contextul în care măsurarea luminanței corpului de iluminat în funcțiune ar putea detecta erorile de dimmare. Pentru aceasta, o metodă globală de măsurare imagistică ar putea fi soluția, așa cum se va arăta mai jos.

Faptul că măsurătorile imagistice pot furniza informații despre starea sistemului de iluminat este demonstrat în [16]. Aici, imaginile corpurilor de iluminat sunt obținute de pe o platformă fixă (Turnul Milad, Teheran, înalt de 380 m, ceea ce generează în mod evident restricții majore pentru alte locații). Imaginile sunt folosite, dezamăgitor, doar pentru a detecta lămpile opace (lămpile mătuite). Acest lucru este posibil datorită utilizării lămpilor de sodiu de 2x400W și, evident, cu un ULOR ridicat (raportul de ieșire a luminii superioare) care sunt inacceptabile astăzi, în special pentru LED-uri. Această metodă, chiar dacă este perfecționată, este afectată de erori aleatorii. La măsurarea luminanței drumului (ca și în metodele de imagistică), aceasta depinde de poluarea aerului, de starea umedă / uscată a asfaltului, de îmbătrânirea asfaltului și de prezența vehiculelor.

Principiul efectuării măsurătorilor pentru a determina programul de întreținere în iluminatul public este disponibil în [17], unde ideea este de a produce hărți pentru nivelul de iluminare a drumului prin măsurători dintr-un vehicul în mișcare. Hărțile sunt obținute pentru întreaga rețea rutieră și urmărind evoluția acestor parametri (nivelul de iluminare), este posibil să se stabilească deteriorarea pieselor optice (nu neapărat defecte majore) și, astfel, necesitatea intervențiilor de curățare, de exemplu. Se susține că metoda are un cost redus, dar avem rezerve în acest sens. Un oraș mediu / mic poate avea multe sute de km de străzi care trebuie parcurși, a căror parcurgere multiplă (pentru stâlpii bilaterali, de exemplu) înseamnă atât timp, cât și bani.

Aceeași idee este dezvoltată într-o cercetare mai recentă [18], în care sunt realizate aceleași hărți de iluminare, cu date GIS indexate folosind receptoare GPS. Acest sistem a fost folosit de autor pentru măsurători în Iași, cu observația că, pentru a obține valori de iluminat stradal, sunt necesare măsurători în noaptea târzie, când traficul este nul sau foarte redus, permițând ca senzorul să fie situat aproape de nivelul asfaltului. În [18] se propune utilizarea transportului public pentru

a monitoriza continuu nivelul de iluminare. Observația noastră este că nivelul de iluminare în planul util nu va fi măsurat, ci la o înălțime de aproximativ 3m. Cu toate acestea, evoluția acestor valori de iluminare poate fi baza pentru determinarea deprecierii fluxului luminos emis de unele corpuri de iluminat și, prin urmare, planificarea întreținerii lor.

Există, de asemenea, opinii opuse, așa cum este [19], unde se afirmă că, dacă intervențiile planificate sunt realizate, respectând perioadele de timp prescrise, atunci „nu sunt necesare măsurători”. Argumentul nu este consecvent, deoarece scopul măsurătorilor este de a stabili că intervențiile trebuie făcute mai devreme, sau chiar la intervale mai lungi, cu efecte economice evidente.

5.3.2. Măsurări de luminanță pentru aparate de iluminat stradal

Utilizarea unei camere digitale pentru măsurarea luminanței este disponibilă în [20]. Măsurarea luminanței obișnuite (întâlnite în iluminatul arhitectural) nu pune probleme speciale. Pentru a diagnostica starea unui corp de iluminat, este necesar să se măsoare luminanța care atinge valori foarte mari. În cazul lămpilor cu descărcare, o restricție specială este frecvența la care funcționează aceste lămpi, astfel încât timpul de expunere să fie relativ ridicat, mai mare și multiplu de o jumătate de perioadă. Pentru a integra luminanța variabilă a lămpilor cu descărcare, expunerea trebuie să fie mai mare de 20ms, ceea ce duce la saturația senzorului RGB și la imposibilitatea măsurării.

Pentru LED-urile alimentate în comutație cu frecvențe înalte (aproximativ 100 kHz), acest timp poate fi scurtat la valorile maxime disponibile (1/4000 s). Valorile setărilor camerei digitale pentru a măsura valori maxime ale luminanței vor fi următoarele:

- Timp de expunere = 1/4000 s
- numărul F: 29
- ISO: 100;

În funcție de valorile RGB maxime obținute în fișierul JPG, luminanța maximă va fi ca în Tabel 14, corespunzător NIKON D5300:

Tabel 14 Valori maxime de luminanță măsurate de camera digitală

Nr.	Valori medii RGB	Luminanță maximă (cd/m^2)
1	125	$6.148 \cdot 10^4$
2	175	$2.3625 \cdot 10^5$
3	220	$1.1700 \cdot 10^6$
4	245	$3.2209 \cdot 10^6$
5	253	$4.3696 \cdot 10^6$

Rezultatele se bazează pe ecuația (4) și (5) din [20] și care este evident neliniară. Având în vedere acestea, este analizată o scenă nocturnă, ca în Figura 160:

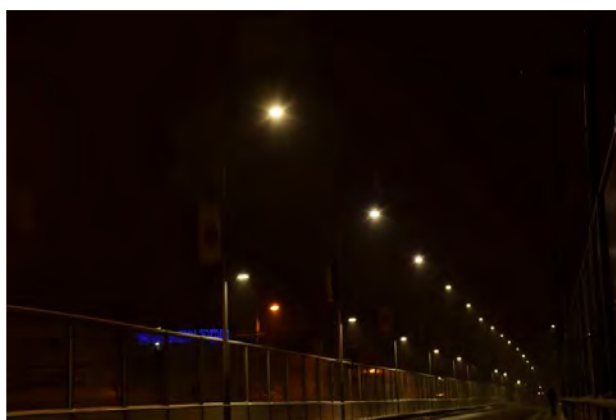


Figura 160 Scena de noapte a pasajului O.Băncilă, Iași

Conform SR EN 13201, luminanța străzii trebuie măsurată, iar cu ajutorul camerei calibrate este disponibilă harta luminanței:

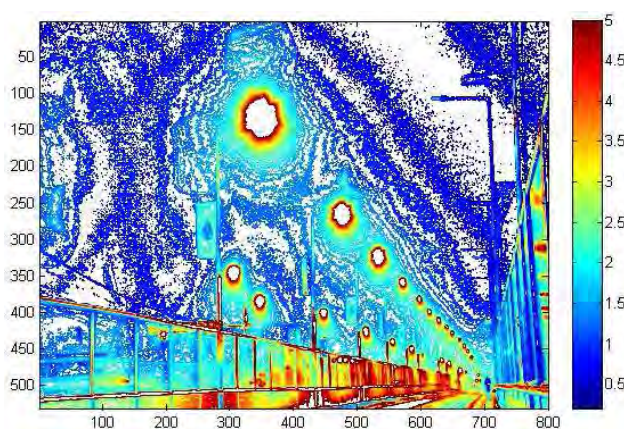


Figura 161 Harta luminanței (cd/m^2) pentru scena de noapte a pasajului

Se remarcă faptul că luminanța asfaltului este cuprinsă între 1,5 și 2,5 cd/m^2 , din cauza stării umede a drumului. Aceste valori nu pot fi utilizate ca referință, deoarece vor varia continuu. Cu totul diferită este situația dacă se măsoară luminanța corpurilor de iluminat. Folosind setările specifice pentru camera digitală (timpul de expunere = 1/1000s, F = 29, ISO = 100), a fost măsurată luminanța corpului de iluminat, ca în Figura 162:

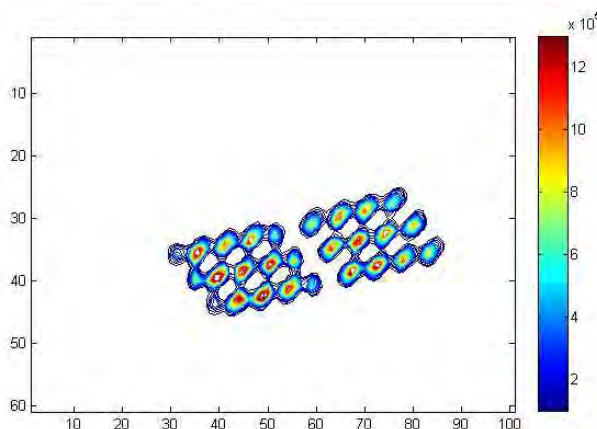


Figura 162 Harta luminanței (cd/m^2) pentru corpul de iluminat cu LED

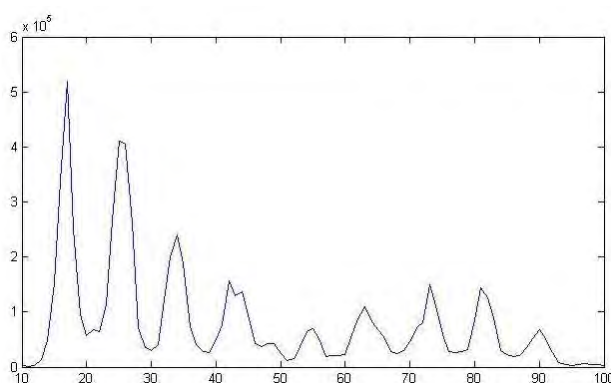


Figura 163 Profilul de luminanță ($cd/m^2 \times 10^5$) pentru axele longitudinale (geometrice) ale corpului de iluminat cu LED

Harta de luminanță din Figura 162 ar putea servi drept bază pentru monitorizarea în timp. Harta de luminanțe oferă o evaluare calitativă, dar și cantitativă, distribuția luminanței pe anumite axe ale corpului de iluminat fiind mult mai utilă, ca în Figura 163. Pentru locația diferită a corpului de iluminat și a camerei digitale, sunt necesare câteva considerații geometrice, conform [21]. Pentru axa longitudinală (geometrică) a corpului de iluminat, variația luminanței este disponibilă în Figura 163. Este posibil să se individualizeze cele opt LED-uri de mare putere (din totalul de 24), iar comparațiile parametrilor sau evoluția valorilor în timp sunt mult mai ușor de realizat.

Inegalitățile de luminanță care sunt evidențiate în Figura 163 și nu sunt neapărat interpretate, deoarece poate fi rezultatul lentilelor doferite. Mult mai importante sunt schimbările

în timp (depreciere), obținute cu păstrarea punctului de stație și calibrarea / setarea aparatului digital.

5.3.3. Măsurări de temperatură a culorii corelate pentru iluminarea străzii

Calculul CCT este încă un subiect de actualitate atunci când se urmărește caracterizarea unei game largi de surse de lumină [22]. Pentru întreținerea iluminatului, gama CCT este mult mai mică, între 2500K și 10000K. Valorile senzorului RGB primar sunt utilizate pentru a obține spațiul de culoare CIE utilizând tristimulii XYZ, utilizând o transformare liniară. După aceea, spațiul de culoare XYZ este independent de dispozitiv, ar putea fi folosit pentru a calcula x și y , coordonatele diagramelor de cromaticitate și după aceea CCT. Primul pas ridică unele probleme, în ceea ce privește calibrarea camerei digitale, pentru a obține tristimulii XYZ din răspunsul camerei RGB, între care există relația:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (6)$$

Matricea coeficienților liniari b_{11} până la b_{33} disponibilă în literatură pentru referințe de alb diferite (D65 sau D50) nu se potrivesc cu măsurarea standard efectuată cu un Konika Minolta CS-100A Luminance și Color Meter. Soluția a fost de a calcula coeficienții liniari, utilizând trei măsurători diferite pentru trei surse de lumină diferite, cu CCT care acoperă domeniul între 2700K și 6000K. Prima măsurare, pentru sursa de iluminare S1 de 2700K, am obținut valorile R^1 , G^1 , B^1 de la camera digitală și X^1 , Y^1 , Z^1 de la CS-100A Luminance și Color Meter. În mod similar, au fost generate alte două seturi de date.

Se scriu ecuațiile de trei ori pentru prima linie X din (6), obținându-se:

$$\begin{bmatrix} X^1 \\ X^2 \\ X^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R^1 & G^1 & B^1 \\ R^2 & G^2 & B^2 \\ R^3 & G^3 & B^3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{12} \\ b_{13} \end{bmatrix} \quad (7)$$

unde b_{11} , b_{12} , b_{13} trebuie calculați.

Din nou, pentru a treia linie în Z:

$$\begin{bmatrix} Z^1 \\ Z^2 \\ Z^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R^1 & G^1 & B^1 \\ R^2 & G^2 & B^2 \\ R^3 & G^3 & B^3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} b_{31} \\ b_{32} \\ b_{33} \end{bmatrix} \quad (8)$$

unde b_{31} , b_{32} , b_{33} trebuie calculați.

În final, se determină toți coeficienții:

$$\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5074 & 8.8116 & -0.1947 \\ 0.2973 & 0.6273 & 0.0752 \\ -0.0477 & 0.0809 & 1.0748 \end{bmatrix} \quad (9)$$

În acest mod, calibrarea particulară a oricărei camere digitale ar putea fi utilizată pentru a obține transformarea RGB în XYZ și după aceea s-ar putea calcula CCT. Este necesar un comentariu suplimentar, pentru linia Y, cu coeficienții săi b_{21} , b_{22} , b_{23} . Acești coeficienți sunt implicați în calibrarea după luminanță și trebuie păstrați la valorile inițiale.

5.3.4. Referințe

- [1] *** - „Best Practice: LED Street Lighting System”, cited at http://www.nyc.gov/html/unccp/gprb/downloads/pdf/LA_LEDstreetlights.pdf on Ian 2019
- [2] A. Ozadowicz ; J. Grela , „The street lighting integrated system case study, control scenarios, energy efficiency”, *Proceedings of the IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*, 2014 Pg 1-4
- [3] I. Ullman ; P. Bos ; J. Ullman, „New outdoor lighting — Operation and maintenance”, *17th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*, 2016, Pages: 1 – 4
- [4] J. P. Pallo ; S. Manzano ; D. Chicaiza ; C. Nunez ; F. Placencia ; F. Nunez, „Wireless system for control, monitoring and preventive maintenance of public street lighting”, *13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 2018
- [5] *** - Street lighting maintenance, management plan (Including Telematics), Reviewed – Dec. 2015, cited at https://www.middlesbrough.gov.uk/sites/default/files/Highways-Street_Lighting.pdf on Dec.2018
- [6] *** - „Energen limited public lighting management standard”, cited at https://swp.energen.com.au/upload/technical_documents/20170802_083444_7056.pdf in Ian. 2019
- [7] Australian Energy Regulator AER – „Forecast expenditure summary street lighting services 2015 to 2020” cited at <https://www.aer.gov.au/system/files/> on Ian 2019
- [8] F. Marino, F. Leccese, S. Pizzuti, „Adaptive street lighting predictive control”, *8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-16*, Turin, ITALY, Energy Procedia 111, 2017 790-799
- [9] S. Kulkarni , A. Kaintura, „Intelligent assistant for proactive street light management”, *International Conference on Advances in Computing, Communication and Control (ICAC3)*, 2017 Page 1 – 3
- [10] A. Lavric, V. Popa, S. Sfichi, „Street lighting control system based on large-scale wsn: a step towards a smart city”, *2014 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE)*, 16-18 October, Iasi, Romania, 2014, p. 673-676
- [11] R. Lohote, T. Bhogle, V. Patel, V. Shelke, „Smart street light lamps”, *2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET)*, 2018, Pages: 1 – 5
- [12] D. Beckwith, „Solid-state street lightingcalculating light loss factors” cited at https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/beckwith_depreciation_seattlemssl2011.pdf in Ian 2019
- [13] N. Eskandari, B. Jamshidieini, M. Rafiei, E. Abooei, „Maintenance of street lights by climbing robots in Alborz electric power distribution company”, *24th International Conference & Exhibition on Electricity Distribution (CIRED)* 12-15 June 2017
- [14] J. Hegedüs, G. Hantos, A. Poppe, „Lifetime isoflux control of LED based light sources”, *23rd International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems* , 2017
- [15] A. Ferro, „Street lighting monitoring at cabinet level using open-source tools: A real scenario”, *IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*, 2016, pg.1-4
- [16] P. Najafi, Z. Morteza, B. M. Hashemi, „Monitoring and remote sensing of the street lighting system using computer vision and image processing techniques for the purpose of mechanized blackouts (development phase)”, *CIRED 22nd International Conference on Electricity Distribution*, Stockholm, 10-13 June 2013, Paper 0954

- [17] H.B. Huang, H.C. Lee, „Detecting faulty street lamps with illumination maps”, *ACM/IEEE 11th International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN)*, 2012
- [18] M. Zacarias, C. de Oliveira, A. V. da Costa Oliveira, C. K. Souza ; S. Cândido ; J. L. da Silva, „New approaches in street lighting maintenance: The case of Natal”, *Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE)* Brazil, 2018
- [19] *** - State of Queensland (Department of Transport and Main Roads), Traffic and Road Use Management, *Volume 4 – Intelligent Transport Systems and Electrical Technology*, Part 2: Road Lighting Maintenance, cited at [https://www.tmr.qld.gov.au/business-industry/ Technical-standards-publications](https://www.tmr.qld.gov.au/business-industry/Technical-standards-publications) in Ian 2019
- [20] C.D. Galatanu, “Luminance measurements for light pollution assessment”, *International Conference on Electromechanical and Power Systems (SIELMEN)*, 2017, Pages: 456 - 461
- [21] M.C. Lu, C.-C. Hsu, Y.Y. Lu, „Distance and angle measurement of distant objects on an oblique plane based on pixel variation of CCD image”, *IEEE Instrumentation & Measurement Technology Conference Proceedings*, 2010, Pages: 318 – 322
- [22] C. Li, G. Cui., M. Melgosa, et al., “Accurate method for computing correlated color temperature”, *OPTICS EXPRESS* Volume: 24 Issue: 13 Pages: 14066-14078, 2016

5.4. Optimizarea conectării/deconectării sistemelor de iluminat public în funcție de clasa de drum

5.4.1. Problema coectării/deconectării sistemelor de iluminat public

Metodele utilizate în prezent pentru comanda ON / OFF a iluminatului stradal se bazează pe ceasuri astronomice, cu un calendar anual. Aceste ceasuri sunt implementate cu ora exactă a răsăritului și apusului de soare pe tot parcursul anului calendaristic. Prin modificarea acestor momente, este permis să se creeze o întârziere între momentele astronomice și momentele în care lumina soarelui devine insuficientă sau suficientă. Cu toate acestea, problema nu este complet rezolvată deoarece există unele variabile aleatorii, cum ar fi starea vremii, tipul de nori, existența precipitațiilor, posibil existența zăpezii. Din observații directe, dar și din [1], sunt raportate defecțiuni chiar și pentru situațiile în care sunt utilizate astfel de ceasuri. Este posibil să existe defecțiuni, discrepanțe în setări, după care iluminatul este conectat prea târziu (cu reclamații ale populației) sau prea devreme (cu costuri suplimentare pentru energia consumată).

În [1] se analizează limitele ceasurilor autonome, care se bazează pe un cristal de cuarț, cu o precizie foarte bună, dar nu perfecte. De aici rezultă și soluția mai complexă, care constă în utilizarea GPS-ului pentru a obține timpul real. Pe baza acestui timp, este implementat un algoritm pentru calcularea momentelor ON OFF, cu următorii pași principali [1]:

- Calculul perioadei din an
- Calculul corecției timpului pentru unghiul solar
- Calculul declinației soarelui
- Calculul unghiului orar solar
- Calculul unghiului zenital al Soarelui

Deoarece apusul nu este un fenomen liniar cu un prag foarte clar, sunt luate în considerare alte momente, cum ar fi apusul civil sau apusul de navigație (cunoscut și sub numele de apusul mării). Din aceasta rezultă unele dificultăți în stabilirea momentului de conectare / deconectare a iluminatului stradal. Singurul moment foarte bine definit este apusul astronomic, când centrul discului solar atinge 18 grade sub orizont și ochiul liber poate vedea stele până la a șasea magnitudine vizibilă (Mag 6). Evident, acest moment este mult prea târziu pentru iluminatul stradal.

În [2] dimmarea se realizează conform unui program prestabilit, dar și în funcție de intensitatea traficului. În funcție de intensitatea reală a traficului (<100, 100-500 și >500 mașini/oră) și viteza medie a mașinii, aceeași stradă se încadrează în categoriile de la ME4 la ME2. De aici se poate extinde principiul că, dacă o stradă poate fi iluminată la diferite niveluri

de iluminare în funcție de categoria sa, atunci conectarea / deconectarea se poate face luând în considerare acest nivel variabil minim al iluminării.

O altă lucrare foarte recentă [3], care urmărește iluminarea inteligentă în orașul inteligent, arată că problema stabilirii momentului în care se conectează / deconectează iluminatul stradal este tratată insuficient sau chiar neglijată. Se indică faptul că aceste momente depind de perioada anului, dar conform unui regulament local, este indicat un tabel (pagina 1030) cu opt perioade calendaristice pentru întregul an. Examinând acest tabel, se constată că reglarea timpului se face cu pași de maximum 9 minute. Acest timp poate fi considerat timpul maxim când sistemul de iluminare este conectat inutil, cu un consum nejustificat de energie. Dacă adăugați dublul acestui timp (luat în considerare pentru dimineața și seara) și multiplicăm pentru tot anul, atunci rezultă valori care nu pot fi neglijate, indiferent dacă analizăm o localitate foarte mare sau foarte mică. Tot în [3] se descoperă o cerere suspectă, aceea de conectare a iluminatului public pentru a asigura un nivel minim de 20 lux pentru iluminatul stradal. Or, acest nivel minim este variabil, în funcție de categoriile de drumuri și, prin urmare, momentul conectării trebuie să fie variabil, de asemenea, în funcție de categoria de drum.

Obținem o confirmare suplimentară de la un alt proiect [4], bazat tot pe SMART CITY, în care pe baza geolocației GPS se obține timp real și se calculează timpul astronomic. Cu toate acestea, acest proiect a dezvoltat o hartă de comutare a orarului prin care se poate seta manual programul pentru diferite zone. Fără a avea o explicație specială, se poate deduce că programul de operare declarat după ceasul astronomic nu este satisfăcător, sunt necesare ajustări suplimentare. Și când se fac ajustări suplimentare, factorul subiectiv este prezent. Cea mai importantă este vederea mezopică.

5.4.2. Vederea mezopică

Perioada de timp în care se face schimbarea de la zi la noapte este cunoscută de șoferi, deoarece generează dificultăți de adaptare de la vederea fotică la cea mezopică. Vederea scotopică (de noapte) nu este complet activată decât în absența surselor de lumină, ceea ce nu este cazul. Deci, atunci când încercăm să stabilim pragul în care este nevoie de iluminatul stradal, ne confruntăm și cu o problemă de adaptare [5]. Chiar și măsurarea acestui prag este dificilă, deoarece unitatea de măsură (*lux*) în sine este definită pentru viziunea fotică. În plus, spectrul sursei de iluminare este important, sensibilitatea ochiului fiind descrisă de diagrama lui Kruithof.

Un parametru care descrie influența spectrului este raportul S/P (Scotopic/Photopic). Dacă în [5] se compară raportul S/P pentru două tipuri de surse (LED și HP sodiu), în [6] se analizează efectul a șase tipuri de LED-uri, cu CCT de la 3500K la 6500K. Pentru aceste surse, raportul S/P

variază foarte mult, de la 1.598 la 2.269. Acest lucru explică „atractivitatea” crescută a surselor cu CCT mare (lumină albă rece), chiar dacă efectele negative au început să fie cunoscute, ca suprimare a melatoninei. În [6] sunt comparate luminanța mezopică pentru raport S/P diferit și luminanță fotopică. Există diferențe importante care nu pot fi neglijate.

5.4.3. Răsăritul și apusul soarelui

Pentru a determina modul în care variază nivelul de iluminare în amurg, autorul a făcut o serie de măsurători ale iluminării, conform principiului prezentat în Figura 8 din [7]. Acolo, problema a fost determinarea variației luminozității în funcție de nivelul de dimmarea, făcându-se un singur set de măsurători. Pentru lucrarea de față ne-a interesat cum variază iluminarea orizontală pe parcursul mai multor zile.

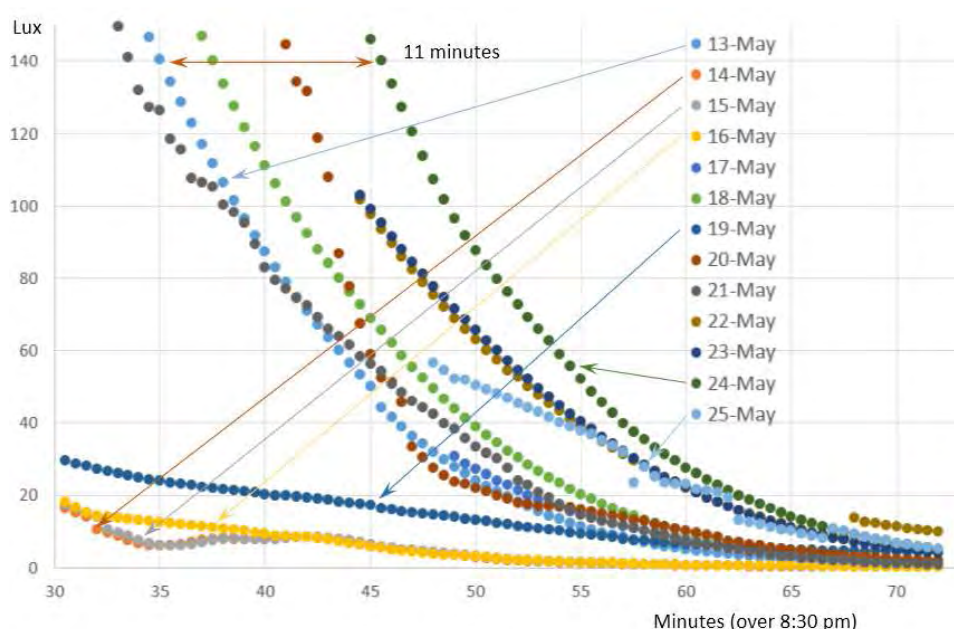


Figura 164 Modul de variație al nivelului de iluminare pentru diferite tipuri de apus

Pentru apusul soarelui (Figura 164), o observație foarte obișnuită pentru observatorul de zi cu zi, este că există diferențe majore în funcție de starea cerului, indiferent dacă este acoperit de nori sau senin. Pentru o zi cu nori grei, apusul se poate manifesta cu o anticipare de $20 \div 30$ de minute, comparativ cu cerul senin. Între 13 mai și 24 mai există o întârziere de 11 minute. Răsăritul are variația simetrică, pentru aceeași perioadă, înainte de solstițiul de vară, ca în Figura 165:

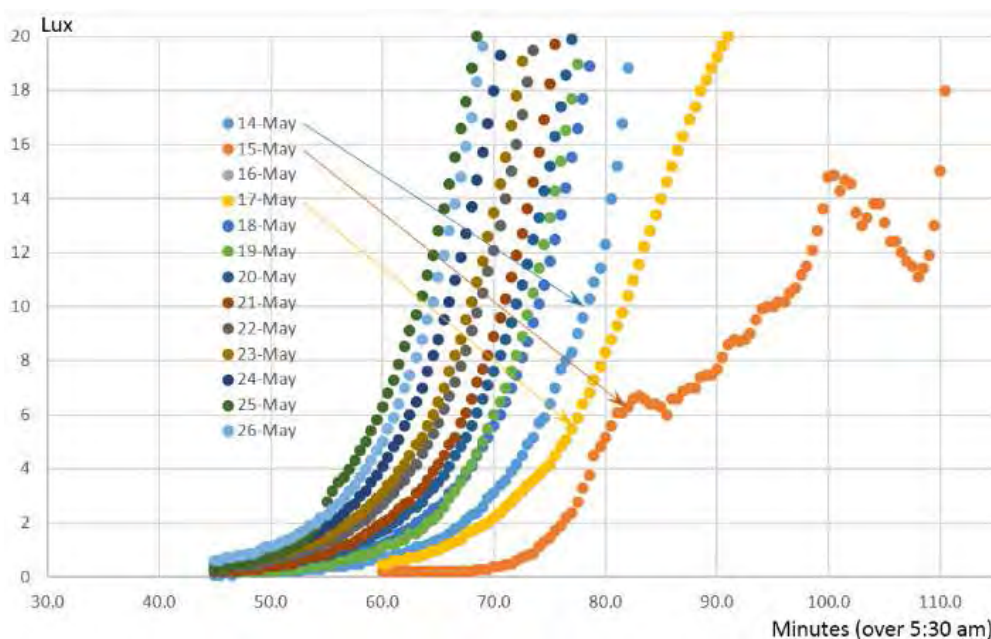


Figura 165 Modul de variație al nivelului de iluminare pentru diferite tipuri de răsărit

Prezența norilor generează o întârziere importantă, aproximativ 20 de minute pentru 17 mai și chiar mai mult decât dublul pentru 15 mai.

Dacă se dorește setarea timpului optim pentru conectarea iluminatului stradal, atunci intervine și nivelul de luminanță dorit. Deoarece acest nivel depinde de clasa de drum, rezultă, de asemenea, că orele de conectare / deconectare vor fi diferite și nu identice pentru o localitate, așa cum este astăzi.

5.4.4. Pragul de iluminare pentru comanda iluminatului stradal

Chiar și în [8] luminanța este acceptată ca fiind dificil de măsurat într-o anumită situație (dacă observatorul nu ar putea fi plasat la 60 până la 160 m de punctul măsurat). În această situație, clasele de iluminare ale drumului vor fi descrise în funcție de nivelul de iluminare, așa cum este Tabelul 2 din [8], unde $\overline{E_{min}}$ (iluminare medie minimă menținută) variază de la 50 lux pentru clasa C0 la 7,5 lux pentru clasa C5. Folosind uniformitatea generală U_o (raportul dintre iluminarea cea mai mică și cea medie), se calculează o coloană suplimentară din Tabel 15, cu E_{min} (iluminare minimă). Aceste valori ar putea fi utilizate ca valori prag pentru regimul ON / OFF al iluminatului stradal, în funcție de clasele de iluminat.

Tabel 15 Pragul pentru comanda PORNIT / OPRIT a iluminatului stradal (Tabelul 2 din [7])

C Clase de iluminat	$\overline{E_{min}}$ lux	U_o -	E_{min} lux
C0	50	0.4	20
C1	30	0.4	12
C2	20	0.4	8
C3	15	0.4	6
C4	10	0.4	4
C5	7.5	0.4	3

Examinând Figura 164 și Figura 165, se observă că durata tranziției iluminării de la 3 lx la 20 lx este mai mare de 10 minute pentru cerul senin la răsăritul soarelui. Ca o observație suplimentară, se descoperă valoarea de 20 lx recomandată în [3], dar în Tabel 15 avem argumentul de a fi asociat doar pentru clasa C0.

5.4.5. Contrastul de luminanță și vederea în timpul crepusculului

Momentul optim pentru regimul ON / OFF pentru iluminatul stradal ar putea fi stabilit în funcție de percepția vizuală, iar vizibilitatea ar putea fi măsurată prin intermediul contrastului de luminanță. Pentru a măsura acest lucru, au fost pregătite un număr de patru ținte, cu dimensiuni de 210x297 mm, fiecare cu patru zone, alb-negru, ca linii orizontale. Țintele sunt plasate într-un aranjament simetric, ca în Figura 166:

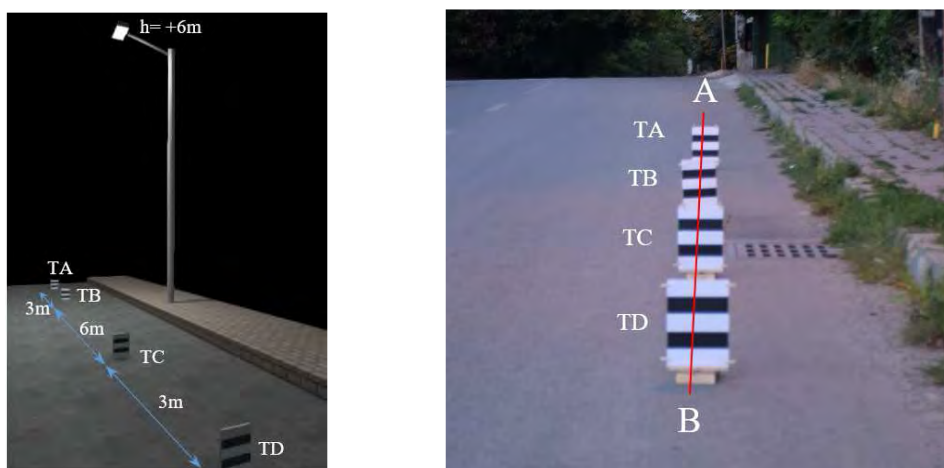


Figura 166 Configurație geometrică pentru măsurarea vizibilității țintelor TA, TB, TC și TD pentru măsurarea contrastului de luminanță, model DIALux în stânga și fotografie din teren în dreapta; AB este direcția pentru evaluarea contrastului de luminanță

Figura 166 (stânga) este realizată în DIALux Evo 8.2, dar software-ul nu a fost folosit pentru simulări, deoarece măsurătorile au fost făcute în condiții reale de apus. Cu aceste pregătiri la fața locului, s-au făcut o serie de măsurători imagistice, în timpul apusului. A fost utilizată aceeași abordare ca în Figura 164, măsurând iluminarea cu un luxmetru Gossen MAVOLUX 5032C USB, obținând variația particulară ca în Figura 167:

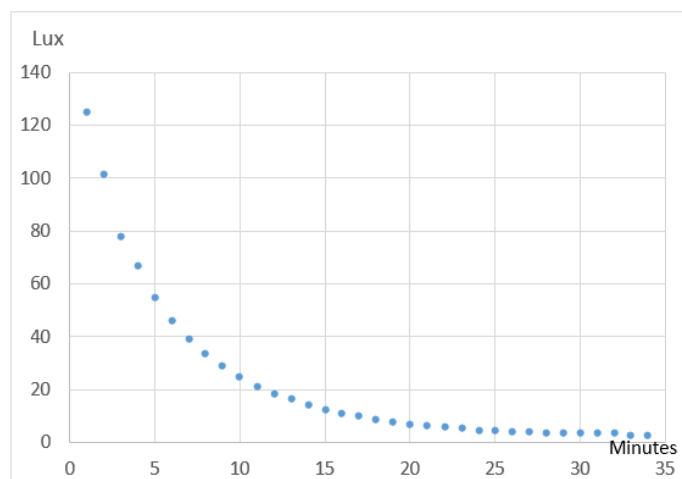


Figura 167 Variația iluminării în timpul apusului, cu măsurarea imaginii făcută în fiecare minut, așa cum este indicat în Figura 168

Măsurarea s-a bazat pe procesarea imaginii, pe baza [9,10]. Rezultatele sunt prezentate în Figura 168, care trebuie văzută ca serie temporală, fiind indicat minutul de măsurare.

Măsurători imagistice pentru iluminatul stradal

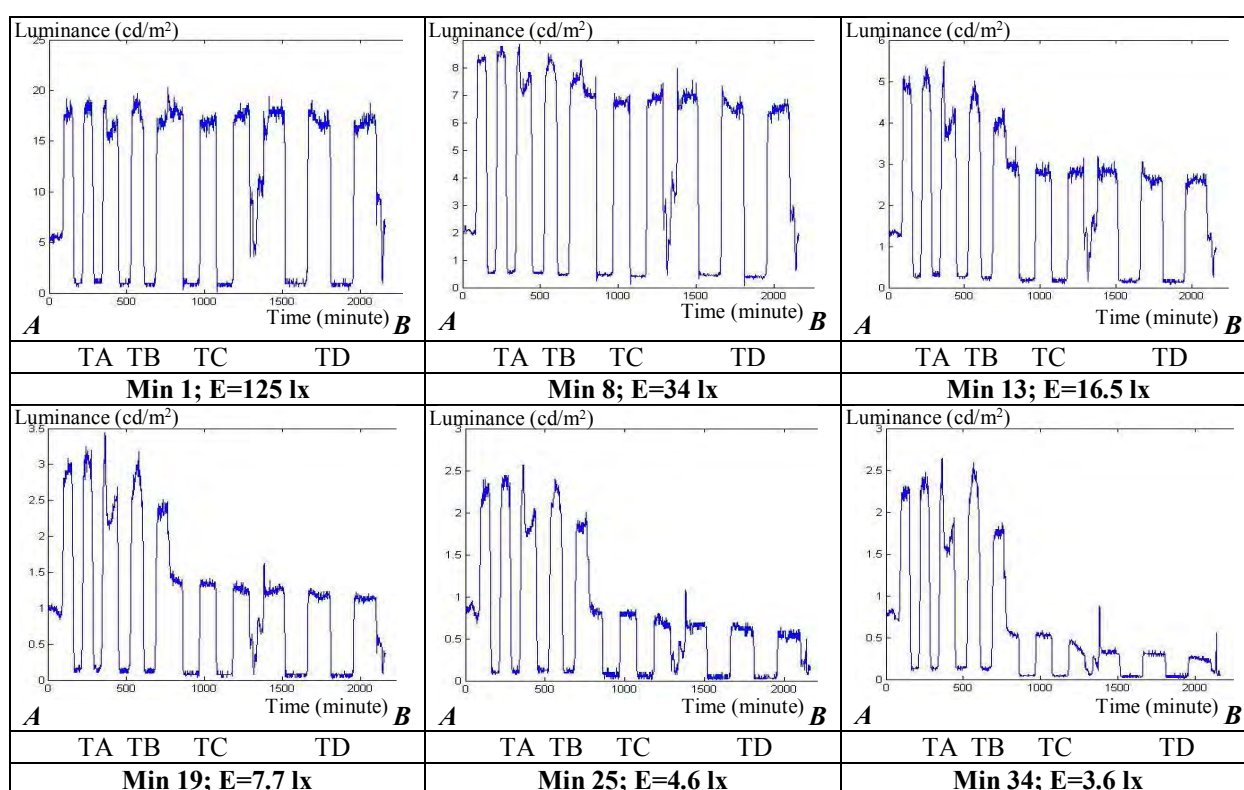


Figura 168 Evoluția luminanței (cd/m^2) în timpul apusului, pentru nivelul general de iluminare (lx) și minutul de măsurare, pentru direcția AB din **Figura 166**

Figura 168 prezintă evoluția contrastului de luminanță pentru scena din Figura 166, direcționată pe direcția liniară AB. Direcția de observare AB este indicată pentru fiecare dintre cele șase secvențe. Pentru a interpreta cu ușurință imaginile, se indică și pozițiile țințelor TA, TB, TC și TD. Fiecare variantă indică, de asemenea, minutul în care a fost realizată, în raport cu momentul de început al amurgului. Există astfel posibilitatea de a obține o imagine dinamică pentru evoluția contrastului de luminanță în timp, după cum urmează:

Minutul 1: Lumina naturală este prezentă, țințele sunt vizibile mod similar;

Minutul 8: Iluminatul stradal conectat, luminanța țințelor începe să scadă, TA și TB încep să beneficieze de iluminatul stradal, TC și TD nu sunt iluminate, dar sunt încă vizibile, contrastul de luminanță > 14 ;

Minutul 13: Iluminarea generală scade, contrastul continuă să scadă, dar țințele sunt vizibile;

Minutul 19: Contrastul de luminanță pentru țințele TC și TD este unitar, vizibilitatea există încă;

Minutul 25: Țintele TC și TD, fără iluminare stradală, ating pragul de vizibilitate, pentru un contrast de luminanță egal cu 0,7 și pentru o iluminare orizontală de 4,6 lx;

Minutul 34: Contrastul de luminanță pentru TC și TD scade sub 0,5, țintele devin insuficient vizibile. TA și TB rămân aceleași ca în minutul 25, beneficiază de iluminatul stradal.

Limita de prag de 4,6 lux se găsește în Tabel 15 și este practic utilă pentru clasele C3-C5, dar demonstrația de bază constă în faptul că momentul conectării/deconectării trebuie să fie stabilit în funcție de clasa de iluminat a străzii.

5.4.6. Referințe

- [1] S.Y. Kadirova¹, D.I. Kajtsanov, A real time street lighting control system, 15-th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA (2017), 174-178
- [2] A. Avotins, J.Bicans, Context application to improve LED lighting control Systems, 56th International Scientific Conference on power and electrical Engineering of Riga Technical University, (2015), 1-4
- [3] C. B. Soh, J. J. Tan, K. J. Tseng, W. L. Woo, J. W. Ronnie Teo, Intelligent street lighting for smart cities, IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia), (2018), 1027 – 1031
- [4] F. Campos, A. Simões, I. Sousa, R. Almeida, P.Daniel, Smart IP – central management system for public lighting in Portugal, CIRED - Open Access Proceedings Journal, (2017), 1479 – 1481
- [5] R. Baleja, K. Sokanský, T. Novák, T. Hanusek, P. Bos, Measurement and Evaluation of the Road Lighting in Mesopic and Photopic Vision, IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries -Lumen V4, (2016)
- [6] L. Dong, L.Qin, W. Xu, L. Zhang, The impact of led correlated color temperature on visual performance under mesopic conditions, IEEE Photonics Journal Vol: 9, No: 6
- [7] F. Viani, A. Polo, F. Robol, E. Giarola, A. Ferro, Experimental validation of a wireless distributed system for smart public lighting management, IEEE International Smart Cities Conference ISC2, (2016), 1 – 6
- [8] ***, EN 13201-2 Road lighting - Performance requirements (2015)
- [9] C.D.Galatanu, Luminance measurements for light pollution assessment, International Conference on Electromechanical and Power Systems SIELMEN, (2017), 456-461
- [10] C. D. Galatanu, M. Husch, L. Canale, D. Lucache, Targeting the Light Pollution: A Study Case, IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe) (2019)

5.5. Măsurarea proprietăților de reflexie a asfaltului folosind metode fotografice

5.5.1. Introducere

Lucrarea a identificat un parametru care stă la baza calculului luminanței unui sistem de iluminat stradal, calitățile de reflexie ale asfaltului. De obicei sunt utilizate date prestabilite, definite pentru categorii mari de asfalt (Europa sau SUA), cu puține posibilități de estimare a stării reale a materialelor. Este o provocare că, în timp ce caută rezultate extrem de precise în ceea ce privește calculul, de exemplu, factorul de reflexie este afectat de un grad ridicat de aproximări.

5.5.2. Argumente pentru măsurarea reflexiei asfaltului

Problema asfaltului, ca soluție pentru drumuri, începe să fie pusă la îndoială. În acest articol foarte recent [1] ne provoacă viziunea că asfaltul, așa cum îl cunoaștem, va fi înlocuit de cu totul alte materiale, din diverse motive (energie solară cu conversie fotovoltaică sau termoelectrică, reutilizarea materialelor reziduale). Pentru aceste materiale noi, pentru care comportamentul lor în timp nu este cunoscut, este cu atât mai important să se măsoare factorul de reflexie.

5.5.2.1. Recoltarea energiei solare și factorul de reflexie

Una dintre cele mai promițătoare direcții de evoluție a drumului este producția de energie electrică prin conversie fotovoltaică [2]. Evident, obiectivul principal va fi transparența și durabilitatea suprafeței, astfel încât măsurarea reflexivității este o necesitate. Dar există și posibilitatea recoltării energiei solare prin conversie termică sau termoelectrică [3]. Chiar dacă amplitudinea acestei metode este mai puțin dezvoltată în comparație cu conversia PV, obiectivul principal devine obținerea unui coeficient de absorbție cât mai mare posibil (albedo cât mai mic posibil), cerință contrară obținerii de luminanțe mari pe timp de noapte, pentru vizibilitate sporită.

În alte cercetări referitoare la încălzirea globală și răspunsul asfaltului în infraroșu [4], se descoperă confirmarea faptului că diferitele tipuri de asfalt au răspuns foarte diferit între ele, în funcție de compoziție (structură) și uzură sau vârstă. O concluzie importantă în [4] este că „dependența factorului de reflexie difuză de dimensiunea spotului luminos, pentru a determina o dimensiune minimă a spotului luminos pentru orice alt studiu optic. Prin compararea BRF (factorul de reflectanță bidirecțională) cu un etalon alb -Lambertian Spectralon", concluziile sunt că asfaltul este, în general, un bun dispersor difuz. Această afirmație va fi contrazisă mai târziu și o vom confrunța cu propriile noastre măsurători.

Atunci când este necesar un răspuns IR mai scăzut, se utilizează asfaltul cu albedo mare, dar se contrazic alte obiective la fel de actuale, cum ar fi detectarea marcajelor benzii [5]. În această

ipoteză de lucru, culoarea luminii este un dezavantaj, deoarece vederea necesită un contrast de luminanță ridicat între asfalt și marcaje, pentru a obține o vizibilitate bună.

5.5.2.2. Eficiența energetică și importanța factorului de reflexie

O altă direcție distinctă în care este implicat asfaltul este aceea a eficienței energetice a sistemelor de iluminat. Acest lucru poate fi realizat prin sursele de lumină în sine (și am văzut progresul evident al surselor LED), dar pot exista și alte modalități de a crește eficiența energetică. Una dintre ele este diminuarea, dar nu în mod tradițional. Dimming care urmează o filozofie originală este prezentat în [6]. Aici se bazează pe constatarea că pe teren nu este posibil să se asigure pasul constant între stâlpii de iluminat, așa cum se ia în considerare în faza de proiectare. Distanța dintre stâlpi este aproape non-stop redusă cu câțiva metri, datorită intersecțiilor și căilor de acces în proprietăți. Aceste reduceri pot fi compensate cu un raport de dimmare personalizat pentru aproape fiecare stâlp. În raport cu această strategie se poate propune un alt factor de dimmare, care ține cont de faptul că în proiect se efectuează calcule pentru asfalt nou, deci este o rezervă de dimmare care poate fi aplicată după câțiva ani, împreună cu uzura asfaltului. Pentru aceasta, totuși, trebuie să măsurăm reflectanța in situ, care este și obiectivul nostru.

Există, de asemenea, abordări clasice, în care sistemul de iluminare urmează să fie modernizat [7], dar problema măsurării factorului de reflexie este neglijată și este menționată doar:

- Date despre poli;
- Aranjamente geometrice.

Eficiența energetică poate fi obținută și prin calcule precise, ca în [8], care este o abordare clasică și tradițională. Dar dacă există un scop de reducere a aproximărilor de la 20% la 10% și apoi chiar la 5% și în final la 1% nu este permis să se evite parametrul de care depinde în mod direct luminanța, adică factorul de reflectanță al asfaltului, așa cum se vede în [8].

Soluțiile de modernizare pot fi o altă abordare a eficienței energetice. În [9] este utilizată optimizarea soluțiilor cu ajutorul puterii de calcul a DIALUX, dar răspunsul reflectant al influenței asfaltului nu este accesibil și nici nu este menționat, ceea ce pune în discuție întreaga optimizare a [9].

Eficiența energetică se obține, de asemenea, luând în considerare iluminarea naturală în timpul amurgului, ceea ce schimbă timpul și modul de conectare a iluminatului artificial [10]. După ce a constatat că iluminarea naturală este izotropă (după apusul soarelui, când cerul este încă strălucitor), reafirmă ceea ce se știa de fapt, că iluminatul artificial este anizotrop, contrazicând astfel afirmația că asfaltul este perfect difuz, din [4].

5.5.2.3. Reflectanța asfaltului și poluarea luminoasă

Problema reflexiei asfaltului nu poate fi disociată de cea a poluării luminoase. Chiar dacă lumina incidentă pe drum nu este considerată poluare luminoasă, ceea ce se reflectă contribuie la poluarea luminoasă. În [11] se găsește studiul exact al acestui parametru, proprietățile reflectante ale solului (reflexie spectrală clară a solului, asfaltului și betonului) și strălucirea cerului.

În [12] această analiză este continuată, extinzând-o la situația extremă de vară - iarnă. Coroanele (ramurile) copacilor sunt, de asemenea, modelate clar, cu sau fără prezența frunzelor sau a zăpezii. Cu toate acestea, argumentele din [12] sunt valabile și pentru iluminatul stradal, fără a fi nevoie de argumente suplimentare.

Optimizarea sistemelor de iluminat poate beneficia de instrumente moderne, cum ar fi algoritmul genetic [13]. Totuși, aici poate fi găsit un lucru interesant, deoarece întreaga optimizare se referă la nivelul de iluminare. Sau, dacă factorul de reflexie nu este luat în considerare, atunci **calculul în funcție de iluminare poate genera supradimensionare**. Metoda de abordare este și mai surprinzătoare atunci când se dorește modelarea precisă a poluării luminoase, pentru care se evaluează nivelul de iluminare în zonele din apropierea drumului.

Există, de asemenea, mai puține abordări, cum ar fi [14], în care proiectele de tip ESCO sunt urmărite la câțiva ani după punerea în funcțiune. Se arată că există parametri care nu sunt încă în uz curent. Utilanța sau factorul de utilizare [15] este una dintre ele și exprimă în esență raportul dintre fluxul luminos incident pe drum și fluxul luminos efectiv emis de corpul de iluminat. Imaginea globală a tuturor acestor factori este prezentată în Figura 169.

5.5.3. Complexitatea măsurării reflectanței și performanța iluminatului stradal

Toate argumentele de până acum ne conduc la importanța măsurării factorului de reflectanță al asfaltului. În astfel de situații, precum cele ale intrărilor în tunelurile rutiere [16], contrastul luminanțelor este important pentru a obține o vizibilitate sigură. În aceste scene vizuale, reflectanța asfaltului este evaluată în contextul celorlalți parametri:

- Luminozitatea cerului (senin sau tulbure);
- Luminozitatea drumului (zi, noapte);
- Reflectanța și luminanța vegetației;
- Emisivitatea clădirilor;
- Luminozitatea stâncilor și peisajul montan.

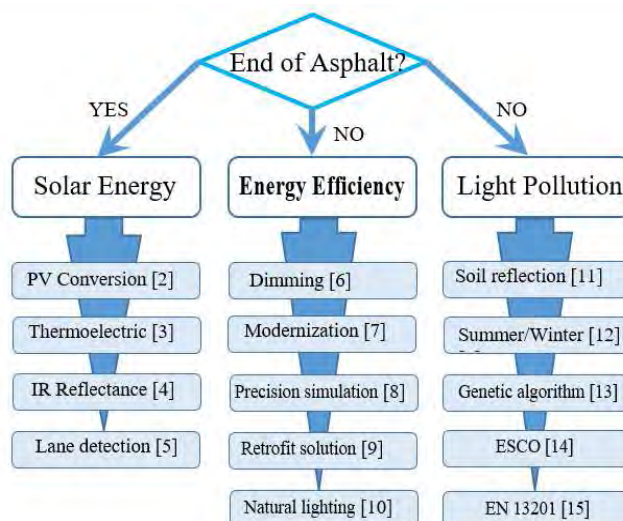


Figura 169 Influența factorului de reflectanță al asfaltului asupra altor aspecte legate de iluminat

Spre deosebire de [16] este [17], unde este prezentat un sistem foarte complex de măsurare in situ a sistemelor de iluminat rutier, care folosește un cadru echipat cu senzori multipli, un cadru transportat de un vehicul pe drum. Se obțin rezultate globale de iluminare și nivel de uniformitate, dar nu găsim informații despre luminanță. Cu toate acestea, un exemplu pozitiv este [18], care demonstrează importanța analizei distribuției luminanțelor, chiar dacă numai iluminarea poate fi acceptată pentru zonele de conflict [15]. Acceptarea iluminării este justificată de faptul că în zonele de conflict (joncțiuni) vizibilitatea trebuie asigurată pentru mai multe configurații relative ale șoferului și țintei. Metoda fotografică din [18] demonstrează că se pot obține informații globale (altfel indisponibile) care includ reflectanța asfaltului, inclusiv marcaje rutiere sau alte semne.

Cu toate acestea, despre complexitatea problemei suntem avertizați în [19], unde se afirmă că pentru anumiți coeficienți de luminanță q (β , r) [15], deoarece există reflexie dirijată a suprafeței drumului, „valorile optime pentru luminanță și iluminare nu pot să fie obținut simultan”. Această contradicție este un argument suplimentar pentru măsurarea factorului de reflectanță al asfaltului.

Același parametru capătă o altă relevanță pentru zonele tropicale, unde se urmărește asfaltul cu reflectanță ridicată [20]. Este interesant faptul că implicațiile sunt analizate numai în ipoteza diurnă, în timp ce beneficiile iluminatului stradal ar putea fi mult mai spectaculoase.

Dar măsurătorile efective ale acestor parametri nu sunt simple, așa cum se vede în [21], pentru care sunt notate unele aspecte ale programului experimental:

- Măsurători efectuate pe parcursul a trei ani;
- Nouă tipuri de asfalt;
- Două tipuri de materiale de uzură;
- Beton asfaltic cu particule de 11 - 16mm;

- Vârste diferite ale asfaltului, între 2 și 10 ani;
- Uzură diferită, dar moderată.

Este evident că o astfel de abordare sistematică depășește obiectivul unui proiect de iluminat stradal, care trebuie să fie capabil să realizeze o dimensionare optimă pentru situația la un moment dat.

Argumentul final pentru această cercetare se găsește în lucrarea de referință, cu caracter monografic [22], unde sunt analizate standardele specifice pentru iluminatul stradal, în evoluția lor. Se pare că multe dintre valorile impuse sunt destul de arbitrare. Există, de asemenea, afirmații interesante și anume „măsurarea luminanței în situ ar putea indica variații de până la 45% față de valoarea proiectată”. Explicația este, de asemenea, oferită: „O contribuție la această diferență este incertitudinea în datele reflectante ale suprafeței drumului, de exemplu vârsta și volumul de trafic”.

Principalele situații legate de măsurarea reflectanței asfaltului sunt prezentate în Figura 170:

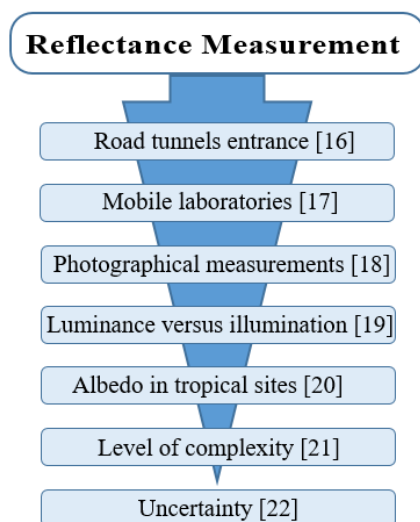


Figura 170 Problemele legate de măsurarea reflectanței asfaltului

În ansamblu, incertitudinea care există în multe modele de iluminat din cauza lipsei măsurărilor reflectanței asfaltului trebuie redusă.

5.5.4. Evaluarea coeficientului de luminanță redus pentru tipul de asfalt C2, N1 și W4

Pentru a pregăti programul de măsurare pentru coeficientul de luminanță redus r , este necesar să se analizeze în avans intervalul de variație al acestui parametru pentru datele existente [15], respectiv pentru unele tipuri de asfalt. Valorile sunt analizate pentru punctele pentru care în [15] este indicat calculul luminanței pentru un observator situat la o înălțime de 1,5 m și o distanță de 60 - 100 m. În Figura 171 sunt indicate un număr de 13 puncte de calcul, distribuite cu un pas de 3 m de-a lungul benzii de circulație în vecinătatea stâlpilor ($H = 10\text{m}$). Valorile unghiurilor β și ε din Figura 171 pentru punctele de măsurare sunt indicate în Tabel 16. Trebuie remarcat faptul

că pentru următoarea serie de puncte de măsurare (spre axa drumului) aceste valori sunt foarte apropiate, ceea ce ne permite să reducem în mod semnificativ numărul de valori pentru care trebuie măsurat coeficientul de luminanță redus r , fără a fi nevoie să completăm întreaga matrice de valori, așa cum este indicat în [15, p.17] pentru $\text{tg } \beta$ între 0 și 12 și ε între 0 și 180 °.

Acest lucru limitează foarte mult numărul de elemente din matricea cu valori ale coeficientului de luminanță redus.

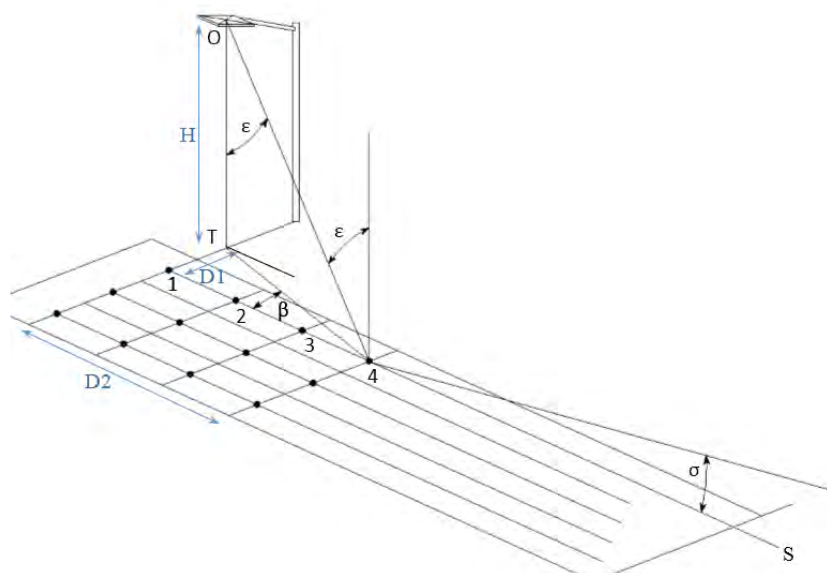


Figura 171 Puncte pentru calculul luminanței, conform [15].

În Tabel 16 se poate vedea că după primele 3-4 puncte de calcul în apropierea stâlpului, unghiul β ajunge la 10 ° ÷ 5 °, iar unghiul ε ajunge la 55 ° ÷ 75 °. Aceste zone pot reduce cantitatea de date care trebuie măsurată și analizată.

Tabel 16 Valori pentru unghiurile β și ε pentru punctele din Figura 171

	D1	D2	β	ε
<i>Punct</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>grade</i>	<i>grade</i>
1.	3	0	90.00	16.70
2.	3	3	45.00	22.99
3.	3	6	26.57	33.85
4.	3	9	18.43	43.49
5.	3	12	14.04	51.05
6.	3	15	11.31	56.83
7.	3	18	9.46	61.28
8.	3	21	8.13	64.76
9.	3	24	7.13	67.54
10.	3	27	6.34	69.79
11.	3	30	5.71	71.65
12.	3	33	5.19	73.21
13.	3	36	4.76	74.53

Următoarea etapă pregătitoare pentru programul de măsurare este estimarea intervalului de variație a factorului de reflectanță, pentru diferite tipuri de asfalt. În [15] se folosește o altă

variabilă, și anume coeficientul de luminanță redus, care este utilizat pentru a calcula luminanța L pentru observatorul standard, conform [15]:

$$L = \frac{I \times r \times \Phi \times MF \times 10^{-4}}{H^2} \quad (10)$$

unde:

I – Intensitatea luminii (cd/klm);

r – Coeficient de luminanță redus;

Φ – Flux luminos;

MF – Factor mentenanță;

H – Înălțimea de montare a corpului de iluminat.

Ecuția (10) este valabilă pentru reflexia dirijată, pentru care coeficientul de luminanță redus r modelează exact această reflexie. Dacă acceptăm ipoteza că reflexia ar fi perfect difuză, atunci asfaltul ar fi descris cu un material cu factor de reflectanță ρ care ar produce, pentru unghiurile considerate, aceeași luminanță L :

$$L = \frac{\rho \times E}{\pi} \quad (11)$$

unde E este iluminarea punctului de calcul, produsă de aceeași intensitate de iluminare I :

$$E = \frac{I \times \cos \varepsilon}{l^2} \times MF \quad (12)$$

unde l este distanța dintre corpul de iluminat și punctul de calcul.

În (11) se include (12) și scriem egalitatea cu (10):

$$\frac{I \times r \times \Phi \times MF \times 10^{-4}}{H^2} = \frac{\rho}{\pi} \frac{I \times \cos \varepsilon}{l^2} \times MF \quad (13)$$

Efectuarea operației necesare va furniza factorul de reflectanță:

$$\rho = \pi \frac{r \times 10^{-4}}{(\cos \varepsilon)^3} \quad (14)$$

Este necesar să precizăm că, din moment ce coeficientul de luminanță redus r nu este constant, nici reflectanța ρ nu va fi o constantă, ci o funcție de β și ε care este:

$$\rho(\beta, \varepsilon) = \pi \frac{r(\beta, \varepsilon) \times 10^{-4}}{(\cos \varepsilon)^3} \quad (15)$$

Pentru primele 14 puncte de calcul din vecinătatea coloanei și a asfaltului de tip C2, se obține o variație prezentată în Figura 172. Se observă că se începe de la coeficienți de reflexie de $\rho = 0,15$ sub coloană ($\varepsilon = 0^\circ$) și valorile cresc pe măsură ce unghiul de incidență crește la 75° - 85° .

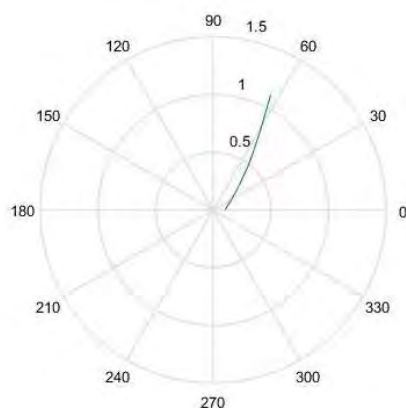


Figura 172 Factorul de reflecție în coordonate polare (ϵ) pentru tipul de asfalt C2.

Figura 172 ne obligă, de asemenea, să analizăm ce se întâmplă cu factorul de reflectanță pentru alte tipuri de asfalt. În Figura 173 este prezentată variația factorului de reflectanță pentru asfaltul C2 împreună cu asfaltul de tip N2. Se observă o gamă diferită de variație, dar cu aceeași tendință de a crește reflexia pentru unghiuri incidente mari și ascuțite. Luminozitatea relativă a asfaltului N2 este mult mai mică decât cea a asfaltului C2. Chiar dacă coeficientul de luminanță mediu ponderat (Q_0) al asfaltului C2 (CIE) este egal cu coeficientul de luminanță mediu ponderat al asfaltului N2, respectiv $Q_0 = 0,07$, pavajul N2 (beton) este evident mai difuziv.

Cu acest rezultat, următorul pas este de a investiga ce se întâmplă pentru cel mai strălucitor asfalt, în condiții umede: W4.

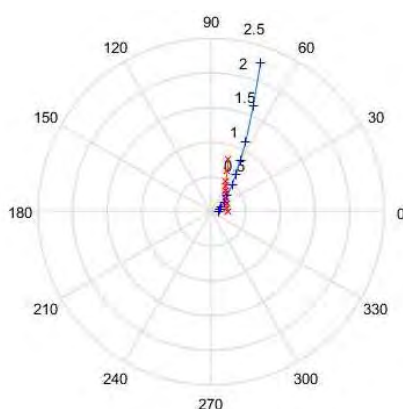


Figura 173 Factorul de reflectanță în coordonate polare (ϵ) pentru asfaltul de tip C2 (albastru și '+' și asfaltul de tip N2 (roșu și 'x').

Rezultatele pentru factorul de reflectanță pentru asfaltul W4 sunt prezentate în Figura 174:

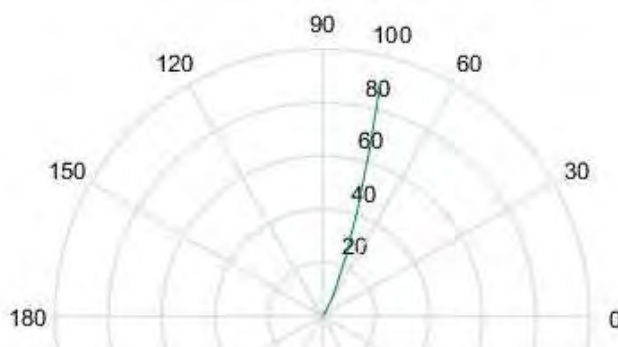


Figura 174 Factorul de reflecție în coordonate polare (ϵ) pentru tipul de asfalt W4.

Rezultatele prezentate în Figura 174 nu ne permit să acceptăm că acesta ar putea fi un factor de reflectanță, fiind vizibil un efect de amplificare evident. Concluzia noastră este că ipotezele care ne-au condus la (15) sunt valabile pentru asfaltul cu structură poroasă și își pierd valabilitatea pentru asfaltul lucios și cu atât mai mult cu suprafața umedă. Pentru reflexia dirijată, cu siguranță un factor de reflectanță ca (15) nu are sens. Aceste observații sunt utile în procesarea și interpretarea atentă a datelor din măsurarea factorului de reflectanță.

5.5.5. Măsurători experimentale

Pentru programul de măsurare a pornit de la geometria punctului sursă de măsurare din Figura 171 [15] și cu intervalul de valori pentru ϵ și β din matricea coeficientului de luminanță redus r [15]. În special pentru a acoperi intervalul maxim pentru $\tan \epsilon$, este necesară o distanță de maxim 12m a punctului țintă în raport cu axa optică a sursei de lumină, dacă sursa de iluminare este situată la o înălțime de 1m, o configurație care generează un factor de 1:10. Pentru a testa principiul de măsurare, a fost utilizată o suprafață de lucru de 5m lungime, conform Figura 175. Camera digitală calibrată pentru măsurarea luminanței este plasată la o înălțime de 15 cm și la o distanță de 6 m, pentru a păstra unghiurile σ ale observatorului ca în Figura 171 [15]. Pentru simplitatea prezentării, vom lucra numai pe direcția sursei de lumină observator, adică $\beta = 0^\circ$ și $\beta = 180^\circ$. Câmpul de luminanță obținut este prezentat în Figura 176.

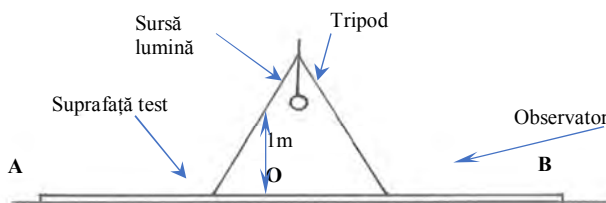


Figura 175 Macheta pentru măsurători folosind metoda de imagine

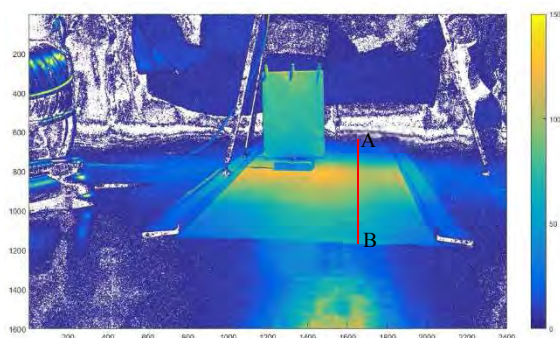


Figura 176 Harta luminanței (cd/m^2) pentru standul experimental, AB este domeniul de măsurare

În Figura 176, linia AB este domeniul de măsurare, care corespunde $tg\ \varepsilon = (0\text{ la }2,5)$, $\beta = 0$ și $\beta = 180$. Suprafața de testare a fost un material presupus lambertian perfect (carton gri), cu intenția de a obține o iluminare controlată (dintr-o sursă punctiformă), respectiv intensitatea luminoasă incidentă în fiecare punct pentru care se măsoară iluminarea. Distribuția iluminărilor măsurate și calculate pe direcția AB sunt disponibile în Figura 177:

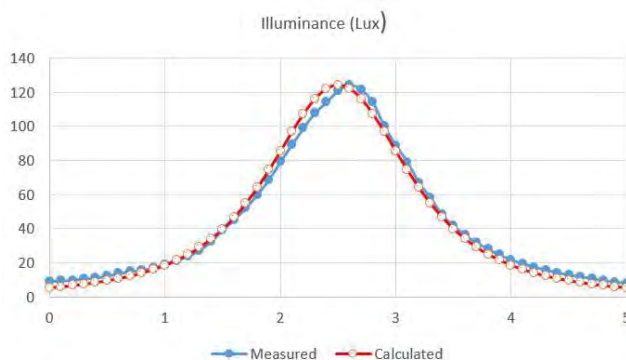


Figura 177 Nivelul de iluminare (lux) pentru direcția AB din Figura 176

Cu această distribuție cunoscută pentru iluminare și, prin urmare, pentru intensitatea luminii incidente în fiecare punct, s-a intenționat să se verifice proprietatea de reflexie difuză a cartonului, respectiv să se valideze întregul lanț de măsurare. Rezultatele obținute au arătat, totuși, că reflexia cartonului nu este perfect difuză, având o componentă direcțională destul de evidentă. Acest aspect poate fi văzut și în Figura 176.

În Figura 178 distribuția luminanței (cd/m^2) este indicată pentru 250 de elemente din vector (pe abscisă). Pentru cei 5 m lungime (AB), adică o densitate de măsurare de 2 cm. Este necesară o observație importantă, puterea lămpii punctiforme și nivelul de luminanță pe suprafața de testare au fost alese pentru a face luminanțele obținute să fie cu două ordine de mărime mai mari decât cele din iluminatul stradal, astfel încât să poată fi efectuate măsurători în prezența iluminatului stradal.

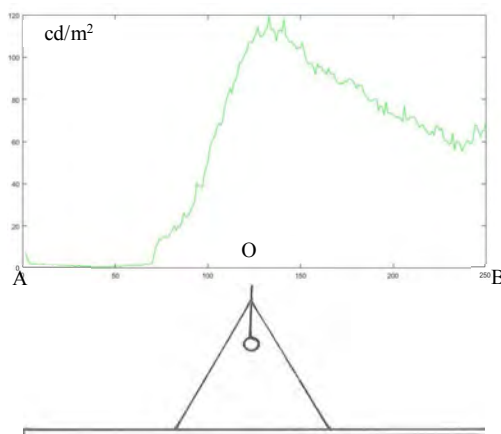


Figura 178 Distribuția luminanței (cd/m^2) pentru direcția AB din Figura 175 și Figura 176.

Figura 178 indică faptul că reflexia cartonului nu este perfect difuză. Zona AO, pentru care $\beta = 180^\circ$ are o reflexie mult mai mică decât zona OB, pentru $\beta = 0^\circ$. Rezultatele reprezintă o demonstrație a metodei prin care valorile de luminanță ale unei zone cu o geometrie determinată pot fi extrase, printr-o singură măsurare imagistică. Ulterior se poate calcula coeficientul de luminanță redus.

Cercetarea are în plan să fie aplicată pe teren, pentru a determina proprietățile efective de reflexie ale diverselor tipuri de asfalt.

5.5.6. Referințe

- [1] L. Williams, "End of the asphalt road?", Engineering & Technology, pp. 72-73, 2018.
- [2] F. Duarte, F. Casimiro and D. Correia, "A new pavement energy harvest system," vol. International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), 2013.
- [3] C. Papadimitriou, C. Psomopoulos and F. Kehagia, "A review on the latest trend of Solar Pavements in Urban Environments," Energy Procedia 157, Vols. Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES18, pp. 945-952, 2019.
- [4] A. Baumgartner and S. Amann, "Infrared reflectance factor of various asphalts," Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, And Hydrology Xx, no. DOI: 10.1117/12.2325509, 2019.
- [5] V. Schomerus, D. Rosebrock and F. Wahl, "Camera-based Lane Border Detection in Arbitrarily Structured Environments," vol. IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2014.
- [6] A. Rusu, D. Lucache and C. Galatanu, "Calculation of energy economy by dimming led lamps with maximum performance," vol. 19th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC) / 3rd IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe Conference (I&CPS Europe), 2019.
- [7] G. Zdunic, "Public lighting - road to energy efficiency," vol. 5th International Youth Conference on Energy (IYCE), 2015.
- [8] L. Lipnický, D. Gašparovský and R. Dubnič, "Influence of the calculation grid density to the selected photometric parameters for road lighting," vol. IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries (Lumen V4), 2016.
- [9] I. Ciobanu and R. Pentiuc, "Analysis on the possibility of using retrofit solutions for increasing the energy efficiency of public lighting systems," vol. International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), 2016.

- [10] A. Sedziwy and L. Kotulski, "A New Approach to Power Consumption Reduction of Street Lighting," International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems (SMARTGREENS), 2015.
- [11] I. Fryc, F. Bisegna and P. Tabaka, "Lighting of recreation grounds as a source of sky glow — The influence of luminaire type on this phenomenon," IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), 2017.
- [12] P. Tabaka and I. Fryc, "Landscape Lighting as a Source of Light Pollution - the Effect of the Seasons on this Phenomenon," IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries (Lumen V4), 2016.
- [13] R. Bayer, M. Brejcha, Z. Pelánová and J. Zálešák, "Road lighting design by means of genetic algorithm," vol. 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), 2015.
- [14] L. Doulos, I. Sioutis, P. Kontaxis, G. Zissis and K. Faidas, "A decision support system for assessment of street lighting tenders based on energy performance indicators and environmental criteria: Overview, methodology and case study," Sustainable Cities and Society, vol. 51, 2019.
- [15] ***, EN 13201, Road lighting - Part 3: Calculation of performance
- [16] L. Doulos, I. Sioutis, A. Tsangrassoulis, L. Canale and K. Faidas, "Minimizing lighting consumption in existing tunnels using a no-cost fine-tuning method for switching lighting stages according revised luminance levels," vol. IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), 2019.
- [17] B. Li and L. Gu, "The development of LED street lamp pavement lighting effects testing system," 11th China International Forum on Solid State Lighting (SSLCHINA), 2014.
- [18] A. Rusu, D. Lucache and G. Livint, "Assessment of Conflict Area Parameters Measurements by Using Photographic Methods," vol. International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), 2019.
- [19] J. Zhang, Y. Yang, X. He, M. Cheng, G. Cao and N. Zou, "Influence analysis of road reflective characteristic on roadway luminary design," vol. Proceedings of ICCTA2011, 2011.
- [20] N. Tran, B. Powell, H. Marks, R. West and A. Kvasnak, "Strategies for Design and Construction of High-Reflectance Asphalt Pavements," Journal of the Transportation Research Board, pp. 124-130, 2009.
- [21] E. Puttonen, J. Suomalainen, T. Hakala and J. Peltoniemi, "Measurement of Reflectance Properties of Asphalt Surfaces and Their Usability as Reference Targets for Aerial Photos," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 47, 2009.
- [22] S. Fotios and R. Gibbons, "Road lighting research for drivers and pedestrians: The basis of luminance and illuminance recommendations," Lighting Research & Technology, vol. 50, p. 154–186, 2018.

5.6. Măsurarea expunerii șoferului la poluarea luminoasă. Dezvoltarea standului experimental

5.6.1. Studiul domeniul de luminanță primit de șofer

Principalele criterii pentru proiectarea iluminatului rutier se găsesc în [2]:

- luminanță medie (L_{av})
- uniformitatea generală a luminanței (minimă / medie) (U_O)
- uniformitatea longitudinală a luminanței (minim / maxim) (U_L)
- creșterea pragului de percepție vizuală (TI%)
- raportul de zonă - surround ratio (SR)

Se poate observa că perturbările vizuale generate de iluminare (farurile vehiculelor care vin din direcția opusă, lumini rezidențiale, publicitare și diferite semnale vizuale) nu sunt incluse printre criteriile propuse în [2]. Chiar dacă în articolul menționat [2] s-au găsit câteva comentarii cu privire la calculul luminanței de voal, s-ar putea evidenția o limitare importantă: formula este valabilă doar pentru un unghi între direcția de vizualizare și sursa de orbire i în intervalul de la $1,5^\circ$ până la 60° . În opinia noastră, această condiție nu este realistă: în cazul liniilor rutiere normale, acest unghi poate fi mai mic. De exemplu, dacă distanța dintre direcția de vizionare și paralela care trece prin farul care se apropie este de 1,5 m, iar distanța dintre vehicule este de 100 m, atunci se obține un unghi de $0,86^\circ$. Mai mult decât atât, în condiții normale, ținând cont de orbirea fiziologică, direcția privirii și direcția farurilor care se apropie s-ar putea suprapune în mod efectiv.

Problema *diconfortului creat de strălucirea dinamică* și a oboselii conducătorului auto, subiect introdus în [3], a fost studiat în continuare în [4], folosind un dispozitiv special pentru măsurarea stresului ocular. Abordarea utilizată în [4] a fost să se concentreze asupra efectului stresului luminos, măsurând „activitatea electrică a mușchilor extraoculari, folosind doi electrozi de suprafață mici poziționați unul sub capacul inferior al ochiului (electrod activ) și celălalt lateral la ochi (electrod de referință). Un al treilea electrod, așezat pe frunte a servit drept pământ. Intensitatea acestei activități, numită electromiogramă (EMG), crește atunci când o lumină puternică este direcționată spre ochi și această schimbare a activității a fost utilizată ca indicator al severității diconfortului.” În ceea ce privește constatările din [4], „tehnica descrisă este radicală, dar rezultatele sunt concentrate doar pentru răspunsuri de scurtă durată, de tip flinch, în timp ce pe drumuri diconfortul orbirea este de obicei un proces cumulativ care duce la oboseală și la dorința de a închide ochi”.

Din aceeași serie de sisteme complexe se poate menționa [5], un sistem conceput pentru supravegherea șoferilor de autobuze (care se confruntă cu drumuri lungi și monotone), pentru care

oboseala este monitorizată folosind „module de detectare cap-umăr, detectare a feței, detectare a ochilor, estimarea deschiderii ochilor și închiderea lor, somnolența măsurată prin procentul de închidere a pleoapelor (PERCLOS) și clasificarea nivelului de oboseală”. Sistemul permite identificarea instalării stării de oboseală. Interfața cu șoferul nu este dificilă (o cameră orientată oblic), totuși procesarea imaginilor necesită o putere de calcul semnificativă, ceea ce reprezintă un dezavantaj. În mod surprinzător, efectul farurilor vehiculului din partea opusă este neglijat. În [7] se găsesc două camere digitale și faruri suplimentare, utilizate pentru „eliminarea cu succes a iluminării exterioare a celorlalte vehicule și a corpurilor de iluminat rutier”, obiectivul fiind măsurarea luminanței semnalelor rutiere. Dacă ne întoarcem la efectul stresant al tuturor surselor de lumină din câmpul vizual, găsim o astfel de cercetare [8] care caută o relație între cefalee și strălucire, pe baza unui chestionar. Acest chestionar, chiar dacă este unul clasic (De Boer), menține caracterul subiectiv al senzațiilor percepute și oricum nu poate fi util în monitorizarea fenomenului de oboseală. Această monitorizare este văzută ca un sistem care asistă șoferul, similar cu sistemul propus în [9], unde marcajele rutiere sunt identificate pe imagine, decodate și furnizează alarme sau avertismente dacă șoferul nu se conformează. În cazul nostru, acumularea oboselii vizuale ar putea genera, de asemenea, un avertisment util.

Finețea monitorizării surselor de solicitare a stresului șoferului poate fi extinsă dacă sunt luate în considerare și alte fenomene particulare, cum ar fi flickerul de înaltă frecvență [10] generată de LED-urile de la alte vehicule sau de complexitatea semnalelor interioare ale vehiculului [11], care a crescut și datorită instrumentelor și semnalelor cu LED-uri. Cele mai agresive surse de orbire rămân farurile din direcția opusă, deoarece „efectele asupra stării de adaptare pot afecta în mod semnificativ sensibilitatea mezopică” [12]. Această lucrare, care studiază vederea periferică, este un argument pentru explorarea întregului câmp vizual, cu toate luminanțele. Dacă toate aceste fenomene pot fi înțelese și puse în aplicare, se generează o contradicție în [13], cu o imagine de ansamblu asupra „Încorporării sistemelor avansate de asistență a șoferului bazate pe imagistică”. Contradicția constă în faptul că dezvoltarea „viziunii pe computer, fie singură, fie combinată cu alte tehnologii precum RADAR sau LIDAR, este una dintre tehnologiile cheie ale sistemelor avansate de asistență a șoferului (ADAS)” [13] și va reduce necesitatea pentru iluminarea bună a drumului și necesitatea de a urmări drumul. Sistemele de asistență au un potențial și mai mare datorită posibilității de „detectare a mai multor vehicule cu conștientizare a identității” [14], ceea ce poate duce la reconsiderarea iluminatului rutier în ansamblu. Evident, chiar și într-o viziune optimistă, acest lucru nu se va întâmpla pe termen scurt, astfel încât rolul șoferului rămâne important. În [15], pornind de la „luarea deciziilor șoferului ca răspuns la ținte în mișcare periferice sub niveluri de lumină mezopică”, sunt studiate reacțiile

șoferului la frânarea sau accelerarea vehiculului în diferite situații de iluminare. Astfel de informații vor fi interesant de explorat, corelând gradul de oboseală vizuală a șoferului cu viteza maximă recomandată la un moment dat, pentru a reduce riscul de accident.

Toate aceste abordări justifică dezvoltarea unui sistem de monitorizare a stresului luminos pentru șofer, bazat pe luminanța medie a sarcinii vizuale. A fost dezvoltat un dispozitiv de măsurare a luminanței cu valori medii și unghi larg de vizare, asociat cu o cameră digitală, obținând un film cu intervale de timp cu cadență variabilă. Aceste dispozitive au necesitat calibrarea individualizată, metodele disponibile în [15] fiind utile, în special pentru măsurarea luminanței cu camera digitală.

5.6.2. Principalele componente ale standului experimental

Efectul integrativ al arbirii va fi studiat în această lucrare, utilizând un sistem de măsurare neinvaziv. Autorii propun un sistem de măsurare bazat pe un sistem încorporat (Figura 179), bazat pe Raspberry PI3, cu o cameră PI.

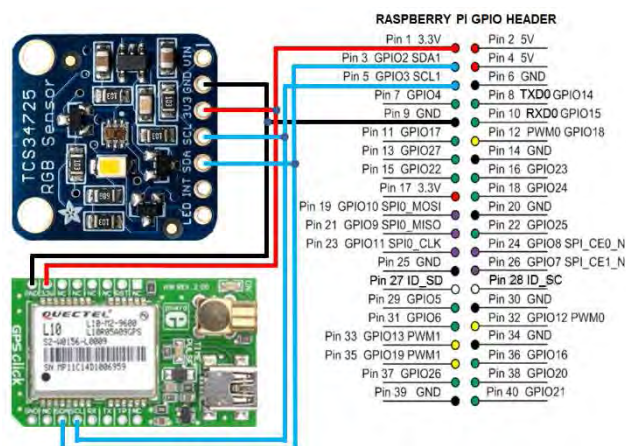


Figura 179 Configurarea hardware pentru sistemul de măsurare bazat pe Raspberry PI, senzorul RGB TCS34725 și ecranul GPS Quectel L10

Sistemul are, de asemenea, un dipozitiv GPS și un senzor RGB, de tip TCS34725. Senzorul RGB este utilizat într-o configurație a luminanțmetrului (Figura 180), pentru a investiga luminanța medie a câmpului vizual.

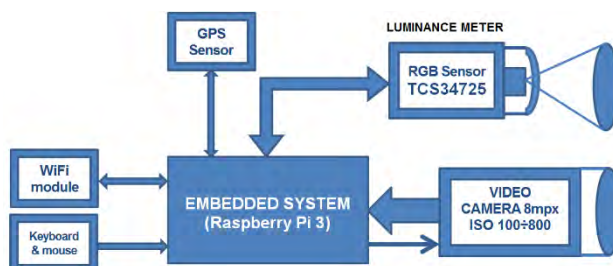


Figura 180 Schema bloc a sistemului experimental pentru măsurarea luminanței medii și variabile

Diagrama bloc indică principalele componente ale sistemului. Spre deosebire de alte luminanțmetre, avantajul acestei abordări este posibilitatea de a regla rata de achiziție a datelor, între rate foarte mari și foarte mici, aceasta din urmă fiind necesară în caz de situații de trafic scăzut în zonele nelocuite, pentru a reduce cantitatea de date.

5.6.3. Simularea luminotehnică a senzorului de luminanță

Utilizarea dispozitivului de măsurare a luminanței impune calibrarea acestuia pentru a include toate detaliile constructive. De exemplu, pentru a obține o luminanță medie și pentru a elimina caracteristica directivității senzorului, o sferă albă parțial transparentă a fost fixată în fața senzorului (Figura 181). Astfel, senzorul va avea același răspuns indiferent de zona în care sfera primește luminanța câmpului vizual țintă. Deoarece este dificil de evaluat teoretic efectul acestei sfere, întregul lanț de măsurare (lentilă, diafragmă, sferă integratoare și senzor) a fost calibrat.

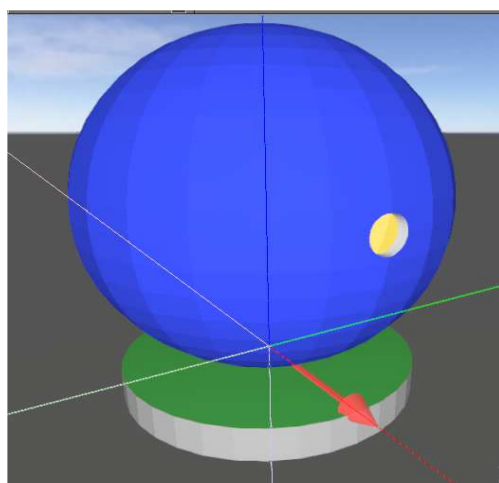


Figura 181 Modelul DIALux pentru senzor (pe suprafață verde) și sferă integratoare (colorat în albastru, pentru vizibilitatea figurii)

De la început, efectul sferei a fost studiat, deoarece într-o sferă integrativă clasică este plasat un ecran între lampă și senzor, iar acest lucru nu este necesar aici. Pentru senzor, imaginea focalizată pe exteriorul sferei reprezintă emisia inițială. Semnalul senzorului nu trebuie să fie influențat de poziția emisiei inițiale. Pentru a demonstra acest lucru, a fost dezvoltat un model în DIALux (Figura 181).

DIALux EVO 7.1 are avantajul de a simula materiale transparente, cu factor de reflexie, factor de transmisie și chiar indicele de refracție. Detaliile geometrice sunt, de asemenea, disponibile, în Figura 181 se poate observa portul de măsurare, util pentru „inspecția” interioară a modelului. Simularea are o limitare semnificativă datorită geometriei reduse (mai puțin de 40 mm),

neacceptată de DIALUX. Dimensiunile sunt acceptate numai în mm, iar numărul mare de puncte de calcul impune utilizarea dimensiunilor mai mici, cu un număr de zecimale cu care DIALux nu lucrează. Pentru a rezolva acest lucru, a fost realizat un model în MATLAB, care rezolva problema reflecțiilor succesive în interiorul sferei, pornind de la o emisie inițială. Prima distribuție a acestei emisii a fost simetrică, așa cum se ilustrează în Figura 182.

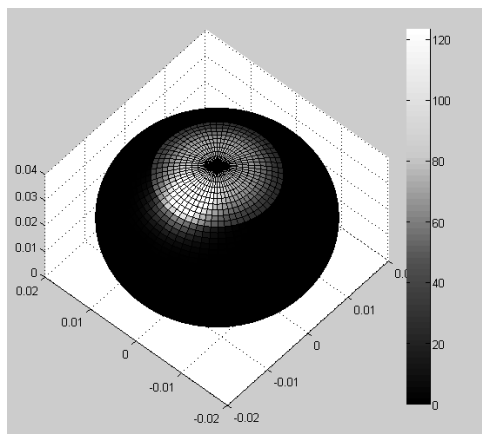


Figura 182 Modelul simetric pentru zona de emisie, pe sferă de 40 mm (lux)

Această ipoteză inițială a fost utilă pentru a construi modelul, dar situația reală impune să se ia în considerare o distribuție diferită, nesimetrică, așa cum se arată în Figura 183:

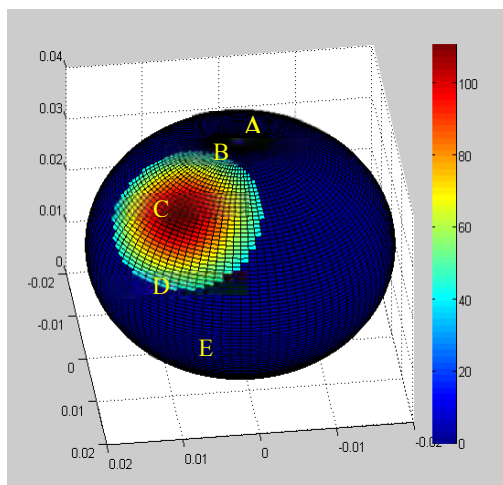


Figura 183 Modelul nesimetric pentru zona de emisie inițială (lux)

Dacă un senzor va fi montat în zona inferioară a sferei, semnalul nu trebuie să depindă de emisia inițială. Acest lucru a fost foarte important de demonstrat, având în vedere șase inter-reflecții succesive, plus prima iluminare directă din zona cu emisie inițială. Rezultatul este disponibil în Figura 184, unde sunt reprezentate date de la „meridianul” A-B-C-D-E. Cea mai interesantă zonă este D-E, care este constantă și nu depinde de poziția inițială a emitanței B-C-D. Trebuie să notăm că acest fapt este adevărat numai pentru suprafețele reflectante lambertiene.

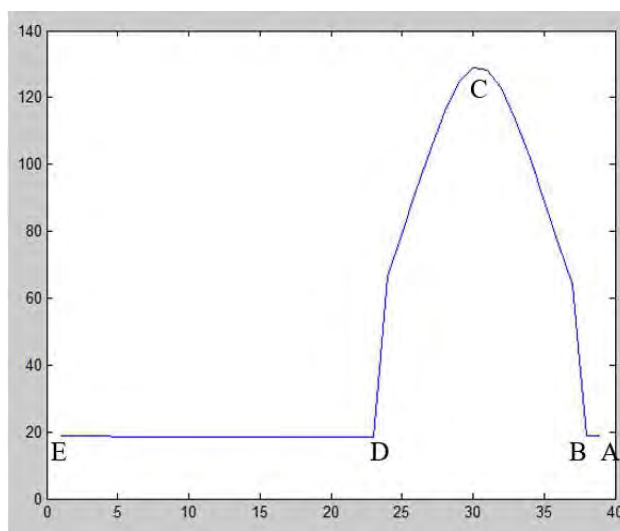


Figura 184 Iluminarea interioară a sferei integrative din fața senzorului (lux) pentru „meridianul” A-B-C-D-E ca în Figura 183

Acest lucru este echivalent cu ipoteza că s-ar putea monta senzorul în orice punct al zonei inferioare a sferei (regiunea D-E), iar ieșirea va fi independentă de emitența inițială, oferind posibilitatea de calibrare a luminanțmetrului.

5.6.4. Calibrarea camerei PI

Ca și în [16], calculul strălucirii din imaginile HDR a fost utilizat pentru evaluarea dinamică a strălucirii disconfortului. A fost utilizată următoarea ecuație [16]:

$$L_f = \frac{k \times F^2}{t \times S} \quad (16)$$

unde: L_f este luminanța medie a câmpului; K este o constantă de calibrare a camerei; t este timpul de expunere; F este numărul pentru deschiderea diafragmei; S este numărul ISO.

Problema cu această ecuație este utilizarea K , constanta camerei, care, în opinia noastră, nu este corectă și reprezintă o sursă de erori. În această lucrare am adaptat ecuația (16) prin înlocuirea K cu funcția de conversie opto-electronică OECF.

Problema a fost rezolvată prin calibrarea camerei PI pe baza unui standard de luminanță ca în [17, 18, 19].

O analiză tipică a unei scene stradale este prezentă în Figura 185.



Figura 185 Sistemul de iluminare de pe bulevardul Carol, Iași

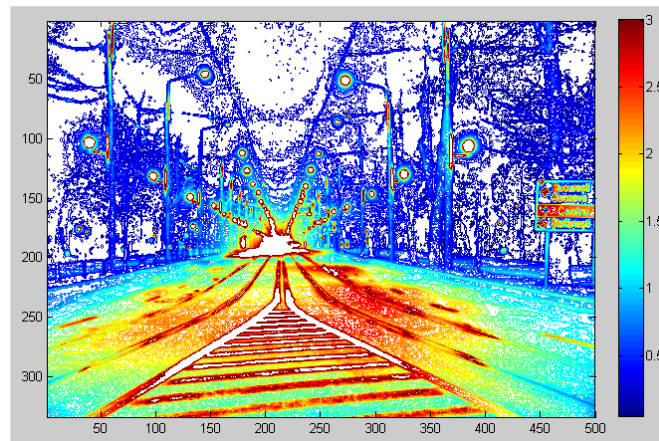


Figura 186 Câmpul de luminanță (cd/m^2)

Figura 186 este obținută folosind un increment foarte mică a curbelor izo-luminanță, cu următoarea comandă MATLAB:

$$\text{contour}(\text{lum}, [0:0.05:3]) \quad (17)$$

unde lum este matricea cu valori de luminanță. De la prima observație, strada este prea luminată și unele linii albe de stradă au peste 3 cd/m^2 . În centrul imaginii, unele faruri generează, de asemenea, o lumină mai mare. Schimbând limitele din (17) și impunând luminanțele care urmează a fi reprezentate de la 0 la 100 cd/m^2 , se obține Figura 187:

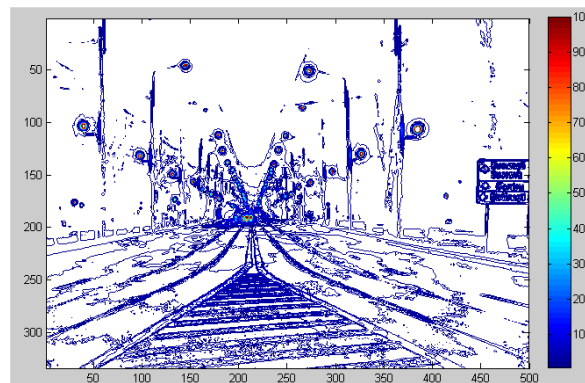


Figura 187 Câmpul de luminanță extins, de la 0 la 100 cd/m^2 (maximul este $149,2 \text{ cd/m}^2$)

Măsurători imagistice pentru iluminatul stradal

Au fost analizate mai multe fotografii, pentru a înțelege și a extrage semnificația surselor de strălucire prezente sau nu în imagini. Se observă și faptul că pentru valori mai mari ale luminanței, trebuie evitată saturația camerei, impunând un timp de expunere mai scurt și numere F mai mari.

În Tabel 17 se observă că luminanța medie are o mică variație în funcție de prezența farurilor care se apropie. Pornind de la aceasta, criteriul pentru detectarea poluării luminoase va fi viteza de variație (*derivata*) luminanței medii a câmpului vizual. Poate fi calculat numeric sau, în cazul senzorului analogic pentru luminometru, utilizând un montaj cu amplificator operațional. Aceasta va fi condiția testată pentru un interval de timp variabil, așa cum se ilustrează mai jos.

Tabel 17 Luminozitatea maximă și medie a câmpului vizual

Categoriea străzii	Numărul cadrului	Parametri de expunere		Sursa orbire	Parametri de ieșire	
		<i>Timp sec</i>	<i>F number</i>	<i>YES/NO</i>	<i>Luminanță Maximă cd/m²</i>	<i>Luminanță medie cd/m²</i>
M3	468	1/8	4.8	YES	268.4	1.645
	469	1/8	4.8	NO	256.2	1.566
	477	1/15	4.8	NO	251.4	1.472
	481	1/60	4.8	YES	753.2	1.625
	482	1/60	4.8	YES	934.8	1.342
M5	519	1/10	4.8	YES	329.3	0.909
	541	1/2	4.8	NO	67.2	0.893
	549	1/30	4.8	YES	982.1	0.921
	535	2	4.8	NO	16.2	0.931
	539	1/4	4.8	YES	389.5	0.947

Se poate observa că prezența surselor de orbire în cadru este foarte clar pusă în evidență de valorile luminanței maxime, în timp ce luminanța medie rămâne în plaja normală.

Dezvoltarea unui astfel de sistem pentru determinarea gradului de stres al șoferilor generat de mediul luminos la care sunt supuși este utilă mai mult pentru minitorizarea mediului luminos într-un oraș în ansamblul său, prin echiparea mijloacelor de transport în comun cu astfel de sisteme, și colectarea de date pe durate lungi de timp (ani).

5.6.5. Referințe

- [1] MS Rea, “The lumen seen in a new light: Making distinctions between light, lighting and neuroscience”, *Lighting Res. Technol.* 2015; Vol. 47: 259–280
- [2] P. Raynham, “An examination of the fundamentals of road lighting for pedestrians and drivers”, *Lighting Res. Technol.* 36,4 (2004) pp. 307–316
- [3] J. Murray, J. Feather, D. Carden, “Dynamic discomfort glare and driver fatigue”, *The Lighting Journal*, 2002; 67: 20-23
- [4] I.J. Murray, S. Plainis, D. Carden, “The ocular stress monitor: a new device for measuring discomfort glare”, *Lighting Res. Technol.* 34,3 (2002) pp. 231–242
- [5] Bappaditya Mandal; Liyuan Li; Gang Sam W; et al., Towards Detection of Bus Driver Fatigue Based on Robust Visual Analysis of Eye State, *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, Volume: 18 Issue: 3 Pages: 545-557, 2017
- [6] C Cengiz, H Kotkanen, M Puolakka, O Lappi, E Lehtonen, L Halonen and H Summala, Combined eye-tracking and luminance measurements while driving on a rural road: Towards determining mesopic adaptation luminance, *Lighting Res. Technol.* 2014; Vol. 46: 676–694
- [7] JA Gutierrez, D Ortiz de Lejarazu, JA Real, A Mansilla and J Vizmanos, Dynamic measurement of traffic sign luminance as perceived by a driver, *Lighting Res. Technol.* 2012; 44: 350–363
- [8] J Salvaia, S Elias and AJ Shepherd, Symptoms of visual discomfort from automobile lights and their correlation with headache in night-time taxi drivers, *Lighting Res. Technol.* 2014; Vol. 46: 354–363
- [9] K. T. Islam, R. R. Gopal, “Real-Time (Vision-Based) Road Sign Recognition Using an Artificial Neural Network”, *SENSORS* Volume: 17 Issue: 4 Article Number: 853 Published, 2017
- [10] JE Roberts and AJ Wilkins, “Flicker can be perceived during saccades at frequencies in excess of 1 kHz”, *Lighting Res. Technol.* 2013; 45: 124–132
- [11] L Caberletti, K Elfmann, M Kummel and C Schierz, “Influence of ambient lighting in a vehicle interior on the driver’s perceptions”, *Lighting Res. Technol.* 2010; 42: 297–311
- [12] T Uchida and Y Ohno, “Defining the visual adaptation field for mesopic photometry: Does surrounding luminance affect peripheral adaptation?”, *Lighting Res. Technol.* 2014; Vol. 46: 520–533
- [13] G. Velez, O. Otaegui, “Embedding vision-based advanced driver assistance systems: a survey”, *IET INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS* Volume: 11 Issue: 3 Special Issue: SI Pages: 103-112, 2017
- [14] B. Wang, Qi, Zhiquan; S. Chen, et al, “Multi-vehicle detection with identity awareness using cascade Adaboost and Adaptive Kalman filter for driver assistant system”, *PLOS ONE*, Volume: 12, Issue: 3, Article Number e0173424, 2017
- [15] Y. Akashi, Rea and JD Bullough, “Driver decision making in response to peripheral moving targets under mesopic light levels”, *Lighting Res. Technol.* 39,1 (2007) pp. 53–67
- [16] M. Hirning, “The Application of Luminance Mapping to Discomfort Glare: A Modified Glare Index for Green Buildings”, *Doctoral Thesis at Queensland University of Technology*, 2014, cited at https://eprints.qut.edu.au/72926/4/Michael_Hirning_Thesis.pdf on 15.02.2018
- [17] C. A. Bouroussis, F. V. Topalis, “Smart multi-workplane lighting control and utilization of daylight using an imaging photosensor”, 16 *IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering*, 7-10 June, 2016, Florence, Italy
- [18] C.A. Bouroussis, F.V. Topalis: “Automated luminance measurements of tunnel and road lighting installations”, *Proceedings of the 11th European Lighting Conference Lux Europa*, Istanbul, 9-11 September 2009.
- [19] C.A. Bouroussis, F.V. Topalis, “A novel digital system for real-time luminance measurements of road and tunnel lighting”, *Balkan Light 2008*, Ljubljana, Slovenia, 7-10 October 2008.