

UTILIZAREA MODELĂRII REFLEXIEI MULTIPLE PENTRU MĂSURAREA COEFICIENTULUI DE REFLEXIE

Cătălin Daniel GĂLĂȚANU
Universitatea Tehnică „Gh.Asachi” Iași

Rezumat

Coeficientul de reflexie al diverselor suprafețe este o mărime care în practica uzuală este apreciat în mod aproximativ, pe baza unor echivalențe sau comparații subiective. Lucrarea prezintă o metodă prin care acest coeficient poate fi măsurat în condiții de teren, creindu-se posibilitatea creșterii preciziei simulărilor asistate de calculator. Metoda de măsurare se bazează pe utilizarea unui sistem optic determinat, în care au loc reflexii multiple care depind de suprafața analizată. În funcție de nivelul de iluminare final, măsurat cu un luxmetru, se poate determina coeficientul de reflexie căutat. Metoda are posibilitatea să testeze și dacă reflexia este difuză sau nu.

1 Stadiul actual al mijloacelor de măsură pentru coeficientul de reflexie

Preocupările autorului în direcția măsurării coeficientului de reflexie s-au justificat prin posibilitățile reduse care există în această privință. Acest fenomen este resimțit nu numai la nivelul Universității Tehnice “Gh.Asachi” Iași, ci la scară mult mai mare. Lucrările de specialitate de ultimă oră [1] nici măcar nu menționează posibilitățile de măsurare, în timp ce lucrări cu caracter monografic [2] se opresc doar la aspectele măsurării coeficienților de reflexie pentru îmbrăcămintea rutieră.

Calculul și modelarea sistemelor de iluminat asistată de calculator sunt de neimaginat fără considerarea tuturor mărimilor lumino tehnice care conlucrează la rezultatul final. Coeficientul de reflexie al diverselor suprafețe este apreciat de regulă în mod aproximativ, pe baza unor echivalențe sau

comparații subiective. În [3] se recomandă o metodă de estimare prin realizarea unei comparații subiective cu o scară de gri, a cărei eventuală etalonare este însă *sigur* alterată de posibilitățile tehnicii tipografice.

Există aparate de măsură specializate [4] pentru măsurarea coeficientului de reflexie, care realizează și funcția de testare a comportării lambertiene. Aparatul menționat lucrează în patru lungimi de undă (albastru, verde, roșu și infraroșu apropiat), realizând măsurări pentru reflexia regulată la -15° , $+20^{\circ}$, -45° față de unghiul de incidență. Senzorii sunt montați într-un cap optic protejat împotriva luminii ambientale.

2 Principiile măsurării coeficientului de reflexie

Metodele uzuale de măsurare a coeficientului de reflexie se bazează pe utilizarea unui luminanțmetru. Pe lângă caracterul laborios al metodei, abordabilă numai în condiții de laborator, dezavantajul utilizării unui luminanțmetru face inabordabilă această metodă.

Metoda propusă utilizează un luxmetru, aparat de măsură mult mai accesibil. Metoda utilizată este globală, coeficientul de reflexie al unei suprafețe test fiind determinat indirect. Se utilizează o incintă paralelipipedică, a cărei bază va fi chiar suprafața analizată. Pe fațeta opusă sunt plasate o sursă de lumină difuză, precum și senzorul luxmetrului. Luxmetrul nu primește direct flux luminos, ci numai prin reflexii succesive de pe suprafețele implicate. În figura 1 se prezintă schematic reflexiile succesive, într-o secțiune longitudinală.

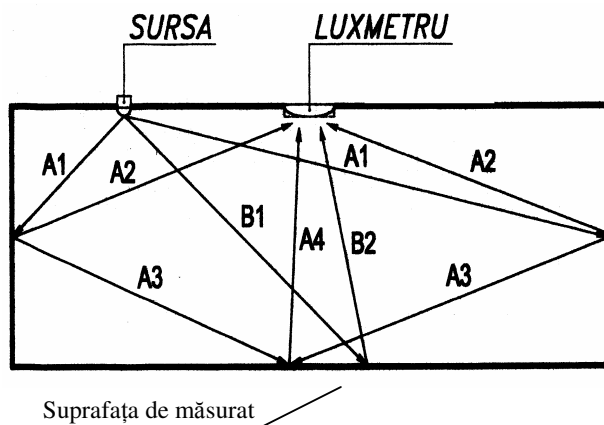


Figura 1 Schema reflexiilor succesive în incinta utilizată pentru măsurarea coeficientului de reflexie

Particularitatea bancului optic utilizat constă în faptul că pereții laterali au un coeficient de reflexie cunoscut, a cărui valoare este minimalizată prin vopsire cu negru de fum. Datorită dimensiunilor relativ mici ale construcției (pentru păstrarea caracterului de portabilitate) influența reflexiilor multiple nu poate fi neglijată. Dimensiunea sursei și respectiv a senzorului nu pot fi neglijate, ele

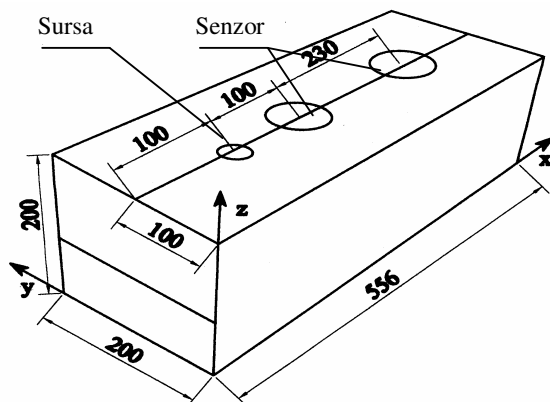


Figura 2 Principalele dimensiuni ale standului optic (mm)

trebuind să fie modelate conform cu realitatea. Problematika sursei este identică cu [5], în timp ce luxmetrul utilizat are senzorul sub formă de calotă cu raza sferei de 100 mm, și diametru de 58 mm.

Considerarea geometriei particulare pentru senzor va permite realizarea calculului iluminării medii pe suprafața sa (sferică), fapt ce va permite creșterea preciziei de predicție a metodei.

3 Modelarea reflexiilor multiple în MATLAB

Modelarea asistată de calculator implică generarea discretizării suprafețelor implicate în schimbul de flux luminos, validarea datelor și a coerenței lor fiind posibilă numai prin vizualizare. În figura 3 se pot observa poziționarea sursei de lumină, senzorul luxmetrului și suprafața care se testează (baza paralelipipedului).

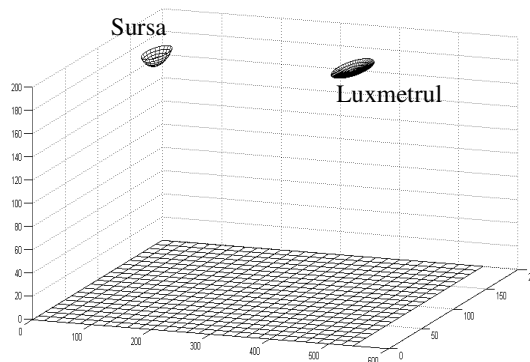


Figura 3 Discretizarea suprafeței măsurate, a sursei și a luxmetrului

Pentru a da posibilitatea reproducerii configurației luminotehnice, se prezintă liniile de program care generează rețelele respective, prin trunchierea unor sfere:

```
n=20;
[sx,sy,sz]=sphere(n);
sx=sx(1:8,1:21)*20+100;
sy=sy(1:8,1:21)*20+100;
sz=sz(1:8,1:21)*20+209;
% sx, sy, sz sunt matricile
coordonatelor punctelor sursei de lumină
(sferică)
n=50;
[luxx,luxy,luxz]=sphere(n);
```

```
luxx=luxx(1:6,1:51)*80 +200;
luxy=luxy(1:6,1:51)*80 +100;
xx=min(min(luxx))
luxz=luxz(1:6,1:51)*80 +280-3.9155;
xx=max(max(luxz))
% luxx, luxy, luxz sunt matricile
coordonatelor punctelor luxmetrului
```

Pereții laterali sunt generați printr-o funcție elaborată special pentru acest tip de problemă. Apelarea este foarte sugestivă, parametrii solicitați fiind coordonata de început, pasul discretizării, coordonata finală a peretelui, pentru fiecare axă (x, y și respectiv z).

Rezultatul se poate vizualiza în scopul verificării, aspectul obținut fiind cel din figura 4.

Secvența de program este următoarea:

```
[perete_x, perete_y, perete_z] =
gard_gen(0, 15, 556, 0, 10, 200, 0, 10, 200);
```

în care valorile numerice pot fi citite în corelație cu dimensiunile din figura 2.

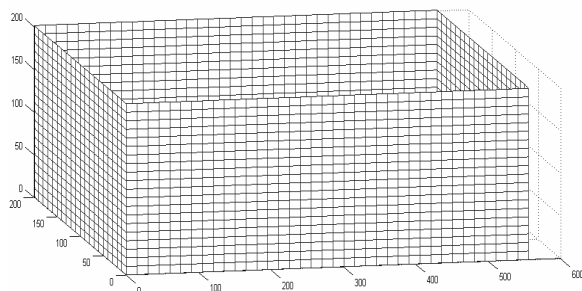


Figura 4 Discretizarea pereților laterali

Rezultatul se vizualizează cu instrucțiunea

```
mesh(perete_x, perete_y, perete_z);
```

Validarea configurației geometrice permite utilizarea subrutinelor pentru modelarea reflexiilor multiple.

Metodele de rezolvare cunoscute se bazează atât pe metoda elementelor finite cât și pe metoda schimbului radiativ, considerând următoarele ipoteze simplificatoare: *incinta este paralelipipedică, fără pereți despărțitori*

sau mobilier, iar suprafețele reflectă perfect difuz lumina.

Funcțiile MATLAB elaborate de autor permit **modelarea generalizată** a sistemelor de iluminat, cu îndeplinirea condițiilor generale cerute unui model experimental și s-au dovedit un instrument de lucru util în studierea și apoi fundamentarea teoretică a fenomenului reflexiei multiple. Aceste funcții permit să se renunțe la noțiunea de FACTOR DE FORMĂ a unei suprafețe în raport cu alta. Factorul de formă nu caracterizează corect reflexia multiplă, raportul dintre fluxul reflectat pe o suprafață S_2 de către o altă suprafață S_1 depinzând de condițiile inițiale (emisivitatea inițială), precum și de fiecare pas al reflexiei. În plus, în cazul geometriilor particulare, nu se pot calcula nivelurile de iluminat punctuale.

Pentru a prezenta particularitățile calculului, se consideră cazul general a două suprafețe oarecare, perfect difuzante, dintre care una este emițătoare S_k și cealaltă receptoare S_i .

Factorul de utilizare între cele două suprafețe este, conform definiției:

$$U_{ki} = \frac{\Phi_{ki}}{\Phi_k} \quad (1)$$

în care Φ_{ki} este fluxul emis de S_k și care ajunge pe S_i iar Φ_k este fluxul emis de S_k .

Expresia fluxului receptat Φ_{ki} rezultă din integrarea fluxului elementar emis de fiecare suprafață elementară emitentă:

$$d^2\Phi_{ki} = dE_i dS_i \quad (2)$$

în care

$$dE_i = \frac{dI_k \cos \theta_i}{l^2} \quad (3)$$

și

$$dI_k = L_k \cos \theta_k dS_k \quad (4)$$

Se integrează pe ambele suprafețe:

$$\phi_{ki} = \iint_{S_k S_i} \frac{L_k}{l^2} \cos \theta_k \cos \theta_i dS_k dS_i \quad (5)$$

Față de abordările clasice [3], se menține sub integrală luminanța punctuală (fiind variabilă), fluxul schimbat depinzând de configurația geometrică dar și de fiecare pas.

Pentru a pune în evidență faptul că fluxul emis de o suprafață și receptat de alta diferă la fiecare pas al reflexiei multiple, se calculează respectiva proporție conform relației (5), dar cu notațiile care exprimă faptul că luminanța nu mai este considerată constantă pe suprafața care emite:

$$\phi_{ki} = \iint_{S_k S_i} \frac{L_k(s_k)}{l^2(s_k, s_i)} \cos \theta_k \cos \theta_i dS_k dS_i \quad (6)$$

Integrala se rezolvă numeric. Nu mai există în acest mod limitări geometrice (funcțiile MATLAB elaborate de autor tratând sub același formalism matricial orice suprafață, de la planuri oarecare, la sferă).

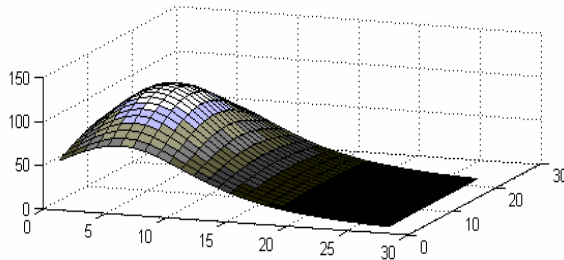


Figura 5 Iluminarea directă (lx) produsă de sursa sferică pe planul orizontal

Pentru exemplificare, se prezintă modul de apelare al funcției care calculează iluminarea produsă de sursa de suprafață s_x, s_y, s_z pe planul orizontal j_x, j_y, j_z care se măsoară,

$E1 = \text{luminas}(s_x, s_y, s_z, j_x, j_y, j_z, RoSfera, Ein);$

Rezultatul transferului direct de flux luminos (notat cu B1 în figura 1) este vizualizat în nuanțe de gremar și este disponibil în figura 5.

Se poate observa imediat gradul mare de neuniformitate a iluminării directe. Ori, tocmai această distribuție va fi cea care este pusă în evidență cu ajutorul luxmetrului.

La fel de important este fluxul luminos primit de pereții laterali. Chiar dacă acești

pereți sunt vopsiți în negru mat, neglijarea acestui flux luminos poate introduce erori.

În figura 6 se poate analiza calitativ distribuția nivelului de iluminare, obținut conform pasului A1 din figura 1.

În acest moment se pot calcula efectele transferului de flux luminos către suprafața sferică a luxmetrului.

Se obține un nivel de iluminare (neuniform !), dar care servește la calculul nivelului mediu de iluminare (medie care este realizată pentru luxmetru de către senzorul fotosensibil).

În figura 7 se vizualizează capsula luxmetrului, sub efectul însumat al reflexiilor notate A2, A4 și B2 din figura 1:

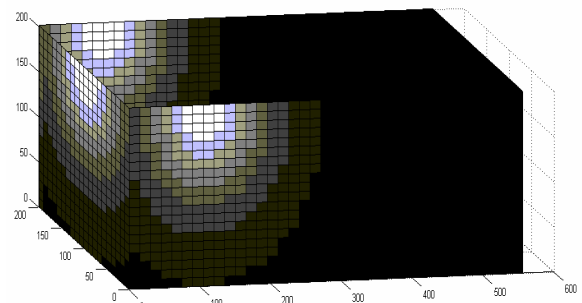


Figura 6 Distribuția nivelului de iluminare pe pereții laterali

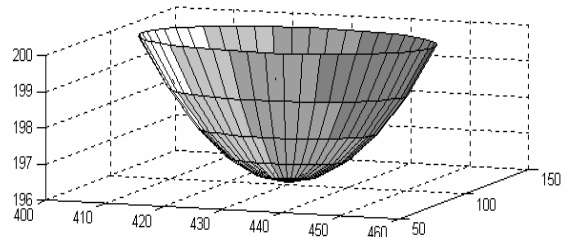


Figura 7 Distribuția nivelului de iluminare pe capsula luxmetrului

În figura 7 se poate observa plasarea senzorului în poziția îndepărtată pentru măsură, precum și faptul că sursa de lumină este plasată în stânga. Desigur, fiind disponibile și valorile numerice, se poate calcula iluminarea medie sesizată și afișată de senzor.

4 Mod de lucru și rezultate

Realizarea dispozitivului la un gabarit care permite să fie transportat (fig. 8) face posibilă utilizarea sa operativă, în cele mai diverse situații. Utilizarea în condiții diferite de laborator este posibilă dacă se compensează eventualele erori. Aceste surse de erori sunt inconstanța sursei de lumină, precum și îndepărtarea reflexiei de tipul perfect difuz.

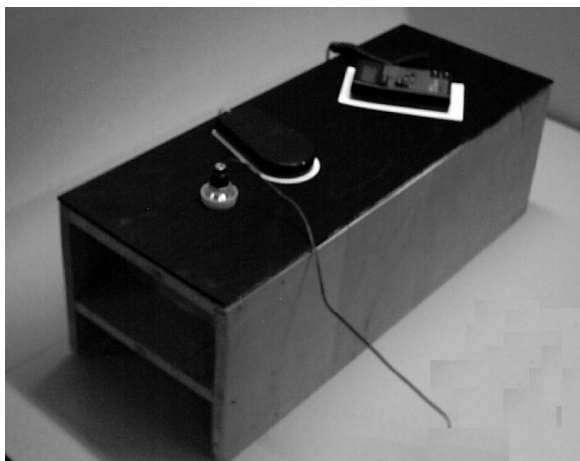


Figura 8 Dispozitivul pentru măsurarea coeficientului de reflexie

Problema sursei de lumină se elimină dacă se determină coeficientul de reflexie prin raport cu o suprafață etalon (alb mat superior). Acest aspect este posibil datorită faptului că ponderea reflexiilor pe pereții laterali este nesemnificativă (sub 4%) și deci nivelul de iluminare al peretelui superior *este direct proporțional* cu coeficientul de reflexie al suprafeței de test.

Tipul de reflexie se testează prin raportul nivelurilor de iluminare măsurate în cele două puncte (figura 2). Pentru o reflexie de tip lambertian, această valoare este egală cu 3 (pentru dispozitivul construit). Această valoare s-a obținut în urma simulării, subrutinele realizate de autor având impusă acest tip de reflexie.

Îndepărtarea de reflexia difuză complică în mod foarte serios analiza luminotehnică riguroasă. Descrierea coeficienților trebuie să se realizeze într-un sistem de coordonate spațiale, mult mai complicat decât la

coeficienții de luminanță pentru îmbrăcăminte rutieră, unde observatorul este plasat într-o poziție relativă constantă. Această abordare riguroasă ar putea fi justificată pentru anumite sisteme de iluminat, cum ar fi:

- monumente arhitectonice,
- sisteme de iluminat muzeal,
- sisteme de realitate virtuală,

Pentru verificarea rezultatelor măsurărilor a fost necesară utilizarea unor materiale cu coeficient de reflexie cunoscut. Această dificultate a fost imposibil de depășit, mai ales la dimensiunile cerute de aparat. S-a procedat în consecință la utilizarea a două suprafețe ai căror coeficienți de reflexie au fost asimilați valorilor extreme (0 și 1). Prin compunerea unor grile (dungi) cu ponderi impuse pentru cele două materiale, s-au putut materializa coeficienții de reflexie necesari pentru validarea metodei.

Verificarea metodei se prezintă în tabelul 1, în care pentru coeficienții de reflexie teoretici (C_r) se regăsesc valorile măsurate și calculate pentru nivelul de iluminare în punctul apropiat sursei (indice 1) și respectiv mai depărtat (indice 2). Raportul celor două mărimi exprimă gradul de apropiere de reflexia perfect difuză (pentru care raportul este egal cu 3).

Tabelul 1 Comparatie între valorile măsurate și determinate prin calcul

C_r	$E_{1\text{măs}}$ [lx]	$E_{1\text{calc}}$ [lx]	$E_{2\text{măs}}$ [lx]	$E_{2\text{calc}}$ [lx]	$(E_1/E_2)_{\text{măs}}$
0.1	1.7	1.89	0.5	0.62	3.4
0.2	3.9	3.79	1.1	1.25	3.12
0.3	5.5	5.69	1.9	1.87	2.89
0.4	7.8	7.59	2.7	2.5	2.88
0.5	9.6	9.49	3.4	3.12	2.82
0.6	11.2	11.38	3.8	3.75	2.94
0.7	13.1	13.28	4.4	4.37	2.97
0.8	15.5	15.18	5.1	5.00	3.03
0.9	17.2	17.08	5.5	5.62	3.12
1	18.7	18.98	6.4	6.25	2.92

Precizia obținută nu este considerată suficientă pentru aplicații ingineresti, mai ales dacă metoda acoperă o lipsă totală de mijloace de măsură.

5 Concluzii

Metoda și mijlocul de măsură prezentat nu pot înlocui aparatele specializate pentru măsurarea coeficientului de reflexie, dar reprezintă o modalitate prin care se poate extinde utilizarea unui luxmetru către zone în care devine accesibilă proiectarea sistemelor de iluminat în funcție de luminanțe. Fundamentarea metodei de măsurare pe baza teoriei reflexiei multiple permite extinderea modelării sistemelor de iluminat către configurații oricât de complexe.

Bibliografie

1. Mira, N. ș.a. – Manualul de instalații, vol. E - Electrice, Editura Artecno București, 2002
2. Moroldo, D. – Iluminatul urban, Editura MatrixRom București, 1999
3. Bianchi C., Mira N. ș.a., Sisteme de iluminat interior și exterior, Editura MATRIX, București, 2000
4. http://www.dmo.be/web/pdf/doc_iris908rs.pdf
5. Gălățanu, C.D. - The field luminance Analysis for Road Lighting, pag. 45-52, BalkanLight '02, Istanbul 2002

Primită în 24.02.2003

Referent: Dr. Florin POP

USING INTERREFLECTION THEORY FOR THE REFLECTION MEASUREMENTS

Abstract

Using some original MATLAB functions for the interreflection simulation, the paper illustrates an original device, useful for the reflection measurements. Some details are given, about the mesh generation and data validation. Practical considerations about how a Lambertian surface can be tested are presented.



Dr. Cătălin Daniel GĂLĂȚANU, Conferențiar
Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" Iași,
Membru CNRI,
Co-Director al CT8, Tehnologia Imaginii
Str. Lascăr Catargi Nr.38, Iași, 6600
fax: 0232 214872
E-mail: expert-grup@xnet.r