

FIȘE PENTRU CALCULUL RAPID AL CARACTERISTICILOR FOTOMETRICE ALE CORPURILOR DE ILUMINAT

Paul DINCULESCU *, George Gabriel BRATU **

* Universitatea POLITEHNICA București, ** SITECO România

Rezumat

Fișele propuse se folosesc atunci când datele fotometrice furnizate uzual de către fiecare producător de corpuri de iluminat sunt limitate sau când pot fi utilizate diferite corpuri de iluminat. Utilizatorul poate astfel completa informația respectivă, chiar în faza de proiectare, calculând datele care lipsesc. Fișele, bazate pe un program EXCEL, permit să se calculeze rapid indicatorii de distribuție ai corpului de iluminat, curba zonală a fluxului luminos, raportul direct și factorii de utilizare, pentru orice corp de iluminat, pentru orice valori ale factorilor de reflexie ai suprafețelor și pentru orice valoare a indicelui instalației. Fișele pot fi folosite și de către producătorul de corpuri de iluminat, pentru a prezenta rezultatele măsurătorilor într-o formă convenabilă pentru utilizator. Datele minimale necesare sunt curbele sau tabelele care dau distribuția intensității luminoase.

1 Principii de calcul

Modelul de calcul simplificat folosit uzual pentru determinarea fluxurilor luminoase pe suprafețele unei instalații de iluminat interior [1] constă într-un paralelipiped dreptunghic delimitat de trei suprafețe de calcul: două suprafețe orizontale – tavanul S_1 și planul util S_4 (caracterizate prin dimensiunile a și b și prin factorii de reflexie r_1 respectiv r_4) și o suprafață verticală S_3 – pereții (considerați ca o singură suprafață, cu înălțimea h și cu factorul de reflexie r_3).

Geometria instalației este exprimată, de regulă, sintetic, prin indicele instalației:

$$K = \frac{ab}{h(a+b)} \quad (1)$$

Factorul de reflexie al pereților neomogeni este evaluat ca un factor de reflexie mediu

ponderat al suprafețelor componente (cu proprietăți și suprafețe reflectante diferite):

$$r_3 = \sum_j r_j p_j / 100 \quad , \quad (2)$$

p_j reprezentând procentul din aria totală al ariei cu factorul de reflexie r_j .

În cazul corpurilor de iluminat suspendate la o distanță h' față de tavanul real, modelul de calcul presupune un tavan echivalent, la distanța h față de planul util [2], caracterizat din punct de vedere geometric prin indicele cavității tavan-friză:

$$K_c = \frac{ab}{h'(a+b)} \quad (3)$$

și din punct de vedere luminotehnic prin factorul de reflexie:

$$r_1' = \frac{K_c (K_c r_1 + 2r_2)}{(K_c + 2)^2 - 2(K_c r_1 + 2r_2)} \quad , \quad (4)$$

dependent de factorii de reflexie ai suprafețelor respective și de geometria cavității.

La baza acestor calcule stau caracteristicile luminotehnice intrinsece ale fiecărui corp de iluminat, atât prin distribuția intensității luminoase în diverse plane meridionale (exprimată prin curbele denumite, uzual, curbe fotometrice), cât și prin distribuția zonală a fluxului luminos (exprimată prin curbele de distribuție zonale sau, sintetic, prin indicatorii de distribuție zonali N_1, N_2, N_3, N_4, N_5 , definiți pentru 4 zone caracteristice în emisfera inferioară [1]). Curbele de distribuție a intensității luminoase se indică uzual în două plane (de regulă, planele de simetrie).

Conform reglementărilor în vigoare ale CIE, determinarea curbei zonale și a indicatorilor de distribuție zonali se bazează pe:

- asimilarea corpului de iluminat cu o sursă punctiformă simetrică, (caracterizată printr-o

curbă fotometrică reprezentând media curbelor în cele două plane considerate);

- calculul fluxurilor luminoase emise de corpul de iluminat în $k = 1, 2, \dots, 18$ zone coaxiale cu axa optică, cuprinse între zone conice caracterizate printr-o diferență a unghiurilor plane la vârf de 10° , și considerarea intensității luminoase I_k corespunzătoare unghiului plan mediu α_k .

Fluxul zonal cumulat pentru o zonă conică constituită din n zone de tipul menționat este:

$$\phi_{zn} = \phi_{n-10^\circ} = 1,095 \sum_{k=1}^n I_{(2k-1) \cdot 5^\circ} \sin[(2k-1) \cdot 5^\circ]. \quad (7)$$

Împărțirea emisferei inferioare în patru zone conice caracteristice, cu unghiurile la vârf respectiv $41,4^\circ, 60^\circ, 75,5^\circ, 90^\circ$ și considerarea la limită a spațiului din jurul corpului ca o zonă cu unghiul la vârf 180° , permite definirea indicatorilor de distribuție a fluxului luminos al corpului de iluminat:

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{\phi_{z1}}{\phi_{z4}} ; \quad N_2 = \frac{\phi_{z2}}{\phi_{z4}} ; \quad N_3 = \frac{\phi_{z3}}{\phi_{z4}} ; \\ N_4 &= \frac{\phi_{z4}}{\phi_{z5}} ; \quad N_5 = \frac{\phi_{z5}}{1000} . \end{aligned} \quad (8)$$

La cele de mai sus se adaugă aportul global al corpurilor de iluminat în instalație, exprimat prin:

- *raportul direct*, definit ca raportul între fluxul luminos ϕ_{04} primit de planul util direct de la corpurile de iluminat și fluxul luminos $\phi_{\cup}$ emis de acestea în emisfera inferioară:

$$R_d = \frac{\phi_{04}}{\phi_{\cup}} ; \quad (5)$$

- *factorii de utilizare* pentru fiecare din suprafețele de referință ale modelului de calcul, definiți ca raportul între fluxul total ϕ_j (direct și primit prin reflexie de la celelalte suprafețe) pe suprafața considerată și fluxul luminos total ϕ_{lt} al celor N_l lămpi din instalație (fiecare având fluxul luminos ϕ_l); în particular, pentru planul util:

$$u_4 = \frac{\phi_4}{N_l \phi_l} . \quad (6)$$

Atât raportul direct, cât și factorii de utilizare, pentru un corp de iluminat dat, depind, evident, de numărul de corpuri de

iluminat și de geometria instalației (a, b, h sau, respectiv, K). Așa cum rezultă din calcule, se pot considera acceptabile valorile corespunzătoare unei amplasări de referință CIE (cu un număr minimal de corpuri de iluminat) într-o încăpăre standard (caracterizată prin $b/a \approx 1,6$) [1].

Calculul raportului direct și al factorului de utilizare (în particular, pentru planul util), pentru diverse combinații ale factorilor de reflexie ai suprafețelor de referință din modelul de calcul considerat poate fi efectuat printr-o metodologie simplă, bazată pe recomandările Comisiei Internaționale de Iluminat [3].

Raportul direct al instalației este:

$$R_d = M_1 N_1 + M_2 N_2 + M_3 N_3 + M_4 , \quad (9)$$

unde $M_1 \dots M_4$ sunt multiplicatorii geometrice medii pentru amplasarea de referință a corpurilor de iluminat în încăpărea standard, care depind, în ultimă instanță, de indicele instalației K .

Factorul de utilizare pentru planul util se calculează cu expresia:

$$u_4 = \{F_{31} + [F_{32} - F_{31} + (F_{33} - F_{32}) R_d] N_4\} N_5 , \quad (10)$$

în care factorii F_{ij} se exprimă în funcție de indicele instalației și de factorii de reflexie ai suprafețelor [4].

O fișă cuprinzând aceste caracteristici pentru fiecare corp de iluminat prezintă interes atât pentru producător (pentru a furniza utilizatorului cât mai multe informații asupra produsului) cât și pentru utilizator (reprezentând punctul de plecare în calculul instalației dorite). Fișa ar trebui să fie, de regulă, furnizată integral de către producătorul de corpuri de iluminat. Obligația minimală a acestuia fiind cea de a furniza curbele de distribuție a intensității luminoase în diverse plane meridionale, pe baza încercărilor efectuate în laboratoarele proprii, utilizatorul trebuie să cunoască modul în care poate determina prin calcul restul informației necesare, pentru diverse situații concrete, conferindu-i avantajul posibilității aplicării metodologiei respective pentru orice corp de iluminat.

2 Întocmirea unei fișe

Este exemplificată numai referirea la planul util.

Un dosar de calcul EXCEL poate conține, de exemplu, trei foi de calcul corespunzând următoarelor situații:

1. Se dau numai curbele fotometrice și se determină indicatorii N , curba zonală, factorii de utilizare pentru valorile discrete uzuale ale factorilor r și K , precum și R_d . Mărimile u_4 și R_d pot fi obținute și pentru valori diferite ale factorilor r și K (fig. 1).

2. Se dau numai curbele fotometrice și se determină numai indicatorii N și curba zonală (fig. 2).

3. Se dau indicatorii de distribuție și se calculează u_4 și R_d pentru valorile concrete din instalație ale factorilor r și K (fig. 3).

Foile 2 și 3 sunt obținute prin copierea foii 1 și "ascunderea" liniilor care nu prezintă interes.

Relațiile de calcul pentru indicatorii N , raportul direct R_d și factorul de utilizare u_4 , împreună cu valorile multiplicatorilor geometrice pentru instalația de referință, sunt incluse în program.

Fișele de calcul pot fi folosite atât de către producătorul de corpuri de iluminat, cât și de către utilizator.

Coloanele și liniile care nu prezintă interes pentru utilizarea fișelor au fost "ascunse".

3 Utilizarea foilor de calcul

Casetele cu fond închis sunt casete pentru datele care vor fi introduse. Casetele cu fond normal sunt casete în care apar rezultatele calculului.

A. În cazul producătorului corpului de iluminat se folosește, de regulă, foaia 1 (fig. 1).

a. Se introduce în caseta 1 tipul de corp de iluminat;

b. Se introduc în caseta 2 curbele de distribuție a intensității luminoase în cele două plane pentru corpul de iluminat considerat; se obțin indicatorii de distribuție zonali ai corpului, care apar în caseta 7 și reprezentarea grafică a curbei zonale de distribuție a fluxului luminos;

c. Se introduc în caseta 3 combinațiile de factori de reflexie pentru suprafețele de referință; se obțin direct factorii de utilizare corespunzând planului util, pentru valorile discrete uzuale ale indicelui instalației (casetă 9), precum și raportul direct (casetă 8);

d. Pentru a obține numai indicatorii de distribuție și curba zonală, se folosește foaia 2.

B. Pentru utilizator, există următoarele situații:

a. dacă foaia 1 de mai sus este completă și se recurge la metoda "clasică" de calcul tabelar, se extrag raportul direct și factorii de utilizare corespunzători indicelui instalației concrete considerate (pentru valori intermediare ale indicelui instalației, executându-se interpolarea liniară.);

b. În cazul când producătorul furnizează numai curbele de distribuție și se dorește obținerea de informații complete, se utilizează foaia 1, introducând în una sau mai multe din coloanele casetei 3 combinațiile de factori de reflexie pentru suprafețele de referință, iar în caseta 5 - valoarea indicelui instalației; la intersecția acestora se obține direct factorul de utilizare corespunzând planului util, iar pe linia respectivă se găsește raportul direct (valorile redate în italic în exemplul dat);

c. dacă, în situația de mai sus, se dorește numai determinarea caracteristicilor corpului. se utilizează foaia 2;

d. dacă sunt furnizați și sau numai indicatorii de distribuție, se recurge la foaia 3, introducând în caseta 7 valorile indicatorilor de distribuție.

Valorile factorilor de reflexie pentru pereți și tavan sunt determinate cu relațiile (2) și (4) iar cele ale indicelui instalației - cu expresia (1).

4 Concluzii

Fișele prezentate constituie un mijloc eficient și rapid de evaluare a caracteristicilor fotometrice ale oricărui corp de iluminat pentru care se dispune cel puțin de curbele de distribuție a intensității luminoase în cele două plane de simetrie uzuale (pentru corpurile de iluminat simetrice, cele două curbe se consideră identice). Folosirea programului respectiv de calcul este recomandată atât pentru producătorul de corpuri de iluminat, cât și pentru utilizator.

5 Bibliografie

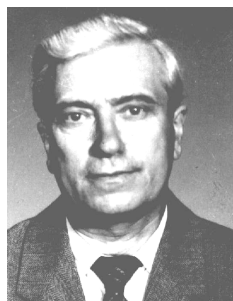
1. CIE Publication No 52. *Calculations for Interior Lighting. Applied Method*
2. Dinculescu, P. *Determinarea factorului de utilizare pentru instalațiile de iluminat interior*. În: EEA-Electrotehnica, 31 (1983), nr. 8, p. 313-325
3. Dinculescu, P. *Quick, rational and accurate lumen method using minimum available data*. Conferința Internațională ILUMINAT 2001, Cluj-Napoca, 2001
4. Dinculescu, P. *Aspecte moderne privind calculul instalațiilor de iluminat*. Universitatea "Spiru Haret", București, 1993

CALCULATION SHEETS FOR PHOTOMETRIC CHARACTERISTICS OF LUMINAIRES

Abstract

The proposed sheets are useful when the photometric data, usually supplied by the luminaire manufacturer, are restricted or when different other luminaires are to be used. The lighting engineer must then be able to complete the sort of information by performing calculations of the missing data during the actual design phase. The sheets, based on EXCEL program, give the possibility to fast calculate the flux code, the zonal flux diagram, the direct ratio and the utilization factors for any luminaire, for any reflectance of surfaces and for any room index. They may also be used by the equipment manufacturer in converting measurement data into a form suitable for presentation to the lighting engineer. The minimum available data are the luminous intensity diagrams or tables.

Dr. ing. **Paul DINCULESCU**
Universitatea POLITEHNICA București
Facultatea de Electrotehnică
Spl. Independenței Nr. 313, Sect. 6
Tel. (021)410.04.00/9139; 0722.963670
E-mail: paul@apel.apar.pub.ro



Absolvent al Facultății de Electrotehnică și doctorat la Universitatea POLITEHNICA din București. Profesor de instalații electrice și iluminat electric. Cărți, articole în reviste de specialitate, lucrări prezentate la Conferințe naționale și internaționale în domeniile: instalații electrice, surse de lumină, calculul instalațiilor de iluminat interior

Ing. **George Gabriel BRATU**
SITECO România
Spl. Unirii Nr. 35, Bl.M7, Sc.2, Ap.38, Sect.3, București
Tel. (021) 322.87.40; 0722.229.238
E-mail: bgeorge@canpower.ro



Tânăr absolvent al Facultății de Electrotehnică din București (2002). A susținut lucrări la sesiunile științifice studențești și a aprofundat probleme de iluminat electric în cadrul întocmirii proiectului de diplomă. Lucrează ca director executiv la SITECO.

Primită în 20.01.2003, revizuită în 30.01.2003
Referent: Dr. Florin POP

Corp de iluminat

RZS 1/36 ZUMBTOBEL

Curba de distribuție a intensității luminoase (cd/1000 lm) și fluxul zonal cumulat (%)																			
$\gamma, \varphi [^\circ]$	0	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	165	175
[0-180]	152	153	159	174	188	195	190	150	55	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[90-270]	152	151	141	123	100	76	52	33	19	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Phi_z [\%]$	0.0	1.5	5.7	12.6	21.6	32.1	43.0	52.0	56.0	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5

Indicatori de distribuție				
N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
0.40	0.75	0.94	1.00	0.57

Factori de reflexie										
Tavan	0.70	0.70	0.70	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30	0.00	
Pereți	0.50	0.30	0.10	0.50	0.30	0.10	0.30	0.10	0.00	
Podea	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.10	0.10	0.00	
K	Factori de utilizare									
0.6	0.25	0.19	0.16	0.24	0.19	0.16	0.18	0.16	0.14	0.25
0.8	0.31	0.25	0.21	0.30	0.25	0.21	0.24	0.21	0.19	0.34
1	0.36	0.30	0.26	0.34	0.30	0.26	0.28	0.25	0.24	0.41
1.25	0.41	0.35	0.31	0.39	0.34	0.31	0.32	0.30	0.28	0.49
1.5	0.45	0.39	0.35	0.42	0.38	0.35	0.36	0.33	0.32	0.55
2	0.50	0.46	0.42	0.48	0.44	0.41	0.41	0.38	0.37	0.64
2.5	0.54	0.50	0.46	0.51	0.48	0.45	0.44	0.42	0.40	0.70
3	0.57	0.53	0.50	0.54	0.51	0.48	0.46	0.44	0.43	0.75
4	0.60	0.57	0.54	0.57	0.54	0.52	0.49	0.48	0.46	0.80
5	0.63	0.60	0.57	0.59	0.57	0.55	0.51	0.50	0.48	0.84
10	0.67	0.66	0.64	0.63	0.62	0.60	0.55	0.54	0.52	0.91
20	0.70	0.69	0.68	0.65	0.65	0.64	0.57	0.57	0.55	0.96
0.7	0.28	0.22	0.19	0.27	0.22	0.19	0.21	0.18	0.17	0.29

Diagrama zonală a fluxului cumulat

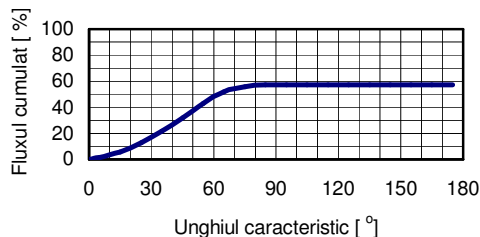


Figura 1 Fișa de calcul - varianta 1

Corp de iluminat

RZS 1/36 ZUMBTOBEL

Curbele de distribuție a intensității luminoase (cd/1000 lm) și fluxul zonal cumulat (%)																			
$\gamma, \varphi [^\circ]$	0	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	165	175
[0-180]	152	153	159	174	188	195	190	150	55	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[90-270]	152	151	141	123	100	76	52	33	19	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Phi_z [\%]$	0.0	1.5	5.7	12.6	21.6	32.1	43.0	52.0	56.0	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5

Indicatori de distribuție				
N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
0.40	0.75	0.94	1.00	0.57

Diagrama zonală a fluxului cumulat

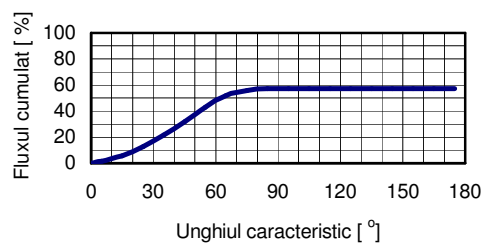


Figura 2 Fișa de calcul - varianta 2

Corp de iluminat:

RZS 1/36 ZUMBTOBEL

Indicatori de distribuție				
N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
0.40	0.75	0.94	1.00	0.57

Factori de reflexie										Raport direct
Tavan	0.70	0.70	0.70	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30	0.00	
Pereți	0.50	0.30	0.10	0.50	0.30	0.10	0.30	0.10	0.00	
Podea	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.10	0.10	0.00	
K	Factori de utilizare									R_d
0.7	0.28	0.22	0.19	0.27	0.22	0.19	0.21	0.18	0.17	

Figura 3 Fișa de calcul - varianta 3