

EFICIENTIZAREA ECONOMICĂ A INSTALAȚIILOR DE ILUMINAT INTERIOR

Corina RAFIROIU, Virgil MAIER, Sorin PAVEL
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Rezumat

Eficiențizarea economică a instalațiilor de iluminat interior se rezolvă substanțial în faza de proiectare, pentru instalații noi, sau prin reproiectare, pentru instalații existente, dacă se urmează algoritmul propus în lucrare.

Analiza cât mai extinsă a ofertei de echipament electric, susceptibil să corespundă aplicației, reprezintă o primă etapă., prin care proiectantul definește perspectiva asupra ansamblului soluțiilor posibile. În continuare, prin respectarea recomandărilor de amplasare, se determină intervalul de variație a înălțimii de suspendare și mulțimea de valori care poate fi atribuită numărului de corpuri.

Metoda factorului de utilizare este prezentată într-o viziune matricială, originală, pentru a permite selectarea tuturor soluțiilor tehnic posibile. Predeterminarea echipamentului electric se realizează în acest stadiu al proiectării pe baza fluxului luminos al lămpilor dintr-un corp. Cu seturile de corp-lampă determinate, se validează din punct de vedere luminotehnic toate soluțiile care satisfac aplicația considerată, urmărind realizarea tuturor condițiilor de calitate corespunzătoare aplicației.

În final, din ansamblul soluțiilor viabile se alege varianta optimă din punct de vedere economic și energetic, activând componenta economică a programului de calcul.

1 Obiective

Asistarea sistematică cu programe performante a proiectării instalațiilor de iluminat interior necesită parcurgerea unor etape suplimentare, neacoperite prin programe, astfel încât alegerea soluției finale, optime din punct de vedere economic să se facă din ansamblul soluțiilor tehnic acceptabile pentru o ofertă dată.

2 Algoritmul optimizării economice

Abordarea corectă a unui proiect de iluminat interior, cu utilizarea programelor de calcul

disponibile și cu respectarea condițiilor luminotehnice, iar din punct de vedere economic să reprezinte optimul dorit de beneficiar, presupune parcurgerea etapelor conform organigramei din figura 1

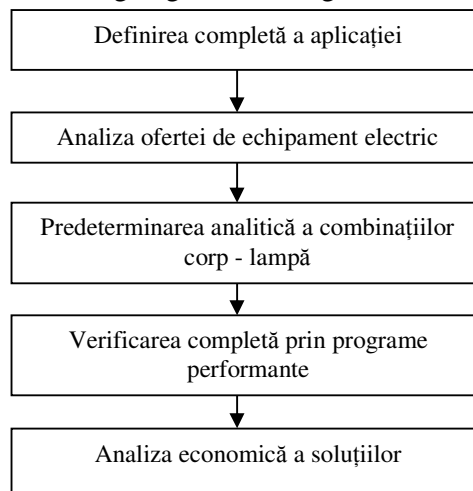


Figura 1 Organigrama metodologiei de proiectare

Etapetele relevate în organigramă conduc la construcția **piramidei soluțiilor**, ilustrată în figura 2 și care cuprinde următoarele niveluri de soluții:

- soluții în ofertă** (SO), reprezentând partea din ofertă care corespunde aplicației;
- soluțiile tehnic posibile** (STP), selectate în urma parcurgerii etapei de predeterminare a echipamentului electric;
- soluțiile tehnic acceptabile** (STA) reprezintă variantele selectate dintre STP, care îndeplinesc în totalitate condițiile luminotehnice;
- **soluția economică** (SE), de fapt optimul economic dintre soluțiile tehnic acceptabile.

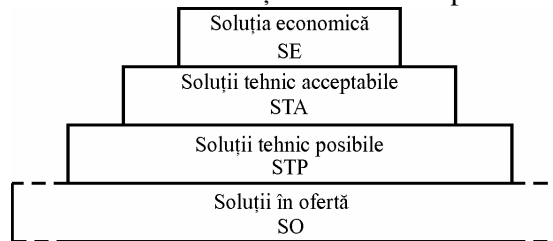


Figura 2 Piramida soluțiilor la proiectarea instalațiilor de iluminat electric

2.1 Caracterizarea aplicației

Încăperea pentru care se reproiectează instalația de iluminat interior este un laborator de specialitate, electrotehnic, având dimensiunile: $L_1 = 8,95\text{m}$, $L_2 = 6,70\text{m}$, $H = 4,24\text{m}$. Înălțimea planului de utilizare s-a considerat $h_u = 0,8\text{m}$.

Având în vedere destinația și felul activităților din încăpere, se preconizează proiectarea unei instalații de iluminat general, care să satisfacă următoarele condiții:

- iluminarea medie, minimă $E_{med} = 300\text{lx}$;
- uniformitatea iluminării să satisfacă atât factorul de uniformitate medie U_0 cât și factorul de uniformitate minim/maxim U_{mM} .
- temperatura de culoare să fie cuprinsă în intervalul $T_c \in [2800, 4200]\text{K}$ sau indicele de redare al culorilor $R_a \in [60, 90]$.
- aspectul pereților, cu evidențierea tuturor elementelor care concură la caracteristicile fotometrice ale acestora, este redat în figura 3.

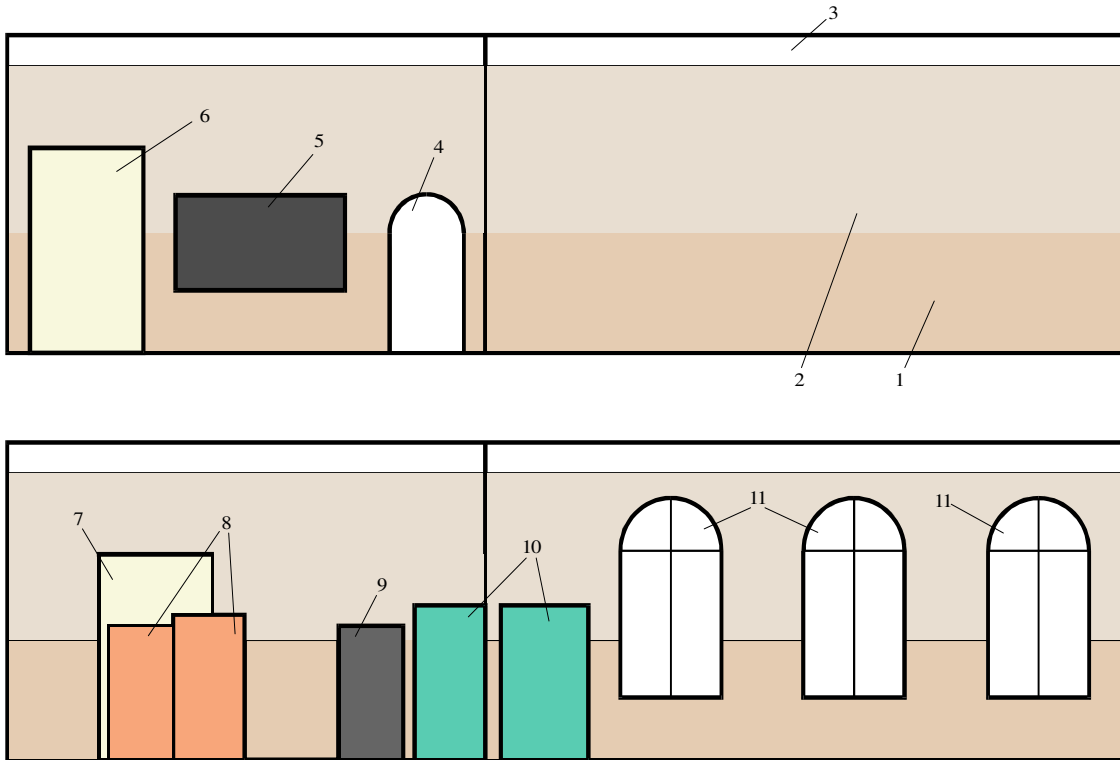


Figura 3 Aspectul încăperii și elementele componente: 1- perete vopsit în ulei, culoare ocru; 2- perete zugrăvit, culoare bej; 3- perete alb; 4- ușă vopsită în alb; 5- tablă neagră; 6, 7- uși vopsite în crem; 8- dulapuri vopsite, culoare maro; 9- dulap metalic; 10- tablou de distribuție metalic, culoare albastră; 11- ferestre

2.2 Analiza ofertei

Oferta de corpuri de iluminat și de lămpi poate fi extinsă oricât de mult; având în vedere că în etapele de asistare cu calculator se va folosi programul CALCULUX, s-au reținut în ofertă numai corpurile de iluminat Philips. În tabelul 1 se prezintă variantele de echipament electric corp-lampă (doar pentru corpul TMS 022).

Pentru un tip de corp, fluxul lămpilor dintr-un corp Φ_{lc} este funcție de trei mărimi independente: puterea lămpilor P_l , numărul

lămpilor dintr-un corp n_{lc} și temperatura de culoare T_c . Prin urmare, se poate avea în vedere următoarea formă de matrice tridimensională pentru fluxul lămpilor dintr-un corp:

$$[\Phi_{lc}]_{(3)} = \begin{bmatrix} P_l \\ n_{lc} \\ T_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dacă pentru înălțimea de suspendare se adoptă un interval de variație cu un increment dat, numărul de soluții lumino-tehnice în ofertă este destul de mare (140).

Tabelul 1 Variantele de echipament electric corp TMS 022-lămpi

Tipul corpului de iluminat	Fluxul lămpilor dintr-un corp Φ_{lc} , lm								Nr. variante în ofertă	
TMS 022	$T_c=2900$				$T_c=4100$				16 (10-distincte valoric)	
	$P_l=18 \quad 36-1 \quad 36 \quad 58 \text{ W}$				$18 \quad 36-1 \quad 36 \quad 58 \text{ W}$					
	n_{lc}	1 $[1150 \quad 2700 \quad 2850 \quad 4600]$			1 $[1150 \quad 2700 \quad 2850 \quad 4600]$					
	\downarrow	2 $[2300 \quad 5400 \quad 5700 \quad 9200]$			2 $[2300 \quad 5400 \quad 5700 \quad 9200]$					

2.3 Predeterminarea echipamentului electric

Mărimea fotometrică pe baza căreia se sortează SO pentru a obține STP este fluxul lămpilor dintr-un corp. Recurgându-se la metoda factorului de utilizare, se parcurg următoarele subetape: determinarea înălțimii de suspendare; calculul factorilor de utilizare; amplasarea în plan a corpurilor de iluminat; calculul fluxului lămpilor dintr-un corp.

2.3.1 Înălțimea de suspendare

Amplasarea pe verticală a corpurilor de iluminat se exprimă analitic în raport cu mărimile geometrice ale încăperii. Valoarea minimă a înălțimii de suspendare se determină din condițiile de limitare a fenomenului de orbire sub forma corelațiilor admise dintre înălțimea de montare de la nivelul ochilor H_o și dimensiunile încăperii (L_1, L_2), în funcție de luminanța corpurilor de iluminat [3].

Pentru corpuri cu luminanțe $L_c < 5000$ nt, se determină condițiile pentru înălțimea minimă de suspendare h_{min} sub forma:

$$h_{min} = \frac{L_l}{6} + h_{om} - h_u;$$

$$h_{min} = \frac{L_l}{4} + h_{om} - h_u. \quad (2)$$

Înălțimea de suspendare maximă rezultă din condiția de lungime minimă a pendulului:

$$h_{Max} = H - h_u - h_{cmin}. \quad (3)$$

Pentru cazul în studiu, se obține astfel domeniul de valori ale înălțimii de suspendare $h \in [2,5; 3,3]$ m, care poate fi incrementat cu pasul dorit (de ex. 0,2 m).

Se va determina în continuare indicele încăperii i , și valorile factorului mediu de reflexie a pereților pentru fiecare valoare a înălțimii de suspendare. Corespondențele dintre valoarea înălțimii de suspendare și valorile

factorului mediu de reflexie a pereților ρ_p și a indicelui încăperii i sunt redată în tabelul 2.

Tabelul 2 Factorii de reflexie medii ai pereților și indicii încăperii

Înălțimea de suspendare h, m	Factorul de reflexie ρ_p	Indicele încăperii i
2,5	0,308	1,53
2,9	0,312	1,32
3,3	0,316	1,16

2.3.2. Factorii de utilizare

Cunoscând felul distribuției fluxului luminos pentru fiecare tip de corp selectat, factorii de reflexie ai tavanului și pereților, precum și indicele încăperii, se poate determina [4] factorul de utilizare u . Factorii de utilizare corespunzători unui tip de corp pot fi organizați într-o matrice tridimensională de forma (3), a treia variabilă fiind înălțimea de suspendare h .

În tabelul 3 este indicată matricea completă $[u^{-1}]_{(3)}$ pentru unul dintre tipurile de corpuri din ofertă, matrici similare fiind calculate și pentru celelalte tipuri de corpuri din oferta selectată. Matricile bidimensionale, corespunzătoare unei anumite înălțimi de suspendare, sunt prezentate succesiv, prin aducerea lor în același plan.

Tabelul 3 Matrici ale valorilor u^{-1} pentru corpul tip TMS 022

h, m	n_{lc}	P_l	18	36-1	36	58 W
2,5	1	1	1,855	1,855	1,855	1,876
		2	1,897	1,897	1,897	1,897
2,9	1	1	2,145	2,145	2,145	2,169
		2	2,188	2,188	2,188	2,188
3,3	1	1	2,169	2,169	2,169	2,192
		2	2,217	2,217	2,217	2,217

2.3.3 Numărul de corpuri

Amplasarea în plan a corpurilor de iluminat se soluționează pe baza distanței relative dintre două corpuri d^* [3]. Astfel, pentru numărul N_l al numărului de corpuri pe o bandă se utilizează dubla inegalitate:

$$\frac{L_l}{h \cdot d_{l^*M}} + (1 - 2k_{p1}) \leq N_l < \frac{L_l}{L_C} - 2k_{p1}, \quad (4)$$

în care d_{l^*M} este valoarea maximă recomandată pentru distanța relativă dintre corpurile de iluminat din cadrul aceleiași benzi [3];

L_C - lungimea corpului de iluminat, echipat cu surse liniare ; k_{p1} - coeficient ținând seama de distanța la perete a corpurilor de iluminat și utilitatea dată spațiilor de la perete.

Numărul de benzi, notat N_2 pentru modalitatea de dispunere a benzilor, este limitat numai inferior, conform relației:

$$N_2 \geq \frac{L_2}{h \cdot d_{2^*M}} + (1 - 2k_{p2}), \quad (5)$$

în care d_{2^*M} este valoarea maximă recomandată pentru distanța relativă dintre două benzi învecinate ; k_{p2} - coeficient similar cu k_{p1} , dar corespunzător distanțelor la perete după dimensiunea L_2 .

În tabelul 4 sunt indicate domeniile de valori ale numărului de corpuri N_l pe o bandă și numărul minim de benzi N_{2min} pentru toate tipurile de corpuri din ofertă, în funcție de valorile considerate ale înălțimii de suspendare.

Tabelul 4 N_{2min} și domeniul de valori pentru N_{lmin}

h, m	N_{2min}	Tipul corpului de iluminat															
		TMS 022				TCS 097				TMX 400		TCS 058					
		$L_C=0,615$		$L_C=1,22$		$L_C=1,525$		$L_C=1,256$		$L_C=1,556$		$L_C=1,528$		$L_C=1,253$		$L_C=1,55$	
N_{Im}	N_{IM}	N_{Im}	N_{IM}	N_{Im}	N_{IM}	N_{Im}	N_{IM}	N_{Im}	N_{IM}	N_{Im}	N_{IM}	N_{Im}	N_{IM}	N_{Im}	N_{IM}		
2,5	5	5	14	5	7	5	5	5	7	5	5	5	5	5	7	5	5
2,9	4	5	14	4	7	4	5	4	7	4	5	4	5	4	7	4	5
3,3	4	4	14	4	7	4	5	4	7	4	5	4	5	4	7	4	5

Calculule încep considerându-se numărul minim de corpuri:

$$N_{cmin} = N_{lmin} \cdot N_{2min}, \quad (6)$$

urmând ca incrementarea numărului de corpuri să se facă din aproape în aproape, până la epuizarea tuturor soluțiilor tehnic posibile.

2.3.4 Fluxul lămpilor dintr-un corp

Predeterminarea echipamentului electric corp-lămpi se încheie cu calculul fluxului lămpilor dintr-un corp. Devin STP acele instalații de iluminat, caracterizate prin combinația corp-lămpi, înălțime de suspendare și număr de corpuri, care îndeplinesc dubla inegalitate scrisă în formă, matricială:

Tabelul 5 Soluțiile tehnic posibile pentru corpul TMS 022

Tip corp	h, m	Tipul lămpii	Fluxul lămpilor dintr-un corp, lm	$N_c(N_l \times N_2)$
TMS 022	2,5	TLD1x18W	1150	40(8x5)
		TLD1x18W	1150	42(7x6)
	2,9	TLD1x18W	1150	42(7x6)
		TLD1x36-1W	2800	21(7x3)
	3,3	TLD1x18W	1150	45(9x5)
		TLD1x36-1W	2800	21(7x3)
TLD2x18W		2300	25(5x5)	

$$\frac{E_{med} \cdot A}{k_{Mt} \cdot N_c} [u^{-1}]_{(2)} \leq [\Phi_{lc}]_{(2)} < \frac{E_{medM} \cdot A}{k_{Mt} \cdot N_c} [u^{-1}]_{(2)}, \quad (7)$$

în care $A=L_1L_2$ este aria încăperii; E_{medM} -limita superioară a iluminării medii, stabilită în raport cu valoarea următoare lui E_{med} din scara iluminărilor [3]; k_{Mt} -factorul de menținere total al instalației de iluminat.

Utilizând relația (7) pentru fiecare înălțime de suspendare, iar în cadrul unei înălțimi de suspendare pentru fiecare temperatură de culoare, se selectează toate STP. Pentru aplicația analizată, acestea sunt în număr de 76, fiind prezentate condensat în tabelul 5 numai câteva din cele aferente corpului de iluminat tip TMS 022.

2.4 Identificarea soluțiilor tehnic acceptabile (STA)

Rezultatele obținute pentru determinarea STA sunt prezentate sub formă de tabele și grafice, acestea putând fi reprezentări bi și tridimensionale, pentru iluminări.

Rulând programul pentru toate STP, s-au validat luminotehnic un număr de 46 soluții, dintre care cele referitoare la corpul TMS 022 sunt redate în tabelul 6.

Tabelul 6 Soluțiile tehnic acceptabile pentru corpul de tip TMS 022

Tip corp	h , m	Tip lampă	Fluxul lămpii, lm	$N_C(N_1 \cdot N_2)$	E_{med} , lx	$\frac{E_{min}}{E_{med}}$	$\frac{E_{med}}{E_{max}}$
TMS 022	2,5	TLD 1x18W	1150	48(8x6)	304	0,52	0,41
	2,9	TL-D 1x18W	1150	50(10x5)	308	0,53	0,42
		TL-D 1x36-1W	2800	21(7x3)	313	0,62	0,5
	3,3	TL-D 1x18W	1150	50(10x5)	303	0,56	0,44
		TL-D 2x18W	2300	25(5x5)	309	0,55	0,45
		TL-D 1x36-1W	2800	21(7x3)	310	0,63	0,51

2.5 Calculul economic

Programele de calcul permit evaluarea investiției totale și a costurilor totale, anuale. Viziunea completă d.p.d.v. economic asupra tuturor STA este însă de natură a permite proiectantului și beneficiarului să se orienteze asupra celei mai potrivite soluții de aplicat, luând în considerare situația reală a instalației obiectiv, intervențiile necesare și fondurile disponibile.

3 Concluzii

Prin "construirea" piramidei soluțiilor, numărul de soluții se restrânge treptat, pornind de la multitudinea de combinații corp-lampă-înălțime de suspendare din etapa de analiză a ofertei, prin trecerea la etapa de predeterminare, care vizează îndeplinirea unui număr restrâns de condiții luminotehnice și apoi la etapele asistate de calculator, în care se face mai întâi selecția luminotehnică și apoi cea economică.

Etapa de predeterminare a echipamentului electric, rezolvată prin metoda factorului de utilizare, este laborioasă, impunându-se realizarea ei printr-un program pe calculator, ca o extensie a programelor deja existente. Numărul important de soluții tehnic posibile puse în evidență atrage atenția asupra importanței parcurgerii etapelor de proiectare relevante.

4 Bibliografie

1. Băilescu, Al., Savopol, D. Iluminatul electric, Îndreptar, Ediția a II-a. București, Editura Tehnică, 1969.
2. Bianchi, C. Luminotehnica, Aspecte fundamentale și aplicative, vol. I, Noțiuni fundamentale, echipamente și iluminatul interior. București, Editura Tehnică, 1990.
3. Comșa, D. ș.a. Proiectarea instalațiilor electrice industriale, Ediția a II-a. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1983.
4. Gheorghiu, N., Militaru, P. Teoria și practica iluminatului electric. București, Editura Tehnică, 1970.
5. Pop, F. ș.a. Ghidul centrului de ingineria iluminatului, vol. 2, Iluminatul interior. Ed. Mediamira, Cluj-Napoca, 2000.
6. Maier, V. ș.a. Eficientizarea economică prin proiectare a instalațiilor de iluminat public. În: Ingineria iluminatului, nr. 5, Cluj-Napoca, pp. 49-57.

INDOOR LIGHTING ECONOMIC EFFICIENCY

Abstract

The economic efficiency of indoor lighting can be solved mainly by design for both the new lighting installations and the existing ones, according to the algorithm proposed in this paper. The first step to find all possible solutions is to make an analysis of the available proper equipment

The utilization factor method is presented in an original matrix form, in order to allow the selection of all technical possible solutions. The predetermination of the electrical equipment is made according to the luminous flux produced by the luminaire lamps. All acceptable solutions are selected in order to accomplish the quality lighting requirements. The optimum solution is then economically chosen .

Lucrarea a fost prezentată la Conferința Internațională ILUMINAT 2001, 28-30 iunie 2001, Cluj-Napoca



ing. Corina RAFIROIU, asistent
UTCN - Universitatea Tehnică
Str. C. Daicoviciu Nr. 15, 3400 - Cluj-Napoca
Fax: 064.192055; Tel.: 064.195699
e-Mail: corina.rafiroiu@eps.utcluj.ro

Absolventă a Facultății de Electrotehnică Cluj-Napoca, secția Electrotehnică, promoția 1985. Doctorand, susține lucrări aplicative la disciplinele Instalații electrice industriale și Tehnologie electrică.



dr.ing. Virgil MAIER, profesor
UTCN - Universitatea Tehnică
Str. C. Daicoviciu Nr. 15,3400-Cluj-Napoca
Fax: 064.192055; Tel.: 064.195699
e-Mail: virgil.maier@eps.utcluj.ro

Absolvent al Facultății de Electrotehnică, Cluj-Napoca, promoția 1969. Doctorat în mașini electrice la I.P. Timișoara, 1987. Predă cursuri de Instalații electrice industriale, Calitatea energiei electrice și Tehnologii Neconvenționale.



dr.ing. Sorin PAVEL, șef lucrări
UTCN - Universitatea Tehnică
Str. C. Daicoviciu Nr. 15,3400-Cluj-Napoca
Fax: 064.192055; Tel.: 064.195699
e-Mail: [Sorin.Pavel@eps.utcluj.ro](mailto: Sorin.Pavel@eps.utcluj.ro)

Absolvent al Facultății de Electrotehnică, Cluj-Napoca, Secția Electrotehnică, promoția 1984; doctorat în măsurări electrice la UTC-N, 2000. Susține cursuri și lucrări aplicative la disciplinele Tehnologie electrică, Instalații electrice industriale și Modelarea și simularea sistemelor energetice.