

MICROCLIMATUL LUMINOS

Microclimatul luminos este constituit din totalitatea factorilor lumino-tehnici (calitativi și cantitativi), care asigură iluminatul artificial necesar desfășurării unei activități propuse într-un spațiu dat.

Factorii cantitativi mai importanți sunt:

- Nivelul de iluminare;
- Uniformitatea iluminării (distribuția fluxului luminos);
- Direcția luminii și umbrelor.

Factorii calitativi mai importanți sunt:

- Luminanța și Contrastele de lumina;
- Compoziția spectrală a luminii.

Luminanța este singurul factor fotometric care influențează direct ochiul, este mai greu de apreciat și de aceea ca mărime de bază pentru calculul instalațiilor de iluminat se folosește iluminare. Normativele diferitelor țări prescriu nivelul de iluminare, care trebuie realizat în planul util în funcție de activitatea desfășurată în spațiul dat, și fac precizări mai mult calitative în ceea ce privește nivelul și repartitia luminanțelor.

Totuși, între toți acești factori, fie cantitativi fie calitativi, există o strânsă corelație. De exemplu, repartitia fluxului luminos influențează direct repartitia luminanțelor, precum și direcția luminii și umbrelor.

Gradul de satisfacere al condițiilor de calitate depinde de importanta instalațiilor și a instalației și a activității care se desfășoară în spațiul dat, singura limită fiind cea de ordin economic. Se poate investi oricât în iluminatul artificial, dar acesta va atinge foarte greu nivelul calitativ al iluminatului natural, care prezintă condițiile cele mai favorabile pentru activitatea umană.

Parametrii cantitativi

Nivelul de iluminare

Nivelul de iluminare trebuie să fie suficient de mare pentru a corespunde activităților ce se desfășoară în spațiul deservit de instalație. Nivelul de iluminare este factorul de bază în proiectarea instalațiilor de iluminat atât datorită posibilității de măsurare cât și a metodelor de calcul. Valorile minime ale iluminării medii sunt reglementate prin normative și se referă la planul util, adică suprafața la nivelul căreia se realizează o activitate vizuală, situată de obicei la distanța de $0.8 \div 1$ [m] față de pardoseală.

Nivelele de iluminare se stabilesc pe baza unei corelații dintre următorii trei parametri: dimensiunea detaliilor (d), luminanța obiectivului (L) și performanța vizuală relativă (p_v). Performanța vizuală relativă reprezintă raportul dintre numărul de operații corecte efectuate în unitatea de timp, în condiții de iluminare date și, numărul maxim de operații corecte efectuate în condiții de iluminare crescute.

Impunându-se dimensiunii detaliilor (d) și performanța vizuală relativă (p_v), din grafic va rezulta mărimea luminanței necesare (L) cu ajutorul căreia se va calcula iluminarea:

$$E = \frac{L}{q}$$

unde q – coeficientul de luminanță al suprafeței date. Pentru suprafețe perfect difuzante, coeficientul de luminanță este $q = \rho / \pi$, iar ρ este coeficientul de reflexie al suprafeței.

Nivelul de iluminare are o influență hotărâtoare asupra productivității muncii, oboselii vizuale, rebuturilor și a numărului de accidente de lucru dintr-o încăpere productivă.

Aceste grafice ne arată că, la valori ale nivelului de iluminare peste $400 \div 500$ [lx], variația parametrilor este lentă, deci o creștere a nivelului de iluminare peste aceste valori nu se justifică nici din punct de vedere energetic și nici din punct de vedere al confortului vizual.

Valorile minime admisibile ale iluminării medii pentru construcțiile civile și industriale sunt stabilite prin standarde și sunt cuprinse în domeniul $200 \dots 2000$ [lx] pentru încăperile cu activitate de timp îndelungat,

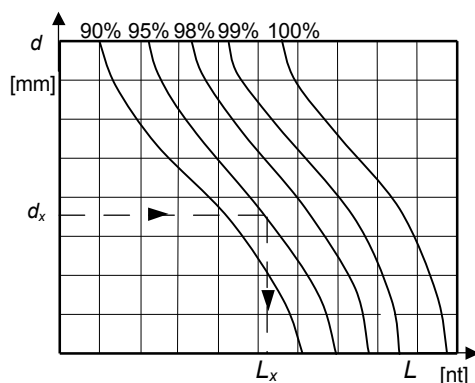


Fig.1.19 Corelația dintre luminanță, dimensiunea detaliului și performanța vizuală relativă

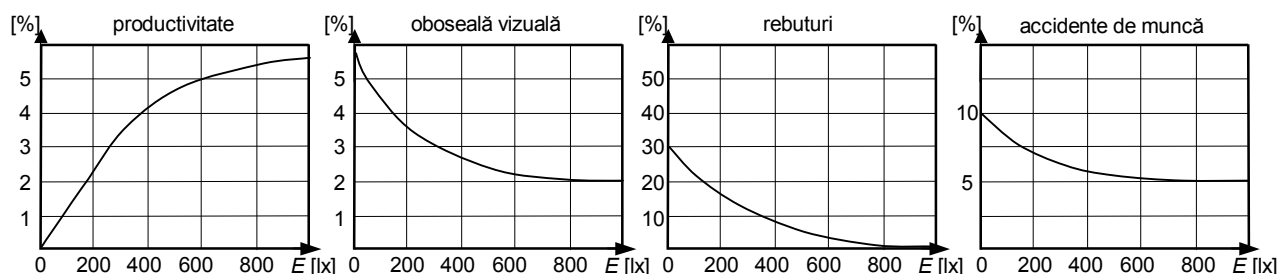


Fig.1.20 Influența nivelului de iluminare asupra productivității, oboselii vizuale, rebuturilor și accidentelor de muncă dintr-o încăpăre industrială

respectiv 20...200[lx] pentru încăperile care nu sunt folosite frecvent. În cazuri deosebite, unde finețea și dificultatea lucrărilor sunt extreme, se pot realiza iluminări deosebit de mari, între 2000...20000[lx], printr-un sistem de iluminat localizat.

Valorile iluminatului de siguranță sunt mai scăzute decât cele ale iluminatului normal, fiind recomandat un nivel de 15% din nivelul prescris pentru iluminatul incandescent sau valoarea de 150 [lx] pentru iluminatul fluorescent, iar pentru depozite cu obiecte voluminoase se admit valori și mai scăzute. Pentru a ușura adaptarea vizuală se recomandă ca, la trecerea dintr-o încăpăre în alta, raportul iluminărilor să nu fie mai mare de 5 (sau mai mic de 1/5).

Pentru iluminatul exterior se prevăd nivele de iluminare mici, începând de la 1÷3 [lx], din considerente economice deoarece la exterior finețea activităților este mai redusă. Fac excepție arenele sportive, pentru care nivelul de iluminare se stabilește pe baza mai multor criterii: disciplina sportivă, viteza jocului, dimensiunea mingii, categoria terenului (antrenament sau competiție), exigențe impuse de transmisia color.

În iluminatul exterior se impun condiții suplimentare privind mărimea iluminărilor din plan orizontal E_H și vertical E_V . Pentru o distingere spațială corectă se recomandă ca în zona centrală, la o înălțime de $h = 1,5m$, $E_V \geq 0,5 \cdot E_H$, iar în cazul transmisiilor TV se recomandă $E_V = (1...2) \cdot E_H$ (cu cât E_V este mai mare cu atât imaginea este mai bună).

Dimpotrivă, pentru iluminatul rutier, datorită vitezelor mari de deplasare a "observatorului" și a caracterului "activ" al luminanței față de ochi, ca element de bază se consideră nivelul de luminanță și nu nivelul de iluminare.

Uniformitatea iluminării

În proiectarea instalațiilor de iluminat se urmărește obținerea unei uniformități cat mai mari a iluminării în planul util pentru a evita obosirea ochiului datorită adaptărilor repetate de la un nivel de iluminare la altul. Aprecierea gradului de uniformitate se realizează cu ajutorul a doi factori "de uniformitate":

- factor de uniformitate minim-maxim, definit prin raportul : E_{min} / E_{max}
- factor de uniformitate minim-mediu, definit prin raportul : E_{min} / E_{med}

Valorile minime ale acestor factori sunt standardizate în funcție de destinația încăperii și categoria de lucrări care se desfășoară în aceasta. În funcție de dimensiunea cea mai mică a detaliului care caracterizează lucrările efectuate, încăperile sunt grupate în 8 categorii (notate cu caractere romane, categ. I..VIII)

Tabel 1.X

Categoria construcțiilor	Factori de uniformitate	
	E_{min} / E_{max}	E_{min} / E_{med}
Construcții industriale (încăperi din categ. I – V)	0,3	0,65
Construcții industriale (încăperi din categ. VI – VII)	0,2	0,4
Construcții civile	-	0,5
Suprafețe de circulație	-	0,25

Se consideră că un iluminat general este uniform distribuit dacă raportul $E_{min} / E_{med} > 0,8$.

În cazul iluminatului direct pentru a realiza o repartitie cât mai uniformă a iluminatului în planul util, aparatele de iluminat trebuie amplasate la o înălțime cât mai mare și la distanțe cât mai mici între ele. În cazul iluminatului indirect, din contra, corpurile de iluminat trebuie amplasate cât mai jos pentru a realiza o repartitie cât mai uniformă a iluminărilor pe tavan.

Uniformitatea iluminării se asigură prin amplasarea convenabilă a aparatelor de iluminat și prin alegerea distribuției spațiale a fluxului luminos al acestora. Se numește *distanță relativă* d_r , raportul dintre distanța d dintre aparatele de iluminat alăturate și înălțimea h de suspendare a acestora față de planul util:

$$d_r = d / h$$

Pentru a asigura uniformitatea necesară în planul util, în funcție de curba fotometrică a aparatului de iluminat, valorile acestora se aleg între 0,5 .. 1 pentru iluminatul incandescent sau cu lămpi cu descărcări, respectiv între 0,6 .. 0,7 la iluminatul fluorescent.

În cazul iluminatului stradal se întâlnesc două situații:

- dacă circulația pietonală este intensă și cea auto este redusă, atunci este necesar ca iluminatul din planul vertical să fie aproximativ egal cu cel din planul orizontal (situația parcurilor) $E_v \cong E_h$;
- pentru o circulație pietonală redusă și auto intensă se recomandă ca iluminatul în plan vertical să fie 10% din iluminatul în plan orizontal $E_v \cong 0.1 \cdot E_h$.

Parametri calitativi

Luminanța și contrastele de luminanță

Luminanța este factorul calitativ cel mai important al unei instalații de iluminat, întrucât este singura mărime fotometrică care influențează direct ochiul. Dacă luminanța obiectelor aflate în câmpul vizual depășește anumite valori, atunci poate să apară fenomenul de orbire. Prin orbire se înțelege o senzație vizuală neplăcută sau o diminuare a capacității de distingere a obiectelor.

Orbirea poate fi *psihologică* dacă starea de jenă vizuală se datorează contrastelor moderate de luminanță și poate fi *fiziologică* dacă contrastele de luminanță conduc la pierderea facultăților vizuale pentru o perioadă mai scurtă sau mai lungă de timp.

În funcție de distribuția luminanțelor în câmpul vizual putem întâlni: orbire directă, orbire prin reflexie și orbire prin contrast.

Orbirea directă apare când privirea întâlnește surse de lumină de mare luminanță și se evită prin:

- montarea aparatelor de iluminat la înălțimi adecvate, în afara unghiului de 45° față de linia vederii;
- mascarea aparatelor de iluminat prin utilizarea de sisteme optice (abajururi, grătare difuzante, materiale transmițător difuzante), cu rolul de a limita luminanța (strălucirea) acestora la valori acceptabile;
- utilizarea de aparate de iluminat cu unghi de protecție mare pentru iluminatul local.

Orbirea prin reflexie apare datorită suprafețelor de reflexie regulată sau regulat difuză existente în câmpul vizual și se evită prin aplicarea unor finisaje mate pe pereți, pardoseală sau suprafețe de lucru și prin amplasarea aparatelor de iluminat astfel încât reflexia acestora să se producă în afara direcției de privire.

Orbirea prin contrast apare când două suprafețe cu luminanțe mult diferite se află simultan în câmpul vizual. Contrastul de luminanță este dat de raportul:

$$c = \frac{|L_d - L_f|}{L_f} \quad \text{unde: } L_d \text{ luminanța detaliului; } L_f \text{ luminanța fondului.}$$

Contrastul de luminanță este considerat mic dacă $c \leq 0,2$, mediu dacă $0,2 < c \leq 0,5$ și mare pentru $0,5 < c$. Totodată, în funcție de factorul său de reflexie, fondul este considerat întunecat când $\rho \leq 0,2$, mediu când $0,2 < \rho \leq 0,4$ și luminos când $0,4 \leq \rho$.

Direcția luminii și umbrele

Direcția de incidență a luminii asupra corpului observat depinde în mare măsură de sistemul de iluminat ales. Un obiect iluminat cu lumina dirijată va prezenta umbre puternice, margini reliefate rezultând o percepere

ușoară a detaliilor, dar este posibil ca totodată să apară contraste puternice de luminanță. Dacă sistemul de iluminare asigură o lumină difuză, atunci obiectul iluminat va prezenta umbre slabe, contraste de luminanță reduse, obținându-se o ambianță plăcută, reconfortantă.

Reliefarea (modelarea) constă în evidențierea sarcinilor vizuale tridimensionale prin contraste de luminanță. Ea se poate realiza prin direcționarea luminii și/sau prin amplasarea și orientarea aparatelor de iluminat. Imaginea poate fi: normală, A (redare corectă), contrastantă, B (redare "dramatică"/"dură") și fără contraste, C (redare slabă, "plată").

Evaluarea reliefării se face cu ajutorul unor indici de reliefare (modelare) m . Indicele de modelare Fischer este definit prin

$$m = \frac{|\bar{E}|}{E_{sc}},$$

unde \bar{E} este vectorul de iluminare definit prin diferența dintre iluminările E_f de pe fața și E_s spatele unui disc de referință de rază r , iar E_{sc} este iluminarea "scalară" pe o sferă de referință cu aceeași rază r (v.fig.1.XX).

Valoarea maximă a indicelui se obține pentru o imagine dură, dramatică (de tip B) pentru care $E_s = 0$ și deci

$$m = \frac{\Phi / \pi r^2}{\Phi / 4\pi r^2} = 4$$

Dacă dimpotrivă, imaginea este fără contraste (de tip C) atunci $E_f = E_s$ și deci $m = 0$. Pentru o bună redare a figurii umane (imagine normală, de tip A) se recomandă pentru m valori între 1 și 2.

Reliefarea și direcționarea luminii sunt mijloace de bază ale iluminatului artistic, dar nu numai. Pentru redarea sarcinilor vizuale din planul util orizontal (mai rar, vertical) direcționarea luminii este esențială. Se urmărește:

- Redarea corectă a contrastului sarcină vizuală – fond prin evitarea voalului de reflexie, impunând un unghi α de incidență optim de 25° . Dacă dimpotrivă, se dorește evidențierea unor defecte pe suprafețele plane, unghiul de incidență crește la valori de $70..80^\circ$ prin folosirea iluminatului local.
- Folosirea aparatelor de iluminat ce emit în unghiuri solide mari, în special în încăperi de înălțime mică

Compoziția spectrală a luminii

Efectele fiziologice și psihologice ale iluminatului artificial depind de compoziția spectrală a luminii, care influențează totodată contrastele dintre detaliu și fond și redarea culorilor.

Culoarea sursei de lumină trebuie să corespundă destinației spațiului dat și tipului de activitate care se desfășoară în el. De asemenea, culoarea suprafeței reflectante din spațiul dat trebuie armonizată cu culoarea sursei de lumină, îndeosebi în cazul construcțiilor civile, sau să fie în concordanță cu funcțiile încăperii, în cazul construcțiilor industriale. Astfel, dacă o încăpere este lipsită permanent de lumină naturală, culoarea sursei artificiale este mai puțin importantă. În schimb, dacă în încăperea dată activitatea începe la lumina naturală și se desfășoară apoi la lumină artificială, atunci este necesar să se prevadă surse de iluminat artificial cu o

compoziție spectrală apropiată cu cea a luminii naturale.

Exista trei aspecte esențiale ale culorii luminii: culoarea aparentă a surselor de lumină, redarea culorilor și culoarea suprafețelor reflectante.

Culoarea aparentă. Proprietățile de culoare ale surselor se apreciază în funcție de temperatura de culoare a corpului negru, în sensul că unei anumite temperaturi a corpului negru (radiatorul integral) îi corespunde totdeauna aceeași culoare. Astfel culoarea corpului negru este roșu la temperatura de 900K, galben-auriu spre alb la 3000K, alb la 5000-5500K sau albastru la 8000-10000K.

Pentru că în general sursele luminoase nu sunt monocromatice, se definește temperatura de culoare corelată T_{cc} a unei surse luminoase ca fiind temperatura la care trebuie încălzit corpul negru pentru a emite un spectru luminos cât mai apropiat de cel al sursei. În funcție de aceasta, culoarea aparentă a surselor de lumină se clasifică în trei categorii:

- culori calde (roșu, oranș, galben și combinații ale acestora), caracterizate prin $T_{cc} < 3300K$, recomandate pentru nivele de iluminare mai scăzute, în încăperi în care se dorește realizarea unei atmosfere mai calde, plăcute, relaxante, stimulativă.
- culori intermediare, alb cu $3300K < T_{cc} < 5300K$, care se recomandă pentru încăperile în care se desfășoară un lucru fizic sau intelectual intens (birouri, ateliere de proiectare, laboratoare, etc.), dacă se realizează un sistem parțial integrat cu iluminatul natural.
- culori reci (verde, albastru, indigo și combinații ale acestora), caracterizate prin $T_{cc} > 5300K$ și care corespund, în general, iluminatului fluorescent. Ele sunt recomandate numai acolo unde sunt necesare nivele de iluminare deosebit de ridicate, în sistemele integrate de iluminat artificial-natural cu suprafețe vitrate mari și în zonele de climat cald.

Alegerea culorii surselor trebuie să țină totodată seama de caracterul psihologic al culorii

Corelația dintre culoare și nivelul de iluminare care asigură confortul vizual este reprezentată prin diagrama Kruithoff (diagrama de confort vizual). Din punct de vedere energetic se recomandă adoptarea unor nivele de iluminare apropiate frontierei inferioare a zonei de confort vizual.

Redarea culorilor

În încăperile în care sarcinile vizuale sunt colorate, redarea culorilor devine o foarte importantă condiție calitativă a sistemului de iluminat. Ea se apreciază printr-un indice de redare a culorilor IRC , calculat de obicei empiric pe baza studiilor experimentale și ale cărui valori orientative sunt date în tabelul următor, funcție de cele mai utilizate surse electrice de lumină.

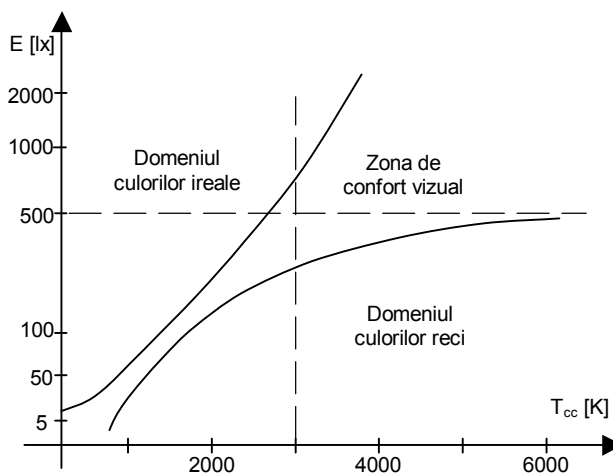


Fig.x.3 Diagrama de confort vizual a lui Kruithoff

Tipul sursei	Calitatea redării	IRC
Iluminat de referință (lumina naturală)	Ideală	100
Lampa cu incandescență clasică, LIC Lampa cu incandescență cu halogeni, LIH Lămpi fluorescente cu înaltă redare, LF	Excelentă	90 ... 100
Lămpi fluorescente cu redare foarte bună, LF Lămpi cu descărcare la înaltă presiune cu halogenuri metalice, MH	Foarte bună	70 .. 90
Lămpi fluorescente, LF	Moderată – bună	50 .. 70
Lămpi cu descărcare în vapori de mercur la înaltă presiune, LVF Lămpi cu descărcare în vapori de sodiu la înaltă presiune, LPN/SON	Modestă	30 .. 50
Lămpi cu descărcare în vapori de sodiu la joasă presiune, SOX	Slabă	30

Ochiul are proprietatea de adaptare cromatică și de aceea nu sesizează ușor diferențe de culoare ale unui obiect privit la lumina unor surse cu compoziție spectrală diferită, dar cu indice de redare acolorilor foarte bun. Spre exemplu, un obiect colorat privit la lumină incandescentă va crea aceeași senzație cromatică ca atunci când este privit la lumina zilei. Ochiul va sesiza diferența numai dacă obiectul ar fi luminat simultan cu surse de compoziție spectrală diferită.

La iluminatul exterior redarea culorilor este mai puțin importantă și, de aceea, subordonată criteriilor economice. Ca excepție trebuie menționate terenurile sportive și cele de unde se fac transmisii TV, ori în iluminatul decorativ în care importanța obiectivului impune o redare foarte bună. Datorită caracteristicilor foarte bune de eficacitate și redare a culorilor, se recomandă folosirea lămpilor cu descărcare în vapori de mercur la înaltă presiune și adaosuri de halogenuri (ioduri) metalice (MH).

Acolo unde criteriul economic primează, fiindcă au cel mai mare randament luminos, se recomandă utilizarea lămpilor cu descărcare în vapori de sodiu la joasă sau înaltă presiune. Se preferă lămpile la înaltă presiune fiindcă culoarea lor galbenă este dominantă în spectrul emis și nu totală ca la lămpile cu sodiu la joasă presiune.

Culoarea suprafețelor reflectante

Pe lângă caracterul funcțional, culoarea are și un caracter psihologic. S-a constatat experimental că, aceleași culori produc mereu aceleași senzații explicabile prin asocierea culorilor, cu diferite forme și stări ale naturii. Culoarea suprafețelor reflectante poate contribui la realizarea culorii ambientale confortabile, sau pot altera calitatea mediului luminos. Folosirea culorilor în munca de birou se bazează pe efectele fiziologice și psihologice ale culorilor asupra omului (tabelul 3). Astfel:

Tabelul 3

Principalele efecte ale culorilor

1.	Roșu	culoare caldă	are efect dinamic
2.	Verde	culoare caldă	are efect hipnotic
3.	Galben	culoare caldă	are efect benefic
4.	Albastru	culoare rece	are efect calmant
5.	Violet	culoare rece	are efect sedativ

Roșul are efecte benefice asupra sistemului nervos, stimulează circulația sângelui și pofta de mâncare, vasele limfatice și metabolismul. Roșul accelerează ritmul cardiac și respirația, combate frigul, dă impresia de mărire a spațiului, dă rezistență la efort psihic și fizic, creează o ambianță veselă și optimistă. Dar privitul intens și timp îndelungat a acestei culori determină oboseala care se va resimți la nivelul întregului organism. Roșul ajută în următoarele afecțiuni: răceli, stări subfebrile, dureri reumatice provocate de frig și de oboseală, eczeme, TBC, depresie nervoasă, paralizie, astenie fizică.

Verdele este calmant și dă senzația de odihnă. Este culoarea naturii și a speranței, dilată vasele de capacitate mică, scade tensiunea arterială, echilibrează. Lumina verde favorizează sugestia și autosugestia, dar obosește dacă nuanțele sunt prea întunecate.

Oranjul tonifică aparatul respirator, combate stările de anxietate, stimulează atenția, fixează calciul în oase, este afrodisiac. De asemenea, este tonifiant pentru ficat și pentru funcțiile de nutriție. Oranjul este indicat în bronșite cronice, sclerodermii, enfizem pulmonar, astm bronșic, rinite cronice, litiază biliară, boli de rinichi. Oranjul nu are contraindicații.

Albastrul are ca efect scăderea presiunii sanguine, a tonusului muscular, calmează respirația și reduce frecvența pulsului. Ca efecte psihologice, este o culoare foarte rece, odihnitoare și liniștitoare care îndeamnă la calm și la reverie, la predispoziție spre concentrare și spre liniște interioară. În exces, albastrul poate duce la depresie. Albastrul conferă seriozitate, tendința spre evocare, spațialitate, îngăduință, pace interioară, nostalgie.

Violetul este culoarea regală prin excelență. Recunoscută ca sedativ, violetul stimulează producerea globulelor albe, crește tensiunea arterială și frecvența ritmului cardiac.

Culorile birourilor ergonomice se aleg și în funcție de coeficientul de reflexie. Astfel se recomandă vopsirea plafoanelor în culori cu coeficient de reflexie ridicat, însă mat, pentru a împiedica strălucirea. Pardoseala să aibă un coeficient de reflexie de 15-30%. Pentru mobilier se recomandă culori deschise, având un coeficient de reflexie de 30% până la 50%. Pentru mașini de scris sau pentru calculatoare sunt indicate culori neutre (gri, bej).