

## CARACTERISTICILE FOTOMETRICE ALE CORPURILOR DE ILUMINAT

### 4.1 Generalități

Elementul de bază al unei instalații de iluminat este *corpul de iluminat (cdi)* definit ca ansamblul constructiv format din sursa de lumină, sistemul de distribuție și repartiție spațială a fluxului luminos (reflectorul) și sistemul de rezistență mecanică (armătura metalică) în care se montează accesoriile lămpii (balast, starter, dulii etc.)

Funcția principală a unui *cdi* este redistribuirea rațională a fluxului emis de sursa de lumină pentru a obține, în mod economic, pe suprafața utilă nivelul de iluminare prescris. La fel de importantă este și cea de a doua funcție a unui *cdi* și anume protejarea ochiului de lumina ridicată a sursei de lumină. În acest sens reflectorul acoperă lampa cu părți opace sau transmițător-difuzante, micșorându-i influența dăunătoare asupra ochiului.

Din punct de vedere al domeniului de utilizare deosebit *cdi* cu acțiune apropiată (de uz general), cu acțiune îndepărtată (de tip proiector), pentru semnalizare, proiecție sau iradiere.

Sub aspect fototehnic, *cdi* prezintă următoarele caracteristici: curbă fotometrică, curbe izolux, randament, distribuția zonală a fluxului luminos, unghi de protecție, factor de amplificare, coeficient de menținere și grad de protecție.

### 4.2 Curba fotometrică a corpului de iluminat

Repartiția spațială a intensităților luminoase ale unui *cdi* este dată de *suprafața fotometrică* prin care se înțelege hodograful vectorilor intensitate luminoasă. Această suprafață delimitează *corpul fotometric* ce admite sau nu un plan de simetrie. Intersecția suprafeței fotometrice cu un plan meridian ce conține axa optica a sursei de lumină se numește *curbă fotometrică* și aceasta se prezintă tabelar sau se trasează în coordonate polare pentru lampa convențională de 1000 lm. Precizăm cu această ocazie că axa polară coincide cu axa optica a *cdi*, iar polul sistemului de referință 0 se consideră în centrul sursei de lumină sau al *cdi*.

Sursele de lumină a căror corp fotometric este un corp de revoluție se numesc *surse simetrice* și curbele fotometrice (fig.4.1-a) au aceeași formă indiferent de planul meridian secant. Sursele de lumină a căror corp fotometric nu admite o axa de simetrie se numesc *surse asimetrice* sau nesimetrice și curbele fotometrice au forme diferite în plane meridiane distincte, de unde necesitatea familiei de curbe fotometrice (fig.4.1-b).

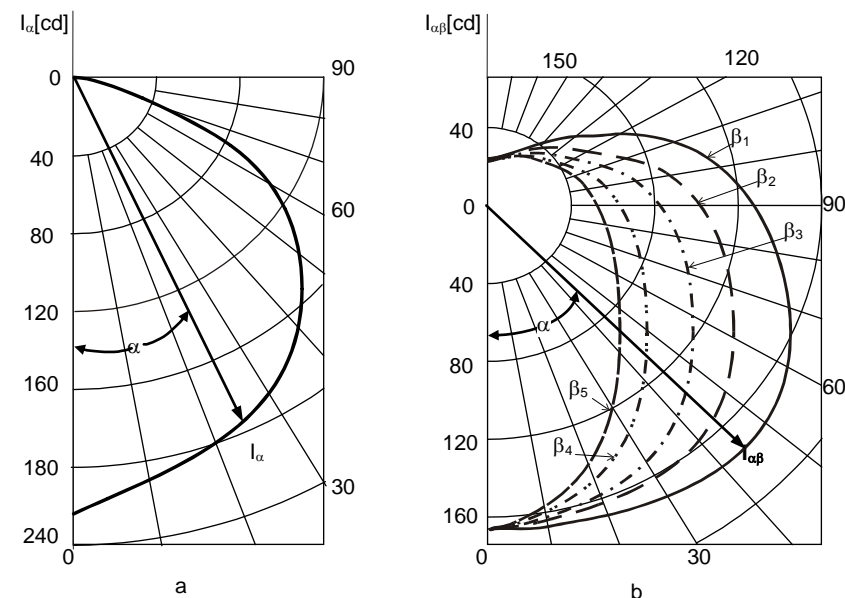


Fig.4.1 Curbe fotometrice pentru corpuri de iluminat simetrice (a) și asimetrice (b)

În coordonate polare curbele fotometrice pot fi exprimate analitic sub forma:

$$I_\alpha = f(\alpha) \quad \text{sau} \quad I_{\alpha\beta} = f(\alpha, \beta)$$

unde:  $\alpha$  - unghi de înălțime, definit ca unghiul dintre direcția intensității luminoase și axa sursei de lumină (se măsoară în planul meridian secant);

$\beta$  - unghi de azimut, ce este unghiul diedru format între planul meridian de referință și planul meridian curent.

### 4.3 Curbele izolux ale corpurilor de iluminat

Curbele izolux sunt necesare la dimensionarea instalațiilor de iluminat interior sau exterior prin metoda punct cu punct. În funcție de condițiile inițiale deosebit:

-*curbe izolux relative* ce reprezintă locul geometric al punctelor de aceeași iluminare situate în planul  $q$  normal pe axa optică a sursei, la un metru față de aceasta (plan convențional);

-*curbe izolux spațiale* ce reprezintă locul geometric al punctelor din spațiu ce au aceeași iluminare și aparțin planelor normale pe axa optica a sursei.

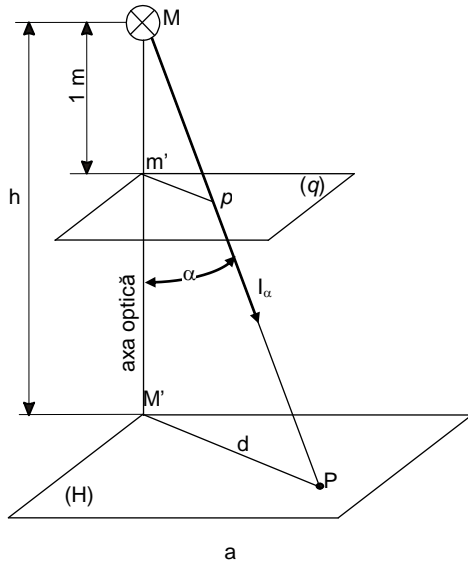
La trasarea curbelor izolux este necesară cunoașterea curbei fotometrice a *cdi*, presupus simetric în cele ce urmează, precum și relația de recurență dintre iluminarea și intensitatea luminoasă aferente unui punct de calcul inclus în planul normal (H sau q) pe axa optica a *cdi*. (fig.4.2.-a).

Astfel, la *trasarea curbelor izolux relative*, iluminarea relativă  $\varepsilon_r$  a punctului  $p$  din planul convențional  $q$  este:

$$\varepsilon_r = I_\alpha \cos^3 \alpha = I_\alpha (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha)^{-1,5} = I_\alpha (1 + d^2)^{-1,5} \quad [lx]$$

și dacă se impune unghiul  $\alpha$ , din curba fotometrică se extrag valorile  $I_\alpha$  și în final rezultă dependența căutată  $I_\alpha = f(d)$ .

În cazul corpurilor de iluminat simetrice graficul funcției  $\varepsilon_r = f(d)$  prezintă două ramuri (fig.4.2-b) și anume una descrescătoare  $\alpha \in [0, \pi/4]$  sau  $d \in [0, 1]$  și o a doua crescătoare pe domeniul  $\alpha \in [\pi/4, \pi/2]$  sau  $1/d \in [0, 1]$ . Menționăm că astfel de curbe pot fi trasate și pentru *cdi* asimetrice.



De precizat că pe aceeași direcție  $\alpha$ , corespondentul lui  $p$  este  $P$  din planul  $H$  a cărui iluminare va fi:

$$e = I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha / h^2 = \varepsilon_r / h^2 \quad [lx]$$

în care:

- $h$  - distanța *cdi*-plan de calcul, m;
- $d$  - distanța punct de calcul - proiecția centrului *cdi* pe planul util, m;
- $d = d/h = \operatorname{tg} \alpha$  distanța (coordonata) relativă (raportată) a punctului de calcul.

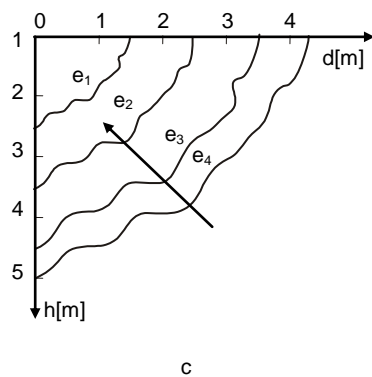
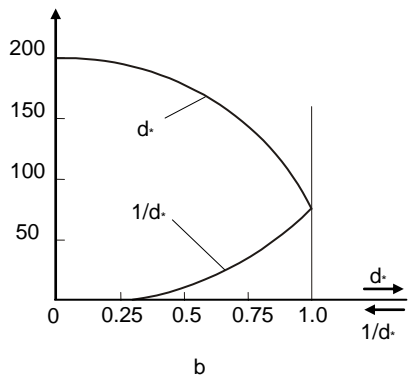


Fig.4.2 Explicativă (a) la trasarea curbelor izolux relative (b) și spațiale (c)

Metodologia trasării *curbelor izolux spațiale* constă în următoarele etape:

- se impune valoarea  $e$  a iluminării pentru care se trasează curba izolux;
- se dau valori unghiului  $\alpha$  și din curba fotometrică se extrag valorile  $I_\alpha$ ;
- se determina coordonatele carteziene ale punctelor curbei izolux

$$h = \sqrt{\frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{e}} \quad \text{și} \quad d = h \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad [m]$$

-se reprezintă grafic (fig.4.2-c) funcția  $h = f(d)_{e=\text{const}}$

Trebuie de precizat ca aceste curbe izolux spațiale se pot trasa numai pentru *cdi* simetrice.

#### 4.4 Randamentul corpului de iluminat

Randamentul corpului de iluminat  $\eta_c$  se definește ca fiind raportul între fluxul luminos  $\phi_c$  emis de acesta și fluxul izvorului  $\phi_{iz}$  cu care este echipat, adică:

$$\eta = \phi_c / \phi_{iz}$$

cu observația că estimarea fluxului  $\phi_c$  se face prin metode numerice (grafo-analitice) sau grafice.

**a. Metodele grafo-analitice** se bazează pe ipoteza ca fluxul luminos  $\Delta\phi$  emis în unghiul solid  $\Delta\omega$  este egal cu produsul dintre mărimea aceluia unghi și intensitatea luminoasă medie  $l_m$  aferentă acestuia, adică:

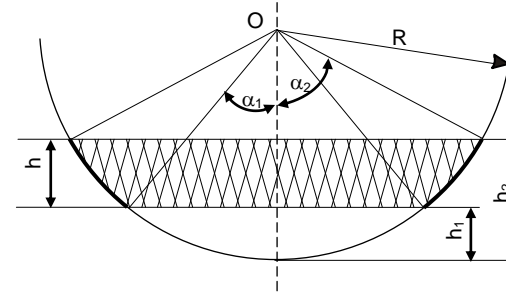


Fig 4.3 Explicativă la definirea coeficientului unghiular

$$\Delta\phi = l_m \cdot \Delta\omega \quad [lm]$$

Dacă  $\Delta\omega$  este unghiul solid sub care se vede din centrul sferei o zonă sferică oarecare (fig.4.3), atunci mărimea sa va fi:

$$\Delta\omega = \frac{2\pi(h_2 - h_1)R}{R^2} = \frac{2\pi h}{R} = 2\pi(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \quad [sr]$$

care poartă numele de *coeficient unghiular* pentru zona  $\alpha_2 - \alpha_1$ .

Din examinarea acestei relații se constată că:

- la zone sferice de înălțime  $h$  egală corespund coeficienți unghiulari egali
- coeficienții unghiulari se pot determina dacă se cunosc unghiurile plane  $\alpha$  formate între generatoarele conurilor ce determină unghiul solid și axa acestora.

Pe baza acestor observații s-au impus două metode de calcul numeric ale fluxului luminos emis de un *cdi* simetric la care se cunoaște curba fotometrică și

anume:

✓ **metoda unghiurilor solide egale** conform căreia prin divizarea diametrului sferei  $D$  în  $n$  părți egale ( $h = h_2 - h_1 = h_k = D/n = 2R/n$ ) se obțin coeficienți unghiulari egali  $\Delta\omega = 4\pi/n$ , [sr]

Fluxul luminos  $\Delta\Phi_k$  al zonei  $k$ , respectiv  $\Phi_c$  vor fi:

$$\Delta\Phi_k = \frac{4\pi}{n} \cdot I_{mk} \quad \Phi_c = \sum_{j=1}^n \frac{4 \cdot \pi}{n} \cdot I_{mj} = 4 \cdot \pi \cdot I_{ms} \quad [\text{lm}]$$

cu  $I_{ms}$  -intensitatea luminoasă medie sferică, numeric egală cu media aritmetică a intensităților luminoase corespunzătoare celor  $n$  zone sferice.

Aplicarea metodei constă în circumscrierea (fig.4.4-a) unui semicerc curbei fotometrice și divizarea diametrului sau în  $n = 10$  sau  $20$  părți egale. Intensitatea luminoasă medie de calcul  $I_{mk}$ , pentru zonele  $k$ , se citește după direcția OA dată de centrul sursei O și punctul A de intersecție dintre semicerc și mediatoarea segmentului  $h_k$ . Pentru rapiditatea calculelor, unghiul  $\alpha_k$  dintre intensitatea luminoasă medie  $I_{mk}$  și axa sursei se dă tabelar în Anexa 4.1.

✓ **metoda unghiurilor plane egale** conform căreia prin divizarea semicercului mare al sferei în  $n^*$  părți egale se obține pentru zona  $k$ , delimitată de unghiurile  $\alpha_{k-1}, \alpha_k$ , un coeficient unghiular de:

$$\Delta\omega_k = 2\pi(\cos\alpha_{k-1} - \cos\alpha_k) = 2\pi \left[ \cos(k-1) \frac{\pi}{n^*} - \cos k \frac{\pi}{n^*} \right] \quad [\text{sr}]$$

și un flux zonal

$$\Delta\Phi_k = I_{mk} \Delta\omega_k$$

ceea ce duce la un flux total al  $cdi$  egal cu:

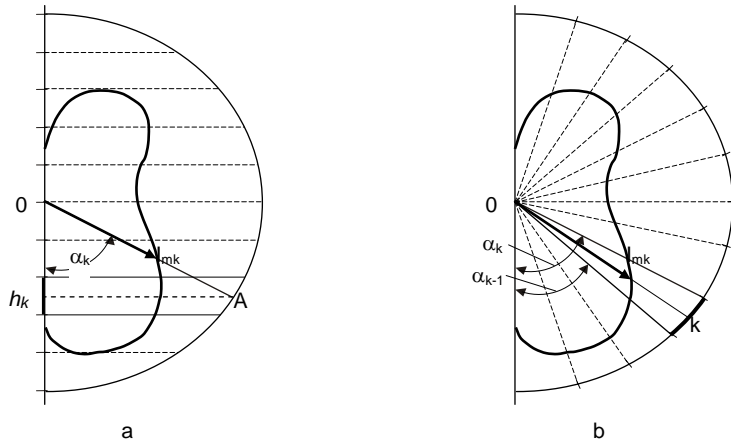


Fig.4.4 Explicative la metoda unghiurilor solide (a) și plane (b) egale

$$\Phi_c = \sum_{j=1}^{n^*} \Delta\Phi_j = 2\pi \sum_{j=1}^{n^*} \left[ \cos(j-1) \frac{\pi}{n^*} - \cos j \frac{\pi}{n^*} \right] \cdot I_{mj} \quad [\text{lm}]$$

Aplicarea practică a metodei constă în circumscrierea unui semicerc curbei fotometrice (fig.4.4-b) și divizarea acestuia în  $n^*=18$  sau  $36$  părți egale. Intensitatea luminoasă medie  $I_{mk}$  a zonei  $k$  se citește după bisectoarea unghiului  $\alpha_k - \alpha_{k-1}$ . Pentru rapiditatea calculelor, coeficienții unghiulari  $\Delta\omega_k$  pentru  $n^*=18$  se dau tabelar în Anexa 4.2.

**b. Metodele grafice**, aplicabile în special  $cdi$  simetrice, constau în calculul grafic al expresiei analitice a fluxului luminos.

$$\Phi = 2\pi \int_0^\pi I_\alpha \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha \quad [\text{lm}]$$

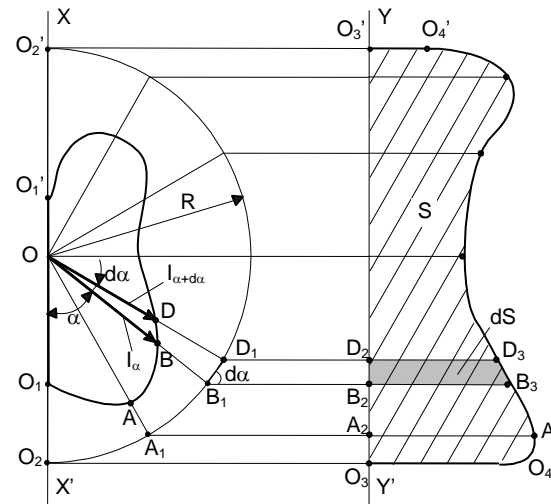


Fig.4.5 Explicativă la metoda grafică

prin transpunerea din coordonate polare în coordonate carteziene a curbei fotometrice.

Una dintre cele mai folosite variante este metoda grafică Rousseau care constă în (fig.4.5):

- se circumscrie curbei fotometrice un semicerc de rază  $R$ , al cărui centru  $O$  coincide cu al  $cdi$ ;
- la o distanță arbitrară de axa sursei  $XX'$  se duce paralela  $YY'$ ;
- se prelungește raza vectorială  $OB$ , corespunzătoare intensității luminoase  $I_\alpha$  până la intersectația cu semicercul în  $B_1$ ;
- punctul astfel obținut  $B_1$ , se proiectează pe direcția  $YY'$  în  $B_2$ ;
- se prelungește segmentul  $B_1B_2$  cu mărimea  $B_2B_3 = a \cdot I_\alpha$ , unde  $a$  - [mm/cd], scara intensităților

luminoase;

-se repetă procedeul descris pentru un număr suficient de mare de puncte și rezultă frontiera  $O_3, O_4, A_3 \dots O_4', O_3'$  denumită **curbă Rousseau**.

Aria  $S$  delimitată de curbă Rousseau și axa  $YY'$  este proporțională cu fluxul  $\Phi_c$  al  $cdi$ , lucru care se poate arăta ușor dacă se consideră o creștere infinitezimală  $d\alpha$  a unghiului de înălțime, căruia îi corespunde elementul de arie:

$$dS = B_2B_3 \cdot B_2D_2 = a \cdot I_\alpha \cdot R \cdot B_1D_1 \cdot \sin\alpha \approx a \cdot I_\alpha \cdot R \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha \quad [\text{mm}^2]$$

Dacă avem în vedere că:  $d\Phi = 2\pi \cdot I_\alpha \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha$  și  $d\Phi = 2\pi \cdot dS / (aR)$  atunci:

$$\Phi = \frac{2\pi}{aR} S \quad [\text{lm}]$$

#### 4.5 Distribuția zonală a fluxului luminos

Distribuția zonală a fluxului luminos (fig.4.6) reprezintă cota parte a fluxului luminos al sursei de lumină ce este emis în unghiuri solide a căror axă coincide cu cea a *cdi*.

Dacă, de exemplu, calculăm fluxul *cdi* prin metoda unghiurilor plan egale atunci pentru zona  $0 \dots 40^\circ$  vom vedea că:

$$\Phi_Z\% = \frac{\Phi_{0-40}}{\Phi_{iz}} 100 \quad \text{cu} \quad \Phi_{0-40} = 2\pi \sum_{j=1}^4 \left[ \cos(j-1)\frac{\pi}{n} - \cos\frac{\pi}{n} \right] \cdot I_{mj} \quad [\text{lm}]$$

#### 4.6 Unghiul de protecție

Unghiul de protecție  $\delta$  al unui *cdi* delimitează zona din spațiu în afara căreia ochiul nu percepe elementele de luminanță ridicată ale sursei de lumină.

Pentru un plan meridian dat (fig.4.7), unghiul de protecție se măsoară între planul deschiderii *cdi* și dreapta ce unește marginea deschiderii cu extremitatea opusă a izvorului de lumină, ceea ce conduce la:

$$\delta = \arctg \frac{h}{R+r}$$

cu precizarea că dimensiunile geometrice  $h$ ,  $r$  și  $R$  au semnificațiile din figură.

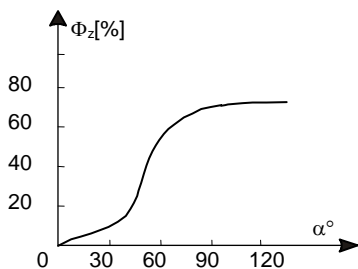


Fig.4.6 Distribuția zonală  $\Phi_z=f(\alpha)$

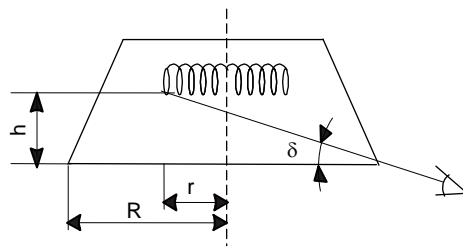


Fig.4.7 Explicativă la unghiul de protecție

#### 4.7 Factorul de amplificare

Factorul de amplificare  $m$  se definește ca raportul dintre intensitatea luminoasă maximă  $I_{mx}$  și intensitatea luminoasă medie sferică  $I_{ms}$  a corpului de iluminat:

$$m = \frac{I_{mx}}{I_{ms}} = \frac{4\pi I_{mx}}{\Phi_c}$$

#### 4.8 Coeficientul de menținere

Coeficientul de menținere  $\Delta$  al unui *cdi* este dat de raportul dintre fluxul luminos emis în timpul exploatareii  $\Phi_{ce}$  și fluxul inițial  $\Phi_{ci}$  la punerea în funcțiune:

$$\Delta = \Phi_{ce} / \Phi_{ci} < 1$$

valoarea să fiind subunitară datorită uzurii sursei de lumină, deprecierei proprietăților fotometrice ale materialelor reflectorului, depunerilor de praf etc.

Menținerea acestui parametru în limitele acceptabile este posibilă prin curățarea periodică a *cdi* și înlocuirea surselor de lumină la expirarea duratei lor de funcționare.

În calculele de proiectare se operează cu inversul acestui parametru, numit *factor* sau *coeficient de depreciere*

$$k = 1/\Delta > 1$$

#### 4.9 Gradul de protecție

Gradul de protecție al unui *cdi* este simbolizat prin grupul alfanumeric  $IP_{\tau\sigma\mu}$ , cu următoarea semnificație:  $IP$  – instalație protejată,  $\tau$  - protecția împotriva pătrunderii corpurilor străine,  $\sigma$  - protecția contra pătrunderii lichidelor,  $\mu$  - protecția contra deteriorărilor mecanice. În funcție de condițiile de mediu în care *cdi* urmează să fie montat, exploatat și întreținut se adoptă un grad de protecție corespunzător.

#### 4.10 Desfășurarea lucrării de laborator

În cadrul orelor de laborator se vor avea în vedere următoarele probleme teoretice și practice:

- se va reprezenta grafic curba fotometrică tabelară a unui *cdi* echipat cu o lampă fluorescentă convențională cu vapori de mercur de joasă presiune.
- se trasează curba izolux relativă a *cdi*, precum și o curbă izolux spațială de valoare  $e$ ;
- se determină randamentul *cdi*  $\eta_c$  prin estimarea fluxului  $\Phi_c$  utilizând metoda unghiurilor solide egale pentru  $n=20$ , metoda unghiurilor plane egale pentru  $\pi/n^*=\pi/18=10^\circ$  și prin metoda grafică Rousseau;
- se trasează distribuția zonală a fluxului luminos cu rezultatele obținute la metoda

- unghiurilor plane egale;
- se determină factorul de amplificare  $m$  operând cu cele trei valori calculate anterior ale fluxului  $\Phi_c$ ;
  - se consemnează concluziile aferente studiului efectuat.

**Anexa 4.1** Valoarea unghiului  $\alpha_k$  dintre intensitatea luminoasă medie  $I_{mk}$  și axa sursei în cazul împărțirii diametrului semicercului în  $n$  părți egale

**$n=10$**

$\alpha_k^\circ$	26	46	60	75	84
$\alpha_k^\circ$	96	107	120	134	154

**$n=20$**

$\alpha_k^\circ$	18	32	41	49	57
$\alpha_k^\circ$	63	70	76	81	87
$\alpha_k^\circ$	93	99	104	110	117
$\alpha_k^\circ$	123	131	139	148	162

**Anexa 4.2** Coeficienții unghiulari  $\omega_k$

$$\omega_k = 2 \cdot \pi \cdot \left[ \cos(k-1) \frac{\pi}{n^*} - \cos k \cdot \frac{\pi}{n^*} \right] \quad \text{pentru } n^* = 18 \quad \text{și} \quad \frac{\pi}{n^*} = 10^\circ$$

<b>Zona</b>	0-10°	10°-20°	20°-30°	30°-40°	40°-50°
$\omega_k$	0.095	0.283	0.463	0.628	0.774
<b>Zona</b>	50°-60°	60°-70°	70°-80°	80°-90°	
$\omega_k$	0.897	0.993	1.058	1.091	
<b>Zona</b>	90°-100°	100°-110°	110°-120°	120°-130°	130°-140°
$\omega_k$	1.091	1.058	0.993	0.897	0.774
<b>Zona</b>	140°-150°	150°-160°	160°-170°	170°-180°	
$\omega_k$	0.628	0.463	0.283	0.091	

