5.12 Měření křivek svítivosti parabolického svítidla

5.12.1 Úvod

Světelné zdroje většinou sami o sobě nevyhovují pro použití v osvětlovacích systémech, neboť mají pro jejich účely mimo jiné nevhodné rozdělení světelného toku do prostoru. Proto se světelné zdroje umísťují do svítidel, které zabezpečují tyto i ostatní přídavné funkce pro zvýšení využitelnosti svítidla jako celku. Kromě svítidel pro běžné osvětlovací účely se v praxi často používají světlomety, které vyzařují směrově soustředěný svazek světelných paprsků.

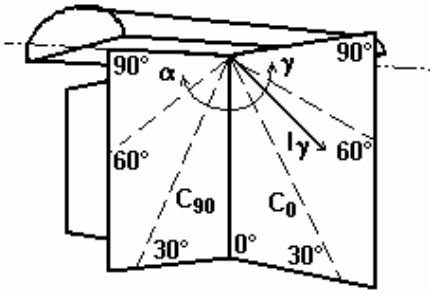
Základní světelně technickou funkcí svítidla je usměrnění a rozdělení světelného toku zdroje do okolního prostoru pro dosažení optimální osvětlenosti. Obecně se prostorové rozložení toku popisuje fotometrickou plochou svítivosti, což je plocha která vznikne tak, že se zjistí hodnoty svítivosti svítidla či zdroje ve všech směrech prostoru a vynesou se od bodu zdroje jako vektory. Při výpočtech obvykle stačí znát jen některé řezy touto plochou. Vzniknou tak roviny, kde dostaneme křivky svítivosti v polárních souřadnicích (viz. Obr. 5-24*a)*). Jednotlivé čáry svítivosti měříme na goniofotometrech a pro dodržení fotometrického zákona musí být rozměry měřeného svítidla zanedbatelné oproti vzdálenosti detektoru od kontrolního bodu (Obr. 5-26). Jinak se při měření dopouštíme chyby.

Čáry svítivosti lze matematicky obecně popsat vztahem [2]

$$I_\gamma = I_0 \cdot f_I(\gamma)\,, \qquad \text{(cd;cd;-)} \qquad (5.56)$$

kde jednotlivé veličiny jsou popsány níže.

Křivky svítivosti se udávají v určitých polorovinách, například v soustavě fotometrických polorovin A-α, B-β či C-γ doporučených CIE. Nejčastěji se používá systém rovin C-γ, jehož osa je kolmá k hlavní vyzařovací ploše svítidla (blíže [1][2]).



Obr. 5-23 – Soustava fotometrických polorovin C-γ

Aby udávané křivky svítivosti byly nezávislé na světelném toku použitého zdroje svítidla, přepočítávají se diagramy na světelný tok 1000lm.

5.12.2 Rozbor úlohy

Svítidla s parabolickou odraznou plochou, případně i s jinými světelně činnými prvky, jsou specifickou skupinou svítidel, proto vyžadují i odpovídající systém hodnocení, který se odvíjí od jejich vyzařovací charakteristiky (Obr. 5-24 *b)*).

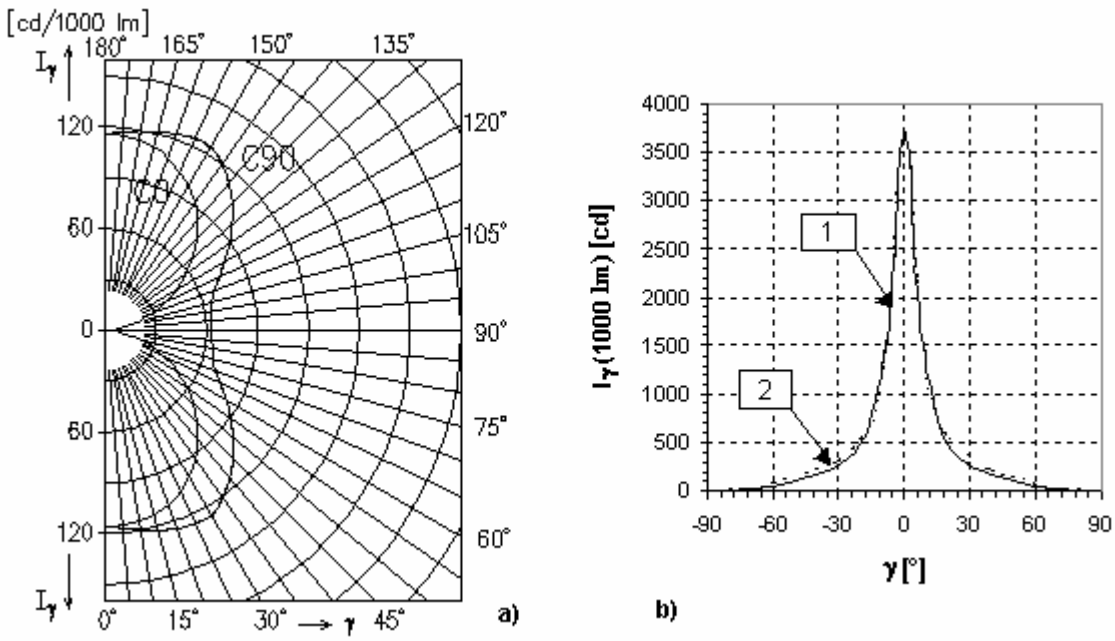
U svítidel s rotačně symetrickou plochou, kam spadá i reflektor s parabolickou odraznou plochou, plně postačují údaje odpovídající jediné fotometrické rovině C-γ. Či-li ze změřených hodnot vektorů $I\gamma$ dané fotometrické roviny sestrojíme diagram, který ovšem nebude v polárních souřadnicích , jako pro ostatní svítidla, ale v kartézském souřadnicovém systému (Obr. 5-24 *b)*), neboť ten má v tomto případě lepší vypovídací schopnost.

Reflektorové svítidlo s parabolickou odraznou plochou splňuje požadavky na správnou funkci jedině v případě, že světelný zdroj je umístěn v ohnisku parabolického zrcadla. Tedy jinak, podmínku splníme, jestliže aktivní část světelného zdroje bude zanedbatelně malá a umístěná v ohnisku. Jelikož jsou ale použity reálné světelné zdroje s nezanedbatelnými rozměry, nebude mít vyzařovací charakteristika tvar odpovídající geometrické podstatě parabolického zrcadla, ale bude vyjadřovat jejich vliv.

Hodnocení, které dobře popisuje křivky svítivosti reflektorů, je založeno na tzv. úhlových divergencí tedy Δ_{05} a Δ_{01}, které jsou vyjádřeny vztahem

$$\Delta_{05} = \gamma\left(pro\ {I_\gamma}/{I_0} = 0{,}5\right),\ \Delta_{01} = \gamma\left(pro\ {I_\gamma}/{I_0} = 0{,}1\right). \qquad (°;°) \qquad (5.57)$$

Tyto úhlové divergence nám dávají přehled o velikost aktivního prostoru spolu s přesností odrazné plochy, tedy o kvalitě charakteristik svítivosti pro dané svítidlo s jistým světelným zdrojem.



Obr. 5-24 – Křivky svítivosti svítidla v rovinách C_0 a C_{90} a); Křivka svítivosti reflektoru v rovině C_0 v ortogonálních souřadnicích 1) a její aproximace 2) (odst.5.12.5) b)

Každou křivku svítivosti, kterou získáme vynesením vektorů svítivosti dané měřené fotometrické roviny, můžeme nahradit analytickou funkcí závislosti svítivosti na úhlu dle vztahu

$$I_\gamma = I_0 \cdot f_1(\gamma)\,, \qquad \text{(cd;cd;-)} \quad (5.58)$$

kde I_γ je svítivost pod úhlem g od vztažného směru (I_0),

I_0 svítivost ve vztažném směru (v optické ose) obvykle kolmém na hlavní vyzařovací plochu svítidla,

$f(\gamma)$ charakteristická funkce svítivosti.

Charakteristická funkce je právě onou analytickou aproximační funkcí popisující změřenou křivku svítivosti. Nejčastěji se využívají funkce $\cos^n\gamma$, $\sin\gamma$ a $\sin\gamma.\cos^n\gamma$, (kde n=0,1,2,3,4,5) a zejména pak různé lineární kombinace uvedených funkcí.

Distribuci světelného toku svítidla lze také charakterizovat diagramem pásových světelných toků (Obr. 5-25). Při jeho konstrukci vycházíme z křivek svítivosti a to následujícím způsobem. Ke každému úhlovému rozpětí

$$\Delta\gamma_{(i)} = \gamma_{(i+1)} - \gamma_{(i)} \quad (pro\ i = 1,2,\ ,n)\,, \qquad (°;°;°) \quad (5.59)$$

kde na velikosti *n* závisí přesnost výpočtu, vypočteme $\Delta\Omega_{(i)}$ a to pro rotačně symetrické svítidlo podle vztahu

$$\Delta\Omega_{(i)} = 2\pi\left(\cos\gamma_{(i)} - \cos\ \gamma_{(i+1)}\right). \qquad (sr;°;°) \quad (5.60)$$

A nakonec vypočteme přírůstek světelného toku $\Delta\Phi_{(i)}$ v daném prostorovém úhlu $\Delta\Omega_{(i)}$ z definičního vztahu pro svítivost

$$\Delta\Phi_{(i)} = I_{\gamma(i),stř} \cdot \Delta\Omega_{(i)}\,, \qquad (lm;cd;sr) \quad (5.61)$$

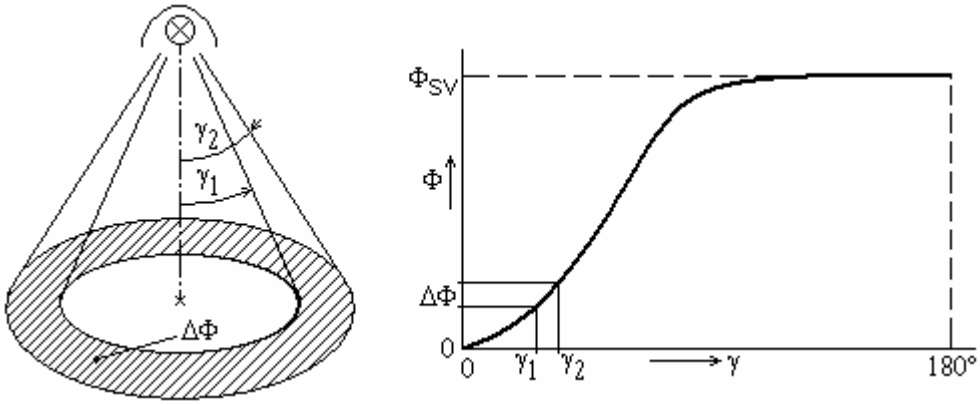
kde $I_{\gamma(i),\ stř}$ je střední svítivost svítidla v elementu $\Delta\Omega_{(i)}$, či-li pro rotačně symetrické svítidlo je to svítivost v úhlu $\gamma_{(i),\ stř}$, který je dán

$$\gamma_{(i),stř} = \frac{\gamma_{(i+1)} + \gamma_{(i)}}{2}, \qquad (°;°;°) \quad (5.62)$$

nebo může být svítivost $I_{\gamma(i),\ stř}$ pro tento případ určena ze vztahu

$$I_{\gamma(i),str} = \frac{I_{\gamma(i+1)} + I_{\gamma(i)}}{2}. \qquad \text{(cd;cd;cd)} \quad (5.63)$$

Při výpočtu je vhodné postupovat ve smyslu Tab. 5-10, aby nedošlo k chybě a zároveň volit krok úhlu s co nejmenší distancí ke zpřesnění výsledku.



Obr. 5-25 – Odvození diagramu pásmových světelných toků svítidla s vymezením prostorového úhlu pro stanovení dílčího světelného toku a diagramem pásových světelných toků

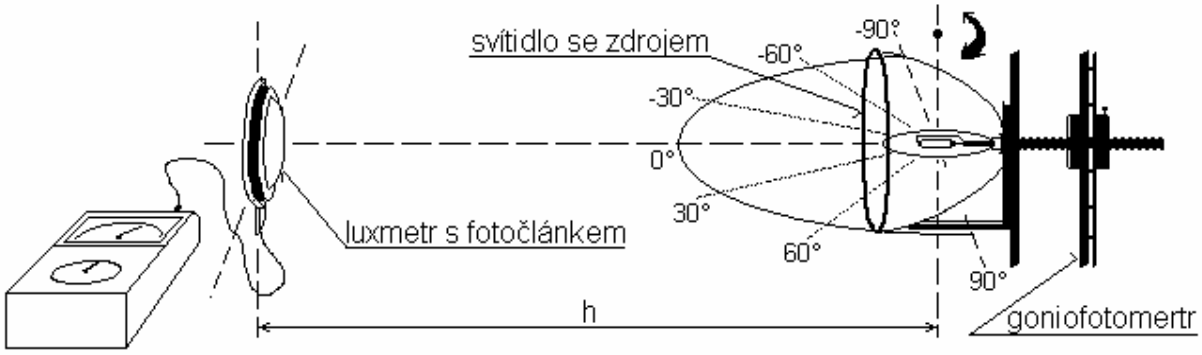
Jestliže nyní provedeme součet všech přírůstků světelného toku svítidla $\Delta\Phi_{(i)}$, nebo sestrojíme diagram pásových světelných toků (viz. Obr. 5-25), dostaneme celkový světelný tok tedy

$$\Phi_{SV} = \sum_{i=1}^{n} \Delta\Phi_{(i)}. \qquad \text{(lm;lm)} \quad (5.64)$$

Pro světelný tok vystupující ze svítidla platí, že jeho velikost je menší než světelný tok zdrojů instalovaných ve svítidle. Jejich poměr udává účinnost svítidla a z hlediska využití elektrické energie je třeba dosáhnout pokud možno co nejvyšších hodnot této veličiny. Účinnost tedy

$$\eta_{SV} = \frac{\Phi_{SV}}{\Sigma\Phi_{ZD}} < 1. \qquad \text{(-;lm;lm)} \quad (5.65)$$

Na následujícím obrázku (Obr. 5-26) je potom uvedeno orientační schéma systému měření křivek svítivosti ve fotometrických rovinách pomocí goniofotometru a detektoru (fotočlánek s luxmetrem).



Obr. 5-26 – Nákres principu měření křivky svítivosti v systému fotometrických rovin C-γ pro rotačně symetrické (parabolické) svítidlo

5.12.3 Úkol měření

Změřte a vyneste do diagramu křivky svítivosti daného svítidla pro určenou měřící rovinu, popřípadě proveďte měření různých variant svítidla (změna světelného zdroje či jeho polohy, nebo změna odrazné plochy svítidla).

Vyjádřete aproximační funkci změřené závislosti svítivosti předloženého svítidla na vyzařovacím úhlu v dané fotometrické rovině.

Pomocí metody zonálních toků určete celkový světelný tok svítidla a následně vypočtěte účinnost tohoto svítidla a další určující parametry dle odst. 5.12.2.

5.12.4 Postup měření

1. Dané svítidlo upněte do goniofotometru, připojte svítidlo na napětí a nechejte podle použitého světelného zdroje patřičnou dobu ustálit.
2. Nastavte na goniofotometru úhel 0° ve zvolené měřící rovině a zapište do tabulky hodnotu výstupního napětí z měřícího členu.
3. Tento postup opakujte v daném úhlovém kroku až do 180° v dané měřící rovině .
4. Jestliže je nutné pro vyhodnocení provést měření křivek svítivosti i v dalších měřících rovinách, postupně je nastavte a opakujte postup bodu 2 a 3.
5. Pokud je provedena změna varianty svítidla opakujte měření dle bodů 1 až 4.
6. Proveďte příslušná vyhodnocení daná „úkolem měření“.

5.12.5 Zpracování výsledků

Změřené hodnoty zpracujte ve formě tabulek, tak jak je uvedeno v následujícím a vypočtěte další veličiny zadané v odst. 5.12.3, popřípadě v odst. 5.12.2. Přičemž pro další zpracování a výpočty (viz. Tab. 5-9) je třeba znát převodní konstantu fotočlánku (lx/mV) a dále fotometrickou vzdálenost *h*, pomocí které se vypočte ze čtvercového fotometrického zákona svítivost v daném vyzařovacím úhlu svítidla

$$I_\gamma = E_\gamma \cdot h^2 \ . \qquad \text{(cd;lx;m}^2\text{)} \quad (5.66)$$

Dále přepočtěte hodnoty I_γ na svítivosti vztažné, aby byl eliminován vliv výkonu použitého zdroje podle vztahu

$$I_{\gamma\,(1000lm)} = I_\gamma \cdot \frac{\Phi_{vztažzt}}{\Phi_{ZD}} = I_\gamma \cdot \frac{1000}{\Phi_{zd}}. \qquad \text{(cd;cd;lm;lm)} \quad (5.67)$$

Tab. 5-9 – Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro sestrojení křivky svítivosti v dané měřící rovině C

γ	[°]	0	1	2	3	4	5	……	180
U_{out}	[mV]								
E_γ	[lx]								
I_γ	[cd]								
$I_{\gamma\,(1000lm)}$	[cd]								

Při výpočtu hodnot tabulky Tab. 5-10 postupujte podle odst. 5.12.2 a následně z ní vyjádřete příslušné parametry a veličiny, které souhrnně hodnotí systém měřeného svítidla.

Tab. 5-10 – Tabulka pro výpočet zonálních toků a následné určení celkového světelného toku svítidla a jeho účinnosti

$\Delta\gamma$	[°]	0-5	5-10	10-15	15-20	……	175-180
$\Delta\Omega$	[sr]						
$I_{\gamma,\,stř}$	[cd]						
$\Delta\Phi$	[lm]						

5.12.6 Závěr

Zhodnoťte získané výsledky s ohledem na typ měřeného svítidla a použitých zdrojů a na použitou odraznou plochu. Dále navrhněte možnosti úpravy stávajícího systému svítidla pro dosažení příznivějšího rozložení světelného toku s přihlédnutím na ostatní hodnotící veličiny svítidla jako celku.