

Kalibrace Waldramova diagramu pro osvětlení svislé roviny zataženou oblohou

doc. Ing. Jan Kaňka, Ph.D.

Tento článek navazuje na příspěvek *Waldramův diagram pro osvětlení svislé roviny zataženou oblohou* otištěný v časopise SVĚTLO 4/2019 [1]. Poslední rovnice předchozího příspěvku se týkala stanovení plochy S_0 (m^2), která odpovídá hodnotě $D = 1 \%$ a zněla:

$$S_0 = \frac{ZH}{50} \quad (1)$$

Cílem tohoto článku je ověřit správnost uvedeného vztahu a tím i správnost kalibrace diagramu. Kdyby byla svislá rovina (tj. např. průčelí nějakého domu) osvětlena bez vlivu stínících překážek oblohou s konstantním jasem, byla by bez uvažování světla odraženého od terénu hodnota činitele denní osvětlenosti $D = 50 \%$ (osvětlení polovinou oblohy). Při osvětlení oblohou CIE 1 : 3 s gradovaným jasnem dopadá světlo z té části oblohy, která má nejvyšší jas (okolo zenitu), na svislou rovinu tečně, a tedy s menší účinností. Důsledkem je podstatně nižší osvětlenosti E (lx) svislé roviny oproti osvětlenosti roviny vodorovné E_h (lx) v porovnání s osvětlením oblohou s konstantním jasnem. Publikace [2] uvádí přibližnou rovnost $E \approx 0,39 E_h$. Z definice činitele denní osvětlenosti plyne přibližná hodnota tohoto činitele

$$D = \frac{E}{E_h} 100\% \approx 39\% \quad (2)$$

Tento údaj lze upřesnit výpočtem podle schématu na obrázku 1, který představuje pohled na svislou osvětlovanou stěnu. Myšlená polokoule má poloměr $R = 1$ a dvojitý průměr dS_2 (m^2) elementární plochy oblohy má podle uvedeného obr. 1 hodnotu

$$dS_2 = 2 \cos^2 \varepsilon d\varepsilon \quad (3)$$

O významu dvojitýho průmětu plošného zdroje světla bylo pojednáno v [1]. Při $R = 1$ je totiž elementární osvětlenost dE (lx) prostým součinem elementární plochy dS_2 (m^2) a jasu zatažené oblohy, který je dán vztahem

$$L = \frac{3}{7} L_m (1 + 2 \sin \varepsilon) \quad (4)$$

kde

ε (rad) je výškový úhel nad horizontem,

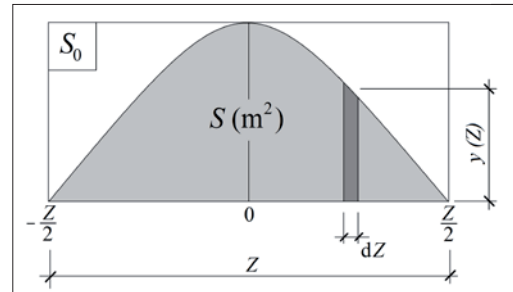
L_m ($cd \cdot m^{-2}$) průměrný jas oblohy.

Elementární osvětlenost dE (lx) bude proto dána vztahem vzniklým jako součin (3) a (4)

$$dE = \frac{6}{7} L_m (1 + 2 \sin \varepsilon) \cos^2 \varepsilon d\varepsilon \quad (5)$$

Osvětlenost svislé roviny nestíněnou oblohou CIE 1 : 3 lze stanovit integrací vztahu (5)

$$E = \frac{6}{7} L_m \int_0^{\pi/2} (1 + 2 \sin \varepsilon) \cos^2 \varepsilon d\varepsilon = \frac{1}{14} L_m (3\pi + 8) \quad (6)$$



Obr. 2. Ke stanovení plochy S (m^2)

Činitel denní osvětlenosti D (%) svislé roviny uvedenou oblohou se stanoví ze vztahu (6) podle definice (2), ve které $E_h = \pi L_m$

$$D = \frac{3\pi + 8}{14\pi} 100\% = 39,6\% \quad (7)$$

Zbývá ověřit, zda plocha S (m^2) celého W-diagramu je skutečně 39,6násobkem plochy S_0 (m^2) vyjádřené vztahem (1). V příspěvku [1] byl stanoven vztah pro výpočet pořadnice diagramu y (m).

$$y = \frac{1}{14} H \cos A (6\varepsilon_M + 3 \sin 2\varepsilon_M + 8 - 8 \cos^3 \varepsilon_M) \quad (8)$$

Plocha W-diagramu je shora omezena křivkou pro $\varepsilon_M = \pi/2$. Dosazením této hodnoty do (8) se obdrží

$$y = \frac{1}{14} H \cos A (3\pi + 8) \quad (9)$$

Využije se poznatek, že určitý integrál spojité funkce se rovná ploše S (m^2) vymezené rozsahem integračních mezí a prostorem mezi průběhem dané funkce a osou x v pravouhlém diagramu (obr. 2)

$$S = \int_{-Z/2}^{Z/2} y dZ = \frac{1}{14} H (3\pi + 8) \int_{-Z/2}^{Z/2} \cos A dZ \quad (10)$$

Následuje úprava proměnné

$$dZ = dA \frac{Z}{\pi} \quad (11)$$

a řešení integrálu

$$S = \frac{ZH}{14\pi} (3\pi + 8) \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos A dA = \frac{ZH}{7\pi} (3\pi + 8) \quad (12)$$

Dělením vztahu (12) vztahem (1) se obdrží poměr ploch S/S_0

$$\frac{S}{S_0} = 50 \frac{3\pi + 8}{7\pi} = 39,6 \quad (13)$$

Plocha S (m^2) je tedy skutečně 39,6násobkem plochy S_0 (m^2). Kalibrace diagramu vyjádřená vztahem (1) je proto správná.

Literatura:

[1] KAŇKA, J. Waldramův diagram pro osvětlení svislé roviny zataženou oblohou. *Světlo*. 2019, (4).

[2] HALAHYJA A KOL. *Stavební tepelná technika, akustika a osvětlení*. Bratislava: Alfa, 1985. Vztah (III, 120).

Recenze: Ing. Bc. Jaroslav Vychytil, Ph.D., Stavební fakulta ČVUT v Praze

POTŘICÁTÉ

MEZINÁRODNÍ STAVEBNÍ VELETRH

POMÁHÁME VAŠIM SNŮM...



OD PRVNÍHO TAHU...
...PO POSLEDNÍ ŽÁROVKU

17.-21. 9. 2019

www.forarch.cz

FOR ARCH

PVA
EXPO PRAHA

GENERÁLNÍ
PARTNER



SKUPINA ČEZ

HLAVNÍ
ODBOBNÝ
PARTNER



PARTNER
DOPROVODNÉHO
PROGRAMU



tzbinfo
www.tzb-info.cz

OFICIÁLNÍ
VOZY



Základy světelné techniky*

Světelnotechnické veličiny (2. část)

pokračování z č. 4/2019

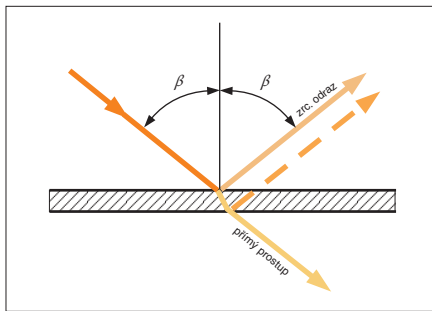
prof. Ing. Jiří Habel, DrSc., Elektrotechnická fakulta ČVUT V Praze

U filtrů se místo činitele prostupu používá pojem **optická hustota** (D), která je definována vztahem

$$D = -\log_{10} \tau = \log_{10} (1/\tau) \quad (32)$$

Z výrazu (3.32) plyne, že pro $\tau = 0,01$ je $D = 2$, pro $\tau = 0,1$ je $D = 1$, a když $\tau = 1$, je $D = 0$ atd.

Povrchy různých látek se ještě dále rozlišují podle rozložení odraženého světelného toku do různých směrů v prostoru. Nejjednodušší případ odrazu nastane, když se světelný paprsek odrazí od povrchu pod stejným úhlem, pod kterým na uvažovaný povrch dopadl (obr. 7). Tento případ odrazu se nazývá **zrcadlový odraz**.



Obr. 7. Znárodnění zrcadlového odrazu a přímého prostupu

Ideální zrcadlový povrch vykazuje jas jen ve směru odraženého světelného paprsku. V praxi lze téměř dokonalého zrcadlového odrazu dosáhnout jen na velmi přesně a dokonale vyleštěných kovových plochách. Výroba takových zrcadel či reflektorů je velmi náročná a drahá.

V případě, že se paprsek světla dopadl na část povrchu po odrazu rozdělí do celého poloprostoru tak, že jas části uvažované plochy je ve všech směrech stejný, vzniká **rovněměrně rozptylný** (difuzní) odraz (obr. 8).

Z druhé části rovnice (23) pro jas svítící plošky vyplývá, že svítivost části ideálního rozptylovače je maximální v kolmém směru a svítivost této části v každém jiném směru se určí z Lambertova kosinového zákona. Fotometrická plocha svítivosti elementu rovnoměrně rozptylné plochy je plochou kulovou a indikatrix svítivosti je $f_i(\gamma) = \cos \gamma$.

Jas dokonale rozptylně odrazející plochy nezávisí na úhlu dopadu světelných paprsků.

Dokonale rozptylně svítící plochy se s ohledem na uvedené vlastnosti často

označují názvem **Lambertovy zářiče**. Z rovnice (29) vyplývá, že ekvivalentní prostorový úhel ideálního rozptylovače je $\Omega_c = \pi$. Podle rovnice (25) je souvislost mezi světlením M a konstantním jasnem L ideálně rozptylně vyzařující plošky určena výrazem

$$M = \pi L \quad (\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}; -, \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (33)$$

Protože mezi osvětleností E a světlením M sledované odrazející plochy, charakterizované činitelem odrazu ρ , platí obdobný vztah jako mezi dopadlým a odraženým světelným tokem, tj. $M = \rho E$, vyplývá z rovnice (33) pro difuzně odrazející povrch významná souvislost mezi osvětleností E a jasnem L tohoto povrchu

$$M = \rho E = \pi L \quad (\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}; -, \text{lx}, -, \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (34)$$

Uvedený vztah umožňuje např. při známé osvětlenosti a činitele odrazu stanovit jas difuzně odrazejícího povrchu nebo naopak vypočítat z předem zjištěných hodnot E a L činitel odrazu ρ .

Příklad:

Jestliže se na části povrchu difuzně odrazející ($\rho = 0,5$) stěny naměří osvětlenost 220 lx, jas tohoto povrchu se stanoví podle rovnice (34) ze vztahu

$$L = (\rho/\pi) E = (0,5/\pi) 220 = 35 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$$

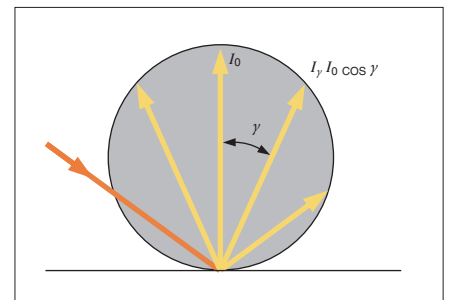
V praxi ovšem neexistují ani ideální zrcadla, ani ideální rozptylovače. Zrcadla určená pro osvětlovací účely v různém stupni také světlo poněkud rozptylují a naopak matné, mdlé či drsné povrchy používané k rozptýlení světla vykazují určitý směrový účinek ve směru odrazu. U většiny povrchů tedy vzniká **smíšený odraz**. Činitel smíšeného odrazu lze vyjádřit součtem činitele zrcadlového odrazu a činitele difuzního odrazu.

Při světelnotechnických výpočtech se v co největší míře využívají vlastnosti ideálně rozptylné plochy, neboť se tím výpočty podstatně zjednodušují. Jestliže se tedy vlastnosti skutečných svítících ploch blíží vlastnostem rovnoměrně rozptylovače, považují se tyto plochy za Lambertovy zářiče. Počítá se tak např. se svítícími stropy, transparenty, se svítidly s opálovým sklem apod. Výhody ideálního rozptylovače se využívá-

jí i při provádění výpočtů průměrných jasů matných osvětlovaných ploch, jestliže ovšem nevykazují viditelné zrcadlové odlesky.

Světelný tok prošlý vrstvou látky může do prostoru vycházet různými způsoby. U některých čirých nebo dokonale průhledných látek, např. optických skel, tenké vrstvy vody apod., dochází k **přímému prostupu** světla, kdy při šikmém dopadu vychází paprsek z uvažované látky v původním směru a je pouze rovnoběžně posunut (obr. 7). Přitom mohou podle dalších vlastností uvažované látky vznikat i částečné odrazy.

Mnohé látky však světelné paprsky jimi prošlé částečně nebo úplně rozptylují. Způsob rozptylu vycházejícího světelného toku se podobně jako u odrazu znázorňuje fotometrickou plochou či křivkami svítivosti. Při **dokonalém rovnoměrně**



Obr. 8. Rozložení svítivosti rovnoměrně rozptylně odrazejícího povrchu

rozptylněm prostupu světelných paprsků je tedy fotometrická plocha svítivosti opět kulovou plochou (obr. 9) a světelnotechnické vlastnosti druhé strany této průsvitné látky jsou stejné jako vlastnosti povrchu vykazujícího rovnoměrně rozptylný odraz. U většiny látek však dochází k tzv. **smíšenému prostupu**, tj. v různé míře se u nich projevuje přímý i rozptylný průstup. Činitel smíšeného prostupu je roven součtu činitelů přímého a rozptylného prostupu.

Při odrazu světla na povrchu průhledných látek, např. skla, může nastat polarizace světla. Při průchodu světla sklem (obr. 10) vzniká jak lom paprsků, tak také částečný odraz. Platí-li $\beta + \gamma = 90^\circ$, nastává polarizace světla odrazem. Z výrazu pro index lomu

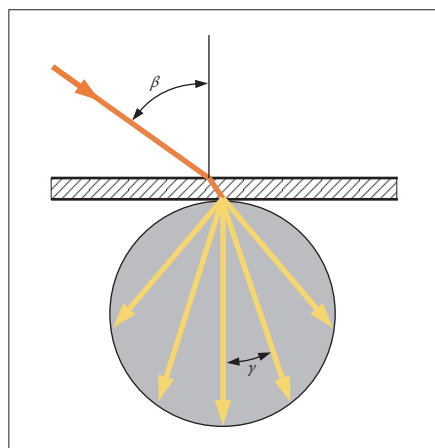
$$n = \frac{\sin \beta}{\cos \gamma}$$

vyplývá, že polarizace odrazem nastane, platí-li pro úhel dopadu $\beta = \beta_p$ vztah

$$n = \frac{\sin \beta_p}{\sin (90^\circ - \beta_p)} = \operatorname{tg} \beta_p \quad (35)$$

Protože index lomu určité látky se liší pro záření různých vlnových délek, je i úhel β_p různý pro tato jednotlivá záření. Proto bílé (nepestré) světlo nemůže být nikdy dokonale polarizované.

V praxi se často využívá tzv. *zpětný (vratný) odraz*, což je zvláštní odraz, při němž se světlo (v poměrně velkém rozsahu úhlů dopadu) odráží přibližně ve



Obr. 9. Rozložení svítivosti při rovnoměrně rozptýlném prostupu paprsků látkou

stejném směru, v němž dopadlo. Takové povrchy se používají pro signalizaci v dopravě (např. odrazky). Podobné povrchy (pokryté např. jemnými skleněnými perličkami), které dopadlý svazek rovnoběžných paprsků odrážejí ve stejném směru zpět, popř. je mírně (lomem a odrazem) rozptylují, se využívají při výrobě projekčních (perličkových) pláten.

Na rozhraní mezi opticky hustším a opticky řidším prostředím, např. sklem (prostředí 1) a vzduchem (prostředí 2), nastává lom paprsků jen tehdy, je-li úhel β_1 dopadu paprsků menší než tzv. mezní úhel β_m , pro který platí

$$\sin \beta_m = n_{21} = \frac{1}{n_{12}} = \frac{N_2}{N_1} \quad (36)$$

kde

n_{21} je relativní index lomu prostředí 2 vzhledem k prostředí 1,

N_1, N_2 absolutní indexy lomu; pro vzduch $N_2 = 1$.

Je-li úhel dopadu větší než mezní, neprochází z hustšího do řidšího prostředí žádné světlo a vzniká úplný odraz. Takový odraz světla na hraničních plochách sklo-vzduch je předpokladem funkce světlovodu.

Světlovody mají obvykle tvar trubice s leštěným povrchem. Světlo vstupující

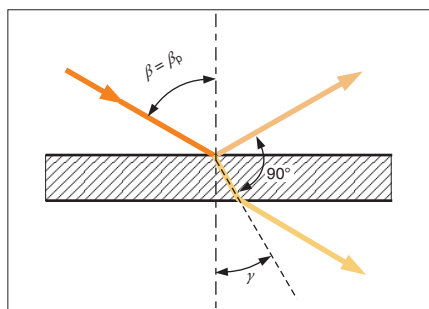
do světlovodu ze zdroje dopadá na stěnu světlovodu většinou pod tak velkým úhlem, že nastává úplný odraz. Světlo se ve světlovodu postupně odráží, až se dostane k výstupní ploše, na kterou dopadá pod úhlem menším, než je mezní úhel, a proto vychází ze světlovodu ven.

9. Charakteristiky prostorových vlastností osvětlení

9.1 Světelné pole

Část prostoru, v níž se odehrává určitý fyzikální děj, se všeobecně označuje názvem fyzikální pole. Podle toho, zda je probíhající děj charakterizován skalárem nebo vektorem, hovoří se o skalárním nebo vektorovém poli. *Světelné pole* je název pro část prostoru, ve které se přenáší světelná energie. Světelné pole je tedy všude, kde lze výpočtem či měřením a stanovením hodnoty zvolené světelnotechnické veličiny prokázat existenci světla.

V teorii elektromagnetického pole se k hodnocení přenosu energie používá *Poyntingův vektor*. Velikost Poyntingova vektoru udává energii, která projde za jednotku času jednotkovou plochou kolmo na směr přenosu energie. Orientovaný směr Poyntingova vektoru je shodný s orientovaným směrem šíření elektromagnetického vlnění.



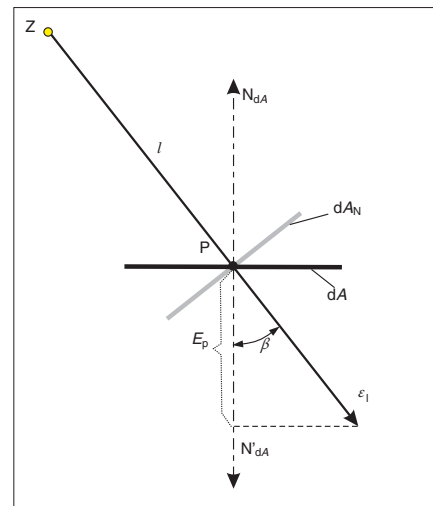
Obr. 10. Náčrt částečného odrazu a lomu paprsků při průchodu světla sklem

Ve světelném poli se nesledují elektrické a magnetické síly, ale zkoumá se v konečných časových intervalech rozdělení toků energie. Ve shodě s klasickými fotometrickými metodami se při výpočtech ve světelném poli ponechává stranou otázka podstaty světelného záření, přetržitosti záření a počítá se s plynulou změnou světelných toků mezi sledovanými body pole.

9.2 Světelný vektor

Poyntingův vektor se v podmínkách světelného pole nahrazuje vektorem hustoty světelného toku, který se nazývá *světelný vektor*. Světelný vektor určuje měrný výkon přenosu světelné energie v libovolném bodě pole, nezávisle na volbě souřadnic. Jeho velikost je určena energií, která projde za jednotku času jednotkovou plochou kolmo na směr šíření záře-

ní, a je tedy rovna rozdílu normálových osvětleností jedné a druhé strany plochy umístěné v daném bodě kolmo ke směru šíření záření. Orientovaný směr světelného vektoru je určen směrem přenosu světelné energie v uvažovaném bodě pole.



Obr. 11. Osvětlenost E_p v bodě P plošky dA bodovým zdrojem Z je rovna průmětu světelného vektoru ϵ_1 do normály N'_{dA} k neosvětlené straně plošky dA

Světelný vektor ϵ_1 v bodě P v poli jediného elementárního (tedy bodového) zdroje Z (obr. 11) se co do velikosti rovná plošné hustotě světelného toku $d\Phi$ dopadlého na myšlenou plošku dA_N (kolmo k l), tzn. normálové osvětlenosti E_N v bodě P

$$|\epsilon_1| = \epsilon_1 = \frac{d\Phi}{dA_N} = E_N \quad (\text{lx; lm, m}^2; \text{lx}) \quad (37)$$

Směr vektoru ϵ_1 je v tomto případě shodný se směrem paprsku l a orientován je od zdroje Z ke kontrolnímu bodu P.

Umístí-li se do bodu P v poli bodového zdroje Z ploška dA , jejíž normála N_{dA} svírá s vektorem ϵ_1 úhel β , tok $d\Phi$ světelného vektoru ϵ_1 ploškou dA se určí ze vztahu

$$d\Phi = \epsilon_1 dA \cos \beta = E_N dA \cos \beta \quad (\text{lm; lx, m}^2, -) \quad (38)$$

Z rovnice (38) plyne, že průmět světelného vektoru ϵ_1 do směru normály N'_{dA} se rovná osvětlenosti E_p plošky dA v bodě P či osvětlenosti v bodě P ve směru normály N'_{dA}

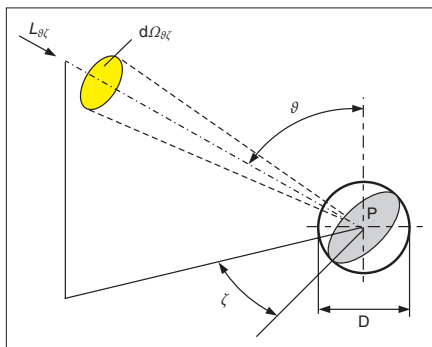
$$\epsilon_1 \cos \beta = E_N \cos \beta = \frac{d\Phi}{dA} = E_p \quad (\text{lx; lx; lm, m}^2; \text{lx}) \quad (39)$$

Světelný vektor v poli několika světelných zdrojů je v každém bodě dán vektorovým součtem dílčích světelných vektorů charakterizujících pole jednotlivých zdrojů v uvažovaném bodě.

Osvětlují-li všechny zdroje pouze jednu stranu určitého povrchu v daném bodě pole, je průmět světelného vektoru v tomto bodě do normály k uvažovanému povrchu roven přímo hodnotě osvětlenosti zmíněného povrchu v okolí sledovaného bodu.

9.3 Kulová osvětlenost

Při subjektivním posuzování, zda je prostor celkově dostatečně osvětlen (či prosvětlen, popř. „nasyčen světlem“), nestačí hodnotit pouze osvětlenost některých, např. vodorovných rovin. K tomu účelu se využívají veličiny světelného pole, které udávají střední hodnoty osvětlenosti povrchů některých ploch zanedbatelných rozměrů (např. kulové plochy,



Obr. 12. K řešení střední hodnoty osvětlenosti povrchu modelového přijímače ve tvaru koule

pláště válcové plochy apod.) umístěných jako přijímače záření do uvažovaného bodu pole. Tyto plochy vlastně nahrazují všechny možné předměty, které se mohou v daném bodě prostoru ve skutečnosti vyskytovat. Podle tvaru přijímače se jednotlivé veličiny nazývají: *kulová osvětlenost*, *válcová osvětlenost* atd. Uvedené veličiny patří do souboru skalárních integrálních charakteristik světelného pole.

Ze skalárních integrálních charakteristik světelného pole se nejčastěji používá *kulová osvětlenost*, která je určena střední hodnotou osvětlenosti povrchu přijímače ve tvaru koule se středem v daném bodě (obr. 12), jejíž průměr D je zanedbatelný v porovnání se vzdáleností uvažovaných zdrojů od kontrolního bodu P pole.

Kulová osvětlenost $E_{4\pi}$ je v daném bodě pole rovna jedné čtvrtině algebraického součtu všech normálových osvětleností v uvažovaném bodě, tzn. je definována vztahem

$$E_{4\pi} = \frac{1}{4} \int_0^{4\pi} dE_N = \frac{1}{4} \int_0^{4\pi} L_{\theta, \zeta} d\Omega_{\theta, \zeta} \quad (\text{lx; lx; cd}\cdot\text{m}^{-2}, \text{sr}) \quad (40)$$

Hodnota kulové osvětlenosti nezávisí na směru dopadu světelných paprsků na kulový přijímač, takže není funkcí orientovaného směru, ale je pouze funkcí bodu světelného pole.

Příklad:

Je-li svítivost $I_{\theta, \zeta}$ svítidla Z bodového typu ve směru k bodu P , určeném úhly ϑ, ζ (obr. 12), rovna $I_{\theta, \zeta} = 1\,000$ cd, pak v kontrolním bodě P umístěném v uvažovaném směru ve vzdálenosti $l = 2$ m se kulová osvětlenost $E_{4\pi}$ stanoví jako čtvrtina normálové osvětlenosti E_N ze vztahu

$$E_{4\pi} = \frac{1}{4} E_N = \frac{1}{4} \cdot \frac{I_{\theta, \zeta}}{l^2} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1000}{2^2} = 62,5 \text{ lx}$$

Podobně jako se z fotometrické plochy svítivosti určí světelný tok zdroje, stanoví se z fotometrické plochy jasu *prostorová osvětlenost* E_o .

Prostorová osvětlenost E_o je skalární veličinou světelného pole definovaná jako algebraický součet všech normálových osvětleností dE_N v uvažovaném bodě pole, tedy výrazem

$$E_o = \int_0^{4\pi} dE_N = \int_0^{4\pi} L_{\theta, \zeta} d\Omega_{\theta, \zeta} \quad (\text{lx; lx; cd}\cdot\text{m}^{-2}, \text{sr}) \quad (41)$$

Z porovnání definičních vztahů (41) pro střední prostorovou osvětlenost E_o a (40) pro střední kulovou osvětlenost $E_{4\pi}$ vyplývá, že obě veličiny jsou v podstatě shodné až na konstantu, takže platí

$$E_{4\pi} = \frac{1}{4} E_o \quad (\text{lx; lx}) \quad (42)$$

Veličiny E_o a $E_{4\pi}$ jsou úměrné střednímu sférickému jasu $L_{4\pi}$, tj. střednímu jasu obklopujícímu uvažovaný bod, což vyjadřuje vztah

$$E_{4\pi} = \frac{1}{4} E_o = \pi L_{4\pi} \quad (\text{lx; lx; cd}\cdot\text{m}^{-2}) \quad (43)$$

Již Geršun ukázal, že kulová osvětlenost, a tedy i prostorová osvětlenost jsou veličiny úměrné množství světelné energie v jednotkovém objemu v okolí uvažovaného bodu, tzn. že jsou úměrné objemové hustotě energie ω v daném bodě pole

$$E_{4\pi} = \frac{1}{4} E_o = c \omega \quad (\text{lx; lx; m}\cdot\text{s}^{-1}, \text{lm}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-3}) \quad (44)$$

kde c je rychlost šíření světla ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).

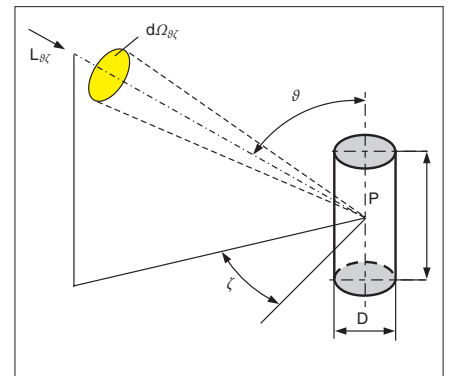
Uvedené veličiny mohou proto ve sledovaném bodě pole charakterizovat celkovou dostatečnost osvětlení prostoru.

Hodnotami kulové osvětlenosti je vhodné vystihovat subjektivní dojem o celkové dostatečnosti osvětlení v prostorech, ve kterých rozlišované předměty mají složitý prostorový tvar, kde ploché předměty pozorují z nejrůznějších směrů.

9.4 Válcová osvětlenost

Výsledky mnoha experimentů [5] potvrdily, že celkový dojem o dostatečnos-

ti osvětlení ve veřejných a společenských prostorech, v nichž převažují směry pozorování blízké k vodorovnému, dobře vystihuje *válcová osvětlenost*, která je rovna střední hodnotě osvětlenosti pláště elementárního válečku svisle umístěného v uvažovaném bodě pole, tj. střední hodnotě osvětlenosti všech vertikálních rovin v daném bodě. Má-li tedy v daném prostoru na zrakový vjem pozorovatele rozhodující vliv výše a rozložení jasů,



Obr. 13. K definici válcové osvětlenosti

popř. osvětleností na svislých plochách, lze skutečný přijímač záření nahradit modelovým přijímačem ve tvaru válečku (obr. 13) se svislou osou s neprůsvitnými podstavami a s rozměry (průměrem podstavy D a výškou h) zanedbatelnými ve srovnání se vzdáleností uvažovaných zdrojů od kontrolního bodu P . Celková dostatečnost osvětlení takového prostoru hodnocená v určitém místě, do kterého se umístí modelový přijímač, se pak posuzuje podle střední hodnoty osvětlenosti povrchu pláště zmíněného válečku, tzn. podle válcové osvětlenosti E_Z , která je rovna střední hodnotě osvětlenosti všech svislých rovin v uvažovaném bodě světelného pole.

Pro válcovou osvětlenost lze odvodit integrální rovnici ve tvaru

$$E_Z = \frac{1}{\pi} \int_0^{4\pi} \sin \vartheta L_{\theta, \zeta} d\Omega_{\theta, \zeta} = \frac{1}{\pi} \int_0^{4\pi} \sin \vartheta dE_N \quad (\text{lx; cd}\cdot\text{m}^{-2}, \text{sr; lx}) \quad (45)$$

Válcová osvětlenost E_Z závisí na směru dopadu paprsků na válcový přijímač a také na zvolené orientaci osy válečku, je proto skalární funkcí nejen bodu, ale i orientovaného směru.

Příklad:

Určeme válcovou osvětlenost E_Z , kterou v kontrolním bodě P ve vzdálenosti $l = 2$ m zajistí svítidlo Z bodového typu (obr. 13), je-li ve směru k bodu P (určeném úhly $\vartheta = 60^\circ, \zeta = 0^\circ$) jeho svítivost $I_{\theta, \zeta} = 1\,000$ cd. Z rovnice (45) vyplývá, že válcová osvětlenost E_Z v bodě P v poli jediného svítidla bodového typu je rovna

$$E_Z = \frac{1}{\pi} \sin \vartheta E_N \text{ (lx; -, lx)} \quad (46)$$

kde E_N je normálová osvětlenost v bodě P, kterou je možné určit ze vztahu (20), tj. z rovnice

$$E_N = \frac{I_{\vartheta, \zeta}}{l^2} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ lx}$$

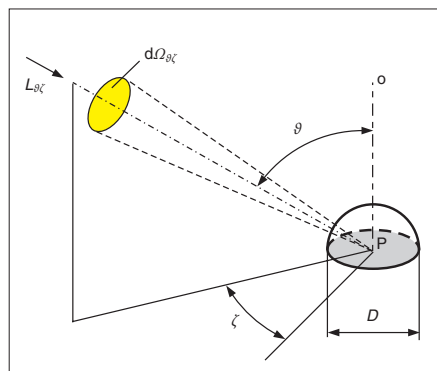
Po dosažení do rovnice (46) vychází pro hledanou střední válcovou osvětlenost vztah

$$E_Z = \frac{1}{\pi} \sin \vartheta E_N = \frac{1}{\pi} 0,866 \cdot 250 = 69 \text{ lx}$$

Válcová osvětlenost se používá pro hodnocení prosvětlení prostoru, v němž se lidé pohybují nebo pracují. Dostatečné prosvětlení prostoru je důležitou podmínkou pro dobrou vizuální komunikaci a rozpoznávání předmětů v prostoru. Hodnoty válcové osvětlenosti jsou předepsány pro vnitřní pracovní prostory v ČSN EN 12464-1

9.5 Polokulová osvětlenost

V případech, kdy se zkoumají podmínky osvětlení trojrozměrných detailů rozmístěných na velké ploše a kdy pro zrakové vnímání není rozhodující osvětlení částí předmětů odvrácených od pozorovatelů, se doporučuje pro hodnocení prostorových vlastností osvětlení využívat *polokulovou* (hemisférickou) osvětlenost. Polokulovou osvětlenost lze použít pro hodnocení osvětlení pozemních komunikací pro chodce, kde hodnotí viditelnost



Obr. 14. Polokulová osvětlenost je závislá na orientaci osy o přijímací plochy ve tvaru povrchu půlkoule

překážek na těchto komunikacích (ČSN EN 13021). Jde o skalární integrální charakteristiku světelného pole, která je rovna střední hodnotě osvětlenosti povrchu elementární půlkoule umístěné od sledovaného bodu pole. Rozměry modelového přijímače jsou, stejně jako v předchozích případech, zanedbatelné v porovnání se vzdáleností kontrolního bodu P od jednotlivých zdrojů.

Uvažme, že na zmíněný polokulový přijímač dopadá ve směru určeném úhly ϑ, ζ v mezích prostorového úhlu $d\Omega_{\vartheta, \zeta}$ svazek paprsků charakterizovaný

jasem $L_{\vartheta, \zeta}$ a že osa o půlkoule svírá s osou prostorového úhlu $d\Omega_{\vartheta, \zeta}$ úhel ϑ (podle obr. 14).

Za předpokladu, že osa o přijímače je umístěna do směru $\vartheta = 0$ (viz obr. 14), platí [7] pro střední polokulovou osvětlenost E_{hs} (ve starší literatuře se veličina označovala $E_{2\pi}$) vztah

$$E_{hs} = \frac{1}{4} \int_0^{4\pi} (1 + \cos \vartheta) L_{\vartheta, \zeta} d\Omega_{\vartheta, \zeta} \text{ (lx; -, cd}\cdot\text{m}^{-2}\text{, sr)} \quad (47)$$

Polokulová osvětlenost závisí na směru dopadu paprsků na polokulový přijímač, resp. na zvolené orientaci jeho osy, a je proto skalární funkcí nejen bodu, ale i orientovaného směru. Obvykle se základna polokulového přijímače umísťuje do vodorovné roviny. Výjimečně se uvažuje polokoule s vrcholem obráceným k pozorovateli.

Příklad:

Určeme polokulovou osvětlenost E_{hs} , kterou v kontrolním bodě P (obr. 14) ve vzdálenosti $l = 2$ m zajistí svítidlo Z bodového typu, je-li ve směru k bodu P, určeném úhly $\vartheta = 60^\circ, \zeta = 0^\circ$, jeho svítivost $I_{\vartheta, \zeta} = 1\,000$ cd. Ze vztahu (47) pro hledanou střední polokulovou osvětlenost E_{hs} vyplývá vztah

$$E_{hs} = \frac{1}{4} (1 + \cos \vartheta) E_N = \frac{1}{4} (1 + \cos \vartheta) \frac{I_{\vartheta, \zeta}}{l^2} = \frac{1}{4} (1 + 0,5) \frac{1000}{2^2} = 93,8 \text{ lx}$$

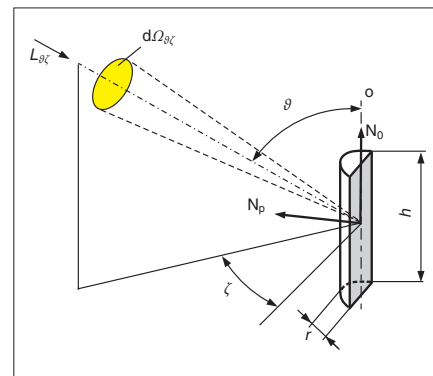
9.6 Poloválcová osvětlenost

Ve společenských i v pracovních prostorech, ale také např. na pěších zónách ve městech, se lze setkat se situacemi, kdy při hodnocení kvality vjemu trojrozměrných předmětů je zapotřebí přesněji vymezit směry osvětlování, resp. pozorování rozlišovaných detailů. V takových případech nepostačuje pracovat s válcovou nebo polokulovou osvětleností, a doporučuje se využít *poloválcovou osvětlenost* E_{sz} (ČSN EN 13201). Tato skalární integrální charakteristika je rovna střední hodnotě osvětlenosti povrchu jedné poloviny pláště válcové plochy, jejíž rozměry jsou zanedbatelné v porovnání se vzdáleností kontrolního místa od uvažovaných zdrojů světla, popř. svítidel. Je pochopitelné, že poloválcová osvětlenost je současně rovna střední hodnotě osvětlenosti všech svislých rovin v poloprostoru přilehlém k půlválci modelového přijímače, neboť jsou to tečné roviny k plášti poloválcového přijímače.

Orientace modelového přijímače (viz obr. 15) je určena polohou dvou vektorů, a to vektoru \mathcal{N}_o , umístěného ve smě-

ru podélné osy o přijímací plochy pláště půlválce, a vektoru \mathcal{N}_p normály k obdélníkové základně přijímače ve směru k povrchu půlválce.

Na městských pěších zónách a ve společenských prostorech se uvažuje, že osa o přijímače je svislá. V pracovních prostorech však může být někdy výhodné uvažovat i jiné umístění poloválcového přijímače, např. vodorovné či podle pracovní plochy nakloněné.



Obr. 15. K definici poloválcové osvětlenosti

Umístí-li se do kontrolního bodu P modelový poloválcový přijímač podle obr. 15 tak, že vektor \mathcal{N}_o bude orientován ve směru $\vartheta = 0$ a vektor \mathcal{N}_p ve směru $\zeta = 0$, platí pro poloválcovou osvětlenost E_{sz} vztah

$$E_{sz} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \sin \vartheta (1 + \cos \zeta) \cdot L_{\vartheta, \zeta} \cdot d\Omega_{\vartheta, \zeta} \text{ (lx; -, -, cd}\cdot\text{m}^{-2}\text{, sr)} \quad (48)$$

S ohledem na orientaci pláště půlválce ovlivní hodnotu E_{sz} pouze zdroje (svítidla) osvětlující vnější přijímací plochu pláště půlválce.

Poloválcová osvětlenost E_{sz} závisí na zvolené orientaci jak podélné osy o modelového půlválce, tak i normály \mathcal{N}_p k obdélníkové základně přijímače, a proto je tato skalární funkcí nejen bodu, ale i dvou orientovaných směrů.

Příklad:

Určeme poloválcovou osvětlenost E_{sz} , kterou v kontrolním bodě P (obr. 15) ve vzdálenosti $l = 2$ m zajistí svítidlo Z bodového typu, je-li ve směru k bodu P (tj. ve směru určeném úhly ϑ, ζ) jeho svítivost $I_{\vartheta, \zeta} = 1\,000$ cd. Přitom předpokládáme, že spojnice ZP bodů Z a P leží ve svislé rovině kolmé k základně pláště modelového půlválce, kdy je úhel $\zeta = 90^\circ$, a že zmíněná spojnice ZP svírá se svislou osou o půlválce úhel $\vartheta = 60^\circ$.

Uvážme-li, že ve výrazu (48) je součin jasu a prostorového úhlu roven normálové osvětlenosti

$$E_N = I_{\vartheta, \zeta} / l^2 = 1\,000 / 2^2 = 250 \text{ lx}$$

na podkladě uvedené rovnice se hledaná střední poloválková osvětlenost E_{sz} vypočítá ze vztahu

$$E_{sz} = \frac{1}{\pi} \sin \vartheta (1 + \cos \zeta) E_N =$$

$$= \frac{1}{\pi} 0,866(1 + 0) 250 = 68,9 \text{ lx}$$

Literatura:

[1] MOON, P.: *The scientific basis of illuminating engineering*. Dower Publication Inc., New York, 1961.

[2] WITTIG, E.: *Einführung in die Beleuchtungstechnik*. Siemens, Berlin-München, 1969.

[3] SAPOŽNIKOV, R. A.: *Teoretičeskaja fotometrija*. Energija, Moskva, 1977.

[4] RIEMANN, E. und a.: *VEM-Handbuch Beleuchtungstechnik*. VEB Verlag Technik, Berlin, 1975.

[5] MEŠKOV, V. V. – JEPANĚŠNIKOV, M. M.: *Osvětlovací soustavy*. SNTL, Praha, 1979.

[6] *The IESNA Lighting Handbook*. Ninth Edition. Eng. Society, New York, III,

2000. ISBN 0-87995-150-8.

[7] MEŠKOV, V. V.: *Osnovy svetotekhniki I*. Energija. Moskva, 1979.

[8] *Fördergemeinschaft Gates Licht (FGL): Die Beleuchtung mit künstlichem Licht*. N. 1, Frankfurt/M., 1993.

[9] ČSN IEC 50(845) *Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kap. 845. Osvětlení*. 1995.

Text aktualizoval Ing. Petr Žák, Ph.D.

Luxmetr Beha Amprobe LM-120

Luxmetr LM-120 (obj. č. 1372741) od firmy Beha-Amprobe lze využít k měření ve viditelné části spektra zářivek, halogenidových výbojek, vysokotlakých sodíkových výbojek nebo např. i vláknových žárovek. Právě pro poslední zmiňované světelné zdroje jej výrobce s německo-americkými kořeny rovněž kalibruje, a může proto dosahovat přesnosti až ±3 %.

Systém s křemíkovou fotodiodou a filtrem vzorkuje 2,5× za sekundu a na svých pěti rozsazích, které lze ručně i přepínat, vyhodnotí až 200 000 lx. Kroucený vodič je dostatečně tuhý, dobře drží tvar a po natažení dovoluje vnějšímu senzoru s krytkou pracovat i více než 1 m od



Obr. 1. Luxmetr Beha Amprobe LM-120

zařízení. Měřidlo se samočinně vypne přibližně po 6 min nečinnosti, pakliže tuto funkci uživatel nezakáže. Luxmetr napájí 9 V baterie, jejíž výměna je velmi jednoduchá. Luxmetr LM-120 je k dispozici společně s koženkovým pouzdem na zip, které spíše než ochrannu řeší především otázku snadného přenášení. Cena tohoto přístroje je 4041 Kč bez DPH a koupit jej lze v e-shopu:

<https://velkoobchod.conrad.cz/>

elfetex fest 2019 veletrh

elektronika • elektrotechnika • energetika

Více informací na adrese:
www.elfetex.cz/elfetex-fest-2019

25. - 26. září
DEPO2015
Presslova 14
Plzeň