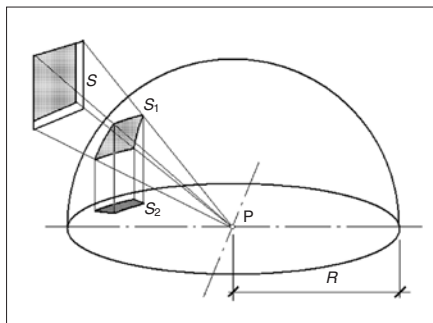


# Odhad hodnoty činitele denní osvětlenosti při horním osvětlení

doc. Ing. Jan Kaňka, Ph.D., Stavební fakulta ČVUT v Praze

Činitel denní osvětlenosti (dále jen č.d.o.) je kritériem denního osvětlení. K jeho stanovení se dnes převážně používají automatizované výpočty na PC. Jednoduché metody stanovení či odhadu hodnot č.d.o. lze provozovat s pomocí kalkulatoru, programovaného kalkulá-



Obr. 1. Osvětlenost je úměrná ploše  $S_2$  ( $m^2$ )

toru nebo tabulkových procesorů (např. Excel) a používají se v případech, že:

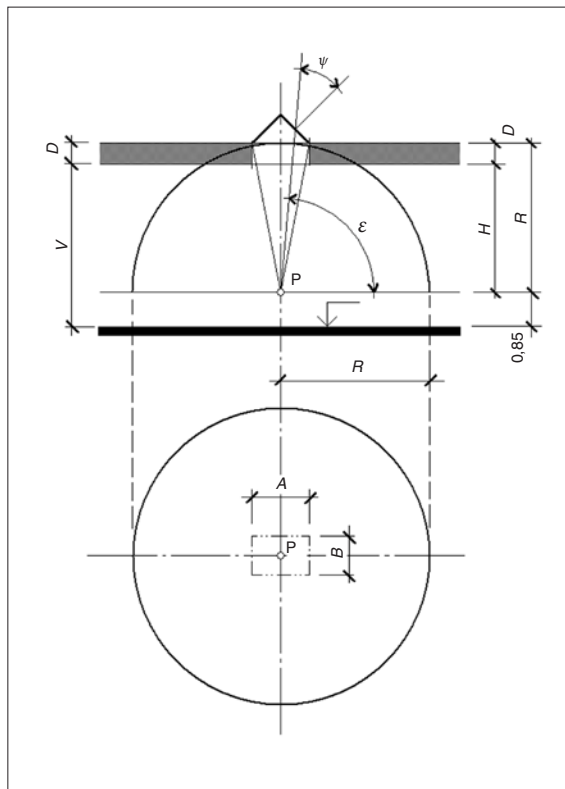
- pro danou konfiguraci posuzovaného prostoru není k dispozici vhodný software,
- existuje z jakéhokoliv důvodu pochybnost o správnosti výsledku získaného automatizovaným výpočtem,
- jsou k dispozici dva nebo více výpočtů téže věci, které jsou provedeny pomocí různých programů (ale někdy i pomocí téhož programu), jejichž výsledky se významně liší,
- je třeba znát hodnoty jednotlivých složek č.d.o.; některé méně pracované programy nemají možnost odděleně prezentovat jednotlivé složky č.d.o.; znalost podílu jednotlivých složek na celkové hodnotě č.d.o. může být užitečná pro návrh opatření pro zlepšení světelného stavu interiéru.

Ve své praxi soudního znalce se setkávám se situací ad c) poměrně často. Domnívám se, že při stanovení hodnot č.d.o. (stejně jako u výpočtů i v jiných oborech) je nezbytné za-

chovat si možnost kontroly výsledků automatizovaných výpočtů. Ke hrubé kontrole (a jiná zpravidla není zapotřebí) jsou určeny metody vycházející z jednoduchých výpočetních modelů. Jedna z těchto metod je v tomto článku připomenuta.

Každý výpočet č.d.o. musí vyhovovat těmto požadavkům:

- respektovat definici: č.d.o. je podíl dvou osvětleností: osvětlenost  $E$  (lx) v daném místě/osvětlenost  $E_H$  (lx) vodorovné roviny celou oblohou,
- uvažovat tři složky č.d.o. (oblohovou  $D_s$  (%), vnější odraženou  $D_c$  (%) a vnitřní odraženou  $D_i$  (%)). Každá ze složek se počítá odděleně a ve výsledku se složky sečtou,
- být v souladu se základními principy fotometrie; využívá se poznatek, že osvětlenost roviny plošným zdrojem o ploše  $S$  ( $m^2$ ) je úměrná ploše  $S_2$  ( $m^2$ ), která vznikne dvojným průmětem: na myšlenou polokulovou plochu (hemisféru) poloměru  $R$  (m) a následně kolmým průmětem do osvětlované roviny (viz obr. 1),



Obr. 2. Osvětlenost pod zenitním světélkem

- jako plošný zdroj světla uvažovat výpočtový model zatažené oblohy v zimě; zpravidla se provede výpočet pro oblohu s konstantním jasem a výsledek se násobí činitelem gradovaného jasu

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

kde  $\varepsilon$  ( $^\circ$ ) je výškový úhel oblohového elementu,

- uvažovat ztráty světla v zasklení pomocí činitele prostupu světla  $\tau$  (-); tento činitel v sobě zahrnuje více vlivů a nejčastěji má tvar

$$\tau_{0,\psi} = \tau_s, \text{nor} \tau_\psi \tau_k \tau_z \quad (2)$$

Význam jednotlivých dílčích činitelů je vysvětlen v ČSN 730580-1 *Denní osvětlení budov – základní požadavky*. Norma též uvádí doporučené hodnoty těchto činitelů. Pro dvojitě zasklení norma uvádí vztah pro výpočet činitele směrového prostupu  $\tau_\psi$  (-)

$$\tau_\psi = \frac{\tau_{s,\psi}}{\tau_{s,\text{nor}}} = \cos \psi \left( 1 + \frac{\sin^2 \psi}{2} \right) \quad (3)$$

kde  $\psi$  ( $^\circ$ ) je odklon světelných paprsků od kolmice k zasklení,

- uvažovat reálnou odrazivost světla povrchů v místnosti; pro zjednodušený výpočet postačí průměrný činitel odrazu světla v místnosti  $\rho_m$  (-); pro něj je v již zmíněné normě pro velkou většinu prostorů předepsána hodnota  $\rho_m = 0,5$  (resp. jde o nejvyšší přípustnou hodnotu, kterou lze použít v prostorech, kde barevná úprava vnitřních povrchů není v době výpočtu známa).

Relativně jednoduché je stanovení oblohové složky č.d.o. pod zenitním světélkem – viz obr. 2.

$$D_s = \frac{AB}{\pi R^2} 100 \% \quad (4)$$

Plocha kruhu  $\pi R^2$  ve jmenovateli je totiž úměrná osvětlenosti  $E_H$  (lx) v definici č.d.o. Poloměr  $R$  (m) kruhu je však třeba volit rovný výšce světélku nad pracovní rovinou. Vztah (3) je třeba upravit s ohledem na gradovaný jas oblohy (1) a s ohledem na činitel prostupu světla (2).

$$D_s = \frac{AB}{\pi R^2} q \tau_{0,\psi} 100 \% \quad (5)$$

Oblohovou složku je nutné doplnit složkou vnitřní odraženou  $D_i$  (%). K odhadu její hodnoty je možné použít Arndtův vztah [2], [3], [5], [7], [8]. Odvození tohoto vztahu bylo i součástí mého příspěvku na Kurzu osvětlovací techniky XXVI v Koutech nad Desnou v říjnu 2008 [6] a je uvedeno ve sborníku. Pozoruhodné na tomto vztahu je to, že ačkoliv je osvětlenost způsobena světelným tokem, který se od stěn prostoru mnohonásobně odráží, díky součtu konvergující číselné řady lze průměrnou hodnotu vnitřní odražené složky č.d.o. stanovit zcela přesně

$$D_{im} = \frac{D_w \tau_{dif} S_w \rho_m}{\Sigma S (1 - \rho_m)} \quad (6)$$

kde  $D_w$  (%) je č.d.o. roviny zasklení světlíku,  $\tau_{dif} = 0,9\tau_s\tau_z$  je difuzní činitel prostupu světla,  $S_w = (AB) \tau_k S_w$  ( $m^2$ ) je čistá plocha zasklení,  $\Sigma S$  ( $m^2$ ) je součet ploch vnitřního prostoru (strop + podlaha + stěny),  $\rho_m$  (-) je průměrný činitel odrazu světla v místnosti; jeho hodnota závisí na odstínech barev stěn, podlahy a stropu místnosti; ČSN 73 0580-1 připouští nejvyšší hodnotu  $\rho_m = 0,5$ .

**Příklad:** Místnost má půdorysné rozměry  $8 \times 8$  m a světlou výšku  $V = 5,25$  m. Je osvětlena sedlovým zenitním světlíkem půdorysných rozměrů  $A = 2$  m a  $B = 1,5$  m zaskleným dvojsklem se sklonem  $45^\circ$ . Úkolem je stanovit hodnotu č.d.o. na vodorovné pracovní rovině ve výšce  $0,85$  m nad podlahou pod středem světlíku.

$$R = V + D - 0,85 = 5,25 + 0,6 - 0,85 = 5 \text{ m}$$

$$\varepsilon = 85^\circ, \psi = 40^\circ$$

$$q = \frac{3}{7}(1 + 2\sin 85^\circ) = 1,282$$

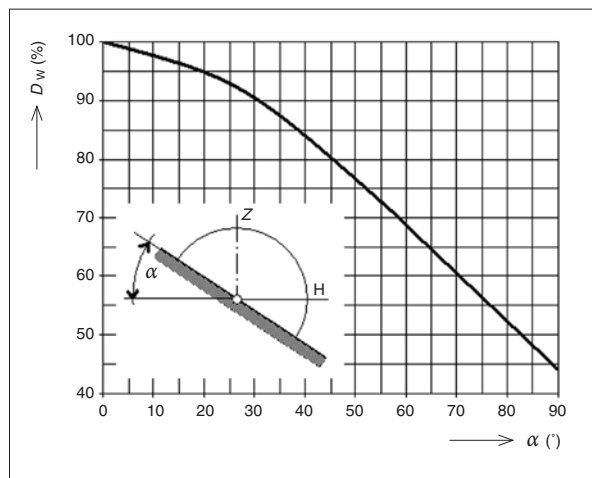
$$\tau_\psi = \cos 40^\circ (1 + 0,5\sin^2 40^\circ) = 0,924$$

$$\tau_s = 0,846, \tau_k = 0,75, \tau_z = 0,7 \cdot 0,95 = 0,665$$

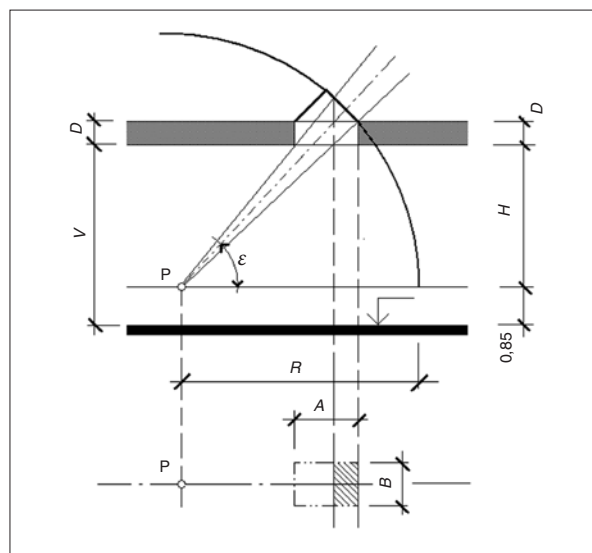
$$\tau_{0,\psi} = 0,924 \cdot 0,846 \cdot 0,75 \cdot 0,665 = 0,39$$

$$D_s = \frac{2 \cdot 1,5}{5^2 \pi} \cdot 1,282 \cdot 0,39 \cdot 100 \% = 1,9 \%$$

Osvětlenost roviny zasklení  $D_w$  (%), která je skloněná pod úhlem  $45^\circ$ , je možné stanovit s použitím Daniljukovy úhlové sítě. Jde o grafickou pomůcku, o které už bylo na stránkách tohoto časopisu refe-



Obr. 3. Osvětlenost skloněné roviny



Obr. 4. Osvětlenost zenitním světlíkem v obecném místě

rováno [4]. Vychází  $D_w = 80\%$ . Viz též diagram na obr. 3, který byl pomocí uvede-ných sítí sestaven za předpokladu volného horizontu a činitele jasu terénu  $k = 0,1$ .

$$\tau_{dif} = 0,9 \cdot 0,846 \cdot 0,665 = 0,506$$

$$S_w = (2 \cdot 1,5) \cdot 0,75 = 2,25 \text{ m}^2$$

$$\Sigma S = 2[8 \cdot 8 + 5,25(8 + 8)] = 296 \text{ m}^2$$

$$D_{im} = \frac{80 \cdot 0,506 \cdot 2,25 \cdot 0,5}{296(1 - 0,5)} = 0,3 \%$$

Nevýhodou je, že Arndtův vztah umožňuje stanovit právě jen průměrnou hodnotu  $D_{im}$  (%) vnitřní odražené složky č.d.o. Rozložení hodnot vnitřní odražené složky  $D_i$  (%) na pracovní rovině v interiéru tento vztah neřeší, a je nutné se v této věci uchýlit k odhadům. Například při horním osvětlení v našem příkladu budou hodnoty  $D_i$  (%) na pracovní rovině

menší než hodnota  $D_{im}$  (%), protože odražené světlo dopadá na pracovní rovinu převážně až po dvou odrazech (od podlahy a stropu). Za předpokladu stejné odrazivosti podlahy i stropu může být odhad hodnoty  $D_i$  (%) na pracovní rovině  $D_i = 2D_{im}/3 = 0,2 \%$

Hodnota činitele denní osvětlenosti je součtem oblohové a vnitřní odražené složky

$$D = D_s + D_i = 1,9 + 0,2 = 2,1 \%$$

ČSN 73 0580-1 požaduje pro IV. třídu zrakové činnosti průměrnou hodnotu č.d.o. min.  $D_m = 5\%$ . Tomuto požadavku vypočítaná hodnota spolehlivě nevyhovuje. Prostor pracoviště bude tedy nutné osvětlit světlíkem zhruba trojnásobné plochy.

Je-li třeba stanovit č.d.o. v místě mimo střed světlíku (a funkčně tak vymezit velikost pracoviště pod světlíkem), je situace složitější, nikoliv však neřešitelná, jak naznačuje obr. 4. Do čitatele ve vztahu (4) se dosadí plocha šrafovaného obdélníku.

V porovnání s automatizovanými výpočty jsou jednoduché metody stanovení osvětlenosti denním světlem pracně a méně přesné. Pracnost těchto metod neumožňuje vypočítat hodnoty osvětlení v husté síti kontrolních bodů. Jejich přesnost ale není horší než nejistota výsledku případného kontrolního měření a většinou umožňuje správně posoudit osvětlení pracovního místa podle požadavků ČSN 73 0580-1, tj. stanovit třídu zrakové činnosti práce, která může být při daném osvětlení na pracovišti vykonávána. Výhodu jednoduchých metod v porovnání s automatizovanými výpočty lze spatřovat v průkaznosti výpočetního postupu.

#### Literatura:

- [1] BINKO, J. – KAŠPAR, I.: *Fyzika stavebního inženýra*. SNTL, Praha, 1983.
- [2] HALAHYJA, M. a kol.: *Stavební tepelná technika, akustika a osvetlenie*. Alfa, Bratislava, 1985.
- [3] KAŇKA, J.: *Osvětlenost roviny zasklení okna jako kritérium práva uživatelů místnosti na světlo*. Světlo, 3/2000.
- [4] KAŇKA, J.: *Stanovení činitele denní osvětlenosti roviny okna Daniljukovou metodou*. Světlo, 3/2001.
- [5] KAŇKA, J.: *Žvuk a denní světlo v architektuře*. ČVUT, Praha, 2003.
- [6] KAŇKA, J.: *Výpočet denního osvětlení zenitními světlíky s rozptylným zasklením*. In: *Kurz osvětlovací techniky XXVI*, Kouty nad Desnou, 6.–8. 10. 2008.
- [7] KITTNER, R. – KITTNEROVÁ, L.: *Návrh a hodnotenie denného osvetlenia*. Alfa, Bratislava, 1975.
- [8] WEIGLOVÁ, J. – KAŇKA, J.: *Denní osvětlení a oslunění budov*. ČVUT, Praha, 1999.

Recenze: Dr. Stanislav Darula, Ústav výstavby a architektury Bratislava