

Stanovení činitele denní osvětlenosti svislé roviny okna Waldramovým diagramem upraveným v ČVUT Praha

Ing. Jan Kaňka, Ph.D., Stavební fakulta ČVUT Praha

1. Úvod

Činitel denní osvětlenosti roviny zasklení se používá při výpočtu vnitřní odražené složky D_i (%) činitele denní osvětlenosti v interiéru, popř. tato veličina může sama sloužit jako kritérium přístupu denního světla k místnosti [4]. V příspěvku [5] bylo pojednáno o stanovení činitele denní osvětlenosti roviny zasklení okna pomocí Daniljukových úhlových sítí. Nevýhodou Daniljukovy metody je její malá přizpůsobivost k variabilitě stínících překážek. Metodou lze snadno řešit jen situaci, kde stínící překážka má konstantní výšku a je velmi dlouhá a rovnoběžná s průřezem posuzované budovy.

Nástup nových společenských poměrů po roce 1989 byl provázen přesunem výstavby bytů z okrajů měst mezi existující zástavbu, včetně historických center. V těchto lokalitách, kde jsou geometricky velmi rozmanité podmínky stínění, často nebyl možný výpočet denního osvětlení pomocí Daniljukových diagramů. To se stalo podnětem ke hledání alternativních metod. Volba padla na Waldramův diagram [1], sestavený ve Velké Británii ve 20. letech minulého století pro osvětlení vodorovné roviny oblohou s konstantním jasem. Diagram však bylo nutné upravit pro podmínky oblohy s gradovaným jasnem podle [6], včetně zahrnutí směrové propustnosti dvojitém zasklením podle téže normy. Pro výpočet vnitřní odražené složky D_i (%) činitele denní osvětlenosti v návaznosti na Arndtův vztah a metodu BRS bylo zároveň třeba diagram přizpůsobit i pro možnost stanovení osvětlenosti svislé roviny v exteriéru oblohou s gradovaným jasnem. Po jednom z méně povedených pokusů [2] se to podařilo v roce 1993 [3].

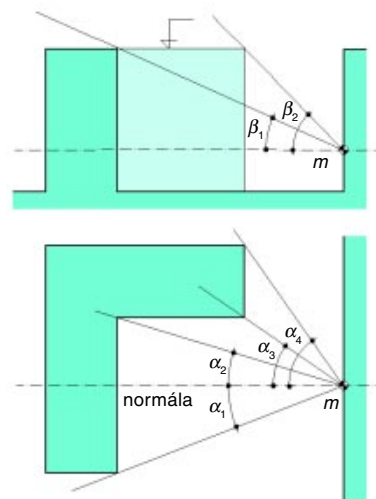
W-diagram pro stanovení osvětlenosti svislé roviny v exteriéru (obr. 1) využívá prin-

cip Waldramova diagramu: plocha části oblohy, resp. stínící překážky, zobrazené v diagramu je úměrná hodnotě osvětlenosti, kterou tato část oblohy, resp. překážky, vyvolá. Výhodou diagramu je nejen možnost posoudit vliv stínících překážek rozličných tvarů, ale i skutečnost, že gradace jasu zatažené oblohy je již zahrnuta v geometrii diagramu, a není proto třeba dělat korekci činitelem gradovaného jasu q (–), tak jako při práci s Daniljukovými úhlovými sítěmi.

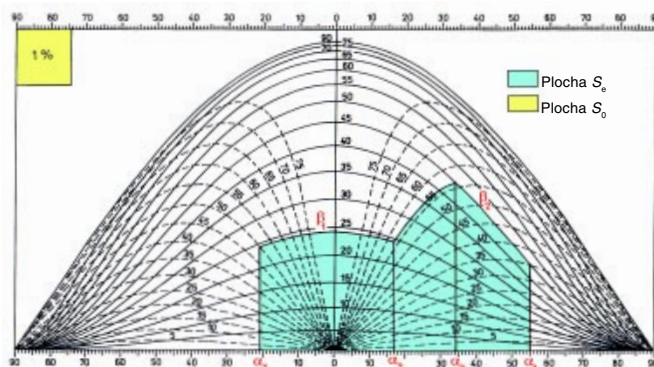
2. Práce s W-diagramem

V diagramu se zobrazuje okolí osvětlovacího středu svislé plochy okna. Poloha každého bodu v okolí tohoto místa je charakterizována dvěma úhly: azimutálním odklonem od normály okna α (°) a výškovým úhlem β (°), měřeným od vodorovné roviny proložené osvětlovaným místem (obr. 2). W-diagram je pravoúhlý diagram, kde úsečkou je azimutální odklon α (°) od normály okna a pořadnicí výškový úhel β (°). Stupnice azimutů α (°) je v rozsahu $(-\pi/2; +\pi/2)$ a je lineární. Stupnice

měry ve směru úsečky, resp. ve směru pořadnice, při zjišťování plošného obsahu zobrazení v diagramu. Pro usnadnění práce jsou v diagramu zakresleny plnou čarou vodorov-

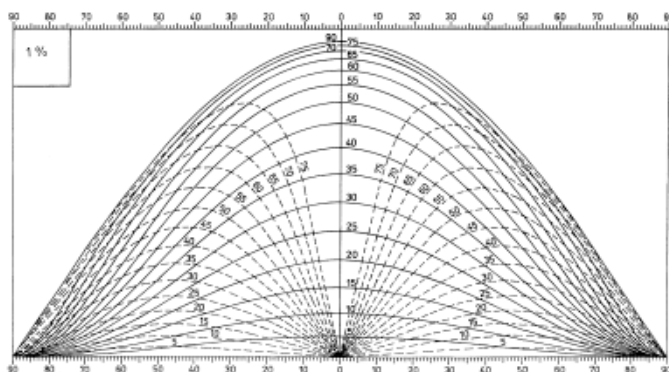


Obr. 3. Zakreslení stínící překážky do W-diagramu



Obr. 2. Situace stínící překážky a osvětlovaného místa na svislé rovině

né hrany stínících překážek rovnoběžných s rovinou okna a přerušovanou čarou vodorovné hrany stínících překážek, které jsou k rovině okna kolmé. Svislé hrany stínících překážek (např. nároží stavebních objektů) se zobrazí jako svislice příslušného azimutu i v diagramu. Princip zakreslení jednoduchého stínícího ob-



Obr. 1. W-diagram pro stanovení osvětlenosti svislé roviny v exteriéru oblohou s gradovaným jasnem

výškových úhlů β (°) je v rozsahu $(0; +\pi/2)$ a je nelineární – uzpůsobená tak, aby byla splněna požadovaná vlastnost diagramu: plocha zobrazení plošného zdroje světla má být úměrná osvětlenosti, kterou tento zdroj vyvolá v posuzovaném bodě. Obě stupnice v diagramu tak mají dva významy. Druhým významem jsou totiž délkové roz-

jektu je zřejmý z obr. 2 a obr. 3. Stínící překážky složitějších tvarů se postupně zakreslují zobrazením jednotlivých bodů na jejich hraně a následným spojením těchto bodů v diagramu plynulou křivkou. Volba počtu zobrazovaných bodů je kompromisem mezi pracností a požadovanou přesností výsledku.

Nejobtížnějším krokem při práci s W-diagramem je stanovení plošného obsahu S_e (mm²) zobrazení stínících překážek v diagramu. Zde je nutné měřenou plochu rozdělit na konečný počet jednoduchých geometrických obrazců (např. obdélníků), jejichž plochu lze vypočítat. Počet dílčích ploch je opět kompromisem mezi pracností a požadovanou přesností výsledku. Oblohová složka činitele

denní osvětlenosti D_s (%) se stanoví výpočtem podle jednoduchého vztahu

$$D_s = D_{s,\max} - \frac{S_e}{S_0} \quad (1)$$

kde

S_e je plocha zobrazení všech stínících překážek v diagramu (mm^2),

S_0 se rovná ploše čtverce v levém horním rohu diagramu. Jde o plochu odpovídající hodnotě $D = 1$ %, která slouží jako měřítko diagramu (mm^2),

$D_{s,\max}$ hodnota oblohové složky činitele denní osvětlenosti svislé roviny při volném horizontu (bez stínících překážek) v exteriéru při gradovaném jasu oblohy (%)

$$D_{s,\max} = \frac{3\pi + 8}{14\pi} \cdot 100 \% \approx 39,6 \% \quad (2)$$

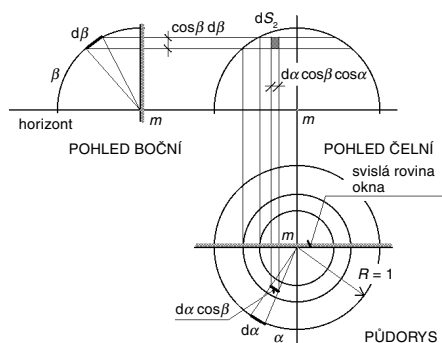
Vnější odražená složka činitele denní osvětlenosti se stanoví výpočtem podle vztahu

$$D_e = \left(\frac{S_e}{S_0} + 50 \right) k \quad (3)$$

kde k (–) je činitel jasu překážky. Jedná se o podíl jasu překážky a průměrného jasu oblohy. Při běžných světelnotechnických výpočtech se dosazuje $k = 0,1$. Předpokládá se tak, že jas stínící překážky má hodnotu jedné desetiny průměrného jasu oblohy. Výpočet D_e (%) se však plně neshoduje s Daniljukovou metodou, popsanou v [5], protože jas stínící překážky nad horizontem je ve W-diagramu gradován. Rozdíl ve výsledcích však většinou nebude významný v porovnání s nejistotami plynoucími z dosažitelné přesnosti grafické práce s oběma metodami. Gradace jasu stínících překážek také není v rozporu s obvyklou realitou. Výsledný činitel denní osvětlenosti D (%) okna je součtem oblohové a vnější odražené složky. Při $k = 0,1$ je možné pro stanovení D (%) použít vztah (4)

$$D = D_s + D_e = 44,6 - 0,9 \frac{S_e}{S_0} \quad (4)$$

Uvedené výsledky vždy vycházejí z podílu dvou plošných obsahů v diagramu (S_e/S_0).



Obr. 4. K odvození W-diagramu pro osvětlenost svislé roviny v exteriéru oblohou s gradovaným jasnem

Výpočet tak nezávisí na velikosti diagramu. Diagram lze proto zvětšovat a zmenšovat na kopírovacím stroji, a dokonce by bylo možné ho deformovat protažením či stlačením ve směru jedné z os, aniž by utrpěla jeho správnost. Jinými slovy: šířku Z (mm) i výšku H (mm) diagramu je možné při jeho konstrukci volit libovolně. Zvětšením obr. 1 v libovolném poměru je tedy možné získat pomůcku potřebnou pro výpočet. Druhou možností je vlastní konstrukce diagramu s využitím vztahů odvozených v části 3 tohoto příspěvku. V příkladu podle obr. 3 byly zjištěny tyto hodnoty: $D_s = 27,75$ %, $D_e = 6,18$ %, $D = 33,93$ %.

3. Konstrukce W-diagramu

Při konstrukci W-diagramu byly použity základní vztahy fotometrie. Světelný tok $d\Phi$ (lm) z plošného elementu oblohy, který je z osvětlovaného místa pozorován v prostorovém úhlu $d\Omega = d\alpha d\beta$, způsobí na svislé rovině elementární osvětlenost dE (lx) – viz obr. 4.

$$dE = L dS_2 = L_a \cos \alpha \cos^2 \beta d\alpha d\beta \quad (5)$$

Jas plošného elementu oblohy L_β ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$) závisí na výškovém úhlu β podle vztahu (ČSN 73 0580-1)

$$L_a = L_m \frac{3}{7} (1 + 2 \sin \beta) \quad (6)$$

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

Osvětlenost E (lx) plošným zdrojem tvaru obdélníku, jehož šířka je určena elementárním rozdílem azimutů $d\alpha$ a výška proměnným výškovým úhlem β , se získá integrací

$$E = \frac{3}{7} L_m \cos \alpha d\alpha \int_0^\beta \cos^2 x (1 + 2 \sin x) dx \quad (7)$$

Řešením integrálu ve vztahu (7) se pro osvětlenost E (lx) dostane vztah

$$E = \frac{1}{28} L_m \cos \alpha d\alpha (6\beta + 3\sin 2\beta + 8 - 8\cos^3 \beta) \quad (8)$$

Hodnota činitele denní osvětlenosti D (%) svislé roviny osvětlené zmíněným plošným zdrojem se obdrží vydělením rovnice (8) horizontální exteriérovou osvětleností $E_H = \pi L_m$ a vynásobením této rovnice stem.

$$D = \frac{25 \cos \alpha d\alpha}{7\pi} (6\beta + 3\sin 2\beta + 8 - 8\cos^3 \beta) \quad (9)$$

Libovolně se zvolí výška H (mm) diagramu. Plocha celého diagramu $S = \pi H$ odpovídá hodnotě činitele denní osvětlenosti pro jednu polovinu horizontální exteriérové osvětlenosti, tj. 50 %. Odtud $S_0 = ZH/50$. Velikost pořadnice y (mm) v diagramu pro vertikální úhel β se stanoví z úměrnosti

$$\frac{D}{50} = \frac{y d\alpha}{\pi H} \quad (10)$$

kde za D se dosadí vztah (9). Hledaná pořadnice y (mm) pak bude nezávislá na velikosti elementárního rozdílu azimutů $d\alpha$.

$$y = \frac{1}{14} H \cos \alpha (6\beta + 3\sin 2\beta + 8 - 8\cos^3 \beta) \quad (11)$$

Vztah (11) může sloužit k zakreslení vodorovných hran stínících překážek rovnoběžných s rovinou okna do diagramu, jehož šířka Z (mm) se zvolí libovolně. Úhel β však závisí na azimutálním odklonu α od normály stínící překážky podle vztahu

$$\tan \beta = \tan \epsilon \cos \alpha \quad (12)$$

kde

ϵ je vertikální úhel hrany stínící překážky měřený v rovině normály ($^\circ$). Pro překážky kolmé k rovině okna, které jsou v diagramu zakresleny přerušovanou čarou, platí obdobný vztah

$$\tan \beta = \tan \epsilon \sin \alpha \quad (13)$$

4. Závěr

Velkou výhodou W-diagramu oproti Daniljukově metodě je možnost hodnotit vliv stínících překážek nejrůznějších tvarů. W-diagram má však také jednu nevýhodu – platí jen pro osvětlovací otvory umístěné ve svislé rovině. Takové otvory však v našich budovách rozhodně převažují. Okna ve skloněných rovinách, např. u podkrovních vestaveb, obvykle lze řešit Daniljukovou metodou, protože často nejsou stíněna nebo jejich stínění není tak významné, aby nepřipustilo určité zjednodušení tvaru stínící překážky. Obě metody se tak vhodně doplňují a lze jimi stanovit hodnotu činitele denní osvětlenosti roviny zasklení s dostatečnou přesností v naprosté většině případů, které se vyskytují v praxi.

Literatura:

- [1] JOLLEY, L. B. W. – WALDRAM, J. M. – WILSON, G. H: The theory and design of illuminating equipment. London, Chapman & Hall 1930.
- [2] KAŇKA, J. – NOVOTNÁ, O: Stavební fyzika – pomůcka pro cvičení. Učební texty ČVUT, Fakulta architektury 1991.
- [3] KAŇKA, J: Použití Waldramova diagramu při stanovení činitele denní osvětlenosti. Stavební obzor, 1993, č. 6, s.157-160.
- [4] KAŇKA, J: Osvětlenost roviny zasklení okna jako kritérium práva uživatelů místnosti na denní světlo. Světlo, 2000, č. 3, s. 33-35.
- [5] KAŇKA, J: Stanovení činitele denní osvětlenosti roviny okna Daniljukovou metodou. Světlo, 2001, č. 3, s. 5-6.
- [6] ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov – Část 1: Základní požadavky (říjen 1999).