

Výpočet osvetlenosti pod tubusovým svetlovodom tokovou metódou

Krasňan Marek · Elektrotechnika, Študentské práce

08.02.2010



V posledných rokoch možno zaznamenať vo výstavbe zvýšený záujem o denné osvetlenie interiérov. Užívatelia, ale i prevádzkovatelia budov si viac a viac uvedomujú hygienické účinky denného svetla a slnečného žiarenia na ľudí, ako i možnosti energetických úspor v budovách s dobre navrhnutými oknami. V prípadoch presvetlenia vnútorných priestorov, ktoré sú vzdialené od obvodových stien, sa využívajú svetlovody. Tieto transportujú oblohové a slnečné svetlo z exteriéru do interiéru pomocou rúr s vnútorným, vysoko reflexným povrchom. Pre používanie svetlovodov CIE (Medzinárodná komisia pre osvetľovanie) vydala technickú správu [1].

Okrem popisu prvkov svetlovodov a ich vlastností, poskytuje táto správa jednoduché postupy pre výpočet účinnosti vedenia svetla. Pre návrh prierezov a dĺžok v praktických realizáciách sa využívajú jednoduché empirické vzťahy výpočtu osvetlenosti na porovnávacej rovine [2], [3], [4], prípadne zložitejšie simulácie vedenia svetla [5], [6], [7]. Pri použití ktorejkoľvek metódy je dôležité poznať, pre aké exteriérové i interiérové podmienky platia. Napríklad pri používaní tokových metód sa často využívajú len svetelné podmienky zamračenej oblohy a zanedbáva sa vplyv interreflexie svetla.

1 Výpočet intenzity osvetlenia pomocou zjednodušenej "Tokovej metódy"

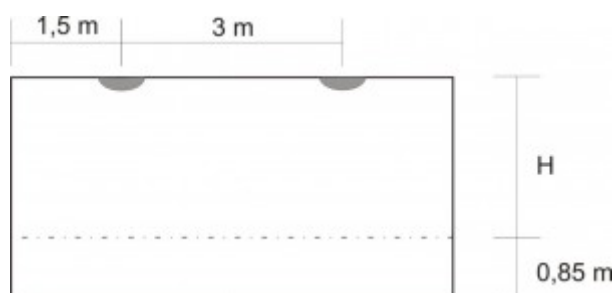
Zjednodušený spôsob výpočtu osvetlenosti E [lx] na ploche A [m²] (1) vychádza z predpokladu, že svetelný tok vychádzajúci zo svetlovodu je v miestnosti rozložený rovnomerne, pričom odrazené svetlo od stien a nábytku neuvažujeme. Tiež sa pri tejto metóde neuvažuje výška svetelného zdroja nad podlahou (pracovnou plochou) z dôvodu, že sa predpokladá, že všetok svetelný tok vyžiarený svetlovodom, dopadne na danú plochu. Táto zjednodušená toková metóda, sa pri výpočte osvetlenosti od svietidiel využíva dodnes.

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad [lx] \quad (1)$$

Pre presnejšie určenie intenzity osvetlenia v miestnosti treba vo výpočtoch brať do úvahy aj rozmery a výšku miestnosti, ako aj charakteristiky svetelného odrazu stropu a stien miestnosti. Pomocou vzťahu (2) sa dá určiť tzv. „pomer miestnosti“ μ_m pričom a - dĺžka miestnosti, b - šírka miestnosti, H - výška difúzora svetlovodu (zdroja svetla) nad porovnávacou rovinou miestnosti (Obr. 1). Ak pomer miestnosti vyjde väčší než 5, podľa [8] sa berie číslo 5.

$$\mu_m = \frac{2b + a}{6H} \quad (2)$$

Ďalej je potrebné zobrať do úvahy tzv. „činiteľ znehodnotenia“ δ , ktorý vyjadruje čistotu prostredia. Hodnota tohto činiteľa sa pohybuje najčastejšie od 0,65 do 0,75. V extrémnych prípadoch, pri častom čistení miestnosti a so svetidlami, ktoré nechytajú ľahko prach, môže byť až 0,85. Naopak, klesá v špinavých alebo prašných miestnostiach až na hodnotu 0,4.



Obr. 1: Rez miestnosti s vypuklými difúzormi

Ak je krivka svietivosti difúzora známa, potom je možné pomocou činiteľov μ_m a δ z tabuľky v [8] určiť „činiteľ využitia miestnosti“ ν [%]. Intenzitu osvetlenia na ploche meranej roviny vo výške 0,85 m nad podlahou je potom možné vypočítať pomocou vzťahu (3).

$$E = \frac{\Phi}{A} \mu_m \nu \quad [lx] \quad (3)$$

Presnejšie výsledky poskytuje metóda svietivosti. Na jej použitie je potrebné poznať krivky svietivosti difúzora a podľa týchto hodnôt vypočítať požadovanú intenzitu osvetlenia. Tento spôsob výpočtu je na rozdiel od predchádzajúcich oveľa zložitejší.

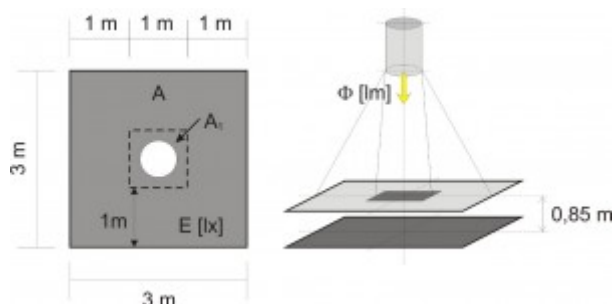
2 Príklady

V reálnych situáciách sa však svetelný tok vychádzajúci zo svetlovodu mení v závislosti od polohy Slnka na oblohe a od toho, či je obloha zamračená alebo jasná. Preto pre výpočet intenzity osvetlenia v miestnosti osvetľovanej svetlovodom je potrebné zdefinovať východiskové podmienky, pre ktoré sa výpočet vykonáva.

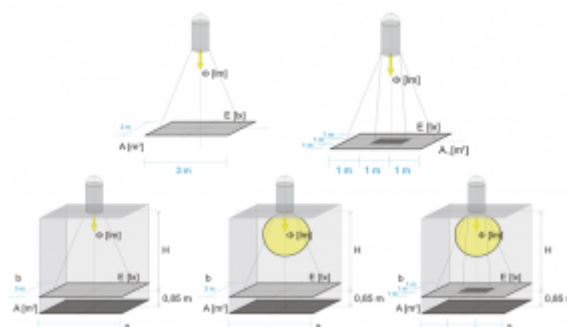
2.1. Príklad zjednodušeného výpočtu osvetlenosti E [lx] podľa vzťahu (1) so zanedbaním vplyvu okolia

V miestnosti s rozmermi 3×3 m je inštalovaný jeden svetlovod (Obr. 2). Postup a príklad výpočtu svetelnej účinnosti svetlovodu η [%] a svetelného toku Φ [lm]

vychádzajúceho z difúzora svetlovodu sa dá vypočítať podľa technickej správy CIE 173:2006. Tento spôsob výpočtu bol tiež prezentovaný v [9]. V príspevku [9] bol vypočítaný svetelný tok vychádzajúci z tubusu svetlovodu bez ohybov o dĺžke 3 m, priemerom 0,32 m a s činiteľom odrazu svetla od vnútorných povrchov tubusu 0,995. Výpočet bol vzťahnutý na miestnosť v Banskej Bystrici so zemepisnou šírkou $\phi = 48,73^\circ \text{N}$ a zemepisnou dĺžkou $\lambda_{10} = 19,13^\circ \text{E}$, GTM +1. Deň a čas, pre ktorý bol výpočet zhotovený bol 15. apríl, 11:00 hod. Celkový svetelný tok vystupujúci zo svetlovodu sa zistil $\Phi = 3021 \text{ lm}$. Pre jednoduchosť a názornosť je zadefinované, že svetelný tok Φ vychádzajúci zo svetlovodu sa rovnomerne rozloží na celú plochu miestnosti A a neberie sa do úvahy pomer miestnosti μ_m ani činiteľ využitia miestnosti ν .



Obr. 2: Osvetlenie miestnosti 3×3 m pomocou jedného svetlovodu



Obr. 3: Príklad osvetľovania pomocou svetlovodu

STN EN 36 0015 [10], ktorá predpisuje podmienky pre návrh a meranie umelého osvetlenia vo vnútorných priestoroch, takisto udáva podmienky na rozloženie meracích bodov a výšku porovnávacej roviny 0,85 m nad podlahou (ak nie je požadované inak). Body majú byť rozložené rovnomerne tak, aby vzdialenosť krajných bodov od steny bola polovičnou vzdialenosťou medzi bodmi. Vzájomná vzdialenosť meracích bodov pri bežnom meraní nesmie byť väčšia ako výška svietidiel nad porovnávacou rovinou, pri presnom meraní sa vzdialenosť meracích bodov zmenší o 1/3, pri orientačnom meraní sa zväčší o 1/3.

STN 73 0580 [11] uvádza, že výška porovnávacej roviny má byť 0,85 m nad podlahou (ak to funkcia konkrétneho priestoru nevyžaduje inak, napr. na komunikačných priestoroch je a úrovni podlahy). Rozmiestnenie meracích bodov pre má byť min. 1 m od vnútorných stien priestoru.

Výpočet budeme realizovať najskôr podľa vzťahu (1) pre celú plochu miestnosti:

$$E_1 = \frac{\Phi}{A} = \frac{3021}{3 * 3} = 335,7 \quad [lx] \quad (4)$$

Ak by sa veľkosť porovnávacej roviny zobrala A_1 , t.j. 1 m od bočných stien, potom

$$E_2 = \frac{\Phi}{A_1} = \frac{3021}{1 * 1} = 3021 \quad [lx] \quad (5)$$

Celková priemerná intenzita osvetlenia na porovnávacej rovine s rozmermi 3×3 m vychádza $E_1 = 335,7$ lx (4). V druhom prípade, kde výpočet prebieha podľa [1], pomocou vzťahu (1), je intenzita osvetlenia E [lx] počítaná pre plochu $A_1 = 1$ m² na porovnávacej rovine a vychádza $E_2 = 3021$ lx. Druhý prípad ukazuje, že použitie vzťahu (1) môže viesť k chybným výsledkom, nakoľko svetlo vystupujúci zo svetlovodu sa rozdeľuje do celého priestoru miestnosti a nie iba na porovnávaciu rovinu.

2.2. Príklad výpočtu osvetlenia E [lx] s uvažovaním činiteľa znehodnotenia δ a činiteľa využitia miestnosti μ

Vstupné parametre svetlovodu zvolíme rovnaké ako v prvom príklade. Teraz však budeme brať do úvahy aj ostatné parametre, ktoré sme predtým zanedbali. Dĺžka, šírka a výška miestnosti $a = 3$ m, $b = 3$ m, $h = 3$. Porovnávací rovinou je 0,85 m nad podlahou, teda vzdialenosť medzi touto rovinou a svetlovodom je $H = 2,15$ m.

Pomer miestnosti μ_m je vypočítaný podľa vzťahu (2):

$$\mu_m = \frac{2b + a}{6H} = \frac{2 * 3 + 3}{6 * 2,15} = 0,697 \quad (6)$$

Krivka svietivosti svetlovodu nie je známa, ale je možné odhadnúť, že ak je použitý difúzor, ktorý svetelný tok rozptyľuje do priestoru rovnomerne, jeho krivka svietivosti bude približne kosínusová. Pre túto krivku svietivosti bude podľa [3] činiteľ znehodnotenia $\delta = 0,6$ a potom činiteľ využitia miestnosti $\nu = 40,8$ %.

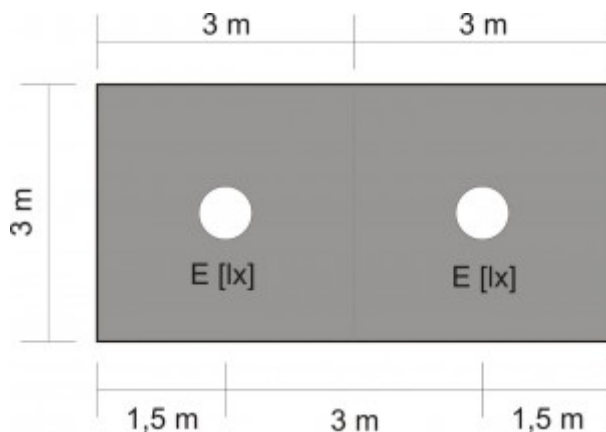
Keďže svetelný tok Φ (lm) vychádzajúci zo svetlovodu je $\Phi = 3021$ lm, podľa vzťahu (3) vieme vypočítať priemernú intenzitu osvetlenia na porovnávacej rovine:

$$E_3 = \frac{\Phi}{A} \delta \nu = \frac{3021}{9} * 0,6 * 0,408 = 82,2 \quad [lx] \quad (7)$$

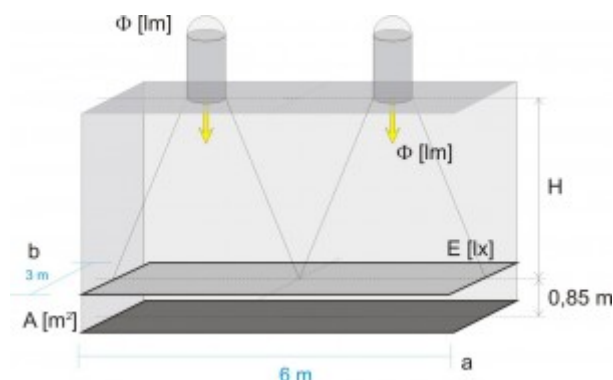
Celková priemerná intenzita osvetlenia v miestnosti s rozmermi 3×3 m pri uvažovaní rozmerov miestnosti a výšky svetlovodu nad porovnávacou rovinou a tiež činiteľa využitia, bude $E_3 = 82,2$ lx. Z porovnania výsledkov (5) a (7) vyplýva, že veľké množstvo svetla vystupujúceho zo svetlovodu sa rozptýli do vnútorného prostredia miestnosti.

2.3. Príklad výpočtu osvetlenia E [lx] na ploche 3×6 m pomocou tokovej metódy s uvažovaním činiteľov δ , μ_m a ν

Ďalší príklad demonštruje použitie dvoch svetlovodov s rovnakými parametrami ako v predošlých prípadoch, no v miestnosti dvakrát tak veľkej, s rozmermi 3×6 m (Obr. 4).



Obr. 4: Osvetlenie miestnosti 3×6 m pomocou dvoch svetlovodov – pohľad zhora



Obr. 5: Osvetlenie miestnosti 3×6 m pomocou dvoch svetlovodov

Z predchádzajúcich príkladov je jasné, že zanedbanie činiteľa znehodnotenia a činiteľa využitia miestnosti vedie k nesprávnym výsledkom a je potrebné ho uvažovať. Výpočet je potrebné spraviť podľa vzťahu (3).

$$\mu_m = \frac{2b + a}{6H} = \frac{2 * 3 + 6}{6 * 2,15} = 0,93 \quad (8)$$

Pre tento pomer miestnosti je podľa [3] činiteľ využitia miestnosti $\nu = 46,3\%$. Potom podľa (3) sa vypočíta osvetlenosť E_4 [lx]:

$$E_4 = \frac{2 * \Phi}{2 * A} = \delta\nu = \frac{2 * 3021}{2 * 9} * 0,6 * 0,463 = 93,2 \quad [lx] \quad (9)$$

Pri zväčšení miestnosti o polovicu a pri dvojnásobnom počte svetlovodov by mohla nastať predstava, že intenzita osvetlenia bude rovnaká. Nie je tomu však tak, pretože pri zmene rozmerov miestnosti sa zmení pomer miestnosti μ_m (8) a tiež činiteľ využitia miestnosti ν [%]. Celková priemerná intenzita osvetlenia na porovnávacej rovine v miestnosti s rozmermi 3×6 m bude v tomto prípade $E_4 = 93,2$ lx.

3. Záver

Výpočet intenzity osvetlenia pomocou zjednodušenej tokovej metódy podľa vzťahu (1) je veľmi nepresný a jeho použitie môže viesť k chybným výsledkom, porovnaj vzťahy (4) a (5). Preto je táto metóda vhodná len na orientačné účely a pri jej používaní je

potrebné zdefinovať ďalšie parametre, ktoré v reálnych podmienkach vstupujú do výpočtu. V prvom rade je dôležité si uvedomiť, že je možné pracovať len s podmienkou, že všetok svetelný tok Φ [lm] vychádzajúci z difúzora svetlovodu sa rovnomerne rozloží na plochu A [m²]. Ďalej je potrebné brať do úvahy pomer miestnosti μ_m , pomocou ktorého sa z [3] zistí činiteľ využitia miestnosti ν [%]. Tiež je potrebné uvažovať činiteľ znehodnotenia δ .

Z príkladov 3.2 a 3.3 vidno, že pri dvojnásobnom zväčšení plochy miestnosti a zdvojnásobení počtu svetlovodov, celková priemerná intenzita osvetlenia E [lx] nezostane rovnaká z dôvodu zmeny rozmerov miestnosti, ale bude väčšia.

Podakovanie: Tento príspevok vznikol vďaka podpore projektu APVV-0264-07.

Literatúra:

1. CIE 173:2006 Tubular daylight guidance system. CIE Central Bureau, Vienna, 2006.
2. Jenkins, D., Muneer, T.: Light-pipe prediction methods. Applied Energy, 79, 2004, p. 77-86.
3. Mohelniková, J., Plch, J., Darula, S.: The flux method for determination of indoor illuminance from tubular guides. Building Research Journal, 1-2, 2007, p. 85-96.
4. Zhang, X., Muneer, T.: A design guide for performance assessment of solar light-pipes. Lighting Research Technology, 32, 4, 2002, p. 149-169.
5. Maňková, L.: Utilization of daylight simulation in light-pipe efficacy assessment. Proc. Of the Central European regional IBPSA Conference, Bratislava, 2008, p. 65-68.
6. Mohelniková, J., Vajkay, F., Daylight simulations and tubular lught guides. International Juornal of Sustainable Energy, 27, 3, 2008, p. 155-163.
7. Kocifaj, M., Darula, S., Kittler, R.: HOLIGILM: Hollow light guide interior illumination method – An analytic calculation approach for cylindrical light-tubes. Solar Energy, 82, 2008, p.247-259.
8. Anýž, J. a kol.: Elektrotechnika VI – Elektrické svetlo. 2.vyd. Praha : Česká matice technická, 1950, 432 p.
9. Darula, S., Krasňan, M.: Možnosti využitia svetlovodov na denné osvetlenie budov. CD Proc. Conf. SLOVALUX 2008, Banská Bystrica.
10. STN EN 36 0015 – Meranie umelého osvetlenia.
11. STN 73 0580 Denné osvetlenie budov.

Marek Krasňan, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU Bratislava
