

Svetlo produkované oknami budov a jeho šírenie v atmosfére v noci

Stanislav Darula*, Miroslav Kocifaj**

* Ústav stavebníctva a architektury SAV, Bratislava, usarsdar@savba.sk,

** Astronomický ústav SAV, Bratislava, kocifaj@savba.sk

Úvod

V súčasnosti si vieme ťažko predstaviť vykonávanie ľudských aktivít len v dobe od východu po západ Slnka. V nočných hodinách sa pohybujeme po ulici, cestujeme vlakom, autom alebo pracujeme či oddychujeme vo vnútorných priestoroch budov. To vyvoláva potrebu osvetľovania vnútorných i vonkajších priestorov umelým svetlom. V prípade využívania vnútorných priestorov pre zrakové práce je návrh a prevádzka ich umelého osvetlenia stanovená normou (STN EN 12464-1, ČSN EN 12464-1). Väčšina týchto miestností má okná, ktorými sa počas dňa zabezpečuje splnenie požiadaviek na denné osvetlenie (STN 73 0580, ČSN 73 0580). Svetlo oknami do interiérov nielen vstupuje, ale v noci z nich aj uniká. Nadmerné vonkajšie osvetlenie v nočných hodinách môže pôsobiť rušivo na človeka a živé organizmy. Preto je snaha čo najviac využívať svetelný tok umelých zdrojov



• obrázok 13 Bytový dom č. 1 s oknami ktoré sa rozsvetujú a zhasínajú



• obrázok 2 Karosérie automobilov pod pouličným osvetlením odrážajú svetlo do horného polpriestoru

svetla pre účely ľudských aktivít a znižovať vyžarovanie umelého svetla do vonkajšieho priestoru (Leccese a Tuoni 2005, Sokanský a Dostál 2006).

Najviac publikovaných štúdií sa v súčasnosti venuje vplyvom svetla na živé organizmy v nočných hodinách (CIE 150:2003), modelovaniu i meraniu vonkajšieho umelého osvetlenia od rôznych zdrojov svetla (Kocifaj 2006, Kocifaj a Darula 2006, Kocifaj 2007a, Kocifaj 2007b, Kráncic, Kolláth a Gyutai 2008, Novák a Dostál 2008, Kocifaj 2009, Kocifaj 2010).

Umelé zdroje svetla v noci

Najviac svetelných zdrojov sa v noci vyskytuje v mestách. Možno ich zatriediť do štyroch hlavných skupín:

1. Svetelné zdroje stabilné s nemennou svietivosťou. Vyznačujú sa polohou, ktorá sa v priestore nemení a intenzitou svetla, ktorá je dlhodobo konštantná. Takéto charakteristiky vykazuje pouličné osvetlenie, osvetlenie verejných priestranstiev, billboardy, iluminácia fasád objektov a stavebných konštrukcií.

2. Svetelné zdroje stabilné s premenlivou svietivosťou. Tieto zdroje svetla sa vyznačujú polohou, ktorá sa nemení a intenzitou svetla, ktorá sa mení v krátkych časových intervaloch. Do tejto skupiny možno zaradiť okenné otvory vo fasádach budov (obrázok 1), svetelné reklamy.

3. Pohyblivé svetelné zdroje. Určujúcimi znakmi týchto zdrojov svetla je zmena ich polohy v krátkom časovom

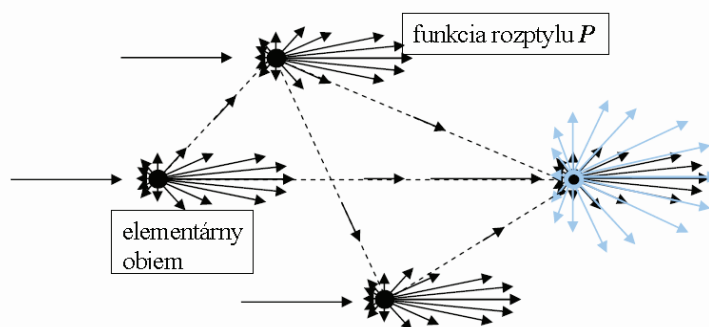
intervale a zmena smerových charakteristík svietivosti. Typickými predstaviteľmi tejto skupiny zdrojov svetla sú pohybujúce sa dopravné prostriedky, napr. osobné automobily, autobusy.

4. Špeciálnu skupinu tvoria sekundárne zdroje svetla. Sú to plochy osvetľované hlavne pouličným osvetlením, napr. lesklé karosérie automobilov (obrázok 2), dlažby, drobná architektúra alebo umelecké diela. Odracom od týchto plôch sa môže zvýšiť vonkajšia osvetlenosť v uliciach miest a zvýšiť svetelný tok smerujúci do horného polpriestoru.

Šírenie svetla v atmosfére

Svetlo je elektromagnetické žiarenie vlnovej dĺžky 380 – 780 nm. Pri prechode atmosférou podlieha dvom základným procesom rozptylu a absorpcii. K rozptylu dochádza z dôvodu nehomogenity prostredia hlavne na aerosóloch a prachových časticiach. Vplyvom prítomnosti ozónu a plynových zložiek v atmosfére dochádza k absorpcii svetla, ktoré prichádza z mimozemských ale aj pozemných zdrojov. V prípade atmosféry, absorpčné javy majú silne selektívny charakter, t.j. závisia od vlnovej dĺžky elektromagnetického žiarenia a od chemického zloženia tej-ktorej plynnej zložky atmosféry. V reálnych podmienkach to znamená, že elektromagnetické žiarenie určitej vlnovej dĺžky môže byť pohlcované viac ako žiarenie inej vlnovej dĺžky.

Množstvo svetla, ktoré prechádza atmosférou závisí od vlastností prostredia. Priestorovú redistribúciu rozptýleného žiarenia ovplyvňujú najmä vlastnosti aerosolových častíc (a to hlavne ich tvar, veľkosť, chemické zloženie, koncentrácia) a ich priestorové rozloženie. Zvyšovaním celkového množstva častíc dochádza k viacnásobnému rozptylu a k nárastu jeho efektivity, čo sa prejavuje takzvaným procesom samoožarovania atmosféry, obrázok 3. Svetlo dopadajúce na čistočky v atmosfére sa rozptýli do všetkých smerov, pričom v smere dopredu je šírené



obrázok 3 Schéma viacnásobného rozptylu svetla v atmosfére od účinku paralelných lúčov.

s najvyššou intenzitou a v kolmom smere s nižšou. Smerový účinok rozptýleného svetla sa popisuje funkciou rozptylu. Celková intenzita svetla rozptýleného v istom smere je daná súčtom intenzít od jednotlivých častíc, ako je to zobrazené na obrázku 3. V tomto prípade sa lúče svetla považujú za paralelné. Hustota toku žiarivej energie, t.j. energia emitovaná z jednotkovej plochy pozemného zdroja svetla (napr. časti mesta) do celého polpriestoru je závislá na vlnovej dĺžke, čo možno popísať vzťahom:

$$F_{\lambda,0} = \int_{2\pi} I_{\lambda}(z_0, \varphi_0) \cos z_0 d\omega_0 = \int_{z_0=0}^{\pi/2} \left[\int_{\varphi_0=0}^{2\pi} I_{\lambda}(z_0, \varphi_0) d\varphi_0 \right] \sin z_0 \cos z_0 dz_0 \quad (1)$$

kde $I_{\lambda}(z_0, \varphi_0)$ intenzita žiarenia,
 $d\omega_0 = \sin z_0 dz_0 d\varphi_0$ elementárny priestorový uhol,
 z_0, φ_0 uhlové súradnice.

Podľa (1) a za pomoci definície elementárneho spektrálneho toku žiarivej energie sa smerová intenzita zdroja svetla vypočíta podľa (2) je :

$$I_{\lambda,0} = \frac{1}{\cos z_0} \frac{dF_{\lambda,0}}{d\omega_0} = \frac{1}{\cos z_0} \frac{d^2\phi_{\lambda,0}}{d\sigma_0 d\omega_0} \quad (2)$$

kde $I_{\lambda,0}$ smerová intenzita žiarivej energie,
 $d\phi_{\lambda,0}$ elementárny spektrálny tok žiarenia generovaný elementárnou ploškou mesta,
 $d\sigma_0$ elementárna ploška.

V prípade pozemných zdrojov treba pamätať na to, že mestá, okná, individuálne zdroje umelého svetla vyžarujú do priestoru s rôznymi smerovými charakteristikami. V prípade mesta sa účinok jednotlivých zdrojov zintegruje a mesto ako celok, alebo jeho časť sa môže nahradiť bodovým alebo plošným zdrojom svetla vyžarujúcim svetlo do horného polpriestoru. Pre matematické modelovanie rušivého svetla sa často využíva Henyey-Greensteinovu funkcia (3), ktorá dobre popisuje rozptyl svetla na čistočkách rôznych veľkostí a tvarov. Takéto čistočky sa bežne

vyskytujú v zemskej atmosfére. Výhodou použitia funkcie (3) je, že pracuje s vlnovými dĺžkami a jej hodnota závisí len na parametri asymetrie.

$$P_{\lambda}^{(A)}(\omega') \equiv P_{\lambda}^{(A)}(\vartheta) = \frac{(1 - g_{\lambda}^2)}{(1 + g_{\lambda}^2 - 2g_{\lambda}^2 \cos \vartheta)^{3/2}} \quad (3)$$

kde ω' priestorový uhol reprezentujúci smer svetla,
 ϑ uhol rozptylu,
 g_{λ} parameter asymetrie.

Jas nočnej oblohy

Pozorovateľ, ktorý sa nachádza na zemi vníma tú hodnotu jasu oblohy, ktorá je výsledkom sčítania príspevkov od všetkých častíc k pozorovateľovi. Prítomnosť oblakov sa dá teoreticky zohľadniť druhou funkciou vo vzťahu (4)

$$L(z, \varphi) = L_R(z, \varphi) + L_O(z, \varphi) \quad (4)$$

kde z zenitový uhol
 φ azimut v smere pozorovania,
 $L_R(z, \varphi)$ jas spôsobený rozptylom vo voľnej atmosfére,
 $L_O(z, \varphi)$ jas vznikajúci intenzívnym rozptylom v oblačných vrstvách atmosféry.

Obidve funkcie $L_R(z, \varphi)$ a $L_O(z, \varphi)$ možno analyticky zapísať v tvare:

$$L_R(z, \varphi) = \frac{1}{\cos z} \int_{R=0}^{R(\Phi)} \int_{\Phi=0}^{2\pi} \int_0^H \frac{\cos^2 z_{0,h}}{h^2} \left\{ \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B_{\lambda} I_{\lambda,0} V'_{\lambda} T_{\lambda} \Gamma_{\lambda} d\lambda \right\} dh \sin \Phi d\Phi dR \quad (5)$$

a

$$L_O(z, \varphi) = \frac{1}{\pi H^2} \int_{R=0}^{R(\Phi)} \int_{\Phi=0}^{2\pi} \cos^4 z_{0,H} \left\{ \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B_{\lambda} \rho_{\lambda} I_{\lambda,0} V'_{\lambda} T_{\lambda,H} d\lambda \right\} \sin \Phi d\Phi dR \quad (6)$$

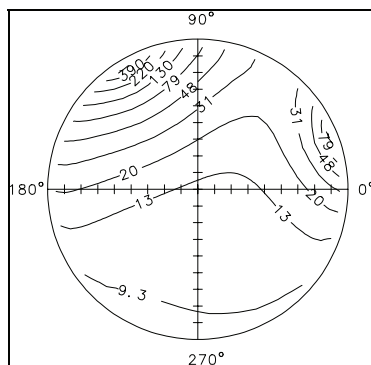
kde B_{λ} funkcia popisujúca smerové spektrálne vyžarovacie charakteristiky pozemného svetelného zdroja,
 T_{λ} spektrálna priepustnosť atmosféry na dráhe od zdroja svetla po elementárny objem atmosféry ktorý je vo výške h ,
 H výška spodnej hranice oblakov,
 Γ_{λ} spektrálna uhlová funkcia rozptylu,
 V'_{λ} charakterizuje spektrálnu citlivosť oka pre skotopické videnie,
 ρ_{λ} odrazivosť oblačnej vrstvy na vlnovej dĺžke λ ,
 $z_{0,H}, z_{0,h}$ zenitové uhly (Kocifaj, 2007a),
 $I_{\lambda,0}$ pôvodná intenzita svetelného zdroja – mesta,
 R, Φ polárne súradnice charakterizujúce pôdorys mesta.

Ak sa zavedie aproximácia mesta ako plošného zdroja svetla bodovým zdrojom, potom sa získa zjednodušenie vzťahov (5) a (6) nasledovne:

$$L_R(z, \varphi) \cong \frac{A_0}{\cos z} \int_0^H \left\{ \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B \frac{\cos^2 z_{0,h}}{h^2} I_{\lambda,0} V_{\lambda} T_{\lambda} \Gamma_{\lambda} d\lambda \right\} dh \quad (7)$$

a

$$L_O(z, \varphi) \cong \frac{A_0}{\pi H^2} \cos^4 z_{0,H} \left\{ \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B \rho_{\lambda} I_{\lambda,0} V_{\lambda} T_{\lambda,H} d\lambda \right\} \quad (8)$$



obrázok 4 Rozloženie relatívneho jasov na nočnej oblohe od dvoch zdrojov svetla vzdialených od pozorovateľa $l_1 = l_2$, $d_1 = 5$ km, $d_2 = 3$ km

atmosféry. Na obrázku 4 je prezentovaný príklad výpočtu rozloženia jasov na nočnej oblohe. Zdrojom rušivého svetla v tomto prípade boli dve lokality rovnakej intenzity žiarenia I_1 a I_2 , ale rôzne vzdialené od pozorovateľa. Prvý zdroj svetla je vzdialený $d_1 = 5$ km a druhý $d_2 = 3$ km.

kde A_0 konštanta majúca rozmer plochy.

Ak je v okolí miesta pozorovania viac nezávislých zdrojov svetla s rôznou intenzitou žiarenia potom celková nameraná hodnota bude jednoduchým súčtom

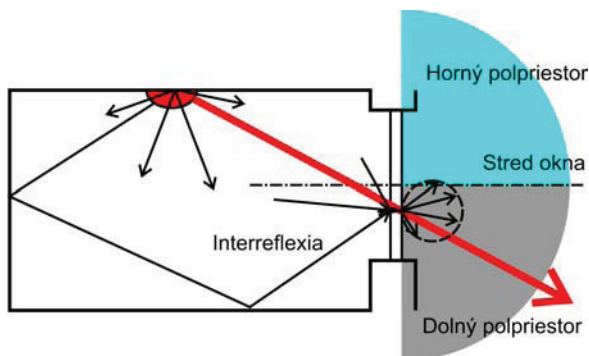
$$L_{Total}(z, \varphi) = \sum_{i=1}^N L^i(z, \varphi) \quad (9)$$

kde N počet svetelných zdrojov,
 $L^i(z, \varphi)$ merateľný príspevok od i -teho zdroja (počítaný podľa vzťahu (4)).

Výsledkom modelovania šírenia sa svetla v nočnej atmosfére je obvyčajne rozloženie oblohových jasov. Hodnoty a priebehy izočiari, ktoré spájajú oblohové elementy s rovnakými jasmi, závisia na výkone a počte svetelných zdrojov a tiež na ich smerovej svietivosti. Dôležitými faktormi sú tiež vzájomná poloha pozemných zdrojov a pozorovateľa a tiež zloženie a optické vlastnosti

Šírenie sa svetla cez okná v noci

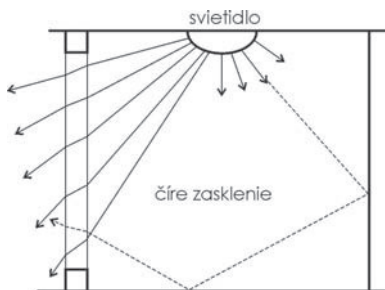
Jedným a možno i významným zdrojom rušivého svetla v noci v mestách sú osvetľovacie otvory. Počas noci cez okna a svetlíky uniká do vonkajšieho priestoru svetlo v rôznom čase a rôznej intenzite. Na obrázku 1 možno postrehnúť rôzny jas okenných tabulí osvetľovaných z vnútra miestnosti. Výslednú svietivosť okna smerom do exteriéru určuje niekoľko faktorov, napríklad:



• obrázok 5 Schéma šírenia sa svetla z miestnosti

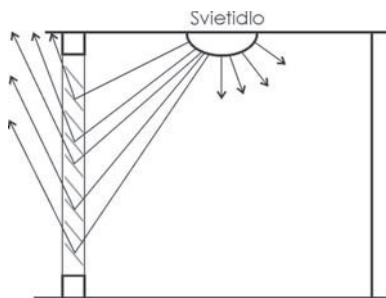
- typ použitej osvetľovacej sústavy v miestnosti,
- poloha svietidiel na strop, bočných stenách, na vodorovnej pracovnej rovine,
- povrchová úprava vnútorných stien,
- rozmiestnenie nábytku a jeho povrchová úprava,
- prítomnosť doplnkového osvetlenia, napr. stolnej lampy pod oknom,
- použitie záclon, roliet,
- použitie žalúzií (na vnútornej strane okna, v priestore medzi sklami, na vonkajšej strane okna).

Kráncz, Kolláth a Gyutai (2008) meraniami jasov okien a fasád budov vo Veszpréme zistili jas nezatieneho okna v úrovni $L_w = 107$ cd.m⁻² a zatieneho v úrovni $L_w = 1.2$ cd.m⁻². Hodnoty jasov fasád v mestskej zástavbe sú značne premenlivé. Osvetlené svetlé povrchy môžu mať hodnoty až $L_w = 569$ cd.m⁻², bežne $L_w = 18$ cd.m⁻² pričom u neosvetlených stien budov sa ich jas môže znížiť k hodnote len $L_w = 0,2$ cd.m⁻². Z obrázku 1 je zjavné, že svetlo z okien sa šíri aj do horného polpriestoru, pričom možno predpokladať, že smerová charakteristika do dolného polpriestoru sa bude odlišovať od charakteristiky do horného polpriestoru. Bežne sa svietidlá osadzujú v miestnostiach na strop. Tieto osvetľujú okolité steny, podlahu a porovnávaciu rovinu zhora (obrázok 5). Možno predpokladať, že svetelný tok z okien smerovaný do dolného polpriestoru bude väčší ako do horného polpriestoru, za predpokladu, že okná nebudú tienené a v okenných

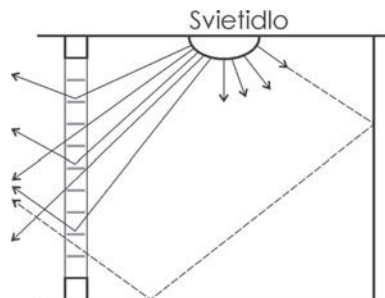


• obrázok 6 Prestup svetla čírym zasklením

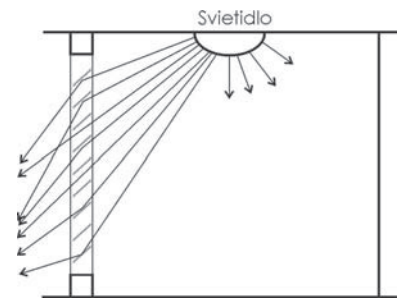
rámoch bude osadené číre tabuľové sklo (obrázok 6). V tomto prípade výsledná krivka svietivosti elementu okna sa skladá z príspevku priameho svetla od svetidla a príspevku difúzneho svetla, ktoré vzniká v dôsledku interreflexie. Tým, že miestnosti v reálnej prevádzke zvyčajne nie sú prázdne, ale vyskytuje sa v nich nábytok, zariadenie bytu, a majú rôzne farebné povrchy stien, dochádza k nerovnomernému prestupu difúzneho svetla cez plochu zasklenia. Presné modelovanie prestupu svetla by sa v takom prípade malo robiť pre každý element okna.



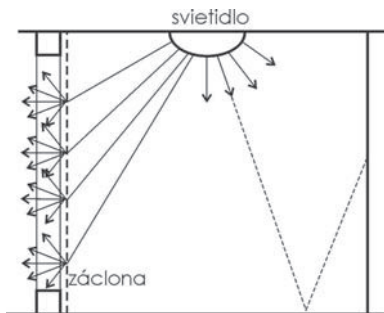
• obrázok 7 Presmerovanie svetla do horného polpriestoru



• obrázok 8 Prestup svetla pri vodorovne natočených žalúziách



• obrázok 9 Presmerovanie svetla do dolného polpriestoru



• obrázok 10 Prestup svetla cez záclonu, alebo textilný záves

Komplikovanejšia situácia nastane, keď sú v oknách osadené žalúzie. Schémy na obrázkoch 7 až 9 ukazujú príklad okna so žalúziou osadenou medzi sklami. V závislosti od natočenia lamiel žalúzie, svetelný tok vychádzajúci z okna môže byť nasmerovaný smerom k terénu alebo aj smerom k oblohe. Najnepriaznivejšia situácia nastane, keď je svetlo z miestnosti presmerované smerom k oblohe, ako je to ukázané na obrázku 7. Možno predpokladať, že krivka svietivosti tohto okna bude výrazne pretiahnutá v hornej časti polpriestoru. Menšie úrovne jasov okien možno očakávať v prípadoch, keď budú v oknách zatiahnuté záclony alebo textilné závesy. Farba prenikajúceho svetla a jeho množstvo tiež závisia od farby použitých vzorov tieniacich prvkov. Svetlo dopadajúce na tieto prvky z vnútorného priestoru je rozptyľované do vonkajšieho priestoru

(obrázok 10). Okná so záclonami budú mať krivku svietivosti, podobnú krivke rovnomerného rozptylu svetla (tzv. izotropný rozplyl).

Modelovanie prestupu svetla žalúziami je pomerne dobre opísané pre prípady šírenie sa svetla z exteriéru do interiéru a pre zdroj svetla – Slnko s paralelnými lúčmi. Umelé svetelné zdroje používané pre osvetľovanie interiérov v noci vyžarujú svetlo rôznej intenzity a v rôznom smere, obrázky 7 až 10. Z tohto dôvodu aplikovanie modelov, ktorými sa popisuje prestup slnečného svetla cez žalúzie, môže viesť ku skresleným výsledkom v prípade, že sa použijú pre vyjadrenie prestupu svetla žalúziami od interiérových umelých svetelných zdrojov v noci.

Podobne ako pri riešení úloh denného osvetlenia vnútorných priestorov budov, je výhodné vyhodnocovať svietivosť okien pomocou kriviek svietivosti s delením na horný a dolný polpriestor s tým, že deliaca čiara bude prechádzať stredom okna v kolmom smere na zasklenie, ako je znázornené na obrázku 5.



• obrázok 11 Bytový dom č. 2, pohľad zhora

Jas okna v noci

Jedným zo zdrojov zvyšovania osvetlenia v mestskej zástavbe v nočných hodinách sú aj svietiace okná v budovách. V súčasnosti je veľmi málo informácií o svetelných charakteristikách týchto zdrojov, napr. o jase a svietivosti.

Jas okien v noci sa dá zmerať jasomerami alebo jasovými kamerami. Dôležitý je pritom smer merania jasov. Pokiaľ sa bude merať len zo zemského povrchu, budú chýbať informácie o vyžarovaní svetla smerom k oblohe. Za predpokladu, že svietivosť okien je rotačne

symetrická, je možnosť merať jasov okien i z horného smeru, napr. z oproti stojacej výškovej budovy. Takéto merania jasov okien sa uskutočnili dňa 19. 7. 2009 na fasáde bytového domu č. 2, ktorý stojí na sídlisku Petržalka v Bratislave. Tohto dňa bola jasná noc bez mesačného svetla a tiež s viditeľnými hviezdami na oblohe, Vonkajšia teplota sa pohybovala okolo 20°C.

Na obrázku 11 je zobrazený pohľad na bytový dom č. 2 zhora, zo strechy oproti stojacej budovy, a na obrázku 12 je vidieť svietiace okná v tej istej fasáde, ale z pozície na zemi. Osi x a y na obrázku 11 slúžia ako indikátor pre lokalizovanie okien na fasáde domu. Hodnoty jasov namerané jasomerom Minolta 1° zo strechy oproti stojaceho



• obrázok 12 Bytový dom č. 2, pohľad zdola

domu a z úrovne terénu sú dokumentované v tabuľkách 1 a 2. Vzdialenosť medzi bytovým domom č. 2 a oproti stojacou budovou bola 54 m. Pri týchto vzdialenostiach šírka okna 0.9 m je menšia, ako priemer plochy, ktorú snímal použitý jasomer. V tomto prípade sa výsledný jas okien L_w vypočítal ako váhovaný priemer z jasů snímanej plochy okna L_m a jasů doplnkovej plochy fasády budovy. Vo výpočtoch bola použitá hodnota 0.05 cd.m^{-2} pre jas fasády. Nie u všetkých okien sa podarilo zmerať ich jasy z horného aj dolného smeru, nakoľko užívatelia bytov vypínajú osvetlenie pri vychádzaní z miestností.

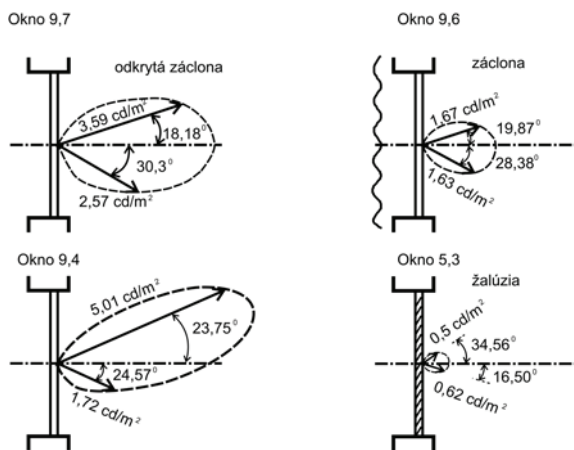
Súradnica		Rozmer okna	Jas okna		Popis
x	y	Šírka x výška	L_m	L_w	
		m	cd.m^{-2}		
9	4	0.9x1.5	3,5	5,01	bez záclony
9	6	0.9x1.5	1,2	1,67	záclona
9	7	0.9x1.5	2,6	3,59	polovica okna záclona
9	9	0.9x1.5	24,2	32,97	žiarivky v kuchyni
1	7	2.4x1.5	1,6	1,99	oranžové záclony
1	3	2.4x1.5	1,2	1,49	biele záclony
7	3	2.4x1.5	1,6	1,99	záclona
5	3	2.4x1.5	0,4	0,50	žalúzie

* Tabuľka 1: Jasy okien v bytovom dome č. 2 merané z horného polpriestoru

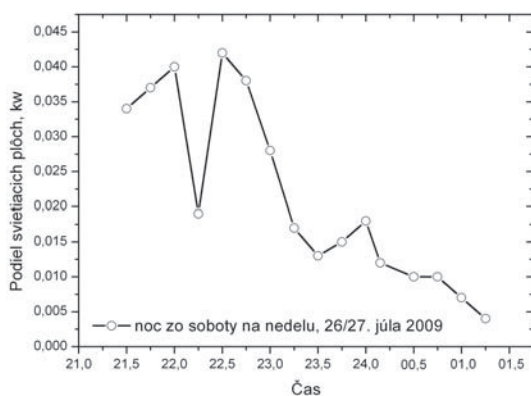
Súradnica		Rozmer okna	Jas okna		Popis
x	y	Šírka x výška	L_m	L_w	
		m	cd.m^{-2}		
9	4	0.9x1.5	1,2	1,72	bez záclony
9	6	0.9x1.5	1,1	1,63	Záclona
9	7	0.9x1.5	1,7	2,57	polovica okna záclona
1	8	2.4x1.5	6,0	7,45	vidno svetidlo cez žalúzie
2	8	0.9x1.5	4,8	7,34	vidno svetidlo cez žalúzie
5	3	2.4x1.5	0,5	0,62	Žalúzie
9	9	0.9x1.5	12,4	19,64	žiarivky v kuchyni

* Tabuľka 2: Jasy okien v bytovom dome č. 2 merané z dolného polpriestoru

V štyroch prípadoch, u okien 9,6; 9,7; 9,4 a 5,3 sa podarilo zmerať jasy z oboch smerov. Hodnoty v tabuľkách 1 a 2 a tiež na obrázku 13 ukazujú veľké rozdiely v uhlovej distribúcii svetla smerujúceho z interiéru do nočného exteriéru. Najviac svetla prenikajúceho do horného polpriestoru možno očakávať u miestností, ktoré sú osvetľované žiarivkami (okno 9,9), ďalej z miestností s nezatičenými oknami (bez záclon alebo žalúzií) a z miestností, v ktorých sa pri okne nachádza stolná alebo stojatá lampa. Záclony rozptyľujú svetlo rovnomernejšie do celého priestoru (okno 9,6), žalúzie zase svetlo presmerujú viac do horného alebo dolného polpriestoru v závislosti od sklonu lamiel. V miestnostiach s vypnutým osvetlením a zapnutým televízorom, boli úrovne jasov okien pod prahom merateľnosti.



• obrázok 13 Zmerané jasy okien v bytovom dome č. 2



* obrázok 14 Zmeny pomeru svietiacich plôch okien a celkovej plochy západnej fasády bytového domu č. 2

Zmeny jasu fasády bytového domu v noci

Už prvé nočné merania jasov okien odkryli značnú časovú premenlivosť vzorky fasády bytových domov. Skutočnosť, že užívatelia bytov sa nachádzajú v miestnostiach nepravidelne a v rôzne dlhých časových intervaloch spôsobuje, že vo fasádach bytových domov svieti v určitom čase len určitý počet okien. Pre výpočty rušivého svetla je dôležité poznať jas a veľkosť svietiacich plôch, ktoré môžu prispievať k zvyšovaniu vonkajšej osvetlenosti v nočných hodinách. Pre vyjadrenie podielu svietiacej plochy S_w ku ploche celej fasády budovy S sa zaviedol koeficient k_w :

$$k_w = \frac{\sum_{i=1}^n S_{w,i}}{S} \quad (20)$$

kde $S_{w,i}$ plocha i -tého okna,
 S plocha celej fasády budovy.

V noci z 25. na 26. júla 2009 (zo soboty na nedeľu) od 21:30 miestneho času sa zisťovali v 15-minútových intervaloch zmeny koeficientu k_w na západnej fasáde bytového domu č. 1 s trojizbovými bytmi (obrázok 1). Celková sledovaná plocha fasády bola $S = 2244,78 \text{ m}^2$. Vypočítané hodnoty koeficientu k_w sú dokumentované v tabuľke 3. Logicky sa predpokladá, že hodnota k_w sa bude s pribúdajúcim časom znižovať. Tento predpoklad potvrdili merania urobené po 22:30, pričom treba počítať s miernymi zmenami cca do 2:00 hod. (obrázok 14).

Vyskytlo sa len niekoľko bytov, v ktorých naraz svietili okná všetkých miestností bytu.

Čas	Plocha okien	k_w
	m^2	
21:30	75,60	0,034
21:45	83,70	0,037
22:00	90,00	0,040
22:15	42,30	0,019
22:30	93,60	0,042
22:45	84,60	0,038
23:00	62,10	0,028
23:15	38,70	0,017
23:30	29,70	0,013
23:45	33,30	0,015
24:00	41,40	0,018
0:15	26,10	0,012
0:30	23,40	0,010
0:45	22,50	0,010
1:00	15,30	0,007
1:15	9,90	0,004

* Tabuľka 3: Zmeny koeficientu k_w , fasáda bytového domu č. 1

Najvyššia hodnota $k_w = 0.042$ sa zistila o 22:30, čo zodpovedá svietiacej ploche 4.2% z celkovej plochy fasády tohto domu. V obytných budovách s viacizbovými bytmi možno predpokladať, že v noci v letnom období nebude svietiť viac ako 10% fasády obytného domu. V zimnom období možno očakávať mierny nárast hodnoty k_w v čase od 18:00 do 20:00, kedy je najvyššia sledovanosť televízie a tiež príprava a konzumácia jedál počas večere.

Pre praktické výpočty a hodnotenie rušivého svetla by bolo užitočné poznať jas celej fasády budovy, nakoľko v zástavbe väčších miest je prakticky nemožné spočítať všetky okná. Jas jednotlivej fasády L_F sa dá študovať podľa vzťahu (2), ktorý vyjadruje vážený priemer jasov okien a fasády cez ich plochy.

$$L_F = \frac{\sum_i^n L_{w,i} S_{w,i} + \sum_j^m L_{F,j} S_{F,j}}{\sum_i^n S_{w,i} + \sum_j^m S_{F,j}} = \frac{\sum_i^n L_{w,i} S_{w,i} + \sum_j^m L_{F,j} S_{F,j}}{S} \quad (11)$$

kde $S_{F,j}$ plocha fasády s jasom $L_{F,j}$.

Záver

Krivka svietivosti vonkajších umelých svetelných zdrojov je jeden dôležitý parameter potrebný pre hodnotenie rušivého svetla. V celomestskom rozsahu je výsledná krivka svietivosti vybraného územia formovaná všetkými parciálnymi zdrojmi svetla. Hoci v mestských aglomeráciách je týchto zdrojov veľa, hlavné pozornosť je stále sústredená na verejné osvetlenie. Ukazuje sa, že aj okná a osvetlené fasády budov môžu zvyšovať úroveň vonkajšej osvetlenosti. Jasy okien môžu v noci dosahovať hodnoty vyššie ako 100 cd.m^{-2} , v závislosti od spôsobu tienenia zasklenia. Pri vyhodnocovaní jasov okien treba zohľadniť ich rozdielne vyžarovacie charakteristiky, teda množstvo svetla smerujúceho do horného a do dolného polpriestoru ako i spôsob tienenia ich zasklení.

PodĎakovanie: Tento príspevok vznikol za podpory projektu APVV SK-CZ-0014-09.

Literatura a odkazy

CIE 150:2003. Guide on the limitation of the effects of obstructive light from outdoor lighting. CIE Central Bureau Vienna.

ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory.

ČSN 73 0580 Denní osvětlení budov.

KOCIFAJ, M., DARULA, S. Výskum celoročných zmien slnečných a svetelných dostupností pre počítačové posudzovanie trvalo udržateľných budov. Model výpočtu spektrálnej žiary/jasu oblohy od terestriálnych svetelných zdrojov. VEGA 2/5093/26 R 2006. 2, Správa, ÚSTARCH SAV, Bratislava 2006, 19p.

KOCIFAJ, M. Fyzikálne princípy rozptylu svetla v atmosfére a ich aplikácia na podmienky dennej a nočnej oblohy. Kurz osvetľovací techniky XXV. - Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2006, s. 100 – 103.

KOCIFAJ, M., Light pollution model for cloudy and cloudless night skies with ground-based light sources, Applied. Optics. 46, 2007a, 3013-3022.

KOCIFAJ, M. Numerické modelovanie rušivého svetla v prímestských a mimomestských oblastiach. Zbor. konf. Světlo 2007, Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007b, s. 116 – 120.

KOCIFAJ, M. O príčinách premenlivosti úrovne rušivého svetla. Kurz osvetľovací techniky XXVII. - Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009., s. 104 – 107.

KOCIFAJ, M. Spektrálne vlastnosti rušivého svetla. Kurz osvetľovací techniky XXVIII. - Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2010, s. 55 – 59.

KRÁNICZ, B., KOLLÁTH, Z., GYUTAI, V. Measuring Light Pollution. CD Proc. Conf. Lumen V4, Szczyrk 2008.

LECCESE, F., TUONI, G. Lighting requirements and other energy and safety aspects in urban areas. Proc. Conf. Lux Europa 2005, Berlin, p. 535-538.

NOVÁK, T., DOSTÁL, F. Měření rušivého světla. Przeglad Elektrotechniczny, LXXXIV, 2008, 8, p. 50-53.

SOKANSKÝ, K., DOSTÁL, F. Jasové poměry na noční obloze. Proc. Kurz osvetľovací techniky XXV, Kouty nad Desnou, VŠB TU Ostrava 2006, p. 241-249.

STN EN 12464-1 Svetlo a osvetlenie. Osvetlenie pracovních miest. Časť 1: Vnútorne pracovné miesta

STN 73 0580 Denné osvetlenie budov.