

VOLBA SVÍTIDLA Z HLEDISKA RUŠIVÉHO SVĚTLA

Tomáš Maixner, Ing.

DQL osvětlování, Černolice 6, 252 10 Mníšek p.B., www.dql.cz, dql@dql.cz

Když jsem dopsal úvod k tomuto příspěvku, měl jsem popsáno pět stran. Počet, který byl stanoven pro celou práci. Jsem tedy nucen čtenáře ochudit o brilantní odvození jednotlivých formulí a předložit konečné vztahy. Je mi to líto. Už z toho důvodu, že jsem mohl při odvozování spáchat chybu, na kterou by mě mohl vnímavý čtenář upozornit. O tom, co se ani po tomto zkrácení do psaného textu nevejde, pohovořím při přednášce. Pokud ovšem nebudu hovořit o něčem zcela jiném, jak je mým nepěkným zvykem, léta organizátory tohoto kursu tolerovaném.

Volba svítidla s ohledem na velikost závojevého jasu oblohy

Výběr svítidla z pohledu minimalizace rušivého světla je novým prvkem návrhu osvětlovacích soustav. Legislativně je ve stádiu úprav. V době psaní tohoto příspěvku probíhá v poslanecké sněmovně jednání ohledně novely zákona o ovzduší. Rovněž je ve schvalovacím řízení norma EU - EN 12464-2 Venkovní pracovní prostory [1].

Ve zmíněné normě jsou pro jednotlivé zóny životního prostředí uvedeny doporučené hodnoty poměrného světelného toku svítidla do horního poloprostoru $\Delta\varphi_H$ ⁽¹⁾. V nejpřísněji chráněné zóně E1⁽²⁾ je hodnota $\Delta\varphi_H = 0$. Samotná veličina $\Delta\varphi_H$ je, z hlediska posouzení vlivu osvětlovací soustavy na velikost závojevého jasu oblohy, nedostatečná. Vychází z nereálného světa aktivistů bojujících za tmavé⁽³⁾ nebe, ve kterém se světlo neodráží. Aby bylo možné posoudit vliv odražené složky, zavedl jsem veličinu *činitele jasu oblohy* φ_{LO} , jako poměr celkového světelného toku vyzařeného na oblohu Φ_O (přímého i odraženého) k celkovému světelnému toku vystupujícího ze svítidel posuzované soustavy Φ_S . Činitel jasu oblohy lze vyjádřit takto:

$$\varphi_{LO} = \frac{\Phi_O}{\Phi_S} = \Delta\varphi_H + (1 - \Delta\varphi_H) \cdot \rho_T \quad (-; |m, |m, -, -). \quad (1)$$

Pro plně cloněné svítidlo je $\Delta\varphi_H = 0$, takže $\varphi_{LOC} = \rho_T$ ⁽⁴⁾. Je tedy zřejmé, že i svítidla plně cloněná jsou příčinou zvýšeného jasu oblohy. Ze vztahu (1) je patrné, že s rostoucím činitelem odrazu světla terénu ρ_T a zvětšujícím se $\Delta\varphi_H$ se velikost činitele jasu oblohy zvyšuje. Do hry však vstupují další nežádoucí vlastnosti plně cloněných svítidel. Ta mají nižší účinnost než srovnatelná svítidla s nižším stupněm clonění. Rovněž mají, ta plně cloněná, menší vyzařovací úhel. Například reálné svítidlo firmy ... s klasickým difuzorem má účinnost 78,9% a podíl světelného toku do horního poloprostoru je $\Delta\varphi_H = 0,006$; účinnost do dolního poloprostoru je $\eta_{dN} = 0,784$. Svítidlo téže řady, avšak cloněné plochým sklem, má účinnost 64,2% (a $\Delta\varphi_H = 0$, $\eta_{dC} = 0,642$). Podobně je tomu i u jiných svítidel tohoto výrobce, ale i všech ostatních. Z uvedeného je zřejmé, že je zapotřebí použít větší počet plně cloněných svítidel, nebo je osadit světelnými zdroji s větším světelným tokem. Poměr počtu svítidel soustav s jednotlivými typy svítidel, resp. poměr světelných toků zdrojů osazených v jednotlivých soustavách, nazvěme *činitelem navýšení soustavy* n . Pro cloněnou soustavu bude n_C :

$$n_C = \frac{\eta_{SN}}{\eta_{SC}} \quad (-; -, -), \quad (2)$$

¹ V normě označovaného jako ULR.

² Astronomické observatoře mezinárodního a celonárodního významu. To je v ČR Ondřejov a Klet.

³ Aktivisté překládají Dark sky zlověstně jako temné nebe. Astronomové hovoří o jasném nebi, které je plné hvězd.

⁴ Ve všech vztazích index N označuje veličiny související s necloněným svítidlem; C souvisejí se svítidlem plně cloněným.

kde η_{SN} , resp η_{SC} je činitel využití osvětlovací soustavy s necloněnými, resp. cloněnými, svítidly. Pak lze vyjádřit nárůst světelného toku do horního poloprostoru pro necloněná svítidla oproti svítidlům plně cloněným pomocí činitele zvýšení jasu oblohy ψ_N :

$$\psi_N = \frac{\eta_N}{\eta_C} \cdot \frac{1}{n_C} \cdot \frac{1}{\rho_T} \cdot [\Delta\varphi_{HN} + \rho_T \cdot (1 - \Delta\varphi_{HN})] - 1 \quad (3)$$

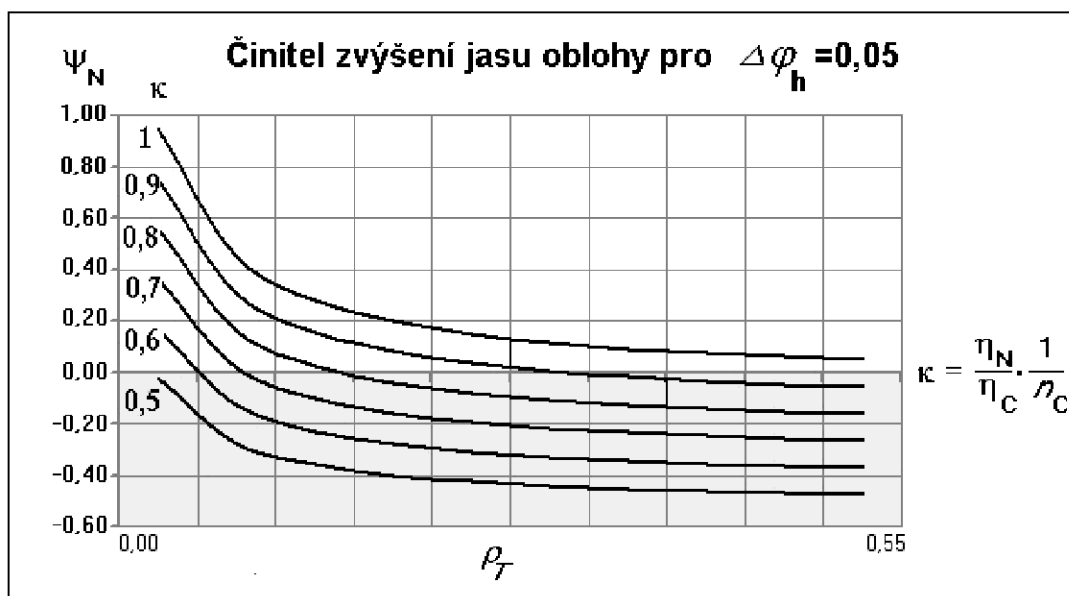
kde η_N , resp η_C je účinnost necloněného, resp. cloněného, svítidla

Pokud bude $\psi_N < 0$, pak necloněné svítidlo vyvolá nižší závojevý jas oblohy než svítidlo plně cloněné. V následující tabulce 1 jsou uvedeny hodnoty činitele zvýšení jasu oblohy pro popsané konkrétní svítidlo.

nc	Rot									
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1,00	0,371	0,293	0,267	0,254	0,247	0,241	0,238	0,235	0,233	0,231
1,05	0,305	0,231	0,207	0,195	0,187	0,182	0,179	0,176	0,174	0,172
1,15	0,192	0,124	0,102	0,091	0,084	0,079	0,076	0,074	0,072	0,070
1,25	0,096	0,034	0,014	0,003	-0,003	-0,007	-0,010	-0,012	-0,014	-0,015
1,35	0,015	-0,042	-0,061	-0,071	-0,077	-0,080	-0,083	-0,085	-0,087	-0,088
1,45	-0,055	-0,108	-0,126	-0,135	-0,140	-0,144	-0,146	-0,148	-0,150	-0,151

• Tabulka 1: Činitel zvýšení jasu oblohy ψ_N

Velikost činitele zvýšení jasu oblohy je úměrná velikosti $\Delta\varphi_H$. Je tedy možné pro různé hodnoty $\Delta\varphi_H$ zpracovat podobné tabulky a z nich pak usuzovat na míru ovlivnění závojevého jasu oblohy tím či oním svítidlem. Na obr. 1 uvádím graf pro svítidla $\Delta\varphi_h = 0,05$:



• Obr. 1 – Průběh činitele zvýšení jasu oblohy

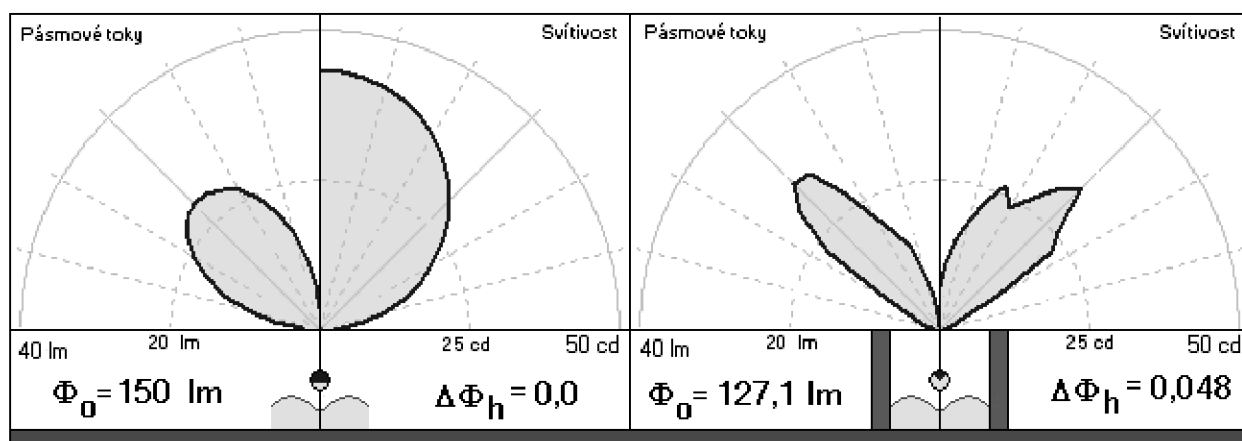
Pro uvedená reálná svítidla bude, ve většině případů, činitel navýšení soustavy $n_C \geq 1,2$; tj. poměr dolních účinností svítidel. V konkrétních aplikacích je poměr činitelů využití osvětlovacích soustav obvykle v neprospěch plně cloněných svítidel. V případě komunikací se velikost n_C pohybuje v rozmezí 1,20 ÷ 1,36 podle třídy komunikace [2]. Nižších hodnot bude nabývat tam, kde klesají kvantitativní a kvalitativní požadavky na osvětlovací soustavu. Tam, kde žádné požadavky nejsou, (např. vjezd do nějakého areálu), tam bude jeho hodnota rovna jedné.

Pokud vnímavého čtenáře zarazila skutečnost, že v tabulce uvádím i zdánlivě nereálně vysoké hodnoty činitele odrazu terénu, chtěl bych připomenout, že astronomické objekty bývají na vysokých horách, kde je zima dlouhá a sníh čistý. Rovněž noci bývají v zimě dlouhé, takže stav za zasněženého terénu není nezanedbatelný. Pro vysoké činitele odrazu se ψ_N blíží k nule i pro n_C malých hodnot. Paradoxně je použití plně cloněných svítidel v okolí hvězdáren velice sporné.

Právě popsaná metodika stanovení činitele zvýšení jasu oblohy vycházela s poměrně idealistických podmínek. Volný vodorovný terén, lambertovsky odrážející s konstantním činitelem odrazu světla. Řešení reálnějších situací, žel, přesahuje rámec vymezený tomuto příspěvku.

Tak jen pro představu. Vliv okolí svítidla na distribuci světelného toku. Na obr. 2 je vlevo zobrazena distribuce světla z plně cloněného svítidla při nezastíněném terénu. Na oblohu je emitováno 150 lm (z tisíce lumen vystupujících ze svítidla). V pravé části je na „dvorku“ umístěno necloněné svítidlo; 47,6 lm vyzařuje přímo do horního poloprostoru. Vlivem stínění okolím však uniká na oblohu (po mnohonásobných odrazech) pouze 127,1 lm. Jak bylo lze předpokládat - v zástavbě jsou i necloněná svítidla menším zdrojem rušivého světla než plně cloněná ve volném prostoru. Je otázkou, zda by takové porovnání nemělo být kritériem pro volbu svítidla. V tomto smyslu upravený činitel zvýšení jasu oblohy je $\psi_N = -0,15$ ($n_C = 1$).

Za stejných podmínek by v zastíněném prostoru bylo z plně cloněného svítidla vyzářeno na oblohu 110,4 lm, tj. $\psi_N = 0,15$. Pro $n_C > 1,15$ je již $\psi_N < 0$. Pověšimně si, že pro konkrétní svítidla je hodnota $n_C = 1,2$ a tedy světelný tok na oblohu by byl $1,2 \times 110,4 = 132,5$ lm. Tedy větší než od necloněného svítidla (127,1 lm)!



• Obr. 2 - Vliv zastínění terénu

Výpočet byl proveden pro činitel odrazu terénu $\rho_T = 0,15$, fasády $\rho_F = 0,45$. Zajímavý je vliv těchto činitelů. Pro nízké odraznosti, terén i fasády 10%, klesne světelný tok na oblohu na třetinu (39,6 lm), a pro plně cloněné svítidlo na 21,7 lm ($\psi_N = 0,82$). Zjevně se stávají plně cloněná svítidla méně „škodlivými“. Při vysokých hodnotách, terén i fasády 45%, je pro necloněné svítidlo $\Phi_0 = 156,3$ lm a pro cloněné 140,6 lm ($\times 1,2 = 168,7$). Vliv zasněženého terénu je tedy zjevný (tam bude odraznost terénu ještě vyšší). Ač to zní jako vtip, není daleko od pravdy tvrzení, že by hvězdárny neměly mít bílé fasády a pravidelně by se kolem nich měl odklízet sníh. Nebo jej, po vzoru Černých baronů, alespoň špinit, když ne natírat černou matnou barvou ☺.

Jako indikatrix svítivosti byla zvolena křivka BZ10, tj. široká, v horním i dolním poloprostoru.

Velikost „dvorku“ byla zvolena 10×10 metrů, výška fasády 10 metrů a svítidlo bylo umístěno ve výšce 5 metrů nad terénem. O vlivu rozměrů, stejně jako o směru šíření světla v závislosti na křivce svítivosti a odraznostech (při volném, tak i zastíněném okolí), však již není v tomto příspěvku prostor. Více bude k nalezení (snad) na [3].

Pravidlo 1 - Svítidla je třeba volit podle velikosti činitele zvýšení jasu oblohy; doněti svítidla je určitým vodítkem, není však zárukou minimalizace množství rušivého světla. Je žádoucí přihlídnout ke klimatickým podmínkám daného místa (sníh).

Ekonomická kritéria

Jak jsem již poznamenal, je účinnost plně cloněných svítidel malá. Ze vztahu (2) jednoznačně vyplývá potřeba nainstalovat větší počet svítidel. Navíc jsou svítidla s plochým sklem dražší, než svítidla s běžnými plastovými difuzory. Podle [2] je však výška stožárů soustav s plochými skly nižší, a tedy jsou levnější. Podle pravidla „nula od nuly pojde“ je možné tvrdit, že investiční náklady na soustavu s plným cloněním jsou přímo úměrné činiteli navýšení soustavy. Totéž platí pro provozní i energetické náklady.

S rostoucím n_c tedy rostou náklady a klesá význam plného clonění svítidel. Od určité kombinace činitele odrazu terénu ρ_T a počtu n_c pak jsou plně cloněná svítidla ekonomicky neúnosná - **jejich použití je naprosto neseřízní**.

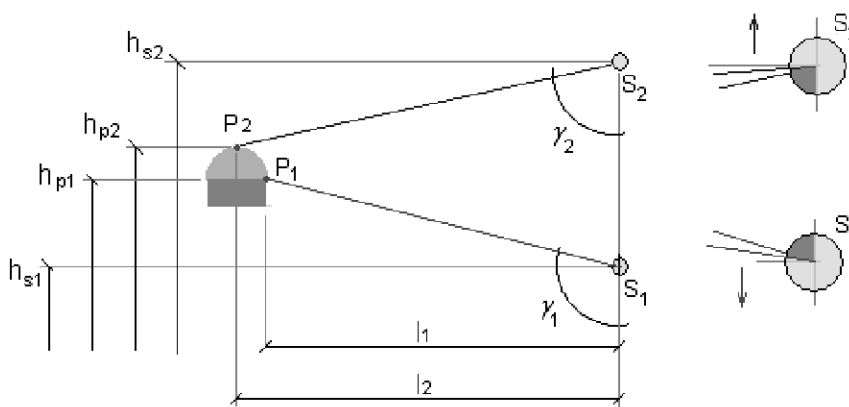
Jako ve všech ekonomických rozvahách je nutné vzít v úvahu i obtížně vyčíslitelná kritéria. V případě osvětlení v okolí astronomických objektů je to význam snížení závojevého jasu oblohy. V extrému by mohlo dojít i k tomu, že společensky únosnější by bylo přestěhování hvězdářského objektu do míst vzdálenějších civilizací.

Pravidlo 2 - Je vždy třeba posoudit navýšení investičních, provozních a energetických nároků osvětlovací soustavy a význam (případného) snížení závojevého jasu oblohy

Volba svítidla v okolí astronomických objektů

Dovolují si nabídnout k diskusi pravidlo pro clonění svítidel v okolí hvězdáren. Samozřejmě pro svítidla viditelná z místa pozorování a do určité vzdálenosti, například v zóně E1 dle CIE, tj. do jednoho kilometru.

Přímé světlo dopadající přímo do místa pozorování působí výrazně rušivěji než světlo směřující k obloze. Je tedy třeba, aby světelný tok vystupující ze svítidla byl, ve směru spojnice svítidlo - pozorovatel, omezen mezním úhlem γ_i (viz obr 3), který je pro svítidlo pod úrovní pozorovatele maximální, a pro svítidlo nad úrovní maximální:



• Obr. 3 - Clonění svítidel v okolí hvězdáren

$$\gamma_i = 90^\circ \mp \gamma_R + \arctg \frac{h_{Pi} - h_{Si}}{l_i}, \quad i = 1, 2 \quad (^\circ; \text{m, m, m}), \quad (4)$$

kde znaménko „-“ platí pro $i = 1$, tj. pro svítidlo umístěné v rovině nebo pod rovinou pozorovatele. Kladné znaménko se použije v případě umístění svítidla nad pozorovatelem. Úhel γ_R je rezervou zajišťující, že svítidlo nebude přímo svítit na místo pozorování. Neuškodí zaokrouhlení výsledku směrem k nižšímu, resp. vyššímu, násobku zmíněného úhlu „rezervy“. Pokud někdo namítá, že se nad hvězdárnami svítidla nevyskytují, rád bych

připomněl, že v kopcích mají zálibu nejen hvězdáři, ale i stožáry vysílačů. A ty jsou vždy vybaveny bezpečnostními návěstidly.

Pro zjednodušení je patrně zbytečné určovat mezní úhel pro svítidla nad rovinou pozorovatele. Zde automaticky vyhoví jeho velikost 90°. Pokud ovšem není důvodu, aby návěstí bylo pozorovatelné i z výšek pod jeho úrovní.

Nelze zaměřovat mezní úhel svítivosti s úhlem clonění svítidla. I plně cloněné svítidlo v pozici nad pozorovatelem nesplňuje podmínku dostatečného clonění a je výrazným zdrojem rušivého světla.

Podobně, jako tomu bylo v oddílu věnovanému ekonomii, tak i zde vyvstává otázka. Nebylo by výrazně levnější a jednodušší „oplotit“ hvězdárny bariérami zabraňujícími přímému světlu v rušení pozorování? Podobně jako jsou obydlená místa poblíž dálnic oddělována protihlukovými bariérami. Nemusí to být monstrózní stavba, ale vhodně rozmístěné, stále zelené stromy. Kacířský je již návrh, že tuto funkci by mohli vykonávat i reklamní billboard – samozřejmě neosvětlený. Bariéry by měly význam nejen jako zábrana před přímým světlem, ale do určité míry by odclonily i rozptýlené světlo.

Podmínce omezení světelného toku do určitých směrů lze v některých případech vyhovět jen obtížně. Nebo vůbec. Případně je možné vyhovět, avšak za cenu jiných, nejen vyčíslitelných ztrát. Například náhradou historizujících svítidel svítidly plně cloněnými, se znehodnotí vzhled historického jádra města. Astronomové lépe uvidí na hvězdy, avšak desítky jiných lidí budou ochuzeny o částžitku při procházce večerním městem.

Pravidlo 3 - v okolí astronomických pozorovatelů volit svítidla, která mají fotometrickou plochu takovou, aby na místo pozorování nemohla svítit přímo.

Oslnění

Protože se text přelil na poslední z vymezených stran, tak jen stručně. Hovořit o oslnění ostatně není zásadní otázkou procesu volby svítidla z hlediska omezení rušivého světla. Je vedlejším produktem. Zmiňuji se o něm pouze z toho důvodu, že je jedním z nejoblíbenějších argumentů aktivistů. Jejich tvrzení, že plně cloněná svítidla méně oslňují, není vždy pravdou. Soustavy s takovými svítidly neoslňují o nic moc méně. Dokonce mohou nastat případy, kdy oslňují více.

Konkrétní ukázkou je příjezd do Plzně od K. Varů, kde jsou svítidla s plochým sklem použita. Tamní správa VO dostala již řadu stížností na oslnivost této soustavy. Skutečně je v tomto místě řidič oslněn.

Důvod je nasnadě. Jednotlivá, plně cloněná svítidla, oslňují samozřejmě méně. Avšak v soustavě je nutné je osazovat hustěji a na nižší stožáry než srovnatelná svítidla s běžným difuzorem. Potom větší množství v méně příznivé poloze oslňuje více... viz [2] nebo pořekadlo o tom, jak stokrát nic umožilo osla.

Místo pravidla 4 - poznámka - Plně cloněná svítidla nejsou zárukou nižšího oslnění.

Bezpečnost

Podobně jako oslnění, tak i bezpečnost patří k žargonu aktivistů. Jejich tvrzení hraničí s trestným činem ohrožení zdraví, majetku, ale i života osob. Například tvrdí, že plně cloněná svítidla sníží oslnění, a tedylepší vidění. Pak, podle nich, je možné snížit hladinu osvětlení. Není tomu tak. Se snížením oslnění se sicelepší vidění, avšak pro rozlišení určité překážky je nutný určitý kontrast, ten by klesl. Je nutná i určitá reakční doba. Ta závisí na adaptačním jasu. Rovněž by se snížila. Naopak by vzrostlo oslnění od protijedoucích vozidel a jiných jasných bodů v zorném poli, např. holá žárovka na fasádě domku u silnice.

Více o bezpečnosti zde nelze uvést. Jen tolik, že aktivisté popírají desetiletí výzkumů o bezpečnosti dopravy (a bezpečnosti vůbec) v závislosti na kvalitě a kvantitě osvětlení. Podle aktivistů jsou to všechno práce placené světlařskou lobby a nezakládají se na pravdě. Naopak oni dokazují světu, že pravda je přesně opačná. Vycházejí z jediných práce. Práce australského astronoma Clarka, který zajisté není předpojatý ☺.

Plně cloněná svítidla postrádají jednu důležitou vlastnost – nejsou z boku právě příliš patrná. Jejich funkce vedení řidiče je tedy snížena.

Místo pravidla 5 - poznámka 2 - Plně doněná svítidla nejsou zárukou vyšší bezpečnosti, zhoršují orientaci.

Regulace

Na prvý pohled nesouvisející s rušivým světlem. Aktivisté ovšem regulaci pokládají za svůj příspěvek k energetickým úsporám a v jejich verzích návrhu vládního nařízení se dočtete, že regulovat by se měla každá víska. Návržnost této investice počítají na dva tři roky. O nenávržnosti nechtějí slyšet a tvrdě ji popírají.

Přece existuje forma regulace, investičně přijatelná i pro malé obce. Není každý večer jasná obloha, která by musela být pro astronomy temnou, aby mohli pozorovat hvězdy. A ani noc, kdy obloha není zatažená, patrně nevyužijí každou. Zcela jistě již nevyužijí každou její hodinu. Pak je možné v době pozorování omezit osvětlení v okolí observatoře. Samozřejmě tak, aby nebyl ohrožen „zbytek“ populace. Měnitelnou dopravní značkou snížit v daném místě maximální rychlost, informovat řidiče, že projíždějí místy s nižší kvalitou osvětlení... Postačí dohoda s místním obecním úřadem a technické zajištění spínání režimu osvětlení.

Například na petřínské hvězdárně mají astronomové k dispozici vypínač ke dvěma svítidlům v bezprostřední blízkosti objektu. Že tato dvě svítidla zásadně ovlivní pozorovací podmínky bylo ověřeno experimentem provedeným samotnými hvězdáři - viz [4] - tam naleznete i odkaz na originální zprávu, která je dodatečně doplněna komentářem výsledky silně zlehčujícím. Komentářem od člověka, který se měření nezúčastnil, a který není schopen vzít na vědomí cokoliv, co odporuje jeho představám.

Vím, že podobná dohoda mezi obecním úřadem a místní hvězdárnou již v jednom z našich měst existuje. Zahlédl jsem o tom zprávu na internetu. Žel, nepoznamenal jsem si místo (ani na webu ani na mapě), takže o tom nemohu přesněji informovat.

Pravidlo 6 Regulace je bezesporu účinným opatřením ke snížení množství rušivého světla. Svýjmkou bezprostředního okolí chráněných území (nejen hvězdáren) je její použití podmíněno návratností investic. Z bezpečnostního hlediska je vhodná regulace řízená v souladu s dobou astronomických pozorování.

Závěr

Uvedený text je jen nástinem problematiky osvětlování z hlediska rušivého světla. A pouze z pohledu zvýšeného závoje jasů oblohy. Je ještě třeba provést řadu teoretických i praktických studií, než bude možné stanovit zcela jednoznačná pravidla.

Omlouvám se čtenářům za rozsah příspěvku. Za totéž se omlouvám i organizátorům semináře. Stručněji to opravdu napsat neumím.

Literatura a odkazy

[1] EN 12464-2 Venkovní pracovní prostory - norma EU ve schvalovacím řízení

[2] Maixner T., - Svítidla s plochým sklem ? - www.dql.cz/CIE/skla.htm

[3] TC - 4.21 při ČNK CIE - Světlo rušící astronomická pozorování - různé materiály - www.dql.cz/CIE/CIE.html

[4] Maixner T., Rušivé světlo na Petříně - <http://www.dql.cz/texty/petrin2.htm>