

# Kvantifikace světelného znečištění

(český abstrakt mé práce dostupné zatím jen v angličtině)

Jan Hollan, Hvězdárna a planetárium M. Koperníka v Brně

předneseno na 21. Kursu osvětlovací techniky 15. října 2002 v Morávce

Lidé z osvětlovací praxe se v posledních pár letech začali zabývat i tím, kolik světla jde vzhůru do nebe. Kolik rovnou ze svítidel a kolik z jimi osvětleného terénu. Všechno takové světlo sčítají dohromady a snaží se pro konkrétní případy najít minimum.

Množství světla jdoucího vzhůru do nebe ale není nikdy údajem, který by měl nějaký význam. Význam mohou mít jen hodnoty, které nějak charakterizují světlo, které vadí.

To, které jde prostě vzhůru, samo vadí stěží, nemá-li daný zdroj při pohledu shora tak vysoký jas (či jasnost ve smyslu astronomickém, tj. hustotu svého světelného toku), že mate piloty, ptáky nebo přitahuje hmyz.

Vadí zato např. světlo, které se z nebe rozptýlí zase zpět dolů. Je-li jasno, pak světlo, které míří strmě vzhůru, se valnou většinou dostane nerozptýlené pryč do vesmíru. Jen malá část, řekněme desetina, se rozptýlí dolů, dvakrát tolik světla se rozptýlí do směrů podobných původnímu, totiž vzhůru. Jinak je tomu se světlem, které jde téměř vodorovně: to se rozptýlí z naprosté většiny (vzpomeňme na zeslabení zapadajícího Slunce), polovina z toho nahoru a polovina dolů. K jasnému oblohy světlo, vyzařené téměř vodorovně, přispívá v průměru pětkrát více než světlo vyzařené strmě (0,5/0,1).<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Z přednášek na kursu a ze sborníku jsem zjistil, že se mnozí domnívají, že nebyt aerosolů (tj. neplynných částic) v ovzduší, žádné světlo se v něm nerozptyluje. To je zajímavá představa: vzduch bez aerosolů by pak byl zcela průhledný a nebe nad námi i ve dne tmavé, při pohledu z pořádného stínu poseté hvězdami úplně stejně jako na Měsíci. S běžnými drobnými aerosoly, tj. všemi s výjimkou kapek či krystalků vody v oblacích a prachu zvířeného větrem (ty jsou už velké), by pak jasné hvězdy byly dobře vidět kus nad východním obzorem ještě před západem Slunce, neb takové drobné částice rozptylují světlo valnou většinou jen dopředu, ve směru málo odchylném od původního (opačným směrem se z rozptýleného světla vydá ani ne desetina). A nebe by bylo šedé, jen se slabounkým modravým nádechem, protože rozptyl na drobných částicích je úměrný pouze první mocnině frekvence světla. Skutečné velmi čisté nebe je ale sytě modré. To proto, že celá polovina rozptylu slunečního světla je tehdy působena samotným plynem, přesněji shluky jeho molekul. Takový rozptyl se nazývá Rayleighův, na rozdíl od Miova rozptylu na větších částicích. Podíl rozptýleného světla roste se čtvrtou mocninou frekvence, proto čím čistší vzduch, tím sytější modř (to se doufám učí

Ze svítidel, která nejsou plně cloněná (tj. mají nenulové emise do horního poloprostoru), ač směřují třeba 99 procent světla do dolního poloprostoru, jde ono neúžitečné jedno procento právě hlavně jen mírně strmě vzhůru. Světlo rozptýlené od země, řekněme s průměrným albedem sedm procent, je v nejhorším případě rozděleno zhruba lambertovsky.<sup>2</sup> K jasnému nebe ale nepřispívá ono jedno procento z lampy jdoucí nad horizont jen jednou sedminou, ale jednou třetinou, má zkrátka „mnohem větší váhu“.

Sčítat prostě světla jdoucí do různých směrů horního poloprostoru má velmi omezený smysl. Je to jako sčítat mince: jistě je i jejich celkový počet zajímavý, zpravidla je ale důležitější suma peněz. Pak ale záleží na tom, jestli je daná mince koruna či desetikoruna. Ještě přesnější analogií jsou měny různých zemí: není mince jako mince, je věru rozdíl mezi českou korunou, norskou korunou, eurem a britskou librou.

U přepočtu cen je ale i jakýkoliv směnný kurs někdy zavádějící. Používá se pak raději přepočet dle parity kupní síly. Ani u světelného znečištění nestačí prostě vynásobit světlo, které jde z lampy naplacato, třikrát oproti světlu, jdoucímu od terénu. Nejen proto, že terén nesvítl lambertovsky – např. není plochý, ale je komplikován vegetací a zástavbou (pak má světelný tok z něj ještě menší ploché složky a zpětného rozptylu z ovzduší dolů

ve všech základních kursech fyziky, zatajovat posluchačům, odkud se bere modré z nebe, by bylo věru nepěkné). Blízko Slunce nikdy moc sytá není, protože tam převažuje mieovský dopředný rozptyl na aerosolech (a jas nebe je tam proto mnohem vyšší než jinde, až nepříjemný). Nebyt rozptylu na plynu samotném, přispívalo by strmé světlo z noční krajiny k jasnému nebe ne pětkrát více než světlo téměř vodorovné, ale třicetkrát více, protože z toho jdoucího strmě vzhůru by se dolů vrátila ani ne dvě procenta... (Podrobný text o rozptylu světla v ovzduší viz např. zprávu EPA pro Kongres z konce sedmdesátých let [capita.wustl.edu/Capita/CapitaReports/ProtectingVisibility/](http://capita.wustl.edu/Capita/CapitaReports/ProtectingVisibility/) – zajímavá je i historicky. Mechanismy rozptylu popisuje kapitola 2.)

<sup>2</sup>lambertovský zářič či difuzor, zde tedy osvětlený terén, má ve všech pohledech stejný jas a grafickým znázorněním, kolik světla kam jde, je koule ležící na zemi – světelný tok jdoucí od vodorovného terénu do úhlové výšky  $h$  je úměrný prostorovému úhlu, který při pohledu z takového směru terén zaujímá, tedy  $\sin(h)$

je ještě méně, takový příznivý jev se uplatňuje např. v Havířově, kde je hlavní bulvár bohatý na vzrostlé stromy). Hlavně proto, že sumární zvýšení jasu nebe není zdaleka jediným parametrem světelného znečištění.

I kdybychom u jasu oblohy zůstali, pak se zamysleme, čím je dán její jas daleko od zdrojů znečištění. Tam už se strmé světlo jdoucí vzhůru z měst neuplatní vůbec – roli hraje jen to světlo, které jde z měst daleko, až nad oblasti, ve dne se zdající docela přírodní. A to i v případě jasu oblohy v zenitu. Tím spíše pak v případě oněch známých „světelných čepic“, kterými se každé město, ale mnohdy i nevelká ves, prozradí už z dálky. To nevidíme většinou vzduch nad městem, ale vlivem převážně dopředného rozptylu na aerosolech vzduch často až v půli mezi námi a obcí: opět je na vině světlo, které jde rovnou z lamp (jistě, i z fasád a z oken) naplacato k nám.<sup>3</sup>

Pohled z kopce na obec prozradí, že valná většina uměle produkovaného světla, které vidíte, jde skutečně ze samotných svítidel. Tím je také vlastně noční podoba dnešních sídel dána: nevidíme domy, ulice, parky, ale lampy, lampy, lampy. Při posuzování stavebních záležitostí se dnes snažíme pamatovat na zachování krajinného rázu – ale cožpak v noci krajinný ráz neplatí?

Přímá, zcela zbytečná viditelnost svítidel z výšky a z dálky je ohrožením pro dopravu, pro ptáky, pro hmyz. To je také světelné znečištění, možná s větším praktickým dopadem než úbytek pozorovatelných hvězd a úplná ztráta nádhery nočního nebe. Definice v zákoně o ovzduší říká výmluvně, že za znečištění považujeme všechno uměle vytvářené světlo v noci, které jde jinam, než má. Tedy jistě také to, které jde z venkovních lamp rovnou do oken. Jde-li nahoru, jde prostě o hrubou nebdalost. Ale i to, které jde z lampy do okna dolů, lze potlačit, stačí svislé zrcadlo, však je na ně v některých nových svítidlech už přímo „šlic“.

Takže ten „kurs“ škodlivého světla, jdoucího ze svítidel málo strmými směry, neprodukcujícími užitečné osvětlení cest a prostranství, není nikdy jen tři, ale spíše

<sup>3</sup>Na kursu jsem si všiml, že oněm „čepicím“ připisují někteří jiný původ, totiž vysoký obsah aerosolů nad městy. Ten by ale musel vyvolávat obdobný jev i přes den. Pohledy takového typu na sídla či na průmyslové oblasti bývaly skutečně ještě v osmdesátých letech běžné, už ale nejsou – částicové znečištění ovzduší (vznikající též z emisí síry) se od té doby velmi snížilo, ve většině míst pak i celkové znečištění cizorodými látkami. Dojem „špíny nad obcí“, kterou světelná čepice vyvolává, je klamný, pokud špínou nerozumíme samotné světlo, jak je zřejmé z toho, že takové čepice bývají vidět i nad nevelkými sídly bez významných denních zdrojů znečištění nebo nad městy po přechodu studené fronty, kdy je i tam jak vymeteno. Ostatně světelné čepice jsou mnohem vyšší než ty částicové, které za „nepříznivých rozptylových podmínek“ bývají k večeru v údolích vidět.

deset, třicet, ne-li sto.<sup>4</sup> Stejně jako u měn různých států se může měnit, podle zájmu.

Ostatně se zeptejte někoho, komu do okna svítí lampa, kterou má kousek pod ním, co by dal naráz nebo jako roční poplatek za to, kdyby to přestalo. Možná zjistíte, že rád zaplatí celé nové, kvalitně směřující svítidlo, třeba i s nočním tlumením. A to i když dosud neví, že mu už možná ta lampa ukrouhla pět let z jeho očekávané délky života...

Zpět k jasu nebe spočítanému tím nejjednodušším způsobem, tedy s tím „kursem tři“ apod. Koho jeho zvýšení vinou přímého světla ze svítidel zajímá, necht' využije můj program `ies2tab`, viz `amper.ped.muni.cz/light/ies2` – nebo ať si raději nejprve přečte anglicky psanou práci `lp_quant2.*`, která je dostupná např. v adresáři `amper.ped.muni.cz/light/tmp/`. Brzy zjistí, že ať člověk počítá jak počítá, minimalizaci světelného znečištění, i chápaného takto velmi úzce, umožňují jen svítidla s nulovou svítivostí do horního poloprostoru.

Vzhledem k tomu, že taková zpravidla také poskytují menší oslnění a tedy i menší „threshold increment“, čili prahový přírůstek, jak se používá v teorii vidění, je možné podle téže teorie pro stejně dobré rozlišování detailů použít menší množství světla. Pak se výhodnost plně cloněných svítidel projeví ještě markantněji, a to i z hlediska spotřeby elektřiny.

<sup>4</sup>Až po kursu jsem na přelomu října a listopadu doplnil program `ies2tab` právě o počítání zvýšení jasu nebe daleko od zdrojů znečištění. Např. pro zvýšení jasu ondřejovského nebe vinou Prahy je ten „kurs“ světla z pražských svítidel vůči světlu rozptýlenému od osvětleného města zhruba patnáct. I kdyby pražská svítidla posílala do vzduchu nad Prahou v úhrnu pouhé jedno procento z nich vycházejícího světla, znamená to, že pražský příspěvek je v Ondřejově dvaapůlkrát vyšší než mohl být, kdyby v Praze použili stejné varianty svítidel MC2 firmy Schröder, jako v Pardubicích... škoda.