Proč je nutno svítit venku *jen* dolů
– část první, o jasu oblohy

Jan Hollan, Hvězdárna a planetárium M. Koperníka v Brně

1. února 2003

1 Předmluva

Pravidlo *svítit jen dolů* je až překvapivě účinné při potlačování nežádoucích důsledků venkovního osvětlování. Bývalo samozřejmostí na železnici (a v některých státech jí zůstalo), po mnoha desetiletích se nověji se uplatnilo v okolí některých astronomických observatoří, jejichž pracovníci se začali o venkovní osvětlování zajímat. Pravidlo má mnohé blahodárné dopady, kterým se postupně budeme věnovat.

Ten dopad, že se jeho respektováním dá několikrát snížit jas nočního nebe, dnes pro většinu občanů jistě není tím nejdůležitějším. Na druhé straně byl hlavní motivací pro většinu z hrstky prvních průkopníků ochrany nočního prostředí. Začínáme-li právě jím, postupujeme po historické linii. Nejdeme ale od jednoduchého ke složitému, protože není snadné pochopit, proč je vlastně takové pravidlo v tomto případě účinné. Pokud se nám to podaří, ostatním výhodám pravidla *svítit jen dolů* porozumíme už snadno.

2 Úvod

Ve všech zákonech a pokynech, jejichž cílem je bránit světelnému znečištění, se vyskytuje jeden základní požadavek: zajistit, aby ze svítidel[1] (lidově lamp[2]) nešlo žádné světlo přímo do horního poloprostoru, tj. pryč od osvětlovaného terénu.

Někdo si možná položí otázku: Proč žádné? Vždyť přece od osvětlovaného objektu jde světlo také nahoru. Běžně deset procent toho, co na něj dopadne (od světlých ploch to může být i třicet, od tmavého asfaltu sedm). K potlačení světelného znečištění by mělo stačit, když k tomu svítidla samotná moc nepřidají. Kolik je snesitelné přidat? Polovinu, čtvrtinu, desetinu? Méně než desetinu, to už by snad nemělo vadit, ne?

Taková interpretace vychází z omylu, že světelné znečištění je „světlo jdoucí do nebe a tím prý rušící astronomy při pozorování“. Znečištění je ale obecně narušení přirozeného stavu prostředí, světelné znečištění pak jednoduše přírodního *nočního* prostředí. V mnoha případech je v nějaké míře nevyhnutelné, i tehdy se ale dá minimalizovat. Stačí se řídit dvěma zásadami: namířit světlo jen tam, kde je potřeba, a užít přitom jen takové množství světla, které je v danou dobu nutné. Veškeré svícení, které takové zásady nerespektuje, je světelným znečišťováním zvláště závažným, protože zbytečným.

[1] svítidlem se rozumí světelný zdroj, tj. např zářivka či výbojka spolu s veškerým zařízením k zapálení a udržení výboje v ní a ke směrování jejího světla

[2] jako lampa se označuje i „prázdné svítidlo“ bez světelného zdroje

3 Projevy světelného znečištění

Nepatřičné svícení se často třídí podle toho, čemu zrovna vadí – samozřejmě, většinou vadí ve více ohledech najednou.

Škodlivé je například svícení

- na nepatřičné plochy
  (cizí pozemky či objekty, zejména do oken domu, kde ruší něčí spánek)
- do očí čili oslňování
  (při pohledu do obvyklých směrů nemají mít lidé v zorném poli plošky lamp s vysokým jasem – jsou vždy rušivé, odvádějí pozornost a snižují viditelnost)
- zbytečně silné (i když na správná místa – omezuje viditelnost ostatních věcí, prodlužuje adaptaci zraku při přechodu do méně osvětlených míst, a samozřejmě znamená zbytečné světlo rozptýlené od terénu do nepatřičných míst)
- nad obzor, jen do vzduchu (ruší organismy, které se tam pohybují, často zaviňuje i jejich smrt a zbytečně zvyšuje jas oblohy v místech vzdálených i přes sto kilometrů)

Základní pravidlo pro snížení světelného znečištění zamezuje v plné míře jen poslednímu případu: říká *nesvítit do vzduchu*. Současně ale znamená i výrazné snížení projevů znečištění prvního a druhého typu. Lampa, která nahoru nesvítí vůbec, svítí velmi málo také těsně pod horizont, tedy do očí vzdáleným chodcům a řidičům. Zcela jistě nesvítí na okna nad sebou, málo svítí i na okna, která nejsou strmě dolů pod ní. Omezovat projevy znečištění prvního a druhého typu ještě dalšími detailními pokyny ohledně směrování světla šikmo dolů je samozřejmě možné, ale už ten základní pokyn napraví mnohé.

Druhé pravidlo, jak snižovat světelné znečištění, je *omezit intenzitu osvětlení* – ploch cílových jen na hodnoty nezbytné pro danou dobu a účel, ploch okolních tak moc, jak to dovolí vlastnosti nejlépe vybraných svítidel (jejich světelné kužely mají být tvarovány tak, aby co nejvíce světla padalo jen na cílovou plochu).

Vraťme se ale ještě podrobněji k poslednímu projevu světelného znečištění, totiž svícení do vzduchu. Pilotům, ptákům a hmyzu vadí, když vidí samotné oslnivé body lamp. Prvním dvěma to vadí v orientaci, hmyz je viditelnými lampami zdáli přitahován a místo cesty za potravou pak krouží kolem nich zpravidla až do smrti. Osvětlený terén samotný jim nevadí, jen ptákům vadí osvětlené či svítící budovy (srážkami s nimi hyne nemalá část tažného ptactva; neplachtící druhy táhnou hlavně v noci).

Organismům, které zůstávají na zemi, vadí svícení do vzduchu jen nepřímo: tím, že se světlo v ovzduší rozptyluje a zčásti se vrací na zem. Obloha je pak výrazně světlejší než v přírodních podmínkách a na území České republiky už nikde není přírodní noční prostředí. Lidé sice i na horách za bezměsíčných nocí vidí snadno na cestu, ale zato se vytratila nádhera hvězdného nebe.

Porozumět tomu, co přesně způsobuje zvýšení jasu noční oblohy, je těžké. Začneme proto tím, co známe všichni lépe, totiž oblohou denní.

4 Jak vzniká jas oblohy v přírodě

4.1 Rozptyl světla v ovzduší, obloha ve dne a za soumraku

Ze zkušenosti víme, že za jasného dne s dobrou dohledností je Slunce vysoko na nebi velmi silné, většina jeho světla projde bez rozptylu až na zem. Rozptýlená část nebývá vyšší než třicet, při kalnějším vzduchu čtyřicet procent, výjimečně může být i v malých nadmořských výškách pouhých dvacet procent (při velmi průzračném vzduchu a vodorovné dohlednosti nad sto kilometrů). Podíl přímého a rozptýleného světla lze odhadnout podle toho, kolikrát je terén např. ve stínu naší hlavy osvětlen méně než jeho osluněné okolí – do stínu dopadá jen sluneční světlo, které se předtím rozptýlilo v ovzduší, tedy z nebe nad námi.

Světlé denní nebe je vzduch osvětlený sluncem. Když je čistý, rozptyluje modrou složku slunečního světla dvakrát více než zelenou a čtyřikrát více než červenou. Proto je tehdy nebe modré, tím sytěji, čím méně je v ovzduší prachových či kapalných částeček.[3]

Teď si ještě vzpomeňme (nebo lépe za slunných dní opakovaně studujme), jak je kde obloha světlá. Především je za jasného dne světlejší kolem nás než strmě nad námi. Je to pochopitelné – čím blíže k obzoru, tím více osvětleného vzduchu vidíme. Pozorovatelný je ale ještě jiný jev, totiž že obloha je tím světlejší, čím blíže ke Slunci se díváme. Můžeme se například podívat dokola na místa, která jsou stejně vysoko na nebi jako Slunce samotné. I když se stále díváme na stejně dlouhý sloupec vzduchu, přesto není taková „rovnoběžka s obzorem“ celá stejně světlá. Daleko nejsvětlejší je těsně u Slunce; to lze dobře vidět, když si stoupneme tak, aby samotné Slunce bylo zakryto např. sloupem. Nejméně světlá je obloha v místech, která jsou od Slunce o něco dále než o pravý úhel, tedy o něco blíže ke stínu vaší hlavy než ke Slunci. Když je tedy Slunce necelých čtyřicet pět stupňů vysoko, nejtmavší místo „jeho rovnoběžky“ je na opačné straně než ono.

V různých dnech je světlání oblohy směrem ke Slunci různě výrazné, nejméně nápadné, patrné jen v těsném okolí Slunce, je při extrémně průzračném vzduchu. Ale i tehdy platí, že světlo se v ovzduší rozptyluje hlavně dopředu, v téměř původním směru, méně ve směrech „zpětných“ a nejméně ve směrech kolmých.[4]

Když Slunce k večeru klesne k obzoru, stíny zesvětlají, protože se cestou k nám rozptýlí valná většina slunečního světla. Tak moc, že Slunce i napohled zeslábne. Ubude mu hlavně modrá složka jeho světla (tím se z bílého stane žluté), při méně výtečné dohlednosti i zelená, takže je při západu červenavé. Může být tehdy zeslabeno více než milionkrát, to si jej už můžeme pohodlně prohlížet, aniž nás oslňuje, bývají na něm tehdy vidět i sluneční skvrny. Ale i sebečistší vzduch zeslabí zapadající Slunce více než tisíckrát. Jinými slovy, více než 999 promile slunečního světla, které jde vodorovně k nám, se cestou rozptýlí.[5]

I Slunce, které se nám schovalo za obzor, svítí ještě nějakou dobu na vzduch nad nás. S výjimkou čtvrtiny roku kolem letního slunovratu, kdy jsou noci nejkratší, to trvá nejvýše dvě hodiny, pak nastane hluboká (odborně astronomická) noc.

4.2 Přírodní obloha v noci

Obloha se tím ale ani v přírodě nestane černá. I za bezměsíčných nocí je stále světlá, hlavně blízko obzoru, v malých úhlových výškách. Je to hlavně proto, že sám řídký *vzduch ve výškách nad sto kilometrů slabounce svítí*. V různých nocích

[3] Jiným částicím ve vzduchu, než jsou molekuly, se říká aerosoly. Velmi drobné aerosoly rozptylují modré světlo také více než červené, ale ne čtyřikrát, nýbrž jen o čtyřicet procent

[4] Pro úplnost, mimo hlavní téma článku, dodejme ještě, jak je to se speciálními případy rozptylu na velkých částicích, tedy na oblačnosti a dešťových kapkách. Ten je převážně všesměrový, ale přesto v některých směrech mohou vznikat výrazná, různě probarvená maxima jasu. V tenkých průsvitných mracích je běžné maximum jasu těsně kolem Slunce (či v noci Měsíce). V modrém světle je užší a vzniká tak jev zvaný aureola, kdy je modravé okolí Slunce lemováno žlutavým a červenavým prstencem. Odraz uvnitř mnohem větších dešťových kapek se projeví kolem stínu vaší hlavy, do směrů půl pravého úhlu od něj se tak ale světlo odrazit nemůže. Tam je pak na nebi tmavší oblast, lemovaná z obou stran prstenci jasu zvýšeného, duhami – na straně blíže k vašemu stínu je obvyklá jasná duha, na opačné straně bývá slabší duha ohraničující oblast, v níž se uplatňuje světlo odražené uvnitř kapky dvakrát. Konečně, třetí typ jevů vzniká odrazem a lomem na dostatečně velkých ledových krystalcích – souborně se takovým jevům říká halové. Nejběžnější je lom o úhel 22°, vytvářející prstenec kolem Slunce s takovýmto úhlovým poloměrem, hojný je také odraz na vodorovných ploškách krystalků, obdobný odrazu na zčeřené vodní hladině (halový sloup).

[5] Proč je to tak? Protože světlo zapadajícího Slunce projde více než třicetinásobným množstvím vzduchu než světlo Slunce za letního poledne. Při průchodu „jednou vrstvou ovzduší“ (strmě dolů) zůstane nerozptýlených šest až až osm desetin jeho světla, při průchodu atmosférou kolem kulového povrchu Země je to stejné množství na třicátou čtvrtou (např. $0{,}7^{34}$ je asi pět miliontin).

a letech je takové svícení různě silné, v závislosti na tom, kolik se toho děje na Slunci; nejsilnější je během období s velkým počtem velkých slunečních skvrn a erupcí. Během každé noci se ale vzduch stává postupně méně ionizovaným a jeho svícení slábne, takže před svítáním je obloha temnější než po setmění.

Mnohem méně nápadně se projevuje sluneční světlo rozptýlené už daleko od Země, na prachových částicích v meziplanetárním prostoru. To se nazývá zvířetníkové či *zodiakální světlo*, protože tvoří pás, který je nejjasnější podél ekliptiky, hlavně úhlově blízko ke Slunci. Důvody jsou podobné jako u jasů oblohy ve dne – většina prachu se nachází poblíž roviny sluneční soustavy (obdobně jako většina vzduchu poblíž zemského povrchu) a prach rozptyluje světlo hlavně dopředu (proto jas zvířetníkového světla směrem ke Slunci stoupá). Přestože je zodiakální světlo po nebi rozděleno velmi nerovnoměrně, většina současníků si jej nikdy nevšimla (přiznám se, že ani já; dřív z neznalosti, teď spíš proto, že je na znečištěném českém nebi stěží patrné).

K jasu nebe přispívají i miliardy hvězd, které nevnímáme jako samostatné objekty na světlém pozadí okolního nebe. Většina je jich samozřejmě v děravém pásu Mléčné dráhy. Jen zanedbatelně roste jas nebe rozptýleným světlem oněch nejvíce několika tisíc viditelných, jasnějších hvězd.

Přírodní jas bezměsíčného nočního nebe moc nezávisí na průzračnosti bezoblačného ovzduší. Při nižší dohlednosti je sice nižší blízko obzoru, ale zato vyšší ve velkých úhlových výškách. Oblačnost jej samozřejmě sníží, protože posílá část světla zpět nahoru do vesmíru.

Je-li vzduch velmi průzračný, pak jas oblohy nestoupne ani o polovinu, když je na nebi Měsíc v první nebo poslední čtvrti. Při úplňku ale i tehdy stoupne alespoň na čtyřnásobek. Při běžných dohlednostech pod třicet kilometrů zato už Měsíc v první čtvrti zvýší jas přírodního nočního nebe velmi nápadně, více než na dvojnásobek.

5 Jak se jas nočního nebe zvyšuje uměle

5.1 Vliv svícení strmě a povlovně vzhůru

Světlo, jdoucí ze svítidel nebo z osvětlených ploch směrem nahoru, se cestou ovzduším rozptyluje zcela obdobně jako sluneční světlo jdoucí dolů. Jde-li světlo od země strmě vzhůru, rozptýlí se jej v extrémně průzračném vzduchu, jak už víme, jen dvacet procent, za běžnějších podmínek to ale bývá spíš celá třetina. Jde-li méně strmě nahoru, projde delší cestu ovzduším a rozptýlí se jej více. Např. míří-li do úhlové výšky třicet stupňů místo rovnou nahoru, potká cestou dvojnásobek vzduchu, jde-li do směru patnáct stupňů nad vodorovnou rovinu, je jeho cesta už čtyřikrát delší. Pokud se tedy při cestě rovnou vzhůru rozptýlí třicet procent světla a v nerozptýlené podobě jej tedy odejde do vesmíru sedm desetin, pak se při svícení do úhlové výšky patnáct stupňů nerozptýlí jen $0{,}7^4$ čili asi jedna čtvrtina. Při směru jen pět stupňů nad obzor unikne do vesmíru nerozptýleno jen $0{,}7^{10}$, čili asi tři procenta světla. Pro jednoduchost lze říci, že světlo jdoucí do výšek pod deset stupňů se rozptýlí v ovzduší všechno, světlo jdoucí strmě se rozptýlí třikrát méně.

Když nás ale zajímá umělé zvýšení jasu noční oblohy, nejde nám ani tak o to, kolik světla se rozptýlí vůbec, jako o to, kolik se jej rozptýlí dolů k zemi. Jenom takové světlo totiž pak vidíme, jenom ono nakonec přispěje k jasu nebe.

Když jsme rozebírali, jak je kde obloha za jasného dne světlá, zjistili jsme, že se světlo rozptyluje hlavně dopředu (připomeňme, že nebe je tím světlejší, čím blíže ke Slunci hledíme). Jde-li tedy světlo původně strmě vzhůru, pak i jeho rozptýlená část pokračuje většinou strmě vzhůru. Z rozptýlené třetiny světla se dolů vydá jen troška, ani ne třetina. Celkově se tak ze světla jdoucího od země strmě vzhůru vrátí zpět dolů asi desetina.

Světlo jdoucí nízko nad obzor se, jak víme, rozptýlí prakticky všechno, polovina nahoru a polovina dolů. Jas nebe je tedy zvýšen téměř o polovinu světla jdoucího původně do úhlových výšek deset stupňů a níže. Světlo jdoucí takto „naplacato“ je pětkrát škodlivější než světlo jdoucí od země strmě, pokud jde o úhrnné zvýšení jasu noční oblohy.

5.2 Jas nebe v aglomeraci a daleko od ní

Úhrnné zvýšení jasu nočního nebe dobře popisuje změnu, která nastává v rozsáhlé, spojitě osídlené oblasti, řekněme v městské aglomeraci. Často nás ale zajímá, jak se projeví svícení měst a vsí v neobydlené oblasti mezi nimi, kde žádné venkovní osvětlení instalováno není. Tam se uplatní světlo, které se z obcí dostane až do vzduchu nad takovou relativně přírodní krajinou. Tedy právě ono světlo, které jde z obcí „naplacato“ dlouhou cestou ovzduším podél zemského povrchu. Na světle, které jde z obcí strmě vzhůru, záleží jen málo, projeví se jen v dáli, těsně nad obzorem. Nebe vysoko nad neosvětlenou krajinou ovlivní jen zanedbatelně.

Teď se konečně můžeme vyznat v tom, jak světlo z obcí ovlivňuje podmnožinu posledního typu projevů světelného znečištění, totiž jak uměle zvyšuje jas nočního nebe.

5.3 Kam do vzduchu svítí obce

Jeden „druh“ světla je nevyhnutelný: totiž světlo z terénu, který skutečně potřebujeme mít osvětlený. I to lze ale omezit, když terén není osvětlený o nic víc, než je pro danou dobu potřeba (dle společenského konsensu, který může být představován např. bezpečnostními normami) a když nejsou spolu s ním osvětlené zbytečně i okolní plochy (jednak už to samo je znečišťování a jednak i ty pak osvětlují ovzduší).

Světlo z osvětleného terénu míří do všech směrů vzhůru, do těch blízko obzoru jej jde ale nejméně. Je to proto, že daná osvětlovaná plocha, řekněme náměstí, je při pohledu zboku patrná jen jako úzký proužek – odborně řečeno, zaujímá malý prostorový úhel; pokud se pohled blíží vodorovnému, pak se i prostorový úhel zabíraný vodorovným náměstím blíží nule. Onen prostorový úhel je úměrný sinu úhlové výšky, do které světlo jde.

Na druhé straně, takových „placatých“ směrů je jaksi více než strmých, přesně vzato, prostorový úhel, do kterého svítí terén v úzkém rozmezí úhlových výšek (tedy délka „rovnoběžky s obzorem“) je úměrný kosínu úhlové výšky. Graficky lze rozložení směrů a množství světla od terénu znázornit jako kouli, která na něm leží. Takové rozdělení svítivosti popisuje Lambertův zákon[6], terén pak můžeme označit za lambertovský sekundární zdroj světla.

Řekli jsme, že světlo jdoucí do úhlové výšky pod deset stupňů přispívá úhrnně k jasu oblohy pětkrát více než světlo jdoucí strmě vzhůru. Světlo od terénu, který svítí lambertovsky, není ale všechno strmé; když se spočítá kolik světla s takovým rozdělením směrů se vrátí zpět na zem, vyjde ne pouhá desetina, ale o něco více, řekněme dvanáct procent.

Světlo z lamp samotných (pokud to nejsou takové, které nahoru nesvítí vůbec a nejsou tedy shora v noci vidět), má jiné rozdělení svítivostí jdoucích do nebe, obvykle opačné než terén. Z těch dosud běžných výkonných uličních lamp jde většina takového nežádoucího světla do malých úhlových výšek, strmě vzhůru nejde téměř žádné. I svítidla tvaru mléčných koulí, kterých bohužel za poslední desetiletí hodně přibylo, mají jiné rozdělení světla než terén – toho vodorovného je stejně jako svislého (graficky se jejich svícení vzhůru dá znázornit jako polokoule čili kopule ležící na zemi).

5.4 Kolik z onoho světla se vrací na zem

Pro obvyklé znečišťující uliční lampy (dosud považované mnohými praktiky za výborné) to vychází[7] tak, že přímé světlo z nich přispívá k jasu nebe přinejmenším třikrát více než stejné množství světla rozptýleného vzhůru od terénu. Příslovce *přinejmenším* se vztahuje k místu, kde takové zvýšení hodnotíme. Takový poměr platí zhruba uprostřed Prahy, Ostravy či Brna – jas nebe nad námi tam zvyšuje více zdrojů: osvětlený terén kolem nás, případné koule a podobná svítidla svítící i strmě do výšky, ale také výkonné uliční lampy ve vzdálených čtvrtích. Deset, dvacet či padesát kilometrů od města ale platí už poměr zcela jiný. Tam se přímé světlo z nedokonalých lamp uplatňuje desetkrát až třicetkrát více než stejné množství světla vyzařovaného vzhůru osvětlenou městskou krajinou.

Kolik vlastně jde světla vzhůru od terénu a kolik rovnou ze zastaralých lamp?

V případě terénu lze odhadnout, že ze světla, které na něj dopadne, se pohltí devadesát procent a že se tedy vzhůru do nebe vydá po rozptylu deset procent dopadlého světla (tedy že albedo terénu je deset procent). Rozebereme-li to podrobněji, čerstvý asfalt, tráva a vegetace vůbec má albedo spíše nižší (u vegetace to platí pro sodíkové výbojky, které mají hojnost červené složky, chlorofylem účinně pohlcované), beton a různé kamenné a prašné povrchy zase vyšší. Terén ale nebývá hladký a dost světla rozptýleného původně jen mírně vzhůru dopadne nejprve na nějaké čnějící překážky, kde se opět z větší části pohltí a jen z menší rozptýlí do nebe. To nejjednodušší zaokrouhlení proto je, že svítí-li se na terén lampami, které směrem dolů posílají valnou většinu světla, asi desetina světla z lamp unikne po rozptylu od terénu vzhůru do ovzduší, zhruba s lambertovským rozdělením směrů.

Kdyby se přímo z lamp vydalo vzhůru, hlavně jen mírně nad obzor, tři procenta světla, pak by zvýšení jasu oblohy v rozsáhlé aglomeraci vinou těchto „mizerných tří procent“ bylo téměř stejně velké (tři krát tři), jako zvýšení (nevyhnutelné) vlivem osvětleného terénu (deset). Vyloučením oněch tří procent by se nebe nad aglomerací stalo dvakrát tmavší...

V místech, kam lidé jezdí za přírodou, dál od měst a velkých sídel, je ale vliv oněch tří procent zcela rozhodující. I kdybychom pro ně brali (pro místa jen čtvrt hodiny jízdy od města) pouhý koeficient deset, vadí tam už třikrát více než světlo od městského terénu.

Takový Ondřejov je od Prahy ještě dál, k jasu oblohy nad ním světlo z pražských lamp přispívá oproti světlu z pražského terénu „se směnným kursem“ alespoň dvacet, takže kdyby pražské lampy dávaly nahoru tři procenta světla, byl by v Ondřejově jejich vliv šestkrát větší než vliv osvětlených pražských prostranství: $(3 \times 20)/10 = 6$. Možná pražské lampy posílají nahoru v průměru méně světla, ale kdyby to bylo pouhé jedno procento, stejně bude jejich vliv dvojnásobný oproti vlivu samotné (jistě potřebně) osvětlené Prahy. Vyloučením onoho (jistě zbytečného) jediného procenta může poškozování ondřejovského nočního nebe Prahou klesnout třikrát!

Praha má ale vliv na noční oblohu nad celými Čechami a příspěvek přímého světla z jejích lamp je na většině jejich území ještě větší než v Ondřejově.

5.5 Jaký podíl přímého světla z lamp by už nevadil

Odpověď na otázku ve druhém odstavci úvodu proto je: přidat ke světlu rozptýlenému do ovzduší osvětleným terénem byť jen desetinu přímým světlem z lamp je zcela neúnosné. Jas nebe vinou oné „zanedbatelné“ desetinky roste na většině území země jako je Česko ne o deset procent, ale až o několik set procent. Tolerovatelné zvýšení jasu oblohy vlivem (zbytečného) přímého světla z lamp je ale nejvýše několik málo desítek procent: to znamená, že přímého světla z lamp do horního poloprostoru musí být oproti světlu z terénu *méně než jedna setina*. A tedy z *celkového světelného toku z lamp smí do horního poloprostoru jít nejvýše jedno promile*. Není divu, že se to obvykle stručně vyjadřuje slovem *žádné*.[8]

[6] Lambertův zákon předpokládá, že, že jas zdroje nezávisí na směru, odkud zdroj pozorujeme

[7] viz stovky příkladů v adresáři `amper.ped.muni.cz/light/ies2`

[8] V technické praxi se ono „žádné“ nenahrazuje požadavkem na úhrnný světelný tok do horního poloprostoru pod jedno promile, ale požadavkem na měrnou svítivost nepřevyšující nula kandel na tisíc lumenů světelného toku vydávaných světelným zdrojem uvnitř svítidla. Pro běžnou 50W sodíkovou výbojku to pak znamená nejvyšší přípustnou svítivost do horního poloprostoru (tj. vodorovně nebo kamkoliv šikmo vzhůru) nejvýše dvě kandely. Lampa zkrátka shora nemá být jasnější než dvojice svíček ve

6 Diskuse

Povrchní úsudek naznačený ve druhém odstavci mého příspěvku je tak snad už uveden na pravou míru pokud jde o jediný, pro mnoho lidí možná podružný projev světelného znečišťování, totiž o umělý vzrůst jasu noční oblohy.

Kdo z něj ale vychází, napadnou ho jistě námitky proti mému vysvětlení.

6.1 Přesné rozdělení svítivostí terénu

Například, vždyť terén nesvítí lambertovsky, neboť uliční lampy se snaží svítit do dáli (aby nemusely být sloupy moc hustě) a asfalt nerozptyluje rovnoměrně do všech směrů, nýbrž část světla se na jeho hrbatém povrchu též odráží pod úhlem dopadu (nápadně se to projevuje „světelnými sloupy“, které se táhnou od světlometů aut směrem k pozorovateli). Přesnějším popisem rozdělení světla z asfaltu by tak byla zmenšená „lambertovská koule“ a k ní nejsnáze diagram pro lampu samotnou obrácený vzhůru nohama a vynásobený např. jedním procentem. Velká změna by to ale nebyla, protože lampy mají maxima svítivosti do směrů stále ještě dost strmých, přes 20° pod horizont, nad 15° pod horizont (či po odrazu pod 15° nad obzor) má být světla co nejméně – ono totiž už nic kloudně neosvětluje, jen oslňuje. Lampy, které nahoru nesvítí vůbec, mají i malé svítivosti těsně pod horizont a potlačují tak odraženou plochou „zrcadlovou“ složku světla – tu by vlastně bylo na místě připsat rovnou lampám, protože nepřispívá k užitečnému osvětlení terénu.

Velmi povlovně stoupající světlo z terénu se ale ve skutečnosti, nejde-li o holou pláň, daleko nedostane, neboť většinou narazí na nějakou vyvýšenou překážku a rozptyl na ní rozdělí jeho zbyutek do všech možných směrů, nejen těch jen povlovně stoupajících. U světla z lamp to nastává také, např. napříč ulice vlivem blízkých domů, ale mnohem méně často, neboť lampy bývají dost vysoko. Tento úbytek ploché složky světla z terénu bude asi započtením „zrcadlové složky“ světla od něj stěží vykompenzován.

6.2 Je vzduch v noci špinavější než ve dne?

Jinou námitkou by mohlo být, že přece záleží na průhlednosti ovzduší – kdybychom vzduch méně znečišťovali chemikáliemi a prachem, jistě by se v něm rozptylovalo méně světla. Ale my jej už skutečně znečišťujeme méně než před lety, v případě oxidů síry (které vedou ke tvorbě aerosolů) a popílku je pokles od pádu komunismu ohromný. Jediné, co neklesá, je produkce oxidů dusíku vinou růstu užívání automobilů, hlavně v Praze („díky“ pozoruhodné politice stavící na ideálu auta jako symbolu svobody), ty ale rozptyl světla tolik neovlivňují.[9]

I za nejprůzračnějších nocí je obloha nad městy katastrofálně světlá, tak moc, že děti a rodiče uprostřed větších měst na nebi nikdy nenajdou Malý Vůz (ty jeho tři krajní jasné hvězdy na to nestačí) ani nezahlédnou Mléčnou dráhu. Možná by i zahlédli, párkrát do roka, jen by museli najít místo, kde jim nebude žádná lampa ani billboard svítit do očí; o takové je dnes věru nouze, aby si člověk najal detektiva. Při horší průzračnosti je hvězd na nebi vidět jen hrstka a i jasné planety unikají pozornosti – ani ne že by už opravdu zanikaly na světlém nebi, tak nesmírně světlé přece jen není, jako spíš že se ztrácejí mezi okolními, statisíckrát silnějšími lampami, sice vzdálenými a svítícími nám do očí zbytečně, ale přece jenom mnohem bližšími než jsou planety. Ty bývaly před rozvojem elektrického osvětlování tak nápadné, že není divu, že je primitivní lidé považovali za bohy...

Kupodivu, kalnější vzduch sice zesvětlá oblohu nad městy, ale může ji ztmavit daleko od nich. To proto, že při nízké dohlednosti se světlo rozptýlí skoro všechno už po patnácti kilometrech a nad odlehlejší místa jej přijde méně. Zejména pokud nad městem v údolí leží mlžná inverzní vrstva, na horách v okolí může nebe zkrásnět k nepoznání...

To, že lidé nevědí, že vzduch nad obcemi je daleko čistší než před deseti lety, padá na vrub právě růstu nočního svícení. On skutečně je v noci špinavější – ne ale rozptylujícími částicemi, ale jen světlem samotným, kterého od pádu komunismu mnohde dramaticky přibylo. Světelné čepice, které lidé blížící se zdálky do své obce s povzdechem označují za „ten hrozný smog“ nejsou projevem znečištění chemického či prachového, ale právě jen svícení do vzduchu, a to především přímého světla z lamp směrem nad pozorovatele. On ten osvětlený vzduch, který přitom vidíme, není ani tak nad městem, jako ve třetině až polovině mezi námi a ním... Je to obdoba velmi světlého nebe v těsném okolí Slunce na denním nebi.

Pocit, že člověk bydlí v prostředí méně špinavém než dříve, se dá velmi posílit tím, že zbytečné svícení do vzduchu potlačíme. A pak i zbytečné svícení vůbec – ona je totiž noc, ta bez dnes skoro všudypřítomné světelné špíny, potřebná pro nás i přírodu. I v obcích bychom ji měli získat zpět, jak jen to naše životní zvyklosti umožní. Noční klid totiž neznamená jen ticho.

7 Závěr

Jak jsem předeslal, pochopit, jaké jsou přesně příčiny umělého zvýšení jasu nočního nebe, není snadná věc. Komu tento text nestačí, může se obrátit na další literaturu.

stejné vzdálenosti. Takové upřesnění je praktické vzhledem k tolerancím náklonu svítidel při montáži a umožňuje i realizaci ozdobných efektů, kdy lampa může mít malinko svítící průsvitný vršek. Příslušná neznečišťující svítidla se označují slovy „fully shielded“, tedy *plně cloněná*.

[9] Pro úplnost doplňme, že přece jen lidská činnost v posledních desetiletích k rozptylu světla v ovzduší jedním významným způsobem přispěla, přibylo totiž vysoké oblačnosti čili cirrů jako trvanlivých pozůstatků po kondenzačních stopách za letadly – takové uměle iniciované cirry zvyšují jas nebe i dost daleko od měst.

Speciálně o jasu nebe si lze přečíst starší, stručnější ale ještě techničtější úvod `kvantifi.*` dostupný v adresáři `amper.ped.muni.cz/light/koncepty` a anglicky psanou práci, na kterou odkazuje, `lp_quant.*` v adresáři `amper.ped.muni.cz/light/tmp`. Komu takové úvodní informace nestačí, jsou mu k dispozici základní práce Pierantonia Cinzana a jeho předchůdců, viz `http://debora.pd.astro.it/cinzano/en`.

Jas nočního nebe, zvýšený v Česku tak moc, že úchvatná přírodní obloha není již nikde dostupná (a kromě tisíců hvězd a Mléčné dráhy, které snad zase získáme zpět, nám každý rok unikají neopakovatelné hry polárních září či jemné ohony komet), není ale pro mnoho lidí tím nejhorším projevem světelného znečištění. Jiné projevy jim vadí každonočně, i při zatažené obloze. Je skvělé, že se i ony dají v tak velké míře omezit při respektování jediných dvou požadavků – astronomicky zásadního „nesvítit vůbec vzhůru“ a doplňkového, nicméně zásadního z hlediska ochrany klimatu (tedy neplýtvání elektřinou) „svítit jen tam a vždy právě tak moc, jak je to zrovna nutné“.

Jak se kvalitní, neznečišťující osvětlování stane běžnějším, jistě přijde čas na detailní, zpřísňující se pokyny o směrování světla i dolů, aby opravdu nešlo, kam nemá. Vývoj osvětlovací techniky zatím tak daleko nedospěl. Doufejme, že brzo dospěje, jak se staré lékařské heslo „především neuškodit“ ujme i mezi technickou veřejností, která se osvětlování věnuje.

Takovou veřejnost možná neoslovuje ztráta kouzla noční oblohy, ale jistě nemůže přehlížet vážné signály o tom, jak moc může světlo v noci škodit zdraví lidskému i jiných organismů. Viz o tom ostatně např. dva koncepty `wildlife.*` a `uvod_zdr.*` ve výše zmíněném adresáři, nebo vůbec stránky `svetlo.astro.cz` a odkazy odtud.

Zájem o ochranu nočního prostředí se začal rozvíjet o desetiletí, ne li staletí později než zájem o ochranu prostředí denního. Je ohromnou příležitostí pro všechny, kteří noční prostředí tak jako tak sledují, začít to dělat záměrně a soustavně a k jeho nápravě aktivně přispět.