



Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky

Projekt v rámci  
Programu výzkumu a vývoje MŽP ČR  
Téma VaV/740/3/03

Závěrečná zpráva  
s přílohami

Masarykova univerzita v Brně  
Přírodovědecká fakulta  
RECETOX

Výzkumné centrum pro chemii životního prostředí a ekotoxikologii

Vedoucí řešitelského týmu:

RNDr. Jan Hollan

Brno, leden 2004

Řešitelské pracoviště:

RECETOX PřF MU

Kamenice 126/3, 625 00 Brno-Bohunice

vedoucí Prof. RNDr. Ivan Holoubek, CSc

Tel.: 549 495 338

Fax: 549 492 840

<http://recetox.muni.cz>

Vedoucí řešitelského týmu a autor zprávy:

RNDr. Jan Hollan., Lipová 19, 602 00 Brno

E-mail: [hollan@ped.muni.cz](mailto:hollan@ped.muni.cz)

Tel.: 541 321 287, domů 543 239 096

pracoviště po skončení projektu je

Hvězdárna a planetárium M. Koperníka v Brně, Kraví hora 2, 616 00 Brno

U jednotlivých příloh zprávy jsou uvedeni autoři, jsou-li odlišní od autora zprávy.

Projekt probíhal od 1. listopadu do 10. prosince 2003, tehdy vznikla závěrečná zpráva i její přílohy. Po skončení projektu někteří autoři své příspěvky ještě doplnili či upravili. Všechny je pak typograficky zhruba sjednotil a korigoval autor zprávy, čímž vznikla tato publikace. V podobě vytvořené v prostředí MSword se sadou navazujících souborů a adresářů byla odevzdána zadavateli, **Ministerstvu životního prostředí České republiky**. To se stalo 6. února 2004, obhajobou téhož dne byl projekt úspěšně ukončen.

Pro publikování na internetu provedl autor ještě další korektury<sup>1</sup> a vystavil pdf verzi vytvořenou z prostředí MSword, graficky shodnou s verzí odevzdanou MŽP. Vzhledem k tomu, že takto vytvořený soubor nebyl plně hypertextově funkční, i vzhledem k jeho značné délce (227 stran, 8 MB), bylo přislíbeno vysázení zprávy v prostředí L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X pro dosažení kompaktního, plně funkčního pdf souboru.

To se podařilo **2. března 2004**. V této verzi jsou též přidány či upřesněny reference, na které zpráva odkazuje a které předtím chyběly. Na konci kapitoly o členech týmu jsou doplněna další poděkování.

**Samostatně stojící přílohou této publikace je zpráva agentury Focus**, která byla ponechána v původním tvaru (jen s opravou dvou překlepů), viz soubor `verejnost_noc.pdf`<sup>2</sup>. Interpretace této zásadní přílohy, sestavené až v lednu 2004, přesahuje rámec našeho projektu a je úkolem pro budoucí výzkum.

Výsledky projektu, tj. i všechny adresáře uváděné v této publikaci, jsou dostupné ze stránky

<http://amper.ped.muni.cz/noc>, případně též ze stránky <http://recetox.muni.cz/noc>.

(Pozn. 2005-02-04: v tak rozsáhlém, narychlo sestaveném dokumentu se zajisté vyskytují překlepy apod. Ty zaznamenáváme do výše uvedeného adresáře, souboru „errata“. Zda jsou opraveny v elektronické verzi zprávy, plyne z jejího data. Najdete-li další, uvítáme, když nás na ně upozorníte.)

<sup>1</sup> ponechal ale střídavé užívání desetinné tečky a desetinné čárky

<sup>2</sup> zpráva uvádí značku „procent“ (%) vždy bez mezery, která by ji oddělovala od předcházejícího čísla – ve standardní interpretaci se pak číslo spolu se značkou procenta stává adjektivem (. . . *procentní*); vzhledem k vysokému počtu výskytů značky to ale lze považovat za přijatelné zkrácení textu

# Obsah

<b>Titul</b>	<b>1</b>
Údaje o řešiteli . . . . .	2
<b>Obsah</b>	<b>7</b>
<b>Anotace závěrečné zprávy</b>	<b>8</b>
<b>Členové týmu a jejich příspěvky</b>	<b>9</b>
<b>Závěrečná zpráva projektu</b>	<b>11</b>
1    Východiska řešeného projektu . . . . .	11
2    Shrnutí dosavadních poznatků, s příležitostnými novými zjištěními . . . . .	12
3    Nová zjištění . . . . .	12
4    Měření zdrojů znečištění . . . . .	13
5    Další cíle . . . . .	14
Literatura . . . . .	15
<b>II Přílohy zprávy</b>	<b>17</b>
<b>Mapování světelného znečištění</b>	<b>19</b>
1    Co to je světelné znečištění . . . . .	19
1.1    Svícení = bydlení? . . . . .	19
1.2    Svítil se i pro zapuzení duchů! . . . . .	19
1.3    Svítil se zkrátka na libovolné lidské výtvořy . . . . .	19
2    Hodnocení světelného znečištění . . . . .	19
2.1    Kvalita: směrování světla a tzv. plně cloněná svítidla . . . . .	19
2.1.1    Kde se bere ono světlo jdoucí nad terén . . . . .	20
2.1.2    Jde ale i o světlo jdoucí do dále . . . . .	20
2.1.3    Kvalitativní hodnocení . . . . .	20
2.1.4    Některé typické výsledky, hodnocení na základě konstrukce a orientace svítidel . . . . .	21
Nakloněné světlomety . . . . .	21
(Téměř) všesměrová svítidla . . . . .	21
2.1.5    Spektrální složení světla, typy výbojek . . . . .	22
2.2    Kvantita: kolik světla . . . . .	23
2.3    Měření jednoduchými prostředky . . . . .	23
2.3.1    Luxmetry . . . . .	23
2.3.2    Solární články . . . . .	24
2.3.3    Vizuální fotometrie . . . . .	24
2.4    Měření hi-tech metodami . . . . .	25
2.5    Zobrazovací digitální fotometrie běžnými fotoaparáty . . . . .	25
2.5.1    Úvod . . . . .	25
2.5.2    Postup získání jasové informace . . . . .	26
2.5.3    První výsledky, tedy mapy světelného znečištění . . . . .	27
2.6    Přehled o České republice ze satelitních dat . . . . .	28
2.7    Vývoj světelného znečištění dle spotřeby elektřiny . . . . .	28
<b>Příklady mapování světelného znečištění</b>	<b>30</b>
1    Úvodní technická poznámka o kvantitativních jasových datech a jejich barevném kódování . . . . .	30
2    Nepatřičné, oslňující světlo . . . . .	30
2.1    Příklady z Karlovy Studánky . . . . .	31
2.1.1    Alej . . . . .	31

2.1.2	Křižovatka . . . . .	31
2.1.3	Chodník . . . . .	31
2.1.4	Pavilon . . . . .	31
2.1.5	Pohled k centru . . . . .	31
2.2	Horní náměstí v Olomouci . . . . .	31
2.3	Dolní náměstí v Olomouci . . . . .	32
2.4	Pisárecká kotlina v Brně . . . . .	32
2.5	Ústí Pisáreckého tunelu . . . . .	32
2.6	Další ilustrace . . . . .	32
3	Trvale osvětlené stromy . . . . .	34
3.1	Platany na Joštově ulici . . . . .	34
3.2	Platan u Kapitolu . . . . .	34
3.3	Další platany, paulovnie a akáty . . . . .	35
4	Uměle zvýšený jas noční oblohy . . . . .	35
5	Světlo v nočních interiérech . . . . .	36
6	Fotometrická kalibrace luxmetrů . . . . .	37
7	Fotometrická kalibrace digitálních fotoaparátů . . . . .	37
7.1	Jasová kalibrace podrobněji . . . . .	38
7.2	Rovnoměrnost jasové informace v rámci plochy snímku . . . . .	38
7.3	Spektrální citlivost kamer . . . . .	39
8	Osvětlení sjezdovek v Krkonoších . . . . .	39

## **Úvod do praktické fotometrie pro laiky . . . . . 41**

### **Svícení jen dolů velmi snižuje jas oblohy . . . . . 43**

1	Úvod . . . . .	43
2	Svícení, které nejvíce vadí . . . . .	43
3	Odkud se bere světlo oblohy v přírodě . . . . .	43
3.1	Rozptyl světla v ovzduší, obloha ve dne a za soumraku . . . . .	43
3.2	Přírodní obloha v noci . . . . .	44
4	Jak se jas nočního nebe zvyšuje uměle . . . . .	44
4.1	Vliv svícení strmě a povlovně vzhůru . . . . .	44
4.2	Jas nebe v aglomeraci a daleko od ní . . . . .	45
4.3	Kam do vzduchu svítí obce . . . . .	45
4.4	Kolik z onoho světla se vrací na zem . . . . .	46
4.5	Jaký podíl přímého světla z lamp by už nevadil . . . . .	46
5	Diskuse . . . . .	46
5.1	Přesné rozdělení svítivosti terénu . . . . .	46
5.2	Je vzduch v noci špinavější než ve dne? . . . . .	47
6	Závěr . . . . .	47

### **Analýza znečišťovatelů světlem na území České republiky . . . . . 48**

1	Přehled zdrojů světelného znečištění . . . . .	48
1.1	Veřejné, nejen pouliční osvětlení . . . . .	48
1.1.1	komunikace . . . . .	48
1.1.2	historické částí vesnic a měst . . . . .	48
1.1.3	parky . . . . .	48
1.2	Venkovní osvětlení staveb – budov . . . . .	48
1.3	Osvětlení pozemků rodinných domků a soukromých budov . . . . .	48
1.4	Vnitřní osvětlení bytů, veřejných budov a nových prosklených budov . . . . .	49
1.5	Osvětlení areálů podniků . . . . .	49
1.6	Průmyslové zóny . . . . .	49
1.7	Osvětlení seřadovacích nádraží . . . . .	49
1.8	Osvětlení stadionů a sportovišť . . . . .	49
1.9	Osvětlení stavenišť . . . . .	49
1.10	Osvětlení parkovišť a prostor kolem hypermarketů . . . . .	49
1.11	Spodní osvětlení reklamních poutačů (billboardů) . . . . .	49
1.12	Reklamní, zábavní a podobné osvětlení – „laserové“ a jiné oblohové efekty . . . . .	49
1.13	Vývěsní štíty a světelné a prosvětlené reklamy . . . . .	49
1.14	Osvětlení dálnic a křižovatek . . . . .	50
1.15	Osvětlení benzinových pump, parkovišť a dalších obslužných ploch kolem dálnic a silnic . . . . .	50
1.16	Povrchové doly, vápenky a cementárny a další průmyslová výroba . . . . .	50
1.17	Dopravní prostředky . . . . .	50

1.18	Dočasné (přenosné nebo převozná zdroje)	50
1.19	Všechna svítidla, z nichž se od povrchu země nebo fasád budov apod. odráží světlo vzhůru	50
2	Shrnutí	50
3	Nemusíme svítit pouze špatně	50
3.1	Hamr sport Praha – Hostivař	50
3.2	Hornbach Praha – Černý most	50
<b>České světelné emise dle satelitních dat</b>		<b>51</b>
1	Úvod	51
2	Data	51
3	Analýza dat	51
4	Emise některých měst	52
5	Emise ve smyslu zvýšeného jasů nebe	52
6	Diskuse	53
	Literatura	53
<b>Světelné znečištění tmy z hlediska biologie</b>		<b>54</b>
1	Stručný přehled elementárních poznatků o vlivu znečištění noční tmy na rytmy, druhovou diverzitu a jiná ekosystémová narušení	54
2	Ekologická problematika světelného znečištění tmy	54
3	Dodatek: Světelné zdroje ve výzkumech G. Eisenbeise	56
<b>Stanovisko k osvětlení soliterních budov</b>		<b>57</b>
<b>Ptáci a světelné znečištění</b>		<b>58</b>
	Literatura	58
<b>Vliv světelného znečištění na veřejné zdraví</b>		<b>59</b>
1	Úvod	59
2	Světlo a vnitřní prostředí budov	59
3	Cirkadiální rytmy	59
3.1	Syndrom sezónní deprese (Seasonal affective disorders)	60
3.2	Poruchy spánku	60
3.3	Neurologická, psychiatrická a degenerativní autoimunní onemocnění	61
3.4	Stárnutí	61
3.5	Rakovina prsu	61
3.6	Rakovina dalších orgánů	61
4	Shrnutí působení světla ve tmě a melatoninu	62
5	Expozice světla ve tmě	62
6	Závěr	62
	Literatura	62
<b>Umělé osvětlení a oko</b>		<b>64</b>
1	Úvod	64
2	Fyziologie vidění	64
3	Vyšetření zrakové ostrosti	64
4	Vyšetření barvocitu	65
5	Proces akomodace	65
6	Oko a osvětlení	65
6.1	Denní osvětlení	66
6.2	Umělé osvětlení	66
7	Závěr	67
	Literatura	67
<b>Temná noc</b>		<b>68</b>
<b>(fenomén noci v tradici křesťanství)</b>		<b>68</b>
<b>Některé psychologické aspekty venkovního osvětlení: bibliografie</b>		<b>70</b>
1	Vliv světla na sebekontrolu a agresivní chování	70
2	Osvětlení silnic a nehodovost	72

<b>Působení světla v průběhu spánku na změny krevního tlaku u zdravých dobrovolníků</b>	<b>73</b>
1 Úvod	73
1.1 Biologické rytmy	73
1.2 Rytmy krevního tlaku u novorozenců	73
1.3 Cirkadiánní rytmy mají význam v diagnostice a léčbě	73
1.4 Rytmičké změny krevního tlaku mohou ukázat škodlivost narušování nočního prostředí	74
2 Soubory vyšetřovaných osob a metodika	74
2.1 Metody měření	74
2.2 Statistické zpracování	74
3 Výsledky	74
4 Diskuse	74
Literatura	74
<b>Vliv světla na usínání a spánek</b>	<b>83</b>
1 Cíl a metoda zkoumání	83
2 Předběžné výsledky dotazníkového šetření	83
2.1 Popis výzkumného vzorku	83
2.2 Výsledky	84
2.2.1 Potíže s usínáním	84
2.2.2 Vliv měsíce na usínání a kvalitu spánku	84
2.2.3 Rušivé osvětlení v blízkosti domu	85
2.2.4 Ranní ospalost v případě rušivého světla	85
2.3 Závěr	85
<b>Vliv clonění světelného zdroje na hmyz s noční letovou aktivitou</b>	<b>86</b>
1 Úvod	86
2 Metodika	86
3 Výsledky	87
4 Diskuse	88
5 Závěr	88
<b>Atmosférická extinkce v letech 1970 – 95 a příčiny světelného znečištění noční oblohy</b>	<b>95</b>
1 Úvod	95
2 Poloha a přístrojové vybavení pozorovacích stanovišť	95
3 Co je atmosférická extinkce a jak se zjišťuje?	95
4 Extinkční koeficienty v UBV 1962–1995	96
4.1 Pozorovací data	96
4.1.1 Popis dat a metod jejich získávání	96
4.1.2 Charakteristika dat	96
4.1.3 Distribuční funkce	97
4.1.4 Vývoj mediánů extinkčních koeficientů v letech 1962 – 1995	97
4.1.5 Vztah mezi extinkčními koeficienty	98
4.2 Model atmosférické extinkce	98
4.2.1 Východiska modelování	98
4.2.2 Rayleighův rozptyl a absorpce ozónem. Konstantní složky atmosférické extinkce	99
4.2.3 Model počtu hvězd na obloze	99
4.2.4 Dvousložkový a trojsložkový model atmosférické extinkce	99
5 Extinkční koeficienty v IHW/IAU 1985-1990	100
6 Pozorování úplného zatmění Měsíce	100
6.1 Zatmění 9. 11. 2003	100
6.2 Postřehy z pozorování	100
7 Diskuse a závěry	101
7.1 Diskuse	101
7.2 Závěry	102
Literatura	103
<b>Měření jasu noční oblohy</b>	<b>104</b>
1 Abstrakt	104
2 Úvod	104
3 Pozorovací materiál	104
4 Analýza dat	105
4.1 Redukce CCD snímků	105
4.2 Získání jasu nebe	105
4.2.1 Teoretický základ	105

4.2.2	Implementace . . . . .	105
4.2.3	Odhad chyby určení jasu nebe . . . . .	106
5	Diskuse a shrnutí . . . . .	106
5.1	Závislost jasu nebe na vzdušné hmotě . . . . .	106
5.2	Závislost jasu nebe na azimutu . . . . .	107
5.3	Závislost jasu nebe na čase . . . . .	107
5.4	Celkové parametry jasu nebe nad Brnem . . . . .	107
	Literatura . . . . .	108
<b>Jasy oblohy z klasické fotoelektrické fotometrie</b>		<b>109</b>
1	Úvod . . . . .	109
2	Charakteristika dat . . . . .	109
3	Postup zpracování . . . . .	109
4	Další postup práce . . . . .	109
5	Přílohy: . . . . .	110
<b>Astronomická měření jasu oblohy</b>		<b>111</b>
	Literatura . . . . .	113
<b>Další reference</b>		<b>114</b>
<b>Průzkum veřejného mínění</b>		<b>115</b>

# Anotace závěrečné zprávy

Během řešení projektu od 1. listopadu do 10. prosince 2003 se podařilo shromáždit přehledy problematiky z několika oborů a provést některé výzkumy poprvé ve světovém měřítku. Závěry projektu tak budou mít nejen praktické použití, ale povedou i k rozvoji skotobiologie jako velmi mladého oboru. Součástí projektu bylo i získání nutné techniky pro výzkum a ověření jejích možností s velmi pozitivními výsledky. Projekt dal mocný impuls pro další práci v této oblasti všem účastníkům týmu. Ovoce projektu se bude objevovat v podobě publikací ve vědeckém i populárním tisku, českém i cizojazyčném.

Hlavní závěry jsou: noční prostředí je již velmi narušené, populace hmyzu jsou ztenčené vinou venkovního svícení na zlomky původních, alespoň miliónu našich obyvatel denně vadí nemístné světlo pronikající v noci zvenčí do jejich příbytků, obloha se za uplynulé půlstoletí stala světlejší jednoznačně vinou rostoucích emisí (protože vzduch není méně průhledný), škodlivé emise lze bez újmy na funkčnosti venkovního osvětlení velmi snížit technickými opatřeními.



# Členové týmu a jejich příspěvky

Vedoucí řešitelského týmu děkuje všem jeho členům za pomoc, díky které bylo možné v neuvěřitelně krátké lhůtě shromáždit tolik poznatků z tohoto multidisciplinárního oboru, pro nějž během přípravy konference Ecology of the Night (<http://www.ecologyofthenight.org>) vznikl termín skotobiologie (autorem je R.G.S. Bidwell, emeritní profesor Queens Uni.). K původně sestavenému týmu přibyli během řešení projektu další členové.

Ne všichni z týmu patří mezi přímé autory jednotlivých příloh zprávy. Někteří se podíleli pomocí a radou mladším, jako prof. Vaňhara coby vedoucí diplomové práce Pavla Bíny či dr. Schlaghamerský jako jeho konzultant. Filip Hroch je autorem základního použitého softwaru pro astronomickou fotometrii. Gabriela Opletalová zpracovávala data Dalibora Hanžla.

K projektu přispěli i další. Ondřej Pejchovi pomohl jeho spolužák Miroslav Šulc (napsal část potřebného softwaru). Václav Knoll měřil jasnosti svítidel z hvězdárny v Pardubicích. Zdeněk Přecechtěl provedl kalibrace solárního panelu pro umělé světelné zdroje. Kolegové z Krkonošského národního parku poskytli cenné připomínky k části o osvětlení sjezdovek.

Podstatná byla i role pracoviště RECETOX: kromě jeho zakladatele prof. Holoubka, jehož pomoc umožnila přípravu projektu a dala obrys i jeho závěrečné zprávě, zejména sekretářky Hany Kordačové, bez níž by neproběhly žádné organizační ani finanční operace. Zavázán jsem i pracovním děkanátu Přírodovědecké fakulty, zejména paní účetní ing. Zlomkové, tajemnici ing. Michlíčkové a sekretářce Ireně Pakostové, za zásadní pomoc při přípravě projektu i při jeho zdárné realizaci. Samotné podání návrhu projektu by se nepodařilo bez osobního nasazení děkana fakulty doc. Gelnara.

Zvláštní poděkování patří Pavlovi Bínovi, který na mou prosbu zahájil výzkum již v létě, dlouho před přijetím nabídky projektu ministerstvem, a odvedl na něm ohromné množství práce. Mnohem více práce, než by se mohlo zdát z této zprávy, vykonal také Martin Forejt, hlavní můj spolupracovník na projektu. Velmi děkuji také pracovníkům agentury Focus, zejména Romanu Skotnicovi, za přípravu a provedení výzkumu zkušeností veřejnosti s případy, kdy je noční prostředí narušováno světlem. S ideou takového výzkumu přišel Pavel Klvač. Zpráva Fokusu je volnou přílohou této zprávy, [verejnost\\_noc.pdf](#).

K projektu přispěli též zahraniční badatelé, především prof. Eisenbeis, který poslal své zásadní práce, nedostupné na internetu; další kolegové z Německa a Rakouska (zejména dr. Tarmann) pak poskytli exempláře skvělé brožury Die Helle Not [2].

Abecední seznam členů týmu (jen odborných řešitelů) s odkazy na přílohy, jejichž jsou autory (většina řešitelů je z Masarykovy Univerzity v Brně):

- Pavel Bína – Katedra zoologie a ekologie, PřF Vliv clonění světelného zdroje na hmyz s noční letovou aktivitou
- Prof. MUDr. Zuzana Brázdová, DrSc. – Katedra preventivního lékařství, hygieny a epidemiologie, LF Působení světla v průběhu spánku na změny krevního tlaku u zdravých dobrovolníků

- MUDr. Hana Došková – Oftalmologická klinika, LF Umělé osvětlení a oko
- MUDr. Hana Drahoňovská, CSc. – Státní zdravotní ústav, Praha Vliv světelného znečištění na veřejné zdraví
- Leona Dunklerová – Klinika funkční diagnostiky a rehabilitace, LF Působení světla v průběhu spánku na změny krevního tlaku u zdravých dobrovolníků
- Doc. RNDr. Karel Hudec, DrSc. Ptáci a světelné znečištění
- Prof. MUDr. Bohumil Fišer, CSc. – Ústav fyziologie, LF Působení světla v průběhu spánku na změny krevního tlaku u zdravých dobrovolníků
- Mgr. Martin Forejt – Katedra preventivního lékařství, hygieny a epidemiologie, LF Působení světla v průběhu spánku na změny krevního tlaku u zdravých dobrovolníků Vliv světla na usínání a spánek
- Ing. Dalibor Hanžl – PřF Jasy oblohy z klasické fotoelektrické fotometrie
- Prof. RNDr. Ivan Holoubek, CSc. – RECETOX, PřF
- Mgr. Filip Hroch – Ústav teoretické fyziky a astrofyziky, PřF
- Doc. RNDr. Karel Hudec, DrSc. – Ptáci a světelné znečištění
- PhDr. Pavel Klvač – Katedra sociologie, FSS
- Prof. RNDr. Hana Librová, CSc. – Katedra humanitní environmentalistiky, FSS
- Doc. RNDr. Zdeněk Mikulášek, CSc. – Ústav teoretické fyziky a astrofyziky, PřF Atmosférická extinkce v letech 1970 – 95 a příčiny světelného znečištění noční oblohy
- Rudolf Novák- Hvězdárna a planetárium M. Koperníka v Brně Astronomická měření jasu oblohy
- Ondřej Pejcha – MFF UK Měření jasu noční oblohy
- Prof. ing. RNDr. Dalibor Povolný, DrSc. Světelné znečištění tmy z hlediska biologie – Stanovisko k osvětlení soliterních budov
- RNDr. Jiří Schlaghamerský, CSc. – Katedra zoologie a ekologie, PřF
- Prof. MUDr. Jarmila Siegelová, DrSc. – Klinika funkční diagnostiky a rehabilitace LF Působení světla v průběhu spánku na změny krevního tlaku u zdravých dobrovolníků
- Karel D. Skočovský – Centrum výzkumu vývoje osobnosti a etnicity FSS Některé psychologické aspekty venkovního osvětlení: bibliografie – Vliv světla na usínání a spánek

- Pavel Suchan – Štefánikova hvězdárna hl. m. Prahy, Analýza znečišťovatelů světlem na území České republiky
- Mgr. Marek Vácha, Katedra lékařské etiky, LF Temná noc (fenomén noci v tradici křesťanství)
- MUDr. Pavel Vank – Klinika funkční diagnostiky a rehabilitace, LF Působení světla v průběhu spánku na změny krevního tlaku u zdravých dobrovolníků
- Prof. RNDr. Jaromír Vaňhara, CSc. – Katedra zoologie a ekologie, PřF
- Prof. MUDr. Eva Vlková, CSc. - Oftalmologická klinika, LF Umělé osvětlení a oko
- Mgr. Viktor Votruba – Ústav teoretické fyziky a astrofyziky, PřF České světelné emise dle satelitních dat

# Závěrečná zpráva projektu

Na řešení projektu byla značně krátká časová lhůta, od 1. listopadu do 10. prosince 2003, první verze závěrečné zprávy byla předložena již 9. prosince. Tato verze je úplnější, zahrnuje jako svou součást i přílohy zpracovávající jednotlivá témata.

Přes krátkost lhůty se členům týmu nejen podařilo shromáždit různé existující poznatky o stavu znečištění životního prostředí uměle přidávaným světlem a o jeho vlivech na život v přírodě a lidské zdraví, ale dokonce i získat poznatky nové, případně též vyvinout nové metody k jejich získávání.

## 1 Východiska řešeného projektu

Světlo uměle přidané do nočního prostředí je jako látka znečišťující ovzduší chápáno poměrně krátce. Jako faktor, zásadním způsobem narušující noční prostředí, jej sice lidé občas označovali již před sto léty, ale jako o vážném ohrožení řady lidských aktivit i živé přírody je se o něm rozsáhleji hovořilo teprve od konce osmdesátých let dvacátého století, kdy vznikly (v USA a v Itálii) první organizace, které si ochranu nočního prostředí (zprvu jen nočního nebe) vytkly za cíl. Za polutant zcela obdobným chemickým polutantům je označili nezávisle na sobě zoolog Johnny Noles z USA [27] a řešitel nabízeného projektu [26] v létě 2001.

Znečištění je obecně narušení přirozeného stavu prostředí. Každé světlo, které je do venkovního nočního prostředí uměle přidáno, tudíž znečištěním nutně je. V užším smyslu se pro praktické účely za znečištění, jev jednoznačně nežádoucí, považuje ale hlavně to světlo, které společnost nepovažuje za nezbytné – především tedy to, které jde jinam, než je potřeba, případně též kterého je více, než je v danou chvíli nutné. Tak je definováno v různých zákonech včetně českého.

O škodlivosti světelného znečištění byla v posledních deseti letech publikována řada prací, zejména biologie a astronomie. Fatální vliv světla patrných i zdálky na populace hmyzu je všeobecně znám, entomologové ostatně při svém výzkumu odedávna používají lampy jako velmi účinné noční atraktory. Některé práce o zabíjení ptactva, zabývající se majáky, jsou rovněž velmi staré. K majákům ale přibýly výškové budovy, světlomety záměrně svítící do ovzduší atd. a pozemské světelné zdroje se tak staly významnou překážkou zejména při tahu ptactva (zejména malé druhy táhnou v noci). Ve Spojených státech je nyní řada výškových budov alespoň během migrace ptactva co možná temná a počty zraněných a mrtvých ptáků se tímto opatřením řádově snížily. Astronomové si růstu jasu noční oblohy vinou nárůstu počtu a intenzity světelných zdrojů všimli již v šedesátých letech a v blízkosti některých observatoří docílili toho, že v okolních vesnicích a městech platí pro osvětlování už desítky let jistá pravidla. Ta se velmi osvědčila, osvětlení je tam kvalitnější a úspornější než jinde a jas nebe přes ekonomický rozvoj roste mnohem pomaleji než v obcích bez takových předpisů. V některých obcích, které nově přijaly pravidla přísná, odpovídající moderním poznatkům, se osvětlení podařilo zkvalitnit během jednoho či dvou let, při velkých úsporách a radikálním snížení světelného znečištění.

Přestože projevy a důsledky světelného znečištění jsou rámcově dobře známy, stejně jako metody k jeho snížení při růstu kvality osvětlení tam a tehdy, kde je skutečně potřeba, takže legislativa, kdekoliv vzniká, se má o co opřít, systematický výzkum této problematiky je teprve na počátku. Jediný v rámci celého světa a zejména v Itálii prozkoumaný fenomén je růst světelného toku unikajícího ze země v noci do vesmíru a z něj vypočtené umělé zvýšení jasu noční oblohy. Modely jasu noční oblohy dobře souhlasí s měřeními. Světový atlas jasu noční oblohy se setkal s ohromným ohlasem – skutečnost, že většina obyvatelstva rozvinutých zemí již přišla o krásu nočního nebe, a zbytek brzy přijde, pokud nedojde k rychlému zastavení růstu znečištění, je alarmující.

V České republice se vývoj ekonomiky vč. oboru venkovního osvětlování na přelomu osmdesátých a devadesátých let výrazně změnil a zjištění stavu světelného znečištění i trendů a tempa jeho změn je proto velmi zajímavé – je tempo růstu znečištění ještě rychlejší než v Itálii?

Noční umělé venkovní osvětlení se instaluje s poukazem na to, že zvyšuje pohodlí a bezpečnost při dopravě. Osvětlovací průmysl a lidé, kteří mu třeba nevědomky uvěřili, dokonce tvrdí, že snižuje kriminalitu. Ve skutečnosti je známa řada příkladů, kdy umělé osvětlení takovému účelu spíše škodí než prospívá [6].

Koncem osmdesátých let formuloval americký lékař Richard Stevens [21] hypotézu, že elektromagnetická pole, mj. i nedostatek tmy jsou významnou příčinou velmi zvýšeného výskytu některých typů nádorů v rozvinutých zemích. Výzkum tuto hypotézu (pokud jde o světlo, jiná elektromagnetická pole se neukazují jako relevantní) podpořil až v několika minulých letech, dosavadním největším shrnutím takových poznatků bylo symposium v Kolíně nad Rýnem v roce 2003 [9]. Hypotéza je dnes brána velmi vážně, tím spíše, že mechanismus, jak by k tomu může docházet, je již poměrně dobře znám (jde skutečně zejména o potlačení tvorby hormonu melatoninu, v souladu s hypotézou [21]). Naopak, nikdo dosud nepublikoval žádné výsledky zkoumání vlivu nedostatku tmy na tak běžnou činnost, jakou je spánek – při poradenství v tomto směru se stále bere za samozřejmost, že v noci „je tma“, jakkoliv to dávno samozřejmé není. Jednotlivá pozorování (ostatně i zkušenost většiny z nás) ale svědčí o tom, že i poměrně malé množství světla, jako dává např. Měsíc už tři dny před úplňkem (hustota světelného toku kolem setiny lumenů na metr čtvereční, [25]), již ruší při usínání a např. působí neklidný spánek malých dětí. Z venkovních svítidel se ale do příbytků dostává leckdy světla desetkrát, ale i stokrát více (hustota světelného toku umělého původu deset lumenů na metr čtvereční, čili osvětlenost až deset luxů není vzácností)...

Dosavadní znalosti či přesněji znalosti ke konci dubna 2002 jsou nejlépe shrnuty v knize „Světelné znečištění a ochrana nočního prostředí“, sborníku konference téhož jména s podtitulem „Benátky: zachraňme noc“, konané v Benátkách 3. května 2002. Řešitel projektu měl tu čest na konferenci (díky pozvání UNESCO) rovněž přednášet a jeden z příspěvků v knize se tak týká České republiky. Odkazy z knihy bezprostředně relevantní k vý-

zkumu viz [4], [10] a [16] až [20] v níže uvedeném seznamu literatury.

V týž den se ale konala i konference v Kolíně nad Rýnem, „Světlo, endokrinní systémy a rakovina“, URL a sborník z ní viz [9]. Řešitel se tehdy pokusil zajistit českou účast i na této konferenci, což se podařilo díky ochotě MUDr. Marty Manouškové, která dění konference sledovala (od té doby už na toto téma několikrát přednášela) a přivezla odtud abstrakty mnohem dříve, než se ve zkrácené podobě objevily na internetu.

Již předtím, v březnu 2002 se konalo první světové symposium „Ekologické důsledky umělého nočního osvětlování“ v Los Angeles [7]. Na uvedené URL jsou k dispozici soupis známé literatury a abstrakty přednášek, vydání sborníku se očekává letos na podzim. Pro náš projekt se kniha stane významnou oporou a inspirací.

Vzhledem k tomu, že se obor ochrany nočního prostředí teprve etabluje, mnoho prací bylo publikováno jen v domácí literatuře různých národů, v národních jazycích, a nejsou dostupné na internetu. V české literatuře zatím takové práce, až na texty publikované řešitelem (a pracovní poznámky tří dalších astronomů k měření jasu oblohy, viz [22] [23] a [24] a navazující diskuse v téže konferenci), zatím chyběly. Je ale možné navázat na práce ze sousedních zemí, rakouské, německé, italské a švýcarské – řešitel zná řadu příslušných autorů-biologů a další bude kontaktovat, aby své práce laskavě poskytli. Obtížnější je nalézt práce lékařské, zaměřené na světlo jako faktor zhoršující podmínky pro spánek. Jedny z prvních výzkumů tohoto typu tak začaly v rámci projektu právě u nás.

Krátce před zahájením projektu se vedoucí řešitelského týmu zúčastnil jako jediný Evropan první světové konference zabývající se zkoumáním a ochranou nočního prostředí jako celkem, tedy fakticky zakládající nový obor skotobiologie. Ta se konala koncem září v Ontariu pod názvem Ecology of the Night (viz <http://www.ecologyofthenight.org>). Pro výzkum v rámci našeho projektu přinesla řadu podnětů.

## 2 Shrnutí dosavadních poznatků, s příležitostnými novými zjištěními

Přehled o znečišťovatelných a typech zdrojů znečištění obsahuje textový příspěvek Pavla Suchana (str. 48), doplněný řadou komentovaných snímků zejména z Prahy, viz adresář [praha](#).

Kvantitu emisí na základě satelitních dat analyzuje příspěvek Mgr. Viktora Votruby (str. 51), který též obsahuje mapu imisí ve smyslu umělého zvýšení jasu oblohy. Je to jen momentka z let 1996/97, další data zatím nejsou dostupná, ale společně s Institutem vědy a techniky světelného znečištění z Itálie (ISTIL) je použijeme obdobným způsobem, jakmile dostupná budou.

Vlivy umělého svícení na hmyz a přírodu vůbec shrnují příspěvky prof. Ing. Dr. Dalibora Povolného, DrSc. (str. 54 a 57), jak na základě publikované literatury, tak na základě autorových opravdu dlouholetých zkušeností. Zřejmě základním zjištěním je konstatování, že současné populace nočního hmyzu jsou mnohem menší než bývalé, na rozdíl od hmyzu výhradně denního. Přesné kvantitativní údaje neexistují, ale demonstrace zcela přesvědčivá pro všechny řidiče nad padesát let ano: dnes téměř není potřeba čistit v létě čelní skla (poznatek uváděný prof. Gerhardem Eisenbeisem), ba ani reflektory (nezávislé pozorování Povolného). Před desetiletími to bylo potřeba po každé noční jízdě. To znamená že je již dávno vážně narušena většina ekosystémů, vzhledem k tomu, že hmyz je v nich podstatný až rozhodující, a je velmi naléhavé začít noční prostředí obnovovat.

Speciálně vlivem narušeného nočního prostředí na chování ptactva se zabývá příspěvek doc. RNDr. Karla Hudce, DrSc. (str. 58).

Vlivy narušení přírodního nočního prostředí na zdraví shrnuje ve svém příspěvku MUDr. Hana Drahoňovská, CSc. (str. 59).

Ovlivnění zrakové pohody nevhodným osvětlováním popsaly v úvodním textu MUDr. Hana Došková a prof. MUDr. Eva Vlčková, CSc. (str. 64), rozpracována je analýza konkrétních případů v brněnském exteriéru.

Velmi důležité kulturní pozadí vnímání světla a tmy shrnul ve svém příspěvku Mgr. Martin Vácha (str. 68). V křesťanské tradici se sice objevuje v přeneseném významu světlo coby dobro a tma coby zlo, ale v přímém významu je tma (noc) hodnocena jako stejně důležitá, ba důležitější než světlo(den). Absence tmy je vážným problémem pro duševní zdraví. Naopak neuvědomělé ztotožňování tmy s věcmi zlými je pravděpodobně (to již píše mimo rámec jeho textu) rozhodujícím motorem pro dosavadní trvalé přidávání světla všude, kde se lidé pohybují. Pro zastavení růstu světelného znečištění je nutné pověrečný strach ze tmy tlumit osvětou. Jak tou, která ukazuje, že temné noční prostředí dává příležitost ke krásným zážitkům – aktuálně viz velmi silná polární záře večer 20. listopadu, odehrávající se u nás takřka na celém nebi a patrná i z Řecka, viz i příspěvek Rudolfa Nováka (str. 111) – tak tou, která ukazuje, že světlo nijak nepomáhá (bohužel) proti kriminalitě.

Ohledně vlivu světla na sebekontrolu a agresivní chování a také osvětlení v dopravě shromáždil zčásti novou bibliografii Karel Skočovský (str. 70). V případě kriminality je většina z ní obsažena a diskutována již v citované B.A.J. Clarka (a zejména práce Painterové a Farringtonovy podrobeny ostré kritice; jejich naprostou metodickou pochybenost dokázal v roce 2003 také statistik Paul Marchant, jeho publikaci by měl brzy vydat britský Home Office), v případě dopravy čeká na další studium, na něž již nezbyl čas.

Uvedené příspěvky jsou podrobnější, než shrnutí poznatků uvedené v této zprávě, zájemce je třeba zatím odkázat na jejich studium. Nové autoritativní shrnutí poznatků bude uskutečněno až v návaznosti na výsledky celého projektu.

## 3 Nová zjištění

Základní pozornost byla věnována vlivu absence tmy na lidské zdraví. Jako závažný problém je lidmi běžně zmiňováno narušování spánku, tomu jsme se také nejvíce věnovali.

Pokud je nám známo, teprve náš projekt zahájil měření vlivu nedostatku tmy na spánek. V krátké časové lhůtě byla zvolena metoda, která se používá ke zkoumání cirkadiánních rytmů, totiž měření krevního tlaku zařízením, který zkoumaná osoba nosí na sobě. Kolektivu autorů vedenému Prof. MUDr. Jarmilou Siegelovou, DrSc se podařilo nalézt zřetelný efekt, totiž vzrůst krevního tlaku, ze kterého vyplývají možné závažné zdravotní důsledky (str. 73). Je to zřejmě první měření potvrzující obecně známou skutečnost, že potmě se spí lépe. Má ale i další implikace, vzhledem k ohrožení, které vzestup krevního tlaku pro řadu osob představuje. V krátké lhůtě bylo zkoumáno jen málo osob, další výzkum bude pokračovat. Přesto jsou výsledky signifikantní.

Druhým zásadním lékařským příspěvkem je získání poměrně rozsáhlého souboru odpovědí na dotazník, zkoumající vliv světla na spánek. Autorem dotazníku je Mgr. Martin Forejt, základní výsledky zpracoval Karel Skočovský (str. 83). Z několika set dotazovaných zná potíže s usínáním a spánkem více než třetina osob, za příčinu valnou většinou označují vliv nežádoucího světla (ze



dvou základních environmentálních vlivů, světla a hluku). Téměř třetina lidí je rušena už svitem Měsíce, většinou ale jen ve dnech kolem úplňku. (Poznamenejme, že tehdy přírodní noční osvětlenost krajiny přesahuje desetinu luxu, výjimečně dosahuje až čtvrtiny luxu, v interiérech ale nepřesahuje dvě desetiny luxu. Již takové poměrně slabé osvětlení je rušivé natolik, že si to významná část populace uvědomuje.) Pětina dotazovaných si stěžovala na rušivé stacionární osvětlení zvenku. Pokud by to platilo pro celou českou populaci, pak by se to týkalo dvou miliónů osob, což věru není zanedbatelné. (Přitom je rušení snadno možné výrazně snížit, neb valná většina z dotazovaných uvádí jako problém přímou viditelnost svítidel, nikoliv jimi osvětlovaných ploch v exteriéru.)

Předběžné závěry z tohoto výzkumu vedly hlavního řešitele projektu k formulaci souboru otázek, který vycházel z dotazníku Martina Forejta, ale obsahoval i otázky ohledně oslňování a rušení pohledu na noční krajinu. Soubor byl poté upraven do vhodné struktury sociolog Roman Skotnica, načež jej agentura Focus zadala reprezentativnímu vzorku české populace (tisíc osob). Výsledky průzkumu byly k dispozici 13. ledna, jejich další diskuse a interpretace již přesahuje rámec tohoto projektu. Zpráva agentury Focus je nyní též samostatně stojící přílohou naší zprávy. Stručně lze říci alespoň tolik, že podíl osob, které uvádějí soustavné rušení spánku vinou venkovního osvětlení jako jednu ze dvou hlavních příčin potíží se spánkem, se ukázal jako nižší, jen pětiprocentní. Přesto jde o půl miliónu lidí v rámci celé České republiky, což není vůbec málo.

Martin Forejt kromě toho kontaktoval řadu institucí, na které se lidé mohli obracet se stížnostmi na obtěžující osvětlování (tj. na zvláště závažné projevy světelného znečištění), a našel některé výmluvné případy (diskotékové světlometry ve Zlíně). Celkově se ale zdá, že stížností je mnohem méně, než by zřejmě mělo být, vzhledem k tomu, jak velké části populace nedbalé svícení vadí. Domníváme se, že je to tím, že většina lidí si neuvědomí, že obtěžující světla nejsou nevyhnutelná, že se dá svítit i jinak, mnohem lépe. A také tím, že nevědí, že světlo v noci doopravdy může škodit zdraví a přírodě.

Kromě lékařských či psychologických výzkumů se podařilo realizovat též úvodní výzkum vlivu nočního světla na hmyz (str. 86). Člen týmu Pavel Bína instaloval pro náš projekt již v létě ve svém bydlišti past pod zářivku alternativně odkrytou, takže svítla více do dál než dolů, a zakrytou shora a z boku stínítkem, takže zdáli nebyla vidět, a dolů svítla naopak více. Výsledek byl zcela přesvědčivý, v této konkrétní lokalitě odkrytá zářivka přilákala dvojnásobek hmyzu. To znamená, že plné clonění, když žádné světlo ze svítidla nejde vodorovně a šikmo vzhůru, může velmi účinně pomoci snížit decimování nočního hmyzu, v otevřené krajině ještě více než ve zkoumaném případě (z některých směrů byla zářivka zacloněna budovou či vegetací.) Doposud se autoři zabývali jen vlivem barvy světla (čili typu výbojky), toto je první případ zkoumání vlivu geometrie svícení. Podobně jako u spánku, je prospěšnost zamezení svícení do dáli každému zřejmá, takže výsledek je svým způsobem triviální. Přesto je velmi důležitý, neboť selský rozum není dostatečným argumentem proti těm, kteří z růstu znečištění mají prospěch. Vědecká publikace musí být relevantní i pro ně.

Jen orientační byl výzkum ohledně vlivu umělého svícení na vegetaci. Ve shodě s obsahlou prací ze sedmdesátých let jsme konstatovali, že nejnapadnější jsou anomálie u platanů javorolistých (ale pozorovali jsme takovou i u paulovnie). Téměř všude v Brně jeví ty větve, které jsou osvětleny uličními svítidly, anomálie ve smyslu zelených listů i dlouho po opadání zhnědlého uschlého listů méně osvětlených stromů nebo ostatních větví. Neseschlé zelené olistění bylo na takových větvích i na Mikuláše. V mě-

řených případech šlo o větve osvětlené více než padesátí luxy. V korunách osvětlených více než deseti luxy bylo zjevně více zeleného, ač uschlého listů než v korunách přímo neosvětlených. Takové maskování skutečnosti, že již je pozdní podzim, samo o sobě stromům nemusí vadit, drobnou komplikací by mohlo být snad to, že dané části stromu nebo celé stromy nejsou patřičně připraveny na mrazy. V případě stromů chráněných coby památky by bylo přirozené pro jistotu takovou ochranu rozšířit i na zachování co možná nočního prostředí.

Další výzkumy se týkaly měření jasu oblohy, jako měřítka pozemských světelných emisí. Každý ve věku nad dvacet, tím spíše padesát let si snadno uvědomí, že obloha nyní bývá všude výrazně světlejší než kdysi. Kvantitativní údaje byly ale doposud k dispozici jen pro Itálii. Nyní je začali zjišťovat pro naše území členové řešitelského týmu, a to z dat z období od sedmdesátých let až do současnosti, první údaj se podařilo získat už ze šedesátých let. Tehdy byl na observatoři na Kraví hoře, jeden a půl kilometru od středu města, umělý přírůstek jasu oblohy jen zlomkem jasu přírodního, jak dokládá i měření. Začátkem sedmdesátých let se vyšplhal na několiknásobek, do současnosti vzrostl na průměrně desetinásobek. Práce RNDr. Jiřího Papouška, CSc., ing. Dalibora Hanžla (str. 109) a Ondřeje Pejchy (str. 104) to dokládají, shrnutí viz příspěvek Rudolfa Nováka a hlavního řešitele (str. 111). Stručně řečeno, jas noční bezmračné oblohy za bezměsíčných nocí je nyní v Brně někdy téměř stejný, jako mimo město za úplňku (jas oblohy lze považovat za imise, pokud jde o tento typ znečištění ovzduší, totiž uměle přidaným světlem).

Všeobecnou zkušenost, že obloha bývala dříve mnohem tmavší, interpretují oponenti jakékoliv regulace venkovního osvětlování tak, že vzrůst jejího jasu není dán růstem emisí světla, ale poklesem průzračnosti ovzduší. Zcela jednoznačné popření tohoto tvrzení uvádí ve své rozsáhlé práci doc. RNDr. Zdeněk Mikulášek, CSc. (str. 51). Průzračnost ovzduší se v uplynulých desetiletích změnila jen málo, dokonce méně, než jsme sami čekali, zatímco jas oblohy vzrostl zřetelně, někde i mnohonásobně (změny v takových místech jsme zdokumentovat nemohli, fakt nárůstu jasu nebe v lokalitách kdysi blízkých přírodě ale zná ze zkušenosti snad každý). Příčina nárůstu imisí je dána výhradně růstem světelných emisí. Práce též ukazuje variabilitu extinkce. V běžném astronomickém vyjádření má zeslabení světla ze zdrojů v zenitu pro Brno dolní a horní sextil 0.28 mag a 0.61 mag, přičemž z grafu je patrné že percentily 1 a 99 jsou zhruba 0.19 mag a 1 mag. To je velmi významná informace pro interpretaci běžně měřených jasů noční oblohy (velmi zhruba řečeno, při stejných emisích mohou světelné imise z bezoblačné oblohy kolísat v krajním případě až v rozmezí jedna ku pěti).

## 4 Měření zdrojů znečištění

Kvantitativním studiem zdrojů emisí se zabýval hlavní řešitel projektu. Získal rozsáhlý materiál z řady lokalit. K jeho získávání byly pořízeny digitální fotoaparáty, které jsou schopny poskytnout data v surové, nezpracované podobě, způsobilé pro vědecké zpracování. Významnou součástí projektu byla samotná identifikace fotoaparátů, které to umožňují, a přitom jsou cenově dostupné pro širokou obec uživatelů – již předtím jsme si byli dosti jisti, že takové měření je možné nejdražšími fotoaparáty firmy Canon. Autor také vyvinul software, kterým lze ze snímků získat přesné fotometrické informace, a provedl předběžnou kalibraci jedné ze zakoupených kamer. Vývoj softwaru pokračuje nadále, současně se zpracováním pořízeného materiálu. Má přitom zajímavou aplikaci i pro běžnou fotografii, použitím postupu běžného

v astronomii: totiž odečtením snímku pořízeného se zakrytým objektivem od snímku slabě osvětlené scény. Výrazně se tím sníží šum snímku (kromě toho, že až pak je možno jej přesně využít fotometricky).

Z doposud zpracovaných dat vyplývá, že běžnými fotoaparáty lze měřit jas noční oblohy, a to v plném rozsahu, v zásadě až do hodnot pro ovzduší neznečištěné uměle přidávaným světlem. Velmi dobře jimi lze měřit jasy uměle osvětlené krajiny a separovat je od vlivu samotných, zdáli viditelných svítidel. Lze tak zjistit, jaké snížení emisí směrem šikmo vzhůru by nastalo, kdyby svítidla byla řádně zacloněna a jejich světelný tok přeměrován do užitečných směrů (zpravidla přitom lze snížit příkon svítidla). V konkrétním případě Špindlerova mlýna předběžná analýza ukazuje, že alespoň na jednu čtvrtinu.

Další vývoj softwaru umožnil zjistit též údaje charakterizující oslňování svítidla a dalšími přehnaně jasnými ploškami v zorném poli, např. ukazatele poklesu rozeznatelnosti detailů, které má umělé osvětlení pomoci vidět, ale často jejich viditelnosti naopak brání. Kvantitativní vyjádření oslňovacího účinku svítidel je dalším měřítkem emisí, kromě již zmíněného přírůstku jasu noční oblohy.

Surová data a z nich získané ilustrativní i fotometricky kalibrované a popsané snímky se budou postupně objevovat na internetových stránkách projektu, i s funkční verzí softwaru, který všem majitelům obdobných kamer umožní naše měření reprodukovat.

V rámci projektu byly též pořízeny levnější i dražší, velmi citlivé luxmetry (ale v nízké cenové relaci do deseti tisíc korun, na rozdíl od běžné ceny třiceti tisíc) a provedena řada měření. Během dlouhých listopadových týdnů s tlustou vrstvou nízké oblačnosti nad Brnem se ukázalo, že nikde na území Brna-střed neklesá osvětlenost terénu pod třetinu luxu, ani stovky metrů od nejbližšího umělého osvětlení. To znamená, že pěší cesty je tam tehdy zbytečně osvětlovat, neb technická norma pro ně požaduje pouze desetinu luxu. V místech, kde je souvislé osvětlení, při nízké oblačnosti byla osvětlenost terénu tři luxy, i když na čidlo nedopadalo žádné přímé světlo ze svítidel. Taková měření při různých vysoké oblačnosti mohou dát značně přesný obraz o světelných emisích na daném území.

Dále byla ověřena možnost měřit slabé světelné toky solárními články místo luxmetrů. Sestava solární články (o ploše čtverečního decimetru) a multimetr stojí pod tisíc korun, ale je mnohem citlivější než luxmetr za cenu desetinásobnou. Na rozdíl od příkladu týmu z vídeňské univerzity, který měřil dražším přístrojem proud, jsme ukázali, že levným měřicím přístrojem lze velmi dobře měřit napětí, tam lze získat signál už při osvětlení na úrovni mililuxů, a měřit tak úroveň emisí jak v exteriérech (vč. měření jasu oblohy), tak i v interiérech. Pro nejslabší světlo do desetiny luxu je napětí přímo úměrné osvětlenosti, pro vyšší osvětlenosti stoupá postupně pomaleji. Doposud máme kvantitativní kalibraci pro přírodní světlo a další tři typy zdrojů, kalibrace pro další typy zdrojů bude následovat (již mimo grant, v rámci diplomních prací na pedagogické fakultě MU; dosavadní data jsou k dispozici v adresáři `solarni_panel`).

Kalibraci ale potřebují všechna fotometrická měření; vývojem kalibrace se hlavní řešitel zabýval rovněž, k tomu účelu byly zakoupeny bílé, dokonale rozptylující standardy. Jejich vyfotografováním spolu s údajem čidla přesného luxmetru lze získaná fotometrická data dodatečně kalibrovat; totéž může udělat každý, kdo má vhodný digitální fotoaparát. Pro běžné uživatele, např. obce, předpokládáme také vyvinutí levných sekundárních standardů (jako různých značek bílého kancelářského papíru z momentální nabídky trhu).

I při jen přibližné kalibraci fotoaparátů a nejisté přesnosti luxmetrů jsou některé dosavadní výsledky měření nesporné: např.

v mnoha případech je osvětlení mnohem, často i mnohonásobně silnější než je vhodné nebo potřebné, např. než doporučují normy pro osvětlování komunikací. Typické je to u pěších cest v řídké zástavbě, kde norma požaduje desetinu luxu v nejméně osvětlených místech. Je to vinou praxe, že se pro jejich osvětlení používají jako nejslabší zdroje obvykle padesátivattové výbojky, ač by stačily desetiwattové zářivky. Jak uvádí autoři z celého světa, s vývojem techniky většinou jen stoupalo množství světla, aniž by bylo dostatečně kompenzováno ubíráním příkonu nových, mnohem účinnějších zdrojů. Ve stejném místě se tak už mnoho desítek let svítí např. nějakou stowattovou lampou, jenže ta dnešní vydává desetkrát více světla, než ta někdejší.

Během měření v terénu byla nalezena řada případů zvláště velkého znečištění, zpravidla způsobeného hrubou nedbalostí projektantů. Počítáme s jejich postupným popisem a publikováním. Řada z nich se týkala oslňování v dopravě, zvláště drastický byl případ nesmyslně silného osvětlení svislého dopravního značení na dálnici jižně od Olomouce, jehož světlomety protijedoucí řidiči pod tabulemi vidí a jsou jimi oslňování podobně jako dálkovými světly, nemluvě o odvádění pozornosti od řízení...

Pozornost byla věnována osvětlení lyžařských svahů v KR-NAP, ač v době, kdy bylo ještě mimo provoz. V době, kdy je světlo terénem málo pohlcováno, působí osvětlení sjezdovek, není-li velmi slabé, velkou změnu přírodního prostředí, i když je geometricky dokonalé. Na zkoumaných sjezdovkách jsou ale svítidla použita zcela nesprávným způsobem, takže na blízký terén dopadá často jen polovina světla, druhá jde jen do nebe a na vzdálené svahy. Šance to napravit je paradoxně v tom, osvětlit sjezdovky další, ale dokonale, tj. i slabě, a dát tak příklad k rekonstrukci těch dosavadních.

## 5 Další cíle

Projekt umožnil zahájit práci v řadě oblastí, které souvisejí s narušeným nočním prostředím. Lze s jistotou očekávat, že po předběžných, narychlo získaných prvních nových poznatcích, publikují jednotliví členové týmu samostatně či společně vědecké práce, které budou znamenat průlom v těchto disciplínách. Něco z toho jistě dokáží i bez finanční podpory, jen proto, že je problematika velmi zaujala, více výsledků by samozřejmě bylo možné očekávat, kdyby financování projektu v nějaké podobě pokračovalo. Zejména zkoumání vlivu na živou přírodu je potřeba vykonávat v delších časových horizontech, případně v jiných ročních obdobích. Zkoumání vlivu na zdraví vyžaduje rovněž více času.

Přesto asi není špatné, že ten dosavadní měl tak krátkou lhůtu. Díky ní máme dnes k dispozici české publikace a nové poznatky o doposud zcela opomíjené oblasti ochrany životního prostředí, totiž jeho noční poloviny. V této chvíli většinou jen v hrubé, ještě málo provázané podobě, ale k datu skončení projektu by už přesto některé z nich měly začít sloužit veřejnosti, na adrese <http://www.recetox.muni.cz/noc>, postupně se tam objeví i další výsledky.

Významným výsledkem projektu je i samotné vzbuzení zájmu širší odborné veřejnosti o noční prostředí. Povede k zapojení studentů a doktorandů do takového výzkumu věřme nejen na MU, ale i na dalších univerzitách. Nevyřešených zajímavých úkolů dnes před sebou vidíme více než v době zahájení projektu

# Literatura

- [1] Bruderer, B.: *Artificial light and nocturnal bird migration*. Lecture at Dark Sky 2002, Lucerne. Abstract at <http://www.darksky.ch/ds2002/AbstractsLucerne.pdf>
- [2] *Cielobuio*, stránky italské organizace prakticky chránící noční prostředí <http://www.cielobuio.org>
- [3] Cinzano, P. – Falchi, F. – Elvidge, C.D.: The First World Atlas of the Artificial Night Sky Brightness. 2001, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 328, pp. 689-707. Downloadable at <http://dipastro.pd.astro.it/cinzano/papers.html>
- [4] Cinzano, P.: Technical measures for an effective limitation of the effect of light pollution. In *Light Pollution and the Protection of the Night Environment*, Proceedings of the IDA Regional Meeting „Venice: Let’s save the night“. Thiene: ISTIL 2002, pages 193-205. ISBN 88-88517-01-4. PDF version at <http://www.lightpollution.it/istil/venice/12>
- [5] Cinzano, P.: *RoadPollution*. A software to evaluate and understand light pollution from road lighting installations. PRESENTATION CIE Division 4 - Meeting in Torino 28 Sep/2 Oct 2002. Viz položky ve výčtu <http://www.cielobuio.org/modules.php?op=modload&name=Downloads&file=index&req=viewdownload&cid=10>
- [6] Clark, B.A.J.: *Outdoor lighting and crime* [online], Part 1: *Little or no Benefit*, ver. 2002-11-26, Part 2: *Coupled growth*, ver. 2003-05-23, available at <http://amper.ped.muni.cz/light/crime/11,19>
- [7] *Ecological Consequences of Artificial Nighttime Lighting*. Symposium, 2002, Los Angeles, UCLA. Abstracts and list of literature at <http://www.urbanwildlands.org12>
- [8] Eisenbeis, G.: *Ecological consequences of light pollution on nocturnal insects*. Lecture at Dark Sky 2002, Lucerne, Switzerland. Abstract at <http://www.darksky.ch/ds2002/AbstractsLucerne.pdf>
- [9] Erren, T.C. – Piekarski, C. (ed.): Light, Endocrine Systems and Cancer. *Neuroendocrinology Letters*, 2002, Vol. 23, Suppl. 2., 104 pages. ISSN 0172-780X. Abstracts see <http://www.uni-koeln.de/symposium2002/11,12>
- [10] Fornasari, L.: Malpensa airport and bird migration: a matter of light pollution. In *Light Pollution and the Protection of the Night Environment*, Proceedings of the IDA Regional Meeting „Venice: Let’s save the night“. Thiene: ISTIL 2002, pages 123-136. ISBN 88-88517-01-4. PDF version at <http://www.lightpollution.it/istil/venice/>
- [11] Hollan, J.: Ochrana nočního prostředí, úvodní česká www stránka (s odkazy na další publikace) [http://svetlo.astro.cz/](http://svetlo.astro.cz/Hollan, J.: Ochrana nočního prostředí, úvodní česká www stránka (s odkazy na další publikace) http://svetlo.astro.cz/)
- [12] Hollan, J.: *Obec v noci*, příručka o kvalitním venkovním osvětlování [online] <http://svetlo.astro.cz/obec/>. Zkrácená verze dostupná jako součást manuálu *Starosta a občané*, vydaného nakladatelstvím Raabe (viz <http://www.raabe.de/cz/RAABEProdVerS.php#Anchor-44867>)
- [13] *International Dark Sky Association*, stránky světové organizace pro ochranu nočního prostředí <http://www.darksky.org>
- [14] Luginbuhl, Ch.: *IDA Lighting Code Handbook* [online]. Ver. 1.14, 2002. Available at <http://www.darksky.org/ordsregs/lchintro.html>
- [15] *Visual regolamento*, zákon regionu Lombardie 17/2000 a manuál osvětlování pro obce, viz <http://www.cielobuio.org/visualreg17.php> nebo pdf verzi <http://www.vialattea.net/cielobuio/lrl17/visualreg17.zip>, její přibližný anglický překlad <http://amper.ped.muni.cz/light/VISUALreg17eng.pdf>, ve formátech html a MSword pak na <http://www.cielobuio.org/lombardy.php>
- [16] Crawford, D. J. – Gent, R.L.: Progresses and challenges in light pollution control. In *Light Pollution and the Protection of the Night Environment*, Proceedings of the IDA Regional Meeting „Venice: Let’s save the night“. Thiene: ISTIL 2002, pages 69-73. ISBN 88-88517-01-4. PDF version at <http://www.lightpollution.it/istil/venice/>
- [17] Romano, G: Stargazing: its importance to man throughout the centuries. In *Light Pollution and the Protection of the Night Environment*, Proceedings of the IDA Regional Meeting „Venice: Let’s save the night“. Thiene: ISTIL 2002, pages 77-83. ISBN 88-88517-01-4. PDF version at <http://www.lightpollution.it/istil/venice/>
- [18] Cinzano, P: Light Pollution and the situation of the night sky in Europe, in Italy and in Veneto. In *Light Pollution and the Protection of the Night Environment*, Proceedings of the IDA Regional Meeting „Venice: Let’s save the night“. Thiene: ISTIL 2002, pages 91-102. ISBN 88-88517-01-4. PDF version at <http://www.lightpollution.it/istil/venice/>
- [19] Ghetti, P: Light pollution and quality of life. In *Light Pollution and the Protection of the Night Environment*, Proceedings of the IDA Regional Meeting „Venice: Let’s save the night“. Thiene: ISTIL 2002, pages 115-116. ISBN 88-88517-01-4. PDF version at <http://www.lightpollution.it/istil/venice/>
- [20] Rizzioli, F: Light pollution in Venice. In *Light Pollution and the Protection of the Night Environment*, Proceedings of the IDA Regional Meeting „Venice: Let’s save the night“. Thiene: ISTIL 2002, pages 139-142. ISBN 88-88517-01-4. PDF version at <http://www.lightpollution.it/istil/venice/>
- [21] Stevens, R.G.: Electric power use and breast cancer: A hypothesis. 1987, *American Journal of Epidemiology* 125:556-561

- [22] Pejcha, O: *Jasy nebe v Brně*. Oznámení do mailinglistu CCD, 2003, <http://amper.ped.muni.cz/ccd/a/msg00228.html> 12
- [23] Hroch, F: *Jas nočního nebe*. Oznámení do mailinglistu CCD, 2002, <http://amper.ped.muni.cz/ccd/a/msg00171.html>
- [24] Pravec, P: *Re: Jas nočního nebe*. Oznámení do mailinglistu CCD, 2003, <http://amper.ped.muni.cz/ccd/a/msg00172.html> 12
- [25] Hollan, J.: *Illuminance by the Moon*. 2002, [vysvětlení k programu spustitelnému online a jeho URL] viz <http://amper.ped.muni.cz/ Svetlo-v/a/msg00206.html> 11
- [26] Hollan, J: 2001, *koncept dopisu poslancům*, [http://amper.ped.muni.cz/light/zakon\\_oo/old/dopissh.html](http://amper.ped.muni.cz/light/zakon_oo/old/dopissh.html) a *Dodatek k Důvodové zprávě k zákonu o ovzduší*, [http://amper.ped.muni.cz/light/zakon\\_oo/duvody.html](http://amper.ped.muni.cz/light/zakon_oo/duvody.html) 11
- [27] Noles, J: 2001, *Understanding the Effects of Light Pollution on Wildlife.ppt*, soubor dostupný pro členy v adresáři <http://groups.yahoo.com/group/DarkSky-list/files/Presentation/PowerPoint/> (kopie viz <http://svetlo.astro.cz/jnoles>) 11



## **Část II**

# **Přílohy zprávy**

## Seznam příloh

Mapování světelného znečištění . . . . .	str. 19
Příklady mapování světelného znečištění . . . . .	str. 30
Úvod do praktické fotometrie pro laiky . . . . .	str. 41
Svícení jen dolů velmi sníží jas oblohy . . . . .	str. 43
Analýza znečišťovatelů světlem na území České republiky . . . . .	str. 48
České světelné emise dle satelitních dat . . . . .	str. 51
Světelné znečištění tmy z hlediska biologie . . . . .	str. 54
Stanovisko k osvětlení solitérních budov . . . . .	str. 57
Ptáci a světelné znečištění . . . . .	str. 58
Vliv světelného znečištění na veřejné zdraví . . . . .	str. 59
Umělé osvětlení a oko . . . . .	str. 64
Temná noc (fenomén noci v tradici křesťanství) . . . . .	str. 68
Některé psychologické aspekty venkovního osvětlení: bibliografie . . . . .	str. 70
Působení světla v průběhu spánku na změny krevního tlaku u zdravých dobrovolníků . . . . .	str. 73
Vliv světla na usínání a spánek . . . . .	str. 83
Vliv clonění světelného zdroje na hmyz s noční letovou aktivitou . . . . .	str. 86
Atmosférická extinkce v letech 1970 – 95 a příčiny světelného znečištění noční oblohy . . . . .	str. 95
Měření jasu noční oblohy . . . . .	str. 104
Jasy oblohy z klasické fotoelektrické fotometrie . . . . .	str. 109
Astronomická měření jasu oblohy . . . . .	str. 111
Další reference . . . . .	str. 114
 Výsledky průzkumu veřejného mínění	

# Mapování světelného znečištění

## 1 Co to je světelné znečištění

Znečištění je narušení přirozeného stavu prostředí. O světelném znečištění lze hovořit tehdy, kdy je právě světlo polutantem, látkou v prostředí cizorodou, nepatřičnou, nadbytečnou. Takové situace se začínají vyskytovat v době, když přirozeného světla valem ubývá, tedy během stmívání, zcela běžné jsou pak v noci. V noci se uměle přidané světlo stává nejnápadnějším a mnohdy i nejškodlivějším polutantem, který narušuje základní vlastnost noci, totiž absenci silného světla.

Jakékoliv antropogenní svícení v noci venku je nutně znečišťováním.

### 1.1 Svícení = bydlení?

Mapování světelného znečištění je tedy v elementární podobě prostě zjišťováním, kde se venku svítí. Takové mapování se vskutku provádí, pomocí snímků z družic, a je velmi účinné pro zjišťování, které oblasti jsou obydlené či dokonce urbanizované. Ukazuje se, že takových oblastí rychle přibývá, zejména mimo Evropu, připomeňme termín „urban sprawl“.

### 1.2 Svítí se i pro zapuzení duchů!

Zůstaneme-li chvíli u této elementární úrovně, musíme přidat ještě alespoň jeden odlišný případ, kdy se venku svítí. Nemám teď na mysli průmyslový lov na moři nebo spalování zemního plynu u ropných vrtů, ale svícení v areálech, které obydlené nejsou, naopak jsou v noci opuštěné, ale svítí se v nich vlivem pověry, že je světlo ochrání před zloději, lupiči, v té nejhlubší, nevyslovované, ale skutečně motivující úrovni zkrátka zlými silami líhnoucími se z noční tmy. Jejich osvětlování je zcela iracionální, neb nikdy nebylo prokázáno, že by svícení proti skutečnému nebezpečí (ne mýtickým silám a démonům, ale lidem) pomáhalo. Je zato známa řada případů opačných, kde účinně pomohlo vypnutí svícení, tedy přírodní tma (zejména [6, Clark, 2002 a 2003]).

Zmapování tohoto absurdního, kontraproduktivního svícení v uzavřených, nepřístupných areálech, kde je žádní uživatelé kromě zlodějů nemohou využít, by bylo zajímavé, ale není snadné. Na druhé straně, na lokální úrovni každý takové případy zná, existuje jich tak mnoho, že k celkovým českým světelným emisím přispívají alespoň na úrovni procent, v některých obcích mohou tvořit desítky procent.

Znalost takových míst nemá ale zásadní význam pro snížení emisí světla, neb ani identifikované majitele areálů nemusí být snadné přesvědčit, aby svítit přestali. Lidé se pověr vzdávají těžko. Místo identifikování míst a majitelů bude účinnější osvěta široké veřejnosti, že tma, ne světlo zvyšuje bezpečí, pokud nejde o dopravu, ale o vandalismus a kriminalitu vůbec.

### 1.3 Svítí se zkrátka na libovolné lidské výtvořiny

i když ne vždy a všude. Mapování světelného znečištění by snad mohlo najít případy, kdy se na nějaké stavby, pozemky kolem

nich či sklady pod širým nebem nesvítí, jakožto dobré příklady. Takové ale také každý zná a jejich soustavnější seznam by stěží byl k něčemu užitečný. Pro jednoduchost tedy předpokládejme, že se venku či ven svítí a tedy znečišťuje téměř kdekoli, a zabývejme se dalšími vlastnostmi takových činností.

## 2 Hodnocení světelného znečištění

Antropogenní světlo jdoucí do venkovního nočního prostředí znamená vždy znečišťování. Některé svícení považujeme ale v nějaké míře za téměř nutné či alespoň prospěšné, a znečišťování se alespoň někde a někdy zcela nevyhneme. Tak je tomu u leckterých lidských činností, např. u dnes stěží odmyslitelné motorové dopravy.

Ač znečištění světlem jako fenomén málokde vymizí, může se změnit jeho rozsah, závažnost a dopady. To je věc, na kterou má smysl se soustředit, neb je to věc ovlivnitelná. Chce-li někdo někde svítit, může to společnost většinou připustit, stejně jako provoz vozidel se spalovacími motory. Jen by pro svícení měla stanovit nějaké limity.

### 2.1 Kvalita: směřování světla a tzv. plně cloněná svítidla

Nejsnazším kritériem při posuzování znečišťování je kvalita svícení. Bránit majiteli, aby si svítil na své plochy, pokud si to přeje, je až poslední možnost, jak znečišťování bránit. Ta první možnost je požadovat, ať nesvítí jinam. Kontrola je triviální, stačí se postavit na plochu sousední, kterou nemá co osvětlovat, a podívat se, zdali jeho svítidla nezáří i sem, nám do očí. Někdy je světla tolik, že je (nepatřičně) osvětlení sousedních, cizích ploch zřejmé, i když do nich nevstoupíme. Typické je např. osvětlení fasád s okny, za nimiž už určitě nejsou veřejná prostranství spravovaná obcí. Kvalitou, kontrolovatelnou prostým pohledem, tedy nazvěme směřování světla. Kvalitní osvětlení nemíří na plochy, o jejichž osvětlení jejich majitelé či správci nepožádali. Svítit i na ně je znečišťováním ve smyslu velmi názorném, praktickém, a v legislativě se někdy pojem světelného znečištění zužuje právě takto: na světlo jdoucí kam nemá.

(Svítidlo je správný pojem odborný, ale pro výhradní používání v netechnickém textu poněkud těžkopádný; nadále budeme pro odlehčení textu jako synonyma pro svítidla užívat i slova lampy, světelné zdroje či pouze zdroje, ba i plurál světla.)

Za kvalitativní mapování světelného znečištění by tedy šlo považovat inventuru světla, jejíž emisní plochy jsou viditelné i z oblastí, které jimi osvětlovány nemají co být. V nejpřísnějším výkladu by to byla téměř všechna svítidla, neb v nějaké, velmi malé míře, jsou z rozlehlých vodorovných ploch či z oken bytů ležících pod nimi vidět i z dálky jako tenké světlé čárky. V interpretaci praktičtější ale jde o světla, která jsou nápadná, rušivá, oslňující až dominantní i z míst, kde takovými být nemají, tj. pro jejichž osvětlení nejsou určena. Taková nežádoucí vlastnost je

nesporná u světelných zdrojů, které jsou vidět i shora: nebe nepohybně osvětlovat nemají, neb to pozemského vlastníka nemá.

Kolik takových lamp je, prozradí v noci okamžitě pohled z kopce nad obcí či ze střechy vysokého domu. Pokud pozorovatel vyčnívá nad horizont příslušný ke svítidlu (horizont je čára, která ohraničuje z daného místa, v tomto případě od svítidla viditelný terén vč. domů, stromů apod.), světlo, které z takového zdroje vidí, by bez jeho přítomnosti šlo jen dále do ovzduší. Stejně tak ale může hledět z jiného místa ležícího nad zdroji světla, ač z jejich horizontu nevyčnívá, není-li jeho okolí a pozadí právě legitimním cílem daných svítidel (to by se mohlo týkat např. pohledu z vysoké budovy záměrně osvětlované jejím vlastníkem).

Všechny nápadné světelné body pod vámi či v dáli jsou svítidly zcela zbytečně znečišťujícími svícením do nepatřičných směrů. Dosud je to naprostá většina českých venkovních svítidel, vidět nebývají jen ta, která jsou zakryta terénními překážkami.

Výjimečných svítidel, která nikam nahoru nesvítí, je málo: stará, občas ale už i nějaká nová svítidla, jejichž horní neprůsvitný kryt dole vodorovně končí a nepokračuje níže žádným krytem průsvitným. Jako záměr se kdysi vyskytovala téměř jen na železnici, dnes se leckde vyskytují nezáměrně také jako staré lampy, jejichž spodní kryt vzal čas. Stále více firem, ale i obcí, občas sáhne po svítidle novém, které dole končí většinou vodorovným sklem, a nahoru při správné montáži také svítit nemůže. Z vyhlídky pak je vidět jen osvětlený terén, ale ne samotná mnohem světlejší ploška, z níž světlo vychází. Takovým svítidlům, jsou-li správně instalovaná, se říká v americké technické hantýrce „plně cloněná“, ale tento pojem nikde dosud nezdomácněl jako zcela srozumitelný pro technickou, natož širokou veřejnost.

Provést soustavné mapování existence takových minimálně znečišťujících, protože plně cloněných svítidel by vyžadovalo řadu nočních letů v nízké výšce, a asi by nepřineslo žádný velký užitek. Pro vzdělávací a osvětové účely postačí vyjmenovat známé dobré příklady. Kromě dlouho uváděných (Svitavy, centrum Brna, Pardubice) se ojediněle vyskytují i v menších obcích, nově se objevily i ve veřejném osvětlení Prahy (např. Českomoravská-Poděbradská, u křižovatky s Freyovou ve Vysočanech). Používají je mnohé nové obchodní domy.

I když se zdá dokazování, že téměř všechna instalovaná svítidla svítí i do nebe, vlastně zbytečné, vždyť to přece o nich každý ví, úplně zbytečné není. Byla publikována tvrzení lidí z oboru osvětlování (přesněji, čelných jeho představitelů), že dnešní nejběžnější svítidla nahoru nesvítí. Jejich kolega [3, Baxant 2001] je zkoušel informovat jedinou fotografií, že kupodivu svítí. V našem výzkumu jsme takových fotografií pořídili hodně, lidem, kteří se v noci nepohybují jinde než na rovině v přízemí by mohly pomoci. Pro lidi, kteří se na svět dívají v noci někdy i z nadhledu, potřeba skutečně nejsou. Pohledy na vlastní oči jsou ještě mnohem přesvědčivější, pokud se nad nimi člověk zamyslí.

### 2.1.1 Kde se bere ono světlo jdoucí nad terén

Není obtížné pochopit, proč každé svítidlo s průsvitným dolním krytem, šikmo shora viditelným, musí směrem nahoru svítit. Zvláště jednoduché je to tehdy, když onen kryt je vskutku pouze průsvitný a ne čirý, průhledný. Pak totiž světlo rozptyluje do všech směrů, a je-li odněkud patrný ve dne, v noci se takový kryt zapnutého svítidla nutně stává velmi nápadným zdrojem světla. Ale i zcela čirý kryt světlo nahoru hojně posílá. Alespoň osm procent se jej totiž vždy na krytu odráží, a pokud odrážející část je shora zdáli viditelná, nějaké světlo se odráží vždy i tímto směrem. Jedinou možností, jak tomu zabránit, je umístit spodní kryt až dovnitř krytu horního, neprůsvitného. Pak se světlo odráží vy-

hradně dovnitř a správně se recykluje, po jednom či několika odrazech v dutině může odejít ze svítidla opět jen dolů.

Pro úplnost dodejme, že existuje konfigurace, kdy spodní průhledný kryt světlo šikmo nahoru neodráží: to tehdy, když má jen svislé plochy (např. je tvaru válce). Pak odráží světlo jen dolů. Takové kryty se používají buď jako otevřené, nebo dole ukončené černě, neprůsvitně. Samozřejmě, vlastnost, že světlo nepřesměrovávají vzhůru, platí jen dokud jsou zcela čisté a čiré. Plastové kryty čiré po letech být přestanou, jen sklo vydrží beze změny optických vlastností a lze je kdykoliv očistit do původního stavu. V praxi je nicméně pro zdroje o příkonu přes padesát wattů rozptyl na takovém svislém či téměř svislém dolním krytu příliš vysoký.

### 2.1.2 Jde ale i o světlo jdoucí do dále

Kvalitativní kontrola pohledem shora není vždy snadno možná. Nahradit ji lze pohledem zdáli. Nápadná mají tehdy být jen světla signální, zejména semaforey, či sekundární světelné zdroje, jako osvětlené dopravní značení (to ale v případě orientačních tabulí nikoliv jako oslnivá plocha, ale jako plocha dobře čitelná). Jakékoliv jiné nápadné světlo odvádí pozornost, případně může i ztěžovat viditelnost detailů, které vidět být mají.

Plně cloněná svítidla se v dáli stávají velmi slabá, jejich rozdílná vzdálenost od pozorovatele je velmi zřetelná a pomáhají tak prostorové orientaci v nočním prostředí (stereoskopie má v noci dosah běžně alespoň o řád menší než ve dne).

Lampy, jejichž svítivost se neblíží nule, jak je postupně vidíme stále vodorovněji před sebou, naopak prostorovou orientaci ztěžují; jsou-li navíc různě silné či různě nakloněné, mohou zcela mást. V mnohých případech jsou zjevně oslňující. I když třeba jde o veřejné osvětlení, svítící na ulici, a hledíme na ně z téže ulice zdáli (takže světlo, které vidíme, by bez naší přítomnosti osvětlovalo tutéž ulici za námi). Kvalitativní hodnocení nám říká, že jde jednoznačně o světlo jdoucí nežádoucím směrem, znečišťující bez toho, aby sloužilo. Opora pro takové hodnocení ostatně existuje v technických normách, které se snaží maximálně limitovat světlo jdoucí výše než 80 stupňů od nadiru, čili směru svisle dolů (tedy výše než deset stupňů pod vodorovné směry). Takové světlo se považuje za kontraproduktivní, pokud jde o osvětlování terénu. Skutečně důsledně se ale svícení blízké vodorovnému v praxi omezuje jen na některých železnicích, v českém okolí na železnici švýcarské, do jisté míry i na německé a maďarské (maďarské dráhy za nedávnou nápravu dostaly v roce 2003 nevýznamnější světové ocenění v oboru snižování světelného znečištění).

Vidíme-li tedy plochy s jasně mnohonásobně vyšším, než má pozorovaný terén před námi, v úhlové výšce nižší než deset stupňů, a nejde o dopravní signalizaci, jde o ryzí světelné znečištění, které takto můžeme klasifikovat obdobně případu, že se jedná o světelné zdroje ležící pod námi.

### 2.1.3 Kvalitativní hodnocení

případů světelného znečištění nepřinášejícího žádný prospěch je tedy snadno možné pouhým pohledem na noční scénérii.

Pohled lze do jisté míry nahradit fotografií, omezení je v tom, že fotografie, zejména pak v podobě digitální, tím spíše pak video, již nedokáže dobře rozlišit mezi světly extrémně oslňujícími a světly přece mnohem méně znečišťujícími (dynamický rozsah lidského zraku je řekněme šest řádů, u digitálních snímků stěží dva řády). Obejít toto omezení lze pořízením celé série snímků s různými expozičními dobami, patřičnou názornost tím ale docílit nelze. Noční prostředí s oslnivými svítidly nelze současnými technikami nijak zobrazit (ani takové řešení není v dohledu, neb např. jas

výboje v hořáku sodíkové výbojky nelze reprodukovat jinak než právě takovým výbojem, v měřítku jedna ku jedné).

Fotografické galerie, které jsme pořídili v našem projektu, i snímky jiných autorů a snímky starší, jsou tedy jen nedokonalou ilustrací skutečně drastických případů světelného znečišťování a pobídkou vážným zájemcům, aby si některé ze zobrazovaných scén prohlédli ve skutečnosti.

Mluvíme tady ale vlastně již ne o samotném faktu svícení nepatřičnými, výhradně škodlivými směry, ale o rozlišování množství takového světla, o elementárním posuzování kvantitativním.

Přesto zmíníme jednoduchou metodu jak rozeznat, jestli je světlo od zdrojů, které být vidět nemají a přesto vidět jsou, rušivé a tedy znečišťující zvláště významně nebo naopak spíše zanedbatelné. Ta je na pomezí hodnocení kvalitativního a kvantitativního.

Metoda, doporučená mnoha světovými experty, spočívá v tom, že si vybrané nebo všechny nepatřičně viditelné zdroje zakryjeme, např. rukama či také předloktími (ještě pohodlnější, u zdrojů v dáli, bývá dlouhý štítek na čepici či sklápěcí protisluneční clona v autě). Jestli scénu před sebou pak vidíme lépe, pohled na ni je příjemnější, nebo dokonce scéna zprvu trochu ztmavne (to proto, že odpadne tzv. závojevý jas vznikající rozptylem světla z přímo viditelných svítidel v našich očích), jde o znečištění bezesporu závažné. Pokud nám připadá, že se pohled nezlepšil, že se scéna před námi nestala pěknější či lépe patrnou, s lepší možností postřehnout např. osobu v dále přecházející silnici, můžeme takové světelné znečištění označit sice za existující, ale méně podstatné.

Řidiči nad padesát let někdy protisluneční clonu v noci nejen z důvodů výzkumných, ale zcela praktických, sklápějí a udávají, že se jim pak v osvětlených obcích jede mnohem lépe ([17, Marková 2001]). To je důkazem, že světelné znečištění (ve smyslu zbytečného oslňování) běžným veřejným osvětlením je pro ně velmi relevantní. Takovou praxi lze doporučit i dalším, pokud jim omezení výhledu příliš nevádí.

#### 2.1.4 Některé typické výsledky, hodnocení na základě konstrukce a orientace svítidel

**Nakloněné světlomety** Pohledy na noční krajinu prozrazují, že extrémně znečišťující jsou všechny nové světlometové věže nad nádražími, většina světlometů osvětlujících budovy a jiné artefakty, světlomety osvětlující oplocené areály autobazarů, svítidla nad sjezdovkami a většinou stadiónů. Společné je pro ně to, že u nich nejde o rozptyl či odraz světla na spodním vyčnívajícím krytu svítidla, protože svítidla jsou nakloněna a kryt již není spodní. Jde o světlo přímo z hořáku výbojky, které jde do dále a vzhůru, při extrémních náklonech nad 60 stupňů tam bývá směřována část i světla odraženého zrcadlem uvnitř dutiny svítidla.

To se projevuje extrémním oslňováním při pohledu zblízka, naprostou dominancí takových světel při pohledu na obec z dále či výšky, někdy i světelnými sloupy v ovzduší, při nízké oblačnosti její osvětlenou spodní základnou, při bezoblačném nebi výrazně světlejší oblohou zejména v malých úhlových vzdálenostech od takového zdroje.

Obranné strategie jsou možné dvě, vyplývající z pochopení, proč jsou takové zdroje tak velmi znečišťující. Jedna, řekněme low-tech, spočívá v doplnění svítidla větším neprůsvitným krytem tak, aby dolní ústí krytu bylo vodorovné. Druhá strategie, svícení vzhůru a do dále nebránící stoprocentně, ale řádově je snižující, spočívá v doplnění vhodně tvarované a umístěné plechové clonky před hořák výbojky (či vlákno žárovky) tak, aby žádné přímé světlo nemohlo odcházet do nežádoucích směrů a bylo místo toho přeměřováno na zrcadlo, odkud pak jde do směrů

žádoucích. To je technika důvěrně známá všem automobilistům, právě tak fungují klopená světla, na rozdíl od dálkových. Stejná technika se používá u kvalitních světlometů pro osvětlení stadiónů, a není důvodu, proč by se neměla používat u všech světlometů, u nichž není vyloučeno jejich provozování v nakloněné poloze. Naopak je zde prostý přídavný důvod, proč ano: díky recyklování světla, které by jinak bylo vyplýtváno, lze snížit příkon svítidla. Autor vhodnost recyklace přímého světla z hořáku mnohokrát odborníkům doporučoval i pro běžné veřejné osvětlení, až v letošním roce mu německý kolega ukázal příklad, kdy takovou optiku skutečně firma [www.abelegeiger.de](http://www.abelegeiger.de) ze Stuttgartu vyrábí (s výhodou skvěle rovnoměrného osvětlení i při velké rozteči svítidel vzhledem k jejich výšce, i s výhodou omezení úniku světla mimo osvětlovanou cestu).

**(Téměř) všesměrová svítidla** Nejběžnějším případem, kdy lze kvalitativní hodnocení provést téměř stejně dobře i ve dne, jsou ale holé výbojky patrné v průhledných lucernách. Pokud nejsou umístěné v zrcadlové dutině ve vrchlíku lucerny, ale svisle ve středu lucerny, pak svítí nejvíce právě oslnivými, kontraproduktivními vodorovnými směry. Zejména starším osobám s méně průhledným očním prostředím tak vůbec nejsou schopny terén osvětlit tak, aby na něj bylo dobře vidět, protože svět jim zahalí do zdánlivé mlhy vznikající rozptylem jejich světla v očích. Holé výbojky s čirými baňkami jsou kromě toho extrémně oslnivé vinou toho, že blízko zorného bodu (směru, kam zrovna hledí) mají lidé zpravidla korundový hořák vysokotlaké sodíkové výbojky s nesmírně vysokým jasem. Snížení tohoto extrémního jasu se docílí užitím alespoň matné baňky výbojky, nebo matným, jen průsvitným krytem svítidla. V případě mléčných koulí se tím také vzhledem k jejich tvaru sníží nežádoucí horizontální svítivost lampy a stane se stejnou, jako svítivost do jiných směrů. Do horního poloprostoru, často tedy zcela neužitečně jen do nebe, jde pak ale i tak polovina světla z lampy.

Zvýšení podílu světla jdoucího dolů se docílí u svítidel podobné konstrukce, která nemají kryt matný, pomocí soustavy clonek kolem výbojky. Ta také sníží jas svítidla při pohledu z vodorovného směru či shora. Přesměrování je ale vždy jen nevalné. Taková svítidla oslňují sice méně extrémně, ale přesto vydatně, svítí vodorovně a nahoru mnohem více, než běžná svítidla, v nich je výbojka uvnitř neprůsvitného horního krytu.

Průzkum ukazuje, že skutečný důvod používání všesměrových svítidel není v tom, že by někdo oceňoval jejich funkci v noci, ale v tom, že hodnotí bez znalosti funkce jejich vzhled ve dne, případně na začátku soumraku. Tehdy totiž, při ještě dosti silně přírodně osvětlené krajině, skutečně mohou působit mile a dekorativně. Po setmění, natož pak v prostředí kde jiné oslňující plochy nejsou, jsou ale vždy nepříjemné a kontraproduktivní z hlediska pozorovatelnosti scény, kterou mají osvětlit.

Zejména u takových svítidel, která do dále svítí stejně jako dolů, je poučné jejich zakrytí rukou a pozorování scény, jak by mohla vypadat, kdyby lampy nesvítily do očí. Nesetkal jsem se s případem, že by někdo považoval takovou scénu za méně pěknou.

Běžnou nápravou, kterou lze vidět v řadě obcí, je jejich natření ze strany, kde lidem nejvíce vadí, černou barvou. Alternativní řešení s recyklací světla je použití odrazné vrstvy, buď vnější samostatné clony nebo umístění aluminiové vrstvy přímo do některé části svítidla.

Jinou, univerzálně použitelnou možností je náhrada výbojky uvnitř svítidla kompaktní zářivkou. V mnoha případech je i pak osvětlení terénu dostatečné, zejména v kombinaci s osvětlením přírodním nebo se světlem dalších umělých zdrojů, přímým nebo



nepřímým. Tím, že klesne oslnění, na terén pak bývá vidět i lépe. Z nepříjemného zdroje oslnění se při užití dostatečně slabé zářivky může stát příjemná světelná ozdoba. Často zmiňovaná nevýhoda zářivek oproti výbojkám, že ve velkém mrazu svítí slaběji, je mnohdy kompenzována skutečností, že tehdy bývá terén zasněžený a pro dokonalou orientaci stačí pětikrát slabší osvětlení. (Při mapování světelného znečištění jsme si takových příkladů, kdy výbojky byly zjevně nahrazeny zářivkami, také povšimli.)

Pro úplnost dodejme ještě zmínku o zcela holých výbojkách, dnes se vyskytujících většinou již jen v malých obcích. Oslnění bývá mírně omezeno jen tím, že jde o výbojky s matnými baňkami. (Obdobou jsou městská svítidla s čirými výbojkami, ale s rozbitými kryty, ty oslňují zvláště moc.) V jinak málo dotčeném venkovském nočním prostředí jsou takové výbojky, zpravidla na poměrně vysokých stožárech, zvláště znečišťující, např. atrakcí nočního hmyzu z velkých dálek.

Zatímco takové holé výbojky jsou na ústupu, jiná, podobně znečišťující nová svítidla všude přibývají. Je to nejen vinou jejich posuzování jen ve dne či na začátku soumraku, ale zřejmě i vinou přesvědčení, že světlo je vždy dobré, kdekoliv se jej přidá, a čím víc jej je. Zkrátka vinou nevědomosti, že světlo, ač leckdy v noci užitečné, je současně významným polutantem. A že svícení do očí, které mladým lidem zas tak moc nevadí, je vůči starým maximální bezohledností.

### 2.1.5 Spektrální složení světla, typy výbojek

Kvalitativní hodnocení snadno rozliší také čtyři základní typy složení světla, totiž podle toho, jestli je produkováno výbojkou rtuťovou, vysokotlakou sodíkovou, halogenidovou, případně kompaktní zářivkou. Vzácnější jsou u nás případy, kdy jde o nízkotlakou sodíkovou výbojku.

Takové rozlišení má význam vzhledem k tomu, že prakticky pro všechny živočichy včetně lidí se v nočním prostředí maximálně škodlivě projevuje krátkovlnná složka spektra, tj. modré světlo a ev. ultrafialové záření. Těchto složek je daleko nejméně, až zanedbatelně v záření nízkotlakých sodíkových výbojek. Ty lze rozpoznat na základě syté žluté, nikoliv oranžové barvy. Vysokotlaké sodíkové výbojky mají takový odstín jen kratičce během fáze, když se rozsvěčují, pak se jejich odstín stane výrazně oranžovější, a v jejich světle začnou být dobře rozlišitelné barvy, i když modrá se jeví jako dosti tmavá. To proto, že modré složky je ve světle vysokotlakých sodíkových výbojek poměrně málo. Škodí sice přírodě, to jest zejména hmyzu, více než nízkotlaké výbojky, ovlivňují také mnohem více receptory na sítnici lidského zraku, které řídí produkci melatoninu a cirkadiánní rytmus (gangliové buňky s pigmentem melanopsinem), ale jsou výrazně méně škodlivé než zdroje se světlem bělejší, s hojnější modrou složkou.

Nejstarší užívané primární zdroje světla, totiž vlákna žárovek, dnes venku užívají běžně jen domácnosti a firmy, používající je pro osvětlování svých reklamních ploch. V panoramatu noční urbanizované krajiny je stěží lze postřehnout.

Kdysi ale žárovky byly dominantní, rozhodně ještě v padesátých letech dvacátého století. Jak říkají odborníci ze všech koutů světa, vývoj byl takový, že se postupně nahrazovaly výbojkami rtuťovými a pak vysokotlakými sodíkovými, aniž by se ale patřičně snižoval příkon svítidel, která často jsou celou dobu na stejných místech. Jenže účinnost dnešních výbojek je alespoň šestkrát vyšší než účinnost nových žárovek a až desetkrát vyšší než účinnost žárovek starých. Tak se stalo, že světla ve starých lokalitách např. šestkrát přibýlo. Samozřejmě, přibýlo i osvětlovaných lokalit... Už z této prosté úvahy vyplývá, že množství

světla uměle přidávaného do nočního prostředí vzrostlo za půl století jistě alespoň desetkrát.

Potěšujícím trendem je, že příkony svítidel se při rekonstrukcích v dobách po pádu totality, kdy cena elektřiny přestala být zanedbatelná, snižují, ne ale na šestinu, nýbrž většinou jen o třetinu, málokdy více než o polovinu. A světla přitom většinou ani neubývá, zejména pokud se nahrazují velmi staré rtuťové výbojky, které svítí opravdu velmi málo, někdy dokonce i méně než žárovky stejného příkonu. Nebo pokud se nahrazují stará svítidla s velmi špinavými a absorbujícími kryty svítidly s kryty novými. Pak dokonce mohou světelné emise nových svítidel nad danou lokalitou stoupnout na několikanásobek emisí svítidel starých.

Rtuťových výbojek rychle ubývá, ale dosud je lze najít i ve velkých městech, ve starých svítidlech. Jejich škodlivost je obecně nejvyšší, protože mají největší modrou a ultrafialovou složku záření. Na druhé straně, jak naznačuje předchozí odstavec, náhrada staré, velmi slabé rtuťové výbojky novou sodíkovou může situaci zhoršit, i z hlediska atrakce hmyzu. Jak dokázal Eisenbeis [7, 1999], rtuťové výbojky sice přitahují hmyz zhruba třikrát méně než sodíkové, ale když emitovaný světelný tok vzroste na více než trojnásobek, výhoda sodíkové výbojky je tatam. Je nicméně možné, že lidské receptory s melanopsinem jsou světlem spektrálního složení, jaké dávají rtuťové výbojky, ovlivňovány ještě více než trojnásobně oproti světlu vysokotlakého sodíkového výboje (to v zásadě není složité prozkoumat, ale náš projekt to již nezahrnul, to by musel být nejméně měsíční, ale alespoň dvouletý).

Velmi staré rtuťové výbojky se poznají podle výrazného modrozeleného nádechu, i podle toho, že bývají nápadně slabé. Nové rtuťové výbojky mohou působit poměrně bíle, tehdy už je ne snadné je spolehlivě na první pohled rozlišit od výbojek halogenidových.

Halogenidových výbojek naopak všude přibývá, což je trend škodlivý. Nejen z hlediska škodlivosti produkovaného světla pro lidské zdraví a pro volně žijící živočichy, ale i proto, že jsou méně účinné než výbojky sodíkové, dokonce i než zářivky stejného příkonu. Jejich užívání tedy znamená plýtvání elektřinou, pokud jimi chceme docílit stejně silného osvětlení. Znamená také větší množství odpadu, a to dokonce nebezpečného odpadu – mají krátké životnosti, ne 24 tisíc hodin, jako dobré sodíkové výbojky, ale sotva poloviční, a navíc obsahují výrazně více rtuti.

Osvětlovací průmysl uvádí různé argumenty pro užívání bílé svítících halogenidových výbojek. Např. že bílé světlo je výhodnější pro noční vidění nebo že lidé nemají sodíkové světlo rádi. Takové argumenty platí jen zcela výjimečně, a výjimečné by mělo být proto i použití takových výbojek. V podstatě by mělo být vyhrazeno pro účely, kde je nezbytné vynikající podání barev, obdobně situaci ve dne. To jsou typicky jen situace příležitostného osvětlování, jako jsou sportovní zápasy přenášené televizí. Tam, kde není nutno předstírat den, je sodíkové světlo vhodnou náhradou prastarého osvětlování „otevřeným ohněm“, jaké se používalo jako jediné existující až téměř do konce devatenáctého století, náhradou velmi podobného barevného odstínu. Náhradou, která, není-li přehnaně silná, může vytvářet podobně útulnou večerní či noční atmosféru.

Pro úplnost dodejme, že bílé světlo také může napodobovat osvětlení, které v noci existovalo již dávno, totiž osvětlení Měsícem. To ale musí být patřičně slabé, Měsíc neposkytuje nikdy více než čtvrt luxu. Na úrovni desetin luxu a menší je užití bílého světla adekvátní, to ale pak zdrojem nebudou vysokotlaké výbojky, ale asi jen kompaktní zářivky. Pro takové poměrně slabé světlo se už skutečně začíná významně uplatňovat i noční vidění, které je na červenou složku světla necitlivé, zato na modrou nej-

citlivější. Při hodnotách už kolem jednoho luxu ale osvětlování s hojností modré složky ztrácí výhody a začínají převažovat nedostatky.

Je jen málo lokalit, kde se u nás užívají výbojky sodíkové nízkotlaké – např. část Lanškrouna, Karviné, ojedinělá světla ve Zlíně. Kromě výrazně žluté barvy lze pro jejich identifikaci použít test, jak rozlišujeme barvy. Pokud se modrá i červená stává jen „šedou“ (vlastně žlutou), jde zcela jistě právě o tento typ světla, takřka úplně monochromatického. Samozřejmě, zcela jednoznačnou odpověď dá pohled na jejich spektrum, např. užitím CD coby difrakujícího zrcadla, to ale je způsob, který většina lidí neumí použít.

Nízkotlaké sodíkové výbojky se u nás dosud umísťují do špatně směřujících svítidel, stejně tomu bývalo po desetiletí všude na světě, kde se s nimi hojně svítilo. Nelze proto obecně říci, že osvětlení nízkotlakými sodíkovými výbojkami je nejméně znečišťující. Špatné směřování jejich světla, hlavně výrazné svícení do očí, vedlo k jejich nepopularitě. Jsou ale aplikace, kdy se jejich světlo dá směřovat na cílový terén dobře a oslňování potlačit na zvláště nízkou úroveň, a tam by měly mít nízkotlaké výbojky vždy přednost. Až na několik druhů hmyzu (zejména světlušky) jsou totiž pro hmyz minimálně atraktivní, a naše receptory s melanosinem pravděpodobně vůbec neovlivňují, pokud osvětlenost očních víček nepřesáhne několik luxů. Tam, kde je požadováno celonoční osvětlení, zejména pokud jde o obytné čtvrti, by proto měly být používány zcela přednostně. Tam, kde je zvečera žádoucí mít možnost rozlišit barvy, je vhodné k jejich světlu přidat nevelké množství bílého světla. To někde poskytují dostatečně např. výlohy obchodů nebo okna budov, jinde lze užít svítidla s více výbojovými trubicemi, z nichž jedny jsou běžné zářivky, které se později v noci vypnou. Zdá se to komplikované, ale ve Vídni je to běžné už desítky let, jen se jedná o samé zářivky, ne střídání se sodíkovými trubicemi. Vzhledem k dnešním znalostem by ale užití nízkotlakých sodíkových trubic bylo na místě.

Pohledy na obce a osvětlené lokality v České republice (stejně jako fotografie) dokazují, že naprostá většina světla v nočním venkovním ovzduší je produkována vysokotlakými sodíkovými výbojkami. Ojedinělé, obvykle zvláště silné bílé světlo je pak dnes většinou z výbojek halogenidových – kromě občasného osvětlení stadiónů také bohužel dlouhodobé osvětlení stavenišť a osvětlení mnohých budov. Takových případů ale není tak velký podíl, aby skutečnost, že místo sodíkových jsou použity halogenidové výbojky, výrazně něco změnila na stupni světelného znečištění české noci. Naprostá většina znečištění pochází z vysokotlakých sodíkových výbojů (vysoko- znamená, že v trubici není při výboji docela slušné vakuum, ale že je tam zhruba stejný tlak jako v ovzduší kolem nás).

Dosluhující svítidla se rtuťovými výbojkami jsou ale místy významným zdrojem znečištění, a podobně jako v Rakousku či Německu je správné doporučovat alespoň výměny výbojek za sodíkové (taková možnost existuje i pro stará svítidla), lépe pak i výměnu celých svítidel za plně cloněná a směřující světelný tok v naprosté většině jen na cílovou plochu.

## 2.2 Kvantita: kolik světla

Každé uměle přidané světlo je venku v noci znečištěním, i když jde na legitimní cílové plochy. Bránit osvětlování vůbec lze jen výjimečně, ale bránit osvětlování přehnaně silnému je zcela v pořádku. Příroda nám dává najevo, že i dost málo světla stačí, abychom již mohli zvolna číst, rozlišovat barvy, dokonale, ač ne bleskurychle se orientovat: tolik, kolik poskytuje za jasného počasí úplněk, dvě desetiny lumenu na metr čtvereční (tedy na plo-

chu kolmou ke světlu dvě desetiny luxu). Desetinásobek umožňuje adaptovanému zraku číst jakýkoliv text, stonásobek umožňuje jakékoliv aktivity prakticky stejně jako ve dne (nestačí sice levnějším televizním kamerám, nejcitlivějším ale ano). Není divu, že technické normy pro osvětlování terénu (či komunikací, jak zní technický termín) nepožadují více. Pokud někdo má dojem, že je to málo světla, bývá to jen tím, že je oslněn, že jeho zrak není přizpůsoben takovému umělému soumraku.

Za znečišťování bez diskusí, protože zcela zbytečné, pro nikoho nepotřebné, lze tedy označit osvětlení silnější než jsou uvedené meze. Užitečným mapováním znečištění je pak identifikace takových případů.

Jiný případ užitečnosti kvantitativních údajů se týká posuzování světla, která svítí do směrů evidentně nežádoucích, tedy svítidel zbytečně znečišťujících. I u nich jde nejen o samotný fakt, že svítí špatnými směry, ale i o to, jak moc tam svítí. Na pohled snadno poznáme, která se světla pod námi či v dáli před námi jsou nejsilnější a tedy nejhorší. Jiná se nám mohou zdát již přijatelná, ale to může být jen v kontextu těch mnohem horších, nebýt jich, jako nemile oslnivá by většina pozorovatelů mohla hodnotit i světla taková.

Konečně, doposud neprobádanou otázkou jsou reálné světelné emise osvětlovaných obcí a krajiny vůbec do směrů jen mírně šikmo vzhůru. Satelitní měření jsou schopna získat užitečná data až pro směry strmé, pro výpočty umělého zvýšení jasu oblohy se proto používá dosud starého Garstangova předpokladu ([4, Cinzano 2000a] a dále).

Tím se ale dostáváme k problému, jak světlo v exteriéru měřit. V jeho řešení spočívalo těžiště našeho projektu.

## 2.3 Měření jednoduchými prostředky

### 2.3.1 Luxmetry

Řekneme-li měření světla, vybaví se pojem luxmetr. Luxmetry jsou běžně používány hygieniky, kteří hlídají dostatek světla na interiérových pracovištích a obecně v budovách. Problémem užití luxmetrů pro výzkum nočního prostředí je, že ty běžné jsou velmi málo citlivé. V nočním exteriéru má být málokde vyšší intenzita osvětlení (čili osvětlenost) než deset luxů, to je ale hranice použitelnosti obvyklých přístrojů, neb nejistota jejich měření je v řádu jednotek luxů.

Existují samozřejmě přístroje mnohem citlivější a přesnější, ale jejich ceny bývají v řádu statisíců korun a málokdy se vynášejí z laboratoří, kde jsou umístěny. V české praxi se venku používají ještě luxmetry firmy Minolta, jejich cena je ale stále ještě pro běžné uživatele dosti vysoká, jsou to desítky tisíc korun.

Během řešení projektu jsme našli (přesněji, doporučil je expert ze Spojených států) vhodné přístroje v ceně pod deset tisíc korun, od firmy Extech. Jejich citlivost činí setinu luxu, což je dostatečné pro většinu aplikací, s výjimkou přímého studia jasu přírodní noční oblohy. Zakoupili jsme postupně dva rozdílné moderní typy, levnější EA30 a dražší EA33 (s možností stanovování průměrných hodnot atd.). Šlo nejen o porovnání jejich možností, ale také o vzájemné ověření jejich údajů. Doplňkem byl pak levnější a v Česku běžnější přístroj firmy Luxtron LX-105, který se podařilo zakoupit zlevněný na třetinu (na patnáct set korun) a následně opravit. Ten ovšem indikuje jen celé luxy a sloužil pro měření v hodně osvětlených místech a také pro pomocné ověření správnosti údajů citlivějších luxmetrů (ty jsou přece jen oba od stejného výrobce a se stejným čidlem).

Zajímavým výsledkem užití luxmetrů Extech bylo zjištění, že po většinu listopadových nocí s nízkou oblačností, ale tmavou,

nezasněženou krajinou nepoklesla osvětlenost otevřeného terénu v městské části Brno-střed ani ve vzdálenosti stovek metrů od nejbližších svítidel (na Kraví hoře, na Žlutém kopci) pod tři desetiny luxu, byla tedy na úrovni trojnásobné oproti požadavku české normy na osvětlování pěších, nepřilíš intenzívně využívaných komunikací.

To je již údaj, ze kterého lze spočítat emise z primárních a dalších zdrojů směrem vzhůru – činí v této oblasti o ploše asi čtyř kilometrů čtverečních asi půl lumenu na metr čtvereční, celkově tedy asi dva milióny lumenů (za předpokladu, že oblačnost vrátí dolů tři pětiny světla). Stručná předběžná diskuse k tomu je, že emise ze samotných svítidel (většinou jdoucích dolů) ve stejné oblasti lze odhadnout na třicet miliónů lumenů (asi pět tisíc svítidel v průměru po šesti tisících lumenech), při albedu terénu deset procent by tedy vzhůru mělo jít alespoň tři milióny lumenů. To by ale platilo pro terén plochý, bez domů a vegetace. Skutečný terén je velmi členitý, jeho emise jsou proto spíše poloviční, zbývá tak i rezerva na přímé emise ze svítidel do horního poloprostoru (ty lze odhadnout na několik procent emitovaného světla).

(Teprve během psaní této zprávy si uvědomuji, že měřením jasů zatažené oblohy v různých směrech a z různých míst, při známé výšce spodní základy oblačnosti, lze zjistit přibližné rozdělení svítivosti města do různých směrů vzhůru, takové studium jsme ale v rámci projektu nezapočali, jen poukázání na tuto možnou metodu je jeho výsledkem. To ale předbímám, jas oblohy se luxmetrem dá měřit nepřilíš dobře.)

### 2.3.2 Solární články

Možnost používání fotovoltaických solárních panelů pro měření slabého světla vyzkoušeli a publikovali [16, Kerschbaum, Posch a Bleha, 2003]. Výhodou je jednak láce měřicí soupravy a jednak možnost měřit i velmi slabé osvětlenosti na úrovni mililuxů.

V našem projektu jsme tuto možnost též pozitivně ověřili, s užitím několika typů malých levných solárních panelů a nejlevnějších multimetrů.

Testován byl solární minipanel firmy Solartec SMP 3-350, s osmi solárními články v sérii, v ceně asi šesti set korun, alternativou byly souvislé řezy firmy Tetom, či dva články v sérii téže firmy, zhruba poloviční ceny. Veškeré panely měly plochu asi jednoho decimetru čtverečního. Použité multimetry mají označení HC-DT830 (ale zcela shodné se prodávají i pod označeními jinými) a jejich (zřejmě „akční“) cena byla sto korun.

Z teorie lze očekávat, že proud nakrátko, poskytovaný panelem, je úměrný jeho osvětlenosti. Bohužel, pro slabé světlo je nutno užívat takového rozsahu levného multimetru (do dvou set mikroampér), kdy je jeho rezistance nezanedbatelná, totiž jeden kilohm. Tam pak přímá úměrnost již tak zcela neplatí. Pro panely ze souvislých řezů je to rezistance příliš vysoká, ty by byly vhodnými čidly jen pro jiná, dražší měřidla. Panel se dvěma řezy v sérii je již použitelný, s citlivostí asi deseti mikroampér na lux, tedy s možností měřit až setiny luxu.

Jako nevhodnější pro použití s daným levným multimetrem se ukázal solární SMP 3-350, a to v režimu měření napětí jen s velmi malým odběrem, při zátěži zhruba třetiny megaohmu. Tam je citlivost soustavy mnohem vyšší, zhruba sto milivoltů na lux při osvětlenostech kolem pěti luxů, podobně i pro přírodní světlo během soumraku. Pro slabší přírodní světlo stoupá citlivost na dvojnásobek (v oblasti kolem jednoho luxu), pro velmi slabé světlo Měsíce se blíží třem stům milivoltů na lux, podobnou lze čekat pro světlo přírodní noční oblohy. Multimetr indikuje desetiny milivoltu, lze proto čekat, že se jím dají dobře měřit osvětlenosti na úrovni už jednoho mililuxu. Závislost napětí na

osvětlenosti je sice nelineární, to je ale jen mírnou komplikací, tím spíše, že při tak nízkých hodnotách je většinou zcela postačující přesnost řekněme třiceti procent. (Podrobněji viz novější data v další příloze v části „Uměle zvýšený jas noční oblohy“.)

Lze tak zjišťovat velmi jednoduše i jas noční oblohy, a to už od úrovně zcela čistého přírodního nebe za jasné noci. Provedená orientační měření dvěma metodami (digitálním fotoaparátem a daným solárním článkem) dávají dobře se shodující výsledky.

Pro rutinní použití takové soustavy při měření slabého světla je ještě nutné provést podrobnou kalibraci solárního panelu s použitím světelných zdrojů různého spektrálního složení (citlivost soupravy pro velmi slabé světlo je pro přírodní zdroje vyšší než pro umělé, pravděpodobně vlivem jejich silnější jak modré, tak i infračervené složky). Při tom do budoucna počítáme s prací studentů pedagogické fakulty a následně s publikováním typických vztahů pro daný typ článku a multimetru.

Rozdíl solárního panelu oproti luxmetru je dále v tom, že panel je méně citlivý na světlo jdoucí z boku. To v některých případech (světlo jde z prostorového úhlu nepřevyšujícího dva steradiány, kolmo k panelu) nevádí, pro situace jiné, např. jasů zhruba stejného ve všech směrech, lze hodnoty přepočítat. Bylo by samozřejmě možné, za cenu snížení citlivosti soustavy, doplnit solární panel matnou kopulkou obdobnou jako mají luxmetry, ale to je již záležitost až eventuálních dalších kroků.

### 2.3.3 Vizualní fotometrie

Pro posuzování, jak je které svítidlo v dálí jasné, je nasnadě užít stejnou metodu jako při pozorování proměnných hvězd na nebi, tj. vizualní porovnávání různých takových vzdálených světelných bodů, s tím, že u některých víme, jak jasné jsou. U pozorování proměnných hvězd dosahují zkušení pozorovatelé přesnosti desetiny magnitudy, tj. deseti procent, dokonce i úplní začátečníci docílují přesnosti lepší než půl magnitudy (tedy v rozmezí dvou třetin až tří polovin správné hodnoty).

Problémem je jen, s čím umělé hvězdy představované vzdálenými lampami srovnávat. Jsou totiž většinou mnohem jasnější než nebeské světelné zdroje, až na Měsíc, a kromě toho jsou jiného barevného odstínu a v jiném směru.

Během projektu jsme jako velmi dobrou možnost ověřili porovnávání vzdálených sodíkových lamp s plamenem svíčky.

Svíčka má pozoruhodnou vlastnost, že má svítivost zhruba jedné kandely... řečeno postaru, jedné svíčky. To když se na ni díváme z boku. Nebývá to polovina (leda u tenkých svíček dortových apod.) nebo dvojnásobek. Rozdíl mezi různými plameny svíček jsou pozoruhodně malé. Pro základní kvantitativní posouzení je proto možné použít svíčku coby tradiční standard. Samozřejmě, lze její svítivost ověřit luxmetrem, ze vzdálenosti jednoho metru má být hustota jejího světelného toku jeden lumen na metr čtvereční, aneb osvětlenost plochy namířené rovnou na ni právě jeden lux. Luxmetrem lze samozřejmě zjistit svítivost i jiných zdrojů, všelijakých elektrických svítidel, to má ale základní problém v tom, že jejich svítivost velmi závisí na jejich momentálním napájení, což u přenosných zdrojů s bateriemi, zvláště v chladných nocích, znamená nutnost opakované kontroly luxmetrem.

Během projektu jsme se snažili najít jiný snadno přenosný zdroj světla než svíčku, u kterého bychom mohli dostatečně spolehlivě říci, jakou má svítivost, ale žádný opravdu vhodný a přitom levný jsme nenašli. Jako použitelná se ukázala solární svítidla firmy ZPA, v ceně asi čtyř set korun. Jde o žlutou, mírně matnou LED s vrcholovým úhlem maxima svítivosti necelých třicet stupňů, napájenou dvojicí NiCd akumulátorů dobíjených amorfním solárním článkem o ploše necelého decimetru čtverečního.



V nabitém stavu má LEDka svítivost až dvě kandely, při napětí článků 2.32 V ještě 1.50 cd, při nižším napětí už svítivost rychle klesá.

Pro sodíkové výbojky má svíčka ještě tu vhodnou vlastnost, že má podobný barevný odstín, a že je tedy snadné je vzájemně porovnávat. I užitá žlutá LED měla podobný odstín, poněkud sytější než výbojka, zatímco svíčka poněkud méně sytá. Výhodou LEDky je nezávislost na větru a v interiéru pak nulové nebezpečí založení požáru. Metoda vizuálního měření jasnosti (definice veličiny jasnost viz Hollan [1, 1999]) vzdálených lamp (či dle SI, hustoty světelného toku od takového zkoumaného svítidla) srovnáváním se zdrojem známé jasnosti (svíčkou) pak spočívá v tom, že svíčku pozorujeme postupně z různých vzdáleností, až najdeme takovou, kdy se daná lampa a svíčka jeví stejně jasné. Při srovnávání je takřka nezbytné docílit toho, aby oba zdroje byly na pohled stejně velké (jinak zaujmají různé prostorové úhly, čili při stejné hustotě světelného toku mají různé jasy). Nejsou-li tak daleko, že se jeví bodové, je řešení je opět stejné jako v astronomické vizuální fotometrii, totiž dostatečné rozostření. Krátkozraký pozorovatel s alespoň šesti dioptriemi si prostě sundá brýle, pozorovatel s normálním zrakem si nasadí silné spojky. Šest dioptrií nemusí stačit, pokud je jeden zdroj výrazně úhlově větší nebo pokud pozorovatel nemá plně otevřenou pupilu (místo sedmi milimetrů ji má např. jen třímilimetrovou), pak je nutno použít dostatečně silné lupy (máme-li jen jednu, pak pozorujeme jen jedním okem, což je trochu méně přesné).

Touto metodou jsme testovali, která svítidla v dáli jsou jasnější než jeden mililumen na metr čtvereční. Tak jasná je standardní svíčka ve vzdálenosti 32 metrů, má-li onu jednu kandelu. To lze klidně zaokrouhlit na třicet metrů. Umístíme-li tedy svíčku takto daleko od sebe, jde o to říci, které lampy jsou jasnější a které slabší než ona.

V případě hvězdárny na Kraví hoře v Brně jsme, ke svému překvapení, zjistili, že takové lampy z ní nejsou vidět žádné. Desítky oslnivých lamp jsou těsně pod tímto benevolentním, ale důvodným limitem. Letmý výpočet pak ukázal, že takový výsledek jsme mohli očekávat, nejbližší viditelné lampy byly vzdáleny přes dvě stě metrů a žádná nebyla směřována směrem k nám ani neměla příkon přes sto wattů.

V případě hvězdárny v Pardubicích, která jako jedna z mála stojí přímo v husté městské zástavbě, svítidla překračující tento limit ale existují, bylo jich identifikováno přes čtyřicet. To jsou ta, která opravdu stojí za to zaclonit, aby návštěvníkům hvězdárny nesvítily tak silně do očí a nebránily jim v tom, aby (ač na světlém) městském nebi viděli hvězdy.

Svíčka má nedostatky v tom, že bývá příliš silná (pokud ji nemůžeme umístit dost daleko od sebe) a že se těžko používá ve větru (i když nezhasne, je pak její svítivost proměnlivá, často hodně zmenšená). První problém lze snadno řešit použitím černého skla, které odráží jen čtyři procenta světla, nebo skla obyčejného, které jej odráží osm (pokud světlo nedopadá příliš zešikma), např. okna. Při pozorování obrazu svíčky v černém skle může pak svíčka být opticky jen šest metrů daleko (tj. např. těsně u pozorovatele, když má černé zrcátko tři metry od sebe). To už jsou rozměry, které stěží kde mohou činit problémy. Použití LEDky je obdobné, mírnou nevýhodou je jen nutnost LEDku pečlivě směřovat.

Lidé, kteří chtějí spát, vnímají obvykle jako rušivé již osvětlení zhruba setiny luxu, tedy takové, jako poskytuje svíčka vzdálená deset metrů. Pokud je rušivé osvětlení způsobeno jedinou vzdálenou lampou přímo svítící do očí, lze změřit, jak silné osvětlení poskytuje, opět srovnáním se svíčkou. Nejsnadněji tak, že pozorujeme odraz svíčky na jednom skle okna, u něhož stojíme.

Obraz svíčky dává setinu lumenu na metr čtvereční, pokud je od nás vzdálený 282 cm, tedy zhruba tři metry.

## 2.4 Měření hi-tech metodami

V jejich vývoji a ukázkové aplikaci spočívalo těžiště našeho projektu.

Jednou hi-tech metodou je měření jasu oblohy využitím standardních astronomických fotometrických pozorování. Při nich se zjišťují jasnosti hvězd, ale pro jejich zjištění je nutné znát i jas oblohy, který se z obrazů hvězd musí odečítat.

Astronomy donedávna většinou jas oblohy nezajímali, jen byli rádi, když tato odečítaná hodnota, představující v jejich datech vlastně šum, byla co nejnižší. Přesto existuje několik prací, kdy byly změřené jasy nebe též publikovány, nejen odečteny a zapomenuty. Hlavní z nich se týká několika desetiletí vývoje v Itálii, [5, Cinzano 2000c].

V našem projektu jsme poprvé využili existující česká pozorování ke stejnému účelu. V této úvodní hektické fázi výzkumu tohoto druhu šlo o data jen tří autorů, Papouška, Hanžla a Pejchy. První dva užívali klasické fotoelektrické fotometrie (střídavé měření signálu ve clonce s hvězdou a ve clonce bez ní), třetí z nich data ze zobrazovací CCD fotometrie.

Jas oblohy je závislý na průzračnosti ovzduší a na množství a směru světla, které do ovzduší přichází shora, ale hlavně zespoda. Adjektivum „hlavně“ je zde proto, že přírodní složka jasu nebe je v Brně již jen malým zlomkem složky umělé. Jas nebe je tak dnes jistým měřítkem světelných emisí a data z různých desetiletí umožní po zpracování poznat jejich vývoj. Změny jasu oblohy za uplynulá desetiletí jsou totiž podmíněny výhradně změnami emisí, průzračnost ovzduší se měnila jen zanedbatelně, jak dokázal Zdeněk Mikulášek (důkaz této skutečnosti je podstatným přínosem projektu, doposud totiž nebyl publikován, a chyběl jakýkoliv popis problematiky v češtině).

Data všech tří astronomů shrnuje ve svém příspěvku čtvrtý astronom Rudolf Novák spolu s hlavním řešitelem projektu.

Popisem astronomických metod zjišťování oblohy se zde nebudeme zabývat, vyplývají v zásadě za standardní literatury o astronomické fotometrii, v projektu jen bylo nutné vyvinout nebo doplnit existující software pro zpracování astronomických fotometrických měření, což se podařilo. Použité postupy budou publikovány v odborném tisku s cílem, aby stejnými metodami zpracovali svá data i jiní autoři a aby nadále bylo udávání jasu oblohy samozřejmou součástí astronomické fotometrie. Mapování světelného znečištění by tak díky projektu mělo nadále probíhat v tomto ohledu automaticky.

Hlavním průlomem, který se díky projektu podařilo uskutečnit, je ale měření jasů pomocí jiné, ještě modernější techniky, totiž digitálních fotoaparátů.

## 2.5 Zobrazovací digitální fotometrie běžnými fotoaparáty

### 2.5.1 Úvod

Jak autor uvedl v nabídce projektu a již dříve na odborných konferencích, ty fotoaparáty, které jsou schopny uložit a poskytnout data v nezpracovaném tvaru, jen surové údaje z A/D převodu (analogově/digitálního, tj. číselného vyjádření měřené spojité veličiny) signálu ze zobrazovací jednotky (CCD či CMOS čipu), se mohou stát vědeckými přístroji. Takovými, jejichž výsledky budou srovnatelné s výsledky aparatur užívajících chlazených CCD

čipů s 16bitovými A/D převodníky, jaké se používají pro astronomickou fotometrii i jinde. Jistota, že to musí jít, plyne z praktické totožnosti CCD čipů vědeckých a lidových kamer – i u těch lidových lze brát za jisté, že signál je lineárně závislý na osvětlenosti čipu a je jen zanedbatelně závislý na jeho teplotě. Signál proto musí jít přepočítat na osvětlenost čipu čili na jas scény, která se na jeho různá místa zobrazuje. Na cestě k tomu je samozřejmě pár překážek.

Fotoaparáty požívají jen jeden snímek, a aby byl barevný, čip zaznamenávající světlo je překrytý barevnou mřížkou, v níž se střídají okénka různých barev. To je zásadní problém při sledování bodových objektů, ty totiž je nutno pozorovat rozostřené, aby se každý bod zobrazil alespoň na čtveřici pixelů. Je to problém i při fotometrickém zpracování obrazu, protože standardní software pro vědecké kamery s takovou strukturou obrazu nepočítá.

Snímek je kromě toho uložený v nějakém nestandardním tvaru, různém pro různé výrobce a různé modely kamer.

Na rozdíl od vědeckých kamer se v běžných fotoaparátech různě tajemně zachází se šumem, výsledná data nejsou ve skutečnosti surová, ale je z nich něco odečteno, aby se u běžných snímků šum tolik neprojevil. Vědecký způsob zato je, pořídít snímky dva se stejnou expoziční dobou, jeden z toho se zakrytým čipem, aby na něj žádné světlo nedopadlo (tzv. darkframe, temný snímek). Teprve odečtením snímků se dostává signál úměrný osvětlení čipu. Jak fotoaparát zachází se šumem, je nutno zjistit analýzou získaných dat.

Již začátkem roku 2003 publikoval autor první verzi programu raw2lum, která snímky z běžného fotoaparátu fotometricky zpracovávala, jednalo se o Canon EOS D60. Program se během roku vyvíjel, zvláště intenzívně pak během projektu i po jeho skončení. Již před zahájením projektu jsme pro data z onoho prvního typu fotoaparátu znali vztah mezi signálem a jasem scény, a měli nějaká takto vyhodnocená měření, tedy scény se zjištěným jasem v různých oblastech.

Během projektu jsme program raw2lum zobecnili, aby mohl pracovat se snímky všech typů kamer, a také doplnili tak, aby graficky zobrazil zjištěné jasy (vždy pro skupinu čtyřech pixelů, které dohromady udávají množství záření ve všech základních barvách) a udával hodnoty pro celý snímek i hodnoty v políčkách zvoleného obdélníkového rastru. Pro hodnoty týkající se celého snímku lze stanovit rozmezí jasů, v němž se provádí sčítání. Tímto způsobem lze totiž využít jen správně exponovanou část snímku, což je u nočních scén nezbytné. Zatímco v denním exteriéru jsou nejmenší a nejvyšší jasy běžně jen v poměru jedna ku stu (až na obrazy Slunce v lesklých plochách), v noci je vinou přímé viditelnosti emisních ploch svítidel tento poměr i jedna ku miliónu. Žádná současná záznamová technika takový rozsah jedním snímkem nezachytí, je nutno použít sérii snímků s různými expozičními, případně snímky i dostatečně rozostřit, aby se z bodů s extrémně vysokým jasem staly kroužky s jasem menším.

Prakticky jsme program vyzkoušeli se třemi typy kamer, ve větší míře se dvěma, kromě původního typu kamery ještě s kamerou Fuji S5000. Její volba vyplynula z toho, že jde o nejlevnější kameru s plnou možností volby expozice, a současně s velkým rozsahem optického transfokátoru. Ten třetí typ je kapesní Nikon Coolpix E2500, vůbec nejlevnější fotoaparát, z něhož lze získat surová data, v ceně pouhých deseti tisíc korun. Jeho nevýhodou je nemožnost manuální volby expozice (a tedy i obtížnost pořizování temných snímků), komplikací je jiný systém barevného rastru před čipem (místo RGB políček má políčka s barvami YCGM, kde i zelená je odlišná od té v soustavě RGB). I z tohoto rastru je možno získat přesný údaj o jasu, ale bude to vyžadovat ještě další práci. Ta ale bude stát za to, nejen aby proměnily

v přesný fotometrický přístroj tuto kameru, ale i všechny další s obdobným systémem barevného záznamu.

## 2.5.2 Postup získání jasové informace

Jas v nějakém bodě či oblasti scény se počítá jako vhodná lineární kombinace údajů ze tří (či čtyř) barev. Údaji myslíme hodnoty pro jednotlivé pixely, jak vyšly z A/D převodníku, po odečtení temného snímku exponovaného stejně dlouho, a přepočtu na jednotkovou expozici. Údaje o expozici jsou uloženy binárně v hlavičce každého souboru typu jpeg (ve formátu zvaném exif), případně i v hlavičce souboru se surovými daty. Uložit je jako lidsky čitelný textový soubor umožňuje program jhead [18, Wandel 2002]. Uložit do standardizované podoby surová data z prakticky všech kamer, která taková data vůbec umí poskytnout, umožňuje program dcraw [1, Coffin 2003].

Ona „vhodná lineární kombinace“ zahrnuje dvě věci. Základem je lineární kombinace, která správně započte různě barevné oblasti snímku. Ta již dává jas, ovšem v zatím neznámých jednotkách. Druhým krokem je koeficient násobící celou takovou základní lineární kombinaci, který škálu jasů v neznámých jednotkách převede na kandelý na metr čtvereční.

Zkoumat snímek kvantitativně umožňuje náš program raw2lum [11, Hollan 2003]. Lze jej zkoumat bodově, v malých plochách („dlaždičkách“) či integrálně.

Vyfotografování bílé, bíle osvětlené plochy lze stanovit základní koeficienty pro složky R a B tak, aby se po vynásobení staly stejné jako složka G. Za bílé osvětlení se přitom považuje osvětlení Sluncem a modrou oblohou kolem něj, je-li Slunce vysoko na nebi (v zimním období je sluneční osvětlení vždy mírně nažloutlé, neb modrá složka se hojněji vrátí z ovzduší zpět do vesmíru). Naše kalibrace musela využívat i kompromisní slunce níže na nebi, vzhledem k roční době. Ani bělost plochy nebyla zcela bez problémů, důkladnější kalibraci provedeme dodatečně s využitím zakoupených bílých standardů firmy Labsphere. Kalibrace složek R a B ale není zásadní problém, neb jas snímku záleží nejvíce právě na (nekalibrované) složce G.

Přepočet takto upravených R,G,B na jas v arbitrárních jednotkách (tj. na hodnotu pokud možno nezávislou na barvě scény) jsme dělali pomocí formule  $0.3 R + 0.59 G + 0.11 B$  (pro fotopický jas to udává <http://www.scantips.com/lumin.html> a řada dalších zdrojů). Formule se udává pro barvy užívané na monitorech, barevné filtry kamer se jim pravděpodobně blíží. Je možné na jejím zpřesnění a úpravě pro konkrétní kamery dále pracovat, to ale již daleko přesahuje rámec našeho krátkého projektu (základní cestou je fotografie slunečního spektra, které má pro dostatečnou výšku Slunce a velmi čistý vzduch dostatečně známé složení, jinou cestou je fotografie spektra šedého planckovského zdroje se známou teplotou, ještě další pak řada snímků plošky osvětlené postupně různými vlnovými délkami monochromátorem se současným měřením spektrální záře osvětlené plošky).

Takto zjištěný jas již umožňuje celou řadu výpovědí. Ze série snímků s dostatečným rozsahem expozic lze říci, jaký je např. podíl světla z osvětlovaného terénu, z ploch značně vyššího jasu (jako jsou reklamní tabule nebo okna) a z ploch extrémně vysokého jasu, totiž ze svítidel. Lze tedy říci, kolikrát by bylo možné snížit světelné znečištění, ne na úkor viditelnosti osvětlovaného terénu, ale naopak v její prospěch, kdyby byla přímá viditelnost vzdálených svítidel minimalizována a také regulovány jasy reklamních ploch.

Dalším, už posledním krokem je nalezení vztahu mezi skutečným jasem scény a jasem v arbitrárních jednotkách spočteným výše uvedeným způsobem.

Jeden způsob jsme použili u kamery Canon EOS D60 již dříve, v době, kdy Slunce bývalo vysoko na nebi. Tehdy lze totiž s přesností ne horší než deset procent spočítat, jak silně osvětluje vodorovnou plochu (programem „planet“, [9, Hollan 2002], i online). Použijeme-li dobře difúzní plochu známého albeda, známe pak její jas. Problémem je jen to, že v literatuře nebyly nalezeny spolehlivé údaje o albedu různých materiálů, jen kusé informace o tom, že bílý papír má něco mezi osmdesáti pěti a devadesáti třemi procenty. Při použití papíru a předpokladu, že má např. albedo 87 procent mimo oblast úhlu odrazu, tak máme další nejistotu až pěti procent, proti té sluneční je ale menší, celkově je nejistota kalibrace asi 12 procent při velmi průzračném ovzduší (průzračnost lze ověřit dle hloubky stínu, čím čistší vzduch, tím větší je podíl jasu osluněné a zastíněné plochy).

Jiný způsob je bližší technické praxi a nezávislý na počasí, totiž navázat jasovou škálu na údaje luxmetru. Přesnost by měla být asi dvojnásobná, při užití jednoho luxmetru, případně lepší, pokud se jich užije více nebo pokud se užijí velmi přesné luxmetry laboratorní.

Základní varianta, realizovatelná kdykoliv a kdekoliv, je položit na snímanou bílou plochu čidlo luxmetru. Místo počítání, jak silně na ni svítí denní světlo, se spolehne na údaj luxmetru. Zůstává zde ovšem nejistota ohledně rozptylných vlastností osvětlené plochy, tu lze eliminovat jen použitím standardu se známými vlastnostmi.

Vyloučit nejistotu ohledně vlastností fotografované plochy lze nejnázem tak, že snímáme scénu, z níž jde veškeré světlo právě jen ze snímané oblasti s úhlovým průměrem pod jeden radián.

Program raw2lum udává hustotu světelného toku ze snímané oblasti, a pokud je taková oblast jen vepředu a kolem je prakticky tma, lze tu stejnou veličinu změřit také luxmetrem umístěným místo objektivu fotoaparátu (prakticky v jeho těsné blízkosti). Takovou svítící plochu ponořenou ve tmě může poskytnout okno pozorované z hloubky velmi tmavé místnosti, či opačně rozsvícené okno pozorované zvenčí v temné krajině. Rovněž i jedna izolovaná lampa v nočním prostředí. Lze ale také luxmetrem změřit hustotu světelného toku z jednoho dominantního výrazného zdroje ve scéně, která kolem tmavá není, jako rozdíl údaje pro čidlo naplněné osvětlené a čidlo, na něž vrhneme zdáli stín od tohoto zdroje. Program raw2lum umí udat hustotou světelného toku z každého políčka zvoleného obdélníkového rastru, jde pak jen to, zjistit, která políčka připadají na daný zdroj a sečíst je.

V našem projektu jsme ověřili pro fotoaparáty Canon EOS D60 i pro Fuji S5000 všechny uvedené způsoby kalibrace, souběžně s vývojem programu raw2lum, výsledky se dobře shodovaly. I tak jde o kalibraci předběžnou, s nejistotou až deseti procent. Předpokládáme, že se podaří nejistotu snížit až na skvělé jedno procento, tedy na úroveň velmi přesné astronomické fotometrie a daleko za možnosti běžné, nelaboratorní fotometrie terestrické. Pro takové snížení je ale nutná nejen základní kalibrace jasů, ale i zdoluhavé ověřování systematických a náhodných chyb expozičních dob, clon a citlivostí ISO.

### 2.5.3 První výsledky, tedy mapy světelného znečištění

Při pozorování libovolné noční scény máme před sebou osvětlený terén a předměty na něm, čili obzor, v němž mohou být plošky (tj. ždíbce prostorového úhlu) mnohem vyššího jasu, které bychom nenazvali osvětlené, ale naopak svítící. Některé takové plošky mohou být úhlově vysoko nad ostatním obzorem, vyčnívat z něj, neb lampy často bývají na vysokých stožárech. Ty se tak rýsují ne proti obzoru, ale proti obloze. Ta také osvětluje náš obzor, při absenci lamp jako zdroj jediný. Takové osvětlení má vždy při-

rozenou složku (v hluboké noci zejména záření vysokých vrstev ovzduší, jindy též soumrak nebo rozptýlené světlo Měsíce) a u nás vždy také složku umělou, která bývá silnější a vzniká rozptylem světla v ovzduší zpět na zem. Když je vzduch málo průhledný, místo dojmu světlé dvourozměrné oblohy můžeme mít spíše pocit, že jde o osvětlený vzduch či jeho zvláštní objemy, např. spodní základnu oblačné příkrývky či kuželový prostor osvětlený světlo-  
metem. Jinak než jako oblohu vnímáme osvětlený vzduch patrný mezi námi a protějším svahem údolí, či dokonce nad terénem šikmo pod námi, opět zejména když některé jeho části jsou méně průhledné.

Hodnotit můžeme různé parametry takové scény. Celkové množství světla, které z ní jde do našich očí, je tím nejjednodušším parametrem, který můžeme vyjádřit např. jako vertikální osvětlenost naší tváře. Je mírou světelného znečištění, např. vyjádříme-li její poměr k hodnotě, jaká by platila v přirozených podmínkách. Tuto hodnotu můžeme někde zjistit i luxmetrem, pokud je dostatečně vysoká (zpravidla více než několik setin luxu). Už tento parametr je významný, neb souvisí s adaptací zraku a tedy také např. s jeho schopností vidět slabé hvězdy, meteory, polární záře apod. Tak vysoká úroveň osvětlení, že je měřitelná luxmetrem, lidem již velmi významně brání, aby slabé přírodní jevy postřehli, tím spíše, aby se jimi nadchli (je to podobné, jako to v přírodě cyklicky působí Měsíc, který ovšem významně působí jen menšinu času).

Pořízením a vyhodnocením série snímků takové scény můžeme zaznamenat i mnohem menší množství světla, než dovoluje měřit luxmetr. Podstatnější ale je, že můžeme říci, odkud jej kolik jde, ať již tím charakterizujeme jeho zdroje nebo naopak místa zvláště světlem znečištěná. Vezmeme-li případ, že před sebou máme komunikaci (cestu) osvětlovanou řadou lamp, zajímá nás, jak moc je osvětlená, jak moc její vzdálenější okolí, které bychom již osvětlené nepotřebovali, pokud jde o dobrou orientaci po cestě, a ovšem, jak moc nám lampy svítí do očí. „Jak moc je osvětlená cesta“, to pohled či snímek přímo neříká, ale dává nám informaci o veličině v dané chvíli významnější, totiž o jasu různých míst před námi.

Vhodně zpracovaný snímek může kvantitativní údaje o jasu ukázat na první pohled. My je sice nějak na první pohled i vidíme, ale náš zrak nám vůbec neřekne, zdali daná plocha má jas jedné kandely na metr čtvereční nebo jas trojnásobný. Ani desítkový řád nelze dobře odhadnout. Dokonce ani poměr jasů dvou různých ploch.

Snímek takové údaje poskytne snadno; poměry jasů udá s přesností prakticky libovolně vysokou, absolutní hodnoty pak i při velice hrubé kalibraci s často postačující přesností třiceti procent a při poněkud lepší kalibraci opřené o luxmetry s přesností deseti procent a lepší. Lze tak například zjistit, zdali komunikace nemá vyšší jas, než požadují technické normy.

Lze ale také zjistit, jak mnoho světla jde do očí z ploch, které osvětlovány být nemají. Některé z nich jsou osvětleny nepřímo, světlem rozptýleným od (záměrně osvětlované) komunikace. Významnější ale bývá jejich osvětlení přímé, svítidly samotnými, která nejsou vyrobena a instalována tak pečlivě, aby svítily, jen kam skutečně mají. Např. kolik světla jde z osvětlené oblačné vrstvy, kolik z fasád obytných domů, kolik z korun stromů.

Konečně, snímky s dostatečně malými expozicemi mohou udat, kolik světla jde do našich očí (či objektivu přístroje) např. z oken, z reklamních ploch a kolik přímo ze svítidel. Všechny tyto plochy mívají jas o několik řádů vyšší než osvětlovaná komunikace a brání tím tehdy dobré viditelnosti cesty, jde o ryzí světelné znečištění. Vyhodnocená série snímků udá, jaký je jeho



podíl. Může udat i různé parametry charakterizující oslnění, jako veličiny zvané závojevý jas nebo prahový přírůstek.

Takto interpretovanou sérii snímků ve vhodných zobrazeních lze pak nazvat panoramatickou mapou světelného znečištění. Název se samozřejmě hodí zvláště dobře pro scénérie, kdy sledujeme rozsáhlý obzor, tj. ne jen jednu ulici před sebou, ale spíše celou obec pod námi a její okolí vč. nebe při pohledu ze svahu nad ní. Z takového pohledu již můžeme udat důležitou veličinu, totiž kolik světla jde šikmo nahoru do ovzduší z (oprávněně) osvětleného terénu, z případného terénu osvětleného zbytečně, ze záměrně či nezáměrně osvětlených fasád, z oken a konečně ze svítidel. Výpočty vycházející z fotometrických údajů výrobců ukazují (např. [10, Hollan 2002a]), že ze svítidel je ho většina, údaje ze skutečného měření v terénu ale doposud publikovány nebyly. V našem projektu jsme získali první údaje tohoto typu.

Jinou mapou světelného znečištění může být samotný snímek části oblohy, ukazující její zjevně antropogenně světlejší oblasti. Takové bývají nápadné zejména blízko obzoru, jako „světelné dómy“ nad vzdálenými zdroji znečištění, často přímo nepozorovatelnými. Je třeba podotknout, že „nad nimi“ jsou jen ve smyslu úhlovém, prostorově jsou lokalizovány v ovzduší nad krajinou zejména mezi zdrojem a pozorovatelem (jde hlavně o světlo rozptýlené ve směru jen málo odlišném od původního).

Je zřejmé, že už pro kompletní panoramatické mapování z jediné místo je potřeba řada snímků. Jeden objektiv typu rybí oko to nemusí vyřešit, jednak proto, že takový snímek nemusí mít dostatečné úhlové rozlišení, aby bylo možno identifikovat typy zdrojů, a také proto, že jde často o více než poloprostor. Série snímků to vyřešit může, ale není snadné ji poskládat do mapy plného prostorového úhlu. V případě mapování samotné oblohy při výzkumu vybraných lokalit v národních parcích USA tuto úlohu řeší použitím astronomické montáže s počítačovým ovládáním, na níž je místo dalekohledu digitální kamera (v jejich případě standardní vědecká, což bylo spolu s montáží daleko za finančními možnostmi našeho projektu). V našem případě se zatím musíme omezit i na jediné lokalitě jen na vybrané pohledy, zachycující nejdůležitější situace. Automatické mapování na mnoha lokalitách je pro budoucnost velmi žádoucí, ale to by byl projekt mnohem nákladnější a delší (jen úplně základní výsledky by bylo možné získat do tří let).

V příloze uvádíme některé výsledky pro několik takto zpracovaných lokalit.

## 2.6 Přehled o České republice ze satelitních dat

Soubornou kvantitativní informaci o světelných emisích z celého českého území lze získat z dat DSMP (Defense Satellite Monitoring Program), která byla speciálně pro takový účel pořizena. Jde o výjimečnou sérii ze dvou období koncem roku 1996 a začátkem roku 1997, kdy bylo snímkování prováděno s nízkým ziskem, aby žádný signál nedosáhl saturace, a opakovaně za dobrého počasí, aby bylo možné vyloučit zdroje efemérní. Výsledkem je kalibrovaná mapa září (radiancí) či zhruba též jasů Evropy s rozlišením asi jednoho kilometru. Z ní za nějakého předpokladu o úhlovém rozdělení svítivosti emitujících lokalit lze spočítat celkové emise směrem do horního poloprostoru a s podstatně menší přesností pak i celkové množství emitovaného světla.

V každém případě již samotná mapa jasů při pohledu z vesmíru je zřejmě nejlepší dosažitelnou přehlednou mapou světelného znečištění z hlediska emisí. Mnohem podrobnější mapy by bylo možné získat jedině během specializovaného leteckého snímkování. I takto podrobná mapa ale udává hodně informací; některé

z nich jsme z ní získali programem raw2lum, podobně jako ze snímků digitálních kamer.

Jasy české krajiny lze korelovat s mapami jiných typů, s hustotou osídlení apod. Lze z nich také spočítat umělé zvýšení jasu oblohy pro zadané meteorologické podmínky. Tuto úlohu pro jas oblohy v zenitu již vyřešily práce Cinzana a spol., viz přílohou mapu. Ta je vlastně jednoduchou mapou světelných imisí. Je možno ji porovnávat s měřeními skutečného jasu oblohy, pro tři lokality, pro něž máme nějaká data (Brno, Lelekovice a Ondřejov) se naše měření s mapou shodují. Hlavní výsledek je, že umělá složka jasu nebe v zenitu v Brně na Kraví hoře hodnotu jasu přírodního převyšuje za čistého ovzduší desetkrát.

## 2.7 Vývoj světelného znečištění dle spotřeby elektřiny

Satelitní snímky uvedené speciální série zachycují stav jen v jednom okamžiku, další taková úplná série zatím nebyla provedena, tím méně pak publikovány její výsledky. Naše data by měla zachytit, až budou všechna zpracována, i vývoj v čase. Vizuální dojem, údaje o viditelnosti slabých hvězd a jiných nebeských objektů, jak je udávají všichni pozorovatelé, i prostě přehled každého z nás o známé noční krajině během uplynulých desetiletí jasně říkají, že světelné znečištění trvale roste.

Předpokládáme, že pokud jde o jas oblohy, budeme schopni to demonstrovat analýzou dalších astronomických měření pořizovaných v uplynulých letech a desetiletích, jak se jí podaří uskutečnit (metody pro to jsme již v rámci projektu vyvinuli, rovněž i analyzovali první data).

Existuje ale i nepřímý zdroj informací o možném množství emitovaného světla. Jde o údaje Energetického regulačního úřadu, kolik elektřiny bylo prodáno v rámci sazby zvané nyní C62, pro osvětlování veřejných prostranství. Data jsou dostupná jen do roku 2000. Ukazuje se, že během uplynulého desetiletí spotřeba stoupla, s výjimkou počátečního poklesu z roku 1991 na rok 1992 (s minimem asi 0,55 TWh, tedy nočním příkonem asi 0,135 GW). V letech 1999 a 2000 ale byla už opět vyšší než o deset let dříve, tedy asi nejvyšší vůbec (přes 0,6 TWh, čili s nočním příkonem alespoň 0,15 GW; variabilita udávaných spotřeb činí ale až deset procent, což je podivně mnoho, je otázka, nakolik jde o údaje věrohodné).

Pokles spotřeby začátkem devadesátých let souvisel s jejím zdražením na trojnásobek, ze čtyřiceti haléřů na korunu dvacet šest za kilowatthodinu. Zdražení se projevilo až v druhém roce platnosti, zřejmě až poté, co obce zjistily, že musí snížit výdaje. Pochybnosti vzbuzuje údaj o spotřebě v roce 1993 a 1999 (v obou případech o deset procent vyšší než v okolních letech). V letech 1998 a 1999, a zejména pak v roce 2000, platila nejvyšší cena elektřiny pro veřejné osvětlování, 1,53 resp., 1,64 Kč/kWh. Přesto byla tehdy spotřeba nejvyšší. V dalších letech regulovaná cena elektřiny klesala, až na rekordně nízkou úroveň v roce 2003 1,29 Kč/kWh. Vyjádřeno paritou kupní síly, je to fakticky cena možná nižší než v roce 1989. Lze proto pokládat za pravděpodobné, že motivace k neplýtvání elektřinou se od roku 2000 snižuje, a tím pravděpodobně rostou úhrnné světelné emise (vyjádřené v lumenhodinách za rok) např. vlivem opouštění dobré praxe vypínání veřejného osvětlení pozdě v noci (ač se dosud v řadě vesnic dosud vypíná).

Roste-li spotřeba elektřiny prodávané v sazbě za veřejné osvětlení, rostou světelné emise ale mnohem více. Pro dané svítidlo sice v intervalech mezi zásahy klesají (stárnutí výbojky, špinění a koroze optiky), ale při všech rekonstrukcích, ba někdy i výměnách výbojek ve starých svítidlech za nové, zpravidla rostou.

Pokud totiž není při rekonstrukci zvolena výbojka s nižším světelným tokem a je použita výbojka dosavadního příkonu, emise velmi vzrostou: nová výbojka daného typu je vždy účinnější než stará, a nové typy jsou účinnější než staré typy. Jestliže spotřeba elektřiny v dané sazbě vzrostla od roku 1992 do roku 2000 o deset procent, u světelného toku lze odhadovat nárůst alespoň dvojnásobný (nové typy výbojek dávají běžně o třetinu více světla). Zvláště velký nárůst emisí nastává při náhradě rtuťových výbojek sodíkovými, neklesne-li příkon alespoň dvakrát, a takové záměny se dosud vyskytují. Budou se vyskytovat do té doby, než budou nahrazeny veškeré rtuťové výbojky v dnešních starých svítidlech.

Zdaleka ne všechno venkovní osvětlování se ale realizuje za sazbu pro veřejné osvětlení. Tak je účtováno zpravidla jen osvětlení instalované či spravované obcí či společností, a ještě ne ve všech případech, např. Technické sítě Brno jsou velkoobchodníkem, který takové sazby nepoužívá, podobně to je zřejmě i s Eltodem. Nemělo by tak být účtováno osvětlení budov, neb fasády nejsou veřejnými prostory. Spousta firem, zvláště opět ty, které jsou velkoobchodníky, osvětluje své majetky vč. veřejných prostor (např. parkovišť) také jinak než přes elektroměr se sazbou C62, a právě takové komerční osvětlování zaznamenalo v uplynulém desetiletí ohromný nárůst.

Jediné, co tedy na základě spotřeby v sazbě C62 můžeme říci je, že světelné emise zcela jistě rostou minimálně o deset procent za desetiletí, pravděpodobně ale rostou mnohem více.

Jedinou pozemskou možností nějakého jejich posouzení tak zůstává zřejmě sledování jasu oblohy, druhý způsob poskytnou nová data ze satelitů. Velmi vhodné by byly série snímků z letadel za dobrého počasí s minimem aerosolů v ovzduší, k jejich využití je ale nutné ještě dále rozpracovávat metodiku snímání a vyhodnocování snímků, aby vznikla jistota, že pořízená série poskytne právě taková data, jaká jsou potřeba. Není také známo, jaké letadlo by k danému úkolu bylo nejvhodnější. To je již záležitost na nějaký budoucí projekt.

Ještě poznámku o vývoji cen elektřiny v sazbě dnes zvané C62. Pokles posledních letů může být spontánní, elektřinu je lépe nabídnout k prosvícení než k prodeji do Německa. Může být ale také reakcí na poznání, že světlo je polutantem, uvedeným jaksí v zákoně o ovzduší, a že snahám o jeho regulování je nejlépe čelit zlevňováním, aby ekonomické motivy ke snižování světelného znečištění byly potlačeny. V každém případě je to špatný signál. Je dost způsobů jak elektřinu použít méně škodlivým způsobem. A je ovšem ji možné i nevyrobit. Aby zisky neklesly, je možné požádat regulační úřad o zvýšení cenových stropů. Ten pro veřejné osvětlení by to zasloužil zvláště moc. Dvojnásobná cena by ohromně přispěla k nástupu technologií, kdy se intenzita svícení spojitě reguluje, při dosavadní ceně nejde vždy o technologie rychle návratné.

# Příklady mapování světelného znečištění

## 1 Úvodní technická poznámka o kvantitativních jasových datech a jejich barevném kódování

V rámci projektu se podařilo vyvinout kvantitativní metody fotometrického hodnocení nočních scén ze sérií snímků pořízených v tzv. surovém (raw) formátu. V mnoha dále uvedených adresářích jsou takové série ve zpracovaném tvaru uvedeny. V takových je vždy přítomen soubor info.txt, udávající údaje o snímcích a sumární fotometrické údaje pro každý z nich. V případném dalším textovém souboru jsou tyto údaje shrnuty a komentovány. Občas jsou uvedeny i podrobné tabulky k některým snímkům, \*.td, případně obrázky shrnující hlavní fotometrická data v každém z mnoha políček snímku \*.eps. Stejná data jsou někdy zakomponována do zpracovaných obrázků \*.png či \*.jpg.

Kromě takových vypočítaných dat a snímků jsou samozřejmě uvedeny i prosté snímky v redukovaném osmibitovém formátu, použitelném v běžných prohlížečích. Oproti surovým, až čtrnáctibitovým snímkům je v nich fotometrická informace už zčásti ztracena, ale pro ilustraci stačí. Pro jejich prohlížení, vzhledem k extrémním rozsahům jasů všech nočních scén, doporučuji linuxový prohlížeč zgv, ev. xzgv: jeho úžasnou výhodou je možnost přepínání tzv. koeficientu gama, klapkami 1 až 4. Pro maximum detailů ve slabě exponovaných oblastech snímku se užívá klapka 2. (Možná, že takovou schopnost mají i jiné prohlížeče, ale nesehtal jsem se s tím.)

Pro stručnost vyjadřování užívám dále v tomto textu jednotku nit, která není součástí SI; je to alternativní označení pro standardní jednotku jasu kandela na metr čtvereční. Budu užívat též dílčí jednotu milinit, mnt, a násobnou kilonit, knt.

Většina uvedených obrázků ve formátu \*.png obsahuje jen **barevně kódované jasy** scény, a to v základní stupnici: *modrá* – jasy řádově **tisíciny nitu**, *purpurová*: **setina nitu**, *modrozelená*: **desetina nitu**, *červená*: **jeden nit**, *zelená*: **deset nitů**, *žlutá*: **sto nitů**, znovu *modrá*: **tisíc nitů**, *šedá*: **deset kilonitů**. V rámci každé barvy jsou pak jasy scény kódovány světlostí barvy logaritmicky v pěti stupních, tj. v násobcích páté odmocniny z deseti: **střední hodnoty každého stupně** jsou tedy postupně **čtyři desetiny** základní hodnoty, **šest desetin**, **deset desetin**, **šestnáct desetin** a **dvacet pět desetin**. Například v červené barvě to je přímo (a přesněji) 0.4 nt, 0.63 nt, 1.005 nt, 1.59 nt a 2.52 nt. Obdobně krát příslušný násobek deseti pro jiné barvy. Ještě snad uvedme **hranice těchto jemnějších stupňů**: 0.318, 0.504, 0.798, 1.264, 2.005, 3.177 (omlouvám se, že nečesky užívám desetinnou tečku, nevím jak to udělat jinak, čárku potřebuji pro oddělování hodnot). Hodnoty přeexponované jsou kódovány černě, nikoliv bíle, jak se jeví na běžných snímcích.

Série snímků \*.png je často vypočtena jen tak, že zahrnuje body s jasem ve zvoleném rozmezí, body s menším jasem jsou zobrazeny černě, stejně jako body s jasem vyšším. Takové snímky na sebe svými rozmezími jasů navazují, takže série pěti snímků může překonat rozmezí jasů od milinitů (i když ty jsou obvykle

už velmi zašuměné; barevná stupnice začíná u 0.32 mnt) až po desítky kilonitů (barevná stupnice končí u 32 knt), i když jediný snímek má rozsah nejvýše tří řádů. Sečtením sumárních údajů z takto zpracované série dostáváme soubornou informaci o scéně v celém rozsahu jasů.

Je potřeba si uvědomit, že ač relativně jsou hodnoty v různých částech snímku velmi přesné, jejich absolutní přesnost není lepší než deset procent (relativní nejistota může být tak vysoká jen v případě ploch velmi výrazných odlišných barev).

U mnohých záběrů je počítán závojevý jas působený oslnivými plochami standardním vztahem pro pozorovatele stáří 66 let, jako  $18 \cdot \text{suma}(\text{jas elementu prostorového úhlu} / \text{čtverec jeho úhlové vzdálenosti od zorného bodu})$ ; suma se počítá pro elementy vzdálené od zorného bodu alespoň tři desetiny stupně (případy, že těsněji vedle zorného bodu je oslnivá ploška, se v uvedených příkladech zřejmě nevyskytují, pokud takové byly nalezeny, zvolili jsme zorný bod znovu). Závojevý jas je jen jedním z řady možných měřítek oslnění, praktickou jeho výhodou je, že se používá v technických normách pro osvětlení komunikací. Většinou je v příkladech spočítán pro střed snímku, pokud ne, je takové místo označeno křížkem v některém ze snímků (zpravidla \*.png verze nejvíce exponovaného snímku, někdy též \*.jpeg či \*.jpg s vepsanou míříčkou s fotometrickými údaji).

Je vhodné zdůraznit, že taková zobrazovací digitální fotometrie s použitím kamer dostupných v běžných obchodech a používaných desítkami občanů a organizací k obyčejnému fotografování, byla poprvé uskutečněna právě v rámci práce hlavního řešitele projektu během roku 2003 a do plně užitečné podoby použitelné širokou světovou vědeckou veřejností a veškeré typy kamer dopracována až během řešení projektu. Srovnatelný systém existoval doposud jen pro jednu zastaralou kameru, kterou tým z univerzity v Ilmenau komerčně nabízí spolu se softwarem za cenu téměř odpovídající celému našemu projektu, tedy k půlmiliónu korun. Díky našemu projektu, tedy též prostředkům poskytnutých Ministerstvem životního prostředí, dnes mají zájemci možnost fotometrovat už se zařízením v ceně dvanácti až třiceti tisíc korun, s užitím svobodného programového vybavení s otevřeným kódem (a tedy verifikovatelného a dále rozvíjitelného).

## 2 Nepatřičné, oslnující světlo

zejména přímo ze svítidel, je nejvíce rozšířeným případem extrémního a zcela zbytečného znečištění nočního ovzduší. Prakticky každý pohled na noční krajinu, i každá fotografie, u níž víme, jak velký úhel zabírá, takové případy obratem odhalí. Svítidla, která jsou nápadná, tj. mají jas mnohonásobně vyšší než zbytek scény, a jsou méně než patnáct stupňů od obvyklých poloh zorného bodu, jsou oněmi případy. Svítí zjevně i jinam, než mají. To platí pro veškerá svítidla s výjimkou semaforů a obdobné dopravní signalizace.

Platí to také pro všechny osvětlené plochy, které by při stejné nebo lepší zřetelnosti mohly být osvětleny mnohem slaběji, tj. pro



takové, které rovněž oslňují – na snímku, jehož expoziční doba je scéně přizpůsobena, jsou přeexponovány.

## 2.1 Příklady z Karlovy Studánky

Takové případy dokumentují například snímky z lázní Karlova Studánka na východním úpatí Pradědu.

### 2.1.1 Alej

Na horním konci lázní je krásná alej až ke křižovatce cest do Jeseníku a do Malé Morávky, v níž je ve dne zdánlivě nerušivá řada luceren - lidem, kteří se nad nočním prostředím nezamýšlejí, mohou připadat i pěkné, ač již dosti ošuntělé, viz obrázek [karlova\\_studanka/karl\\_stud.jpg](#), ukazující pohled dolů od odbočky k (dosud vyhořelému) hotelu Hubertus:



Noční snímky ale ukazují zcela jiný pohled. Z osvětleného terénu zobrazeného na snímku jde do objektivu dvě setiny luxu. Z lamp je jej mnohem víc. I nejméně exponovaný snímek ze pětice snímků obsažených v adresáři [karlova\\_studanka/stred](#) je ale přeexponovaný, takže máme jen dolní odhad. Ten činí jednáct setin luxu (skutečná vertikální osvětlenost může to být klidně několikanásobkem této hodnoty). Pro střed snímku je závojevý jas přinejmenším devět setin nitu (opět může být několikrát větší), zatímco typický jas cesty je desetina nitu. Tzv. prahový přírůstek, veličina známá ze světelné techniky, je tak nad čtyřicet procent! Osvětlovací soustava je extrémně znečišťující jak ve smyslu oslňování, tak ve smyslu prozařování celého údolí a viditelnosti lamp z libovolné vzdálenosti, ale na cestu je vidět věru mizerně. Přesměrováním světla na cestu by se znečištění mnohonásobně snížilo a viditelnost cesty, chodců a lázní vůbec by se ohromně zlepšila.

### 2.1.2 Křižovatka

Jiná série snímků uvádí pohled opačným směrem, nahoru ke křižovatce, viz adresář [karlova\\_studanka/horni\\_konec](#). Je na ní vidět poslední z řady extrémně oslňujících luceren, křižovatka (i když ta vinou oslňování jen stěží) a travnatý svah s chalupami nad ní, s dvojicí oslňujících koulí.

Chodník na snímcích má jas max. 0,3 nt, křižovatka od čtyř setin do desetin nitu.

Na objektiv jde z terénu čtyři setiny luxu, z lamp více než šestnáct setin, závojevý jas uprostřed snímku je více než sedm setin nitu. Více: to jest aspoň dvojnásobek, ale klidně desetinásobek, neb výbojka v lucerně je zcela přeexponovaná.

Je to vskutku nepříjemný pohled.

### 2.1.3 Chodník

Další série je v adresáři [karlova\\_studanka/chodnik](#). Jak je zřejmo ze souboru info.txt, z ploch pod dva nity jde do objektivu sedm mililuxů, z ostatních ploch více než 78 mlx.

Závojevý jas uprostřed snímku je přes 0,65 nt, více, než má většina terénu (na snímku s dlouhou expozicí je ale střed světlejší, jsou tam zrovna auta), např. střed snímku se silnicí má necelého půl nitu, takže „prahový přírůstek“ je přes sto procent...

### 2.1.4 Pavilon

Tentýž chodník z větší vzdálenosti je zachycen na snímcích, ukazujících vlevo i pavilon, kde si lidé berou minerálku, viz adresář [karlova\\_studanka/pavilon](#). Série končí expozicí padesátina sekundy, takže lucerny jsou zcela přeexponovány (maximum zobrazeného jasu je asi sto nitů). Zajímavý je mile nízký jas oken pavilonu, většinou pod jeden nit.

Osvětlení objektivu ze scény plochami s jasem pod jeden nit je jen tři mililuxy. Nebýt viditelných lamp, je to pěkná noční scéna.

### 2.1.5 Pohled k centru

Pohled od pavilonu dolů na začátek centra Karlovy Studánky je v adresáři [karlova\\_studanka/dolu](#).

Na širokoúhlém záběru ve snímcích 20 až 24 je zjevné, že nejbližší lampa je zbytečně oslňivá, do objektivu by měla posílat už jen málo světla, hrana kuželu by měla jít jen na chodník pod stavivem. Zvláště strašlivé jsou ale lampy poblíž budov dole.

Série, stejně jako všechny ostatní v Karlově Studánce, neobsahuje dostatečně málo exponovaný snímek, tj. oslňování nelze plně posoudit.

Ze scény na snímku přichází z ploch s jasy pod jeden nit asi šest setin luxu. Z lamp je to více než tři desetiny luxu. Závojevý jas je přes osm setin nitu, při typických jasech scény na úrovni desetin nitu. Prahový přírůstek je rozhodně větší než oněch již nepříjemných dvacet procent.

Záběr s delší ohniskovou vzdáleností obsahují snímky 25 až 30. Uplatňují se v nich jen lampy ve vzdálené scéně.

Osvětlení terénem ze snímku, plochami pod dva nity, je asi patnáct mililuxů.

Osvětlení světlejšími plochami je přes šedesát mililuxů, asi hodně přes.

Závojevý jas před vchodem do cukrárny je přes 0,29 nitu, opět asi hodně přes. Je to asi podobný jas, jako by byl jas osoby v těch místech stojící. Místo, pro něž je závojevý jas počítán, je na snímcích 25.jpeg a 25.2.png označeno křížkem (dvojka uprostřed názvu snímku znamená, že jasy nad 2,0 nt jsou už kódovány černě).

## 2.2 Horní náměstí v Olomouci

je zobrazeno na snímcích v adresáři [horninam](#). Jde jen o jednotlivé záběry, ne o celé série snímků s různými expozicemi (neměl jsem již místo na paměťových kartách kamery).

V případě snímku 31 je uvedena i verze 31g.png, kdy je do barevně kódovaného jasového zobrazení vepsána síť s hodnotami mediánů zelených pixelů a s hodnotami jasu (na spodku políček) v nitech (čili kandelách na metr čtvereční). Jde o průměry, nikoliv mediány.

O Horním náměstí v Olomouci jsem již napsal článek před několika lety. Tyto záběry dávají jen pohledy na část, kde se chystal vánoční trh.

Dominantou této části náměstí jsou oslnivá ústí světlometů, mířících na chrám a na morový sloup.

Snímek 32 je exponován půl sekundy, až na něm jsou patrné stánky, auta a lidé u nich – ty totiž nejsou osvětleny žádným ze světlometů ani (již také trochu oslňujícím) kostelem. Samotná scéna bez zahrnutí reflektoru osvětluje objektiv téměř polovinou luxu.

Věž kostela má jas od dvou do deseti nitů (jak ukazuje snímek s expozicí pětiny sekundy, jen ochoz prosvětlený zevnitř má jas ještě vyšší, za dosahem i tohoto snímku, až snímky 35 a 36 říkají, že to je dvacet až padesát nitů). Přiměřenější jas má stín šedavé věžičky vržený na bílou fasádu věže, od jednoho nitu do jednoho a půl (stín je oranžový, neb do něj svítí jen nějaké sodíkové světlo, zřejmě to, co se netrefilo na morový sloup).

Extrémní oslnění působené bílým světlometem není ani na samostatném snímku adekvátně zachyceno, dosah snímku 33 s expozicí tisíciny sekundy končí u asi šesti kilonitů, jas čtyř z pěti světlometů je vyšší, pravděpodobně alespoň několikrát.

Snímek 34 ukazuje asi ještě lépe, proč mají lidé pocit, že na náměstí je jaksi málo světla. Ony ty stěží patrné plochy v popředí mají jas docela velký, kolem dvou desetín nitu, ale vinou šíleného oslnění jsou skutečně vidět nepřilíš dobře.

Snímek 35 je pohled ze dveří radnice. Morový sloup věru není dominantou, tou je reflektor na něj mířící od kostela... a to i přes poměrně vysoký jas sloupu, blížící se jednomu nitu. Samozřejmě, k oslnění přispívají i proslavené světelné tyče instalované v ploše náměstí, zde na obrázku je taková vlevo, doplněná vánočními „fousy“. Oproti světlometům je to zdroj znečištění zanedbatelný. (Jinde v ploše náměstí, kde jsou oslnivé reflektory skryté za kostelem, ovšem přispívá dojmu přítmi; vidět je tam ale celkem dobře, protože oslnění není příliš velké, též díky velké ploše a tedy nevelkému jasů tyčí.)

Poslední snímek 36 ukazuje morový sloup z jiné strany. Jeho jas je ve spodní části vysoký, opět až jeden nit, vidět ale věru dobře není...

Snímek také ukazuje skutečné světelné ozdoby, malá milá světýlka podél okrajů střech stánků. Jejich přiměřenost a příjemnost je v ostrém kontrastu s vulgárností „moderní“ techniky. Ty věru moc neznečišťují, nejsou projevem pýchy ale skromnosti, v tomto pohledu až jakoby přehnané. Bez zdrojů oslnění by ovšem byly dominantou náměstí. Kéž to tak příští rok bude...

Extrémní znečištění působené reflektory lze totiž radikálně snížit dvěma způsoby. Světlometry mířící na kostel lze alespoň pětikrát zeslabit, i tak bude osvětlený hodně silně. Aby ale vynikl, musí reflektory přestat být vidět: tj. musí jít o typ funkčně obdobný reflektorům divadelním. U nich jde mimo hlavní kužel jen velmi malé množství světla, to, které se rozptýlí na nečistotách na čelním skle světlometu. I to lze dále snížit umístěním reflektoru do černého tubusu, na divadle na to nemusí být dost místa, ale na střeších domů je místa dost.

Nejdecentnější jsou světýlka na vánočním stromě, která v současné situaci takřka zanikají. Pěknou vánoční atmosféru by v tomto případě šlo vytvořit pouhým vypnutím světlometů. Chrám, morový sloup ani budovy kolem náměstí by nepřestaly být patrné, jen by přispívaly k útulnosti místa a velebnosti chvíle, místo aby měnily Olomouc v Disneyland. Kdyby bylo jasno, bylo by hezké vidět jejich siluety mířit ke hvězdám, které se lidé snaží ozdobami na vánočním stromě alespoň napodobit...

## 2.3 Dolní náměstí v Olomouci

na dvou záběrech v adresáři `dolnina` má osvětlení obvyklejší.

Jeden záběr je širokouhlý, druhý zachycuje jen detail spodního konce. Jasy dlažby jsou od většinou třetiny do jednoho nitu (jen odlesk lamp má dva nity), jasy fasád jsou od jednoho nitu do dvou. I na pohled jsou osvětleny necitlivě silně. Přesto jsou dominantou liduprázdného náměstí oslnivé lampy. Ty na nízkých stožárech svůj tok vůbec nesměřují dolů, jak je dobře patrné i z fasád za nimi. Dolní náměstí, ve dne tak působivé, nabývá jejich vinou v noci atmosféry věžeňského dvora.

## 2.4 Pisárecká kotlina v Brně

je zachycena v adresáři `pisar_kotlina`. Ze scény zobrazené na tomto záběru z horního balkónu domu na Lipové 19 přichází do kamery z terénu a z oblohy asi 7 mlm/m<sup>2</sup>, z toho tvoří obloha více než polovinu (3.7 mlm/m<sup>2</sup>), terén tedy dává jen asi 3.3 mlm/m<sup>2</sup>. Lampy (a pár oken k tomu) dávají asi 9.5 mlm/m<sup>2</sup>, čili trojnásobek terénu.

Jas nebe hned nad nemocnicí v Bohunicích je asi 17 mnt, třikrát větší než byl 14. prosince, kdy byl velmi průzračný vzduch.

(obrázek 30001s je s jako sky, tj. je to integrace světla z nebe)

## 2.5 Ústí Pisáreckého tunelu

Série pěti snímků téže scény umožňuje kvantifikovat znečištění ze svítidel a z jimi osvětlených ploch, viz adresář `pisarecky_tunnel`.

Světla z lamp jde z mapované scény šestkrát více než světla z terénu. Eliminací takového vzhůru (v tomto případě dva stupně šikmo nad vodorovný směr) jdoucího světla by znečištění, ve smyslu osvětlení místa pozorování, které touto osvětlovací soustavou být věru osvětleno nemá, bylo možné snížit na jednu sedminu! To si zasluhuje podrobnější komentář.

Ústí tunelu od dálnice do pisárecké kotliny zachycují obrázky 30004 až 30008 a k nim temné snímky 30012 až 30009 (expoziční ústí klesají z 1 s na 1/2000, temné naopak rostou).

Závojevý jas pro střed snímku je asi 0.17 cd/m<sup>2</sup>, pro střed osvětlené oblasti by byl větší, alespoň 0.2 cd/m<sup>2</sup>. Jas vozovky je většinou v rozmezí od jedné do dvou kandel na metr čtvereční.

Z terénu je 9.53E-4 lm/m<sup>2</sup> (vše s jasnem pod 3.00 cd/m<sup>2</sup>), ze světel postupně 2.88E-4, 7.19E-4, 0.00176 a 0.00244 (tam je ale aspoň jedenáct políček přeexponovaných, takže doopravdy tam je světla víc). Součet světel je asi 0.0052, spíše ale šest tisícín.

Nad ústím (alespoň úhlově nad ním) jsou kromě toho chuchvalce mlhy (z blízkého komína), osvětlené lampami, ty k jasů „terénu“ také přispívají, skutečný terén je ještě trochu slabší (ale nejméně o desetinu, což je pro posouzení podílu terénu a lamp irelevantní).

Ke snímku 30004, tedy tomu s expoziční dobou jedné sekundy, jsou alternativní sítě g a m, ta první obsahuje průměry, ta druhá mediány, které mají výhodu, že zachycují jas vozovky méně ovlivněný vzhůru jdoucím světlem lamp. Rozdílly jsou ale malé.

Výškový rozdíl kamery oproti ústí je asi padesát metrů, vzdálenost asi 1350 metrů, ústí je tedy pozorováno ve směru dva stupně šikmo dolů.

## 2.6 Další ilustrace

aneb záběry bez kvantitativních jasových údajů jsou v adresáři `fota/noc_ilu`, dostupné např. hypertextově ze souboru `fota/noc_ilu/fit/index.cz.htm`.



Po dvou denních snímcích z Karlovy Studánky a jednom demonstrujícím blikání výbojek je tam velmi pozoruhodná dvojice snímků z dálnice u Olomouce. Na prvním (též dostupném přímo jako `dalnice1.jpg`) je pohled k Brnu:



Vozovka je silně osvětlena, svítidla v dáli poněkud oslňují a ruší. Nesrovnatelně horší je ale rušení pozornosti a oslňování řádkami světel bílých, na první pohled vzbuzujících dojem, že se naproti řítí nějaké superkamiony kategorie ufo.



Pohled zpět k Olomouci (též dostupném přímo jako `dalnice2.jpg`) prozradí lépe, o co jde: o světlomety zesponu mířící na svislé dopravní značení. Tak nesmyslně silné, špatně směřované a nebezpečné osvětlení (jistě instalované se záměrem zvýšit bezpečnost) jsem dosud nikde neviděl. Velmi přehnaná intenzita osvětlení je zřejmá v pravé části snímku, kde jsou osvětlené tabule zcela přexponované. Skutečně byly tak oslnivé, že jejich čitelnost byla snížena.

Následuje série pohledů z ulice Nové sady v Brně na silně osvětlené struktury. Jde hlavně o obelisk na Denisových sadech a budovy biskupství pod katedrálou. První snímek je exponován s bleskem, takže koule v popředí nejsou příliš přexponovány, ani budovy pod katedrálou.

Na snímcích bez blesku je patrná oslnivost všech svítidel i nesmyslnost intenzity osvětlení obelisku a budov biskupství. I přes jejich silné osvětlení ale výraznějšími dominantami snímku zůstávají svítící koule. Dvě nejsilnější svítidla jsou blízko ke kameře nad Novými sady, jen to vzdálenější z nich by mohlo být méně osl-

nivé, při dokonalejší konstrukci. Zdálo by tato svítidla nápadná nebyla, jde o svítidla plně cloněná (typ Viktor firmy Thorn).

Na dalším snímku (též dostupném přímo jako `sloup.jpg`) ještě lépe vyniká stín vržený obeliskem do ovzduší, zdůrazňující ohromné světelné znečištění vznikající použitím neadekvátní optiky pro jeho osvětlování (spolu s velmi přehnanou intenzitou osvětlení).



Další pohled z bližší strany křižovatky je pořízen napřed s bleskem, takže osvětlované svislé plochy nejsou přexponovány (jen koule jsou). Poslední pohled zachycuje celek lázní s „tajemnými světelnými chvosty“, vpravo nahoře je kromě budov biskupství opět vidět i část katedrály.

Následuje pohled na Špilberk z jižního svahu Žlutého kopce. Patrně je přehnaně silné osvětlení hradu, spousta světla která jej mívá a jen osvětluje vzduch nad ním a nad svahy Špilberku. Nápadnější než hrad jsou nicméně extrémně špatné lucerny na cestě jeho úbočím.



Další snímek (uvedený zde zmenšeně, jinak též dostupný přímo jako `pekaarska.jpg`) míří více doprava, zabírá lépe Pekařskou ulici a také průčelí katedrály. Na první pohled je zřejmé, že většina světla, které jde z Pekařské do kamery, je přímo z lamp, ne z osvětlené ulice. Všimněte si též velmi světlé oblohy vedle katedrály, projevu špatně směřovaného osvětlení budovy. Modravé ovzduší v popředí, vlevo od Pekařské ulice, je působeno pravděpodobně osvětlením fasády v soukromém dvoře.





Mimo tento adresář je snímek `zacernene.jpg` pořízený v areálu Fakultní nemocnice u sv. Anny v Brně. Na fasádách budov jsou namontovány držáky s koulemi, které v noci svítí do všech směrů. Koule vpravo jsou ale upraveny, horní půlku mají začerněnou. Je to zjevně proto, že vadily pacientům nebo zaměstnancům „první interny“, která za nimi sídlí. Takto alespoň na stropy nad sebou už nesvítí a v pokojích nastává alespoň přibližná noc jako nutná podmínka klidného spánku.

### 3 Trvale osvětlené stromy

jsou mnohdy popletené, pokud jde o roční období. Různé druhy se v tom liší, některé se řídí více teplotami, jiné právě světlem a délkou dne. Jako zvláště citlivé na světlo uvádí literatura platany javorolisté. Ty jsme také v rámci projektu na několika místech v Brně sledovali a takový velmi výrazný efekt našli. Olistění bylo na osvětlených stromech podstatně déle než na těch, které intenzivně osvětlené v noci nejsou, jakoby pro ně byl podzim o měsíc opožděn. Na nejvíce osvětlených větvích bylo zelené listí až do mrazů v polovině prosince.

Podobně anomálně olistěné platany byly v prosinci též pozorovány a dokumentovány v Praze, pod Petřínem v rohu Kinského zahrady na Smíchově (tam zejména vinou záměrného osvětlení světlometry zabudovanými v zemi, viz snímky Pavla Suchana v adresáři `praha`), či na náměstí Míru.

#### 3.1 Platany na Joštově ulici

Fotometricky podrobně dokumentovaná je řada platanů na západním konci Joštovy ulice v Brně, u konečné trolejbusu, mezi budovami lékařské fakulty. Snímky v adresáři `stromy/platany_jostova` jsou ze 3. prosince 2003.

Platany silně osvětlené měly dosud část zeleného listí, na rozdíl od těch, které zblízka osvětlené nebyly.

Platan u dvojice fungujících lamp (koulí) byl v místech nejdál od nich osvětlen deseti luxy (přesněji, deseti lumeny na metr čtvereční), nejbližší, kam jsem dosáhl, 70 lx, listy ještě blíže lampám snad až ke 200 lx.

Druhý platan, u stožáru, kde ze dvou lamp svítila (ne moc silně) jen jedna, byl osvětlen v bližší části jen asi 25 lx.

Zajímavé je, že osvětlenost chodníku daleko od lamp byla 3 lx, jen od nebe, nízko zataženého...

Ze snímků plynou též hrubé odhady osvětlenosti, přesně jsou z nich samozřejmě patrné jen jasy. Ty jsou u nejvíce osvětlených listů kolem deseti kandel na metr čtvereční (či krátce nitů), kmen má jas dvou nitů. Při zhruba lambertovské ploše a albedu listů

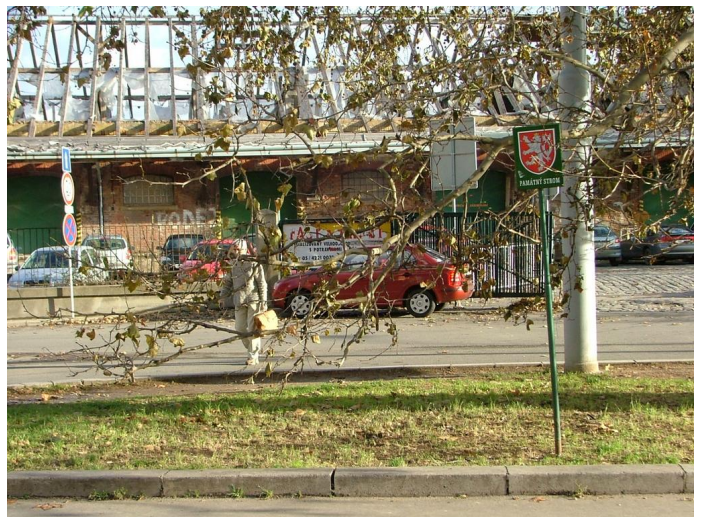
kolem patnácti procent znamenají dva nity asi čtyřicet luxů, deset nitů pak asi dvě sta luxů. Kmen je jistě světlejší, s albedem spíše dvacet procent až jedna třetina, takže jeho osvětlenost je dvacet až třicet luxů.

U druhého, slaběji osvětleného a olistěného platanu, jsou nejvyšší jasy listů v podvečer jen jeden až dva nity, tedy jejich osvětlenost dvacet až čtyřicet luxů. (Poslední snímek v adresáři je pořízen ze stejného místa jako snímky předposlední, je to ale pohled na opačnou stranu, ke svatému Tomáši. Je zjevné, že jeho fasáda je osvětlena poněkud přehnaně silně, valnou většinou má jas nad jeden nit, průměr je až pět nitů. Příkladná je zato řada plně cloněných lamp nad ulicí Joštovou, která výhled na chrám téměř vůbec nekazí, jak do dále rychle slábnou.)

#### 3.2 Platan u Kapitolu

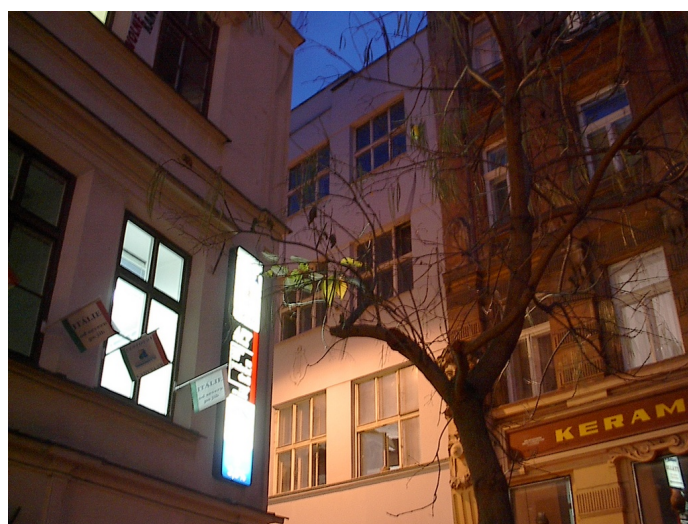
Adresář `stromy/platan_kapitol` obsahuje jen sadu pohledů na jeden z největších platanů v Brně, u Kapitolu nedaleko starého autobusového nádraží naproti hotelu Grand.

V místech, kam dopadá z okolních lamp maximum světla, měl začátkem prosince stále ještě zelené, ač již schnoucí listy. Listy méně osvětlené byly hnědé nebo již opadané. Neosvětlené platany byly již zcela bez listů nebo jen s řídkými zbytky listů hnědého. Dva základní pohledy na tento impozantní, nyní imi-semi výrazně zatížený strom jsou též uvedeny samostatně jako `stromy/platan_kap1.jpg` a `stromy/platan_kap2.jpg`:





### 3.3 Další platany, paulovnie a akáty



Vliv lamp, v tomto případě téměř izotropně svítících koulí, byl patrný i na akátech podél brněnského soudu na Dvořákově ulici, a to na obou koncích řady stromů. Na následujících snímcích stromy/akaty1.jpg a stromy/akaty2.jpg je dokumentován jen západní konec řady akátů:

Dalším impozantním platanem s dokumentovanými anomáliemi působenými blízkou lampou je v nádvoří Fakultní nemocnice u sv. Anny. Detail olistěného místa je na snímku dostupném v plném rozlišení jako stromy/platan\_fn.jpg). Anomálně olistěný byl ten den, na sv. Mikuláše, dosud i jeden z platanů na protější straně Hybešovy ulice, v areálu zubní kliniky – ten, na který svítí blízká lampa GE M2A s fresnelovským refraktorem z ulice, podvečerní snímek ale zelené listy dobře neukazuje:



Kromě platanů bylo anomální zelené olistění přítomno do prvých mrazů i na paulovnici na Starobrněnské ulici v Brně, viz následující snímek stromy/paulovnie.jpg nebo další v adresáři stromy/paulovnie. Tam byl na vině hlavně reklamní panel svítící 24 hodin denně. Trochu světla k tomu přidávala i plně cloněná lampa z uličky Peroutkova (na snímcích není zobrazena, jde opět o typ Viktor firmy Thorn, větev má ale tu smůlu, že je níže než ona).



### 4 Uměle zvýšený jas noční oblohy

dokumentují především v projektu nově zpracovaná astronomická měření z různých let. Alternativní metodu měření nabízejí



běžné digitální kamery nabízející „raw format“, a v zásadě též citlivá fotometrie pomocí solárních panelů. V některých případech lze pořídit data i pomocí luxmetrů.

Pro nejlevnější digitální fotoaparáty, které snímky v takřka surovém tvaru nabízejí, je měření jasu oblohy za bezoblačného počasí na hranici jejich možností, neb umožňují nejvíce dvousekundové expozice. Ty zhruba odpovídají pohledu očima, jen jsou více zašuměné.

Stručnou ukázkou výsledků s fotoaparátem Fuji S5000 nabízí adresář *nebe*. Uveden je tam přímo jeden snímek ze tří. Hodnoty jasů v horních rozích snímku jsou podceněny, neb snímky daným fotoaparátem jsou zde vinětované.

Popsané snímky byly pořízeny až před půlnocí před Štědrým dnem, v noci s velmi čistým vzduchem, ze zahrady domu na Lipové 19 v Brně. Jas nebe poblíž zenitu vyšel zhruba 1.88 mnt.

Na dvou prvních snímcích je též okno našeho pokoje, to kupodivu nemá asi nikde přes dvě kandelý na metr čtvereční (v dosahu expozice je jen úroveň 1 cd/m<sup>2</sup>). Také je tam římsa domu, většinou tmavší než nebe, až na kus osvětlený okny, ještě světlejší je osvětlený kus fasády.

Nejjasnější hvězda na snímcích je Capella, vidět jsou i další nejjasnější hvězdy ve Vozkovi a hvězdy v Perseovi. Na snímcích s oknem ještě Alamak v Andromedě, na snímku bez okna pak Aldebaran a Plejády.

Přítomnost hvězd umožňuje kalibraci snímku zcela nezávislou na luxmetrech. Capella má „ručně sečteno“ 2.3 cd/m<sup>2</sup> přepočteno na jeden pixel, ten má prostorový úhel 8.59E-7 sr, takže změřená jasnost Capelly je 1.98 mikrolumenu na metr čtvereční aneb 0.27 mag. 0.08 mag by měla bez atmosféry, extinkce se tedy zdá být jen asi 0.19 mag, což je v souladu s měřením jasnosti slunce přes den (byl extrémně čistý vzduch).

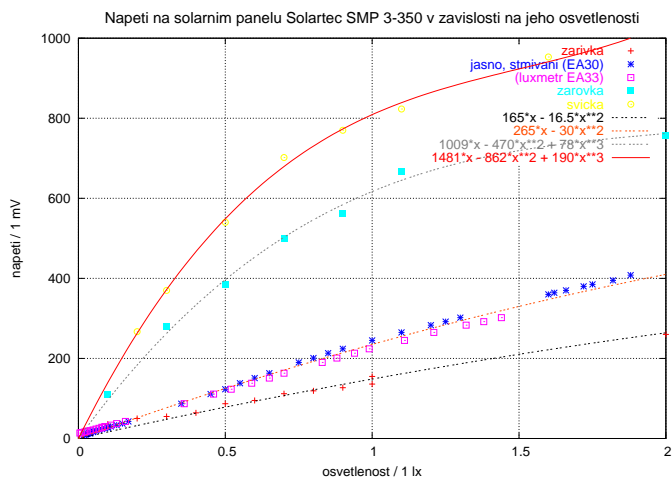
Ze tří snímků sečteno strojově jsou jasnosti Kapely / lm/m<sup>2</sup> snímek 17: 2.02E-6, 18: 1.93E-6, 19: 2.08E-6. Střední hodnota je tedy asi 2.01 mikrolumenu na metr čtvereční, čili 0.26 mag, to by odpovídalo extinkci jen 18 cmag, trochu málo... Ale uvážíme-li nejistotu deset procent, čili desetinu magnitudy, je to zcela OK.

Jiné záběry pořízené dříve, za měsíčního večera na sv. Mikuláše v pozorovatelně brněnské hvězdárny na Kraví hoře, dávají jasy nebe podstatně vyšší, ač i to byla noc s velmi čirým vzduchem. Je zjevné, že za takových podmínek má Měsíc poblíž úplňku (byl zrovna dva dny před úplňkem), v méně osvětlených částech Brna, jako jsou Kraví hora nebo svah nad Pisárkami, na jas nebe dosud hlavní vliv. Jasy se dle úhlové vzdálenosti od Měsíce pohybovaly od zhruba 3.6 mnt do 9.4 mnt.

Připomeňme, že jas bezměsíčního nebe v neznečištěné přírodě činí v zenitu zhruba 0.3 mnt. Ve zkoumaných, relativně tmavých brněnských lokalitách jsme nicméně i za extrémně čistého vzduchu a bezměsíčných nocí zjistili jas alespoň pětinasobný...

Měřili jsme též osvětlenost krajiny v nocích zatažených. Ta je také měřítkem světelného znečištění. V Brně „v temných lokalitách“, ale nezakrytých korunami stromů, v městské části Brno-sřed neklesá osvětlenost při nízké oblačnosti pod tři desetiny luxu... to znamená jas nebe asi sto milinitů.

Za bezoblačných bezměsíčných nocí s poměrně čistým vzduchem ale luxmetry již spolehlivě jas nebe nezměří. Měřit se ale dá sestavou jednodušší, solárním panelem a milivoltmetrem. Takovou sestavu jsme jen zakoupili, připravili a předběžně okalibrovali, systematické měření bude na projekt navazovat. Kalibraci panelu udává adresář *solarni\_panel*. Citlivost soupravy je asi 265 mV/lx, umožňuje tudíž spolehlivě indikovat už tisícinu luxu (ta by měla dávat dvě až tři desetiny milivoltu). Kalibrační křivku pro soumrakové denní světlo a pro Měsíc udává např. obrázek *solarni\_panel/solp.png*.



Kalibrační křivky pro jiné zdroje pořídil student pedagogické fakulty MU v Brně Zdeněk Přecechtěl. Jeho data jsou zahrnuta do výše uvedeného souborného grafu. Je zřejmé, že citlivost panelu na světlo zářivky je poněkud nižší, citlivost na terrestrické tepelné zdroje pak mnohem vyšší, dle očekávání, neboť křemíkové články jsou nejcitlivější na krátkovlnné infračervené záření. Pro žárovku je citlivost pro slabé světlo téměř tisíc milivoltů na lux, pro svíčku ještě vyšší. To jsou ale zdroje, které jsou pro světelné znečištění nočního ovzduší zpravidla zanedbatelné. Ostatní zdroje (kromě Slunce) jsou neteplé a odchylky oproti dennímu světlu lze u nich očekávat jen v řádu desítek procent – to proto, že jejich účinnosti se blíží stu lumenů na watt, podobně jako u záření slunečního.

S panelem jsme později provedli měření za bezoblačné, bezměsíčné noci s velmi čistým ovzduším v Brně na Kraví hoře. Údaj byl 2,2 mV, což odpovídá osvětlenosti zhruba jeden centilux. Odpovídající jasy oblohy změřené digitálními fotoaparáty byly od dvou milinitů v zenitu do šesti milinitů v nízkých úhlových výškách; s ohledem na odrazivost panelu pro velké úhly dopadu je to dobrá shoda.

## 5 Světlo v nočních interiérech

Pro praktické posouzení relevantnosti světelného znečištění by bylo vhodné znát hodnoty osvětlenosti, které jsou již lidmi vnímány jako rušivé v době, kdy v noci spí nebo chtějí spát. Dotazníkový průzkum i následný větší průzkum veřejného mínění ukázal, že lidem běžně vadí měsíc kolem úplňku. Ten přes okno neposkytuje většinou více přímého světla než desetinu luxu, zcela krajní mezi jsou dvě desetiny luxu. V případě, že jde o nepřímé světlo rozptýlené v pokoji, osvětlenosti nepřesahují dvacetinu z toho, tedy setinu luxu.

Subjektivní průzkum autora ukázal, že jako výrazně nepříjemně velké je v noci skutečně vnímáno už osvětlení tří setin luxu. Při takovém je již adaptovaným zrakem možno zcela pohodlně číst hlavní údaj na displeji luxmetru (tučné číslice výšky asi dvou centimetrů). Jak uvádí další kapitola, luxmetr EA30 ve skutečnosti v takové chvíli indikoval jen setinu luxu. Dobře čitelný byl i případný údaj nulový, odpovídající osvětlenosti max. dvou centiluxů. Jako hranici, kdy už světlo zcela jistě ruší, lze dle mých zkušeností předběžně uvést hodnotu jednoho centiluxu. Při ní se už lze v místnosti dokonale orientovat a rychle pohybovat. Udával jsem ještě před zahájením projektu hodnotu tří setin luxu jako snad tolerovatelnou při spánku, to je ale hodnota zjevně naprosto přehnaná.

To dokládá i měření v rodině ing. Ludvíka Trnky. Uliční lampa před jejich oknem natolik rušila jejich spánek, že museli instalovat zcela neprůsvitné vnější okenice, ani těžké závěsy nestačily. Přitom ale měření osvětlenosti v relevantní části ložnice dalo při nezakrytém okně jen hodnotu šesti centiluxů (luxmetr ukázal čtyři centiluxy, šest je to po opravě dle dále uvedené kalibrace). Na interiérové straně okně v jeho přímo osvětlené části bylo 8,5 lx, v části lampou přímo neosvětlené byl jeden lux. Po instalaci závěsů se mohla osvětlenost ložnice snížit desetkrát, tedy na necelou setinu luxu, ani tato (daným luxmetrem zcela neměřitelná) hodnota ale nebyla považována za vyhovující. Jinak by se pan Trnka neodhodlal k pracné instalaci vnějších okenic, a především by je nepoužíval – takto musí každé ráno jít ven a jejich otevřením do místnosti pustit světlo, v prosinci a v lednu někdy jen to z lampy, jinak většinou už i to ranní přírodní.

Z toho plyne doporučení, aby osvětlenost očních víček během spánku nepřesáhla několik málo mililuxů, pravděpodobnou horní hranici, kdy světlo neruší, jsou dva mililuxy. To ostatně není překvapivé, jeden až dva mililuxy jsou v přírodní noční bezměsíčné krajině, a není žádného důvodu, proč by se lidé během své fylogeneze měli přizpůsobit hodnotám vyšším. Při úplňkových nocích snadno mohli vyhledat místa zastíněná (a jistě tak činili už pro ochranu před svým nočním radiacním ochlazováním), případně se v otevřené krajině otočit šikmo dolů na opačnou stranu, tehdy už osvětlenost víček je i v extrémním případě jen několik mililuxů (vyloučíme-li případ spánku na sněhové pláni...).

Sledování reálných osvětleností víček v případech, kdy si lidé na světlo již stěžují, je úkolem pro nějaký další výzkum, náročnější časově a organizačně (lze při něm použít jak vhodných digitálních kamer, tak solárních panelů, tedy metod vyvinutých během tohoto projektu).

## 6 Fotometrická kalibrace luxmetrů

Luxmetry mívají udávanou přesnost málokdy lepší než pět procent. Pro konkrétní tři typy digitálních luxmetrů jsou udané nejistoty následující.

Pro Lutron LX-105 je udávaná relativní nejistota čtyři procenta, k té se přidává ještě absolutní nejistota na úrovni dvojnásobku jednotky nejméně významné ciferné pozice na displeji (stručně „posledního místa“). Není jasné, zda jde o standardní nejistotu nebo např. její dvojnásobek, pravděpodobně je to ten druhý případ, stejně jako pro další dva luxmetry. Luxmetr udává jako nejmenší veličinu celé luxy, nejistota udávaná výrobcem je tedy minimálně dva luxy. Pro silné světlo, např. padesát kiloluxů, je nejistota čtyři kiloluxy. Údaje platí pro světlo žárovky při teplotě vlákna 2856 K. Výrobce udává, že spektrální citlivost se shoduje s fotopickou citlivostí dle CIE, což ovšem nemůže být pravda, neb přístroj obsahuje přepínač typu světelného zdroje (denní světlo, žárovka, zářivka, rtuťová výbojka - jde zřejmě o násobení nějakým koeficientem, který se ale neliší od jedničky více než o pět procent). Jde o nejlevnější luxmetr z uvedených, s obvyklou cenou pod pět tisíc korun. Umí počítat průměry, jestli správně, jsme ještě dostatečně neotestovali. Horní limit osvětlenosti je udáván na padesát kiloluxů, přístroj ale zjevně měří i hodnoty vyšší, jaké dává plné slunce, a to ve shodě s dalšími luxmetry.

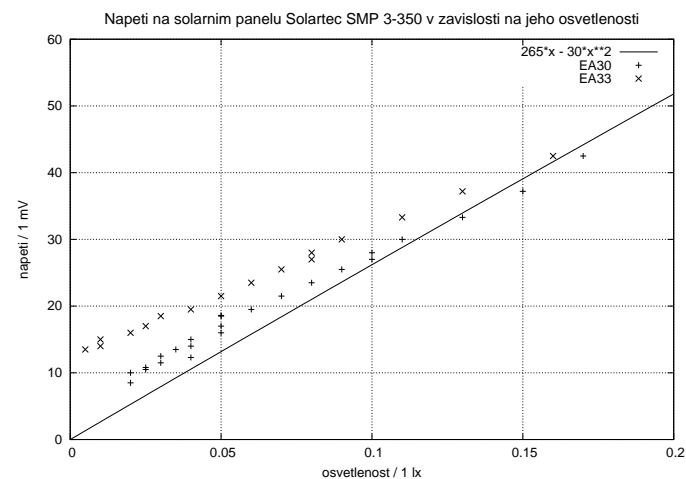
Pro Extech EA30 jsou udávány nejistoty tři procenta plus půl procenta nejvyššího řádu displeje, případně čtyři procenta plus desetnásobek posledního místa pro osvětlenost nad deset kiloluxů. Pro slabé světlo to znamená nejistotu pěti centiluxů. Pro padesát kiloluxů je nejistota tři kiloluxy. Rozsah osvětleností udávaný pro přístroj je až čtyři sta kiloluxů (denní světlo je max. 130 klx).

Spektrální citlivost je udána grafem, výrazná odchylka od fotopické křivky je jen v oblasti od 460 nm do 490 nm, přístroj je téměř necitlivý na záření o vlnové délce 480 nm (prakticky to znamená, že velmi málo reaguje právě na záření registrované gangliovými buňkami s melanopsinem, řídicími cirkadiální rytmus).

Pro Extech EA33 je spektrální citlivost zřejmě stejná. Udávaná odchylka od CIE fotopické křivky je pod šest procent, to je ale nějaká hodnota sumární, neplatná v oboru kolem 480 nm. Nejistotu měření udává výrobce jako tři procenta a pětinašobek posledního místa, pro slabé světlo to znamená rovněž pět centiluxů, pro padesát kiloluxů by nejistota měla být jen jeden a půl kiloluxu. Je to přístroj z dané trojice nejdražší, s cenou mírně pod deset tisíc korun vč. DPH. Jako jediný sám přepíná rozsahy (a maximální měřitelná osvětlenost je udávaná na stěží se vyskytujících 999 klx).

V rámci uvedených nejistot se údaje luxmetrů vždy shodovaly.

Pro náš projekt je podstatná přesnost pro měření slabého světla. U obou dražších luxmetrů indukujících setiny luxu skutečně není pro nejslabší světlo horší než oněch pět setin luxu. To vyplývá z kalibrace solárního panelu, u kterého lze předpokládat, že pro nulové osvětlení dává nulové napětí, a pro který z kalibrace vyšlo, že závislost jeho napětí na osvětlenosti je pro osvětlenosti pod půl luxu velmi přesně lineární. Oba předpoklady dohromady implikují pro solární panel závislost napětí naprázdno na osvětlenosti ve tvaru přímé úměrnosti, a z ní pak vyplývají odchylky luxmetrů v oblasti, kde již jejich přesnost je velmi nízká. Ty se limitně blíží právě pěti setinám luxu u EA30, který indikuje 0.00 lx už při oněch pěti setinách luxu. U EA30 jsou odchylky menší, v limitě slabého světla udává luxmetr jen o dvě setiny luxu méně, než je správná hodnota. To je ovšem vlastnost, která může být proměnná a bude nutno ji občas verifikovat. Alternativní verifikaci nabízí právě digitální fotografie. Graf pro oba luxmetry je v detailu pro slabého světla na následujícím obrázku `solarni_panel/kalib_faint.png`, v adresáři `solarni_panel` jsou i výchozí hodnoty atd.



## 7 Fotometrická kalibrace digitálních fotoaparátů

Nejprve bylo nutno vyřešit základní úlohu, tj. získat nekalibrované, relativní fotometrické údaje ze snímků, a to v případě slabého světla (s podexponovanými oblastmi na snímku) po odečtení snímku pořízeného se zakrytým objektivem (i ten dává totiž nenulový signál, vinou tepelného šumu čipu i převodníku). Tuto úlohu řeší spolu s cizími programy `dcrw` a `jhead` především nově vyvinutý program `raw2lum`. Viz adresář `software` nebo

aktuální verze v adresáři <http://amper.ped.muni.cz/light/luminance>; tam je příslušně upravená verze dcraw, tč. označená dcraw152j, poskytující především skutečně surová data ve standardním formátu, i její vývoj byl zásadní součástí našeho projektu.

Řešení této úlohy by zasluhovalo též podrobný popis, ale pro náš projekt to není věc nezbytná. Pro zajištění věrohodnosti získaných map světelného znečištění postačí naznačit metody následné kalibrace.

První metodou, která byla použita, je záběr osvětlených bílých difúzních ploch. Jednou alternativou je spolehnout se na výpočet jejich osvětlenosti Sluncem či Měsícem, tu lze spočítat s přesností lepší než deseti procent v případě Slunce, s dvakrát horší přesností u Měsíce. Pro výpočet je nutný i odhad podílu světla rozptýleného v ovzduší, ten se získá zjištěním relativního jasů plochy, která je zastíněná. Díky projektu jsme ale mohli takový výpočet kontrolovat i pomocí luxmetrů, s přesností zprvu nevelkou, pak lepší, když jsme měli již tři přístroje. Astronomické výpočty se s údaji luxmetrů velmi dobře shodovaly.

Příklady jsou v adresáři [kalibrace/bila](#).

Z řady snímků jsou tam uvedeny jen tři, ve formátech odvozených z původních surových souborů \*.raf.

Při spolehlivější znalosti albeda a dokonalejší difúznosti bílých ploch je pořízení takových snímků nejjednodušší metodou fotometrické kalibrace kamery – vhodný je větší počet luxmetrů, jejichž údaje jsou na snímcích též zobrazeny.

Kontrolní kalibrace snímkem č. 35 (a 36, zde neuvedeného) je bez luxmetru, množství přímého měsíčního světla je zjištěno výpočtem pomocí programu „planet“. S jasnem listu papíru na podlaze pozorovatelně se dobře shoduje.

## 7.1 Jasová kalibrace podrobněji

Kvantitativní údaje pro sadu čtyř snímků různých bílých ploch (č. 40002, 40003, 40007 a 40024) jsou následující. Jde o osluněné plochy bílé: sololit natřený primalexem polar, bílou kachli, bílý papír (nahore skrz něj mírně prosvítlá hnědá skříň, dole sice ne, ale tam se v něm zase vždy leskne slunce, jak vyplynulo z interpretace snímků). Pro vypočtený jas jsem uvažoval lambertovskou plochu s albedem 0.87.

snímek	oslunění / klx	jas vypočtený / knt	jas na snímku / knt
2	71	19.7	20.7
3	72	19.9	19.9
24	71.5	19.8	19.2
7	9.21	2.55	2.56

(jen bílá kachle v zapadajícím slunci)

Rozdíly mezi třemi snímky s takřka stejným osluněním jsou nejasného původu, možná jde o variabilitu expoziční doby.

Jiná série obsahuje snímky zdi a bílého papíru na ní. Je to zeď v pozorovatelně hvězdárny na Kraví hoře v Brně.

Údaje pro jednotlivé snímky jsou (pro výpočet předpokládáme lambertovský povrch s albedem 0.87):

Údaje luxmetru LX-105 se týkají volby typu zdroje „S“, tj. slunce.

Oslunění takové intenzity odpovídá formálně extinkce v zenitu 15 cmag, kdyby šlo jen o přímé světlo. Přímého světla je ale i tak hodně, neb stín má jas jen desetinný. Devět desetin z udaného osvětlení je přímé světlo. Zenitová extinkce tak vychází jen na 20 cmag, maximálně 21 cmag.

No.	luxmetr / klx	papír / knt	výpočet / knt	kraj stínu / knt
01	65	18.2	18.0	1.55 knt
03	64.8	21.3	18	
06	65.2	16.8	18	1.71
		(až 17.7)		
07	64.2	16.5	18	1.93
08	30.6	6.6	8.5	1.42

(u posledního snímku je asi údaj luxmetru opožděný)

Variabilita jasů spočtených ze snímků je pravděpodobně působena variabilitou expozičních dob. To by znamenalo, že u jediného snímku lze těžko zaručit přesnost přes deset procent.

Jiná dvojice snímků zachycuje papír na jekoru v pozorovatelně brněnské hvězdárny. Na podlaze je patrný stín vržený tubusem dalekohledu. Vlevo je stěna obložená dřevem.

Část papíru osvětlená přímo Měsícem má na širokoúhlém záběru jas 45 mnt, na dalším pak 50 mnt. Jasy zastíněné části jsou 10 mnt a 12 mnt. Přímé měsíční světlo tak působí jas 35 mnt až 38 mnt.

Osvětlenost horizontální podlahy Měsícem při předpokládané velmi nízké zenitové extinkci 20 cmag byla 0.12 lx, což vede ke zvýšení jasu papíru o  $0.87 * 0.12 \text{lm/m}^2 / 3.14 \text{sr} = 0.033 \text{nt}$ , s nejistotou deset až dvacet procent. V rámci této nejistoty se vypočtený jas s jasnem zjištěným ze snímku zcela shoduje.

## 7.2 Rovnoměrnost jasové informace v rámci plochy snímku

se zjišťuje záběrem plochy konstantního jasu. Takové plochy se ve skutečnosti nevyskytují. Jejich aproximací může být ale někdy zatažená obloha, výborná by byla silná mlha, lze použít i modrou oblohu v oblasti, kde jsou její jasové gradienty nevelké. V astronomii se takové snímky označují jako flatfield, a jimi se dělí data vzniklá odečtením temného snímku od snímku, který zachycuje zkoumanou scénu. Úloha v případě astronomických kamer je o něco jednodušší, neb mají malá zorná pole. Pro běžné fotoaparáty je nutné pořídit snímku spoustu, s různými rotacemi kamery, a z nich pak vypočítat snímek ideální.

Pro fotometrii nebodových objektů není naštěstí detailní flatfield (pixel po pixelu) tak podstatný, zajímavá je zato otázka možné vinětace snímku na okrajích.

Pro kameru Fuji S5000 jsme ji skutečně zjistili, a také shledali, že se nikdy netýká kruhu vepsaného do snímku. Výraznější je jen v horních rozích, zvláště v levém. Podezření na její existenci jsem získal již ze zpracování snímků noční oblohy.

Tři příklady snímků zatažené oblohy znázorňujících vinětaci kamery Fuji S5000 jsou v adresáři [kalibrace/flatfield](#). Snímek 16 je s nejdelší ohniskovou vzdáleností, 57 mm, snímek 26 s 19 mm a snímek 37 s ohniskovou délkou nejkratší, 5.7 mm.

Pro nejdelší ohniskovou vzdálenost je vinětace nejměkčí, ale zato postihuje největší část snímku. Pro širokoúhlý snímek je nejhlubší, zvláště vlevo nahore, ale postihuje jen rohy, zvláště horní, v menší míře horní a dolní okraj. Pro snímek se střední ohniskovou délkou je vinětace postižena jen velmi malá plocha.

Barevná stupnice je zde odlišná od všech ostatních snímků, totiž pětkrát jemnější a začínající u čtyř set nitů. Jednotlivé stupínky znamenají „jasy“ (osvětlenosti čipu, jasy jsou ve skutečnosti všude zhruba stejné) lišící se o necelých deset procent. Taková je také maximální variabilita v nevinětované ploše snímku. Gradienty jasu, které nemají symetrii odvozenou z formátu snímku, jsou většinou skutečnými gradienty na nebi, až na



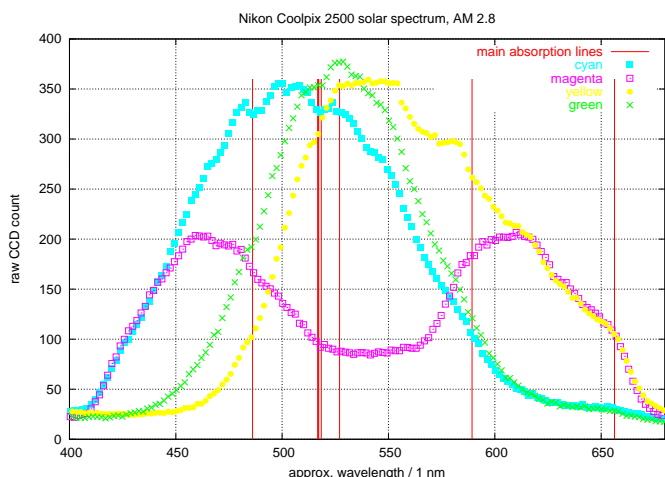
strukturu na snímku širokoúhlém (ta se totiž vyskytuje u všech čtyřech rotací, jak je vidět z úplné sady 36 snímků).

I v případě běžné fotografie by bylo možné snímky často značně zlepšit zpracováním dle astronomických zvyklostí, tj. odečtením „darkframu“ a vydělením „flatfieldem“. To je ale už také záležitost přesahující náš dosavadní projekt.

### 7.3 Spektrální citlivost kamer

je možné zjistit pořízením snímků spekter světla o známém spektrálním složení. Ideální pro všeobecné použití je spektrum sluneční, pro první orientaci je snazší použít snímek zdroje s výraznými spektrálními čarami. Spektra lze vytvořit i velmi jednoduchými prostředky, díky dnešní rozšířenosti CD (ty poslouží coby spektrální mřížka; v našem projektu jsme kromě nich užili též transmissní mřížku s přímými čarami, totiž „spektrální brýle“). Vývoj a popis optimálních metod bude na náš projekt navazovat.

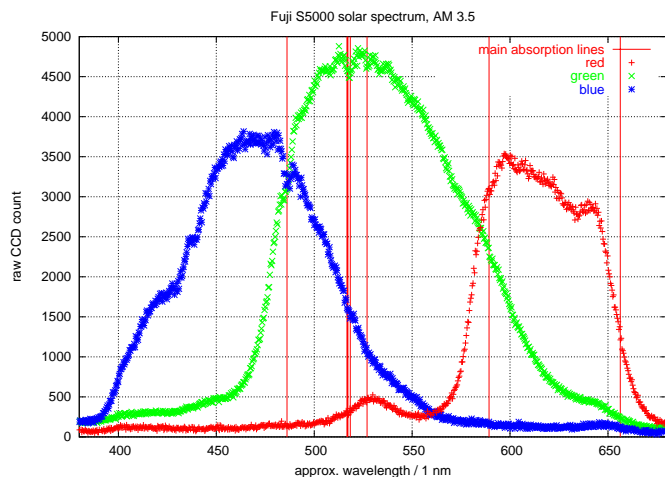
Pro dvě kamery pořízené pro náš projekt jsme výsledky orientačního základního vyhodnocení takových snímků uvedeny v adresáři spektra. Jde o snímky světla klasické lineární zářivky (s luminoforem poskytujícím spojité spektrum) a světla slunečního, ovšem zimního. Zde uvádíme zmenšeně dva z nich, jen pro sluneční světlo při různých vzdušných hmotách.



První obrázek naznačuje citlivost zřejmě nejlevnější kamery umožňující radiometrii. Ta používá čtyři různé barevné filtry (pro běžnou fotografii se pak tyto čtyři barvy přepočítávají na obvyklé R, G a B). Po přepočtu na spektrální zář Slunce v dané úhlové výšce z nich bude možné stanovit i optimální způsob výpočtu fotopického, skotopického a melanoptického jasu (tato poslední veličina není významná přímo, jen prostřednictvím integrálu přes prostorový úhel, neb detektory s melanopsinem nevytvářejí v mozku obraz).

Druhý obrázek je pro dnes běžnější sadu tří filtrů používané ve druhé z kamer. Zajímavé je sekundární maximum citlivosti pro červený filtr, spadající do zelené oblasti. Výrazné snížení signálu kolem 630 nanometrů je zřejmě způsobeno i absorpcí světla kyslíkem v zemské atmosféře (kdyby bylo Slunce výše na obloze, byla by tato absorpce slabší).

Pro lepší kalibraci kamer bude nutné pořídit snímky v době kolem letního slunovratu, kdy jsou nejistoty ve spektrálním složení přímého, nerozptýleného slunečního záření minimální. Použití detailních dat o slunečním spektru také umožní dokonalé navázání škál vlnových délek a přesnost relativní spektrální kalibrace na úrovni až jednoho procenta.



## 8 Osvětlení sjezdovek v Krkonoších

Zvláštním případem mapování znečištění nočního prostředí byla prohlídka a dokumentace osvětlení sjezdovek v Krkonoších. Zvláštním proto, že šlo vzhledem k ročnímu období o osvětlení, které nebylo v provozu. Zkoumání se proto omezilo jen na prohlídku instalovaných soustav a zvážení jejich vlivu na okolí v době, když nad zasněženými sjezdovkami v provozu jsou.

Z hlediska celého českého území jsou osvětlené sjezdovky jen malým zdrojem znečištění, protože jich není mnoho. Lokálně ale jsou vždy zdrojem dominantním, který zcela proměňuje večerní prostředí v zimní čtvrtině roku, a to do značných vzdáleností.

Důvody jsou tři:

Sjezdovky jsou většinou u sídel poměrně malých, v nichž běžné veřejné a komerční venkovní osvětlení není plošně příliš rozsáhlé. Další osvětlená plocha je tedy velkou změnou, v každém případě též proto, že je bílá. Jsou v prostředí, které ve dne je do značné míry blízké přírodě a lidé do něj za přírodou často jezdí. Měli by mít nárok i na přírodu večerní a noční. Důležitým aspektem je také skutečnost, že Krkonoše požívají status zvláště chráněného území nejvyšší kategorie, tj. národní park (podobná situace je však také v ostatních horských oblastech – většinou se jedná o národní parky a chráněné krajinné oblasti).

Osvětlení sjezdovek se volí často nesmírně silné, mnohem silnější než běžné veřejné osvětlení. Je to na základě doporučení ze strany osvětlovacího průmyslu (formálně schovaného za organizací CIE), bez jakékoliv opory o prokázání fyziologické potřeby tak vysokých jasů.<sup>3</sup>

I když někde nesmírně silné není, je v každém případě zcela špatně směřované, takže alespoň čtvrtina, někdy ale i polovina světla jde nad terén, do vzdálených svahů nebo do nebe. To je právě aspekt, který jsme během projektu zmapovali, je to charakteristika, která je patrná už z konstrukce a náklonu svítidel. Podrobněji viz snímky a komentář v adresáři sjezdovky.

Už současná zátěž horské krajiny dosavadním nočním osvětlením, větším než v minulosti, je závažná. Nejen z hlediska estetického

<sup>3</sup>Příslušná ČSN pro osvětlení sportovišť používá jako vztažnou veličinu osvětlenost, ačkoliv relevantní (pravda, před naším projektem méně snadno měřitelnou) veličinou je jas terénu. Sníh je ale alespoň sedmkrát světlejší než asfaltové hřiště. Pro dosažení stejného jasu jej proto stačí osvětlit sedmkrát méně. Tedy ne dvaceti luxy, které ona norma uvádí, ale jen třemi. Běžné veřejné osvětlení pro frekventované nemotoristické komunikace hovoří o osvětlenosti dvou luxů, přičemž se osvětluje zpravidla rovněž asfalt – pro stejný jas při osvětlení sněhu stačí jen třetina luxu. Pro komunikace, kde se kříží provoz aut a pěších, se požadují čtyři luxy, pro sníh by to znamenalo 0,7 lx. Nejvyšší požadovaný jas některých komunikací v dnešní ČSN je 1,4 nt, k tomu stačí osvětlenost sněhu pěti luxy (jde o komunikace, kde se kříží trajektorie vozů jedoucích rychlostí přes 90 km/h). Proč by měly mít sjezdovky jas ještě čtyřikrát vyšší, to lze stěží pochopit...

kého, ale i z hlediska divoce žijících živočichů. Pro ty je příkrov tmy za většiny noci podstatný, v nocích kolem úplňku jsou např. mnohem snazší kořisti, prevencí proti tomu je jen zůstat mnohem více ve skrytu. Proměnil-li se v noc jakoby úplňkovou nádvakem všechny večery, je to bezesporu velká změna a zátěž.

Hlavním důvodem studia situace v Krkonoších bylo pochopitelné přání provozovatelů v dalších střediscích osvětlit také některou sjezdovku. Je mnohdy stěží „politicky“ průchodné některé takové projekty odmítnout s logickým argumentem, že je nutno zastavit pokračující devastaci horského prostředí. Společensky i environmentálně lepší alternativou je připustit nové projekty osvětlení všude tam, kde to v úhrnu může vést ke snížení znečištění. Marginálně přijatelné jsou i takové realizace, které sice nebudou mít pozitivní lokální trade-off, přesto ale dají dobrý příklad pro budoucí rekonstrukce osvětlovacích soustav už existujících.

Základním problémem současných instalací je právě náklon svítidel - svítidlem na nízkém stožáru, které by normálně poskytovalo maximum osvětlenosti nedaleko od stožáru, chtějí investoři či jejich technici vydatně osvětlit oblasti od stožáru mnohem vzdálenější. To je řešení používané z neznalosti či ve snaze použít nevhodná levná svítidla naprosto běžně, např. též na parkovištích, nad autobazary, na staveništích a leckde jinde.

Správné řešení je jiné, použít asymetricky vyzařující svítidla, která mají výrazné maximum svítivosti jen na jednu stranu do dále, minimum svítivosti strmě dolů, a prakticky nulovou svítivost na druhou stranu, takže mohou osvětlit poměrně rovnoměrně i oblast, která sahá do dálky i např. desetinásobek jejich výšek nad terénem (svítí-li směrem dolů z kopce). Ty existují ve dvou základních alternativách: buď jako svítidla, která se montují s krycím sklem vodorovným či mírně dolů skloněným podle terénu, nebo jako reflektory, které v základním případě mají zcela blokováno přímé světlo z výboje (veškeré je přesměrováno zrcadly). Jen takové reflektory mohou být namířené do dále. I takové by ale měly být opatřeny v citlivých lokalitách přídatným krytem, se kterým se stanou vlastně plně cloněnými svítidly s nulovou svítivostí pryč od terénu. Jednodušší je proto použít svítidla prvního druhu, např. tak, jak je podrobně dokumentoval Pavel Suchan mezi dobrými příklady v adresáři [praha pro stadión Hamr](#).

Asymetricky vyzařující svítidla byla použita např. na sjezdovce Hromovka ve Špindlerově Mlýně, avšak ve zcela nepatřičných náklonech, takže maxima jejich svítivosti míří do dále po i proti proudu Labe. Nejméně nepřijatelným způsobem jsou užita na sjezdovce v Herlíkovicích pod Předním Žalým, nedaleko od Vrchlabí cestou proti proudu Labe. I tam jsou ale chybně nakloněna pryč od terénu, a nejsou to svítidla s dobrým rozložením svítivosti. Nejen, že tak jde od silně osvětlené sjezdovky spousta světla na opačnou stranu údolí Labe, ale kromě toho tam jde i spousta světla přímo z lamp. Důsledkem je radikálně zvýšené světelné znečištění, prosvětlení širokého lesního okolí, které je ve dne poměrně málo narušeným přírodním prostředím.

Osvětlit sjezdovku tak, aby žádné přímé světlo nešlo pryč od ní, je přitom poměrně snadné. Je to vlastně snazší než v případě snahy osvětlit z nízkých stožárů kvalitně nějakou běžnou komunikaci. Vtip je v tom, že po sjezdovce se jezdí jednosměrně, a jednosměrné, shora dolů, může být též osvětlení. Může proto mířit velmi do dále, dolů po svahu, a vrhat tak výrazné stíny vyznačující i při nevelké intenzitě osvětlení dobře terénní nerovnosti. Je-li slabé, stačí nevelká svítidla, která je snadné zaclonit tak, aby z nich světlo mimo sjezdovku nešlo. Jediná vědecká studie ohledně potřebné intenzity osvětlení dokládá, že lyžaři od začátečníků až po závodníky jsou zcela spokojeni s intenzitou jen mírně převyšující úplňkové osvětlení, je-li světlo dobře směro-

váno. Samozřejmě též tak, aby oslnivé plochy svítidel lyžaři při jízdě vůbec neviděli.

U všech zkoumaných sjezdovek s existujícím osvětlením je ale vidí<sup>4</sup>, a i při značných intenzitách osvětlení tak na cestu vidí nutně často nepříliš dobře, zejména v případě, že mají orosené, ojínné nebo kapkami pokryté brýle. Takové oslnující osvětlení je světelným znečištěním i pro lyžaře samotné, ohrožujícím jejich bezpečnost.<sup>5</sup>

Pokud nové projekty použijí soustavy eliminující oslnění lyžařů a poskytující rovnoměrné osvětlenosti sjezdovky nepřevyšující v maximech půl luxu<sup>6</sup>, světelné znečištění jimi působené bude nevelké. Nebudou prosvětlovat intenzivně celá údolí, nebudou působit v noční krajině jako pěst na oko, nebudou nad nimi zdálky patrné světelné čepice rušící pohledy na noční nebe. Budou mít velmi malou spotřebu elektřiny, nebudou potřebovat záložní elektrické agregáty (bude stačit nejvýše akumulátor s měničem). Budou vhodně napodobovat kouzelné osvětlení za úplňkové noci, při níž je cesta noční krajinou skutečně požitkem.

Lokálně může nově osvětlená sjezdovka s dokonale směřujícími svítidly a intenzitou osvětlení nepřevyšující dvojnásobek úplňkové vést i ke snížení místního světelného znečištění, pokud je po jejím zprovoznění zrušeno špatné osvětlování sjezdovky jiné. To je případ obce Černý důl – ač je plocha, která se má nově osvětlovat, alespoň pětikrát rozsáhlejší než plocha dosavadní na opačném okraji obce, znečištění nočního prostředí může několikrát klesnout. A to i přesto, že svítidla nad dnes osvětlovanou sjezdovkou nejsou zdaleka tak silná jako na jiných sjezdovkách.

Povolit nový osvětlovací projekt s tak dokonalými světelnými parametry má ještě další význam. Totiž jako model nejen pro jiná místa v Krkonoších a v České republice, ale jako dobrý příklad pro EU a celý svět. Úspěšná strategie k zastavení růstu znečištění většinou není blokovat další osvětlovací instalace, ale klást na ně velmi vysoké požadavky, pokud jde o kvalitu, spolu s přísnými, vědecky zdůvodněnými požadavky pokud jde o nejvýše přípustné množství světla. V konečném důsledku takové dobré příklady časem povedou i k nápravě dosavadních příkladů špatných a tedy k poklesu znečištění nočního prostředí.

<sup>4</sup>Na většině sjezdovek během celé jízdy dolů, na Hromovce během jízdy většinou ne. Pokud se ale lyžař zastaví a ohlédne vzhůru, oslnuje jej spousta lamp, ne jen (potřebné) nejvýše dvě nejbližší.

<sup>5</sup>Tomu se ale normy valně nevěnují, až jde o věc zcela zásadní. Bezpečnost na sjezdovce, stejně jako na silnici, nezvyší „spousta luxů“, ale jen dokonale směřované světlo. Slabší světlo může být dokonce výhodné, protože, alespoň jak ukazuje zkušenost z osvětlených silnic, řidiči na nich jedou rychleji a nehod i jejich závažnosti tím přibývá. Nepříliš silné osvětlení k rychlé jízdě tolik nepobízí.

Zkušební lyžaři si snadno vzpomenu, jak ve dne v mlze, nebo i při dobré dohlednosti, ale zatažené obloze, lze zcela přehlédnout mohutný hrbol nebo ostrov sněhu zcela odlišné kvality – nerovnosti nevrhají totiž stíny. Osvětlenost může přitom být i deset tisíc luxů. Zato při úplňku a jasném nebi jsou nerovnosti terénu patrné dokonale, až na místa schovaná v hlubokém stínu (svítí-li měsíc téměř podél terénu). Hlubokých stínů se při umělém osvětlení lze vyvarovat.

<sup>6</sup>To je hodnota s rezervou dostatečná dle jediného dostupného výzkumu, provedeného velmi zkušenou světelnou technikou Nancy Clanton v USA, viz <http://amper.ped.muni.cz/jenik/letters/ski/msg00000.html>



# Úvod do praktické fotometrie pro laiky

## Co jsou to ty luxy, kandely, lumeny?

Z toho, jak jsem se to učil chápat já, vím, že největší problém při chápání dělá asi pojem prostorového úhlu, co se měří ve steradiánech.

Jednoduché je to jen s holou žárovkou apod., kdy se světlo od zdroje šíří v prázdnosti do všech stran. Žárovky do 100 W vydávají deset až patnáct (no, i 18) lumenů na watt, čím slabší, tím méně účinné jsou. Takže 25W žárovka dává asi 250 lumenů.

Kandel ale má míň, dvanáctkrát, to proto, že plný prostorový úhel (tj. směry od žárovky na všechny strany) má dvanáct steradiánů (4π). Takže svítivost takové žárovky je asi 20 kandel. Jako dvacet svíček, ty totiž ve vodorovném směru, odkud je plamen vidět dlouhý, mívají skutečně tak tu jednu kandelu (více než 1,5 cd to nebývá).

Dvacet kandel znamená, že ve vzdálenosti jednoho metru dává taková žárovka intenzitu osvětlení dvacet luxů (svíčka dává jeden lux). Stovattová žárovka, co má 1500 lm, tak dává sto dvacet luxů. Když je holá, venku. V místnosti víc, neb kromě přímého světla jde např. na stůl i světlo od stropu a stěn. Když má nějaké uvnitř bílé stínítko, které světlo přeměruje dolů, může dát snadno tři sta luxů. Když je v hlubokém reflektoru, který světlo vypustí jen do kuželu, který ve vzdálenosti toho jednoho metru je široký také jeden metr, a reflektor nepohlí více než třetinu světla, může dát osvětlení tisíc luxů.

Dvakrát dál od zdroje je osvětlení čtyřikrát slabší, pokud jde o přímé světlo (toho ubývá „se čtvercem vzdálenosti“). Např. holá stovka žárovka dá dva metry od sebe třicet luxů.

V místnosti se světlymi stěnami to tak úplně neplatí. Jednoduše lze třeba uvažovat, že polovina světla ze žárovky se jednou recykluje, takže má-li místnost 3x3x3 metry, aneb stěny, podlaha i strop dohromady 54 m<sup>2</sup>, je průměrná intenzita přímého osvětlení žárovkou zhruba třicet luxů (1500 lm / 50 m<sup>2</sup>). Kdekoliv v místnosti je pak patnáct luxů od osvětlených ploch. Dva metry od žárovky pak není pouhých třicet luxů, ale 30+15.

40W zářivka může mít až 100 lm/W, tedy vydávat až 4 tisíce lumenů, skoro třikrát víc než stovka žárovka. Ve stejné místnosti by pak dva metry pod ní bylo jistě přes sto luxů. Ve skutečnosti hodně přes sto, neb zářivka je dlouhá a podél sama sebe moc nesvítí, zato svítí víc kolmo k sobě (to je tím, že na pohled je odtud nejdelší). Je-li v zrcadlové dutině, kde jsou kromě ní vidět i dva její obrazy, může dát klidně pět set luxů. Počítat to jde také tak, že ze svítidla vyleze řekněme 2500 lumenů, a pokud se nasměrují na plochu velkou pět metrů čtverečních, připadá na jeden těch pět set lumenů, čili osvětlení pět set luxů (lux je lumen na metr čtvereční).

25W žárovka osvětlí takovou malou místnost asi 6x míň než stovka žárovka, tedy asi 7 lx. Pokud je ale v lampě namířené do opačného rohu místnosti, může být nepřímé osvětlení opačného rohu třeba jen jeden lux (stejně jako kdyby šlo o holou žárovku venku, vzdálenou pět metrů).

Ještě kompaktní zářivky. Ty jsou míň účinné než ty dlouhé zářivky. Aby daly tolik světla jako žárovka, musí mít příkon ne

šestinový, ale asi čtvrtinový. 25W kompaktní zářivka tak naplní takovou malou místnost oněmi asi 45 luxy.

To, co jsem občas měřil v posledních týdnech doma, tomu zhruba odpovídá.

Z těch dvanácti steradiánů, které jsou kolem žárovky či výbojky dokola, vyplývá, že holá výbojka či žárovka má měrnou svítivost 1000/12=80 kandel na kilolumen, tj. že kdyby vydávala těch tisíc lumenů, měla by svítivost 80 cd. Metr od ní by bylo 80 luxů, deset metrů od ní 0,8 luxu. Výbojky mají ale vždy víc než 1 klm, ty běžné 50W mají asi 4 klm, tedy deset metrů od nich je 3 luxy, pokud je plocha kolmo k výbojce. Jde-li o cestu devět metrů od sloupu, na němž je výbojka 4,5 metru vysoko, je osvětlená pod úhlem 60 stupňů, tedy dvakrát míň (jako že sinus 30 stupňů je 0,5). Pokud ale takové výbojky jsou od sebe 18 metrů, je minimum osvětlenosti cesty uprostřed mezi nimi tak ty tři luxy.

(Osvětlenost je jiný název pro intenzitu osvětlení, tedy to, co se měří v luxech.)

Holé výbojky jsou jen na vsi, ale skoro holé jsou v některých šilných, extrémně oslňujících svítidlech (v nichž jsou přímo vidět) a geometricky stejná je varianta, kdy je výbojka v mléčné kouli (ta jen něco ubere, čistá nejvýš třetinu). Ony sice do očí svítí stejně, ale z větší plochy, a tak tolik neoslňují. Stejná řada koulí, tj. po 18 metrech ve 4,5m výšce, by tak dávala minimální osvětlenost cesty dva luxy.

Svítidla s nějakou směřující optikou mohou dávat do dálky, aby osvětlila prostor uprostřed mezi sebou podobně silně jako pod sebou, třeba 320 cd/klm místo 80 cd/klm. Lze si to představit tak, že z daného místa jsou tam místo jedné korundové trubičky (ty jsou srdcem sodíkových výbojek) vidět čtyři (ve skutečnosti je plocha, kterou na pohled zaujímají, větší, ale zase ne tak světlá). Takže minimum osvětlenosti by bylo osm luxů místo čtyř.

Pro pěší cesty norma ale chce jen ty dva luxy, ne coby minimum, ale coby průměr, a tak by místo výbojek v dobrých svítidlech stačily nějaké kompaktní 15W zářivky. A v méně hustě obydlených čtvrtích, kde po takových cestách nechodí moc lidí, chce norma desetinu luxu coby minimum. Na to stačí i 6W zářivky v nijak zvlášť dobře směřujících svítidlech.

V Brně teď za těch zatažených dní je všude alespoň 0,3 lx, třeba u nás na Kraví hoře, kde v parku široko daleko kolem hvězdárny nemáme lampy. Míň než třetina luxu je jen tam, kde světlo z nebe zakrývají koruny stromů. Ani jsem si dřív neuvědomil, že tma je za zatažených nocí už tak řídká.

Tolik totiž činí také světlo úplňku, když je vysoko na nebi, nejvýš tu třetinu luxu.

Teď, kolik se dostane do interiéru oknem. Za zatažené noci z té třetiny luxu nejvíce tak polovina (to proto, že z okna je vidět jen půlka nebe), takže jen něco nad desetinu luxu. Dál v místnosti je to míň, jen pár setin luxu.

V přírodní noční tmě je bez měsíce osvětlenost krajiny tak tisícina luxu, v místnostech dost blízko oken běžně jen desetitisícina. Přesto tam ještě trochu vidíme, když se v noci vzbudíme a jsme rozkoukaní.

Měsíc, když svítí oknem na postel, dává během týdne kolem úplňku maxima přes desetinu luxu, v úplňkové noci až přes dvě desetiny luxu.

Mimochodem, za těch nejtmaivších listopadových dní bývalo venku jen 300 lx (ve slunném létě to bývá 100 klx), v interiérech běžně jen pár desítek luxů.

A ještě k lampám svítícím zvenčí dovnitř. Koule či hříbek (Pilzleuchte, mor z firmy Siteco, dcery Siemensu, který se rozšířil v Brně), s 50W výbojkou (ony existují sice i 35W, ale osvětlovači je většinou neznají) vzdálená od okna pět metrů dá na postel (řekněme o další metr dál) tak  $80 \cdot 4/36 =$  asi 9, ale okno odrazí asi dvacet procent, a koule něco pohltí, tož tak sedm luxů. To je věru síla. Když je třikrát dál, je to pořád ještě asi lux. Lidi ale budí i Měsíc, takže bezpečná hranice zcela jistě není ani desetina luxu, snad by mohla alespoň pro méně citlivé osoby být na úrovni setiny luxu (spolehlivá hranice je zřejmě až dvě tisíciny luxu, viz v předchozí příloze v části „Světlo v nočních interiérech“.)

Když taková koule svítí zespodu do stropu, na postel se dostane světla řekněme desetkrát míň než kdyby svítila přímo. Aby to bylo alespoň pod onu setinu luxu, musí být ona koule tak padesát metrů daleko. A být jen jedna.

Jiná svítidla, taková, co se snaží směřovat světlo většinou dolů, hlavně šikmo podél cesty do dálí, by nahoru a vodorovně nemusela svítit vůbec. Ale svítí, vinou odrazu na tom vyčuhujícím krytu dole, pokud jej mají. Nebo i vinou rozptylu na krytu, není-li nový

a čirý. Běžně dávají tak 10 cd/klm vodorovně a šikmo nahoru, ale to jsou údaje výrobců pro nová světla, stará jsou asi horší. Pod setinu luxu (nepřímo přes strop) by dalo snad svítidlo s 50W výbojkou, které by bylo dvacet metrů daleko. Taková svítidla ale bývají vysoko, a tak běžně svítí i rovnou na postel, pak musí být také přes šedesát metrů daleko, aby nevadila opravdu moc.

Když jsou silnější, 100W (10 klm), tak z třiceti metrů dají klidně desetinu luxu. To už budí kdekoho. Ale ve směru deset stupňů šikmo dolů mívají svítivosti i přes 50 cd/klm, a onu desetinu luxu přímého osvětlení dají i ze vzdálenosti sedmdesáti metrů.

Ještě jedna věc ale zasluhuje pozornost. Výbojky dávají světlo s přerušováním s frekvencí 100 Hz (úplným a výrazným, na rozdíl od zářivek, kde jsou přerušování mělká a kratší, a ovšem od tepelných zdrojů se světlem stálým). Vadí to epileptikům, u zdravých to vyvolává zrakovou únavu, ale jak to je s vlivem ve spánku, těžko říct. Asi je to marginální problém, proti samotné přítomnosti světla v nesprávnou dobu. Tím spíše, že jde-li o světlo slabé, jeho přerušovanost už nemusí lidský organismus vnímat (alespoň zrakový aparát postřehne velmi rychle změny jen u zdrojů dostatečně jasných, např. blikání hvězd zvané scintilace je u slabých hvězd stěží postřehnutelné). (Přerušované světlo výbojek znázorňuje působivý, omylem pořízený obrázek, kdy se fotoaparát během expozice naklání, [fota/noc\\_ilu/im006150.jpg](fota/noc_ilu/im006150.jpg).)

# Svícení jen dolů velmi sníží jas oblohy

## 1 Úvod

Chceme-li co nejvíce potlačit nežádoucí účinky venkovního osvětlování, téměř stačí, když budeme důsledně dodržovat pravidlo: svítit jen dolů *svítit jen dolů*. Takové pravidlo bývalo samozřejmostí na železnici (a v některých státech jí zůstalo), po mnoha desetiletích se nověji uplatnilo v okolí některých astronomických observatoří, jejichž pracovníci se začali o venkovní osvětlování zajímat. Pravidlo má mnohé blahodárné dopady, kterým se postupně budeme věnovat.

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

Ve všech zákonech a pokynech, jejichž cílem je bránit světelnému znečištění, se vyskytuje jeden základní požadavek: zajistit, aby ze svítidel (lidově lamp)<sup>7</sup> 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 by snad už nemělo vadit, co myslíte?

Takové uvažování je ovšem založeno na omylu, podle něhož je světelné znečištění „světlo jdoucí do nebe a tím prý rušící astronomy při pozorování“. Znečištění obecně je ale 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, kam je potřeba, a užít přitom jen takové množství světla, které je v danou dobu nezbytně nutné. Veškeré svícení, které takové zásady nerespektuje, vede pak ke světelnému znečištění zvláště závažnému, protože zbytečnému.

## 2 Svícení, které nejvíce vadí

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

Zvláště škodlivé je například svícení

1. na nepatřičné plochy (cizí pozemky či objekty, zejména do oken domu, kde ruší něčí spánek)
2. do očí čili oslňování (při pohledu do obvyklých směrů nemají mít lidé v zor-

<sup>7</sup>svítidlem se rozumí světelný zdroj, tj. např. zářivka či výbojka spolu s veškerým zařízením k zapálení a udržení výboje v ní a ke směřování jejího světla; jako lampa se označuje i „prázdné svítidlo“ bez světelného zdroje

ném poli plošky lamp s vysokým jasnem – jsou vždy rušivé, odvádějí pozornost a snižují viditelnost)

3. 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)
4. nad obzor, jen do vzduchu (ruší organismy, které se tam pohybují, často zavinuje 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 směřování 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 rozptýluje 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 nádhra hvězdného nebe.

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

## 3 Odkud se bere světlo oblohy v přírodě

### 3.1 Rozptýlení 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 výrazným světelným zdrojem. Je to proto, že 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 posoudit 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.

Zářící 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 sytější, čím méně je v ovzduší prachových či kapalných částic.<sup>8</sup>

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.

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 vůbec nejméně ve směrech kolmých.<sup>9</sup>

Když Slunce k večeru klesne k obzoru, kontrasty stínů polevují, protože se cestou k nám rozptýlí valná většina slunečního světla. Tak moc, že Slunce i napohled zeslábně. Ubude hlavně modrá složka jeho světla (tím se z bílého stane nažloutlé), při méně výtečné dohlednosti se rozptýlí i zelený podíl, takže se Slunce stane 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 alespoň třístokrát. Jinými slovy, více než 997 promile slunečního světla, které jde vodorovně k nám, se cestou rozptýlí.<sup>10</sup>

<sup>8</sup>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

<sup>9</sup>Odbočka pro oddech, pro jas noční bezoblačné oblohy bezvýznamná (zajímat může zvědavé pozorovatele přírody): 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 projevuje kolem stínu vaší hlavy, do směru 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 prsteneček kolem Slunce s takovýmto úhlovým poloměrem, hojný je také odraz na vodorovných ploškách krystalků, obdobný odrazu na zčeřeně vodní hladině (halový sloup).

<sup>10</sup>Proč je to tak? Protože světlo zapadajícího Slunce projde více než třicetinasobným množstvím vzduchu než světlo Slunce za letního poledne. Při průchodu „jednou vrstvou ovzduší“ (strmě dolů) zůstane při bezoblačné obloze nerozptýlených obvykle tak sedm desetin jeho světla (někdy jen šest desetin), při extrémně čistém vzduchu může nerozptýleno projít max. 85 % světla. Při průchodu atmosférou kolem kulového povrchu Země, když vidíme Slunce zapadat z rovinaté krajiny, je to stejné množství na třicátou čtvrtou (např. 0,7<sup>34</sup> je asi pět milióntin).

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

## 3.2 Přírodní obloha v noci

Obloha se tím ale ani v přírodě nestane černá. I za bezměsíčných nocí zůstává dosti světlá, a to 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 a letech je takový svit různě silný. Závisejí na tom, kolik se toho děje na Slunci; nejsilnější je během období s velkým počtem velkých slunečních skvrn a erupcí. Přes den se totiž působením srážek se slunečními částicemi a krátkovlnným zářením vzduch zčásti ionizuje. V noci pak dochází k postupné rekombinaci nabitých částic, doprovázené svícením. Vzduch stává méně ionizovaným a jeho svícení slabne, takže před svítáním je obloha temnější než po setmění.

Mnohem méně nápadně se projevuje sluneční světlo rozptýlené 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. 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 stěžít patrné).

K jasů 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.

## 4 Jak se jas nočního nebe zvyšuje uměle

### 4.1 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 cestou 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



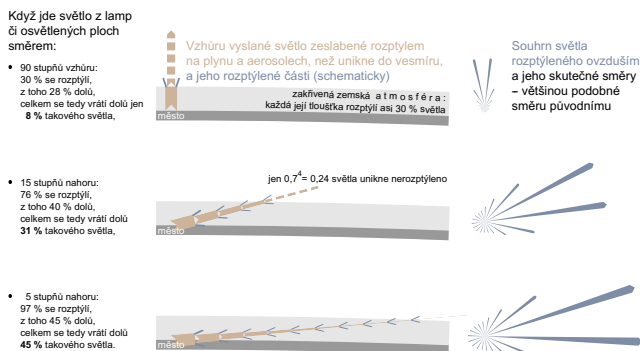
nerozptýlí jen 0,7<sup>4</sup> čili asi jedna čtvrtina. Při směru jen pět stupňů nad obzor unikne do vesmíru nerozptýleno jen 0,7<sup>10</sup>, čili asi tři procenta světla. Pro jednoduchost lze říci, že světlo jdoucí do výšek pod deset stupňů se rozptýlí v ovzduší všechno, světlo jdoucí strmě se rozptýlí 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 pětikrát škodlivější než světlo jdoucí od země strmě, pokud jde o úhrnné zvýšení jasu noční oblohy.

Proč je noční nebe nad městem i daleko od něj stále světlé?



Který z uvedených případů k tomu podle vás přispívá nejvíce?

**Obr. 1: Osudy světla v ovzduší.** Hnědě jsou znázorněny antropogenní emise (většinou oranžové, ze sodíkových výbojek), modře pak podíl, který se rozptýlí v ovzduší (barvou připomínáme, že krátkovlnná složka záření se rozptyluje více). Ve střední části obrázku je rozptyl znázorněn jen schematicky: na každou tloušťku atmosféry se rozptýlí dvakrát patnáct procent ze světelného toku, sedmdesát procent pokračuje původním směrem. V pravé části schématu jsou v detailu znázorněny směry a relativní podíly takto rozptýleného světla. Jas oblohy zvyšují jen ty paprsky, které se rozptýlí zpět k zemi.

## 4.2 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 projevívá 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, projevívá se jen v dáli, těsně nad obzorem. Nebe vysoko nad neosvětlenou krajinou ovlivní jen zanedbatelně.

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

## 4.3 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.



**Obr. 2:** Většina světla, které vidíme při pohledu z vrcholu kopce na krajinu pod námi, přichází (zbytečně) ze samotných svítidel. To osvětluje vzduch nad námi. Z (užitečně) osvětleného terénu je takového světla málo. Větší bývá podíl zbytečně osvětlených fasád. Samotný snímek tyto poměry neudává, protože zdaleka neumí zobrazit skutečnou „sílu“ lamp; ta je ale vidět ve skutečnosti (oči zvládnou velký rozsah jasů) a číselné údaje lze zjistit zpracováním série snímků zahrnujících expozice v rozsahu čtyř řádů. (Obrázek je pro přehlednost i úsporu toneru v negativu, modrý odstín je důsledkem toho, že světlo pochází z vysokotlakých sodíkových výbojek, které svítí oranžově.)

Na druhé straně, takových „vodorovných“ směrů je 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<sup>11</sup>, 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 pětikrát více než světlo jdoucí strmě vzhůru. Světlo od terénu, který svítí lambertovsky, není

<sup>11</sup>Lambertův zákon předpokládá, že, že jas zdroje nezávisí na směru, odkud zdroj pozorujeme



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 svítivosti 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 přibýlo, 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).

#### 4.4 Kolik z onoho světla se vrací na zem

Pro obvyklé znečišťující uliční lampy (dosud považované mnohými praktiky za výborné) to vychází<sup>12</sup> tak, že přímé světlo z nich přispívá k jasů nebe přinejmenším třikrát více než stejné množství světla rozptýleného vzhůru od terénu. Příslowce *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 vyzářovaného vzhůru osvětlenou městskou krajinou.

Kolik vlastně jde světla vzhůru od terénu a kolik rovnou z 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 rozptýlu 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 vysokotlaké 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 čnější 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 rozptýlu 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 jasů 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 poškození ondřejovského nočního nebe Prahou klesnout třikrát!

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

#### 4.5 Jaký podíl přímého světla z lamp by už nevidil

Odpověď na otázku ve druhém odstavci úvodu proto je: přidat ke světlu rozptýlenému do ovzduší osvětleným terénem byt jen desetinu přímým světlem z lamp je zcela neúnosné. Jas nebe vinou oně „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*.<sup>13</sup>

### 5 Diskuse

Povrchní úsudek naznačený ve druhém odstavci části Úvod 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. Proberme zde dvě z nich, pro ty, kteří se do problému chtějí ponořit hlouběji. Ostatní mohou přejít rovnou na část Závěr.

#### 5.1 Přesné rozdělení svítivosti terénu

Například, vždyť terén nesvítí lambertovsky, neboť uliční lampy se snaží svítit do dále (aby nemusely být sloupy moc hustě) a asfalt nerozptýluje 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

<sup>13</sup>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 kandel. Lampa zkrátka shora nemá být jasnější než dvojice svíček ve 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 svítidla se označují slovy „fully shielded“, tedy *plně cloněná*.

<sup>12</sup>viz stovky příkladů v adresáři <http://amper.ped.muni.cz/light/ies2>

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 zbytek 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.

## 5.2 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 rozptýlovalo 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.<sup>14</sup>

I za nejpřůzračnějších 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 přibýlo. 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 přítom 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.

<sup>14</sup>Pro úplnost doplníme, že přece jen lidská činnost v posledních desetiletích k rozptýlu světla v ovzduší jedním významným způsobem přispěla, přibýlo 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.

I v obcích bychom ji měli získat zpět, jak jen to naše životní zvyklosti umožní. Noční klid totiž neznamená jen ticho.

## 6 Závěr

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

Speciálně o jasu nebe si lze přečíst starší, stručnější ale ještě techničtější úvod kvantifi. \* dostupný v adresáři <http://amper.ped.muni.cz/light/koncepty> a anglicky psanou práci, na kterou odkazuje, [lp\\_quant.\\*](http://amper.ped.muni.cz/light/drafts) v adresáři <http://amper.ped.muni.cz/light/drafts>. Komu takové úvodní informace nestačí, jsou mu k dispozici základní práce Pierantonia Cinzana a jeho předchůdců, viz <http://deborapd.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 každonocně, 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, zpřisňující se pokyny o směřování 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 neškodit“ 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.

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.

### Poděkování:

*Rukopis této nesnadné statě pečlivě přečetl doc. Zdeněk Mikulášek, navrhl řadu lepších formulací a přiměl autora k namalování obrázku, bez nějž bylo sdělení méně erudovaným čtenářům nerosrozumitelné. Teď je i přes obtížnost tematu pochopitelnější. Díky jeho pomoci jsem byl schopen rukopis v rámci řešení projektu **Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlení umělým světlem na živou přírodu** (VaV/74/3/03) proměnit v čistopis.*

# Analýza znečišťovatelů světlem na území České republiky

Pavel Suchan

## 1 Přehled zdrojů světelného znečištění

Přehled zdrojů světelného znečištění byl zpracován především z prací hvězdáren v České republice, které na výzvu Ministerstva životního prostředí v roce 2002 zpracovaly žádosti o vyhlášení ochranné zóny před světelným znečištěním. Podmínkou žádosti byla podrobná dokumentace včetně přehledu znečišťovatelů v okolí. Jednalo se o Observatoř Astronomického ústavu Akademie věd České republiky, Observatoř na Kleti Hvězdárny a planetária v Českých Budějovicích, Hvězdárnu a planetárium M. Koperníka v Brně spolu s observatoří Masarykovy univerzity, Hvězdárnu a planetárium hl. m. Prahy, Hvězdárnu v Rokycanech, Hvězdárnu Vlašim (Vlašimská astronomická společnost), Hvězdárnu a planetárium Hradec Králové, Hvězdárnu v Úpici, Hvězdárnu ve Valašském Meziříčí, Hvězdárnu Zlín (Zlínská astronomická společnost), Hvězdárnu Sezimovo Ústí a hvězdárnu Bohumila Ruprechta - obec Stradouň.

Přehled doplnil vlastním průzkumem autor.

### 1.1 Veřejné, nejen pouliční osvětlení

#### 1.1.1 komunikace

Přesto, že pouliční osvětlení je nezbytnou a důležitou součástí našeho života a nikdo nepochybuje o jeho účelnosti, bývá zároveň nejčastěji označováno jako nejvýznamnější zdroj světelného znečištění. Důvody lze vyjmenovat následující:

- pouliční osvětlení je nejčastější druh osvětlování
- z toho důvodu také nejvíce procentuálně vadí občanům i přírodě, svítí do bytů, do rybníků, na louky
- je častým zdrojem oslnění a to vadí zejména starším občanům
- protože je veřejné osvětlení na území ČR složeno stále ještě z dožívajících nevyhovujících lamp, vznikají v důsledku toho nad obcemi „světelné příkrovy“ rozptýleného světla
- intenzita veřejného osvětlení je mnohdy zbytečně velká

Náprava je možná instalováním plně cloněných svítidel. Speciální kapitolou jsou reflektory umístěné v chodníku a svítící jako „ozdoba“ přímo vzhůru (např. pěší zóna Anděl v Praze na Smíchově). Nejen, že produkují světelné znečištění, ale jsou i nebezpečné pro chodce, a to nejen oslněním, ale i intenzitou světla, kterou svítí přímo do očí. Náprava je jediná možná – zrušit a zakázat tento druh svítidel.

#### 1.1.2 historické částí vesnic a měst

Pro osvětlování náměstí apod. se často používají (např. Valašské Meziříčí) naprosto nevyhovující všesměrové zdroje – kulová svítidla (ve skutečnosti je to ale velmi problematické osvětlení svítící

spíše do očí než na cestu). Náprava je možná. Spočívá v nepoužívání kulových svítidel. Současná světelná technika umožňuje instalovat historizující tvary svítidel (repliky) osazené tzv. inteligentní směrovou optikou schopnou nasměrovat světlo do přísně určených míst, tedy pod vodorovnou rovinu a např. jen na stranu k vozovce a již ne do oken přízemních bytů přilehlého domu.

#### 1.1.3 parky

Vyskytuje se řada případů, kdy se neosvětlují jenom komunikace v parcích, ale park se nasvětluje jako scéna, např. strom. Kromě toho, že nasvícením zdola nahoru vzniká významný zdroj světelného znečištění, je v takovém případě narušován noční přírodní život. Náprava je možná instalováním plně cloněných svítidel se směrovou optikou a oželením takových zákroků do přírody.

## 1.2 Venkovní osvětlení staveb – budov

památky

V drtivé většině případů jsou u nás památky nasvětlovány zdola, takže lze nad těmito stavbami snadno pozorovat světlo přesahující obrysy stavby a mířící do oblohy. Náprava je možná buď osvětlováním shora dolů, nebo v případech, kde to není technicky možné, používáním obrysových krytů svítidel podle tvaru stavby.

fasády budov

Na historických místech obcí, ale i soukromých pozemcích, jsou často nasvětlovány fasády domů. Při osvětlování zdola často dochází k přesahu světelného kužele nad střechem domu a svícení vzhůru mimo objekt. Často bývá intenzita osvětlení fasády velká, především kvůli „soutěži“ s dalšími světelnými zdroji v místě. Náprava je možná. Je-li nasvětlení citlivé a směrované shora dolů (bez oslnění chodců na chodníku), je taková praxe přípustná.

### 1.3 Osvětlení pozemků rodinných domků a soukromých budov

Osvětlování soukromých prostranství občanů je podle současného průzkumu málo významným zdrojem světelného znečištění, především k nízkým výkonům osvětlovacích zdrojů. Neexistuje ale jistota (ani právní), že si fyzická osoba neusmyslí svítit zdrojem větším než např. všechny pouliční lampy v ulici. Náprava je problematická, protože se jedná o fyzické osoby.

Jinou kapitolou jsou bezpečnostní osvětlovací zdroje spínané automaticky pohybem v zaměřeném prostoru nebo svítící stále. Ty jsou v řadě případů natočeny tak, že svítí i do horního polo-prostoru. Náprava je žádoucí, ale problematická, protože se jedná o fyzické osoby.



## 1.4 Vnitřní osvětlení bytů, veřejných budov a nových prosklených budov

Nezakrytá okna obytných domů jsou samozřejmě vidět už z dálky. Jsou tedy také zdrojem světelného znečištění. V porovnání s intenzitou např. pouličního osvětlení je to však zdroj méně významný. Náprava je problematická. Podobně je tomu u veřejných budov (např. nemocnice).

V posledních letech však po celé ČR přibýlo mnoho nových budov pokrytých výlučně nebo téměř výlučně sklem. Světlo tedy v noci z těchto budov vyzařuje do všech stran a zejména komerční budovy s velkými reklamními nebo prodejními prostorami (např. Mc Donalds) jsou významným zdrojem světelného znečištění. Náprava je problematická, lze aspoň omezit svícení reflektorů přímo do vnějšího prostranství.

## 1.5 Osvětlení areálů podniků

Řada areálů (skladů, parkovišť a manipulačních prostor) je z bezpečnostních důvodů v noci osvětlována co možná nejvýkonnějším zdrojem světla při co největším záběru. Na území ČR je mimořádnou výjimkou, pokud jsou tyto prostory osvětlovány účelově směřovanými zdroji světla. V naprosté většině případů je situace velmi neutěšená:

- svítidla svítí i do horního poloprostoru (tedy tam, kam nemusejí a nemají)
- jejich příkon je pak zbytečně velký
- oslňují již z velké dálky, tzn. že pokud chce někdo v okolí dobře vidět, je nucen zvýšit příkon svého osvětlování a tím se zvyšuje potřeba osvětlování v „uzavřeném kruhu“
- takové řešení osvětlování areálů ale také postrádá smyslu, protože ani ostraha objektů v protisvětle dobře nevidí

Náprava je možná instalováním plně cloněných svítidel.

## 1.6 Průmyslové zóny

Průmyslové zóny, které se nyní intenzivně budují, nad sebou vytvářejí světelné znečištění vzhledem k velkému množství budov, komunikací a prostranství, které je třeba osvětlovat. Náprava je možná instalováním plně cloněných svítidel.

## 1.7 Osvětlení seřadovacích nádraží

Přesto, že železnice poskytuje v praxi nejlepší příklad správného osvětlování – lampy osvětlující tratě jsou již mnoho desetiletí neměnné, tzn. jsou plně cloněné, zdroj světla je uložen hluboko v krytu lampy, svítí pouze do dolního poloprostoru a není vidět zboku, takže nemůže strojvůdce oslňovat – osvětlení nádraží výkonnými reflektory na vysokých sloupech jsou jedním z největších zdrojů světelného znečištění. Náprava je možná omezením svícení vzhůru, tedy buď lepším směřováním světla nebo kryty proti světlu směřujícímu nahoru.

## 1.8 Osvětlení stadionů a sportovišť

Jedná se většinou o přechodné zdroje světla, zato velké intenzity. Osvětlení stadionů a sportovišť vyžaduje nejen kvůli samotnému sportu, ale také např. kvůli snímání televizních kamer velmi náročné osvětlování. Současný stav je takový, že toto osvětlení je sice přechodným, ale velmi významným zdrojem světelného znečištění, protože svítidla svítí pod velkými úhly a do všech směrů. Náprava je možná omezením svícení vzhůru, tedy buď lepším směřováním světla nebo kryty proti světlu směřujícímu nahoru.

## 1.9 Osvětlení stavenišť

Jedná se o přechodné zdroje velkého významu. Silné reflektory osvětlující staveniště mají intenzivní jas a nebývají příliš účelově mířeny. Svítí často i vzhůru a do očí chodcům a řidičům. Nad stavbami bývá z dálky vidět „příkrov světelné záře“ pocházející z rozptýleného světla. Náprava je možná omezením svícení vzhůru, tedy buď lepším směřováním světla nebo kryty proti světlu směřujícímu nahoru.

## 1.10 Osvětlení parkovišť a prostor kolem hypermarketů

Obrovské plochy vyžadující intenzivní osvětlení. Existuje řada případů, kdy takové osvětlení firma řešila plně cloněnými svítidly. Existuje ale i řada firem, které instalovaly na parkovištích svítidla, která jsou významným zdrojem světelného znečištění. Náprava je možná instalováním plně cloněných svítidel a omezením oslňování.

## 1.11 Spodní osvětlení reklamních poutačů (billboardů)

Velmi častý zdroj světelného znečištění. Velký počet billboardů je v ČR nasvětlován zdola a nad billboardem pak můžeme v ovzduší pozorovat výrazný vějíř světla přesahující osvětlovanou plochu billboardu. Nejen, že je to světlo vysvícené zbytečně, tedy vyrobené zbytečně, ale jedná se o poměrně zásadní zdroj světelného znečištění. Náprava je možná osvětlováním shora – technické podmínky to dovolují a v praxi se takový způsob již používá.

## 1.12 Reklamní, zábavní a podobné osvětlení – „laserové“ a jiné oblohové efekty

Světelné paprsky mířící vzhůru a sloužící jako reklama diskoték a dalších zábavních podniků jsou jedním z nejnepříjemnějších případů světelného znečištění. Nepříjemnost je spojena s psychologíí obyvatel, kteří se velmi často shodují v kritice takového svícení. Je jim nepříjemné, starší občané pak dodávají, že jim to nepříjemně připomíná osvětlování bombardujících letadel za války. Tento příklad ukazuje na extrém, kdy si každý může posvítit, jak chce, a to bez ohledu na ostatní. I v tomto případě lze ale ukázat na případ, který dokumentuje, že pokud se proti nerozumnému svícení postaví rozumné argumenty, lze dojít k řešení.

Příklad: Motorest Poddubí na dálnici z Prahy do Brna (v blízkosti Benešova) takovou reklamu používal. Jeho světelné svazky však částečně znemožňovaly astronomická pozorování národního observatoře Astronomického ústavu Akademie věd v Ondřejově. Po tomto zjištění a po dohodě firma provozující Motorest Poddubí světelnou reklamu ihned trvale vypnula – vůbec netušili, že by to někomu nebo něčemu mohlo vadit.

## 1.13 Vývěsní štíty a světelné a prosvětlené reklamy

Množství odraženého světla do všech směrů bývá u vývěsních štítů v některých případech značné. Kromě toho vývěsní štíty i prosvětlené reklamy přispívají k nutnosti instalovat v okolí další svítidla a postrčit tak „světelnou spirálu“. Náprava je problematická, řešením by bylo snížit jas těchto reklamních cedulí, to by se ale musela snížit celková úroveň intenzity osvětlení v okolí.

## 1.14 Osvětlení dálnic a křižovatek

Bývá z dálky vidět. Náprava je možná instalováním plně cloněných svítidel nesvítících do horního poloprostoru.

## 1.15 Osvětlení benzínových pump, parkovišť a dalších obslužných ploch kolem dálnic a silnic

Bývá velmi intenzivní, takže nad sebou vytváří příkrov rozptýleného světla. Pro projíždějící motoristy znamená dokonce nebezpečný moment v jejich jízdě, protože se najednou ocitají v prudkém světle, na které si lidské oko poměrně rychle přizpůsobí, zato opuštění tohoto prostoru znamená chvíli nevidět. Intenzivní osvětlení obslužných ploch kolem silnic a dálnic přispívá k požadavkům ještě více svítit reflektory automobilů.

## 1.16 Povrchové doly, vápenky a cementárny a další průmyslová výroba

Ve středních Čechách je např. několik cementáren a vápenek, které se v noci z dálky prozrazují tím, že je nad nimi vidět rozptýlené rušivé světlo. Ve svém okolí pak mění noc v den. Náprava je možná omezením svícení vzhůru, tedy buď lepším směřováním světla nebo kryty proti světlu nahoru.

## 1.17 Dopravní prostředky

Především dálková světla aut a lokomotiv jsou častým zdrojem světelného znečištění a také oslnění. Na oslnění z dálkových světel lze dobře demonstrovat to, co lze označit za světelnou spirálu: jsem-li oslněn světly protijedoucího auta, musím si co nejdříve rozsvítit dálková světla, protože potkávací už mi nestačí. Zejména technologie posledních let umožnily používat ve světlech aut xenonové zdroje, které jsou sice velmi účinné, ale také ostře oslňují. Náprava musí vést cestou upozornění světové odborné veřejnosti, že tento problém zakládající na růst „světelné spirály“ existuje.

## 1.18 Dočasné (přenosné nebo převozná zdroje)

Samozřejmě i takové zdroje existují. Jejich počet je velmi malý a intenzita bývá různá. Platí pro ně stejná pravidla ekologického svícení jako pro zdroje stacionární. Náprava není nezbytná.

## 1.19 Všechna svítidla, z nichž se od povrchu země nebo fasád budov apod. odráží světlo vzhůru

I při sebelepším svícení (tzn. nesvítícím do horního poloprostoru a velmi přesně účelově řízeném) dochází k odrazu světla od osvětlovaného povrchu do ovzduší. Lze tedy konstatovat, že čím více svítíme, tím větší světelné znečištění produkujeme. Proto je nezbytné podporovat pouze účelné svícení a noční regulaci, tzn. postupné snižování výkonu osvětlovací soustavy během noci.

## 2 Shrnutí

Ze všech informačních zdrojů vyplývá, že hlavním a výrazně převyšujícím zdrojem světelného znečištění je **veřejné pouliční osvětlení**, ostatní zdroje působí buď lokálně nebo s menší intenzitou. Udávají to zdroje uvedené v úvodu tohoto přehledu a potvrzuje to i autorův výzkum. Při letu v malé výšce nad Českou republikou (trasa Praha – Brno – Ostrava – Pardubice – Praha)

bylo pozorováno přibližně 95 % světelných zdrojů veřejného pouličního osvětlení jako přímo viditelných z určitého úhlu letu (tedy vždy shora) a pouze asi 5 % nebylo vidět a bylo pozorováno pouze osvětlené okolí zdroje na povrchu (svítidlo nesvítilo do horního poloprostoru). Velký význam v produkci světelného znečištění má veřejné pouliční osvětlení pro velký počet špatných zdrojů světla. Kromě toho se ale lokálně velmi silně na produkci světelného znečištění podílejí **osvětlení železničních nádraží, billboardů a také přechodná osvětlení stavenišť a stadionů**.

Obecně lze říci, že stále intenzivnějším osvětlováním, které je spojeno s rozmachem společnosti, dochází k prudkému poklesu tmy v noci. Ve městech je dnes situace taková, že např. při zatažené obloze nízkou inverzní oblačností působí městské prostředí spíše denním dojmem. Oproti zcela tmavé obloze, na které je možné pouhým okem spatřit asi 3 500 hvězd, jich např. na pražské obloze můžeme spatřit pouze asi 400.

## 3 Nemusíme svítit pouze špatně

Současné technické, ekonomické, ale i společenské podmínky nebrání tomu, aby byly instalovány osvětlovací soustavy omezující světelné znečištění.

**Technické podmínky** a charakteristiky moderních svítidel dnes dovolují nesvítit do horního poloprostoru a nasměrovat světlo tam, kam je potřeba (tedy např. na vozovku a ne do oken přilehlých domů).

**Ekonomické propočty** dávají u soustav, které neprodukují světelné znečištění, shodné nebo lepší propočty ekonomické návratnosti založené zejména na úspoře energie. Ta se odráží i v regulaci výkonu osvětlovacích soustav, který je možné a žádoucí v průběhu noci tlumit.

**Společenské zadání** bývá jednoznačné – nesvítit do oken bytů a ochránit noční životní prostředí. V souvislosti s potlačením oslňování (jde o vážný fyziologický problém zejména starších občanů) lze navíc snižovat výkon osvětlovacích soustav při zachování dostatečné viditelnosti a kontrastu. Zájem o zachování nočního přírodního prostředí mají kromě občanů také hvězdárny, CHKO, Národní parky a další. Nad lidské sídlo osvětlené ekologicky se vrací noční obloha posetá hvězdami – součást přírodního dědictví lidstva.

**Příklady takových dobrých řešení:**

### 3.1 Hamr sport Praha – Hostivař

Největší tenisový areál v ČR vybudovaný v 90. letech 20. století. Majitelé chtěli, aby osvětlení tenisových kurtů neoslňovalo jejich hráče, ale také aby nerušilo obyvatele bytů v okolních domech a aby nesvítilo do rybníka v těsné blízkosti. Použita byla plně cloněná svítidla s rovným spodním krytem nesvítící do horního poloprostoru. Ekonomická návratnost investice do soustavy s vyšší pořizovací cenou je cca 6 roků.

### 3.2 Hornbach Praha – Černý most

Osvětlení parkoviště před obchodním domem je provedeno plně cloněnými svítidly s rovným spodním krytem umístěnými na vysokých sloupech. Svítidla účinně svítí dolů, z dálky však neoslňují a nesvítí do horního poloprostoru.

V Praze 7.12.2003, Pavel Suchan, suchan at observatory . cz

(tyto a další příklady lze nalézt v obrazové podobě a se stručnými komentáři v adresáři *praha*)



# České světelné emise dle satelitních dat

Mgr. Viktor Votruba<sup>1</sup> RNDr. Jan Hollan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra teoretické fyziky a astrofyziky <sup>2</sup>RECETOX  
Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity v Brně

## 1 Úvod

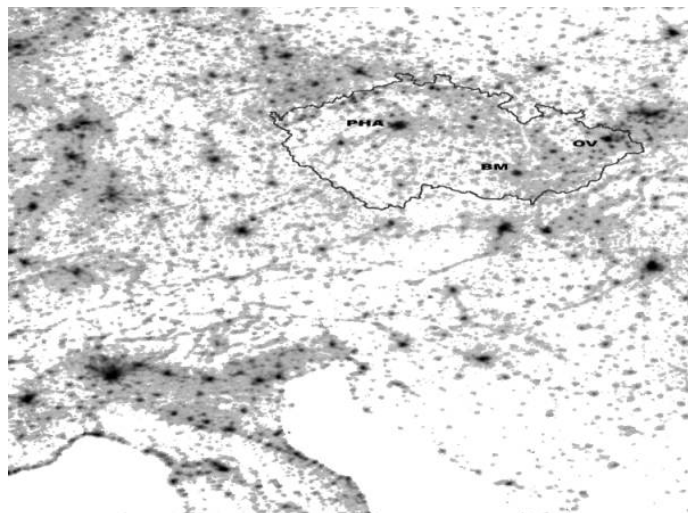
V této části studie se jsme se zajímali o stav České republiky ohledně emisí. Určení těchto hodnot a studium jejich časového trendu je velmi důležité pro analýzu situace v daném regionu i celé ČR. Umožní nám tak účinný zásah v nejhůře postižených místech a dá k dispozici pádné argumenty pro případné nápravné kroky.

## 2 Data

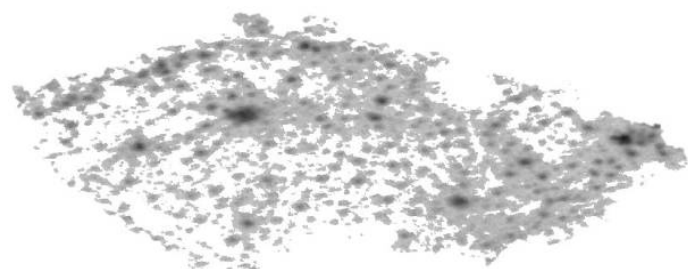
K analýze bylo použito dat pořízených satelitem DMSP [1]. Jedná se o satelit patřící US Air Force s polární dráhou synchronizovanou se Sluncem, nízkou orbitou (830 km) a orbitální periodou 101 minut. Data byla snímána pomocí radiometru OSL, se schopností zaznamenat část viditelné oblasti a infračervenou oblast. Ke zlepšení citlivosti přístroje ve viditelné oblasti byl použit fotonásobič PMT.[2]

Fotonásobič pokrývá širokou spektrální oblast od 440 nm do 940 nm s největší citlivostí v rozmezí 500 nm–650 nm. Vzhledem k tomu že většina užívaných lamp pro externí svícení (vysokotlaké sodíkové výbojky a rtuťové výbojky) spadá do této oblasti, jsme schopni analyzovat tento primární zdroj světelného znečištění. Výsledná citlivost přístroje dovoluje měřit zář až řádově  $10^{-6}$  W./m<sup>2</sup>.sr<sup>-1</sup>. [2][4]

Data byla pořízena s prostorovým rozlišením 0.56 km, většina dat pořízených uchovávaných v rámci NGDC však byla vyhlazena zprůměrováním bloků 5x5 pixelů, což odpovídá průměrnému prostorovému rozlišení 2.8 km. OLS využívá několik metod, aby co nejvíce potlačila efekt různé velikosti pixelu vznikající v důsledku pohybu satelitu a různého snímacího úhlu v integrační době, díky tomu kolísá od nadiru (směru svisle dolů) až do vzdálenosti 700 km od nadiru mezi hodnotou 2.2 km a 3.4 km. [3]. Průměrný interval úhlů, ze kterého byla pořizována data, je 30° až 60° od nadiru.



Mapa pořízená satelitem se znázorněnou pozicí ČR



Mapa ČR získaná z naměřených dat

## 3 Analýza dat

Data jsou k dispozici na internetu jako soubor velikosti téměř jeden gigabyte (se kterým se dosti obtížně manipuluje...). Jsou uložena v geografické projekci [zeměpisná šířka, zeměpisná délka] s velikostí pixelu 30x30 arcsec<sup>2</sup>, celkový počet pixelů je 43200 sloupců a 21600 řádků. Horní levý pixel odpovídá 90° severní šířky a -180° východní délky. Formát dat je 8 bitový a uložena jsou v grafickém formátu TIF. Z toho obrázku jsme vyřízli oblast odpovídající ČR a určili její hranice. Také jsme separovali menší oblasti našich významných měst za účelem analýzy jejich světelného znečištění.

Transformace z osmibitové reprezentace na zář je dána vzorcem

$$H = (\text{hodnota pixelu})^{1.5} \cdot 10^{-6} \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$$

## 4 Emise některých měst

Analýzou dat jsme získali zářivosti pro některá česká města, to jsou přímo měřené veličiny.

Ze zářivostí lze odhadnout i celkové zářivé toky či zhruba i světelné toky do horního poloprostoru, a s ještě hruběji pak celkové emitované světelné toky a příkon použitý pro osvětlení.

Celkový zářivý tok do horního poloprostoru by mohl být čtyřnásobkem až desetinásobkem zářivosti, podle rozložení zářivosti, které je neznámé, možný tvar uvádí Cinzano (2000). Jako konzervativní odhad vezmeme šestinásobek.

Svítivosti a světelné toky záleží na světelné účinnosti záření registrovaného detektory, ale i doprovodného záření detektory neregistrovaného, s vlnovými délkami v modré oblasti spektra. Záleží přitom i na druhu světelných zdrojů. Náš hrubý odhad účinnosti je 200 lm/W. Svítivost menších měst by bylo možné přímo změřit leteckým pozorováním, to je ale již mimo rámec uskutečněného projektu (časově i finančně).

Konečně, odhad celkových světelných emisí záleží na podílu přímých emisí ze svítících ploch a emisí z terénu. Souvisí s odhadem světelného toku vzhůru, našemu předpokladu o tom, že je šestinásobkem svítivosti, odpovídá velmi zhruba celkový emitovaný světelný tok, který je šestinásobkem toku jdoucího vzhůru.

Z toho lze spočítat pak i odhad příkonu světelných zdrojů svítících v exteriéru, při předpokládané účinnosti (výbojky a svítidla dohromady) 60 lm/W. Např. v Brně je znám příkon veřejného osvětlení, který činí asi čtyři megawatty. Světelné emise tak činí asi 250 Mlm, což se shoduje s naším odhadem emisí ze satelitních dat.

	zářivost /kW.sr <sup>-1</sup>	svítivost / Mcd	tok	
			vzhůru / Mlm	emitován / Mlm
Praha	85	17	100	600
Brno	35	7	40	250
Ostrava	48	10	60	350
Olomouc	15	3	20	110
Hradec Králové	17	3	20	120
Liberec	12	2	15	90
Plzeň	18	4	20	130
České Budějovice	8	2	10	60
Ústí nad Labem	7	1	10	50
Přerov	5	1	5	40
Zlín	5	1	5	40
Most a Litvínov	15	3	20	110
Podkrušnohoří	50	10	60	350
Česká republika	1750	350	2000	12000

Pozoruhodné jsou vysoké emise Ostravy nebo Přerova. V Ostravě, podobně jako Podkrušnohoří, zjevně značná část emisí pochází z osvětlení průmyslového, ne veřejného. V Přerově lze mít podezření na osvětlení nádraží, pokud už v době snímkování (zima 1996/1997) bylo osvětleno dnešní „technologič“.

Výřez z kvantifikované mapy, kterou najdete celou v adresáři emise, je níže. Je na něm znázorněna Praha a okolí (vlevo Kladno, výše Kralupy a Mělník). Pro každé políčko udává jeho polohu (aby bylo možné podrobnější údaje nalézt v tabulce cr5.tab), medián hodnoty pixelů, a především průměrnou zářivost políčka ve wattch na kilometr čtvereční a steradián.

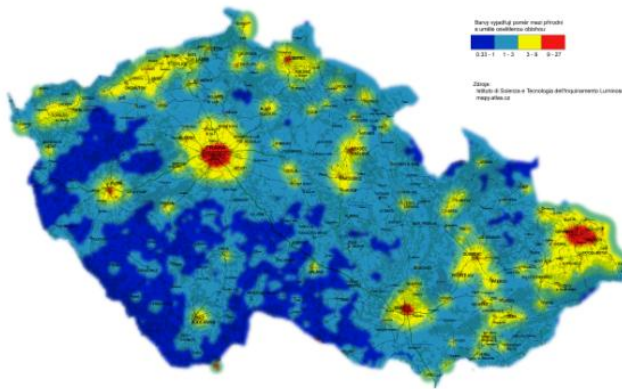
1	11	8	7	8	2	2	2	2
1	45.3	23.5	18.3	42.3	7.87	2.57	0.790	0.840
5	26	27	28	29	30	31	32	33
7	11	8	9	10	11	12	11	0
2	8.98	20.5	29.9	31.7	26.7	6.15	4.82	0.00
5	26	27	28	29	30	31	32	33
2	2	7	7	9	8	9	2	2
13	4.42	13.2	22.8	25.7	31.4	31.3	12.8	8.02
5	26	27	28	29	30	31	32	33
7	13	13	16	11	13	13	13	13
7	29.2	20.6	79.3	59.1	33.6	50.5	26.5	10.9
5	26	27	28	29	30	31	32	33
9	14	14	14	12	14	14	14	12
6	104	31.8	36.7	62.5	108	84.0	44.9	38.8
5	26	27	28	29	30	31	32	33
7	15	15	15	15	15	15	15	15
4	26.5	34.9	193	321	422	268	87.0	36.1
5	26	27	28	29	30	31	32	33
8	16	16	16	16	16	16	16	16
3	31.4	26.3	49.6	144	181	104	50.1	36.5
5	26	27	28	29	30	31	32	33
9	17	17	17	17	17	17	17	17
2	23.3	22.0	32.8	27.3	21.6	25.2	25.5	30.1

Pro srovnání uvádíme emise některých měst, jak je uvádí Isobe a Nakamura [5] (jde o celkové emise záření do horního poloprostoru).

	Roční emise / GWh	Uvažovaná plocha / km <sup>2</sup>	Měrné roční emise / MWh/k m <sup>2</sup>
Wien	7.19	1080	6.66
Budapest	9.44	1331	7.09
Praha	7.55	1020	7.40
Bratislava	2.55	389	6.56
Warszawa	8.81	950	9.27
Dresden	5.53	1162	4.76
Brno	2.41	384	6.28
Krakow	4.40	592	7.43
Milano	13.90	1434	9.69
Zagreb	2.86	380	7.53

## 5 Emise ve smyslu zvýšeného jasů nebe

Ze satelitních dat publikoval v sérii prací Cinzano et al mapy jasů nebe v zenitu, platné za předpokladu zenitové extinkce 0,33 mag a nulové nadmořské výšky. Z nich je odvozená následující mapa, kterou lze též porovnat s mapami uvedenými výše. Vzhledem k tomu, že výkladu map umělého zvýšení jasů oblohy byla již věnována dříve řada článků, i zmínky v českém tisku, nebudeme zde mapu podrobně rozebírat. Jen připomeňme, že v přímé škále jasové by žluté oblasti odpovídaly jasů zhruba jednoho milinutu (čili jedné tisícině kandely na metr čtvereční) a červené oblasti pak jasů zpravidla přes tři milinuty. Přírodní jas nebe v zenitu je za bezměsíčných nocí, mimo dobu kolem letního slunovratu, jen asi čtvrt milinutu.



Ilustrační mapa převzata od Vladimíra Kocoura ml.

## 6 Diskuse

Vzhledem k malému časovému prostoru nebyly provedeny všechny zamýšlené kroky. Otázkou nadále zůstává stanovení emisní funkce, na jejímž základě budeme moci odhadnout celkové energetické ztráty v důsledku špatných svítidel. Prozatím byl vyvinut algoritmický postup, který jsme schopni kdykoliv zopakovat (například pro přesnější data a sledování časového vývoje), jehož výstupem je stanovení průměrných zářivostí pro naši vybranou oblast. V rámci výzkumu byl vyvinut software, kterým lze všechny tyto analýzy velmi jednoduše zopakovat [8].

Detailní mapy uvedené zmenšeně výše, vč hlavního výstupu s průměrnými zářivostmi v jednotlivých oblastech o ploše padesáti kilometrů čtverečních, lze najít v adresáři emise.

Pozorované emise lze porovnat se spotřebou elektřiny na osvětlování, jak ji udává Energetický regulační úřad či jednotliví znečišťovatelé. V letech 1996 a 1997, kdy byla pořízena radiometrická data, byl roční prodej elektřiny v sazbě pro veřejné osvětlení asi 570 GWh. To jistě nezahrnuje veškeré svícení v exteriéru, ale je to jistě jeho podstatná část (jistě vyšší než polovina). Uvážíme-li obvyklou délku svícení 4100 hodin ročně, znamená uvedená spotřeba noční příkon asi 140 MW (asi 14 W na jednoho obyvatele). Obvyklou světelnou účinnost osvětlovacích soustav z hlediska světelného toku emitovaného do ovzduší lze odhadnout na 60 lm/W, tedy světelné emise na asi 8.5 Glm.

Ze satelitních dat jsme emise zcela jiným postupem odhadli na 12 Glm. To je, při nejistotách vedoucích od měření až k tomuto odhadu, poměrně dobrý souhlas. Světelné emise se jeví být větší, než odpovídá spotřebě elektřiny v sazbě pro veřejné osvětlování, což je situace, kterou lze očekávat: osvětlovací instalace provozované obcemi a pro obce nejsou jediným zdrojem znečištění. Odhad, že tvoří jeho dvě třetiny, by ale byl ukvapený, takovou přesnost údaj o českých emisích dle satelitních dat zatím nemá. Emise na jednoho obyvatele ale jistě jsou kolem jednoho tisíce lumenů – jistě vyšší než 850 lumenů (8.5 Glm / 10 miliónů obyvatel) a dost možná dosahující až 1200 lm plynoucí z první analýzy satelitních dat.

Vraťme se ještě jednou podrobněji k Brnu. Brněnská spotřeba elektřiny pro veřejné osvětlení je v posledních letech dle údajů Technických sítí 15 GWh ročně, dříve byla větší, asi 17 GWh

ročně. To znamená v době, kdy je osvětlení zapnuto, příkon asi 4.1 MW aneb deset wattů na obyvatele. Při účinnosti (v letech 1996/97, nyní je pravděpodobně vyšší) 60 lm/W by to znamenalo emise asi 250 Mlm. (Shoda již konstatovaná je jistě jen náhodou tak dobrá.) Na jednoho obyvatele je to tedy asi 600 lm.

Emise na jednoho obyvatele se zdají růst s klesající velikostí sídel, což se dá snadno zdůvodnit klesající průměrnou hustotou osídlení – na jednoho obyvatele připadá větší osvětlovaná plocha veřejných prostranství. Další vysvětlení velkých měrných emisí menších sídel a venkova oproti velkoměstům může být v tom, že tam je významnější podíl celonočně osvětlovaných zemědělských i průmyslových areálů (ponechme stranou, zda jsou osvětlovány zbytečně či nikoliv). Další analýza naší mapy, např. její dělení hustotou osídlení, by mohla prozradit více, to je ale už záležitost např. na další projekt (data jsou ovšem dostupná všem zájemcům, kteří by chtěli analyzovat konkrétní lokality).

Také údaje Isobeho a Nakamury [5] jsou v dobrém souladu s našimi odhady i spotřebou elektřiny pro část venkovního osvětlování. Vyplývá z nich mj., že česká velkoměsta jsou, pokud jde o plýtvání světlem, rozmařilejší než německá či rakouská (vídeňské emise jsou menší než pražské).

## Literatura

- [1] *Defense Meteorological Satellite Program*, prosinec 2003, <http://dmosp.ngdc.noaa.gov> 51
- [2] P.Cinzano et. all *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 318, 641-657 (2000) The artificial night sky brightness mapped from DMSP satellite Operational Linescan System measurements 51
- [3] P.Cinzano et. all *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 323, 34-64 (2001) Naked-eye star visibility and limiting magnitude mapped from DMSP-OLS satellite data 51
- [4] Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Kihn, E. A., Kroehl, H. W. and Davis, E. R. (1997) Mapping city lights with nighttime data from the DMSP Operational Linescan System. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63,727-734 (June). [http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/nl\\_usa\\_doc.html](http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/nl_usa_doc.html) 51
- [5] Isobe, S. and Hamamura, S. (1998) *Light energy loss and its application to estimate a global energy usage*. Osowa, Mitaka, Tokyo: National Astronomical Observatory. <http://neowg.mtk.nao.ac.jp/pdf/100.pdf> 52, 53
- [6] *informace Energetického regulačního úřadu*, prosinec 2003, <http://www.eru.cz>
- [7] *informace Technických sítí Brno, a.s.*, prosinec 2003, <http://www.tsb.cz>
- [8] Hollan, J. *Fotometrie digitálními fotoaparáty*. 2003 [pracovní adresář a software online] viz <http://amper.ped.muni.cz/light/luminance> 53



# Světelné znečištění tmy z hlediska biologie

Prof. ing. RNDr. Dalibor Povolný, DrSc.

## 1 Stručný přehled elementárních poznatků o vlivu znečištění noční tmy na rytmy, druhovou diverzitu a jiná ekosystémová narušení

V tomto kontextu lze vyjít už z triviálních fakt: Např. po zavedení umělého pouličního osvětlení (plynových lamp) zejména podél nábřeží řek v evropských velkoměstech během 19. a počátkem 20. století vzbuzovaly celá desetiletí pozornost hromadné nálety jepic, lokálně (zejména u rodu *Baetis*) známé v menším měřítku dodnes. Denní a popularizační tisk (u nás např. *Vesmír*, *Malý čtenář* apod.) popisovaly hromady uhynulých jepic pod pouličními svítilnami, které museli pouliční zametači po rozednění odklízet. Hejna jepic obtěžovala také v navečerních hodinách veřejnost např. korzující na pobřeží Vltavy. Dnes tento hmyz v podobných situacích chybí a ví se, že např. u jepic došlo k posunu (driftu) jejich populací do neosvětlených nebo méně osvětlených úseků toků. Dalším triviálním faktem je již dlouhodobě pozorovaný úbytek hmyzu na reflektorech automobilů během nočních jízd v trvaleji osvětlovaných městech i v venkovských sídlišťích a také podél osvětlovaných dopravních tepen. Na jejich omytí postačí dnes i mírný déšť, zatímco ještě v polovině minulého století bylo třeba reflektory čistit od nalétaného hmyzu téměř po každé noční jízdě.

Záhy po válce prosadil v Brně jistý nadšenec za podpory Ministerstva zemědělství, který si všiml hromadného náletu komárů na světelné zdroje na hrázi brněnské přehrady, aby tehdejší Ústav pro ochranu rostlin ZVÚZ (Zemských výzkumných ústavů zemědělských) vyzkoušel jeho „zařízení na hubení komárů“ naletujících na světlo výbojek. Světelný zdroj ultrafialové rtuťové výbojky byl ze čtyř stran obklopen drátěnou konstrukcí, nabitou elektrickým proudem, takže naletující hmyz byl po nárazu na drátěné síťivo upalován. Koncem 20. století se objevila na trhu podobná komerční zařízení zvaná např. „Fly-Killer“. Ta byla určená k hubení hmyzu v interiéru tam, kde je to hygienicky významné, jako v řeznictvích, stájích, rybárnách, velkokuchyních, nebo v menším provedení i v domácnostech. Přes upozornění některých výrobců na druhovou ochranu a zdůraznění, že se zařízení má užívat jen v uzavřených prostorách, se „Fly-Killer“ stále více užívá i na balkonech a v zahrádkách apod., k hubení komárů, bodalek a much vůbec. Podrobněji rozvádí problematiku „Fly-killer“ Pretschner (2000: Einsatz eines elektrischen „Fly-Killers“ im Aussenbereich. – *Nat. U. Landschaft*, 75: 165 – 166). Již při prvním použití zmíněných zařízení se konstatovalo, že působí neselektivně, takže kromě komárů (tvořících zlomek naletujícího hmyzu) dochází k hromadnému vybíjení nočního hmyzu vůbec, jako chrostíků, motýlů, brouků, blanokřídlých, much apod. Uvážíme-li že ze zhruba 3.500 druhů našich motýlů je kolem 80 % nočních (zejména můry, píďalky, obaleči, zavíječi, makadlovky, klíněnky, vzpřímenky, pouzdrovníci atd., znamená to ohrožení frakce,

v níž převládají fytofágové, opylovači atd., kteří v potravním zřetězení jsou významnou složkou potravy hmyzožravého ptactva, netopýrů atd. a podílejí se tak významně na ekosystémových funkcích. Tyto naše vlastní výsledky společně s nedávným použitím „fly-killers“ vedou k jednoznačnému závěru: Jde o vážné ohrožení druhové diverzity a potravních zřetězení, z nichž první je významným kritériem narušenosti ekosystémové rovnováhy, druhá narušením energetických toků v přírodě.

Značnou univerzálnost významu a vlivu světla dokládá jeho zneužití proti typicky cirkadiánnímu rytmu člověka. Totalitní režimy (i včetně zločineckých gangů) nutí vězně spát při rozsvíceném světle. Důsledkem dlouhodobého mučení lidí tímto způsobem jsou relativně dobře známé poruchy zdraví: Hypertenze, diabetes, spastická kolitida, srdeční a mozkové infarkty, celkové narušení neurohumorální integrace apod.

## 2 Ekologická problematika světelného znečištění tmy

Za noci aktivní hmyz (což je převážná většina hmyzích druhů – u některých řádů činí až 80 %) se za letu orientuje na UV-složce měsíčního světla a noční oblohy. Hmyz přitom vidí převážně v ultrafialovém a modrém oboru zhruba od 350 nm do 450 nm. Je to podmíněno tím, že složené (facetované) hmyzí oko se skládá z dílků „oček“. Každé je složeno ze světlolomného kuželu bočně izolovaného pigmentovými buňkami. Světločivě části (rhabdomy) opatřené dlouhými tyčinkami nasedají přímo na světlolomný kužel, takže jsou podrážděny jen úzkým svazkem paprsků dopadajících a procházejících rovnoběžně s osou oka. Zmíněné pigmentové buňky působí jako stěny reflektoru, takže každý paprsek světla, který mine tyčinku rhabdomu, je odražen a znovu se k němu vrací. Tím se vidění hmyzu v UV-oboru stupňuje. Při hromadném používání rtuťových výbojek a podobných zdrojů s vysokým podílem člověkem nevnímaného UV-oboru, dochází u hmyzu k jeho oslňování a prostorové desorientaci. Ten pak naletuje nutkavě na takový světelný zdroj tak dlouho, až pod ním hyne vyčerpáním nebo dokonce shoří. Tímto způsobem takové umělé světelné zdroje jaksi „vykrádají“ z přírody miliony jedinců hmyzu tím, že ho kromě ničení (vide shora) ruší při příjmu potravy a aktivitách jako je opylování, kopulace a kladení vajíček, a na okraji dosahu světelného zdroje se stává snadnější kořistí nočních ptáků a netopýrů. Veřejnost tak vnímá vlastně jen zlomek hmyzu, např. z motýlů pouze tzv. denní motýly a má k nim emocionálně pozitivní vztah. O nočním hmyzu a motýlech však neví téměř nic, protože se s nimi setkává jen náhodně (např. pod svítilnami – a to už obvykle je mrtvý). Jejich vymírání má proto jaksi „plíživý“, nepozorovatelný „noční“ průběh. Dochází k „řídnutí“ populací. Nejprve mizí tzv. citlivé – stenekní – druhy, které jsou např. vázány na několik málo živných rostlin z chráněných stanovišť, nebo na přírodě blízká stanoviště vůbec; těch,



jak víme v přírodě úprkovitě ubývá. Tak se na listině ohrožených, vymírajících nebo již vymřelých druhů ocitá jejich stále vyšší počet. Snižují se také populační hustoty běžných druhů. Podrobněji se zabýval problematikou vlivu světelného znečištění tmy Eisenbeis (2001, *Künstliches Licht und Lichtverschmutzung – eine Gefahr für die Diversität der Insekten.* – Verh. Westd. Entom. Tag. Ung, Düsseldorf pp. 31 – 50.), který např. sledoval noční aktivitu hmyzu za měsíčního úplňku a v novu při použití různých světelných zdrojů a jejich stínidel (za použití výbojek rtuťových, sodíkových a speciální filtrační fólie). Jeho závěry dokládají graficky a číselně, že největší noční nálet byl pozorován na zdroje rtuťové (asi 45 % z celkového náletu na zmíněné tři zdroje), následují sodíkové (asi 35 % celkového náletu), kdežto při použití filtrační fólie představoval pouze 10 % celkového náletu. Ukazuje se, že noční nálet na zmíněné zdroje byl nejvyšší za novu, kdežto při úplňku byl i na rtuťových výbojkách téměř zanedbatelný. Intensitu náletu ovlivňuje také teplota a její kombinace s vlhkostí. Teplé a vlhké, zejména předbouřkové noci nálet hmyzu na světelné zdroje stupňují a nejvíce, a to rušivě, zasahují do druhové intenzity stanovišť.

Pokud jde o vliv pouličního osvětlení a vlivu stanoviště na intenzitu nočního náletu hmyzu, zabývali se touto problematikou Eisenbeis a Hassel (2000, *Zur Anziehung nachtaktiver Insekten durch Strassenlaternen.* Natur und Landschaft 75: 145 – 156). Zjistili, že všechna používaná pouliční svítidla (rtuťová, sodíková a sodíko-xenonová) hromadně přitahují hmyz. K číslům dospěli tak, že pod svítidla instalovali nasávače (tzv. vzdušné eklektory). Ukázalo se, že řády hmyzu a množství jedinců naletuje různě intenzivně na různé zdroje světla a také různě podle jejich stanovišť. A dále, že sodíkové vysokotlaké zdroje (HSE) snižovaly počty nalétnuvšího hmyzu o 50 %, u nočních motýlů až o 75 %, takže doporučují nahradit ostatní pouliční svítidla HSE. K totožnému výsledku a závěru dospěl také Eisenbeis (2001, *Künstliches Licht und Insekten: eine vergleichende Studie in Rheinhessen.* – Schriftenreihe Landschaftspfl. Natursch., 67: 75 - 100). V anglosaské literatuře jsou výsledky podobných studií podobné (Frank, 2002, *Ecological consequences of artificial Night Lighting,* Nat. Fish and Wildlife Foundation). Konstatuje, že umělá svítidla narušují fyziologické funkce u hmyzu, příjem potravy, kladení vajíček, noční vidění a circadiální cyklus, dále navigaci hmyzu, kopulaci, rozptyl v terénu a migraci. Uvězňují hmyz v budovách, ničí ho v noční dopravě (zejména zabíjením v reflektorech). Blízkost nočních svítidel přispívá také k predaci hmyzu noční ptactvem, netopýry, pavouky apod. Přesto se však nepodařilo dokázat ničení celých hmyzích populací. To je možné pouze u fragmentů populací, jejichž souvislý areál byl roztříštěn např. výstavbou, dopravními tepnami apod. Naproti tomu vyřazuje důležité hmyzí parazitoidy a některé hmyzí predátory - přirozené regulátory hmyzích populací. Proto tam, kde zachování biodiverzity je žádoucí (Národní Parky, Přírodní Reservace apod., však také v některých oblastech pěstování rostlinných kultur v ekologickém zemědělství) se trvalé noční svícení má časově omezovat. Obecně doporučují zhasínání nočních světelných zdrojů za okolností, kdy jich není třeba, udělování zvláštních povolení pro omezení nočního lovu hmyzu na ultrafialové zářiče pro inventarizační účely. Jako „*conditio sine qua non*“ požadují dávat přednost a postupně zavádět nízkotlaké sodíkové světelné zdroje. K podobným závěrům pokud jde o noční brouky dospívá tamtéž Lloyd. O adaptivní predaci pavouků k mikrohabitatům v blízkosti pouličních svítidel se zmiňuje Heiling (1999) (*Why do nocturnal orb. Web spiders (Arachneidae) search for light.* Behav. Ecol. And Sociobiol. 46: 43 – 49). Ukazuje, že úlovky kořisti těchto pavouků jsou větší v blízkosti svítidel oproti stanovištům neosvětleným.

Usuzuje, že jde o dědičnou preadaptaci, protože v laboratorních chovech pavouků, kteří před tím nikdy nelovili v osvětlených místech a nepřišli ani do styku s umělým světlem, bylo pozorováno totéž. Šustek (1999) referuje (*Light attraction of carabid beetles and their survival in the city centre.* Biológia, Bratislava) že někteří (draví) střevlci se hromadili na rámu intenzivně osvětlované reklamy uprostřed Bratislavy, kde se snadněji dostávali ke své kořisti – jinému hmyzu, který na ni naletěl.

Další literatura týkající se ekologických důsledků umělého nočního svícení a jejich vlivu na různé skupiny živočichů včetně hmyzu je uveřejněna na stránkách „The Urban Wildlands Group“ (<http://www.urbanwildlands.org/nightlightbiblio.html>).

Z vlastní zkušenosti [Powell & Povolný, 2001, *Gnorimoschemine moths of coastal dune and scrub habitats in California (Lepidoptera, Gelechiidae).* Hol. Lep. 8 1 – 53] mohu dodat že za posledních 40 let inventarizačních odlovů molů čeledi makadlovek v oblasti kalifornských příbřežních dun a tzv. Channel Islands se ukázalo, že denní odlov tohoto hmyzu a chov z podkopének byly kvantitativně vydatnější než noční lov na ultrafialový zářič, v tomto případě pro blízkost moře a tím téměř neustálé větrné počasí, za něhož je lov hmyzu na světlo značně obtížný.

Světelné přesycení noční tmy, jak je známe např. z Britských ostrovů, Holandska, okolí Prahy, Innsbrucku, Vídně, rekreačních přímořských oblastí (kolem Kanálu La Manche a zejména kolem celého evropského Středomoří) ohrožuje také ptačí tahy. I v denním tisku se objevují zprávy o hejnech tažného ptactva dezorientovaných světelnými kužely (zvláště diskoték).

Také o zhoubném vlivu a změnách chování zejména stěhovavého nebo tažného ptactva vlivem různých světelných zdrojů již existují za poslední léta pozoruhodné poznatky. Ptáci totiž obvykle táhnou nebo migrují v noci, a to zejména za podmráčeného počasí a při nízké oblačnosti. Již koncem 19. století pozoroval Američan Gastman v okolí Decaturu ve státu Illinois, že pod elektrickými světelnými zdroji zahynulo během jediné noci až tisíc migrujících ptáků. Po 110 letech se během příslušných nákladných programů (World Wild Fund Canada, nebo Fatal Light Awareness) ukázalo, že osvětlovaná místa včetně oken jsou pro některé tažné ptáky rizikové. Kritickými se přitom ukazují majáky, televizní vysílače a jiné objekty (osvětlené např. kvůli noční letecké dopravě apod.) zejména v blízkosti mořského pobřeží. Ukázalo se, že světla těchto objektů mají při jarním a podzimním tahu vliv na tzv. lineární nebo nelineární tah ptactva. Při jarním tahu se objevovalo nelineárně táhnoucí ptactvo v blízkosti bíle osvětlených konstrukcí ve větším počtu než v místech neosvětlených. Při podzimních tazích se ukázalo, že nelineárně táhnoucí ptáci se početněji objevují kolem červeně osvětlených oproti bíle osvětleným objektům. Avšak zejména lineárně táhnoucích ptáků bylo v blízkosti bíle osvětlených konstrukcí průkazně více než na kontrolních (neosvětlených) místech. Statisticky průkazně vyšší byl také počet lineárně táhnoucích ptáků kolem červeně osvětlených objektů než na kontrolních stanovištích (neosvětlené objekty). Je zřejmé, že osvětlené objekty ptáky přitahují, a že lineárně táhnoucí ptáci se takovým objektům pouze přiblíží a pokračují v tahu, kdežto nelineárně táhnoucí druhy (za letu kroužící, létající krivolatě apod.) se zdrží déle, takže v okolí takových objektů dochází k hromadění ptáků, dochází ke kolizím s ostatním ptactvem atd. V Holandsku bylo pozorováno, že břehouš černoocasý, který bioindikuje otevřené travnaté plochy, kde hnízdí, reaguje na blízkost osvětlených rušných dopravních tahů. Zatímco v blízkosti méně frekventované a neosvětlené silnice byl počet hnízdošů a počet vajec v hnízdech vyšší, snížil se v dal-

ším roce po instalaci 24 svítidel i za vyloučení vlivu stanoviště a přiblížil se poměrům kolem trvale osídlené silnice.

Kromě již zmíněného stresového účinku na člověka rušením jeho cirkadiánního rytmu, dochází v přetechnizované společnosti k narušení jeho „vnitřních hodin“. Ty rytmizují např. tělesnou teplotu, která obvykle stoupá při probuzení. Také jiné tělesné rytmy jsou ovlivňovány periodicitou střídání dne a noci.

K velmi závažným závěrům dospěl Ital Fornasari o vlivu osvětlení letiště a jeho okolí, hlavně parkovišť (2002, Malpensa airport and bird migration: a matter of light pollution. Proc. IDA Reg. Meeting „Venice: Let's save the night“, ISTL, Italy). Na letišti lombardské Malpensity a v jeho okolí se protínají dva tahové proudy tažného ptactva a to jak během jarního, tak podzimního tahu. Nejprve bylo zjištěno, že osvětlené letištní plochy a objekty přitahují ptáky k zemi. Tato tahová anomálie bylo potvrzena kroužkováním ptáků v různých vzdálenostech od letiště. Blíže k letišti vykazovali noční tažní ptáci nečekaně vysoké zásoby tuku v době vrcholného tahu a za časných ranních hodin. Dále se ukázalo (srovnáváním denní a noční orientace táhnoucích ptáků), že letištní osvětlení může vychylovat směry tahu až o 180°. Nečekané noční zastávky vedou u táhnoucích ptáků k dalším handicapům, jako např. k neschopnosti obnovit energetické zdroje, které umožňují pokračování v tahu. Proto se doporučuje snížit intenzitu svícení a směřovat světlo odštiňováním na zem, a konečně zvýšit v blízkosti letišť potravní zdroje pro tažné ptactvo.

Moštní ptáci, jichž je asi 300 druhů, jsou celosvětově na ústupu, a je zřejmé, že jde o důsledek antropického tlaku. Sklon k ústupu jejich rozšíření i hustot je zřejmě ovlivňován umělým svícením za noci. Projevuje se jejich matením, když přeletují z míst hnízdění na místa, kde loví nebo shánějí potravu a zpět. Tato desorientace se projevuje kolisemí se stožáry a sloupy, dopady na zem, kde končí pod koly vozidel. Tento jev byl statisticky signifikantně prokázán u nočních mošských ptáků také na Havajských ostrovech.

Zvláště nápadně se projevuje vliv nočního svícení na zpěv zpěvného ptactva, který známe tak z našich měst – např. u kosa. Tato změna chování pěvců byla podrobně studována ve „Westparku“ v Dortmundu v Německu, a tato sledování probíhala na ploše 10 ha od března do počátku června 1999. Jako kontrolní plocha byl zvolen podobný parkovitý lesní porost (Niederhofer Wald) jižně od města v neosvětlené přírodě. Byly vybrány tři druhy pěvců. Ukázalo se, že všechny tři druhy začaly zpívat v městském parku statisticky průkazně v časnějších ranních hodinách než ve volné přírodě. Tento rozdíl se připisuje nočnímu osvětlení parku a zvýšenému hluku.

Další anomálie v chování a zvycích ptáků pod vlivem umělého osvětlování různých objektů v noci byly pozorovány jak během tahu, tak i hnízdění nebo během jiných životních projevů, a to pomocí radarů. Samotné radary vliv velmi pravděpodobně nemají, jak v podrobném výzkumu prokázal Bruderer (1999, Bruderer B., Peter D., Steuri T.: Behaviour of migrating birds exposed to X-band radar and bright light beam, The Journal of Experimental Biology 202, 1015-1022). V dalších výzkumech šlo o sovy, ptáky táhnoucí za noci, tenkozobce, lejsky, vrány, mořské ptáky atd. Příslušné výtahy vyšly v bibliografii „Ecological consequences of Artificial Night Lighting“ (<http://urbanwildlans.org/nightlightbiblio.html>, 9.11.2003).

S rostoucím poznáním se však fenomén „nočního svícení“ začíná studovat také u obojživelníků, zejména ropuch, u některých lososovitých ryb apod., a to na základě zatím empirických poznatků přicházejících často z praxe.

### 3 Dodatek: Světelné zdroje ve výzkumech G. Eisenbeise

Rtuťové, v originále označeny HME: rtuťová vysokotlaká výbojka o příkonu 80 W. Produkuje kromě člověkem „viditelného“ světla v oboru zhruba od 450 – 600 nm také frakce UF záření (vlnové délky od 350 zhruba do 400 nm).

Sodíkové, v originále HSE: sodíková vysokotlaká výbojka, vyzářuje minimální podíl UF záření a vysílá žluté světlo o dvou maximech mezi 500 – 600 nm. Výkon je 50, resp. 70 W.

Sodíko-xenonové, v originále HEXT: sodík-xenonový vysokotlaký zdroj o 80 W. Vyzářuje poměrně nízký podíl ultrafialového záření a vykazuje dva vrcholy dobré viditelnosti v rozsahu mezi 460 nm až 520 nm spektra.

Speciální filtrační fólie, v originále UV-Sperrfolie o tloušťce 100  $\mu\text{m}$  se používá k zakrytí dolních krytů svítidel se rtuťovými výbojkami (nalepením). Absorbuje i člověkem viditelnou část spektra, takže účinnost svítidla klesne např. ze 76 % na 55 %, její využití pro pouliční osvětlení je proto obecně málo vhodné.

# Stanovisko k osvětlení solitérních budov

Prof. ing. RNDr. Dalibor Povolný, DrSc.

K základním projevům života patří fyziologický mechanismus, který vešel v obecnější známost jako tzv. biologické hodiny. Jejich základním projevem je cirkadiánní rytmus, tj. schopnost časovat a opakovat fyziologické funkce ve 24hodinových intervalech. Jeho vznik nutně odvozujeme ze střídání světla a tmy (tj. dne a noci), ač řada heterotrofních organismů, tedy především živočichů, dovede překonávat dlouhá období nedostatku světla až tmy. Jinými cykly jsou např. příliv a odliv (pod vlivem slapových sil měsíce), známé cykly sezónní apod.

O sepětí životních rytmů a periodicit existuje bohatá literatura (např. Odum, 1977). Přitom nejde o pouhou snášenlivost k jejich průběhu, nýbrž jde o aktivní účast a nutnost účastnit se této periodicity jako prostředku koordinace životně nutných funkcí. V našem případě jde o význam fotoperiodizmu, tj. o vliv střídání světla a tmy na životní projevy organismů. Poměrně nejdokonalěji jsou tyto projevy známy u myšovitých hlodavců. Rytmus jejich aktivity trvá přesně 24 hodin a je seřízen střídáním světla a tmy (jako důsledku otáčení zeměkoule kolem osy). Jeho narušování se projevuje změnami v chování a zvycích. Chováme-li tyto laboratorní hlodavce ve stálé tmě, zmíněný rytmus sice pokračuje, avšak počátek aktivity se neustále posunuje, takže zmíněný cirkadiánní rytmus je poněkud delší nebo kratší než 24 hodin (viz. příložená tabulka). Po zhruba 20 dnech opouštějí experimentální hlodavci hnízda na noční občůzku o 6 hodin později atd. atd.

Chovy laboratorních cirkadiánních savců za trvalého světla se neprovádějí, nebo trvají jen krátce před jejich použitím, protože v nich vyvolávají nefyziologické stavy – jsou nepoužitelní.

Přítomnost trvalých rytmů je známa u různých (autotrofních i heterotrofních) organismů, řekněme od řas až po člověka. Jakými vnitřními ději je tento rytmus v organizmech zakódován, není přesně známo. Uvažuje se o jeho endokrinním systému, o metabolických oscilacích apod.

Jisté je, že jde o „mechanismy“, které se vyvíjely stamiliony let a staly se neodlučitelnou součástí životních projevů.

Ví se také, že u člověka patří soustavnější narušování cirkadiánního rytmu k nejzávažnějším exogenním traumatům, která se projevují zejména sklonem k hypertenzi, diabetu, atopickým alergiím apod. a postihují také jiné živočichy. Trvalé osvětlování vězeňských cel bylo a je součástí mučení vězňů s cílem zlomit jejich psychu, jak to prováděly a provádějí totalitní režimy. U některých hlodavců (např. hrabošů, lumíků) patří právě narušování rytmů v důsledku jejich přemnožení spolu se stupňováním prahových optických jevů (při „nedostatku místa“ v norách) k hlavním důvodům zhroutilí gradací, ke známým „sebevražedným“ tahům lumíků do toků nebo do moře apod.

K nejvýznamnějšímu narušení životního prostředí patří tzv. světelné znečištění tmy, které postihuje zejména oblasti velkoměst. I povrchnímu pozorovateli neujde, že pod světelnými zdroji se mohou vyskytnout velká množství nočního hmyzu – od jepic až po můry a pídalky. Jsou známé případy, kdy víceleté cikády hynou masově pod pouličními svítilnami (např. v hlavním městě USA

Washingtonu) a jejich odklizení (protože jde o velká hmotnostní množství) zatěžuje rozpočty velkých městských aglomerací.

Víme, že k neefektivnějším metodám lovu nočního hmyzu patří jeho lákání na světelné zdroje. Přitom ovšem nejde ani zdaleka o možnost hubení některých populačních segmentů škůdců, nýbrž o ničení nočního hmyzu vůbec, neboť takto hyne nepoměrně větší počet jedinců i druhů, které podmiňují biodiverzitu prostředí jako ukazatelé jeho relativní rovnováhy, tedy přirozenosti nebo alespoň blízkosti přírodě. Proto je noční lov na světlo stále více regulován a vyspělé státy ho umožňují zvláště v environmentálně cenných nebo citlivých a zranitelných společenstvech (biocenózách) jen pro mimořádné účely (např. pro faunistické inventarizace) a dočasně.

Těžkým traumatem nočních živočichů je znečištění tmy velkoplošným osvětlováním lidských aglomerací nebo dominantních staveb v terénu - jako starých pevností, chrámů, hradů a jejich troskek – z nočních savců postihuje zejména netopýry, kteří jsou jednou z jejich nejohroženějších skupin a jejich ochrana se stává celosvětově významnou složkou ochrany přírody, protože z velkoplošně osvětlovaných prostor se stahují a mizí.

Platí to však také o některých skupinách nočních ptáků, jako lelků a sov. Civilizačně vyspělé státy proto velkoplošné osvětlování buď časově různě omezují, přikračují spíše ke dlouhovlnným než ke krátkovlnným světelným zdrojům a zcela je vylučují u stavebních solitérů v přírodě.

Některá nedávná šetření navíc ukazují, že do trvale osvětlovaných městských aglomerací se stahují živočichové méně vnímaví na světelné znečištění tmy. Jsou to buď živočichové vysoké inteligence (např. divoké prase, medvědi a medvídkové, kuny apod.) nebo naopak světlopláši, kteří proniknou do takových míst v panice (parohatá zvěř) a zejména synantropní živočichové, např. potkan, švábi, kteří si (v podzemí) svoji „noční“ niku vždy najdou, takže znečištění tmy světlem jim nevádí, spíše zvětšuje jejich schopnost konkurence.

**Závěr** Velkoploché osvětlování lidských artefaktů včetně stavebních dominant apod., a zejména takových solitérů v terénu, spadá do faktoru, kterému se v etologii říká světelné znečištění tmy jako periodicitního faktoru resp. periodických rytmů. Ty jsou inherentní součástí života a jeho fyziologických rytmů a jiných projevů. Prokazatelně negativně ovlivňuje decimací zejména populace nočního hmyzu, ale i savců převážně aktivních za noci, a to především netopýrů, které vytlačuje. Je samo o sobě artefaktem, který však na rozdíl od jiných lidských artefaktů (včetně památných budov apod.) do přírody a jejích ekologických dějů nepatří. Pokud jde o významné příležitosti např. společenského nebo politického rázu, lze připustit dočasné a zejména nepravdělné velkoploché osvětlení, na němž by se příslušné kruhy měly dohodnout s orgány ochrany přírody a s ekologickými iniciativami obecně.



# Ptáci a světelné znečištění

Doc. RNDr. Karel Hudec, DrSc.

Problém vlivu umělých světelných zdrojů na ptáky není nový. První poznatky souvisely s ptačím tahem, neboť již v polovině 19. století byl zaznamenán vliv majáků na ptačí průtah a jeho důsledky. Speciálně z těchto podmínek vycházelo také zřízení jedné z prvních ornitologických stanic na ostrově Helgoland. Její činnost však směřovala spíše k odchytu velkého počtu ptáků zejména za zjištěním pro Evropu vzácných druhů ptáků, později pak za účely kroužkování. Význam světla jako mortalitního faktoru je zkoumán až v poslední době, a to stále především v souvislosti s ptačím tahem.

Mnoho druhů ptáků táhne v noci, velká část jich se orientuje podle hvězd. Obrovské počty umělých světelných bodů na zemi způsobují dezorientaci, zejména při mlhavém nebo deštivém počasí. Časově je to především v době po půlnoci, kdy se začíná snižovat výška tahu, ptáci se začínají spouštět k zemi a hledat místa k dennímu odpočinku. Dezorientovaní ptáci tak narážejí na výškové stavby, na místech tahových koncentrací jsou zjišťovány desítky až stovky mrtvých ptáků za jedinou noc. K nízkopoloženým intenzivním zdrojům světla se ptáci soustřeďují a poletují kolem nebo usedají přímo ke zdroji.

Tyto problémy jsou přirozeně největší v oblasti velkých měst, ležících na tahových cestách ptáků. Tyto cesty jsou soustředěny především při mořských pobřežích, při okrajích velkých jezer nebo podél velkých řek. Ve vnitrozemí jsou ptáci při tahu soustředěni v menší míře, zpravidla jen v přirozených přírodních koridorech, jako jsou vysokohorská sedla, údolí řek nebo spojnice oblastí zvýšeného výskytu ptáků (např. mezi rybníčními soustavami). Jako nejvíce přímo zničující lokální faktory se ukazují osvětlení v kombinaci s velkými skleněnými tabulemi moderních staveb. Ale například výzkumy na letišti Malpensa (Lombardie, Ticino) ukázaly, že negativním důsledkem nemusí být přímo usmrcení ptáků vlivem nárazů. Ptáci vlivem světla na letišti často zcela změni směr tahu, nenalézají dostatek potravy a tím snižují obsah tělesného tuku jako zásoby pro další tah [6, Fornasari 2001].

V období vysoké intenzity tahu současně s určitou meteorologickou situací – nízkou oblačností nebo mlhou, se však koncentrují velké počty ptáků i mimo pravidelné tahové cesty. U nás je to známo především z horských hřebenů (Krkonoše, Orlické hory a zřejmě i všechny další horské bariéry), na jejichž hřebenech jsou ptáci již po více let chytáni za účely kroužkování právě na světlo [2, 3, 4, 5, Červa et al. 2002, 2003, Čihák et al. 1989, 1990].

Pro ochranu ptáků před světelným znečištěním byla v roce 1993 založena v Kanadě organizace FLAP (Fatal Light Awareness Project), propagující snížení intenzity vnějších světla v sídlištích přinejmenším v době tahu a pomocí dobrovolníků zachraňující ptáky usedající u světelných zdrojů, často přímo v ulicích, na zemi. Nejúspěšnější je záchranný program v Torontu, kde 80 staveb přistoupilo k omezování osvětlení a obdrželo logo tzv. „Bird-Friendly Building“ [9, Journey North 2001].

Dosud prakticky žádná pozornost není věnována jiným vli-

vům světleného znečištění na ptáky, především fyziologickým. V posledních letech bylo zjištěno, že samci kosa černého (*Turdus merula*) zpívají v silně osvětleném městě Brně na podzim již od listopadu a také během nočních hodin, zatímco v lesní oblasti Bučín včetně přiléhajících vesnic (Tetčice, Silůvky, bývalý okres Brno-venkov) zpívají kosi až od února a cirkadiánní doba zpěvu je úžeji vymezena (Hudec a Vačkař, in prep.). Poněvadž zpěv je u ptáků spojen s produkcí gonadotropních hormonů a ta je závislá na intenzitě světla [7, přehled Johnson 1988]), je logické předpokládat ovlivnění průběhu rozmnožování, tj. úspěšnosti hnízdění u kosů ve městě se všemi možnými důsledky pro populační dynamiku tohoto druhu.

## Literatura

- [1] Bruderer B., Peter D., Steuri T., 1999: Behaviour of migrating birds exposed to X-band radar and bright light beam. *The Journal of Experimental Biology* 202: 1015-1022.
- [2] Červa L., Rosmus J., Jelínek J., Hovorka L., 2002: Podzimní odchyt ptáků v západních Krkonoších v roce 2001. *Prunella* 27: 21-25. 58
- [3] Červa L., Rosmus J., Jelínek J., Zicha F., Hovorka L., 2003: Podzimní odchyt ptáků v západních Krkonoších v roce 2002. *Prunella* 28: 24-25. 58
- [4] Čihák K., Hromádka M., 1989: Sledování nočního tahu ptáků ve světle reflektoru v Orlických horách v letech 1984–1988. *Panurus* 1: 41-54. 58
- [5] Čihák K., Hromádka M., Beran J., 1990: Akce Balt v Orlických horách v letech 1979-1983. *Panurus* 2: 5-30. 58
- [6] Fornasari L., 2001: Malpensa airport and bird migration: a matter of light pollution. *Proceedings of the IDA* 58
- [7] Johnson A. L., 1988: Reproduction in the Male. In Sturkie P. D. (ed.): *Avian Physiology*. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo. 58
- [8] Regional Meeting “Venice: Let’s save the night”, p. 123-136.
- [9] (Journey North), 2001: Lights at Night Mean Trouble for Birds. *Journey North Teacher’s Manual*. Str. 1-3. 58
- [10] Turkozan O., Taskavak E., Ilgaz C., 2003: A review of the biology of the loggerhead turtle, *Caretta caretta*, at five major nesting beaches on the south-western Mediterranean coast of Turkey. *Herpetological Journal* 13 (1): 27-33. (Želva *Caretta caretta* na plážích v Turecku: 42 % uhynulých mláďat má na svědomí světelné znečištění, způsobující nesprávnou orientaci mladých želv po vylíhnutí při cestě do moře.)



# Vliv světelného znečištění na veřejné zdraví

MUDr. Hana Drahoňovská, CSc.,  
Státní zdravotní ústav, Praha

## 1 Úvod

Ochrana veřejného zdraví a hygiena se od počátku svého snažení o ochranu zdraví zabývala světlem jako faktorem pracovního prostředí, posléze i celého vnitřního prostředí budov. Cílem řady metodických pokynů, norem a vyhlášek bylo dosažení optimálního zrakového výkonu. Výzkum, který předcházel vzniku legislativy a doporučení byl téměř výhradně zaměřen na kvantitu osvětlení a fungování zrakového aparátu bez vedlejších negativních účinků.

S rozvojem osvětlovací techniky, zaváděním nových zdrojů světla a zvyšující úrovně zrakové práce se hlavní požadavky hygieniků soustředily na zvyšování intenzity světla ve vnitřním prostředí. Světlo se tak stalo faktorem prostředí, který má nepříznivé účinky na člověka pouze v případech, že je ho nedostatek pro vidění, tj. zrakový výkon.

V osmdesátých letech začaly do podvědomí odborné veřejnosti i mezi laiky pronikat informace o syndromu sezónní deprese a tedy i jiných než zrakových funkcích světla. Cirkadiánní rytmy, jejichž prostředníkem v organismu je melatonin a jeho cyklická je sekrece založená na střídání světla a tmy, zaujaly však spíše psychology a psychiatry než pracovníky veřejného zdraví. Předpokládalo se, že sezónní deprese není ovlivnitelná běžně dostupnými prostředky prevence.

Od r. 1987, kdy byla vyslovena melatoninová hypotéza, předpokládající, že nedostatek produkce melatoninu v noci vlivem nadbytku světla nebo elektromagnetickým polem má vliv na vznik rakoviny prsu, se začala problematika světla intenzivně studovat z pohledu škodlivosti nikoli jeho nedostatku jako dosud, ale jeho nadbytku a z pohledu světla jako faktoru životního prostředí, který neumožňuje pouze vidění, ale v podstatě je synchronizátorem všech biologických funkcí.

V České republice se výzkumem světla v souvislosti s cirkadiánními rytmy, produkcí hormonů, vlivu na spánek zabývala pouze dvě pracoviště – fyziologický ústav Akademie věd a pracoviště preventivní medicíny Masarykovy University. Výsledky experimentálních pokusů na zvířatech, laboratorních pokusů na lidských dobrovolnících i epidemiologických studiích přispěly ke světovému fondu špičkových prací v této oblasti.

Vědecké práce z celého světa a jejich výsledky jsou nepřehlédnutelné, přesto, že mnohé je třeba dále ověřovat, lze z nich vyvodit :

1. světlo nepůsobí na člověka negativně pouze když je ho nedostatek
2. jeho nepřítomnost v noci je pro správné fungování organismu nezbytná,
3. používání umělého osvětlení významně změnilo životní styl člověka v industriální společnosti a jeho životní prostředí a nemůže tak být bez významného vlivu na zdraví

## 2 Světlo a vnitřní prostředí budov

Byt, dům, domov...Ať v nás tyto slova evokují jakékoli pocity a představy, podstatou bydlení je biologická funkce ochrany před venkovním prostředím. Déšť, chlad, vítr, dravé šelmy a tma. Poslední dvě vyjmenovaná nebezpečí se v našich současných podmínkách změnila. Za šelmy ohrožující náš život můžeme považovat stres, spěch a venkovní chaos. A tma? Satelitní snímky zeměkoule v noci i vlastní zkušenost z bezprostředního okolí nás přesvědčují, že černočerná není.

V prostředí svého domova trávíme nejvíce času z celého dne, proto také expozice všem škodlivinám je daleko významnější než venku. Platí to o všech faktorech životního prostředí, zejména o vzduchu . V domácím prostředí většinou relaxujeme a odpočíváme a hlavním mechanismem obojího je spánek. Aby měl spánek kýžený výsledek, je k němu třeba splnění čtyř environmentálních podmínek: ticho, tma, teplota 16 °C–18 °C a dobrá matrace či lůžko.

Chronický nedostatek ticha se doporučuje řešit pomůckami vkládanými do ucha, pro dosažení tmy závěsy a žaluzie, teplota se dá v současnosti regulovat a vybrat si pro sebe správné lůžko není obecně také problémem.

Světlo narušuje spánek dvojitou cestou: jako rušivý faktor prostředí a tím, že narušuje složité vnitřní hodiny organismu. O potížích, které vzniknou hovoříme jako o chronobiologických poruchách či onemocněních.

## 3 Cirkadiánní rytmy

Mluví-li o světle, mám na mysli zároveň i tmu, podobně jako říkám den a označuji tak i noc. Pro správné fungování fyziologických funkcí organismu jsou důležité obě stránky světla – den a noc. Nejde jen o lidi či savce, ale všechny živé organismy mají svůj rytmus, který je podřízen střídání světla a tmy a ročních období.

Rytmicitě podléhá např. výše tělesné teploty, uvolňování některých hormonů, dělení a metabolismus buněk.

Světlo vstupuje do organismu očima, kde je nervovými zakončeními citlivých receptorů vedeno nervovými vlákny do mozku. Jedna část směřuje do mozkové kůry, kde je centrum zraku a druhá do suprachiasmatických jader hypothalamu. První cesta umožňuje vidění a reakce na viděné, druhá synchronizuje fyziologické děje prostřednictvím sekrece hormonu epifýzy melatoninu. Produkce melatoninu je totiž závislá na světle – v tomto případě právě na tmě. I z tohoto důvodu, protože se vylučuje v době, kdy většina lidí spí nebo by fyziologicky měla, je označován za spánkový hormon. V anglosaské literatuře najdeme označení Zeitgeber nebo nověji pacemaker (hezky česky udavač kroků). Je ho možné označit za prostředníka mezi světelným prostředím

a organismem. Jeho produkce začíná v časných nočních hodinách, pík je krátce po půlnoci a kolem východu slunce se snižuje na minimum. Stoupající hladina melatoninu navozuje ospalost a její pokles nás nastrovává k činnosti. Jeho produkce je značně ovlivněná světelnými podmínkami bezprostředního okolí.

Rozvojem umělého osvětlení se dostalo lidskému druhu mnoho možností, jak lépe a intenzivněji využít světlo část dne jejím prodloužením a více méně se stát nezávislým na přírodě a jejich světelných zdrojích. Objev žárovky se udál v době, kdy jeden technický vynález střídal druhý a člověk skutečně mohl mít pocit, že příroda je něco méněcenného, bez čeho si poradí. Jenže člověk svou podstatou je součástí přírody, i když by někteří nechtěli, a tak i cirkadiánní rytmy a mechanismy regulace tělesných funkcí a pochodů jsou stále odrazem spojení člověka s přírodou, na základě vývoje, který probíhal miliony let. Zcela jistě se vyvíjejí i adaptační mechanismy na nové, moderní prostředí, ale během jejich dozrávání se člověk musí naučit alespoň kompromisnímu soužití s přírodou v sobě.

Dlouho se věřilo, že osvětlení v noci a následná změna života donutí naše vnitřní hodiny následovat environmentální změny způsobené požíváním umělého osvětlení. Při současném životním stylu, jaký vede v blahobytu a všemi vymoženky vědy a techniky obdařená třetina populace zeměkoule, se skutečně zdá, že přírodní rytmy – ať denní, sezónní či celoroční, ztrácejí na člověka vliv. Umělé osvětlení dovede regulovat nedostatek slunečního záření během světlé části dne, dorovnává jeho přirozený úbytek při stmívání a rozednívání a v umožňuje bdění v noci. Z našeho života se tak ztrácí nejen normálního střídání světla a tmy, ale i ročních období. Model 12 hodin světla, 12 hodin tmy typický pro jaro a podzim, 16 hodin světla a 8 hodin tmy pro léto a opačný model pro zimu je nahrazen universálním typicky letním 16/8.

Jak je to tedy s přizpůsobováním organismu těmto umělým podmínkám? Je pravdou, že lidské oko, přestože je v posledních desetiletích mnohonásobně více namáháno než v minulosti, zůstává bez významných potíží. Přibývá očních vad, ovšem ne tolik, o kolik se zvýšila zraková zátěž.

Narušení druhé funkce světla, synchronizace fyziologických funkcí organismu člověka se zdá také nemít žádné přímo pozorovatelné následky na zdraví.

Většina populace nemá žádné obtíže, jejichž zjevnou příčinou by byly změny v chronobiologii. Může to mít důvod i tom, že nikdo následky narůstajícího znečištění světlem nehledal. Neznamená to však, že by neexistovaly.

Nejméně citliví k změnám v rytmicitě světla a tmy jsou obecněji muži. Nicméně civilizační choroby, jejichž příčinou je současný životní styl, postihuje více mužů než ženy. Mezi osoby více náchylné na výskyt chronobiologických obtíží – diagnostikovatelných a již diagnostikovaných (např. syndrom sezónní deprese, poruchy spánku) patří ženy. Produkce a funkce ženských hormonů podléhá mnohem větší cyklicitě než hormony mužů a to může být jedním z vysvětlení.

Jaké jsou následky porušeného cyklu světlo – tma na člověka?

1. Syndrom sezónní deprese
2. Poruchy spánku
3. Průběh neurologických, psychiatrických a autoimunitních onemocnění
4. Rakovina prsu
5. Urychlení procesů stárnutí

## 6. Rakovina dalších orgánů

Těmto šesti typům následků se nyní věnujeme podrobněji.

### 3.1 Syndrom sezónní deprese (Seasonal affective disorders)

Objevuje se v severních zeměpisných šířkách v podzimním a zimním období, kdy se krátí světlé části dne a ubývá slunečního záření. Příčinou není jen prostý nedostatek světla, neboť takovým dnům bylo vystaveno lidstvo během celého svého vývoje, ale o malé kontrasty mezi dnem a nocí. Změna životního stylu, která nás uzavírá do budov a pod umělé osvětlení, které je sice dostatečné ke zrakové práci, ale nikoli k synchronizaci cirkadiánních rytmů. Umělé osvětlení používáme od probuzení do nočních hodin a rytmicita cyklu den a noc je narušena. Následkem jsou poruchy v produkci melatoninu

Projevy syndromu sezónní deprese jsou známy každému, jen u některých lidí nabývají podoby, kdy u nich dochází k stupňování obtíží tak, že jsou omezeny jejich denní aktivity.

K symptomům patří nadměrná unavitelnost, ztráta aktivity a zájmu o okolí, snižuje se fyzická činnost následována i duševním útlumem, špatnou koncentrací a horší schopností se učit a pamatovat si. Syndrom provází často poruchy spánku, nejčastěji hypersomie a permanentní ospalost. K tomu se přidává zvýšená chuť k jídlu, často na sladké a na alkohol, takže dochází k přibývání na váze. Jako u každé deprese, zvyšuje se riziko sebevražedného jednání. Sezónními obtížemi jsou častěji postihovány ženy.

K nedostatku rozdílu mezi dnem a nocí se přidávají i podněty ze sociální oblasti. Tzv. Christmas blue aneb vánoční deprese se objevuje častěji u osamělých lidí, často pod tlakem mediálního a všudypřítomného hlásání lásky a pospolitosti. Na druhou stranu hektická příprava na svátky může vznik vánoční deprese potlačovat.

### 3.2 Poruchy spánku

Dochází k nim vlivem porušené sekrece melatoninu: jako insomnie (nespavost) chronická, kdy vnitřní hodiny řízené produkcí melatoninu jsou rychlejší nebo pomalejší oproti normě, periodická insomnie je projevem poruch v percepci světla, např. pokud je cyklus spánek -bdění značně delší než 24 hod a nebo např. u lidí s postižením zraku.

Insomnie temporální provází jet-lag při přesunu do jiných časových pásem nebo práci v noci či na směny. [1]

Světlo, kterému je člověk vystaven v noci, ať spí nebo nespí, potlačuje produkci melatoninu a posunuje nebo opožďuje jeho exkreční křivku. Navíc si mozek tuto změnu ve světelném prostředí pamatuje a opakuje změny i v další dny, i když expozice světlu pominula. Důležité je, ve které části noci světlo působí. Pokud se tak děje do půlnoci, je produkce melatoninu opožďována ve svém nástupu a může se projevit tendence k časnějšímu probuzení, pro něž je signálem snížená hladina melatoninu. (Například děti, kterým se při usínání svítí, se dříve probouzejí.) Pokud světlo svítí v době po půlnoci do časného rána, fáze se posouvá dopředu a při běžném čase vstávání se projevuje ospalost. [2]

Protože světlo inhibuje produkci melatoninu, zhoršuje usínání a může docházet k přerušování spánku s nepříznivými následky na činnost v bdělém stavu: poruchy koncentrace, netrpělivost až agrese, horší zvládnutí stresu, zhoršená paměť a další projevy.

### 3.3 Neurologická, psychiatrická a degenerativní autoimunní onemocnění

Ztráta vnitřní rytmicity je považována za jednu z příčin psychogenních onemocnění, např. maniodepresivní psychózy nebo endogenní deprese. Světelná expozice v noci a během spánku zvyšuje náchylnost k vzniku záchvatů u epileptiků. [3]

Prokázán byl pozitivní vliv melatoninu na projevy Alzheimerovy choroby. [9]

Melatonin zabraňuje odumírání mozkových buněk a oddaluje progresi onemocnění a tím zvyšuje kvalitu života postižených.

Model vylučování melatoninu u pacientů s diagnostikovanou Parkinsonovou chorobou sledoval Bordet a kolegové na třech skupinách nemocných dle závažnosti projevů. [4] Pacienti v druhé skupině středně postižených měli častěji dopředu posunutou fázi sekrece melatoninu v porovnání s první skupinou nejlehčích pacientů. Nejvyšší denní hodnoty melatoninu a nejnižší poměr denní/noční hladiny byly nalezeny u pacientů s nejzávažnějšími projevy onemocnění.

U tohoto neurodegenerativní onemocnění dochází k destrukci dopaminergních neuronů pravděpodobně působením volných radikálů. Melatonin jako antioxidant zpomaloval rozvoj tohoto onemocnění prokazatelně pouze v experimentech na zvířatech, u lidí jsou výsledky nejasné. Pozitivní působení melatoninu u Alzheimerovy nemoci je přesvědčivější. [5]

Protože produkce ženských pohlavních hormonů je mnohem cykličtější než u mužů, je možné, že nerovnováha či narušení cirkadiánních rytmů a následně poruchách v produkci melatoninu jsou zodpovědné za větší výskyt těchto onemocnění u žen.

Melatonin zlepšuje autoimunní encefalomyopatie mechanismem suprese intercelulární adheze molekul, jak zjistila experimentální studie na krysách, u kterých se po aplikaci exogenního melatoninu (v pitné vodě) vyskytovalo méně paralyz i zánětlivých změn. [11]. Autoři studie uzavírají, že melatonin může snižovat působení autoimunních protilátek v cílových tkáních. Kromě toho má melatonin prokázaný neurobiologický efekt nejen neutralizací volných radikálů, ale i na fyziologii a energetický mechanismus mozkových podpůrných buněk. [5]

### 3.4 Stárnutí

Výsledky některých experimentů na hmyzu a hlodavcích přinesly výsledky ve vztahu melatonin a prodloužená délka života. Studie u lidí se takové výsledky nepotvrdily.

Produkce melatoninu, stejně jako ostatních hormonů, klesá s věkem. Ale u zdravých starých lidí se nachází vyšší hladina melatoninu v porovnání se stejně starými, kteří trpí nějakou chorobou. Je ovšem otázkou, zda-li je dostatečná hladina melatoninu příčinou zdraví ve stáří a nebo jeho následkem. [5]

Ve Spojených Státech i v některých státech západní Evropy je melatonin propagován jako lék či spíše potravní doplněk k zpomalení stárnutí. A je velmi populární, přestože nikde nebyl plně registrován a někteří lékaři před jeho nekontrolovaným používáním varují.

S věkem dochází k opotřebování organismu a zpomalení reparačních procesů již na úrovni buněk a melatonin jako antioxidant může oddálit patologické projevy celoživotní expozice volným radikálům. S věkem také roste pravděpodobnost výskytu zhoubných nádorů a antitumorový účinek melatoninu je považován za velmi pravděpodobný. Z těchto důvodů může být vnitřní melatonin považován za prostředek oddalující nepříznivé následky provázející stárnutí organismu.

### 3.5 Rakovina prsu

Nejrozsáhlejší literatura se týká antikarcinogenních vlastností melatoninu. Experimenty na zvířatech přinášejí jednoznačné výsledky o pozitivním vlivu melatoninu na růst nádoru prsu a jeho vznik. Melatonin reguluje produkci estrogenu, hormonu, který je zodpovědný za patologické změny v prsní tkáni. Navíc má silný antioxidační potenciál a kontroluje další ochranné mechanismy. Přesto, že epidemiologických studií, které prokázaly jednoznačný vliv melatoninu a současně expozice světlu v noci není dostatek, vědci se shodují, že pravděpodobnost potencování vzniku rakoviny prsu světlem a tedy inhibicí melatoninu je velmi značná.

Rakovina prsu je nejčastější příčinou úmrtí i onemocnění rakovinou u žen industrializovaného světa. Přes stále rozvinutější metody detekce, prevence a léčení projevuje toto onemocnění stále stoupající trend, který se nevyhýbá ani České republice. K jeho hlavním vnitřním příčinám patří: časný věk menarche, pozdní nástup menopauzy, první těhotenství po 30. roce, pozitivní rodinná anamnéza. Právě život v rozvinuté, industrializované společnosti je uváděn jako významný nepřímo působící příčinný environmentální faktor.

V r. 1987 formulováním melatoninové hypotézy přidávají vědci a lékaři opatrně další faktor životního prostředí: světlo v noci. Melatoninová hypotéza předpokládala vztah mezi tímto faktorem, elektromagnetickým zářením, snížením sekrece melatoninu a výskytem rakoviny prsu. Během let se vliv jiného elektromagnetického pole než světla neprokázal být významný, naopak vliv nedostatku tmy se ukazuje jako velmi pravděpodobný.

Validních epidemiologických studií nebylo provedeno mnoho, ale k jejich hlavním výsledkům ve vztahu světlo – melatonin – rakovina prsu patří 3 základní zjištění:

slepé ženy mají menší riziko výskytu rakoviny prsu pracující na směny a v noci mají vyšší incidenci a riziko tohoto onemocnění

obyvatelé žijící za polárním kruhem mají nižší incidenci tohoto onemocnění. [6]

Rozsáhlá studie provedená ve Spojených Státech zjišťovala dotazníkovou metodou vztah mezi světlem a rakovinou prsu. Otázky byly zaměřené na spánkové zvyklosti, osvětlení v ložnici a pracovní anamnézu 10 let před stanovením diagnózy. Výsledky rozšířily skupiny žen v riziku onemocnění. Ve zvýšeném riziku byly ženy, které často v noci nespí (ne práce na směny), ženy, které spí v osvětlených ložnicích měly mírně vyšší riziko. Riziko u žen pracujících na směny bylo tím větší, čím delší dobu tuto činnost vykonávaly. [10]

Problém epidemiologických studií byl a je najít světlu v noci exponované jedince a ty, kteří nejsou, což je velmi obtížné, téměř nemožné. Světlo je všudypřítomné. Proto byly ke sledování vybrány právě skupiny výše uvedené – buď pro nadměrné vystavení světlu v noci (pracovnice na směny) nebo pro omezené množství světla v prostředí (lidé žijící za polárním kruhem) – anebo ty, u nichž světlo do organismu přes retinální buňky pro poruchu vidění neprochází.

### 3.6 Rakovina dalších orgánů

Osa světlo – melatonin – nádor může být jednou z příčin zhoubného bujení v orgánech, jejichž činnost podléhá cirkadiánním rytmům – pro prostatu, vaječníky a endometrium. Snížená hladina melatoninu byla zjištěna také u nemocných s malobuněčným karcinomem plic.



## 4 Shrnutí působení světla ve tmě a melatoninu

Světlo vstupuje do organismu očima. Receptory sítnice ho směřují jednu jeho část po nervových vláknech do mozku a tam vznikají světelné vjemy – vidění. Druhá část končí v suprachiasmatických jádrech hypothalamu. Tyto jádra jsou nazývána vnitřními hodinami organismu. Hormon melatonin (N-acetyl-5-methoxytryptamin), který reaguje na světlo z prostředí, je hormon, který tyto hodiny řídí. Byl objeven r. 1959 a od té doby je jeho funkce a vliv na synchronizaci biologických funkcí intenzivně studována. Je produkován převážně za tmy – jako reakce na nastupující noc. Za přirozených podmínek jeho hladina dosahuje vrcholu krátce po půlnoci a sekrece končí krátce před východem slunce. Světlo v noci jeho sekreci potlačuje a posunuje její křivky v čase dozadu nebo dopředu a tím ovlivňuje zejména spánek a ospalost.

Melatoninová hypotéza předpokládá vliv osy světlo – snižená produkce melatoninu – rakovina prsu. Tato teorie byla potvrzena především experimentálními studiemi na hmyzu a hlodavcích. Výsledky epidemiologických studií předpokládají nižší riziko incidence rakoviny prsu u obyvatel žijících za severním polárním kruhem, nižší riziko onemocnění rakovinou prsu u slepých žen a zvýšené riziko a incidence u žen pracujících na směny nebo v noci.

Melatonin kontroluje produkci dalších hormonů, zejména cyklicky uvolňovaných, jako jsou estrogeny, prolaktin, testosteron a růstový hormon. Je silný antioxidant volných radikálů, zejména hydroxylové skupiny. Chrání buněčnou DNA mechanismem inhibice lipidové peroxidace, zvyšuje odolnost proti stresu, podporuje správné funkce imunity, zvyšuje reparační schopnosti buněk a tím zpomaluje stárnutí a procesy degenerativních onemocnění mozku, umožňuje ochranu cílových tkání před antigeny u autoimunních onemocnění, zpomaluje až zastavuje růst tumorů a snižuje pravděpodobnost vzniku rakoviny prsu a reprodukčních orgánů.

## 5 Expozice světla ve tmě

Kolik světla je třeba k supresi melatoninu? Jakého spektrálního složení? Jak dlouho je trvá, než dojde k patologickým změnám v organismu nebo dočasným obtížím? To jsou otázky, na které jsem při studiu literatury nedostala jasnou odpověď.

Světlo o vlnové délce 446 nm – 484 nm [7] způsobuje supresi melatoninu na polovinu, při takovém spektrálním složení stačí i méně světla než 1 lx. (0,4 lx – 3,3 lx) Barva této vlnové délky je v oblasti modré a lze se s ní setkat snad běžně u rtuťových výbojek nebo speciálních zdrojů modrého světla, např. zářivek urychlujících růst rostlin.

Bílé světlo, tj. polychromatické, v hodnotě 100 lx snižuje produkci melatoninu rovněž na polovinu. Časový posun v jeho amplitudě lze dosáhnout při 100 lx – 180 lx [8], dřívější studie udávaly dokonce 2500 lx. Sto luxů je hodnota osvětlenosti, která se běžně vyskytuje v domácnostech jako celkové osvětlení. V experimentu na lidských dobrovolnících bylo v jiné studii [12] prokázáno, že k supresi melatoninu může dojít již při osvětlení bílým světlem 1,5 lx., což je intenzita osvětlení vydávaného svíčkou.

Pokud se nejedná o monochromatické nebo téměř monochromatický zdroj světla, názory se různí a pravděpodobně záleží na dalších charakteristikách světla, prostředí i exponovaného organismu. Dá se říci, že čím déle se problematika vlivu světla a tmy

na cirkadiánní rytmy studuje, tím se prokazuje vliv nižších hladin osvětlení.

Světelná expozice nebývá bývá popsána nedostatečně již v experimentálních podmínkách nebo pokusech na lidských dobrovolnících v laboratoři. V epidemiologických studiích je pouze velmi orientačně odhadnutá. Aby mohly výsledky mnoha set studií a úsilí odborníků využito v praxi, v ochraně veřejného zdraví a životního prostředí, je třeba objektivizovat a popsat světelnou expozici, definovat rozdíl mezi světlem a tmou, získat data z nočního osvětlení v domácnostech a další údaje.

## 6 Závěr

Znečištění světlem je třeba brát jako každé jiné znečištění životního prostředí, které má vliv na zdraví. To znamená:

- Využít stávajících možností legislativy k jeho snížení na nejvyšší možnou míru s ohledem na všechna kritéria, včetně zdravotního. Např. posuzovat ho v rámci EIA, HIA, HRA, zákona o ovzduší.
- Na základě současných a vyvíjejících se vědeckých poznatků prosazovat nová legislativní opatření, tak jak je a bude potřeba, např. stanovit limity znečištění světlem ve vnitřním prostředí a ložnicích.
- Podporovat výzkum v této oblasti ve všech dotčených sektorech (životní prostředí, zdravotnictví, průmysl, místní rozvoj) k získání a prohloubení poznatků: mapa světelného znečištění v jednotlivých sídlech, podobně jako existující hlukové mapy, monitoring expozice obyvatel světlem v noci, epidemiologické studie ve vztahu k rakovině prsu a dalším zdravotním potížím způsobených světlem ve tmě.

## Literatura

- [1] Zisapel N. Circadian rhythm sleep disorders: pathophysiology and approaches to management, *CNS Drugs*. 2001, 15(4):311-28 60
- [2] Jelínková D., Hajek I., Illnerova H. Adjustment of the human circadian system to changes of the sleep schedule under dim light at home, *Neuroscience Letters*, 1999, 265 (2):11-114 60
- [3] Drahonovska H. Light and Lighting, in Rostron J. *Sick Building Syndrome*, Chapman and Hall, 1997, London 61
- [4] Bordet R., Devos D., Brique S. Study of circadian melatonin secretion pattern at different stages of Parkinson's disease, *Clin. Neuropharmacol.* 2003, 26 (2):65-72 61
- [5] Reiter RJ. Potential Biological Consequences of Excessive Light Exposure, *Neurocrinology Letters* 2002, 23 (suppl 2): 9-13 61
- [6] Erren TC. Does light cause internal cancer?, *Neurocrinology Letters* 2002, 23 (suppl 2): 61-70 61
- [7] Glickman G., Levin R., Brainard GC., Ocular Input for Human melatonin Regulation : Relevance to breast Cancer, *Neurocrinology Letters* 2002, 23 (suppl 2): 17-22 62



- [8] Samková I., Vondráková D., Hájek I., Illnerova H. A fixed morning awakening coupled with a low intensity light maintains a phase advance of the human circadian system, *Neuroscience Letters*, 224 (1), 1997:21-24 62
- [9] Skene DJ, Swaab DF, Melatonin rhythmicity effect of age nad Alzheimer disease, *Exp. Gerontol.* 2003,38 (1-2):199-206 61
- [10] Davis S., Mirick DK, Stevens RG, Night shift work, light at night and risk of breast cancer, *J. Natl. Cancer. Inst.*, 2001(20):1557-62 61
- [11] Kang JC, Ahn YS, Kim YS et al. Melatonin ameliorates autoimmune encephalomyelitis through suppression on intercellular molecule\_1, *J. Vet. Sci.*, 2001 2 (2):85-9 61
- [12] Wright jr. KP, Hugles RJ, Kronauer RE et al, Intrinsic near-24-h pacemaker period determines limits of circadian entrainment to a weak synchroniser in humans, *Neurobiology* 2001, 98, 24: 14027-14032 62

# Umělé osvětlení a oko

Prof. MUDr. Eva Vlková, CSc., MUDr. Hana Došková  
Oftalmologická klinika LF MU v Brně

## 1 Úvod

Světlo jako důležitý faktor životního prostředí ovlivňuje značnou měrou fyzickou a psychickou pohodu člověka, jeho pracovní výkon a schopnost regenerace organismu. Z hlediska vývoje zrakového analyzátoru je pro člověka optimální denní světlo, neboť mechanismy přenosu informací z okolního prostředí se přizpůsobovaly fyzikálními vlastnostem světelného záření. Vytváření podmínek pro vidění a tvorbu zrakové pohody je závažným úkolem při tvorbě životního prostředí.

## 2 Fyziologie vidění

Oko jako receptor světelného signálu, zraková dráha jako převodní systém a zraková centra v mozku jako analyzátor signálu jsou přizpůsobeny zpracování světelného vjemu v rozsahu 380 nm až 760 nm. Toto bílé světlo v sobě obsahuje světlo různých vlnových délek a může být rozloženo do známé škály barevných odstínů duhy. Tyto barevné odstíny v sebe spojitě přechází a lidské oko je k tomuto barevnému spektru rozdílně citlivé. Při denním světle je nejcitlivější na oblast mezi **550 nm a 560 nm**.

Hlavní funkcí zraku je vidění, tj. přeměna elektromagnetické energie optického záření pomocí chemické reakce (rozklad a syntéza zrakového pigmentu rhodopsinu) na elektrické potenciály neuronů zrakového nervu. Tyto potenciály pak převedeny do mozkové kůry vyvolají zrakový vjem. Kromě této klasické cesty vzniku zrakového vjemu byla v posledních letech objevena část vláken, tvořících nervus opticus, která končí již v mezimozku, v jádrech hypothalamu, odkud hormonální cestou ovlivňují i biologické funkce organismu. Součástí hypothalamu – epifyza, obsahuje speciální **gliové buňky**, schopné **sekrece melatoninu**, spánkového hormonu, z hlediska současných poznatků považovaného za integrátor neurosekrece u savců, včetně člověka. Předpokládá se, že melatonin je vlivem světelného prostředí odpovědný za udržování cirkadiálních rytmů, vyvíjejících se z periodicity střídání světla a tmy. S tím blíže souvisí i aktivní či pasivní činnost člověka během 24 hodin. Starší výzkumné práce uváděly tzv. *fotopickou a skotopickou teorii cirkadiální transdukce*. Za fotopickou transdukci jsou zodpovědné čípky citlivé na vlnovou délku 555 nm, za skotopickou transdukci pak tyčinky, citlivé vůči vlnové délce 507 nm. Novější studie prokázaly, že suprese sekrece melatoninu je přímo úměrná dávce osvětlení a že čípky ani tyčinky nejsou primárně zodpovědné za supresi melatoninu v lidském organismu. Nakonec byly v sítnici savců vč. lidí nalezeny další, specializované detektory světla nepodílející se na vidění: **gangliové buňky s maximem citlivosti na vlnové délce 464 nm**.

Při hodnocení kvality i kvantity zrakového vjemu vycházíme z tzv. **rozlišovací schopnosti oka a barvocitu**. Rozlišovací schopnost je východiskem pro určování zrakové ostrosti.

Ta označuje schopnost identifikovat dva prostorově oddělené objekty jako dva. Předpokladem je, aby obraz těchto objektů na sítnici oka byl oddělen alespoň jedním čípkem, na který se promítne mezera mezi těmito objekty. Hecht a Minz však už v roce 1939 prokázali, že k rozlišení stačí jen nepatrný pokles jasů „ne-osvětleného“ čípku. Primárně neosvětlený čípek je sekundárně osvětlen proto, že bod se na sítnici zobrazuje jako rozptylový kroužek.

## 3 Vyšetření zrakové ostrosti

Běžná vyšetření rozlišovací schopnosti oka, tzn. stanovení hodnot vizu, se provádějí jak do dálky, tak do blízka. Vyšetření zrakové ostrosti do dálky se provádí pomocí standardních znaků, nazývaných **optotypy**. Pro testování do blízka se upravuje úhlová velikost optotypů s ohledem na vzdálenost 30 nebo 40 cm. Pro tato obě vyšetření je předepsán vysoký kontrast (0,85 a vyšší). Tento fakt ovlivňuje skutečnost, že takové standardní vyšetření nepodává žádné informace o rozlišovacích schopnostech oka při nižších kontrastech, které jsou z praktického hlediska důležitější. Proto byl v posledních letech zaveden **vyšetřovací test citlivosti na kontrast (CK)**. Tabule pro vyšetření CK obsahuje 5 řádků a 9 sloupců kruhových podnětových terčů o průměru 7,45 cm. Jas tabule se pohybuje v rozmezí 69–240 cd/m<sup>2</sup>. Každý řádek je tvořen devíti terči o určité prostorové frekvenci stejně širokých tmavých a světlých pruhů, jejichž jasový profil má sinusový průběh. Prostorová frekvence pruhů se vyjadřuje v cyklech na úhlový stupeň (c.deg<sup>-1</sup>). Za cyklus se považuje úhlová šířka tmavého a sousedního světlého pruhu. V každém řádku kontrast postupně klesá od hodnoty 0,33 k 0. Ve sloupcích pak roste prostorová frekvence pruhů od 1,69 do 19,8 c.deg<sup>-1</sup>. Vyšetřovaný určuje orientaci pruhů v každém terči. Výsledky se pak zapisují do grafu, v němž na ose x je prostorová frekvence v c.deg<sup>-1</sup>, na ose y pak CK, která se rovná reciproké hodnotě kontrastu (1/C). Obě osy jsou v logaritmickém měřítku. Nejvyšší CK je v oblasti 4–6 c.deg<sup>-1</sup>, kde je rozlišitelný kontrast nižší než 0,01 a tedy CK vyšší než 100. Klinické využití testu CK je mnohostranné. Sníženou CK nacházíme např. u šedého a zeleného zákalu, u stavů po operaci šedého zákalu s implantovanou nitrooční čočkou, u zánětů zrakového nervu a různých neuropatií. Zejména u pacientů se šedým zákallem zvýšený nitrooční rozptyl snižuje kontrast. Bylo prokázáno, že při počínajícím šedém zákalu byla hodnota citlivosti na kontrast významně nižší (p < 0,001) než u zdravých osob. Při zkalení čočky se v důsledku rozptylu světla zvyšují obtíže s oslněním. S tím výrazně korelují i subjektivní obtíže pacienta, především za šera (CK při nízkých jasech klesá), v mlze (kontrasty jsou tehdy nižší také vinou rozptylu světla v ovzduší) a specificky při jízdě motorovým vozidlem proti slunci (tehdy se uplatňuje nejnápadněji rozptyl uvnitř oka; obdobný jev nastává

v noci, jsou-li v zorném poli plochy vysokého jasů, které přinášejí do očí zbytečné světlo). Značný význam má tento test u pacientů s normálními hodnotami zrakové ostrosti, kteří si přitom stěžují na neostře a rozmazané vidění.

Při hodnocení výsledků citlivosti na kontrast je nutné si uvědomit, že existují určité rozdíly jak mezi zdravými osobami, tak mezi osobami různého věku. Některé práce prokázaly, že při vyšetření citlivosti na kontrast u zdravých osob s hodnotou centrální zrakové ostrosti do 6/6 (fyziologická hodnota), nacházíme signifikantně rozdílné hodnoty CK mezi skupinami nižšího (do 50 let věku) a vyššího věku (nad 50 let věku).

Bylo prokázáno, že CK je v 90 % normální u populace ve věku mezi 10. až 70. rokem života. Pro zdravé osoby nad 70 let se křivky přibližují dolní části normálu, citlivost na kontrast klesá ve vyšším věku ve vysokých a středních frekvencích. Derefeltová a spol. při měření CK v oblasti  $0,5\text{--}22,8\text{ c.deg}^{-1}$  nacházejí snížené hodnoty CK u starších osob nad 60 let především v oblasti středních a vyšších prostorových frekvencí. Tito autoři se domnívají, že snížení lze částečně vysvětlit senilním zúžením zornice. Závěry výzkumu Sekulera a spol. ukazují na to, že snížení CK ve vyšším věku je způsobeno mechanismy neurálními. Kline a spol. předpokládají, že pozorované změny souvisejí se změnami zobrazovací funkce oka ve vyšším věku. Hodnoty CK při dolní hranici normy u zdravých jedinců znamenají to, že při nízkém kontrastu jsou pro pacienta ztížené rozlišovací podmínky

## 4 Vyšetření barvocitu

Správné vnímání barev je neméně důležitým faktorem pro celkový zrakový vjem. Rozhodující úlohu při vnímání barev hrají tři faktory: barevný tón, sytost barev a jas. Nezanedbatelnou okolností je však i hladina okolního osvětlení. Při jejím snížení oko lépe vnímá předměty v barvě modré než v červené (Purkyňův fenomén).

Za vnímání barev jsou odpovědní tři skupiny sítnicových čípků, obsahujících tři pigmenty, jejichž absorpční maxima jsou u 440–450 nm (modrá), 535–555 nm (zelená) a 570–590 nm (žlutá nebo červená). Fyziologický stav vnímání barev se nazývá dle Duke-Eldera **trichromázií**. Frekvence poruch barevného vnímání se v populaci odhaduje na 8,5% (8% muži a 0,5% ženy). Nejčastěji se setkáváme s poruchami vrozenými, získané poruchy se objevují nejvíce ve stáří, u sítnicových zánětů, u šedého a zeleného zákalu a po podávání některých léků (např. ze skupiny kardiak).

Pro jednoduché vyšetření barvocitu používáme tzv. **pseudo-izochromatické tabulky**. Obsahují body různých barev a různého jasů. Body vytvářejí číslce, písmena či geometrické tvary. Značky podobného jasů jsou rozloženy nahodile. Vyšetřovaná osoba s poruchou barvocitu pak není schopna úspěšně identifikovat některé znaky. Tabulky však nedovolují bližší specifikaci poruchy. K tomu účelu pak slouží přístroj - **anomaloskop**. Pomocí tohoto zařízení vyšetřovaná osoba porovnává dvě poloviny zorného pole. V jedné z nich je čistě žlutá barva a v druhé směs barvy červené a zelené v libovolně měnitelném poměru. Pacient pomocí šroubu mění směs barev v druhé polovině zorného pole s cílem dosáhnout stejného barevného tónu v obou polích. Dalším vyšetřovacím testem je **Farnsworthův a Munsellův 100-hue-test**. Obsahuje 85 barevných terčů, uložených ve čtyřech odděleních. Ve správném postavení jsou terče seskládány od červené barvy k modré. Pacient má sestavit předtím náhodně promíchané terče do správného sledu tak, aby barevný rozdíl mezi dvěma sousedními terči byl co nejmenší.

## 5 Proces akomodace

Na vzniku kvalitního ostrého obrazu se podílí kromě optických prostředí oka a celé zrakové dráhy i proces akomodace.

**Akomodace** je mechanismus, kterým je oko schopno zesílit lomivost světelného paprsku. Na mechanismu akomodace se podílí v oku ciliární sval v řasnatém tělese a čočka. Nejvíce se proces akomodace uplatňuje při pohledu do blízka, kdy dochází ke stahu ciliárního svalu. Tím se uvolní vlákna závěsného aparátu čočky a mění se poloměr zakřivení čočky. Kromě toho se na procesu akomodace podílí i vlastní změna tvaru čočky, která je navíc dána elasticitou čočkového pouzdra a plasticitou vnitřní čočkové substance. Účinnost akomodace ovlivňují tedy dva faktory: schopnost čočky měnit svůj tvar a síla ciliárního svalu.

Nejvzdálenější objekt, který je oko schopno vidět v relaxovaném stavu leží v tzv. **dalekém bodě** (punctum remotum). Nejbližší objekt, který je oko při maximální akomodaci schopno vidět ostře, leží v tzv. **blízkém bodě** (punctum proximum). Lomivost bez akomodace nazýváme **statickou refrakcí**, lomivost s přírůstkem vyvolaným akomodací označujeme jako **dynamickou refrakci**. Rozdíl maximální dynamické refrakce a refrakce statické se nazývá **akomodační šíře**.

Se stoupajícím věkem klesá elasticita pouzdra čočky a snižuje se i plasticita čočkového obsahu. Je prokázáno, že po 65. roce života již čočka svůj tvar jako odezvu na stah či relaxaci ciliárního svalu prakticky nemění. Současně dochází i ke snížení akceschopnosti ciliárního svalu a tím k fyziologickému poklesu akomodační šíře a k posunu blízkého bodu směrem od oka. Po 40. roce života je hranice blízkého bodu vzdálena více než 20 cm od oka (akomodační šíře klesá pod 5 D), což se projevuje únavou a bolestí očí při čtení a zvětšováním pracovní vzdálenosti. Tento stav se nazývá **presbyopii** (vetchozrakostí). U pacienta bez refrakční vady (dalekozrakost či krátkozrakost) se začne projevovat kolem 45. roku života, kdy k dosažení ostrého vidění na vzdálenost 25–30 cm je potřeba akomodační šíře 3–4 D. Veškerá akomodace je tedy zapojena při pohledu do blízka. Tento stav není možno dlouhodobě tolerovat, protože k dlouhodobé toleranci musí zůstat alespoň 1/3 akomodační šíře nevyužita jako akomodační rezervy. Toto však již není možno docílit, proto začínou nastupovat tzv. **astenopické obtíže** – bolest očí, rozmazané vidění, pálení a slzení očí, prodlužování pracovní vzdálenosti až bolesti hlavy. U pacienta s refrakční vadou ve smyslu dalekozrakosti (který má blízký bod posunutý dále od oka již při své základní refrakční vadě) je již část akomodace spotřebována většinou ke korekci zraku na dálku. Z tohoto důvodu se u dalekozrakého pacienta daleko dříve začínou projevovat potíže z presbyopie. Naopak u krátkozrakého pacienta, který není korigován do dálky skly a jeho hodnota refrakční vady je kolem minus 3 D a více se presbyopie neprojevuje nikdy. Pokud však bude do dálky jeho krátkozrakost korigována příslušnými skly, pak při pohledu do blízka se stane presbyopem jako každý jiný jedinec bez refrakční vady.

## 6 Oko a osvětlení

Cílem osvětlení je vytváření zrakové pohody, což je příznivý psychofyziologický stav organismu, vyvolaný optickou situací vnějšího prostředí, který odpovídá potřebám člověka při práci i odpočinku a umožňuje zraku optimálně plnit jeho funkci. Správné osvětlení ovlivňuje kvalitu práce, únavu a zdravotní stav lidského organismu.

Zraková práce v nevhodných světelných podmínkách (nízká intenzita světla, nevhodné podání barev, přesvětlení, vysoké či

nízké jasy a kontrasty) mohou vést k rychlejší únavě akomodačních svalů, ke snížení rozlišovací schopnosti oka, oční únavě, bolestem hlavy a přechodným poruchám vidění.

Rozlišují se dva druhy osvětlení:

- **Denní osvětlení** – osvětlení přímým slunečním světlem a rozptýleným oblohovým světlem
- **Umělé osvětlení** – osvětlení pomocí umělých zdrojů

## 6.1 Denní osvětlení

Kvantum záření, které se dostane na zemi a tím i k našim očím, ovlivňují četné faktory. Globální záření je značně ovlivňováno oblačností na obloze, ročním obdobím, denní dobou a geografickou šířkou. Další závislost je dána stupněm reflexní odrazivosti od plochy, na kterou záření dopadá. Prochází-li záření nějakým prostředím, je jedna část reflektována, část je pohlcována (nejčastěji působí jen tepelně) a část jím prochází. Absorpční schopnosti struktur lidského oka jsou rozdílné. Největší část záření pod 400 nm se k sítnici lidského oka vůbec nedostane. První strukturou, na kterou záření dopadne, je rohovka, která plně absorbuje všechno UV záření pod 300 nm (hlavní filtr pro UV-B záření). V další struktuře – komorové tekutině – je absorbováno zejména infračervené záření (IR záření). Lidská čočka pohlcuje celé UV-A záření a zbytky UV-B záření, jehož vlnové délky leží nad 300 nm. Ta část IR záření, která se dostala přes komorovou tekutinu a čočku, je zachycena ve sklivci, který zahřívá. Průchodem – **transmisí** – se rozumí průchod záření bez změny jeho frekvence. Transmisní schopnost tkání oka je závislá na věku. Malé dítě má čočku natolik transparentní, že vlnové délky nad 300 nm není schopna zachytit. S přibývajícím věkem se díky procesu stárnutí čočky zvyšuje transmise pro vlnové délky 300 až 400 nm. V případě chybění čočky (pooperační stavy bez náhrady umělohmotným implantátem) chybí zcela absorpce čočkou a záření se může dostat až na sítnici.

Ochranu očí proti oslnění a UV záření ve venkovním prostředí dovedeme poskytovat pomocí vhodných ochranných pomůcek (sluneční brýle proti UV-B a UV-A záření, dioptrické brýle se zabarvením, kontaktní a nitrooční čočky po operaci šedého zákalu s UV filtrem).

Kvantitativním kritériem vnitřního prostředí je intenzita denního osvětlení, která je definována **činitelem denní osvětlenosti** (č.d.o.), což je poměr osvětlenosti denním světlem v daném bodě určité roviny k současně srovnávací venkovní osvětlenosti. Udává se v procentech. Pro běžnou práci do blízkosti se vyžaduje minimální hodnota č.d.o. 1,5%, pro náročnou zrakovou činnost (např. přesná kontrola, umělecká činnost) se vyžaduje hodnota 3,5%.

## 6.2 Umělé osvětlení

Umělé osvětlení slouží k vytvoření světelného klimatu v době, kdy není možno využít osvětlení denního. Z očního hlediska pro výběr umělého osvětlení je nutno zohlednit parametry zrakového výkonu a zrakové pohody. Pro tyto parametry se pak uplatňují různé složky umělého osvětlení (rozložení jasů, směrovost světla, oslnění a způsob osvětlení).

**Rozložení jasů** je rozhodující veličinou pro zrakový výkon. Je to schopnost oka rozlišovat mezi jasem pozorovaného předmětu a jasem pozadí. Je prokázáno, že osoby s refrakční vadou (krátkozrakost a astigmatismus) a ve stáří s nástupem ztráty akomodace, vyžadují obecně vyšší hodnoty jasů pro rozlišení detailů než osoby bez refrakčních vad. Podle **ČSN 360450** se hlavní osvětlení dělí podle druhu zrakové činnosti do 4 kategorií osvětlení: A,B,C,D. (viz tabulka).

Kategorie osvětlení podle druhu vykonávané činnosti		
Kat. osv.	Činnost	Pořadí důležitosti rozhodujících kritérií
A	S velkými požadavky na zrakový výkon	1. Zrakový výkon 2. Zraková pohoda
B	S průměrnými požadavky na zrakový výkon	1. Zrakový výkon 2. Zraková pohoda
C	S malými požadavky na zrakový výkon	1. Zrakový výkon 2. Zraková pohoda
D	S přednostními požadavky na vnímání prostoru, tvaru a barev	1. Zraková pohoda 2. Zrakový výkon

Hodnoty osvětlenosti (intenzita osvětlení) do 500 lx včetně se zvyšují o jeden stupeň řady osvětleností např. při požadavku dlouhodobého soustředění na zrakovou práci bez možnosti odpočinku zraku, při požadavku časté akomodace, sledování pohyblivého detailu nebo časté změny směru pohledu, při trvalém používání ochranných brýlí nebo štítů, při věku většiny osob vyšším než 40 let, používá-li osoba brýle s optickou mohutností větší než 4 dioptrie, jedná-li se o místnost bez denního osvětlení s trvalým pobytem osob (pobyt v místnosti během dne nebo jedné pracovní směny delší než 4 hodiny, opakovaný nejméně 30 dnů v roce), jedná-li se o místnost se sníženou viditelností (mimořádný výskyt prachu, kouře, páry).

**Směrovost světla** je důležitou veličinou pro negativní vliv oslnění. **Oslnění** je velmi nepříjemný stav, při kterém je vidění silně zhoršené až nemožné. Vzniká tehdy, pokud je sítnice vystavena většímu jasu, než na který je adaptována. Oslnění může být způsobeno přímo zdrojem světla, svítidly nebo odrazy od lesklých povrchů. Stupeň oslnění je uveden v **ČSN 360008**. Rozděluje se na:

- **Rušivé oslnění** – narušuje zrakovou pohodu, aniž omezuje vidění. Pozornost je však rozptýlena, je pocítován nepříjemný stav, aniž by si jedinec uvědomil, že je to zaviněno oslněním.
- **Omezující oslnění** – ztěžuje rozeznávání, vidění se stává namáhavé, vzniká pocit nejistoty, únavy a pracovní výkon klesá.
- **Oslepující oslnění** – znemožňuje vidění i někdy na delší dobu, přesto, že příčina oslnění již zanikla.

Neméně důležitým faktorem pro správný zrakový vjem je **stálost osvětlení a chromatičnost světla**. Rychlé časové změny osvětlenosti, způsobované elektrickými či mechanickými příčinami, mají negativní vliv na zrakovou pohodu a zrakový výkon. Chromatičnost světla a kolorit povrchů osvětlované místnosti jsou pro zrakový výkon a pohodu stejně důležité jako ostatní kvantitativní i kvalitativní parametry osvětlení.

Na oslnění umělým světlem mohou citlivěji reagovat pacienti nejen s fyziologickým očním nálezem, ale zejména pacienti po některých chirurgických zákrocích na oku. Mezi ně patří skupina pacientů po předchozích laserových zákrocích na rohovce. Laserové zákroky na rohovce jsou metodou volby korekce refrakčních očních vad (krátkozrakost, dalekozrakost a astigmatismus). Těmito laserovými zákroky sice nejen korigujeme až anulujeme refrakční vadu pacienta, ale současně i měníme zrakovou ostrost při vysokých kontrastech. Literatura uvádí, že zhruba ve 30 % pacientů může být celková spokojenost s výsledným efektem laserového zákroku ovlivněna **přítomností vizuálních fenoménů**,



nazývajících se „glare“ či „halo“. Tyto fenomény vznikají po laserovém zákroku v důsledku hojení rohovkové tkáně v okolí laserované tkáně. Podstatou těchto jevů je v rámci hojivých procesů vznik kolagenních vláken v rohovce s různým prostorovým uspořádáním. Tento proces hojení podmiňuje vznik rozptylu světla. Tento rozptyl pak vede ke vzniku neostrého obrazu, který překrývá skutečný obraz (tzv. „halo“ fenomén). Vidění však může být zhoršeno i rozptylem paprsku vinou vzniku následné jizvy v optické ose rohovky (tzv. „glare“ fenomén). Bylo prokázáno, že tyto potíže vnímají pacienti po laserové korekci refrakčních vad nejvíce 1 měsíc po laseru. Do 6 měsíců od zákroku docházelo ke zlepšení jak při vyšetření citlivosti na kontrast, tak zlepšení zrakové ostrosti a poklesu fenoménů „glare“ a „halo“.

## 7 Závěr

Světlo, ať již v podobě denního či umělého osvětlení je nedílnou součástí našeho života. Pro zrakový vjem má světlo své pozitivní, ale i negativní dopady. V posledních letech se stále více dbá na ochranu očí před negativními vlivy jak denního, tak umělého osvětlení. Světlo by mělo sloužit, ne obtěžovat či omezovat v pracovním i běžném životě. Je špatné, když dnešní technické normy pro osvětlování venkovních komunikací sice obsahují parametr, který má za úkol udržet oslňování pod jistými mezemi (ne u všech komunikací, bohužel), ale uplatňují se nejvýše pro samotnou osvětlovací soustavu plnicí daný úkol (a to jen formou výpočtu pro nová svítidla). V praxi se totiž v exteriéru leckde nacházejí i další zdroje oslňování, které už spolu s veřejnou osvětlovací soustavou mohou znamenat výrazné snížení citlivosti na kontrast a tím snížení bezpečnosti pohybu v uměle osvětleném prostředí,

nemluvě o nevalné zrakové pohodě. Dosavadní pozornost byla upřena na světlo v interiéru, je ale na čase věnovat stejnou pozornost i soumrakovému a nočnímu prostředí venkovnímu.

## Literatura

- [1] Kvapilíková K.: Záření a oko. Česká oční optika, 1, 2003.
- [2] Lackner B. a kol.: Glare and halo phenomena after laser in situ keratomileusis. J. Cataract. Refract. Surg., 29, 2003, s.443–450.
- [3] ČSN 36 0450: Umělé osvětlení vnitřních prostorů.
- [4] Krtilová A., Matoušek J., Monzer L.: Světlo a osvětlování. Avicenum Praha, 1981.
- [5] ISO 8995: Ergonomické zásady vidění.
- [6] Hejmanová D.: Citlivost na kontrast u zdravých osob a v různých patologických podmínkách. Habilitační práce, Hradec Králové, 1991.
- [7] Bytton DÍAZ L.C.: Vliv transparence nitrooční čočky na rozlišovací schopnost oka. Autoreferát disertační práce v oboru oftalmologie, LF Hradec Králové, 2003.
- [8] Kraus H. a kol.: Kompendium očního lékařství. Grada Publishing, 1997.
- [9] ČSN 36 0008: Oslnění.

# Temná noc (fenomén noci v tradici křesťanství)

Mgr. Marek Vácha

Katedra lékařské etiky LF MU v Brně

Noc je již od doby Starého Zákona považována především jako místo setkání mezi člověkem a Bohem. V noci nás přestávají rozptylovat jevy a události dne, tma zahaluje vše, co by nás mohlo rušit, a stává se tak prostorem, ve kterém se duše setkává s Bohem. Tato tradice pokračuje nepřerušeno i v Novém Zákoně. Na řadě míst evangelií čteme, že Kristus celou noc strávil v modlitbě, například „V těch dnech vyšel na horu k modlitbě; a celou noc se tam modlil k Bohu“<sup>15</sup> jindy, že „Časně ráno, ještě za tmy, vstal a vyšel z domu; odešel na pusté místo a tam se modlil“<sup>16</sup>. I klíčová chvíle celého Nového Zákona, Kristova modlitba v Getsemanské zahradě, se odehrává ve tmě. Tma je přitom považována na jedné straně jako přírodní fenomén, protipól dne, ale zároveň je chápána v duchovním, mystickém smyslu.

V prvním plánu Písma Svatého je tma chápána jako jev stvořený Bohem, a tedy dobrý. Takto hovoří o temnotě již první věty bible: „(Bůh) viděl, že světlo je dobré, a oddělil světlo od tmy. Světlo nazval Bůh dnem a tmu nazval nocí. Byl večer a bylo jitro, den první.“<sup>17</sup> Podobně i v žalmu 104, který je v podstatě chvalozpěvem na Boží stvořitelské dílo, na přírodu, se tma výslovně chápe jako Boží čin: „učinil jsi měsíc k určování času, slunce ví, kdy k západu se schýlí. Přivádíš tmu, noc se snese, celý les se hemží zvěří.“<sup>18</sup> Podobně píše i Izaiáš: „Já vytvářím světlo a tvořím tmu“.<sup>19</sup>

Noc je ale zároveň uvažována v negativním smyslu, jako protihráč dne, rozumějme dobra. Zejména Janovo evangelium je naplněné obrazy světla a tmy, noci a dne, dobra a zla. Janův Ježíš je chápán jako světlo, které „přicházelo do světa“<sup>20</sup>, jako „světlo ve tmě svítí a tma je nepohltila“<sup>21</sup>. V Kristu „byl život a život byl světlo lidí“<sup>22</sup>. Podobně Jan Křtitel přichází „aby vydal svědectví o tom světle“<sup>23</sup>. Kristus nakonec říká jasně „Já jsem světlo světa; kdo mě následuje, nebude chodit ve tmě, ale bude mít světlo života“<sup>24</sup>. Je to jeden ze slavných sedmi Kristových Ego eimi (Já jsem...), které Jan zařazuje ve stoupající gradaci do svého evangelia. Naopak, když Jidáš v Janově evangeliu odešel z místa poslední večeře zradit Krista, „byla noc“<sup>25</sup> míněná jednoznačně spíše jako duchovní fenomén, než popis přírodních dějů. O několik chvil později říká Kristus četě, která jej přichází zatknout

„Denně jsem byl mezi vámi v chrámě, a nevztáhli jste na mě ruce. Ale toto je vaše hodina, vláda tmy.“<sup>26</sup> Tato noc je chápána především jako noc duchovní. Celý text vrcholí v temnotě, která provází Kristovu smrt: „V poledne nastala tma až do tří hodin“.<sup>27</sup> Podobně v Horském kázání vyzývá Kristus své učedníky, aby byli pro ostatní lidi „světlem“: „Vy jste světlo světa“<sup>28</sup>.

Krom tohoto dualistického pojetí noci a dne jakožto symbolů dobra a zla je ale noc popisována jako vzpomínané místo modlitby, a, jak již bylo naznačeno, i novozákonní Kristus noc takto chápe.

První křesťanská století pak vchází do dějin jako údobí vzniku poustevnictví a vzápětí mnišství. Nejprve jednotlivci, poustevníci odchází do egyptské pouště, a časem i do jiných pouští Středo-moří. Později se poustevníci začínají sdružovat a vznikají první kláštery. Poušť je tradičně místo, které bylo vnímáno jako přibytěk zlých duchů, poustevníci proto schválně odchází do těchto míst, aby je svou přítomností posvětili. Vedle toho, a zřejmě jako hlavní důvod přebývání na poušti, je poušť prostorem, ve kterém nic mnicha nerozptyluje, jako místo soustředění a koncentrace. Jedná se tedy o stejný princip jako o modlitbě v noci, ve tmě.

Tato tradice pak provází křesťanství ve všech fázích jeho pestrých dějin. Vznik a rozkvět kontemplativních klášterů (kartuziáni sv. Bruna a cisterciáci, navazující na benediktinskou tradici) dávají značný prostor modlitbě v noci. R. Lockhart ve své knize „Na cestě do nebe“ píše:

„Kartuziánský den začíná v hodinu, kdy se velká část světa veselí nebo se zrovna chystá vyspat se ze zhýralosti materialistického světa. Mnich vstává ze svého prostého lože čtvrt hodiny před půlnocí, aby se pomodlil malé hodinky k Panně Marii, potom opustí celu a ubírá se ambity do klášterního kostela. Chórová místa se naplní, mniši se sliby jsou v bílých hábitech, novicové v černých. Kostel tone téměř v absolutní tmě, jediné světlo vychází z lampičky u svatostánku a z nízkých zastíněných lamp v chóru.“<sup>29</sup>

Tato tradice je zachována i v dnešních kartuziánských klášte-rech. Rovněž i současní cisterciáci vstávají o čtvrt na čtyři ráno (v zimním období o půl čtvrté), a první dlouhá modlitba (trvající cca 60 minut), zvaná matutinum probíhá v téměř naprosté tmě, je noc, ve které bdí pouze mniši, modlí se za odpočívající svět. Po této modlitbě následuje volno až do svítání, které mniši využívají k individuální osobní modlitbě.

Noci probdělé na modlitbách jsou rovněž známé z životopisů sv. Františka z Assisi a sv. Dominika.

<sup>15</sup>Lukáš 6,12

<sup>16</sup>Marek 1,35

<sup>17</sup>Genesis 1, 4-5

<sup>18</sup>Žalm 104, 19-20

<sup>19</sup>Izaiáš 45,7

<sup>20</sup>Jan 1,9

<sup>21</sup>Jan 1,5

<sup>22</sup>Jan 1,4

<sup>23</sup>Jan 1,7

<sup>24</sup>Jan 8,12

<sup>25</sup>Jan 13,30

<sup>26</sup>Lukáš 22, 53

<sup>27</sup>Matouš 27,45. Podobně i Lukáš 23,43 a Marek 15,33 na paralelních místech.

<sup>28</sup>Matouš 5,14

<sup>29</sup>Robin Bruce Lockhart: Na cestě do nebe. 1985, Zvon. p.74

Podobnou tradici objevujeme i v kláštřech karmelitánů, odkud v tzv. zlatém šestnáctém století (zlatém proto, že je toto období španělského křesťanství naplněno výraznými duchovními osobnostmi) vzniká nejslavnější dílo křesťanské mystiky, napsané zakladatelem reformovaných, tzv. bosých karmelitánů, Janem od Kříže. Toto dílo nese příznačný název „Temná noc“. U Jana od Kříže je známo, že se s oblibou modlil v noci v naprosté tmě kaple před svatostánkem, a že stejně tak mnohé noci strávil v modlitbě v okně své klášterní cely, kontemplující Boha skrze pohled do odpočívající a tmavé španělské přírody. Tyto dlouhé noční modlitby se pro něj stávají základem jeho teologie, kdy noc bude chápat ve svém duchovním smyslu. Ve svých dílech rozlišuje tzv. noc smyslů a noc ducha. Noc smyslů přirovnává k domu, tonoucím ve tmě, kde jsou všechna světla již zhasnuta. Má tím na mysli situaci člověka, kterého již neuspokojují žádné vjemy, které do něj proudí branou jeho pěti smyslů. Tyto vjemy již člověku v jeho hledání smyslu svého bytí na Zemi nepřinášejí žádnou radost. Ani požitky chuti jídla, hudby, všeho co je příjemné pro zrak či hmat, již mystika neuspokojují. Je v „noci“, smysly mlčí, ale Bůh ještě není v dohledu. Řeholník se tak dostává do jistého vakua, z jedné strany viditelné opory našeho světa (přátelé, požitky světa atd.) utichají, z druhé strany Bůh mlčí. Mních je tak v jistém duchovním vzduchoprázdnu, které bývá okolím vnímáno jako krize. Podobnou situaci líčí i anonymní spis sepsaný ve středověku ve Velké Británii „Cloud of Unknowing“, ve kterém se člověk hledající Boha dostává do tmy mraku: lidské opory již zmizely, zahaleny oblakem, Bůh ale není v dohledu. Noc ducha je pak podle Jana od Kříže druhou fází cesty člověka k Bohu, mnohem horší: tma je zde dokonalá, opory rovněž mizí, s nimi ale i smysl života, i Bůh je dokonale skrytý. Je to ono Kristovo „Bože můj, Bože můj, proč jsi mě opustil“<sup>30</sup>. Celá tato teologie nachází svůj počátek v oněch chvílích modliteb v tmavých nocích španělských klášterů a spící přírody.

Tradice pokračuje i ve století dvacátém. Carlo Caretto, italský člen řádu Malých bratří Ježíšových prožívá pět let života na Sa-haře, kde na něj měly rozhodující vliv noční modlitby. Později se vrací do Evropy a věnuje se dávání exercicií a psaní knih. Ve své neznámější knize Listy z pouště je často citovaná zejména kapitola Moje přítelkyně noc, ve které popisuje tiché saharské noci pod nebem naplněným hvězdami.

Edita Steinová, konvertitka ze židovství ke katolicismu (a členka stejného karmelitánského řádu jako Jan od Kříže) je považována za jednu z největších mystiček XX. století, později umučená v koncentračním táboře, věnuje značnou část své teologie úvahám o noci.

„Noc je naproti tomu něco přírodního: je to protipól světla, něco přírodního, neboť nás i všechny věci zahaluje do tmy. Není to předmět v doslovném smyslu: nestojí před námi a nemůže existovat sama o sobě. Není to ani obraz, pokud tím rozumíme nějaký viditelný tvar. Noc je neviditelná a beztvará. A přece ji vnímáme, ba je nám mnohem blíže než všechny věci a tvary, je s naším bytím spjata mnohem úžeji. Tak jako světlo dává věcem s jejich viditelnými vlastnostmi vyniknout, noc je pohlcuje a hrozí pohltnout i nás. Nic z toho, co se do ní ponoří, nepřestává být: existuje to dále, avšak neurčité, neviditelné a beztvaré jako noc sama, nebo podobné stínu, přízračné, a proto hrozivé. Naše vlastní bytí přítomné není jen ohroženo zvnějšku nebezpečími, které v sobě noc skrývá, nýbrž je jí také samo vnitřně zasaženo. Noc nám znemožňuje používat naše smysly, omezuje naše pohyby, ochromuje naše síly, podivným kouzlem nás činí zajatce samoty, nás samotné proměňuje v stíny a přízraky. Noc má pro nás příchut'

smrti. A to všechno platí nejen v biologické, nýbrž i v psychologické a duchovní sféře.“<sup>31</sup>

Dlouhé noční modlitby vzpomínají i životopisci Matky Terezy a Jana Pavla II., jakoby motorem jejich vyčerpávajícího aktivního života byly právě ony chvíle prožité o samotě noci.

Druhá polovina dvacátého století je v katolicismu rovněž vnímána jako doba vzniku nových křesťanských komunit, které v sobě spojují obecně charismatické hnutí a tradici katolické církve. Není proto překvapující, že i v těchto ponejvíce laických komunitách jsou běžným jevem modlitby v noci. Jedno z těchto společenství, komunita Blahoslavenství, vzniklá 1974 ve Francii, a pokoušející se v sobě spojit mnišský a rodinný život, má dokonce zvláštní litanie, které se její členové modlí pravidelně v noční tmě. Podobně mají noční modlitby zásadní význam na komunitu Pain de Vie, jejíž zakladatel Pascal Pingault popisuje, že rozhodnutí založit komunitu, věnující se převážně práci s bezdomovci, přišlo po delším období, kdy věnoval pravidelně dvě hodiny spánku ve prospěch meditace. Z protestantských komunit je podobně zajímavé svědectví kazatele Davida Wilkersona, který se později stal světoznámým svou velmi úspěšnou činností mezi newyorskými narkomany. Wilkerson popisuje, že rozhodnutí stát se z venkovského kazatele pracovníkem s narkomany přichází po té, kdy se rozhodl každý den věnovat čas od půlnoci do dvou ráno modlitbě.

Chvilky modlitby v tmavých nocích, chvíle považované v nepřerušené linii křesťanské mystiky za chvíle zvláštním způsobem pozeňnané, tak zcela jistě budou v tradici církve pokračovat i nadále. Osvětlení v noci, ona nepřírozená záměna světla a tmy, je tak vnímána jako fenomén porušující přirozený rytmus noci a dne. Jako den má svoje povinnosti a úkoly a je vyhrazen spíše aktivitě a skutkům, noc je prostorem spíše modlitby a kontemplace. Tato kontemplace má však pro křesťanství větší vážnost, než chvíle aktivity.

<sup>30</sup>Matouš 27,46

<sup>31</sup>Edith Steinová: Věda kříže, Cesta 2000 p. 44-45

# Některé psychologické aspekty venkovního osvětlení: bibliografie

Karel D. Skočovský  
CVVOE, Pellicova 43, 60200 Brno  
E-mail: kskocovsky at email , cz

Pozn.: Některé práce se vztahují k problematice osvětlení v místnostech a budovách (indoor lighting), ale mohou být podle našeho názoru použity i při interpretaci výsledků studií vlivu venkovního osvětlení na lidské chování, prožívání a zdravotní stav. Tyto práce jsou označeny zkratkou IDL na konci citace.

## 1 Vliv světla na sebekontrolu a agresivní chování

Atkins, S., Husain, S., Storey, A. (1991). The influence of street lighting on crime and fear of crime. Crime prevention unit paper No. 28, London, Home office.

Biner, P.M., Butler, D.L., Fischer, A.R. and Westergren, A.J. (1989). An arousal optimization model of lighting level preferences: An integration of social situation and task demands. *Environment and Behavior* 21, pp. 3-16. IDL

Boyce, P. R. and Rea, M. S. (1990). Security lighting: effects of illuminance and light source on the capabilities of guards and intruders. *Lighting Research and Technology*, 22, 2, 57-79.

Boyce, P. R., Eklund, N. H., Hamilton, B. J. and Bruno, L. D. (2000). Perceptions of safety at night in different lighting conditions. *Lighting Research and Technology*, 32, 2, 79-91.

Boyce, P., Eklund, N. and Simpson, S. (2000). Individual lighting control: task performance, mood, and illuminance. *Journal of the Illuminating Engineering Society* 29, 131. IDL

Butler, D.L. and Biner, P.M. (1987). Preferred lighting levels: variability among settings, behaviors, and individuals. *Environment and Behavior* 19, 695-721. IDL

Clark, B. A. J. (2002). Outdoor lighting and crime, part 1: Little or no benefit. Melbourne, Astronomical society of Victoria, Inc. (<http://www.asv.org.au>).

Clark, B. A. J. (2003). Outdoor lighting and crime, part 1: Coupled growth. Melbourne, Astronomical society of Victoria, Inc. (<http://www.asv.org.au>).

CRCIT (2002). Crime reduction. Burglary. Home security lighting. Crime Reduction College Information Team. (<http://www.crimereduction.gov.uk/burglary45>)

Fisher, A. J. (1997). Outdoor lighting- Lighting to deter fear and crime. *Lighting*, 17,6, 32-37.

Green, D. W. E. (1997). Outdoor lighting issues in Lexington, Massachusetts. NELPAG Circular No. 19, 1997-10-09. Cambridge, MA: New England Light Pollution Advisory Group.

ILE (2001). Domestic security lighting, lighting friend or foe? Rugby, UK: Institution of Lighting Engineers.

Kasof, J., (2002). The illuminated self: a theory of light and self-awareness (in preparation). IDL

Kasof, J., (2002). Indoor lighting preferences and bulimic behavior: an individual differences approach, *Personality and Individual Differences* 32, 3, 383-400. IDL

Melbin, M. (1987). *Night as frontier: colonizing the world after dark*. Free Press, New York.

Page, R.A. and Moss, M.K. (1976). Environmental influences on aggression: the effects of darkness and proximity of victim. *Journal of Applied Social Psychology* 6, 126-133.

Veitch, J.A. and Gifford, R. (1996). Assessing beliefs about lighting effects on health, performance, mood, and social behavior. *Environment and Behavior* 28, 446-470. IDL

Coatham, D. (1990). Role of the Lighting Engineer in Crime Prevention. Paper

presented to a Conference on Crime and Lighting held in Leeds on 6th June 1990.

Dickinson, L., Palmer, J.R.C. (1987). Achieving the "Brighter Borough". Institution of Lighting Engineers Conference, Blackpool, 26-30.

Eck, J. E. (1997). Preventing crime at places. In L. W. Sherman, D. C. Gottfredson, D.L.

MacKenzie, J. E. Eck, P. Reuter and S. D. Bushway, (eds.) *Preventing Crime: What Works,*

*What Doesn't, What's Promising* (ch. 7). Washington, D.C.: National Institute of Justice,

U.S. Department of Justice.

Eck, J. E. (2002) Preventing crime at places. In Sherman, L. W., Farrington, D. P., Welsh, B. C. and MacKenzie, D. L.: *Evidence-Based Crime Prevention*, London: Routledge, 273.

Farrington, D. P. and Petrosino, A. (2001). The Campbell Collaboration Crime and Justice Group. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 578, 35-49.

Farrington, D. P. and Welsh, B. C. (2002a). Improved street lighting and crime prevention. *Justice Quarterly*, 19, 2, 313-331.

Farrington, D. P. and Welsh, B. C. (2002b). Effects of improved street lighting on crime: a systematic review. Home Office Research Study 251. London: Home Office.

Ferraro, K.F., Lagrange R. (1987). The Measurement of Fear of Crime. *Sociological Inquiry*. 57, (1), pp 70-101.

Fisher, A. J. (1997). Outdoor lighting- Lighting to deter fear and crime. *Lighting*, 17, 6, 32-37.

Fleming, R., Burrows, J. (1986). The Case for Lighting as a Means of Preventing Crime. *Research Bulletin* 22. Home Office Research and Planning Unit, London, 14-17.



- Hartley, J.E. (1974). *Lighting Reinforces Crime Fight*. Butte-  
neim Publishing Corporation, Pittsfield.
- Heal, K., Laycock, G. (eds) (1986). *Situational Crime Prevention - From Theory into Practice*. London, HMSO.
- Home Office (1989). *Report of the Working Group on the Fear of Crime*. (Chairman M. Grade). Home Office Standing Conference on Crime Prevention.
- Horner, R. E. (2002). *Lights, center, action. How improving a center's lighting program can increase its profits. High-Benefit Lighting*. Silver Spring, Maryland: The National Lighting Bureau.
- ICOLE (2002). *Crime quick reference guide. Information on lighting and crime in the United States*. Indiana: The Indiana Council on Outdoor Lighting Education (ICOLE).
- Jones, R.L. (1975). *Crime Reduction Through Increased Illumination*. National Institute of Justice, Washington D.C.
- Lloyd, R., Wilson, D. (1990). 'Inner city street lighting and its effects upon crime'. *Proceedings of the Annual Conference of the Institute of Lighting Engineers*, 16-19.
- Nair, G., Ditton, J. and Phillips, S. (1993). *Environmental improvements and the fear of crime: the sad case of the 'Pond' area in Glasgow*. *British Journal of Criminology*, 33, 4, 555-561.
- Nair, G., McNair, D. and Ditton, J. (1997). *Street lighting: unexpected benefits to young pedestrians from improvement*. *Lighting Research & Technology*, 29, 3, 143-148.
- Painter, K. (1988). *Lighting and Crime Prevention, The Edmonton Project*. Centre from Criminology, Middlesex Polytechnic.
- Painter, K. (1989a). *Lighting and Crime Prevention for Community Safety. The Tower Hamlets Study: First Report*. Centre for Criminology, Middlesex Polytechnic.
- Painter, K. (1989b). *Crime Prevention and Public Lighting with Special Focus on Women and Elderly People*. London Borough of Hammersmith and Fulham and Urbis Lighting Limited.
- Painter, K. (1991). *An Evaluation of Public Lighting as a Crime Prevention Strategy with Special Focus on Women and Elderly People*. University of Manchester, Faculty of Economics and Social Studies.
- Painter, K. (1994a). *Street lighting, urban design and crime displacement*. ILE Annual Conference. Rugby, UK: Institution of Lighting Engineers.
- Painter, K. A. (1994b). *The impact of street lighting on crime, fear, and pedestrian street use*. *Security Journal*, 5, 116-124.
- Painter, K. A. (1996). *Street lighting, crime and fear of crime: A summary of research*. In T.H. Bennett (ed.) *Preventing Crime and Disorder: Targeting Strategies and Responsibilities* Cambridge: Institute of Criminology, University of Cambridge (pp. 313-351).
- Painter, K. A. and Farrington, D. P. (1997). *The crime reducing effect of improved street lighting: The Dudley project*. In R. V. Clarke (ed.) *Situational Crime Prevention: Successful Case Studies*, 2nd ed. Guilderland, N.Y.: Harrow and Heston (pp. 209-226).
- Painter, K. A. and Farrington, D. P. (1999a). *Improved street lighting: Crime reducing effects and cost-benefit analyses*. *Security Journal*, 12, 17-32.
- Painter, K. A. and Farrington, D. P. (1999b). *Street lighting and crime: Diffusion of benefits in the Stoke-on-Trent project*. In K. A. Painter & N. Tilley (eds.) *Surveillance of Public Space: CCTV, Street Lighting and Crime Prevention* Monsey, N.Y.: Criminal Justice Press (pp. 77-122)..
- Painter, K. A. and Farrington, D. P. (2001a). *Evaluating situational crime prevention using a young people's survey*. *British Journal of Criminology*, 41, 266-284.
- Painter, K. A. and Farrington, D. P. (2001b). *The financial benefits of improved street lighting, based on crime reduction*. *Lighting Research and Technology*, 33, 3-12.
- Pease, K. (1998). *Lighting and crime: Summary*. Rugby, UK: Institution of Lighting Engineers.
- Pease, K. (1999a). *A review of street lighting evaluations: Crime reduction effects*. In K. A. Painter and N. Tilley (eds.) *Surveillance of Public Space: CCTV, Street Lighting and Crime Prevention* Monsey, N.Y.: Criminal Justice Press (pp. 47-76).
- Pease, K. (1999b). *Lighting and crime*. Rugby, UK: Institution of Lighting Engineers.
- Poyner, B. (1993). *What works in crime prevention: An overview of evaluations*. In R.V.
- Clarke (ed.) *Crime Prevention Studies*, Vol. 1 Monsey, N.Y.: Criminal Justice Press (pp. 7-34).
- Poyner, B. and Webb, B. (1997). *Reducing theft from shopping bags in city centre markets*. In R. V. Clarke (ed.) *Situational Crime Prevention: Successful Case Studies*, 2nd ed. Guilderland, N.Y.: Harrow and Heston (pp. 83-89).
- Quinet, K. D. and Nunn, S. (1998). *Illuminating crime: the impact of street lighting on calls for police service*. *Evaluation Review*, 22, 6, 751-779.
- Ramsay, M. (1982). *City-Centre Crime: a situational approach to prevention*. Research and Planning Unit Paper 10. London: Home Office.
- Ramsay, M. (1989). *Crime Prevention: Lighting the Way Ahead*. Research Bulletin 27. Home Office Research and Planning Unit, London, 18-20.
- Ramsay, M., Newton, R. (1991). *The effect of better street lighting on crime and fear*. Crime prevention unit paper No. 29, London, Home office.
- Sternhell, R. (1977). *The Limits of Lighting: The New Orleans Experiment in Crime Reduction: Final Impact Evaluation Report*. New Orleans, Louisiana: Mayor's Criminal Justice Coordinating Council.
- Shaftoe, H. (1994). *Easton/Ashley, Bristol: Lighting improvements*. In S. Osborn (ed.)
- Housing Safe Communities: An Evaluation of Recent Initiatives*. London: Safe Neighbourhoods Unit (pp. 72-77).
- Shaftoe, H. and Osborn, S. (1996). *Crime prevention and security in Great Britain. Part 2: Examples and conclusions*. Ch. 7: Bristol City Council. *Lighting improvements to a multi-racial inner city area*. Proceedings, Towards World Change conference for international crime prevention practitioners, Vancouver, British Columbia, 1996-03-31 to 1996-04-04.
- Smith, M. S. (1996). *Crime prevention through environmental design in parking facilities*. NIJ Research in Brief Series. Washington DC: National Institute of Justice.
- Tien, J.M., O'Donnell, V.F., Barnett, A., Michandani, P.B. (1979). *Street Lighting Projects. National Evacuation Program. Phase I Report*. National Institute of Law Enforcement and Criminal Justice, Washington D.C.
- Tien, J., O'Donnell, V.F., Barnett, A., Mirchandani, P.B. (1979). *Street Lighting Projects. National Evaluation Program. Phase 1 Report*. Washington DC: National Institute of Law Enforcement and Criminal Justice.
- Vamplew, C. (1990). *The Effect of Improved Street Lighting on Perceptions of Crime: a before-and-after study*. Cleveland County Council, Research and Intelligence Unit.
- Wright, R., Heilweil, M., Pelletier P., Dickinson, K. (1974). *The Impact of Street Lighting on Crime (Part I)*. University of

Michigan for the National Institute of Law Enforcement and Criminal Justice.

## 2 Osvětlení silnic a nehodovost

Assum, T. Bjørnskau, T., Fosser, S., and F. Sagberg, F. (1999). Risk compensation—the case of road lighting. *Accident Analysis and Prevention* 31, 545-553.

Bjørnskau, T., Fosser, S., (1996). Billisters adferdstilpasning til innføring av vegbelysning. (Drivers response to the installation of road lighting). Institute of Transport Economics, Oslo, Norway (in Norwegian).

Cornwell, P.R. (1972). Highway capacity, vehicle speeds and public lighting. *Traffic Engineering and Control* 13, 297-298.

Elvik, R. (1995). A meta-analysis of evaluations of public lighting as an accident countermeasure. *Transportation Research Record* 1485, 112-113.

Fridstrøm, L., Ifver, J., Ingebrigtsen, S., Krogsgaard, T.L. (1993). Explaining the variation in road accident counts—a four-country generalized Poisson regression analysis. *Nord* 1993, 35. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.

OECD-Road Research Group (1979). *Road Safety at Night*. Paris.

Jørgensen, F., Pedersen, P. A. (2002). Drivers' response to the installation of road lighting. An economic interpretation. 34, 5, 601-608.

# Působení světla v průběhu spánku na změny krevního tlaku u zdravých dobrovolníků

Prof. MUDr. Jarmila Siegelová<sup>1</sup>, DrSc., Prof. MUDr. Bohumil Fišer, CSc.<sup>2</sup>, Prof. MUDr. Zuzana Brázdová, DrSc.<sup>3</sup>, Mgr. Martin Forejt<sup>3</sup>, MUDr. Pavel Vank<sup>1</sup>, Leona Dunklerová<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Klinika funkční diagnostiky a rehabilitace LF, FN u sv. Anny v Brně <sup>2</sup>Ústav fyziologie LF

<sup>3</sup>Ústav preventivního lékařství LF

Masarykova univerzita v Brně Brno 2003

## 1 Úvod

Ministerstvo životního prostředí ČR přijalo návrh na řešení výzkumného projektu narušování nočního prostředí uměle přidávaným světlem.

Řešitelský tým na základě několikaletého výzkumu regulace krevního tlaku u zdravých i nemocných pacientů ve spolupráci s Chronobiologickým Centrem prof. F. Halberga z University v Minnesotě, USA, se rozhodl se na řešení problematiky podílet.

Naše výzkumné poznatky z řešení závažné chronobiologické problematiky a jejich význam pro diagnostiku závažných kardiovaskulárních onemocnění jsou uvedeny v celé řadě prací, a uvádíme je v kontextu světového písemnictví a některých našich prací z posledních několika let (viz literatura).

Výskyt náhlých kardiovaskulárních příhod a rizikových faktorů s nimi souvisejících není náhodný a je závislý i na biologických rytmech. Jedním ze zakladatelů vědního oboru chronobiologie je prof. F. Halberg.

### 1.1 Biologické rytmy

Biologické veličiny mají určité trendy a zákonitou časovou strukturu, charakterizovanou biologickými rytmy s periodami podobných intervalů. (označovaných circa). Výskyt rizikových faktorů je vázán na biologické rytmy, např. cirkaanální (roční) je výskyt náhlého úmrtí kojenců (sudden infant death syndrom) a vyskytuje se na severní polokouli zjara. Jiným příkladem je výskyt s rytmy týdenními (cirkaseptanní), jako je hypertenzní krize a infarkty myokardu. Stejně tak mohou mít kardiovaskulární onemocnění výskyt denní (cirkadiánní), jak je prokázáno u náhlé srdeční smrti, nefatálních infarktů myokardu a podobně.

Velmi důležitá je metodika hodnocení kardiovaskulárních rytmů. K základnímu hodnocení patří průměrné veličiny v jednotlivých hodinách ( $\pm$ S.D.).

Alternativní metoda hodnocení je kosinorová analýza, užívaná hlavně ve Spojených státech zásluhou našeho spolupracovníka prof. Halberga, kdy naměřenými hodnotami prokládáme křivku funkce sinus nebo kosinus. Křivka může odpovídat jedné frekvenci nebo součtu několika frekvencí. V klinické praxi se osvědčila jednoduchá kosinorová metoda. Naměřená data např. kardiovaskulárních veličin jsou prokládána křivkou funkce kosinus metodou nejmenších čtverců a to s jednou periodou – pro 24-

-hodinový rytmus, pro cirkaseptanní rytmus s periodou 7 dnů apod. Další metoda pro analýzu biologických rytmů je rovněž spektrální analýza, která umožňuje odhalit ve změřených veličinách (srdeční frekvence, systolický a diastolický krevní tlak) přítomnost skrytých frekvencí a posoudit jejich procentuální zastoupení.

Vývoj kardiopulmonálních rytmů, variabilitu krevního tlaku a srdeční frekvence jsme studovali u nedonošených dětí.

### 1.2 Rytmy krevního tlaku u novorozenců

Od r. 1990 jsme vyšetřili soubor 86 kriticky nemocných dětí, u nichž jsme dlouhodobě každou hodinu monitorovali krevní tlak a srdeční frekvenci po dobu delší než týden. Zjistili jsme, že u novorozence je prominentní sedmidenní rytmus a ne 24 hodinový rytmus, který převládá u dospělých. Přibližně sedmidenní rytmus krevního tlaku a srdeční frekvence začíná okamžikem porodu a není synchronizován s kalendářním týdnem. U dospělého člověka převládají rytmy cirkadiánní nad rytmy cirkaseptanními v krevním tlaku i srdeční frekvenci.

Rozvoj automatických metod měření krevního tlaku a srdeční frekvence umožnil diagnostické 24-hodinové monitorování. Studium cirkadiánní variability krevního tlaku je možno podrobněji analyzovat rizika kardiovaskulárních onemocnění, které esenciální hypertenze přináší. Schéma, které je součástí rezoluce Mezinárodní společnosti pro výzkum civilizačních chorob a prostředí z r. 1995, na níž jsme rovněž spolupracovali, ukazuje výsledky 6-leté retrospektivní studie u 297 nemocných. Je zřejmé, že riziko, spojené s hypertenzí je větší, než ostatní testovaná rizika (BMI-obezita, vysoký cholesterol, mužské pohlaví, konzumace alkoholu, pozitivní rodinná anamnéza s výskytem hypertenze nebo jinou kardiovaskulární chorobou, kouření). Rizika pacientů s esenciální hypertenzí bez nočního poklesu krevního tlaku (non-dippers) a pacientů s velkými rozdíly krevního tlaku (over-swinging) se dále dělí; dochází diferencovaně k postižení srdeční svaloviny a koronárního řečiště a mozkového a ledvinného řečiště.

### 1.3 Cirkadiánní rytmy mají význam v diagnostice a léčbě

Vzhledem k výrazné rizikosti obou forem je bezpodmínečně nutné věnovat patřičnou pozornost jejich diagnostice a léčbě.

Cirkadiánní variabilita krevního tlaku má značný význam i v účinné a ekonomické léčbě esenciální hypertenze. V klinické praxi je však nutné brát úvahu interindividuální rozdíly cirkadiánní variability. Porušené biologické rytmy můžeme účinně léčit cíleným podáváním farmak v čase, což se označuje jako chronoterapie, která by se stále více měla uplatňovat v klinické praxi.

Z uvedených příkladů vyplynul velký teoretický i praktický význam sledování biologických rytmů kardiovaskulárních veličin i rizikových faktorů kardiovaskulárních nemocí v závislosti na biologických rytmech. Jejich význam není dosud zcela doceněn a zatím není využito všech přínosů, které z poznatků o biologických rytmech vyplývají.

### 1.4 Rytmičké změny krevního tlaku mohou ukázat škodlivost narušování nočního prostředí

Proto jsme v navrhovaném projektu řešili další otázky analýzy biologických rytmů cirkadiánních – krevního tlaku v závislosti na nočním osvětlení. Náš projekt měření byl uspořádán s cílem objasnit rozdíly ve 24-hodinovém profilu krevního tlaku ve dvou srovnatelných 24-hodinových režimech sledování:

1. základní sledování v přirozených podmínkách pracovního zařazení a spánku uskutečněného v domácím prostředí při přirozené temnotě místnosti
2. sledování 24-hodinového profilu krevního tlaku v podmínkách domácích a spánku při osvětlení místnosti

Tento jednoduchý experimentální přístup by nám měl umožnit základní pozorování škodlivosti nočního osvětlení.

## 2 Soubory vyšetřovaných osob a metodika

Do experimentu bylo zařazeno devět dobrovolníků – 4 muži a pět žen, průměrného věku 37 let (SD 15let, nejstarší osoba měla 64 let, nejmladší osoba měla 24 let).

### 2.1 Metody měření

Dobrovolné osoby byla monitorovány neinvazivně oscilometrickou metodou monitory AD společnosti (Japonsko). Data krevního tlaku byla měřena 3x za hodinu ve dne od 6 do 22 hodin, 1x za hodinu v noci od 22 do 6 hodin.

Průběh měření byl stanoven tak, že první den byl kontrolní a 24-hodinový profil byl základním měřením. Další kontinuální 24-hodinové měření probíhalo tak, že dobrovolná osoba spala v místnosti s celonočním osvětlením o intenzitě jednotek až desítek luxů (takovým, jaké bylo v místnosti k dispozici). Osoba zaznamenávala každodenní aktivity a pocity, které v průběhu měření pociťovala.

### 2.2 Statistické zpracování

Data byla zpracována jako individuální křivky systolického a diastolického krevního tlaku a srdeční frekvence z celého záznamu monitorování, tj. 48 hodin celkem. Dále byly hodnoty krevního tlaku a srdeční frekvence zpracovány jako hodinové průměry u daného individua a dále jako průměrné hodnoty v prvním kontrolním a druhém 24-hodinovém období s nocí se světlem. Soubory nočních měření byly hodnoceny pomocí Wilcoxonova testu.

## 3 Výsledky

Výsledky jednotlivých osob jsou prezentovány na obrázcích 1A, 1B, 2A, 2B, 3A, 3B, 4A, 4B, 5A, 5B, 6A, 6B, 7A, 7B, 8A, 8B, 9A, 9B. Tabulky výsledných 24 hodinových profilů jsou pro první den kontrolní (1.den) a den noci se světlem (2.den) celkem na osmi stranách. Viz adresář *krevni\_tlaky*.

Výsledný graf, označen č. 10, představuje 24-hodinové profily systolického a diastolického krevního tlaku. Kontrolní soubor je vyznačen prázdným body se směrodatnou odchylkou, soubor s nočním osvětlením je vyznačen plnými body se směrodatnou odchylkou (standardní nejistoty jsou ovšem třikrát menší).

V nočních hodinách došlo ke zvýšení systolického a diastolického tlaku u hodnot s přítomností nočního osvětlení. V průměru 3 hodin (od 12.00 do 3.00) došlo ke zvýšení systolického tlaku o 10,95 mmHg a diastolického tlaku o 1.5 mmHg. Tento vzestup byl statisticky významný v průměrné hodnotě mezi 3.00 hodinou jak v systolickém tak i v diastolickém tlaku (Wilcoxonův test:  $p < 0,05$ ).

## 4 Diskuse

Zvýšení krevního tlaku vlivem osvětlení je nutno považovat za klinicky významné vzhledem ke skutečnosti, že mezi hodnotou diastolického i systolického krevního tlaku a mortalitou pro cévní mozkovou příhodu i ischemickou chorobou srdeční, vyjádřenou v logaritmičeských jednotkách, existuje lineární závislost, při které přímka stoupá již od normálních hodnot. Vzestup 10 mmHg v systolickém krevním tlaku odpovídá dvojnásobnému růstu mortality pro cévní mozkovou příhodu. Vzestup systolického krevního tlaku, který jsme pozorovali v nočních hodinách při osvětlení o 11 mmHg není proto v žádném případě zanedbatelný. Nebyly pochopitelně provedeny kontrolované dlouhodobé studie, ale i na základě našich předběžných výsledků musíme konstatovat, že vliv osvětlení jako rizikového faktoru nelze v žádném případě vyloučit.

Subjektivně dobrovolné osoby udávaly špatné pocity po spánku při osvětlení.

## Literatura

- [1] Julius S, Jamerson K. Sympathetics, insulin resistance and coronary risk in hypertension: The chicken-and egg question. *J Hypertens* 1994; 12:495-502.
- [2] Palatini P, Julius S. Association of tachycardia with morbidity and mortality: pathophysiological considerations. *J Hum Hypertens* 1997;11:S19-27.
- [3] Willich SN, Levy D, Rocco MB, Tofler GH, Stone PH, Muller JE. Circadian variation in the incidence of sudden cardiac death in Framingham Heart Study population. *Am J Cardiol* 1987;60:801-6.
- [4] Muller JE, Ludmer PL, Willich SN et al. Circadian variations in the frequency of sudden cardiac death. *Circulation* 1987;75:131-138.
- [5] Siegelová J, Fišer B, Dušek J, Al-Kubati M. Die Baroreflexsensitivitätsmessung bei Patienten mit essentiellen Hypertonie: Einfluss von Enalapril. *Nieren und Hochdruckkrankheiten* 1995; 24:20-22.



- [6] Fišer B, Siegelová J, Ševela K, Dušek J. Baroreflex heart rate sensitivity in patients with renal parenchymal hypertension. *J Hypertension* 1997;15(Suppl.4):140.
- [7] Eicher JC, Dobšák P, Wolf J.E. L'échocardiographie - Doppler permet -elle d'évaluer l'effet des thérapeutiques dans la myocardiopathie hypertrophique? *Réalités Cardiológicas* 1997;106:15-19.
- [8] Siegelová J., Fišer B., Dušek J., Placheta Z, Cornelissen G., Halberg F. Circadian variability of rate-pressure product in essential hypertension with enalapril therapy *Scripta medica* 73, 2, 2000, 67-77
- [9] Pagani M. Circadian heart rate and blood pressure variability considered for research and patient care. *Int J Cardiol* 2003; 87: 29-30.
- [10] World Health Organization. WHO CVD-risk management package for low- and medium-resource settings. Geneva: World Health Organization; 2002. 38 pp.
- [11] Integrated Management of Cardiovascular Risk. Report of a WHO Meeting, Geneva, 9-12 July 2002. Geneva: World Health Organization; 2002. 35 pp.
- [12] Watanabe Y, Cornelissen G, Halberg F, Bingham C, Siegelova J, Otsuka K, Kikuchi T. Incidence pattern and treatment of a clinical entity, overswinging or circadian hyperamplitudetension (CHAT). *Scripta medica (Brno)* 1997; 70: 245-261.
- [13] Eyer J. Social causes of coronary heart disease. *Psychother Psychosom* 1980; 34: 75-87.
- [14] Amiranashvili AG, Cornelissen G, Amiranashvili V, Gheonjian L, Chikhladze VA, Gogua RA, Matiashvili TG, Patashvili T, Kopytenko YuA, Siegelova J, Dusek J, Halberg F. Circannual and circadecennian stages in mortality from cardiovascular causes in Tbilisi, Republic of Georgia (1980-1992). *Scripta medica (Brno)* 2002; 75: 255-260.
- [15] Appenzeller O, Cornelissen G, Halberg F, Wallace J, Costa MA. Biological rhythms and behavior – then and now. *Medical Science Monitor* 2002; 8: SR27-SR30.
- [16] Borer KT, Cornelissen G, Halberg F, Brook R, Rajagopalan S, Fay W. Circadian blood pressure overswinging in a physically fit, normotensive African American woman. *American Journal of Hypertension* 2002; 15: 827-830.
- [17] Borer KT, Cornelissen G, Halberg F, Hughes C. Health impact of training intensity in older individuals. In: Milanovic D, Prot F, editors. *Proceedings Book, 3rd International Scientific Conference, Kinesiology – New Perspectives*, Opatija, Croatia, Sep 25-29, 2002. Zagreb: Faculty of Kinesiology; 2002. p. 475-482.
- [18] Cornelissen G, Halberg F, Breus T, Syutkina EV, Baeovsky R, Weydahl A, Watanabe Y, Otsuka K, Siegelova J, Fiser B, Bakken EE. Non-photoc solar associations of heart rate variability and myocardial infarction. *J Atmos Solar-Terr Phys* 2002; 64: 707-720.
- [19] Cornelissen G, Hillman D, Katinas GS, Rapoport S, Breus TK, Otsuka K, Bakken EE, Halberg F. Geomagnetism and society interact in weekly and broader multiseptans underlying health and environmental integrity. *Biomed Pharmacother* 2002; 56 (Suppl 2): 319s-326s.
- [20] Cornelissen G, Otsuka K, Bakken EE, Halberg F, Siegelova J, Fiser B. CHAT (circadian hyper-amplitude-tension) and CSDD-HR (circadian standard deviation deficit of heart rate): separate, synergistic vascular disease risks? *Scripta medica (Brno)* 2002; 75: 87-94.
- [21] Cornelissen G, Siegelova J, Halberg F. Blood pressure and heart rate dynamics during pregnancy and early extra-uterine life: Methodology for a chrononeonatology. In: Halberg F, Kenner T, Fiser B, editors. *Proceedings, Symposium: The Importance of Chronobiology in Diagnosing and Therapy of Internal Diseases*. Faculty of Medicine, Masaryk University, Brno, Czech Republic, January 10-13, 2002. Brno: Masaryk University; 2002. p. 58-96. [Dedicated to the 60-th Anniversary of Professor Jarmila Siegelova.]
- [22] Cornelissen G, Sothorn RB, Halberg F. Age and circaseptan-to-circadian prominence of blood pressure in a normotensive clinically healthy man. Abstract 11, *Proceedings, 3-rd International Symposium: Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy*, Eriguchi M, ed, Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo, Nov. 9, 2002.
- [23] Cornelissen G, Watson D, Mitsutake G, Fiser B, Siegelova J, Halberg F. Circaseptan and circasemiseptan prominence in students' negative affect complements circadian prominence in positive affect. Abstract 13, *Kongres MEFA*, Brno, Czech Rep., 5-8 Nov. 2002.
- [24] Dusek J, Fiser B, Siegelova J, Cornelissen G, Svoboda L, Homolka P, Jancik J, Svacinova H, Mazankova V, Schwartzkopff O, Halberg F. Vzestup incidence cervni mozkove prihody po r. 1997 v Ceske Republice. *Cor et Vasa* 2002; 44: 18.
- [25] Fiser B, Cornelissen G, Siegelova J, Dusek J, Homolka P, Mazankova V, Halberg F. Increase in stroke deaths after 1997 in the Czech Republic. *Scripta medica (Brno)* 2002; 75: 95-100.
- [26] Gonzalez V. RC, Sanchez de la Pena S, Siegelova J, Svacinova H, Cornelissen G, Zhou S, Holte J, Katinas GS, Halberg F. Putative blood pressure overswinging, circadian hyper-amplitude-tension (CHAT), in type 2 diabetes. *Scripta medica (Brno)* 2002; 75: 121-124.
- [27] Halberg F. Chronomik ergänzt Genomik: Rechnergestützte Wissenszweige treffen sich in München, 29.-30. November 2002. *Onkologische Pharmazie: Zeitschrift für Wissenschaft und Praxis* 2002; 4: 8 & 11.
- [28] Halberg F, Cornelissen G, Bingham C, Hillman D, Katinas G, Sampson M, Revilla M, Prikryl P Sr, Prikryl P Jr, Sanchez de la Pena S, Gonzalez C, Amory-Mazaudier C, Bouvet J, Barnwell F, Maggioni C, Sothorn RB, Wang ZR, Schwartzkopff O, Bakken E. Season's Appreciations 2001. *Neuroendocrinol Lett* 2002; 23: 170-187.
- [29] Halberg F, Cornelissen G, Katinas G, Sonkowsky RP, Yasaka K, Herold M, Peretto F, Tarquini R, Engebretson M, Schwartzkopff O, Bakken EE, Siegelova J, Fiser B. Pharmacological and industrial challenge: deciphering extracircadian rhythmic signatures in us and around us. *Review. Scripta medica (Brno)* 2002; 75: 71-80.

- [30] Halberg F, Cornélissen G, Otsuka K, Katinas GS, Schwartzkopff O, Halpin C, Mikulecky M, Revilla M, Siegelova J, Homolka P, Dusek J, Fiser B, Singh RB. Chronomics\* (\*the study of time structures, chronomes) detects altered vascular variabilities constituting risks greater than hypertension: with an illustrative case report. In: Mitro P, Pella D, Rybar R, Valocik G, editors. Proceedings, 2nd Congress on Cardiovascular Diseases, Kosice, Slovakia, 25-27 April 2002. Bologna: Monduzzi Editore; 2002. p. 223-258.
- [31] Halberg F, Cornélissen G, Prikryl P, Katinas G, Dusek J, Homolka P, Karpisek Z, Sonkowsky RP, Schwartzkopff O, Fiser B, Siegelova J, International BIOCOS Project Team. Chronomics complement genomics in Brno. What Johann Gregor Mendel wished, Jarmilka Siegelova accomplished: Broadening system times and transdisciplinary time horizons. In: Halberg F, Kenner T, Fiser B, editors. Proceedings, Symposium: The Importance of Chronobiology in Diagnosing and Therapy of Internal Diseases. Faculty of Medicine, Masaryk University, Brno, Czech Republic, January 10-13, 2002. Brno: Masaryk University; 2002. p. 7-56. [Dedicated to the 60th Anniversary of Professor Jarmila Siegelova.]
- [32] Halberg F, Cornélissen G, Schwartzkopff O. [Book review of Deppert W, Köther K, Kraleman B, Lattmann C, Martens N, Schaefer J, editors. Selbstorganisierte Systemzeiten: Ein interdisziplinärer Diskurs zur Modellierung lebender Systeme auf der Grundlage interner Rhythmen.] Neuroendocrinol Lett 2002; 23: 262-265.
- [33] Halberg F, Cornélissen G, Singh RB, Otsuka K, Schwartzkopff O. Prehabilitation: cost-effective chronobiological preventive care of new vascular disorders. Int J Cardiol 2002; 82 (Suppl 1): S26.
- [34] Halberg F, Cornélissen G, Sothorn RB, Watanabe Y, Faraone P, Otsuka K. Chronoastrobiology: mechanisms of infradian endogenous biospheric cycles on earth, near-matching physical environmental cycles. Abstract, 2nd Astrobiology Science Conference, NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA, April 7-11, 2002. <http://www.astrobiology.com/asc2002/abstract.html?ascid=236>
- [35] Halberg F, Cornélissen G, Wall D, Otsuka K, Halberg J, Katinas G, Watanabe Y, Halhuber M, Müller-Bohn T, Delmore P, Siegelova J, Homolka P, Fiser B, Dusek J, Sanchez de la Pena S, Maggioni C, Delyukov A, Gorgo Y, Gubin D, Carandente F, Schaffer E, Rhodus N, Borer K, Sonkowsky RP, Schwartzkopff O. Engineering and governmental challenge: 7-day/24-hour chronobiologic blood pressure and heart rate screening: Part I. Biomedical Instrumentation & Technology 2002; 36: 89-122.
- [36] Halberg F, Cornélissen G, Wall D, Otsuka K, Halberg J, Katinas G, Watanabe Y, Halhuber M, Müller-Bohn T, Delmore P, Siegelova J, Homolka P, Fiser B, Dusek J, Sanchez de la Pena S, Maggioni C, Delyukov A, Gorgo Y, Gubin D, Carandente F, Schaffer E, Rhodus N, Borer K, Sonkowsky RP, Schwartzkopff O. Engineering and governmental challenge: 7-day/24-hour chronobiologic blood pressure and heart rate screening: Part II. Biomedical Instrumentation & Technology 2002; 36: 183-197.
- [37] Halberg F, Katinas G, Cornélissen G, Schwartzkopff O, Fiser B, Siegelova J. When week-long monitoring is not enough: case reports. Abstract 5, Kongres MEFA, Brno, Czech Rep., 5-8 Nov. 2002.
- [38] Halberg F, Sothorn RB, Cornélissen G, Watanabe Y, Katinas G, Otsuka K, Schwartzkopff O. Associations with solar cycle number, not only stage, broaden cardiovascular time horizons: Part II. Abstract 10, Proceedings, 3-rd International Symposium: Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy, Eriguchi M, ed, Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo, Nov. 9, 2002.
- [39] Halhuber MJ, Cornélissen G, Bartter FC, Delea CS, Kreze A, Mikulecky M, Müller-Bohn T, Siegelova J, Dusek J, Schwartzkopff O, Halberg F. Circadian urinary glucocorticoid and rhythmic blood pressure coordination. Scripta medica (Brno) 2002; 75: 139-144.
- [40] Hecht K, Cornélissen G, Fietze I, Katinas G, Herold M, Halberg F. Circaseptan aspects of self-assessed sleep protocols covering 70 nights on 33 clinically healthy persons. Perceptual and Motor Skills 2002; 95: 258-266.
- [41] Hillman D, Katinas G, Cornélissen G, Siegelova J, Dusek J, Jancik J, Masek M, Halberg F. About-10-yearly (circadecennian) cosmo-helio-geomagnetic signatures in Acetabularia. Scripta medica (Brno) 2002; 75: 303-308.
- [42] Johnson-Alvares D, Cornélissen G, Portela A, Halberg E, Rudney JD, Yeh C-k, Dodds M, Haus E, Schaffer E, Blank M, Halberg F. Salivary CA130 with and without unilateral autonomic parotid denervation of rats fed different diets. in vivo 2002; 16: 25-28.
- [43] Katinas G, Cornélissen G, Engebretson M, Breus T, Halberg F. A near-week in solar magnetism? Abstract 12, Proceedings, 3-rd International Symposium: Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy, Eriguchi M, ed, Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo, Nov. 9, 2002.
- [44] Katinas G, Hillman D, Siegelova J, Dusek J, Svacinova H, Cornélissen G, Halberg F. About-weekly changes in electrical potential, chloroplast migration and oxygen production in Acetabularia grown under continuous exposure to light. Scripta medica (Brno) 2002; 75: 309-314.
- [45] Katinas G, Nintcheu-Fata S, Cornélissen G, Siegelova J, Masek M, Dusek J, Vlcek J, Halberg F. Moving least squares spectra scrutinize chronomics in and around us. Abstract 14, Kongres MEFA, Brno, Czech Rep., 5-8 Nov. 2002.
- [46] Kubo Y, Murakami S, Matsuoka O, Hotta N, Oinuma S, Shinagawa M, Omori K, Nunoda S, Otsuka K, Ohkawa S-i, Halberg F. Chronocardiologic and chronomic insights: dynamics of heart rate associated with head-up tilting (HUT). Abstract 27, Proceedings, 3-rd International Symposium: Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy, Eriguchi M, ed, Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo, Nov. 9, 2002.
- [47] Mitsutake G, Cornélissen G, Otsuka K, Dawes C, Burch J, Rawson MJ, Siegelova J, Jancik J, Masek M, Pazdirek J, Halberg F. Relationship between positive and negative

- moods and blood pressure in a clinically healthy man. *Scripta medica (Brno)* 2002; 75: 315-320.
- [48] Müller-Bohn T, Cornélissen G, Halhuber M, Schwartzkopff O, Halberg F. CHAT und Schlagfall. *Deutsche Apotheker Zeitung* 2002; 142: 366-370 (January 24).
- [49] Murakami S, Cornélissen G, Katinas G, Otsuka K, Breus T, Fiser B, Pazdirek J, Siegelova J, Halberg F. Circamultiseptan aspect of sudden death: competing socioecological synchronizers: alcohol and magnetics ? Abstract 17, Kongres MEFA, Brno, Czech Rep., 5-8 Nov. 2002.
- [50] Oinuma S, Kubo Y, Otsuka K, Yamanaka T, Murakami S, Matsuoka O, Ohkawa S, Cornélissen G, Weydahl A, Holmeslet B, Hall C, Halberg F, on behalf of the "ICEHRV" Working Group. Graded response of heart rate variability, associated with an alteration of geomagnetic activity in a subarctic area. *Biomed Pharmacother* 2002; 56 (Suppl. 2): 284s-288s.
- [51] Otsuka K, Murakami S, Oinuma S, Kubo Y, Shinagawa M, Weydahl A, Cornélissen G, Halberg F. Altered heart rate variability on geomagnetically disturbed day and the following two days in subarctic. In: Mitro P, Pella D, Rybar R, Valocik G, editors. *Proceedings, 2nd Congress on Cardiovascular Diseases, Kosice, Slovakia, 25-27 April 2002*. Bologna: Monduzzi Editore; 2002. p. 271-283.
- [52] Otsuka K, Oinuma S, Murakami S, Kubo Y, Matsuoka O, Shinagawa M, Yamanaka T, Ohkawa S, Weydahl A, Cornélissen G, Halberg F. Geomagnetic pulsations and prolonged alteration of RR-interval fluctuations of humans in subarctic. Abstract 7, *Proceedings, 3-rd International Symposium: Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy*, Eriguchi M, ed, Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo, Nov. 9, 2002.
- [53] Otsuka K, Singh RB, Weydahl A, Ichimaru Y, Holmeslet B, Hansen TL, Mitsutake G, Murakami S, Kubo Y, Ohkawa S, Yano S, Engebretson MJ, Cornélissen G, Schwartzkopff O, Halberg F, on behalf of the ICEHRV Working Group. Ultra-low frequency geomagnetic pulsations and cardiovascular biological systems in humans. *Int J Cardiol* 2002; 82 (Suppl 1): S26-S27.
- [54] Pan WH, Cornélissen G, Halberg F, Kastin AJ. Functional Genomics of Sleep and Circadian Rhythm. Selected Contribution: Circadian rhythm of tumor necrosis factor- $\alpha$  uptake into mouse spinal cord. *J Appl Physiol* 2002; 92: 1357-1362.
- [55] Revilla M Sr, Hillman D, Otsuka K, Katinas G, Revilla M Jr, Singh RB, Zhao ZY, Cornélissen G, Halberg F. Chronobiological assessment of physiological chronomes in the field and laboratory. Abstract 14, *Proceedings, 3-rd International Symposium: Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy*, Eriguchi M, ed, Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo, Nov. 9, 2002.
- [56] Schwartzkopff O, Cornélissen G, Bingham C, Homolka P, Katinas G, Sonkowsky RP, Halberg F, International BI-OCOS Project Team. Long-term, when-needed lifelong monitoring concerns governments, ethics committees and everybody. In: Halberg F, Kenner T, Fiser B, editors. *Proceedings, Symposium: The Importance of Chronobiology in Diagnosing and Therapy of Internal Diseases*. Faculty of Medicine, Masaryk University, Brno, Czech Republic, January 10-13, 2002. Brno: Masaryk University; 2002. p. 97-121. [Dedicated to the 60th Anniversary of Professor Jarmila Siegelova.]
- [57] Schwartzkopff O, Cornélissen G, Halpin C, Katinas G, Siegelova J, Fiser B, Halberg F. Untreated transient but not 7-day CHAT in a 7-year perspective. Abstract 18, *Kongres MEFA, Brno, Czech Rep., 5-8 Nov. 2002*.
- [58] Schwartzkopff O, Katinas G, Cornélissen G, Halberg F. Circaseptan aspect of the chronome of a eukaryotic unicell. Abstract 15, *Proceedings, 3-rd International Symposium: Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy*, Eriguchi M, ed, Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo, Nov. 9, 2002.
- [59] Shinagawa M, Otsuka K, Murakami S, Kubo Y, Cornélissen G, Matsubayashi K, Yano S, Mitsutake G, Yasaka K-i, Halberg F. Seven-day (24-h) ambulatory blood pressure monitoring, self-reported depression and quality of life scores. *Blood Pressure Monitoring* 2002; 7: 69-76.
- [60] Shinoda H, Ohtsuka-Isoya M, Cornélissen G, Halberg F. Chronome carved into murine dentin includes prominent about-weekly (circaseptan) component free-running in continuous light. Abstract 13, *Proceedings, 3-rd International Symposium: Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy*, Eriguchi M, ed, Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo, Nov. 9, 2002.
- [61] Singh RB, Cornélissen G, Siegelova J, Homolka P, Halberg F. About half-weekly (circasemiseptan) pattern of blood pressure and heart rate in men and women of India. *Scripta medica (Brno)* 2002; 75: 125-128.
- [62] Singh RB, Pella D, Otsuka K, Halberg F, Cornélissen G. New insights into circadian aspects of health and disease. *J Assoc Physicians India* 2002; 50: 1416-1425.
- [63] Sonkowsky R, Cornélissen G, Fink H, Homolka P, Siegelova J, Halberg F. Day-to-day variability prompts seven-day and 24-hour blood pressure profiles. *Scripta medica (Brno)* 2002; 75: 267-274.
- [64] Sothorn RB, Burioka N, Cornélissen G, Engel P, Halberg Francine, Siegelova J, Vlcek J, Halberg J, Halberg Franz. Circadecennian peak expiratory flow and the putative merit of self-measurement. *Scripta medica (Brno)* 2002; 75: 261-266.
- [65] Sothorn RB, Cornélissen G, Katinas G, Mitsutake G, Nintcheu-Fata S, Siegelova J, Fiser B, Homolka P, Halberg F. Circannual variation in human diastolic blood pressure during consecutive solar cycles. Abstract 15, *Kongres MEFA, Brno, Czech Rep., 5-8 Nov. 2002*.
- [66] Sothorn RB, Katinas G, Cornélissen G, Halberg F. Moving spectra of circannual variation in normotensive diastolic blood pressure: Part I. Abstract 17, *Proceedings, 3-rd International Symposium: Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy*, Eriguchi M, ed, Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo, Nov. 9, 2002.



- [67] Starbuck S, Cornélissen G, Halberg F. Is motivation influenced by geomagnetic activity? *Biomed Pharmacother* 2002; 56 (Suppl 2): 289s-297s.
- [68] Starbuck S, Katinas GS, Cornélissen G, Donet P, McGee S, Haus E, Moody JA, Schwartzkopff O, Halberg F. Bacterial chronomics: time structures (chronomes) in sensitivity tests of antibiotics and putative helio-geomagnetic influences. Abstract 18, Proceedings, 3-rd International Symposium: Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy, Eriguchi M, ed, Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo, Nov. 9, 2002.
- [69] Stinson SM, Cornélissen G, Scarpelli PT, Halberg F. Self-measurement and ambulatory monitoring of blood pressure: a subject's chronobiological perspective. *Biomed Pharmacother* 2002; 56 (Suppl 2): 333s-338s.
- [70] Uezono K, Kawasaki T, Sasaki H, Urae A, Urae R, Irie S, Tokunaga M, Cornélissen G, Siegelova J, Fiser B, Halberg F. Circadian biological characteristics after shifting sleep and meal times. *Scripta medica (Brno)* 2002; 75: 145-150.
- [71] Watanabe Y, Cornélissen G, Hellbrügge T, Watanabe F, Otsuka K, Schwartzkopff O, Halberg F. Partial spectral element in the chronome of a human neonatal heart rate at term. *Biomed Pharmacother* 2002; 56 (Suppl 2): 374s-378s.
- [72] Watanabe Y, Cornélissen G, Otsuka K, Siegelova J, Jancik J, Halberg F. Longitudinal ambulatory blood pressure monitoring for a sequential chronobiologic assessment of losartan effects. *Scripta medica (Brno)* 2002; 75: 129-134.
- [73] Watanabe Y, Sothorn RB, Katinas G, Cornélissen G, Watanabe M, Watanabe F, Otsuka K, Halberg F. Replication of anticipated circadecadal solar cycle modulation of cardiovascular circannual variation: Part III. Abstract 6, Proceedings, 3-rd International Symposium: Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy, Eriguchi M, ed, Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo, Nov. 9, 2002.
- [74] Yamanaka T, Cornélissen G, Halberg F, Katinas G, Hörz Helga, Hörz Herbert, Otsuka K, Bakken EE. Marriage and divorce over a century in Japan: Social biomedicine, not yet societal therapy. *Biomed Pharmacother* 2002; 56 (Suppl 2): 314s-318s.
- [75] Yamanaka T, Cornélissen G, Kazuma M, Kazuma N, Murakami S, Otsuka K, Siegelova J, Dusek J, Halberg F. Further mapping of the natality chronome in Toda City (Japan) Maternity Hospital. Abstract 16, Kongres MEFA, Brno, Czech Rep., 5-8 Nov. 2002.
- [76] Zhou S, Holte J, Chatterton M, Katinas G, Otsuka K, Watanabe Y, Mitsutake G, Siegelova J, Homolka P, Cornélissen G, Halberg F. Conventional and chronobiologic output from blood pressure screening by 7-day or 24-hour monitoring. *Scripta medica (Brno)* 2002; 75: 135-138.
- [77] Burioka N, Cornélissen G, Halberg F, Kaplan DT, Suyama H, Sako T, Shimizu E. Approximate entropy of human respiratory movement during eye-closed waking and different sleep stages. *Chest* 2003; 123: 80-86.
- [78] Burioka N, Cornélissen G, Otsuka K, Shimizu E, Halberg F. Linear and nonlinear indices of variability in respiratory movement, the electroencephalogram and the electrocardiogram. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 223-230.
- [79] Cornélissen G, Chen CH, Halberg F. Frequency of circadian hyper-amplitude-tension (CHAT) in cardiovascular disease. Read by Title, Abstract 12, Proc 4th International Symposium, Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy, Kamo T, editor. Yokohama: Division of Neurology, Department of Neurology, Yokohama City Seibu Hospital, St. Marianna University School of Medicine; 8 Nov 2003. p. 49-54.
- [80] Cornélissen G, Halberg F, Bakken EE, Wang ZR, Tarquini R, Perfetto F, Laffi G, Maggioni C, Kumagai Y, Prikryl P, Homolka P, Dusek J, Siegelova J, Fiser B. Can society afford not to follow a chronobiological approach to blood pressure screening, diagnosis and treatment? In: Halberg F, Kenner T, Siegelova J, editors. Proceedings, Symposium, Chronobiological Analysis in Pathophysiology of Cardiovascular System. Brno: Masaryk University; 2003. p. 75-90. [Dedicated to the 60th Anniversary of Prof. Bohumil Fiser.]
- [81] Cornélissen G, Halberg F, Katinas G, Schwartzkopff O, Holley D, Borer K, Homolka P, Siegelova J, Fiser B, Otsuka K, Yano A, Delcourt A, Toussaint G, Sanchez de la Pena S, Gonzalez C, Zhao Z, Aslanian N, Singh RB, Kumar A, Tarquini R, Perfetto F, and collaborators in the BIOCOS project. Stroke and other vascular disease prevention by chronomics for prehabilitation. Abstract #10, MEFA, Brno, Czech Republic, 04-07 Nov 2003. p. 14-15.
- [82] Cornélissen G, Halberg F, Pöllmann L, Pöllman B, Katinas GS, Minne H, Breus T, Sothorn RB, Watanabe Y, Tarquini R, Perfetto F, Maggioni C, Wilson D, Gubin D, Otsuka K, Bakken EE. Circasemiannual chronomics: half-yearly biospheric changes in their own right and as a circannual waveform. *Biomed Pharmacother* 2003; 57 (Suppl 1): 45s-54s.
- [83] Cornélissen G, Halberg F, Schwartzkopff O, Katinas G, Johnson D, Otsuka K, Watanabe Y, Wang ZR, Wan CW, Perfetto F, Tarquini R, Maggioni C, Syutkina EV, Masalov A, Siegelova J, Zhao ZY, Singh RB, Singh RK, Delyukov A, Gorgo Y, Zaslavskaya RM, Gubin GD, Gubin DG, Kumagai Y, Uezono K, Wilson D, Weydahl A, Bakken E. Editor's foreword: What Gesell wished, Hellbrügge accomplished: Chronomics of child development. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 14-24.
- [84] Cornélissen G, Halberg F, Tarquini R, Perfetto F, Salti R, Laffi G, Otsuka K. Point and interval estimations of circadian melatonin ecpasia in Smith-Magenis syndrome. *Biomed Pharmacother* 2003; 57 (Suppl 1): 31s-34s.
- [85] Cornélissen G, Reinberg A, Haen E, Schwartzkopff O, Halberg F. Laudatio: Theodor Hellbrügge – Clarus-pons: Utinam multos annos diutius vivas ad rehabilitationis prae-habilitatisque scientias perficiendas! *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl. 1): 1-7. In English & German.
- [86] Cornélissen G, Rigatuso J, Wang ZR, Wan CM, Maggioni C, Syutkina EV, Schwartzkopff O, Johnson DE, Halberg



- F, International Womb-to-Tomb Chronome Group: Case report of an acceptable average but overswinging blood pressure in Circadian Hyper-Amplitude-Tension, CHAT. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 84-91.
- [87] Edmunds L, Balzer I, Cornélissen G, Halberg F. Toward a chronome of *Euglena gracilis* (Klebs). *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 192-199.
- [88] Fiser B, Cornélissen G, Siegelova J, Dusek J, Mazankova V, Halberg F. Spektrální analýza padasatiletého záznamu mortality pro cervní Mozkovou příhodu v České Republice. Abstract, XI. výročního sjezdu České kardiologické společnosti, 11-14 května 2003, Brno. *Cor et Vasa* 2003; 4 (Suppl): 21.
- [89] Halberg F. Liebe Jutta. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl. 1): 62.
- [90] Halberg F, Cornélissen G, Bingham C, Witte H, Ribary U, Hesse W, Petsche H, Engebretson M, Geissler H-G, Weiss S, Klimesch W, Rappelsberger P, Katinas G, Schwartzkopff O. Chronomics: Imaging in time by phase synchronization reveals wide spectral-biospheric resonances beyond short rhythms. („Wenn man über kurze Rhythmen hinausgeht“) In memoriam – lost future: Dr.-Ing. habil. Dr. rer. nat. Barbara Schack: 1952-2003. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24: 355-380. Includes three appendices: Schack B. Appendix A of figures, p 366-372; Schack B, Cornélissen G, Watanabe Y, Schwartzkopff O, Bakken E, Halberg F and the BIOCOS participants. Appendix B: Temporal mapping, chronomics, of environmental associations with human cerebral and related physiology and pathology, p 373; Witte H. Appendix C: Methodological amplification in a physical-engineering perspective: Comments on the mathematics underlying Barbara Schack's methodology, p 374-380.
- [91] Halberg F, Cornélissen G, Delmore P, Schwartzkopff O, International Womb-to-Tomb Chronome Group: The costs of ignoring a long-overdue chronomedicine: the chronome initiative emerging from the catacombs. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 247-256.
- [92] Halberg F, Cornélissen G, Faraone P, Katinas G, Starbuck S, Tarquini R, Peretto F, Laffi G, Schwartzkopff O. Chronobioclimatology and broader chronomics: Legacies of Giorgio Piccardi: 1895-1972. *CIFA News* 2003; 32: 1-42.
- [93] Halberg F, Cornélissen G, Katinas G, Schwartzkopff O. Uvitani / Begrüßung / Welcome. In: Katalog / Catalogue, MEFA, 11th International Fair of Medical Technology and Pharmacy / rehaprotex, 12th International Trade Fair for Rehabilitation, Prosthetics and Health, Brno, Czech Republic, 4-7 Nov 2003. p. 12-14.
- [94] Halberg Franz, Cornélissen G, Katinas G, Syutkina EV, Sothorn RB, Zaslavskaya R, Halberg J, Halberg Francine, Watanabe Y, Schwartzkopff O. Transdisciplinary unifying implications of circadian findings in the 1950s. *J Circadian Rhythms* 2003; 1: 2. <http://www.jcircadianrhythms.com/content/1/1/2>
- [95] Halberg F, Cornélissen G, Pöllmann L, Pöllmann B, Minne H, Katinas G, Watanabe Y, Sothorn RB, Schwartzkopff O. Reciprocal organismic-cosmic chronomes: life's current, delayed and/or evolutionary environmental resonance. Read by Title, Abstract 10, Proc 4th International Symposium, Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy, Kamo T, editor. Yokohama: Division of Neurology, Department of Neurology, Yokohama City Seibu Hospital, St. Marianna University School of Medicine; 8 Nov 2003. p. 39-46.
- [96] Halberg F, Cornélissen G, Schack B. Self-experimentation on chronomes, time structures; chronomics for health surveillance and science: also transdisciplinary civic duty? *Behavioral and Brain Sciences*, <http://www.bbsonline.org/Preprints/Roberts/Commentators/Halberg.html>
- [97] Halberg F, Cornélissen G, Schack B, Wendt HW, Minne H, Sothorn RB, Watanabe Y, Katinas G, Otsuka K, Bakken EE. Blood pressure self-surveillance for health also reflects 1.3-year Richardson solar wind variation: spin-off from chronomics. *Biomed Pharmacother* 2003; 57 (Suppl 1): 58s-76s.
- [98] Halberg F, Cornélissen G, Schwartzkopff O, Hardeland R, Ulmer W. Chronobiologische Überwachung von Blutdruck und Herzfrequenz für die Praxis. *Proc Leibniz Soz* 2003; 54: 127-156.
- [99] Halberg F, Cornélissen G, Schwartzkopff O, Katinas G, Wang ZR, Tarquini R, Peretto F, Maggioni C, Watanabe Y, Bakken EE. Health promotion beyond Bohumil Fiser's 60th birthday. In: Halberg F, Kenner T, Siegelova J, editors. *Proceedings, Symposium, Chronobiological Analysis in Pathophysiology of Cardiovascular System*. Brno: Masaryk University; 2003. p. 9-73. [Dedicated to the 60th Anniversary of Prof. Bohumil Fiser.]
- [100] Halberg F, Cornélissen G, Spector NH, Sonkowsky RP, Otsuka K, Baciú I, Hriscu M, Schwartzkopff O, Bakken EE. Stress/strain/life revisited. Quantification by blood pressure chronomics: benetensive, transtensive or male-tensive chrono-vasculo-neuro-immuno-modulation. *Biomed Pharmacother* 2003; 57 (Suppl 1): 136s-163s.
- [101] Halberg F, Cornélissen G, Tarquini R, Peretto F, Schwartzkopff O, Siegelova J, Katinas GS, Bakken EE. Diversity in time complements diversity in space: Chronobiology and chronomics complement Mendel's genetics and Purkinje's self-experimentation. Abstract #3, MEFA, Brno, Czech Republic, 04-07 Nov 2003. p. 7-8.
- [102] Halberg F, Schwartzkopff O, Cornélissen G. Chronomik ergänzt Genomik: Rechnergestützte Wissenszweige treffen sich in München, November 29-30, 2002. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 27-59.
- [103] Halberg F, Wang ZR, Schwartzkopff O, Cornélissen G. Chronomik für die grosse Öffentlichkeit. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 74-83.
- [104] Hriscu M, Cornélissen G, Saulea G, Ostriceanu S, Baciú I, Halberg F. Alcohol and melatonin influence circadian rhythmic phagocytic activity and adherence of neutrophils in rats. Read by Title, Abstract 4, Proc 4th International Symposium, Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy, Kamo T, editor. Yokohama: Division of Neurology, Department of Neurology, Yokohama City Seibu

- Hospital, St. Marianna University School of Medicine; 8 Nov 2003. p. 30-35.
- [105] Kanabrocki EL, Ryan MD, Murray D, McCormick JB, Dawson S, Shirazi P, Nemchausky BA, Hooper DC, Cornélissen G, Halberg F. Circadian variation in oxidative stress markers in health and multiple sclerosis. Read by Title, Abstract 5, Proc 4th International Symposium, Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy, Kamo T, editor. Yokohama: Division of Neurology, Department of Neurology, Yokohama City Seibu Hospital, St. Marianna University School of Medicine; 8 Nov 2003. p. 36-37.
- [106] Katinas G, Berger S, Cornélissen G, Hillman D, Woolum JC, Engebretson M, Syutkina EV, Masalov A, Wang ZR, Wan CM, Bakken EE, Schwartzkopff O, Halberg F. Acetabularia acetabulum: Unicellular model of neonatal vascular chronome. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 201-207.
- [107] Katinas GS, Cornélissen G, Halberg F. Chronomicro-macroscopy of circadian blood pressure waveforms in CHAT by spectra with plexograms fitted by moving polynomials. Read by Title, Abstract 13, Proc 4th International Symposium, Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy, Kamo T, editor. Yokohama: Division of Neurology, Department of Neurology, Yokohama City Seibu Hospital, St. Marianna University School of Medicine; 8 Nov 2003. p. 54-63.
- [108] Katinas GS, Dusek J, Siegelova J, Cornélissen G, Halberg F. Intra-individual variability of the circadian blood pressure waveform in intermittent treated MESOR-hypertensive CHAT. Abstract #12, MEFA, Brno, Czech Republic, 04-07 Nov 2003. p. 17.
- [109] Katinas G, Halberg F, Cornélissen G, Otsuka K, Tarquini R, Perfetto F, Maggioni C, Schwartzkopff O, Bakken E. Transient circadian hyper-amplitude-tension (CHAT) may be intermittent: case reports illustrating gliding spectral windows. *Biomed Pharmacother* 2003; 57 (Suppl 1): 104s-109s.
- [110] Kelsey R, Cornélissen G, Kapfer D, Siegelova J, Masek M, Dusek J, Fiser B, Halberg F. Research in practice: inferential statistical procedures applicable to the individual patient's response to benetensive treatment. Abstract #15, MEFA, Brno, Czech Republic, 04-07 Nov 2003. p. 20.
- [111] Kenner T, Cornélissen G, Katinas G, Schwartzkopff O, Kenner B, Halberg F. Population cycle in sudden infant death syndrome (SIDS) ? *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 96-100.
- [112] Kubo Y, Murakami S, Matsuoka O, Notta N, Oinuma S, Shinagawa M, Omori K, Nunoda S-i, Otsuka K, Ohkawa S-i, Cornélissen G, Halberg F. Toward chronocardiologic and chronomic insights: dynamics of heart rate associated with head-up tilting. *Biomed Pharmacother* 2003; 57 (Suppl 1): 110s-115s.
- [113] Kumagai Y, Kumagai Eu, Kumagai Er, Cornélissen G, Halberg E, Halberg Francine, Schwartzkopff O, Halberg F. Circaseptan axillary temperature rhythm development in a chronomic and familial context. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 145-151.
- [114] Lee JS, Lee JY, Cornélissen G, Halberg F. Effects of diaphragmatic breathing on ambulatory blood pressure and heart rate. *Biomed Pharmacother* 2003; 57 (Suppl 1): 87s-91s.
- [115] Lee MS, Lee JS, Lee JY, Cornélissen G, Otsuka K, Halberg F. About 7-day (circaseptan) and circadian changes in cold pressor test (CPT). *Biomed Pharmacother* 2003; 57 (Suppl 1): 39s-44s.
- [116] Maggioni C, Cornélissen G, Syutkina EV, Johnson D, Halberg F. Pharmacovigilance: betamimetic drug exposure in pregnancy enhances cardiovascular disease risk of offspring. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 102-104.
- [117] Marazzi A, Ruffieux C, Cornélissen G, Syutkina EV, Johnson D, Halberg F. Circadian and circaseptan patterns of natality and perinatal mortality of infants with different birth weights. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 105-110.
- [118] Maschke C, Harder J, Cornélissen G, Hecht K, Otsuka K, Halberg F. Chronoecoepidemiology of "strain": infradian chronomics of urinary cortisol and catecholamines during nightly exposure to noise. *Biomed Pharmacother* 2003; 57 (Suppl 1): 126s-135s.
- [119] Mitsutake G, Otsuka K, Ferguson I, Cornélissen G, Wanliss J, Halberg F. Exposure to artificial ULF magnetic field and alteration of BP- and HR-variability and mood. Read by Title, Abstract 9, Proc 4th International Symposium, Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy, Kamo T, editor. Yokohama: Division of Neurology, Department of Neurology, Yokohama City Seibu Hospital, St. Marianna University School of Medicine; 8 Nov 2003. p. 38-39.
- [120] Murakami S, Kubo Y, Matsuoka O, Yamanaka T, Shinagawa M, Nunoda S, Otsuka K, Ohkawa S, Matsubayashi K, Yano S, Cornélissen G, Halberg F. Positive impact of social intervention on disordered neurobehavioral function of elderly community-dwelling population: Longitudinally Investigate the Longevity and Aging in Hokkaido County (LILAC). Read by Title, Abstract 3, Proc 4th International Symposium, Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy, Kamo T, editor. Yokohama: Division of Neurology, Department of Neurology, Yokohama City Seibu Hospital, St. Marianna University School of Medicine; 8 Nov 2003. p. 29-30.
- [121] Nintcheu-Fata S, Katinas G, Halberg F, Cornélissen G, Tolstykh V, Michael HN, Otsuka K, Schwartzkopff O, Bakken E. Chronomics of tree rings for chronoastrobiology and beyond. *Biomed Pharmacother* 2003; 57 (Suppl 1): 24s-30s.
- [122] Otsuka K, Cornélissen G, Halberg F. Age differences in circadian characteristics of two scaling components in clinical health. Read by Title, Abstract 11, Proc 4th International Symposium, Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy, Kamo T, editor. Yokohama: Division of Neurology, Department of Neurology, Yokohama City Seibu Hospital, St. Marianna University School of Medicine; 8 Nov 2003. p. 47-49.

- [123] Otsuka K, Cornélissen G, Matsuoka O, Kubo Y, Murakami S, Shinagawa M, Yamanaka T, Nishimura Y, Hotta N, Nunoda S-i, Ohkawa S-i, Halberg F. Mapping of blood pressure and heart rate variability: a model for pediatricians. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 157-164.
- [124] Otsuka K, Cornélissen G, Schwartzkopff O, Bakken EE, Halberg F, Burioka N, Katinas GS, Kane R, Regal PJ, Schaffer E, Sonkowsky R, Patterson R, Engebretson M, Brockway B, Wang ZR, Delmore P, Halpin C, Sarkozy S, Wall D, Halberg J. Clinical chronobiology and chronome-geriatrics: At variance with recommendations of subsequent guidelines, yet focusing indeed on pre-hypertension in the physiological range. *Biomed Pharmacother* 2003; 57 (Suppl 1): 164s-198s.
- [125] Otsuka K, Murakami K, Kubo Y, Yamanaka T, Mitsutake G, Ohkawa S, Matsubayashi K, Yano S, Cornélissen G, Halberg F. Chronomics for chronoastrobiology with immediate spin-offs for life quality and longevity. *Biomed Pharmacother* 2003; 57 (Suppl 1): 1s-18s.
- [126] Otsuka K, Weydahl A, Murakami S, Kubo Y, Yamanaka T, Mitsutake G, Ohkawa S, Matsubayashi K, Yano S, Cornélissen G, Halberg F. Astrobiology, chronomics and life quality. Read by Title, Abstract 1, Proc 4th International Symposium, Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy, Kamo T, editor. Yokohama: Division of Neurology, Department of Neurology, Yokohama City Seibu Hospital, St. Marianna University School of Medicine; 8 Nov 2003. p. 26-28.
- [127] Perfetto F, Tarquini R, Salti R, Laffi G, Bubenik G, Kocharyan S, Aslanyan N, Cornélissen G, Katinas GS, Schwartzkopff O, Halberg F. Far from melatonin's time horizon: Halting steps from pediatric ultradians toward a chronome. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 165-170.
- [128] Qu Y, Wang ZR, Huang X, Wan CW, Yang CL, Liu BL, Cornélissen G, Halberg F. Circadian telomerase activity and DNA synthesis for timing peptide administration. *Pep-tides* 2003; 24: 363-369.
- [129] Sarabandi T, Cornélissen G, Halberg F, Katinas G, Holte JE. Chronomically interpreted q30-minute 7-month record of intermittently high, gradually increasing and more and more overswinging blood pressure and mood. Read by Title, Abstract 14, Proc 4th International Symposium, Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy, Kamo T, editor. Yokohama: Division of Neurology, Department of Neurology, Yokohama City Seibu Hospital, St. Marianna University School of Medicine; 8 Nov 2003. p. 64-72.
- [130] Sarabandi T, Cornélissen G, Katinas G, Holte JE, Siegelova J, Halberg F. Chronomics-revealed relations of systolic and diastolic blood pressure with positive mood in circadian hyper-amplitude-tension. Abstract #16, MEFA, Brno, Czech Republic, 04-07 Nov 2003. p. 21.
- [131] Schwartzkopff O, Cornélissen G, Katinas G, Sampson M, Halberg F. (Helena's Minnesota team): Present history: Helena Raskova Nonagenaria: Ad multos annos. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 64-65.
- [132] Schwartzkopff O, Halberg F, Cornélissen G, Katinas G, Wang ZR, Kröz M, Hecht K, Tarquini R, Perfetto F, Maggioni C, Siegelova J, Dusek J, Fiser B, Singh RB, Bakken E. Self-experimentation: dangerous when first done by a few, now safe for everybody's health? In: Halberg F, Kenner T, Siegelova J, editors. Proceedings, Symposium, Chronobiological Analysis in Pathophysiology of Cardiovascular System. Brno: Masaryk University; 2003. p. 91-104. [Dedicated to the 60th Anniversary of Prof. Bohumil Fiser.]
- [133] Schwartzkopff O, Katinas G, Singh RB, Sanchez de la Pena S, Zhao ZY, Uezono K, Prikryl P, Siegelova J, Fiser B, Dusek J, Otsuka K, Cornélissen G, Halberg F. Self-surveillance and self-experimentation (SSSE) for preventing vascular diseases needed to follow established successes of anesthesia and vaccine development. Abstract #13, MEFA, Brno, Czech Republic, 04-07 Nov 2003. p. 18.
- [134] Shinoda H, Ohtsuka-Isoya M, Cornélissen G, Halberg F. Putative circaseptans or other infradians in murine dentin accretion and the suprachiasmatic nuclei. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 208-211.
- [135] Siegelova J, Cornélissen G, Fiser B, Dusek J, Homolka P, Masek M, Jancik J, Svacinova H, Halberg F. Blood pressure and heart rate monitoring in humans: the circa-septan and circadian rhythms. Abstract, 3rd International Workshop on The Human Circulation: Noninvasive Haemodynamic, Autonomic and Vascular Monitoring, Graz, Austria, 9-11 May 2003. *Clinical Autonomic Research* 2003; 13: 60-61.
- [136] Siegelova J, Cornélissen G, Schwartzkopff O, Halberg F. Time structures in the development of children. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 126-131.
- [137] Siegelova J, Fiser B, Dusek J, Placheta Z, Vlcek J, Svoboda L, Pazdirek J, Cornélissen G, Halberg F. Chronotherapy: rate-pressure produce in essential hypertension. In: Halberg F, Kenner T, Siegelova J, editors. Proceedings, Symposium, Chronobiological Analysis in Pathophysiology of Cardiovascular System. Brno: Masaryk University; 2003. p. 118-121. [Dedicated to the 60th Anniversary of Prof. Bohumil Fiser.]
- [138] Singh RB, Cornélissen G, Weydahl A, Schwartzkopff O, Katinas G, Otsuka K, Watanabe Y, Yano S, Mori H, Ichimaru Y, Mitsutake G, Pella D, Fanghong L, Zhao Z, Rao RS, Gvozdjakova A, Halberg F. Circadian heart rate and blood pressure variability considered for research and patient care. *Int J Cardiol* 2003; 87: 9-28.
- [139] Sothorn RB, Sothorn SB, Sothorn MI, Fiser B, Siegelova J, Cornélissen G, Halberg F. Transannual (circaquingentidian) aspects of human systolic (S) and diastolic (D) blood pressure (BP) and heart rate (HR) in two aging subjects. Abstract #14, MEFA, Brno, Czech Republic, 04-07 Nov 2003. p. 19.
- [140] Syutkina EV, Cornélissen G, Yatsyk G, Studenikin M, Baranov A, Halberg F. Over a decade of clinical chrononeonatology and chronopediatrics in Moscow. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 132-138.

- [141] Syutkina EV, Masalov AV, Siegelova J, Cornélissen G, Halberg F. More chronomics: the trans-year in neonatology. Abstract #11, MEFA, Brno, Czech Republic, 04-07 Nov 2003. p. 16.
- [142] Tarquini R, Perfetto F, Laffi G, Mello G, Cornélissen G, Johnson D, Halberg F. Circadian and circannual aspects of leptin chronome in cord blood. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 171-174.
- [143] Watanabe Y, Cornélissen G, Halberg F. Different chronomes of blood pressure and heart rate between MESOR-normotensives and untreated MESOR-hypertensives. Read by Title, Abstract 14, Proc 4th International Symposium, Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy, Kamo T, editor. Yokohama: Division of Neurology, Department of Neurology, Yokohama City Seibu Hospital, St. Marianna University School of Medicine; 8 Nov 2003. p. 73-76.
- [144] Watanabe Y, Cornélissen G, Halberg F. Thousands of blood pressure and heart rate measurements at fixed clock hours may mislead. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24: 339-340.
- [145] Watanabe Y, Cornélissen G, Katinas G, Sothorn RB, Halberg F, Watanabe M, Watanabe F, Otsuka K. Non-photoc, non-thermic circadecadal solar cycle interaction with cardiovascular circannual and circasemiannual variation in heated air-conditioned habitat. *Biomed Pharmacother* 2003; 57 (Suppl 1): 55s-57s.
- [146] Watanabe Y, Cornélissen G, Watanabe F, Siegelova J, Dusek J, Halberg F. The trans- ( 1.3) year in the blood pressure of a 10-year-old boy. Abstract 17, MEFA, Brno, Czech Republic, 04-07 Nov 2003. p. 22.
- [147] Watanabe Y, Cornélissen G, Watanabe M, Watanabe F, Otsuka K, Ohkawa S-i, Kikuchi T, Halberg F. Effects of autogenic training and antihypertensive agents on circadian and circaseptan variation of blood pressure. *Clin Exp Hypertens* 2003; 25: 405-412.
- [148] Watanabe Y, Nintcheu-Fata S, Katinas G, Cornélissen G, Otsuka K, Hellbrügge T, Schwartzkopff O, Bakken E, Halberg F. Methodology: partial moving spectra of postnatal heart rate chronome. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 139-144.
- [149] Woolum JC, Cornélissen G, Hayes DK, Halberg F. Spectral aspects of *Acetabularia*'s light transmission chronome: effects of enucleation. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 212-215.
- [150] Zaslavskaya RM, Makarova LA, Shakarova AN, Komarov F, Wang ZR, Wan CM, Katinas G, Cornélissen G, Halberg F. Individualized time series-based assessment of melatonin effects on blood pressure: model for pediatricians. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 238-246.
- [151] Zhou B, Wang ZR, Wan CM, Sothorn RB, Cornélissen G, Halberg F. Diazepam and melatonin effects upon circadian variation of cultured murine myocytes. *Neuroendocrinol Lett* 2003; 24 (Suppl 1): 216-222.



# Vliv světla na usínání a spánek

Mgr. Martin Forejt<sup>1</sup>, Karel D. Skočovský<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ústav preventivního lékařství LF MU <sup>2</sup>Centrum výzkumu vývoje osobnosti a etnicity FSS  
MU

## 1 Cíl a metoda zkoumání

Je všeobecně známo, že potmě se lépe usíná a spí než za světla. Vzhledem k tomu, že lidé spí většinou v noci a že noc považujeme dosud za dobu, kdy je tma, málokdo se doposud zabýval tím, jaké problémy vznikají, když v noci tma není, alespoň cestou soustavného výzkumu. V praxi je drastický vliv nedostatku tmy zřejmě brán jako natolik evidentní, že je přinejmenším od doby vynálezu elektrických zdrojů světla světlo používáno k mučení, jak je známo z popisů nacistických a zejména komunistických praktik.

Zatímco podrobné zkoumání, co přesně se v organismu při nedostatku tmy děje, je složité a časově náročné, lze poměrně rychle získat informace o tom, nakolik si lidé problému nedostatku tmy již všimli a nakolik se jich samotných týká. Jaké části populace vinou rušivého osvětlení spí někdy neklidně, jaké části populace vadí nějaká světla instalovaná před jejich okny.

My jsme k tomuto účelu sestavili následující dotazník, který jeden z autorů (M. Forejt) dával k vyplnění lidem, se kterými se dostal do kontaktu. Touto levnou a rychlou metodou bylo shromážděno i v dané velmi krátké lhůtě poměrně hodně dat z různých věkových i sídelních skupin.

DOTAZNÍK

### VLIV SVĚTLA NA USÍNÁNÍ A SPÁNEK

VĚK \_\_\_\_\_ POHLAVÍ \_\_\_\_\_ DATUM \_\_\_\_\_

#### 1. V zaměstnání pracujete:

1 pouze přes den 3 pouze přes noc 2 na vícesměnný provoz (ráno, odpoledne i v noci)

#### 2. Bydlíte:

1 ve velkoměstě 2 na maloměstě 3 na vesnici

#### 3. Máte potíže s usínáním?

1 NE 2 ANO ⇒ a při světle b při hluku  
c při tmě d jiné důvody

#### 4. Ovlivňuje Vaše usínání a kvalitu spánku měsíc?

1 NE 2 ANO ⇒ a kdykoliv, když svítí  
b pouze úplněk

#### 5. Nachází se v blízkosti Vašeho domu nějaký zdroj světla, který Vám vadí při usínání a spánku (pouliční lampa, světelná reklama, frekventovaná silnice – světla aut...)?

1 NE 2 ANO

Pokud ano, napište o jaký zdroj světla se jedná, a jak se proti němu bráníte.

.....  
.....

#### 6. Cítíte se ráno ospalí, pokud kvalitu Vašeho spánku narušuje nechtěné světlo?

1 NE 2 ANO

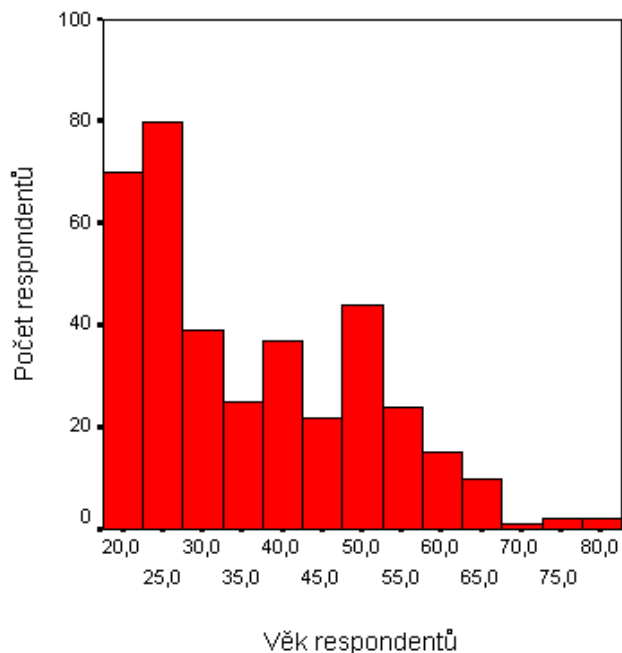
Dotazník vypracován v rámci projektu VaV/740/3/03 schváleném MŽP ČR, *Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území ČR.*

## 2 Předběžné výsledky dotazníkového šetření

### 2.1 Popis výzkumného vzorku

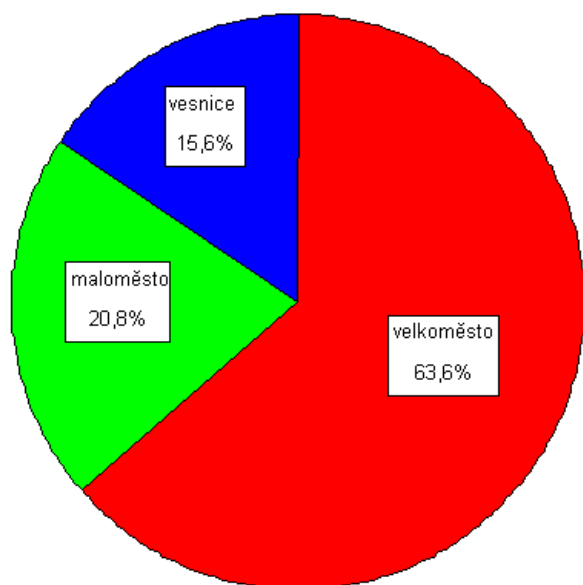
Celkem se předběžného výzkumu účastnilo 371 respondentů. Většina má trvalé bydliště na území Jihomoravského kraje (Brno, Znojmo, Břeclav), dále pak v Kraji Moravskoslezském, Východočeském a Západočeském.

Respondenti byli ve věku 18-80 let (Obr. 1). Průměrný věk dotazovaných činí 36,0 let, směrodatná odchylka 14,1, z toho 264 žen (71,2 %) a 107 mužů (28,8 %). Průměrný věk mužů a žen se signifikantně neliší. Respondenty jsme pro další analýzy rozdělili do tří věkových kategorií: 18-29, 30-49, 50 a více. Zastoupení obou pohlaví v jednotlivých věkových kategoriích je vyrovnané.



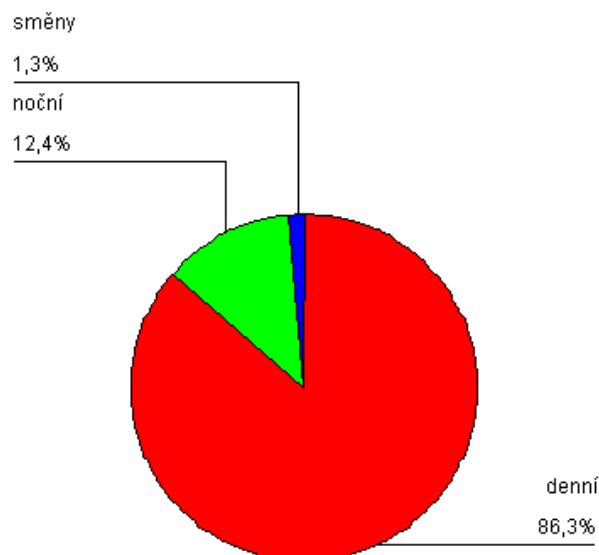
Obr. 1: Věkové rozložení respondentů

Většina respondentů bydlí ve velkoměstě (63,6%). Na maloměstě bydlí 20,8% a na vesnici 15,6% respondentů (viz Obr. 2).



Obr. 2: Bydliště respondentů

Téměř všichni dotazovaní pracují pouze ve dne (86,3%), pouze v noci pracuje 12,4% a ve směnném provozu 1,3% jedinců (viz Obr.3). Pro účely dalšího zpracování jsme vytvořili dvě kategorie: 1. pracuje pouze ve dne 2. pracuje pouze v noci + ve směnném provozu.

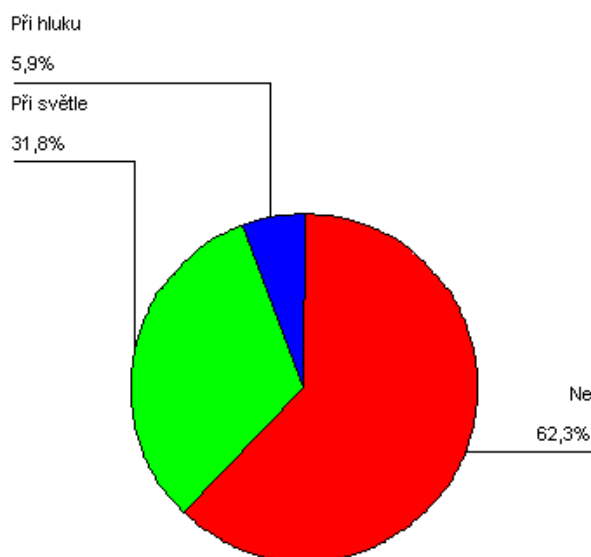


Obr. 3: Práce respondentů: denní / noční / směnný provoz

## 2.2 Výsledky

### 2.2.1 Potíže s usínáním

Potíže s usínáním má 37,7% dotazovaných, 31,8% při světle a 5,9% při hluku (viz. Obr. 4). Rozdíly mezi věkovými skupinami a mezi muži a ženami nebyly průkazné. Stejně tak nebyl průkazný vliv zaměstnání a bydliště.



Obr. 4: Máte potíže s usínáním?

### 2.2.2 Vliv měsíce na usínání a kvalitu spánku

Celkem 30,5% respondentů uvedlo, že měsíc negativně působí na jejich usínání a kvalitu spánku. Z toho téměř devadesát procentům vadí pouze měsíc v úplňku (0,25 luxů). Na hodnocení rušivosti měsíčního světla nemá vliv příslušnost k věkové skupině, pohlaví, zaměstnání ani bydliště.

Zjistili jsme, že jedinci, kteří mají problémy s usínáním, si častěji stěžují na rušivý vliv měsíce (49,6 % versus 32,6 % u jedinců, kteří problémy s usínáním nemají,  $p \leq 0,01$ ).

### 2.2.3 Rušivé osvětlení v blízkosti domu

Rušivé osvětlení v blízkosti domu, které narušuje spánek a usínání uvádí přibližně 22 % respondentů. Naprostá většina z nich (93 %) si stěžuje na pouliční lampy, ve 28 % případů zmiňují rovněž světla automobilů. Pár jedinců (2 %) si také stěžovalo např. na světelnou reklamu (billboardy, obchody, restaurace, reklamní světelný zdroj na obloze z diskotéky) a osvětlené památky

Zjistili jsme, že příslušnost k věkové skupině nemá průkazný vliv na to, zda si respondenti stěžují na rušivý vliv světla. Muži si stěžovali signifikantně více než ženy (30,8 % versus 18,2 % případů,  $p \leq 0,01$ ). Z těch, kdo si stěžovali, muži uvádějí častěji než ženy jako rušivé světlo lamp, v hodnocení rušivosti světla automobilů se pohlaví neliší. Muži také častěji uvádějí, že se proti rušivému světlu brání (29,9 % versus 17,4 %,  $p \leq 0,01$ ). Obrana spočívá nejčastěji v použití žaluzií, rolet, závěsů, pásky přes oči, či zakrytí tváře polštářem, avšak někdy také dochází k přestěhování celé ložnice do pokoje s větší tmou.

Na osvětlení si více stěžují lidé pracující ve dne oproti lidem pracujícím v noci či ve směnném provozu, ale tento rozdíl není statisticky průkazný ( $p = 0,061$ ). Bydliště signifikantní vliv nemá.

Jedinci, kteří mají problémy s usínáním, si přibližně 5x více stěžují na rušivé osvětlení oproti těm, kteří usínají bez problémů (43,6 % versus 8,7 %,  $p \leq 0,0005$ ).

### 2.2.4 Ranní ospalost v případě rušivého světla

Na otázku, zda se respondenti cítí ráno ospalí, jestliže jejich spánek narušuje nechtěné světlo, odpovědělo kladně 49,3 % dotazovaných. Častěji si stěžovali jedinci pracující v noci nebo ve směnném provozu (62,7 %, oproti 47,2 % denních pracovníků,  $p \leq 0,01$ ). Je to dáno tím, že tito jedinci spí ve dne, kdy je rušivý

vliv osvětlení na spánek výrazný. Pohlaví, věková kategorie, ani bydliště na uváděnou ospalost vliv nemá.

Celkem 83,6 % jedinců, kteří mají problémy s usínáním, uvedlo, že se ráno cítí ospalí, oproti 30,7 % jedinců bez problémů s usínáním ( $p \leq 0,0005$ ). Častější ranní ospalost rovněž uváděli ti, kteří si stěžovali na rušivý vliv osvětlení (83,6 % z nich odpovědělo kladně na výše uvedenou otázku oproti 30,7 % těch, kteří si na rušivé osvětlení nestěžovali,  $p \leq 0,0005$ ).

## 2.3 Závěr

Přibližně každý pátý respondent (22 %) si stěžoval na skutečnost, že v blízkosti jeho bydliště je zdroj světla, který narušuje jeho usínání a kvalitu spánku. Při podrobnější analýze se ukázalo, že statisticky průkazně si více stěžují muži, dále jedinci, kteří mají při světle nebo při hluku potíže s usínáním a také ti jedinci, kteří musejí kvůli noční práci a směnnému provozu spát ve dne. Vnímání rušivosti světelných zdrojů nebylo ovlivněno věkem ani skutečností, zda respondenti bydlí na vesnici či ve městě.

Na základě těchto předběžných zjištění se zdá, že pouliční osvětlení vnímají více rušivě především skupiny osob s poruchami usínání. Většinou dotazovaných současný stav venkovního osvětlení při spánku nevadí. Zajímavé je zjištění, že více jedincům vadí světlo měsíce v úplňku než pouliční osvětlení (30,5 % versus 22 %). To lze interpretovat tak, že lidé mají většinou ložnice umístěné tak, že do nich umělé světlo zvenčí ve významné míře nepřichází, ať již proto, že žádné jeho zdroje v blízkosti nejsou, tak možná i proto, že samotná volba ložnice je taková, aby do ní žádné lampy nesvítily. Na tuto volbu jsme se neptali, ostatně je možná často nevědomá, nebo daná jinými primárními důvody (okno do tichého soukromého prostoru místo do ulice). Samozřejmě, že i do takových oken může silně svítit Měsíc a také to dělává.

Tato (zatím předběžná) zjištění se mohou stát podnětem k dalším výzkumům.

# Vliv clonění světelného zdroje na hmyz s noční letovou aktivitou

Pavel Bína

## 1 Úvod

Široké spektrum nočních druhů všech řádů hmyzu je v pohybu (nejvíce v letu) ovlivňováno světelným zářením, které je přírodního (Měsíc, jasná obloha, blesk, oheň) či lidského (jakékoli osvětlení, oheň) původu.

Na lokální výskyt a pohyb některých druhů hmyzu silně působí osvětlení z lidského zdroje, protože je v daném místě v porovnání s jinými vlivy velmi intenzivní, potažmo i rozšířené. Mnoho druhů světlo láká přímo k jeho zdroji, čehož je hojně využíváno k odchytu hmyzu za vědeckými účely, zvláště například u řádu *Lepidoptera* (motýli), kde většinu druhů lze nejsnadněji získat odchycením na světlo při individuálním sběru nebo do světelných pastí. U hmyzu obecně existuje velmi široké spektrum druhů, které jsou známy pouze životem v noci. Řád *Lepidoptera* obsahuje asi 90 % druhů s noční aktivitou, přičemž část z nich může mít aktivitu i ve dne (z celkového počtu druhů v ČR asi 20 %, často zastoupeni pouze samci, kteří i ve dne aktivně vyhledávají samice k páření).

Různé typy osvětlení mají rozdílný vliv na aktivitu nočního hmyzu. Záleží samozřejmě na mnoha faktorech, obecnými počítá se (zeměpisná šířka, podnebné pásmo, nadmořská výška, roční období, vegetační stupeň apod.) a konče těmi, které se vyskytují nebo působí v dané lokalitě (různé typy biotopů – parkoviště, park, ulice na okraji či v centru města, chodník podél řeky aj., teplota, rychlost větru, oblačnost, srážky apod.). Tyto faktory jdou ruku v ruce s technickými parametry daného zářiče, jako je například intenzita záření, vlnová délka, směr osvětlení či typ krytu. Posledně jmenované faktory – technické parametry – lze jako jediné ze všech ovlivnit a nastavit tak, aby odpovídaly nejlépe účelu a použití.

Častým jevem jsou vysoké počty jedinců hmyzu, kteří jsou lákáni k veřejnému osvětlení a místo toho, aby plnili svou biologickou roli ve vztazích složek daných ekosystémů, tak po celou dobu svitu neustále nalétávají na lampy či jiná zařízení. V těchto případech lze mluvit o opravdovém negativním vlivu světelného zdroje lidského původu na dynamiku výskytu hmyzu, nehledě na to, že se tak hmyz stává snadnou kořistí predátorů, zejména netopýřů, kteří jej zde využívají jako snadno dostupný zdroj potravy.

Tento problém se vyskytuje zejména tam, kde je instalováno osvětlení bez tlumícího zařízení, tedy veřejné osvětlení různého typu se světlem rozptýleným na všechny strany. Zde je dobré podotknout, že mnoho jedinců v těchto podmínkách hyne. Hmyz naráží do rozžhavené lampy a ta jej svým teplem běžně poškodí natolik, že není schopen dalšího letu a padá k zemi.

Další riziko je v nedostatečné těsnosti krytů vůbec, protože lampy nejsou všude rozžhavené natolik, aby neumožnili hmyzu kontakt s jejich povrchem. Ve vhodném prostředí (parky nebo vůbec kousky souvislejší zeleně ve městech a v menší obce obecně)

je často možné sledovat stovky kusů lezoucích po lampě a hledajících sebemenší skulinu k tomu, aby se dostali přímo až k samotnému zdroji jejich oblouznění. Dovnitř lamp se tak dostává mnoho jedinců, kteří již nikdy nevylezou.

Nejvýraznější negativní vliv však představuje výše zmíněný problém, totiž fakt, že hmyz je vysáván z okolí v dosti značném měřítku a tato část pak může chybět jako ekologická jednotka ve společenstvu i jako část trofického řetězce v daném biotopu.

Výzkum, který jsem prováděl, se týkal pozorování hustot jedinců hmyzu s noční aktivitou chycených do světelného lapače s dvěma typy osvětlení – kompaktní zářivkou, zdrojem slabším než má naprostá většina lamp veřejného osvětlení, a zářivkou s krytem seshora.

Mým cílem bylo zjistit, jaký vliv má svícení bez krytu v porovnání se svícením s krytem na aktivitu hmyzu v noci a porovnat oba typy osvětlení.

## 2 Metodika

Výzkum jsem prováděl v prostředí, které odpovídá biotopům jako jsou městské parky nebo souvislejší ozeleněná místa se stromy ve městech, okrajové části vesnic i měst, domy se zahradami obrácenými do ulic apod..

Na odchyt hmyzu jsem použil světelný lapač, který jsem instaloval na zahradu domu na konci obce s jihozápadní expozicí. Ze severní strany byla past asi 50 m vzdálena od lesního porostu, na jih od ní se rozkládala otevřená prostranství do zahrad sousedních domů obce, asi 20 m od ní stála zeď užitného stavení a na západ byl volný prostor nejprve se zahradou domu a pak s loukami a poli za obcí.

Lapač jsem konstruoval tak, aby co nejlépe odpovídal podmínkám nižšího veřejného osvětlení. Do výšky cca 4–4,5 m jsem instaloval kompaktní zářivku Osram s příkonem 23 W a výkonem odpovídajícím standardní žárovce o příkonu 100 W. V místech kolem zářivky nebyly žádné zachytivé bariéry (u světelných pastí běžně užívaných při odchycích za vědeckými účely jsou v místech zářivky bariéry z průhledného materiálu - většinou plexiskla – ze čtyř stran, do nichž nalétávající hmyz naráží a tak je ho zachycen maximální počet). Ve vzdálenosti 20 cm od dolního okraje zářivky jsem umístil lapací trychtýř, do něhož padal omráčený hmyz nalétávající na světelný zdroj. Na spodní část trychtýře jsem připevnil nádobu, ve které byl hmyz zachycen a usmrčen výpary chloroformu, jenž byl umístěn v menší vložené nádobce. Zářivka lapače byla buď ponechána volně a svítila tak do všech stran nebo jsem seshora umístil kryt, který sahal 5 cm pod spodní okraj zářivky, jejíž světelný kužel tak směřoval dolů a mírně do stran, ne však horizontálně, protože ze stran nebyla zářivka vidět.



Past svítila stejnou dobu, po kterou bylo v provozu veřejné osvětlení v obci, tedy v červenci a srpnu od 21 do 1 h, v září od 20 do 1 h. Ranní doba vzhledem k minimální aktivitě hmyzu nebyla zohledněna a tedy ani nebyl proveden odchyt v tuto dobu.

Výzkum jsem prováděl v měsících červnu až září roku 2003. Celkem bylo svíceno 16x (8x s krytem a 8x bez krytu), vždy tak, aby 2 noci (s krytem a bez krytu) byly proti sobě porovnatelné z hlediska klimatických faktorů (teplota, vítr, oblačnost). Zpravidla jsem porovnával materiál z dvou nocí za sebou. Střídal jsem přitom primární umístění lapače s krytem či bez něj (při jednom dvoudenním pokusu jsem první noc svítil bez krytu, druhou s krytem, při dalším dvoudenním pokusu jsem svítil první noc s krytem, druhou bez krytu atd.), abych tak minimálně ovlivnil případnou možnost menšího počtu jedinců hmyzu z druhé noci v důsledku „vychytání“ z noci první.

Zachycený materiál byl dosmrcován v mrazicím zařízení. Determinaci jsem provedl na úrovni řádů, u každého řádu jsem spočetl chycené jedince a určil biomasu zvážením na analytických vahách s rozlišením 0,1mg (zaokrouhloval jsem na mg).

Ilustrační foto umístění lapače a jeho typu



Obr. 1: „K“ Zářivka s krytem

### 3 Výsledky

Odchytil jsem celkem 5523 jedinců z 11 řádů. Při osvětlení s krytem „K“ (kryt) světelná past zachytila 1662 jedinců (30 %) z 9 řádů, při osvětlení bez krytu „Z“ (zářivka) 3861 jedinců (70 %) z 10 řádů

Celková biomasa činila 29 667 mg, z čehož 23 % zaujímali jedinci odchyceni při osvětlení „K“ – 6 694 mg, a 77 % jedinci odchyceni při osvětlení „Z“ – 22 973 mg.



Obr. 2: „Z“ Zářivka bez krytu

Zajímavé je porovnání celkových počtů kusů v jednotlivých řádech a mezi typy osvětlení. Spektrum rozložení počtu je téměř totožné u obou typů osvětlení, jak ukazuje *tabulka 1 a 2*. Řády jsou seřazeny sestupně od nejpočetnějších k těm, v nichž bylo odchyceno nejméně kusů. Je zřejmé, že u řádu *Heteroptera* bylo celkově chyceno více kusů u osvětlení s krytem „K“ (40 proti 36), což je jediná výjimka, ovšem v biomase (viz *tabulka 3 a 4*) je tomu výrazně naopak (61 mg proti 180 mg), u „K“ bylo tedy chyceno nepatrně více jedinců, ale s velmi malou hmotností. Na rozdíl od osvětlení bez krytu „Z“ se tak řád *Heteroptera* posunul před řády *Coleoptera* a *Trichoptera*.

Další pořadí se pak liší pouze u řádů *Neuroptera* a *Sternorrhyncha*, tyto řády však zůstávají těsně při sobě, pouze s opačným umístěním.

Ještě výrazněji se podobnost rozložení pořadí mezi jednotlivými typy osvětlení objevuje u biomasy, znázorněně v *tabulce 3 a 4*. Pořadí v těchto tabulkách však příliš nekoresponduje s pořadím u počtu kusů (viz *tabulka 1 a 2*). Tento fakt ukazuje na výskyt malých či velkých kusů v jednotlivých řádech.

Např. u řádů *Trichoptera* a *Lepidoptera* byli chyceni převážně velcí jedinci:

*Trichoptera* – tvoří 0,96 % počtu ks u osvětlení „Z“ a 1,14 % počtu ks u osvětlení „K“, ALE 6,65 % biomasy a 6,9 % biomasy,

*Lepidoptera* – tvoří 21,13 % počtu ks u osvětlení „Z“ a 19,31 % počtu ks u osvětlení „K“, ALE 85,16 % biomasy a 88,5 % biomasy.

Avšak u řádů *Diptera* a *Hymenoptera* byli naopak chyceni jedinci malí:

*Diptera* – tvoří **66,67 % počtu ks** u osvětlení „Z“ a **67,75 % počtu ks** u osvětlení „K“, **ALE 3,45 % biomasy** a **1,75 % biomasy**,

*Hymenoptera* – tvoří **8 % počtu ks** u osvětlení „Z“ a **7,7 % počtu ks** u osvětlení „K“, **ALE 2,98 % biomasy** a **1,2 % biomasy**.

Spektrum řádů se lišilo nepatrně. Ty řády, které jsou obsaženy v jednom typu osvětlení a v druhém se nevyskytují, mají minimální počty kusů – celkem 3 jedinci z řádu Psocoptera – pisivky u „K“ (kteří u „Z“ nejsou), 1 kus z řádu *Plecoptera* – pošvatky a 1 kus z řádu *Odonata* - vážky u „Z“ (kteří u „K“ nejsou). Celkem tedy odchyceny na osvětlení „K“ a „Z“ mají 8 společných řádů z celkových 11 přítomných. V těchto 8 řádech, kterými se odchyceny „K“ a „Z“ překrývají, jsou:

- *Coleoptera* – brouci
- *Diptera* – dvoukřídlí
- *Heteroptera* – ploštice
- *Hymenoptera* – blanokřídlí
- *Lepidoptera* – motýli
- *Neuroptera* – síťokřídlí
- *Trichoptera* – chrostíci
- *Sternorrhyncha*.

**Tabulky 5 a 6** ukazují absolutní počty jedinců chycených v jednotlivé dny a jejich biomasu v rámci řádu. Je z nich zřejmé, že odchyt bez krytu tvoří více než dvě třetiny celkového počtu chycených jedinců, a to jak v absolutním počtu kusů, tak v jejich váze (tedy biomasu).

Celkové porovnání jsem mohl provést na základě porovnání vždy dvou dnů proti sobě. Klimatické podmínky byly vždy v těchto dvou dnech téměř totožné a tyto dny následovaly přímo po sobě nebo byly blízko sebe. V **tabulkách 5 a 6** jsou tyto dny označeny velkými písmeny, která k sobě patří (pod písmenem **A** je tedy den 19.7., kdy byl proveden odchyt pouze se zářivkou „Z“, který byl porovnán s dnem 22.7., kdy byl proveden odchyt s krytem „K“ atd.).

**Tabulky 7 až 22** ukazují odchyt v jednotlivých dnech. V tabulkách 11 a 12 je patrné, že 5.8. došlo k nejvýraznějšímu navýšení počtu jedinců u „K“ proti „Z“, protože bylo odchyceno 22 jedinců vůči 6.8., kdy bylo odchyceno pouze 5 jedinců. V biomasu se však tyto dny liší jen velmi nepatrně – 5.8. („K“) 5 mg a 6.8. („Z“) 4 mg. Dne 5.8. tedy přilétlo více velmi malých kusů nebo naopak – dne 6.8. přilétlo menší množství větších kusů. Podobně je tento jev možno pozorovat v tabulkách 7 a 8 u řádu *Diptera* a v **tabulkách 9 a 10** u řádu *Hymenoptera*.

Celkově je možné pozorovat výrazný rozdíl jak v počtech jedinců, tak v jejich hmotnosti, v naprosté většině porovnávaných dnů.

Grafy 1 až 3 zobrazují porovnání jednotlivých typů osvětlení v počtech jedinců tak, jak byly zaznamenány v tabulkách. Je zde patrný výrazný rozdíl. V grafu 3 pak hlavní mřížka osy x (jednotlivá data odchytu) ukazuje, které dny byly porovnávány v rámci rozdílných typů osvětlení.

## 4 Diskuse

Výsledky jasně ukazují, že osvětlení s krytem láká menší počty jedinců hmyzu. V součtu tvoří jedinci chycení na osvětlení s krytem asi 43 % součtu jedinců odchycených na osvětlení bez krytu. V celkovém součtu všech odchycených jedinců je pak osvětlení s krytem zastoupeno pouze z 30 %. Podíl „K“ ku „Z“ je tedy 1:2,3.

Hodnoty v biomasu tyto rozdíly ještě více potvrzují – jedinci, kteří přilétli na osvětlení s krytem, tvoří necelých 30 % jedinců, kteří byli nalákáni na osvětlení bez krytu. Podíl „K“ ku „Z“ je zde 1:3,4. Několikrát byl pozorován jev, kdy na osvětlení s krytem „K“ přilétlo více jedinců než na osvětlení bez krytu „Z“ pouze ve dne, který s ním byl porovnáván, ale tyto jedinci měli vždy menší biomasu než ti, kteří přilétli na osvětlení bez krytu „K“. Tento jev se nevyskytoval často ani pravidelně v čase, typu osvětlení či ve spektru řádů, nelze z něj tedy vyvodit žádný obecný závěr, jednalo se o náhodný výskyt.

Obecně lze konstatovat, že zářivky bez krytu lákají dvakrát tolik hmyzu než zářivky opatřené tímto jednoduchým zařízením a představují tak dobré řešení negativního vlivu světelného znečištění na populaci hmyzu.

## 5 Závěr

Negativním vlivům osvětlení vůbec na jedince hmyzu (jednak jejich „vysávání“ z okolí, jednak jejich poškození či úhynu v lampě) nelze zcela zabránit, lze je však zmírnit, a to celkem snadným způsobem. Na lampy veřejného osvětlení je možné seshora montovat tmavě zbarvené kryty, které změní polohu osvětlení z té, která dopadá do „všech směrů“ nebo „horizontálně dolů a do stran“ na tu, která nejvíce odpovídá jejich účelu a funkci, tedy na polohu osvětlení „(vertikálně) dolů“. Následně je pak možné také zmenšit velikost příkonu (změnit intenzitu záření) použitím žárovek s menším výkonem a zároveň tak šetřit elektřinou, potažmo poplatky za veřejné osvětlení.

Tím by měl být snížen také počet mračen nalétávajícího hmyzu u lamp veřejného osvětlení, protože poloha osvětlení „dolů“ bude lákat hmyz opravdu pouze z nejbližšího okolí zdroje.

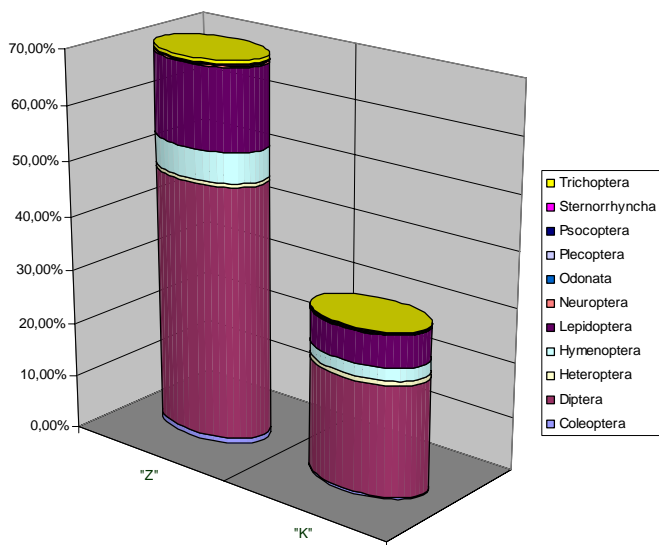
Pavel Bína

Přírodovědecká fakulta MU v Brně, Katedra Zoologie a ekologie

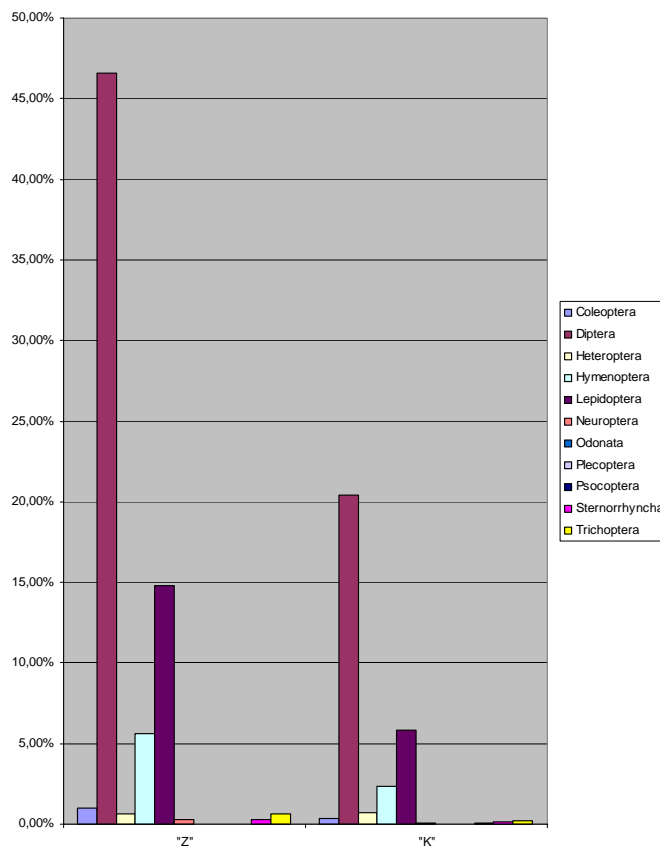
Kocanda 328, 592 01 Herálec pod Žákovou horou

agliatau AT email tecka cz

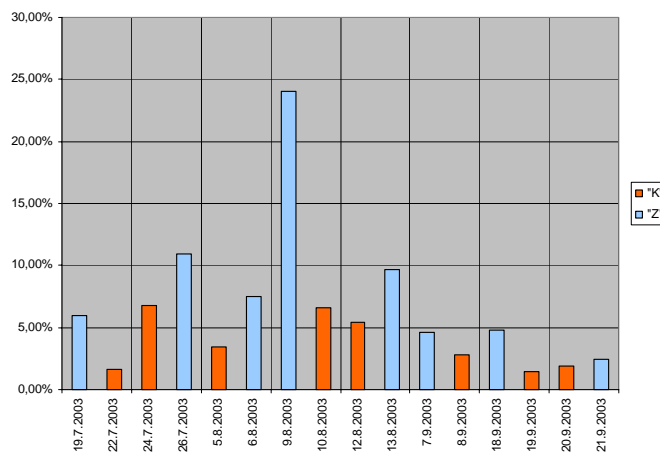
Graf 1 - Zastoupení jednotlivých řádů v celkovém množství odchycených jedinců



Graf 2 - Procentuální podíl jednotlivých řádů z celkového odchytu



Graf 3 - Procentuální podíl typu osvětlení na počtu odchycených jedinců



**Tab. 1 a 2: Počet kusů u jednotlivých řádů osvětlení „Z“**

osvětlení „Z“			osvětlení „K“		
Diptera	Počet ks "Z"	2574	Diptera	Počet ks "K"	1126
	%počtu ks "Z"	66,67		%počtu ks "K"	67,75
	% celk. počtu	46,61		% celk. počtu	20,39
Lepidoptera	Počet ks "Z"	816	Lepidoptera	Počet ks "K"	321
	%počtu ks "Z"	21,13		%počtu ks "K"	19,31
	% celk. počtu	14,77		% celk. počtu	5,81
Hymenoptera	Počet ks "Z"	309	Hymenoptera	Počet ks "K"	128
	%počtu ks "Z"	8,00		%počtu ks "K"	7,70
	% celk. počtu	5,59		% celk. počtu	2,32
Coleoptera	Počet ks "Z"	56	Heteroptera	Počet ks "K"	40
	%počtu ks "Z"	1,45		%počtu ks "K"	2,41
	% celk. počtu	1,01		% celk. počtu	0,72
Trichoptera	Počet ks "Z"	37	Coleoptera	Počet ks "K"	19
	%počtu ks "Z"	0,96		%počtu ks "K"	1,14
	% celk. počtu	0,67		% celk. počtu	0,34
Heteroptera	Počet ks "Z"	36	Trichoptera	Počet ks "K"	11
	%počtu ks "Z"	0,93		%počtu ks "K"	0,66
	% celk. počtu	0,65		% celk. počtu	0,20
Neuroptera	Počet ks "Z"	16	Sternorrhyncha	Počet ks "K"	9
	%počtu ks "Z"	0,41		%počtu ks "K"	0,54
	% celk. počtu	0,29		% celk. počtu	0,16
Sternorrhyncha	Počet ks "Z"	15	Neuroptera	Počet ks "K"	5
	%počtu ks "Z"	0,39		%počtu ks "K"	0,30
	% celk. počtu	0,27		% celk. počtu	0,09
Odonata	Počet ks "Z"	1	Psocoptera	Počet ks "K"	3
	%počtu ks "Z"	0,03		%počtu ks "K"	0,18
	% celk. počtu	0,02		% celk. počtu	0,05
Plecoptera	Počet ks "Z"	1	Celkem Počet ks "K"		1662
	%počtu ks "Z"	0,03	Celkem %počtu ks "K"		100,00
	% celk. počtu	0,02	Celkem % celk. počtu		30,09
Celkem Počet ks "Z"		3861			
Celkem %počtu ks "Z"		100,00			
Celkem % celk. počtu		69,91			

**Tab. 3 a 4: Biomasa řádů**

osvětlení „Z“			osvětlení „K“		
Lepidoptera	Biomasa řádu "Z"	19563	Lepidoptera	Biomasa řádu "K"	5924
	% biomasy "Z"	85,16		% biomasy "K"	88,50
	% z celk. biomasy	65,94		% z celk. biomasy	19,97
Trichoptera	Biomasa řádu "Z"	1528	Diptera	Biomasa řádu "K"	462
	% biomasy "Z"	6,65		% biomasy "K"	6,90
	% z celk. biomasy	5,15		% z celk. biomasy	1,56
Diptera	Biomasa řádu "Z"	793	Trichoptera	Biomasa řádu "K"	118
	% biomasy "Z"	3,45		% biomasy "K"	1,76
	% z celk. biomasy	2,67		% z celk. biomasy	0,40
Hymenoptera	Biomasa řádu "Z"	685	Hymenoptera	Biomasa řádu "K"	80
	% biomasy "Z"	2,98		% biomasy "K"	1,20
	% z celk. biomasy	2,31		% z celk. biomasy	0,27
Heteroptera	Biomasa řádu "Z"	180	Heteroptera	Biomasa řádu "K"	61
	% biomasy "Z"	0,78		% biomasy "K"	0,91
	% z celk. biomasy	0,61		% z celk. biomasy	0,21
Coleoptera	Biomasa řádu "Z"	144	Coleoptera	Biomasa řádu "K"	23
	% biomasy "Z"	0,63		% biomasy "K"	0,34
	% z celk. biomasy	0,49		% z celk. biomasy	0,08
Neuroptera	Biomasa řádu "Z"	61	Neuroptera	Biomasa řádu "K"	18
	% biomasy "Z"	0,27		% biomasy "K"	0,27
	% z celk. biomasy	0,21		% z celk. biomasy	0,06
Sternorrhyncha	Biomasa řádu "Z"	14	Sternorrhyncha	Biomasa řádu "K"	6
	% biomasy "Z"	0,06		% biomasy "K"	0,09
	% z celk. biomasy	0,05		% z celk. biomasy	0,02
Odonata	Biomasa řádu "Z"	3	Psocoptera	Biomasa řádu "K"	2
	% biomasy "Z"	0,01		% biomasy "K"	0,03
	% z celk. biomasy	0,01		% z celk. biomasy	0,01
Plecoptera	Biomasa řádu "Z"	2	Celkem Biomasa řádu "K"		6694
	% biomasy "Z"	0,01	Celkem % biomasy "K"		100,00
	% z celk. biomasy	0,01	Celkem % z celk. biomasy		22,56
Celkem Biomasa řádu "Z"		22973			
Celkem % biomasy "Z"		100,00			
Celkem % z celk. biomasy		77,44			



Tab. 5: Odchyt bez krytu

<b>"Z" (zářivka)</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>	
		Datum								
Řád		19.7.	26.7.	6.8.	9.8.	13.8.	7.9.	18.9.	21.9.	Součet
<i>Coleoptera</i>	Počet	2	6	8	15	13	3	2	7	56
	Biomasa [mg]	6	8	2	20	96	1	2	9	144
<i>Diptera</i>	Počet	36	278	311	1146	238	240	226	99	2574
	Biomasa [mg]	41	162	62	232	91	109	43	53	793
<i>Heteroptera</i>	Počet		9	5	6	10	1	2	3	36
	Biomasa [mg]		107	4	37	12	3	3	14	180
<i>Hymenoptera</i>	Počet	16	26	8	31	202	6	12	8	309
	Biomasa [mg]	9	52	20	109	450	6	11	28	685
<i>Lepidoptera</i>	Počet	268	270	80	115	63	1	14	5	816
	Biomasa [mg]	8935	4703	1397	2544	1035	5	686	258	19563
<i>Neuroptera</i>	Počet	1	3		6	4	1	686	1	16
	Biomasa [mg]	1	11		22	17	4	686	6	61
<i>Odonata</i>	Počet	1								1
	Biomasa [mg]	3								3
<i>Plecoptera</i>	Počet								1	1
	Biomasa [mg]								2	2
<i>Sternorrhyncha</i>	Počet				2	5	3	2	3	15
	Biomasa [mg]				2	7	3	1	1	14
<i>Trichoptera</i>	Počet	3	12	3	5			7	7	37
	Biomasa [mg]	27	388	21	175			390	527	1528
<b>Celkem Počet</b>		<b>327</b>	<b>604</b>	<b>415</b>	<b>1326</b>	<b>535</b>	<b>255</b>	<b>265</b>	<b>134</b>	<b>3861</b>
<b>Celkem Biomasa [mg]</b>		<b>9022</b>	<b>5431</b>	<b>1506</b>	<b>3141</b>	<b>1708</b>	<b>131</b>	<b>1136</b>	<b>898</b>	<b>22973</b>

Tab. 6: Odchyt s krytem

<b>"K" (kryt)</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>	
		Datum								
Řád		22.7.	24.7.	5.8.	10.8.	12.8.	8.9.	19.9.	20.9.	Součet
<i>Coleoptera</i>	Počet		2	6	6		1		4	19
	Biomasa [mg]		2	1	8		1		11	23
<i>Diptera</i>	Počet	54	136	107	304	228	141	68	88	1126
	Biomasa [mg]	28	82	79	150	74	24	14	11	462
<i>Heteroptera</i>	Počet	1	7	22	5	5				40
	Biomasa [mg]	1	22	5	29	4				61
<i>Hymenoptera</i>	Počet	8	33	8	24	41	5	4	5	128
	Biomasa [mg]	5	33	2	14	8	5	10	3	80
<i>Lepidoptera</i>	Počet	28	188	44	21	26	5	5	4	321
	Biomasa [mg]	421	3023	645	819	417	211	211	177	5924
<i>Neuroptera</i>	Počet		2		2	1				5
	Biomasa [mg]		6		11	1				18
<i>Psocoptera</i>	Počet				1			2		3
	Biomasa [mg]				1			1		2
<i>Sternorrhyncha</i>	Počet				3		2	1	3	9
	Biomasa [mg]				3		1	1	1	6
<i>Trichoptera</i>	Počet		7	1				2	1	11
	Biomasa [mg]		17	4				93	4	118
<b>Celkem Počet</b>		<b>91</b>	<b>375</b>	<b>188</b>	<b>366</b>	<b>301</b>	<b>154</b>	<b>82</b>	<b>105</b>	<b>1662</b>
<b>Celkem Biomasa [mg]</b>		<b>455</b>	<b>3185</b>	<b>736</b>	<b>1035</b>	<b>504</b>	<b>242</b>	<b>330</b>	<b>207</b>	<b>6694</b>

<b>Tab. 7</b>	<b>„Z“</b>	<b>A-19.7.</b>	<b>Tab. 8</b>	<b>„K“</b>	<b>A-22.7.</b>
<i>Coleoptera</i>	Počet	2	<i>Coleoptera</i>	Počet	
	Biomasa	6 mg		Biomasa	
<i>Diptera</i>	Počet	36	<i>Diptera</i>	Počet	54
	Biomasa	41 mg		Biomasa	28 mg
<i>Heteroptera</i>	Počet		<i>Heteroptera</i>	Počet	1
	Biomasa			Biomasa	1 mg
<i>Hymenoptera</i>	Počet	16	<i>Hymenoptera</i>	Počet	8
	Biomasa	9 mg		Biomasa	5 mg
<i>Lepidoptera</i>	Počet	268	<i>Lepidoptera</i>	Počet	28
	Biomasa	8935 mg		Biomasa	421 mg
<i>Neuroptera</i>	Počet	1	<i>Neuroptera</i>	Počet	
	Biomasa	1 mg		Biomasa	
<i>Sternorrhyncha</i>	Počet		<i>Sternorrhyncha</i>	Počet	
	Biomasa			Biomasa	
<i>Trichoptera</i>	Počet	3	<i>Trichoptera</i>	Počet	
	Biomasa	27 mg		Biomasa	
<i>Odonata</i>	Počet	1	<i>Psocoptera</i>	Počet	
	Biomasa	3 mg		Biomasa	
<i>Plecoptera</i>	Počet		Celkem Počet		91
	Biomasa		Celkem Biomasa		455 mg
Celkem Počet		327			
Celkem Biomasa		9022 mg			

<b>Tab. 9</b>	<b>„Z“</b>	<b>B-26.7.</b>	<b>Tab. 10</b>	<b>„K“</b>	<b>B-24.7.</b>
<i>Coleoptera</i>	Počet	6	<i>Coleoptera</i>	Počet	2
	Biomasa	8 mg		Biomasa	2 mg
<i>Diptera</i>	Počet	278	<i>Diptera</i>	Počet	136
	Biomasa	162 mg		Biomasa	82 mg
<i>Heteroptera</i>	Počet	9	<i>Heteroptera</i>	Počet	7
	Biomasa	107 mg		Biomasa	22 mg
<i>Hymenoptera</i>	Počet	26	<i>Hymenoptera</i>	Počet	33
	Biomasa	52 mg		Biomasa	33 mg
<i>Lepidoptera</i>	Počet	270	<i>Lepidoptera</i>	Počet	188
	Biomasa	4703 mg		Biomasa	3023 mg
<i>Neuroptera</i>	Počet	3	<i>Neuroptera</i>	Počet	2
	Biomasa	11 mg		Biomasa	6 mg
<i>Sternorrhyncha</i>	Počet		<i>Sternorrhyncha</i>	Počet	
	Biomasa			Biomasa	
<i>Trichoptera</i>	Počet	12	<i>Trichoptera</i>	Počet	7
	Biomasa	388 mg		Biomasa	17 mg
<i>Odonata</i>	Počet		<i>Psocoptera</i>	Počet	
	Biomasa			Biomasa	
<i>Plecoptera</i>	Počet		Celkem Počet		375
	Biomasa		Celkem Biomasa		3185 mg
Celkem Počet		604			
Celkem Biomasa		5431 mg			

<b>Tab. 11</b>	<b>„Z“</b>	<b>C-6.8.</b>	<b>Tab. 12</b>	<b>„K“</b>	<b>C-5.8.</b>
<i>Coleoptera</i>	Počet	8	<i>Coleoptera</i>	Počet	6
	Biomasa	2 mg		Biomasa	1 mg
<i>Diptera</i>	Počet	311	<i>Diptera</i>	Počet	107
	Biomasa	62 mg		Biomasa	79 mg
<i>Heteroptera</i>	Počet	5	<i>Heteroptera</i>	Počet	22
	Biomasa	4 mg		Biomasa	5 mg
<i>Hymenoptera</i>	Počet	8	<i>Hymenoptera</i>	Počet	8
	Biomasa	20 mg		Biomasa	2 mg
<i>Lepidoptera</i>	Počet	80	<i>Lepidoptera</i>	Počet	44
	Biomasa	1397 mg		Biomasa	645 mg
<i>Neuroptera</i>	Počet		<i>Neuroptera</i>	Počet	
	Biomasa			Biomasa	
<i>Sternorrhyncha</i>	Počet		<i>Sternorrhyncha</i>	Počet	
	Biomasa			Biomasa	

<i>Trichoptera</i>	Počet	3	<i>Trichoptera</i>	Počet	1
	Biomasa	21 mg		Biomasa	4 mg
<i>Odonata</i>	Počet		<i>Psocoptera</i>	Počet	
	Biomasa			Biomasa	
<i>Plecoptera</i>	Počet		Celkem Počet		188
	Biomasa		Celkem Biomasa		736 mg
Celkem Počet		415			
Celkem Biomasa		1506 mg			

<b>Tab. 13</b>	<b>„Z“</b>	<b>D-9.8.</b>	<b>Tab. 14</b>	<b>„K“</b>	<b>D-10.8.</b>
<i>Coleoptera</i>	Počet	15	<i>Coleoptera</i>	Počet	6
	Biomasa	20 mg		Biomasa	8 mg
<i>Diptera</i>	Počet	1146	<i>Diptera</i>	Počet	304
	Biomasa	232 mg		Biomasa	150 mg
<i>Heteroptera</i>	Počet	6	<i>Heteroptera</i>	Počet	5
	Biomasa	37 mg		Biomasa	29 mg
<i>Hymenoptera</i>	Počet	31	<i>Hymenoptera</i>	Počet	24
	Biomasa	109 mg		Biomasa	14 mg
<i>Lepidoptera</i>	Počet	115	<i>Lepidoptera</i>	Počet	21
	Biomasa	2544 mg		Biomasa	819 mg
<i>Neuroptera</i>	Počet	6	<i>Neuroptera</i>	Počet	2
	Biomasa	22 mg		Biomasa	11 mg
<i>Sternorrhyncha</i>	Počet	2	<i>Sternorrhyncha</i>	Počet	3
	Biomasa	2 mg		Biomasa	3 mg
<i>Trichoptera</i>	Počet	5	<i>Trichoptera</i>	Počet	
	Biomasa	175 mg		Biomasa	
<i>Odonata</i>	Počet		<i>Psocoptera</i>	Počet	1
	Biomasa			Biomasa	1 mg
<i>Plecoptera</i>	Počet		Celkem Počet		366
	Biomasa		Celkem Biomasa		1035 mg
Celkem Počet		1326			
Celkem Biomasa		3141 mg			

<b>Tab. 15</b>	<b>„Z“</b>	<b>E-13.8.</b>	<b>Tab. 16</b>	<b>„K“</b>	<b>E-12.8.</b>
<i>Coleoptera</i>	Počet	13	<i>Coleoptera</i>	Počet	
	Biomasa	96 mg		Biomasa	
<i>Diptera</i>	Počet	238	<i>Diptera</i>	Počet	228
	Biomasa	91 mg		Biomasa	74 mg
<i>Heteroptera</i>	Počet	10	<i>Heteroptera</i>	Počet	5
	Biomasa	12 mg		Biomasa	4 mg
<i>Hymenoptera</i>	Počet	202	<i>Hymenoptera</i>	Počet	41
	Biomasa	450 mg		Biomasa	8 mg
<i>Lepidoptera</i>	Počet	63	<i>Lepidoptera</i>	Počet	26
	Biomasa	1035 mg		Biomasa	417 mg
<i>Neuroptera</i>	Počet	4	<i>Neuroptera</i>	Počet	1
	Biomasa	17 mg		Biomasa	1 mg
<i>Sternorrhyncha</i>	Počet	5	<i>Sternorrhyncha</i>	Počet	
	Biomasa	7 mg		Biomasa	
<i>Trichoptera</i>	Počet		<i>Trichoptera</i>	Počet	
	Biomasa			Biomasa	
<i>Odonata</i>	Počet		<i>Psocoptera</i>	Počet	
	Biomasa			Biomasa	
<i>Plecoptera</i>	Počet		Celkem Počet		301
	Biomasa		Celkem Biomasa		504 mg
Celkem Počet		535			
Celkem Biomasa		1708 mg			

<b>Tab. 17</b>	<b>„Z“</b>	<b>F-7.9.</b>	<b>Tab. 18</b>	<b>„K“</b>	<b>F-8.9.</b>
<i>Coleoptera</i>	Počet	3	<i>Coleoptera</i>	Počet	1
	Biomasa	1 mg		Biomasa	1 mg
<i>Diptera</i>	Počet	240	<i>Diptera</i>	Počet	141
	Biomasa	109 mg		Biomasa	24 mg
<i>Heteroptera</i>	Počet	1	<i>Heteroptera</i>	Počet	
	Biomasa	3 mg		Biomasa	

<i>Hymenoptera</i>	Počet	6	<i>Hymenoptera</i>	Počet	5
	Biomasa	6 mg		Biomasa	5 mg
<i>Lepidoptera</i>	Počet	1	<i>Lepidoptera</i>	Počet	5
	Biomasa	5 mg		Biomasa	211 mg
<i>Neuroptera</i>	Počet	1	<i>Neuroptera</i>	Počet	
	Biomasa	4 mg		Biomasa	
<i>Sternorrhyncha</i>	Počet	3	<i>Sternorrhyncha</i>	Počet	2
	Biomasa	3 mg		Biomasa	1 mg
<i>Trichoptera</i>	Počet		<i>Trichoptera</i>	Počet	
	Biomasa			Biomasa	
<i>Odonata</i>	Počet		<i>Psocoptera</i>	Počet	
	Biomasa			Biomasa	
<i>Plecoptera</i>	Počet		Celkem Počet		154
	Biomasa		Celkem Biomasa		242 mg
Celkem Počet		255			
Celkem Biomasa		131 mg			

<b>Tab. 19</b>	<b>„Z“</b>	<b>G-18.9.</b>	<b>Tab. 20</b>	<b>„K“</b>	<b>G-19.9.</b>
<i>Coleoptera</i>	Počet	2	<i>Coleoptera</i>	Počet	
	Biomasa	2 mg		Biomasa	
<i>Diptera</i>	Počet	226	<i>Diptera</i>	Počet	68
	Biomasa	43 mg		Biomasa	14 mg
<i>Heteroptera</i>	Počet	2	<i>Heteroptera</i>	Počet	
	Biomasa	3 mg		Biomasa	
<i>Hymenoptera</i>	Počet	12	<i>Hymenoptera</i>	Počet	4
	Biomasa	11 mg		Biomasa	10 mg
<i>Lepidoptera</i>	Počet	14	<i>Lepidoptera</i>	Počet	5
	Biomasa	686 mg		Biomasa	211 mg
<i>Neuroptera</i>	Počet	6	<i>Neuroptera</i>	Počet	
	Biomasa	6 mg		Biomasa	
<i>Sternorrhyncha</i>	Počet	2	<i>Sternorrhyncha</i>	Počet	1
	Biomasa	1 mg		Biomasa	1 mg
<i>Trichoptera</i>	Počet	7	<i>Trichoptera</i>	Počet	2
	Biomasa	390 mg		Biomasa	93 mg
<i>Odonata</i>	Počet		<i>Psocoptera</i>	Počet	2
	Biomasa			Biomasa	1 mg
<i>Plecoptera</i>	Počet		Celkem Počet		82
	Biomasa		Celkem Biomasa		330 mg
Celkem Počet		265			
Celkem Biomasa		1136 mg			

<b>Tab. 21</b>	<b>„Z“</b>	<b>H-21.9.</b>	<b>Tab. 22</b>	<b>„K“</b>	<b>H-20.9.</b>
<i>Coleoptera</i>	Počet	7	<i>Coleoptera</i>	Počet	4
	Biomasa	9 mg		Biomasa	11 mg
<i>Diptera</i>	Počet	99	<i>Diptera</i>	Počet	88
	Biomasa	53 mg		Biomasa	11 mg
<i>Heteroptera</i>	Počet	3	<i>Heteroptera</i>	Počet	
	Biomasa	14 mg		Biomasa	
<i>Hymenoptera</i>	Počet	8	<i>Hymenoptera</i>	Počet	5
	Biomasa	28 mg		Biomasa	3 mg
<i>Lepidoptera</i>	Počet	5	<i>Lepidoptera</i>	Počet	4
	Biomasa	258 mg		Biomasa	177 mg
<i>Neuroptera</i>	Počet	1	<i>Neuroptera</i>	Počet	
	Biomasa	6 mg		Biomasa	
<i>Sternorrhyncha</i>	Počet	3	<i>Sternorrhyncha</i>	Počet	3
	Biomasa	1 mg		Biomasa	1 mg
<i>Trichoptera</i>	Počet	7	<i>Trichoptera</i>	Počet	1
	Biomasa	527 mg		Biomasa	4 mg
<i>Odonata</i>	Počet		<i>Psocoptera</i>	Počet	
	Biomasa			Biomasa	
<i>Plecoptera</i>	Počet	1	Celkem Počet		105
	Biomasa	2 mg	Celkem Biomasa		207 mg
Celkem Počet		134			
Celkem Biomasa		898 mg			



# Atmosférická extinkce v letech 1970 – 95 a příčiny světelného znečištění noční oblohy

Doc. RNDr. Zdeněk Mikulášek., CSc.

Katedra teoretické fyziky a astrofyziky Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity  
v Brně, Kotlářská 2, 611 37 Brno, *mikulas at ics . muni . cz*

## 1 Úvod

Je dobře známým faktem, že jas noční oblohy v posledním půlstoletí postupně vzrůstá. V důsledku toho na obloze už běžně nevidíme slabé hvězdy, účinnost většiny nočních astronomických pozorování klesá, přičemž vše nasvědčuje tomu, že tento negativní vývoj pokračuje i do současnosti. Na zhoršování astroklimatu v daném místě mohou mít dvě skutečnosti, a to 1) očekávané snižování průhlednosti vzdušného obalu planety Země (tj. vzrůst tzv. atmosférické extinkce) zřejmě v důsledku lidské činnosti a 2) narůstající světelné znečištění noční oblohy umělým světlem. První z efektů lze poměrně objektivně posoudit na základě studia extinkčních koeficientů, které jsou získávány jako vedlejší produkt astronomických měření jasnosti kosmických objektů.

Množství astronomických observatoří již analyzovalo a publikovalo vlastní měření atmosférické extinkce, s cílem přispět k hlubšímu pochopení její fyzikální podstaty a k dokumentaci vývoje místního astroklimatu. Podat ucelený přehled těchto studií by bylo dosti náročné, zájemce o tuto problematiku proto odkazují alespoň na stručný výčet prací z let 1970-2000 uveřejněný v úvodní kapitole [2, Mikulášek et al. 2000]. U nás se touto problematikou zabýval zejména Jiří Papoušek s kolektivem ([5, 1984], 1992), který ke studiu extinkce využíval zejména vlastních dlouhodobých pozorování vedených na observatoři na Kraví hoře v Brně. Později, na základě bohatšího pozorovacího materiálu uveřejnil zásadní studie autor tohoto pojednání se spolupracovníky ([2, Mikulášek et al. (2000)] – dále Práce I, [3, Mikulášek et al. (2002)] – Práce II, [6, Svoreň et al., (2002)] – Práce III, [4, Mikulášek et al. (2003)] – Práce IV).

## 2 Poloha a přístrojové vybavení pozorovacích stanišť

Cílem seriálu Práce I až III bylo zavést co možná nejjednodušší model, který by dokázal kvantitativně popsat výsledky fyzikálních procesů, které se na vzniku atmosférické extinkce podílejí, a k hledání sezónních a dlouhodobých (sekulárních) změn, s pomocí nichž by bylo možné i jistým způsobem předvídat další vývoj v této oblasti. K této studii byly vybrány dvě observatoře nacházející se na území bývalého Československa, odlehle 265 kilometrů vzdušnou čarou. První z nich je horská observatoř Astronomického ústavu Slovenské akademie věd na Skalnatém Plese v nadmořské výšce 1783 m, jež se vyznačuje všeobecně dobrými pozorovacími podmínkami, obzvláště v zimní pozorovací sezóně,

kdy vrstva s teplotní inverzí sestupuje pod úroveň observatoře. Hvězdárna je navíc dostatečně vzdálená od průmyslových center a nemnoho světél vzdálených měst na obzoru ani v současnosti noční pozorování příliš neruší.

Její protikladem je hvězdárna Masarykovy univerzity v Brně. Jde o městskou observatoř, umístěnou poblíž centra téměř čtyřsettisícového města (k 1.1.2002 373 tisíc) na vrchu zvaném Kraví hora ve výšce 310 m nad mořem. Atmosféra zde je jistě ovlivněna průmyslovými exhalacemi, lze tu očekávat i zvýšenou koncentraci nečistot souvisejících s rušnou dopravou a dalších produktů lidské činnosti. Noční pozorování je tu citelně rušeno nevhodným městským osvětlením, světly domácností a podniků, jakož i světly dopravních prostředků. Relativní počet nocí použitelných pro fotometrická pozorování během roku je nevelký, pozorovací sezóna je omezena na jarní až podzimní období od května do poloviny října.

Fotoelektrická pozorování byla na obou observatořích prováděna v mezinárodním systému *UBV* a na observatoři na Skalnatém Plese též v systému *IHWIAU* pomocí dvou nezávislých dalekohledů o průměru 0,6 m vybavených standardními fotometry. Vyčerpávající popis přístrojového vybavení lze najít v pracích: Horák et al., 1976; Klocok et al., 1986 a 1987; Papoušek a Vetešník, 1990.

## 3 Co je atmosférická extinkce a jak se zjišťuje?

Atmosférická extinkce vyjadřuje míru relativního zeslabení hustoty toku záření v určitém oboru spektra objektu nalézajícího se mimo zemskou atmosféru při průchodu jeho světla ovzdušším. Tzv. *extinkční koeficient* v barvě *c*,  $k(c)$  je přitom číselně roven extinkci světla objektu nacházejícího se přímo v zenitu. Extinkci světla objektu  $\Delta m(c, h)$  v určité barvě *c* nacházejícího se v úhlové výšce *h* nad obzorem se zpravidla vyjadřujeme v logaritmické míře, v tzv. magnitudách, přičemž pro momentální ustálenou astroklimatickou situaci platí s dostatečnou přesností vztah:

$$\Delta m(c, h) = k(c)X(h),$$

kde  $X(h)$  je tzv. vzdušná hmota, bezrozměrná veličina vyjadřující dráhu světla atmosférou v úhlové výšce *h* vzhledem k tloušťce atmosféry (pro přehlednost ale i u této bezrozměrné veličiny udáváme jednotku, „airmass“, značíme *am*). V zenitu je

vzdušná hmota rovná jedné. Pro výšky do 30° nad obzorem obvykle vystačíme s aproximací platnou v planoparalelní atmosféře, kde  $X(h) = 1/\sin(h)$ , pro menší výšky nad obzorem je třeba sáhnout po složitějším výrazu vyjadřujícím zakřivení atmosféry.

Pokud bychom měřili hvězdnou velikost neproměnné hvězdy o vnější hvězdné velikosti v barvě  $c$ ,  $m_0(c)$  za neproměnných extinkčních podmínek popsanych extinkčním koeficientem  $k(c)$ , pak by se její pozorovaná hvězdná velikost  $m(c)$  měla měnit v závislosti na výšce nad obzorem podle vztahu:

$$m(c, h) = m_0(c) + k(c)X(h),$$

grafem závislosti  $m(c, h)$  na  $X(h)$  by pak byla přímka jejíž směrnice je rovna extinkčnímu koeficientu, průsečík přímky s osou  $y$  pak určí hodnotu hvězdné velikosti objektu pozorovaného mimo zemskou atmosféru. Tomuto postupu se říká metoda tzv. Bouguerových přímek. Její nevýhodou je, že k spolehlivému určení směrnice je zapotřebí jeden a tentýž neproměnný objekt sledovat ve velkém rozsahu vzdušných hmot, tj. buď nízko nad obzorem nebo po dobu několika hodin. Během té doby se ovšem mohou extinkční vlastnosti atmosféry změnit natolik, že to ovlivní a zkreslí vzhled závislosti pozorované hvězdné velikosti  $m(c, h)$  na vzdušné hmotě  $X(h)$ .

Alternativní metodou je měření hvězdných velikostí tzv. extinkčních hvězd – tedy hvězd s dobře známými fotometrickými vlastnostmi. Zde, vždy v rychlém sledu, pozorujeme jasnosti těch standardních hvězd, jež se momentálně vyskytují nízko nad obzorem a vysoko v zenitu. Takto jsme schopni daleko spolehlivěji změřit momentální extinkční vlastnosti atmosféry.

Při měření hvězdných velikostí hvězd obvykle pracujeme v některém z mezinárodních fotometrických systémů, kde systémem vybraných filtrů se ve spektru objektů vymezuje určitá spektrální oblast. V astronomické praxi se nejčastěji setkáváme se širokopásmovým mezinárodním Johnsonovým fotometrickým systémem UB $V$ , charakterizovaným především efektivní vlnovou délkou jednotlivých fotometrických barev (viz tab. 1). V některých pozorovacích kampaních zaměřených na pozorování komet se používá jiný, speciální středněpásmový fotometrický systém centrováný na některé astrofyzikálně zajímavé oblasti spektra plynných součástí komety. Je jím šestibarevný systém *IHW/IAU* pokrývající interval 365 nm až 514 nm.

**Tabulka 1:** Efektivní vlnové délky a pološířky jednotlivých barev fotometrických systémů UB $V$  a *IHW/IAU*. Vlnové délky jsou uvedeny v nanometrech

barva - observatoř	efekt. vln. délka	pološířka	počet
<i>UBV</i>			
<i>U</i> - SkPl	365	70	152
<i>U</i> - Brno			261
<i>B</i> - SkPl	440	100	248
<i>B</i> - Brno			315
<i>V</i> - SkPl	550	90	366
<i>V</i> - Brno			350
<i>IHW/IAU</i>			
<i>U cont.</i>	365,0	8,0	13
<i>CN</i>	387,1	4,9	17
<i>C<sub>3</sub></i>	406,0	7,4	16
<i>CO<sup>+</sup></i>	426,0	6,5	8
<i>B cont.</i>	484,5	6,9	13
<i>C<sub>2</sub></i>	514,0	9,1	8

## 4 Extinkční koeficienty v UB $V$ 1962–1995

### 4.1 Pozorovací data

#### 4.1.1 Popis dat a metod jejich získávání

V práci I a II bylo zpracováno celkem 1013 extinkčních koeficientů v systému UB $V$ , měřených v 322 nocích na městské observatoři v Brně v letech 1962 až 1994. Zpracovávaná data získaná na observatoři na Skalnatém Plese sestává z 766 extinkčních koeficientů v UB $V$  systému - 443 pozorování v 407 různých nocích. Bohužel, měření atmosférické extinkce ve všech třech barvách máme pouze v jedné třetině případů. Data ze Skalnatého Plesa pokrývají časový interval 33 let (od 1963 do 1995). Veškerá data jsou v podobě tabulky k dispozici libovolnému zájemci na internetových stránkách Astronomického ústavu SAV v Tatranské Lomnici: <http://www.ta3.sk/~ziga/ftp/extin>, respektive přímo u mne.

Měření prováděná až do konce roku 1974 byla vedena v rámci pozorovacího programu zaměřeného na studium proměnných hvězd. Při těchto měřeních nebyla vedena žádná zvláštní měření samotné extinkce, a to bylo též důvodem toho, že byly stanovovány jen střední extinkční koeficienty pro jednotlivé noci standardní metodou tzv. Bouguerových přímek. Ačkoliv většina pozorování byla vedena v nocích se stabilními atmosférickými podmínkami, některé z nocí byly silně ovlivněny krátkodobými změnami průhlednosti atmosféry, což mělo v některých případech za následek i vznik fyzikálně nereálné záporné extinkce. V roce 1975 došlo k změně metodiky vedení pozorování a zpracování, kde ruční zpracování bylo zaměněno numerickým a současně byly i vypočítávány jednotlivé extinkční koeficienty v rámci příslušného barevného systému. Čas od času byla pozorování doplňována mnohem spolehlivějšími pozorováními vybraných standardních hvězd, jejichž hlavním cílem bylo zjištění okamžité extinkce atmosféry; ty charakterizovaly okamžitou průhlednost atmosféry. V důsledku změny metodiky přesnost měření extinkce vzrostla až čtyřnásobně.

#### 4.1.2 Charakteristika dat

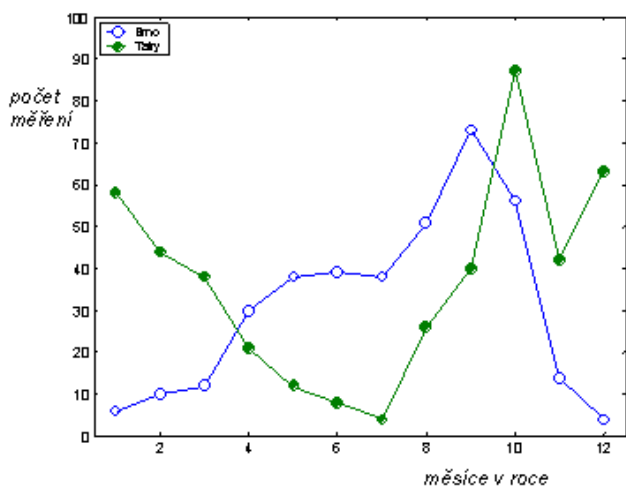
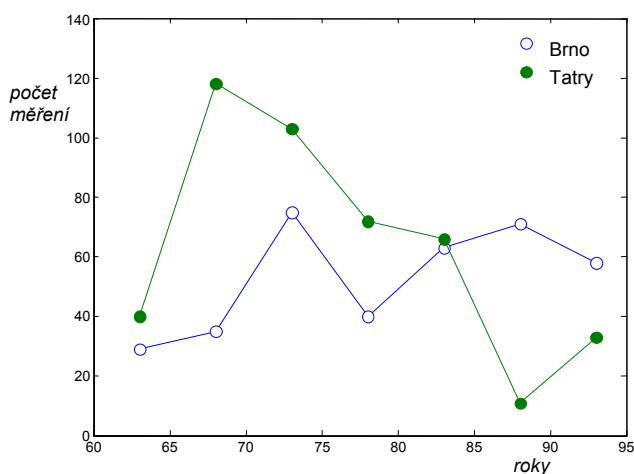
Celý soubor extinkčních koeficientů ani zdaleka negarantuje homogenní informaci o závislosti extinkce na vlnové délce a časové závislosti atmosférické extinkce v Brně a na Skalnatém Plese. Pouze 71 % a 32 % pozorování provedených na pozorovacích stanovištích zahrnuje extinkční koeficienty ve všech třech barvách. Informace o globálních změnách atmosférické extinkce jsou pak ještě méně kompletní a řidší: pouze 3 % všech nocí je charakterizováno tímto způsobem. Navíc, pozorování na obou observatořích nejsou rozložena během posledních tří dekad minulého století stejnoměrně (viz obr. 1a). Nakonec je třeba uvážit další velmi silný výběrový efekt: měření se konala jen v případě, že nastala jasná, bezmračná noc se stabilními atmosférickými podmínkami. Na druhé straně, tato pozorování představují relativně homogenní soubor popisující časový vývoj astroklimatu za těchto specifických atmosférických podmínek.

Medián brněnských pozorování je 1985,4, rozložení četnosti měření je poněkud asymetrické s hlavním maximem na konci osmdesátých let. Rozložení extinkčních měření na Skalnatém Plese je rovnoměrnější, ale do rovnoměrnosti má rovněž daleko. Jsou zde patrna dvě maxima v získávání dat: 1968-70 a 1980-2, medián rozložení pozorování je kolem 1978,2. Viz obr. 1, kde

jsou vyneseny zpracovávané počty měření extinkce v pětiletých obdobích (1961-1964, 1965-1969 atd.)

Extinkční koeficienty v B a U začaly být běžně měřeny teprve na konci sedmdesátých let, takže veškeré závěry oprávněné se o jejich vzájemné vztahy jsou založeny na měřeních udělaných v druhé polovině zpracovávaného intervalu. Rozložení pozorování ze Skalnátého Plesa a z Brna v průběhu roku se diametrálně liší. Zatímco pozorování na Skalnátém Plese se koncentrují na podzimní a zimní měsíce (74 % měření bylo provedeno v období říjen až březen), v Brně se pozorovalo přednostně na jaře a v létě (77 % měření bylo získáno v době květen až říjen).

Klima nížinné brněnské observatoře je silně ovlivňováno blízkostí rakouských Alp a teplým horkým prouděním přetrvávajících větrů v létě. Meteorologické podmínky horské observatoře na Skalnátém Plese jsou určeny polohou teplotní inverze, což se projevuje ve zvýšeném počtu jasných nocí v zimním období. Nedostatečnost a nestejně rozložení počtu měření extinkce v průběhu času i v průběhu roku nás vede k jisté ostražitosti při interpretaci pozorovaných sezónních a dlouhodobých změn extinkce.



#### 4.1.3 Distribuční funkce

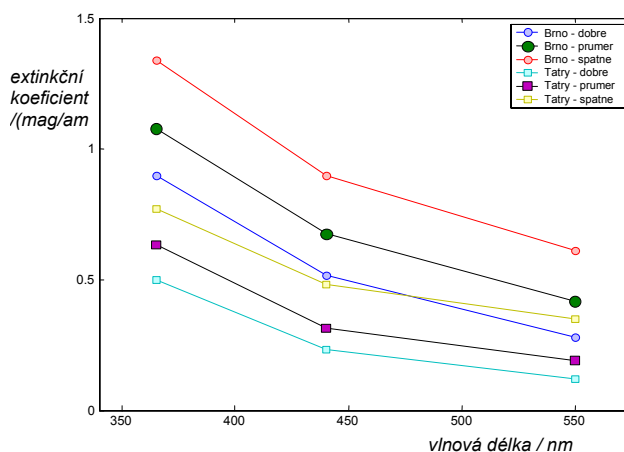
Velikost extinkčních koeficientů se neustále mění, někdy i ve škále několika hodin. Distribuční funkce extinkčních koeficientů jsou asymetrické, distribuční funkce má rychlý nárůst a pomalejší pokles. Vlastnosti distribuční funkce lze s výhodou popsat robustními charakteristikami, jimiž jsou 1., 3. a 5. sextil  $K_1$ ,  $K_3$ ,  $K_5$ , kde prostřední ze sextilů je vlastně medián. Význam těchto

parametrů je následující: právě jedna šestina nocí má extinkci menší než  $K_1$ , právě polovina nocí má extinkci menší než  $K_3$  a právě jedna šestina nocí má extinkci ještě horší než  $K_5$ . V intervalu mezi  $K_1$  a  $K_5$  leží 2/3 nocí. Noci s extinkcí menší  $K_1$  může považovat za relativně výborné (v daném místě), noci s extinkcí větší než  $K_5$  za noci relativně špatné.

V následující tabulce 2 jsou uvedeny pro jednotlivá stanoviště a jednotlivé barvy fotometrického systému *UBV* charakteristiky  $K_1$ ,  $K_3$ ,  $K_5$  a vše je vyneseno do grafu.

**Tabulka 2:** Sextily extinkčních koeficientů

<i>c</i>	$\lambda$	Brno			Tatry		
		$K_1$	$K_3$	$K_5$	$K_1$	$K_3$	$K_5$
<i>U</i>	365	0.8990	1.0780	1.3400	0.4995	0.6335	0.7700
<i>B</i>	440	0.5150	0.6760	0.9000	0.2300	0.3145	0.4802
<i>V</i>	550	0.2800	0.4155	0.6100	0.1190	0.1900	0.3500



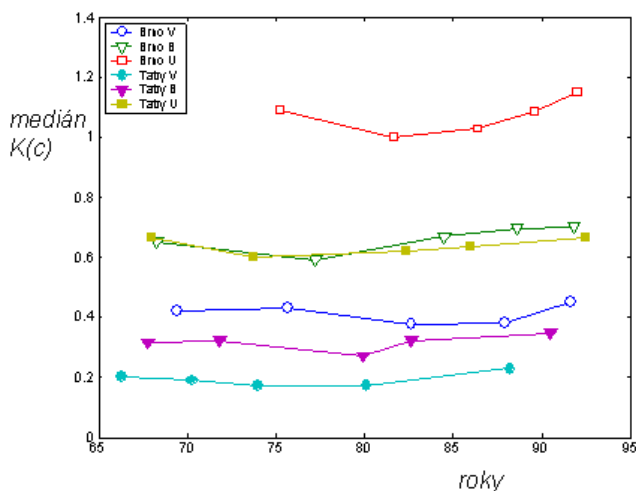
Z obrázku je jasně patrné, že extinkce prudce roste s klesající vlnovou délkou, dále že existují zjevné rozdíly v extinkci mezi oběma observatořemi, a to zhruba takové, že po extinkční stránce ty výborné z brněnských nocí odpovídají těm špatným z tatranských nocí. Rozdíly v extinkci ale přece jen nejsou nijak závažné – v barvě *V* činí asi čtvrt mag. Takový je tedy střední rozdíl v zeslabení hvězd v zenitu. V důsledku toho bychom v zenitu měli pozorovat na tatranské obloze o 40 % více hvězd a ve výšce 30° nad obzorem dokonce o 100 % hvězd více než v Brně. Ze zkušenosti vím, že situace je nesrovnatelně horší - z toho vyplývá, že vlastní extinkce, zeslabení světla hvězd při průchodu atmosférou, není hlavní příčinou rozdílného počtu hvězd viditelných na tatranské a brněnské obloze.

#### 4.1.4 Vývoj mediánů extinkčních koeficientů v letech 1962 – 1995

Nejreprezentativnější a nejrobustnější charakteristikou jinak dosti asymetrické distribuční funkce extinkčních koeficientů získaných v barvách *V*, *B* a *U*, je její medián. Dlouhodobý vývoj extinkčních koeficientů ve všech třech barvách je dobře patrný na obrázku 1, kde lze rovněž srovnat trendy u obou observatořích. Lze konstatovat, vývoj extinkčních koeficientů na obou observatořích probíhá ve všech barvách prakticky souběžně, **nárůst extinkce ale nikdy nepřesáhne 0,5 % za rok!** Navíc nejistota stanovení nárůstu je srovnatelná s jeho číselnou hodnotou.

Výsledek je tedy možno shrnout takto – atmosférická extinkce ve žluté, modré a ultrafialové části spektra se za posledních 30 let nijak výrazně nezměnila. Extinkční koeficienty v jednotlivých barvách se od sebe výrazně liší, extinkce silně klesá s rostoucí

vlnovou délkou (viz Tab. 3). Tato skutečnost pomůže otestovat možné modely atmosférické extinkce.



**Tabulka 3:** Vývoj mediánů extinkčních koeficientů v Brně a na Skalnatém Plesu. Extinkční koeficienty uvedeny v magnitudách na vzdušnou hmotu.

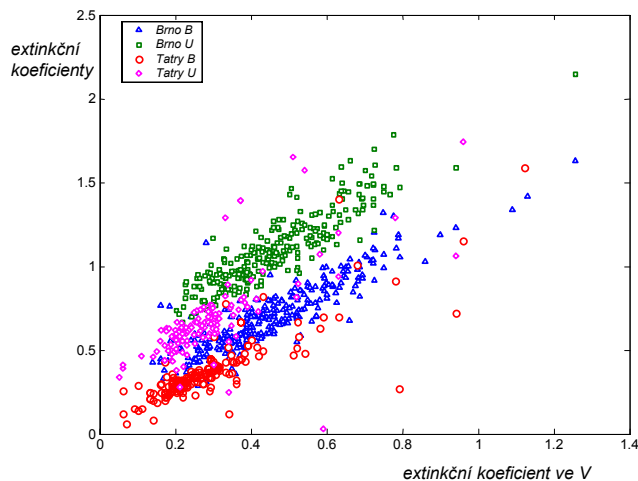
V - Brno		B - Brno		U - Brno	
rok-1900	$k$	rok-1900	$k$	rok-1900	$k$
69,4	0,42	68,3	0,65	75,2	1,09
75,7	0,43	77,2	0,59	81,6	1,00
82,6	0,38	84,5	0,67	86,4	1,03
87,9	0,38	88,6	0,70	89,6	1,08
91,6	0,45	91,8	0,70	92,0	1,15
81,5	0,416	82,1	0,676	85,0	1,078
V - Sk. Pleso		B - Sk. Pleso		U - Sk. Pleso	
rok-1900	$k$	rok-1900	$k$	rok-1900	$k$
66,3	0,20	67,8	0,32	68,0	0,67
70,2	0,19	71,9	0,32	73,8	0,60
73,9	0,17	79,9	0,27	82,3	0,62
80,1	0,17	82,6	0,32	85,9	0,64
88,2	0,23	90,5	0,35	92,5	0,67
75,7	0,190	78,5	0,315	80,5	0,634

#### 4.1.5 Vztah mezi extinkčními koeficienty

Z grafů mezi extinkčními koeficienty je patrné, že:

- 1) Dle očekávání existuje silná korelace mezi současně změřenými extinkčními koeficienty v různých barvách ( $r = 0,9$ )
- 2) Rozptyl v těchto závislostech je zjevně menší než vlastní změny, tedy tyto pozorované změny jsou zřejmě reálné, nejde o chyby v určování těchto veličin.
- 3) Pozorovaný vztah mezi extinkčními koeficienty lze s dostatečnou přesností reprezentovat přímkami, které neprocházejí počátkem.
- 4) Přímkami v závislostech mezi těmiž koeficienty jsou pro Skalnaté Pleso a Brno vzájemně rovnoběžné.

Tyto skutečnosti představují základní informaci pro konstrukci modelů atmosférické extinkce, jež by v zásadě měly být lineární.



## 4.2 Model atmosférické extinkce

### 4.2.1 Východiska modelování

Atmosférická extinkce je výsledkem interakce světla objektu procházejícího zemskou atmosférou. Samotná extinkce světla je způsobena zejména rozptylem, v menší míře pak pravou absorpcí. K atmosférické extinkci připívá množství fyzikálních procesů, jejichž účinnost obecně závisí jak na vlnové délce procházejícího světla, tak na koncentraci extinkčních center (např. prachové a kapalně částice vznášející se ve vzduchu, molekuly vzduchu a jejich náhodné shluky). Předpokládáme-li, že extinkční procesy probíhají nezávisle, bude výsledná hodnota extinkčního koeficientu v jisté zvolené barvě  $c$ ,  $K(c)$ , pokud je vyjádřen v magnitudách na vzdušnou hmotu, dán jako součet příspěvků jednotlivých extinkčních procesů:

$$K(c) \cong \sum_l K_l(c).$$

Dále z předpokladu nezávislosti jednotlivých aktů rozptylu a absorpce vyplývá, že hodnota extinkce způsobená jednotlivými procesy by měla být přímo úměrná koncentraci odpovídajících rozptylujících nebo absorbujících center v jedné vzdušné hmotě. Vzhledem k tomu, že jejich koncentrace viditelně nezávisí na vlnové délce procházejícího světla, je zřejmé, že příspěvek  $l$ -tého extinkčního procesu měřený ve dvou různých spektrálních oborech (barvách)  $c_i$ ,  $c_j$  by měl vyhovět podmínce:

$$K_l(c_j) = \left[ \frac{K_l(c_j)}{K_l(c_i)} \right] K_l(c_i),$$

kde konstanta úměrnosti je jakási „materiálová konstanta“ závislá pouze na mechanismu příslušného typu extinkce, nikoli pak na koncentraci extinkčních center nebo na intenzitě procházejícího světla.<sup>32</sup> Konstanty úměrnosti v mnoha případech lze aproximovat mocninou závislostí poměru efektivních vlnových délek  $\lambda_j$ ,  $\lambda_i$ :

$$\left[ \frac{K_l(c_j)}{K_l(c_i)} \right] = \left( \frac{\lambda_j}{\lambda_i} \right)^{a_l},$$

kde  $a_l$  je tzv. spektrální index příslušného typu extinkce.

<sup>32</sup>Výše uvedené předpoklady se ovšem nemusí důsledně vyplnit, docela dobře si lze představit situaci, kdy ve statické atmosféře s neměnnou koncentrací rozptylových center dochází k časovému vývoji, při němž se extinkční vlastnosti rozptylových center postupně mění. Za těchto okolností bychom měli pozorovat nejen změny extinkce v různých barvách, ale i jisté změny oněch výše zmíněných materiálových konstant.



#### 4.2.2 Rayleighův rozptyl a absorpce ozónem. Konstantní složky atmosférické extinkce

Rozptyl procházejícího světla na přechodně se vytvořivších shlucích molekul plynné složky zemského obalu, známý též jako Rayleighův rozptyl, je stabilní a neodstranitelnou složkou atmosférické extinkce všech pozemských pozorovacích stanovišť. Tento rozptyl je mimořádně citlivý na vlnovou délku rozptylovaného záření, jeho účinnost je nepřímo úměrná čtvrté (!) mocnině vlnové délky. Extinkční koeficient Rayleighova rozptylu je úměrný atmosférickému tlaku  $P(h)$  v daném místě o nadmořské výšce  $h$  a lze jej s dostatečnou přesností aproximovat vztahem:

$$R(\lambda) = 0,107 \left( \frac{\lambda}{550 \text{ nm}} \right)^{-4} \frac{P(h)}{P(0)} \text{ mag/am.}$$

Variace atmosférického tlaku v daném místě jsou relativně malé, navíc se ukazuje, že jeho střední hodnotu lze s dostatečnou spolehlivostí aproximovat izotermickou atmosférou o tloušťce 7996 m:

$$P(h) = P(0) \exp(-h/7996 \text{ m}).$$

Víceméně konstantní složkou extinkce je dále pravá absorpce světla v ozónové vrstvě, nacházející se ve výšce mnoha km nad povrchem Země. V oblasti optické je ozón poměrně dobře průhledný, v barvách  $V$ ,  $B$ ,  $U$  absorbuje postupně: 0,031 mag/am, 0,001 mag/am a 0,000 mag/am. O tuto konstantní hodnoty je třeba zvýšit odhad konstantních nebo kvazikonstantních složek atmosférické extinkce.

Předpověděné hodnoty konstantní složky extinkce v jednotlivých barvách systému  $UBV$  a pro obě stanoviště jsou uvedeny v tabulce 4.

**Tabulka 4:** Přehled velikosti konstantní a proměnné složky extinkce v systému  $UBV$  pro jednotlivá pozorovací stanoviště

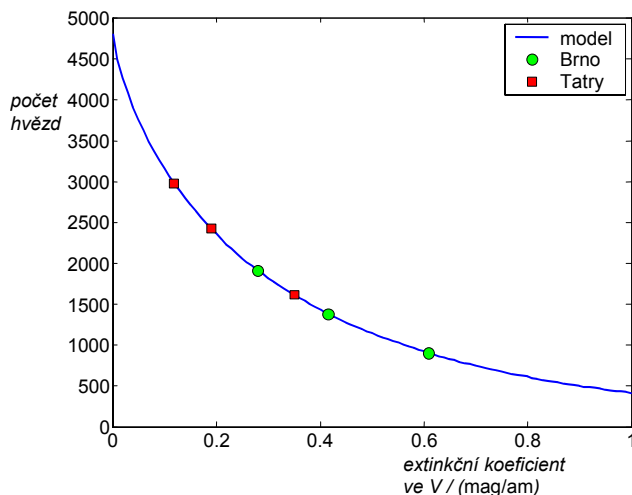
Barva	$V$ (550 nm)		$B$ (440 nm)		$U$ (365 nm)	
Stanice	Brno	Tatry	Brno	Tatry	Brno	Tatry
Rayleighův rozptyl+ozón	0,134	0,116	0,257	0,213	0,556	0,463
Medián proměnné složky	0,282	0,074	0,319	0,102	0,522	0,171

Z tabulky 4 vyplývá i nejmarkantnější rozdíl v extinkčních poměrech mezi městskou a horskou observatoří - medián nerayleighovské složky extinkce brněnské atmosféry je více než třikrát až čtyřikrát větší než medián extinkce tatranské. To přímo vypovídá o stupni znečištění atmosféry na obou studovaných stanicích. Pokud jde o Rayleighovy složky extinkce, pak ve shodě s modelem očekáváme, že v Brně bude jen o 20 % větší. Dále je patrné, že v Tatrách je právě Rayleighův rozptyl na molekulách vzduchu rozhodující a současně neodstranitelnou složkou extinkce, zatímco v Brně je tomu s výjimkou barvy  $U$  právě naopak. V barvě  $U$  jsou oba zdroje extinkce na srovnatelné úrovni.

#### 4.2.3 Model počtu hvězd na obloze

Za předpokladu, že limitní hvězdná velikost je daná pouze atmosférickou extinkcí, lze odhadnout, jak se bude měnit celkový počet hvězd viditelných pouhými očima na obloze. Jako základ budeme uvažovat, že při zcela optimálních podmínkách (nulová prachová extinkce) na Skalnatém Plese by bylo běžnými očima

k vidění 3000 hvězd, dále že pro počet hvězd  $N(M)$  s limitní hvězdnou velikostí  $M$  platí relace:  $N(M) \sim 4^M$ .



Z modelu vyplývá mj., že by člověk v prázdném kosmickém prostoru měl spatřit  $2 \times 4750 =$  cca 9500 hvězd, což je přijatelné, dále, že v Brně by za zcela výjimečných okolností mohlo ke spatření cca 2800 hvězd, standardně pak 1400 hvězd. Každý, kdo měl v poslední době co do činění s brněnskou oblohou, ví, že běžně bývá na brněnském obloze k nalezení hvězd několikrát méně. Vysvětlení je jednoduché – na úroveň mezní hvězdné velikosti mají vliv i jiné okolnosti, zejména pak jas oblohy způsobený rozptylem umělého světla v atmosféře.

#### 4.2.4 Dvousložkový a trojsložkový model atmosférické extinkce

Pokud se soustředíme na proměnnou složku atmosférické extinkce, je žádoucí přejít od měřených extinkčních koeficientů ke koeficientům korigovaným, opraveným o víceméně neproměnný Rayleighův rozptyl a absorpci v ozonoféře. Podrobným rozбором vzájemného vztahu mezi korigovanými extinkčními koeficienty ve všech třech barvách pro obě stanice, který je vyčerpávajícím způsobem popsán v Práci II, lze ukázat, že vlastnosti atmosférické extinkce na Skalnatém Plese lze s postačující přesností popsat dvousložkovým modelem, zatímco v Brně je nezbytné použít modelu tříslložkového.

$$\begin{aligned} K(c) &= R(c) + D(c) + E(c) \\ &= R(c) + \left( \frac{\lambda_c}{440 \text{ nm}} \right)^{-a} D(B) + \left[ \frac{E(c)}{E(B)} \right] E(B), \end{aligned}$$

První složkou extinkčního koeficientu je víceméně konstantní extinkce daná Rayleighovým rozptylem na shlucích molekul vzduchu a absorpci v ozónové vrstvě  $R(c)$  (viz Tab. 2), druhou složkou, je silně proměnná extinkce dobře popsaná mocninným zákonem, kde koeficient  $a$  je roven:  $a = (1,04 \pm 0,04)$ . Třetí složka, která se po určité době projevila v brněnské extinkci svými vlastnostmi mocninnému zákonu nevyhovuje, platí pro ni následující relace:

$$\begin{aligned} \left[ \frac{E(V)}{E(B)} \right] &= 0,26 \pm 0,09, \\ \left[ \frac{E(U)}{E(V)} \right] &= 4,9 \pm 1,7, \end{aligned}$$

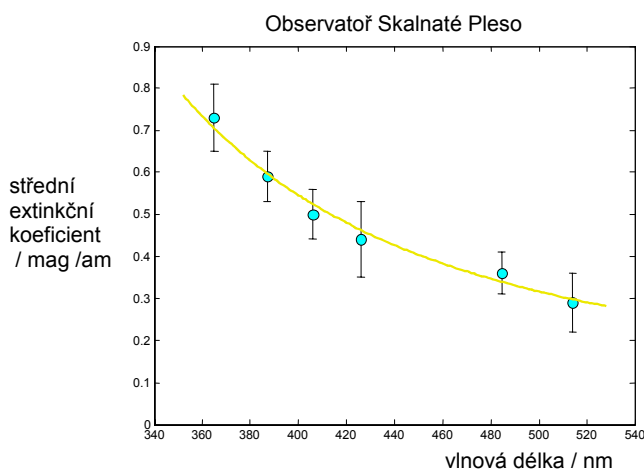
$$\left[ \frac{E(U)}{E(B)} \right] = 1,24 \pm 0,07.$$

První z proměnných extinkcí je s největší pravděpodobností působená tzv. Mieovým rozptylem na dielektrických částicích s rozměry srovnatelnými s vlnovou délkou. Jde pravděpodobně o běžný prach, jenom z menší části antropogenního původu, zanesený do atmosféry vzdušným prouděním. S výměnou vzdušných hmot dochází i ke změně koncentrace prachu, a tím i ke změně velikosti této *prachové* složky extinkce. Dosti nejasné to však je s třetí složkou, která významně ovlivňovala extinkci v Brně, a to zejména v krátkovlnném oboru spektra, v barvě *B* a *U*. Střední hodnota této extinkce ve sledovaném období v barvách *V*, *B*, *U* činila postupně:  $(0,030 \pm 0,015)$  mag/am,  $(0,118 \pm 0,020)$  mag/am a  $(0,146 \pm 0,025)$  mag/am. Fyzikální povahu této extinkce, kterou jsme nazvali *extinkcí partikulární*, neznáme, něco o ní však vypovídají její roční a sekulární změny diskutované v závěru.

## 5 Extinkční koeficienty v IHW/IAU 1985-1990

V práci [6, III] a [4, IV] je uvedeno zpracování extinkčních koeficientů získaných metodou Bouguerových přímek při mezinárodní kampani sledování jasnosti komet 1P/Halley v letech 1985/86, 23P/Brorsen-Metcalf v 1989 a C/Austin v roce 1990 v středně-pásmovém fotometrickém systému IHW/IAU. Zkoumaný pozorovací materiál představuje 75 hodnot extinkčních koeficientů změřených ve 20 nocích na observatoři na Skalnatém Plese v letech 1985-1990. Měření získaná v šesti barvách v intervalu vlnových délek 365 až 514 nm jsou sice malým, ale poměrně reprezentativním vzorkem extinkčního stavu atmosféry a svou kvalitou se vyrovnají podstatně rozsáhlejším souborům. Vlastnosti použitého v šestibarevného středně pásmového fotometrického systému jsou vyčerpávajícím způsobem popsány v Práci III, názvy filtrů a jejich efektivní vlnové délky najdete též v Tabulce 1, kde je též uveden počet měření extinkčního koeficientu v příslušném filtru.

Podrobným zpracováním měření se prokázalo, že k vysvětlení všech měření plně postačí výše popsáný dvousložkový model extinkce zahrnující jak Rayleighův rozptyl na hustotních fluktuacích vzduchu, tak Mieův rozptyl na dielektrických částicích prachu. Mocinný zákon závislosti prachové extinkce byl potvrzen, jak to dokládá i následující obrázek.



Nejlepší shoda pozorování s modelem nastala pro spektrální index  $a = 1,01 \pm 0,28$ . Studium sezónních změn extinkčních

koeficientů potvrdilo závěry zjištěné při studium změn v systému *UBV*.

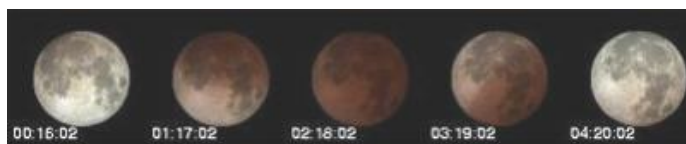
## 6 Pozorování úplného zatmění Měsíce

K demonstraci vlivu extinkce a rozptýleného světa na jas oblohy a viditelnost nejslabších hvězd by bylo nejlépe navodit modelovou situaci, kdyby za jasné, bezměsíčné noci podařilo naráz vypnout veškeré zdroje rušivého světla a pak znovu rozsvítit. K něčemu podobnému dříve zhusta docházelo při tzv. plošném výpadku elektrického proudu, nyní jsou takové situace vzácné a navíc nepředvídatelné, nelze se na ně připravit. Podobná situace nastává v průběhu úplného zatmění Měsíce, kde ovšem tímto je tímto rušivým elementem Měsíc. Na překážku tu je, že celý jev zeslabení a následného zesílení světla Měsíce v průběhu zatmění trvá cca 200 minut a během této doby se mohou změnit pozorovací podmínky a dispozice měsíčního úplňku nad obzorem. Z tohoto hlediska jsou optimální ta zatmění, která nastávají kolem půlnoci a navíc v zimním období, kdy je měsíční úplněk vysoko nad rovníkem, a tedy i vysoko na obzorem.

### 6.1 Zatmění 9. 11. 2003

Zatmění těchto parametrů mělo proběhnout v noci z 8. na 9. 11. 2003, z těchto důvodů jsem naplánoval svou návštěvu Astronomického ústavu SAV v Tatranské Lomnici tak, abych mohl toto zatmění pozorovat odtamtud. Hlavní budova tohoto ústavu je dislokována ve značné vzdálenosti od města, jedinými zdroji rušivého světla tu jsou osvětlení tří velkých hotelů v sousedství. V místech chráněných před přímým osvětlením z těchto zdrojů jsou umístěny i dvě menší observatoře, z nichž se každou jasnou noc vedou fotometrická měření proměnných hvězd. V blízkosti těchto hvězdáren se nacházelo i moje pozorovací stanoviště (nadmořská výška 805 m).

V noci 8./ 9. 11. 2003 krátce před půlnocí začalo úplné zatmění Měsíce viditelné v celé Evropě, v Africe i Asii. V Tatranské Lomnici v té době vládlo bezmračné, stabilní počasí, zatímco v níže položených lokalitách během noci tvořily husté mlhy, které nakonec na většině území České a Slovenské republiky pozorování úkazu zcela znemožnily. Částečné zatmění začalo v 0h 32min SEČ a skončilo v 2h 07min, kdy se celý měsíční kotouč ponořil do zemského stínu. Střed kotouče a střed vrženého zemského stínu se k sobě nejvíce přiblížily ve 2h 18min, ve 2h 29min začal měsíční disk z úplného stínu vystupovat, konec fáze částečného zatmění Měsíce nastal v 4h 04min.



Průběh úplného zatmění Měsíce 9.11.2003

### 6.2 Postřehy z pozorování

Při vizuální sledování jevu prostýma očima ze svého pozorovacího stanoviště odstíněného od všech přímých rušivých světelných zdrojů jsem se soustředil zejména na hodnocení proměny vzhledu tatranského nočního nebe během zatmění, zejména pak na změny viditelnosti těch nejslabších hvězd, která dobře koreluje s celkovým jasem oblohy.

Na začátku a na konci částečného zatmění Měsíce nebyla viditelnost slabších hvězd nijak valná, světlo měsíčního úplňku nacházejícího se vysoko nad obzorem se rozptylovalo na rozptýlových centrech v tatranské atmosféře. Obloha byla v důsledku měsíčního světla stříbřitě namodralá, hvězdnou velikost nejslabších hvězd postřehnutelných očima jsem odhadoval na 5,2 mag, což by třeba v brněnských poměrech byla výjimečně vysoká hodnota.

V průběhu částečného zatmění se viditelnost hvězd nijak zvlášť neměnila, k dramatickému zlepšování vzhledu oblohy došlo až ve chvíli, kdy zemský stín pokrýval více než 90 % měsíčního kotouče. Na obloze jakoby rázem přibýlo množství slabých hvězd a v době vrcholu úplného zatmění se mezní hvězdná velikost zvýšila až na 6,3 mag. Ani v té chvíli ovšem měsíční úplněk z nebe nezmizel, byl ale výrazně temnější, skořicově načervenalý a vcelku dosti nenápadný. Jasnost Měsíce se snížila více než o dva řády. Po skončení zatmění byl vzhled oblohy opět týž jako na počátku pozorování. Souběžně probíhající pozorování proměnných hvězd na daném stanovišti potvrdila, že v průběhu noci se stav atmosférické extinkce nezměnil.

Příčinou zvýšeného jasu oblohy a zhoršené viditelnosti slabších hvězd bylo světelné znečištění atmosféry, tentokrát světlem měsíčního úplňku. Dlužno poznamenat, že jakkoli je svit měsíčního úplňku intenzivní, naprosto se nemůže rovnat světelným výkonům pouličního osvětlení nebo agresivního osvětlení staveb a slavnostního osvětlení vůbec.

Vzhledem k tomu, že i v plně bezprašné atmosféře zbývá „neodstranitelná“ složka Rayleighova rozptylu, v zemské atmosféře se rozptylová centra nacházejí nepřetržitě, a k rozptylu tak dochází vždy.

## 7 Diskuse a závěry

### 7.1 Diskuse

1. Všechny výsledky týkající vlastností atmosférické extinkce na území bývalého Československa byly získány na základě pečlivého zpracování dvou rozsáhlých souborů 1779 měření extinkčních koeficientů v systému *UBV* v 731 různých nocích v uplynulých 30 let na dvou observatořích s velmi odlišnými pozorovacími podmínkami. Detailní popis pozorovacího materiálu získaného na observatořích v Brně a na Skalnatém Plese najdete v Práci I, zpracování výsledků pak v Práci II.
2. Pro interpretaci pozorování extinkce ze Skalnatého Plesa plně vyhovuje dvousložkový lineární model atmosférické extinkce. Víceměně konstantní složka modelu je určena především Rayleighovým rozptylem na shlucích molekul vzduchu  $R(c)$ , pro nějž lze platí vztah  $R(c) \sim \lambda(c)^{-4} \exp(-h/7996 \text{ m})$ , kde  $\lambda$  je efektivní vlnová délka příslušné barvy a  $h$  nadmořská výška pozorovacího stanoviště. V důsledku vyšší nadmořské výšky je Rayleighův příspěvek k extinkci v Brně o 20 % větší než na Skalnatém Plese. Proměnná složka atmosférické extinkce v rámci dvousložkového modelu pak odpovídá rozptylu světla na prachových částicích (či obecně aerosolech) s měnící se koncentrací. Pokusy aplikovat tento jednoduchý model i na situaci v Brně ztroskotaly, k již zmíněným dvěma členům bylo zapotřebí dodat ještě třetí, v literatuře dosud nepopsanou složku  $E(c)$ , kterou jsme nazvali *partikulární extinkce*.
3. Ze sklonu závislostí mezi extinkčními koeficienty v jednotlivých barvách systému *UBV* byla stanovena hodnota spekt-

rálního parametru a pro tzv. prachovou složku atmosférické extinkce  $D(c)$ , jejíž závislost na vlnové délce je aproximována vztahem:  $D(c) \sim \lambda(c)^{-a}$ , kde  $a = 1,04 \pm 0,04$ . Tento fakt naznačuje, že prachová extinkce je působena zejména klasickým Mieovým rozptylem na dielektrických částicích s rozměrem srovnatelným s vlnovou délkou rozptylovaného světla. Průměrná prachová extinkce v Brně byla ve sledované době o 84 % (téměř dvakrát) větší než na Skalnatém Plese. Střední příspěvek prachové extinkce vzhledem k celkové extinkci činil v Brně postupně 39 %, 50 % a 64 % v *U*, *B* a *V*. Na Skalnatém Plese byl podíl prachové extinkce o poznání menší: 33 % v *U*, 47 % v *B* a 56 % ve *V*.

4. Platnost mocinného zákona pro prachovou extinkci byla nezávisle potvrzena měřeními extinkčních koeficientů v šesti barvách středněpásmového fotometrického systému IHW/IAU prováděným v letech 1986-1990 na observatoři Skalnaté Pleso v intervalu vlnových délek od 365 nm do 514 nm. Nepříliš četná, ale kvalitní měření potvrdila použitelnost dvousložkového modelu tamní atmosférické extinkce, přičemž nalezený spektrální index  $a = 1.01 \pm 0.28$  potvrzuje předchozí zjištění, že příčinou prachové extinkce je Mieův rozptyl na aerosolech o velikosti cca 1 mikrometr.
5. Mocinný zákon pro závislost tzv. partikulární extinkce  $E(c)$ , která se projevila v Brně, aplikovat nelze. Lze spekulovat, že jde o absorpci ve spektrálních pásech dosud neidentifikované látky projevující se zejména v krátkovlnné oblasti spektra, v barvě *B* a *U*. Největší podíl tato absorpce měla v extinkci v barvě *B*: 13 %, v *U* pak 10 %, ve *V* 5 %. Na základě předpokladů uvedených v trojsložkovém modelu atmosférické extinkce v Brně lze od sebe jednotlivé složky extinkce oddělit a jejich chování vyšetřovat zvlášť.

Partikulární extinkce, pozorovaná v Brně, jeví rovněž sezónní změny sinusového charakteru, s maximum je  $(16 \pm 13)$ . července. Křivka změn partikulární extinkce věrně kopíruje sezónní změny průměrných denních teplot ve městě. Lze pak usuzovat, že příčinou této extinkce může být absorpce světla na částicích přízemního smogu opticky aktivovaného specifickými fotochemickými reakcemi. Z dlouhodobého hlediska konstatujeme nárůst partikulární extinkce až do roku 1982, po němž následuje dosti strmý pokles, takže je pravděpodobné, že v dnešní době je podíl tohoto typu extinkce zcela zanedbatelný.

6. Vyšetřování sezónních změn hlavní proměnné složky atmosférické extinkce v Brně – tedy prachové extinkce, přineslo překvapivé zjištění, že zde, zřejmě každoročně, dochází k velice výraznému vyčištění atmosféry kolem  $(5 \pm 4)$ . října, kdy se koncentrace prachu sníží v průměru o  $(37 \pm 8)$  %, načež nastává pozvolný, víceměně monotónní nárůst až do dalšího prudkého pádu extinkce. Tento jev zřejmě souvisí s každoročním vpádem chladného a relativně čistého arktického vzduchu, v jehož důsledku se vzdušné masy nad naším územím takřka kompletně vymění.

Sezónní změny prachové extinkce na observatoři na Skalnatém Plese jsou diktovány především změnami úrovně atmosférické inverze, nad níž je atmosféra mnohem čistější než pod ní. Roční variace prachové extinkce má zhruba sinusový průběh s minimem kolem  $(3 \pm 10)$ . ledna, poměr maximální extinkce ku minimální je  $1,9 \pm 0,2$ . Jiné změny sezónní (jsou-li jaké) jsou efektem posouvání úrovně teplotní inverze zcela zastřeny. Pozorování extinkce v systému



IHW/IAU v letech 1985-1990 ten chod bezvýhradně potvrdila, nalezený poměr letní prachové extinkce vůči extinkci v zimě činí  $1,9 \pm 1,1$ .

Většina extinkčních pozorování na Skalnatém Plese byla vykonána v těch obdobích roku, kdy byla extinkce minimální, naopak je tomu v Brně, kdy pozorování v květnu až říjnu prachovou extinkcí nejvíce trpí. Výjimkou je pouze říjen, kdy i v Brně je množství jasných a průzračných nocí.

7. Při sledování chodu dlouhodobých změn prachové extinkce lze u obou observatoří najít obdobné rysy – mírný pokles do minima v letech 1981 až 1984 a poté opět pozvolný nárůst. Celkově ovšem je možné konstatovat, že sekulární změny extinkce nejsou významné, rozhodně jimi nelze vysvětlit vzestup jasu noční oblohy, jehož jsme v posledních desetiletích na mnoha místech svědky.

V případě Brna je pokles prachové extinkce na počátku osmdesátých let v barvě  $U$  a  $B$  kompenzován nárůstem partikulární extinkce, takže dlouhodobé změny se tu takřka úplně stírají.

8. Dlouhodobý poměr v koncentraci prachových částic mezi observatořemi na Skalnatém Plese a v Brně činí  $r = (0,525 \pm 0,035)$ , a s léty se nemění. Tato skutečnost naznačuje, že obě observatoře mohou náležet do stejného regionu se stejným zdroji prachového znečištění a podobným charakterem atmosférické cirkulace. Za těchto okolností je možné zavést jednoduchý model, podle něhož se předpokládá, že koncentrace prachových částic, a tím i velikost extinkčního koeficientu v určité barvě  $D(c)$  exponenciálně klesá s rostoucí nadmořskou podle jednoduchého zákona:

$$D(c, h) \sim e^{-h/H_D}$$

kde parametr  $H_D$  je nazýván prachovou škálovou výškou a v podstatě vyjadřuje, jak tlustá je prachová vrstva způsobující optickou extinkci. Z poměru  $r$  a z rozdílu nadmořských výšek dospějeme k hodnotě  $H_D = (2\,290 \pm 240)$  m. Takto nalezená hodnota se ovšem poněkud liší od hodnoty udávané v literatuře (např. Hayes&Lantham, 1975), a totiž  $H_D = 1\,500$  m. Tento fakt je nejspíše důsledkem dobře známé okolnosti, že ovzduší nad observatoří je dosti neklidné v důsledku silného vertikálního proudění daného specifickou modelací terénu pod observatoří. Je tedy přirozené předpokládat, že toto proudění sebou strhává i prachové částičky, které vynáší nad observatoř.

Toto je pak důvodem, proč je atmosféra nad Skalnatým Plesem zaprášenější než by odpovídalo její nadmořské výšce.

Pokud bychom formálně aplikovali tentýž model i na partikulární extinkci, lze odhadnout horní hranici škálové výšky pro tento typ extinkce na 800 m. Ale zde může, na rozdíl od prachové extinkce, která se zdá být jevem všeobecným, hrát rozhodující roli blízkost brněnské observatoře k zdrojům znečištění, a v tom případě by se výše zmíněn model nedal použít.

9. Podrobně byla studována i závislost koncentrace prachových částic na úrovni sluneční činnosti kvantifikované tzv. koronálním indexem zjišťovaným na observatoři na Lomnickém štítě, zejména proto, že řada předchozích prací obdobnou závislost našla. Naše rozborů však ukazují, že žádná taková jednoduchá korelace mezi oběma veličinami zřejmě neexistuje.

10. Jednoduchý model závislosti celkového počtu hvězd viditelných pouhýma očima na extinkčním koeficientu v barvě  $V$  jasně ukazuje, že sama extinkce ovlivňuje tento počet jen marginálně, mnohem důležitější je úroveň umělého osvětlení, která je ve městě pochopitelně mnohokrát vyšší než vysoko v horách.

11. Pozorování změn vzhledu oblohy a mezní hvězdné velikosti v průběhu úplného měsíčního zatmění 9.11.2003 jasně prokázalo, že příčinou zhoršeného vzhledu oblohy není sama atmosférická extinkce, ale zvýšená úroveň rozptýleného světla, lhostejno zda úplňku nebo umělého osvětlení.

## 7.2 Závěry

Závěrem konstatuji, že v optickém oboru spektru jsou stěžejními příčinami atmosférické extinkce (neprůhlednosti) Rayleighův rozptyl na přechodných shlucích molekul vzduchu a Mieův rozptyl na prachových částicích o velikosti srovnatelné s vlnovou délkou světla. Rayleighův rozptyl, který je nepřímo úměrný čtvrté mocnině vlnové délky procházejícího světla a přímo úměrný atmosférického tlaku, je víceméně konstantní složkou extinkce. Naproti tomu prachová extinkce, která je nepřímo úměrná vlnové délce a přímo úměrná koncentraci prachových částic, se mění v širokém rozsahu, v závislosti na okamžité zaprášenosti atmosféry. Důkladná analýza více než třicetileté řady pozorování extinkčních koeficientů získaných na městské observatoři v Brně na Kraví hoře a na observatoři na Skalnatém Plese nás vede k zjištění, že v posledních několika desetiletích nedošlo v atmosféře nad oběma pozorovacími stanovišti k žádnému prokazatelnému nárůstu koncentrace opticky aktivních aerosolů, takže pozorovaný nárůst jasu oblohy nelze přičíst na vrub zvyšování počtu těchto částic v ovzduší.

Exhalace a průmyslové znečišťování atmosféry nepochybně mění vlastnosti a kvalitu ovzduší, zejména pak chemické složení jeho přízemních vrstev, nedodávají však zřejmě do atmosféry částice příslušné velikosti a vlastností. Opticky aktivní prachové částice jsou převážně neantropogenního původu, je to běžný prach zvěřený větrem. Ve středoevropském prostoru je hlavní příčinou změn koncentrace prachových částic výměna vzdušných hmot prostřednictvím atmosférického proudění. Vzhledem k tomu, že obě observatoře patří do stejné podnební oblasti, nepřekvapuje zjištění, že relativní změny extinkce probíhají na observatořích souběžně. Fakt, že zaprášenost ovzduší na Skalnatém Plese je v průměru dvakrát menší než v Brně, je prostým důsledkem rozdílné nadmořské výšky stanovišť.

Světlo dostatečně setmělé noční oblohy je dvojího původu, jednak jde o vlastní světlo, jež je výsledkem rekombinace ionizovaných molekul ve vysokých vrstvách atmosféry, jednak jde o rozptýlené světlo Měsíce a zdrojů umělého světla, venkovního osvětlení. K rozptylu světla dochází na rozptylujících centrech, jež jsou totožná s centry rozptylu zodpovědnými za atmosférickou extinkci. Těmi jsou již zmíněné náhodné shluky molekul vzduchu a opticky aktivní aerosoly. Jas oblohy je přitom úměrný intenzitě rozptylovaného světla, v případě složky umělého světla pak přímo závisí na intenzitě světla mřícího směrem nahoru.

Jestliže náš výzkum dokazuje, že ani koncentrace, ani rozptylové vlastnosti rozptylových center se s lety výrazně nemění, pak je zjevné, že **veškeré změny jasu noční oblohy je nutno přičíst změnám úrovně umělého osvětlení**, ať už venkovním osvětlením nebo jinými zdroji. Pokud máme zájem na tom, aby se nežádoucí úroveň jasu noční oblohy snížila, je nutno zmenšit množství světla, které se do atmosféry zespod dostává, tedy za-



měřit se na potlačení **světelného** znečištění atmosféry. Případné omezování produkce prашných částic vyráběných průmyslově či zemědělskými aktivitami je sice žádoucí, ale na kvalitu nočního nebe nebude mít výraznější vliv.

*Poděkování* Autor by chtěl poděkovat dr. J. Žižňovskému, dr. J. Tremkovi, dr. J. Zverkovi z Astronomického ústavu Slovenské akademie věd v Tatranské Lomnici, Slovenská republika, dále pak dr. J. Papouškovi, dr. J. Hollanovi a dr. J. Krtičkovi za cenné připomínky a náměty týkající se problematiky atmosférické extinkce a světelného znečištění atmosféry. Práce byla vykonána v rámci řešení projektu *Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlení umělým světlem na živou přírodu*, VaV/74/3/03 a zčásti grantového projektu GAČR 0205/02/0445.

## Literatura

- [1] Hayes, D.S., Latham, D. W.: 1975, *Astrophys. J.* 197, 593
- [2] Mikulášek, Z., Papoušek, J., Vetešník, M., Tremko, J., Žižňovský, J.: 2000, *Contr. Astron. Obs. Skalnaté Pleso* 30, 89 (Práce I) (dostupné též ze stránky [http://www.ta3.sk/caosp/Eedition/Abstracts/2000/Vol\\_30/No\\_2/pp89-98\\_abstract.html](http://www.ta3.sk/caosp/Eedition/Abstracts/2000/Vol_30/No_2/pp89-98_abstract.html)) 95
- [3] Mikulášek, Z., Papoušek, J., Tremko, J., Žižňovský, J.: 2001, *Contr. Astron. Obs. Skalnaté Pleso* 31, 90 (Práce II) (dostupné též ze stránky [http://www.ta3.sk/caosp/Eedition/Abstracts/2001/Vol\\_31/No\\_2/pp90-118\\_abstract.html](http://www.ta3.sk/caosp/Eedition/Abstracts/2001/Vol_31/No_2/pp90-118_abstract.html)) 95
- [4] Mikulášek, Z., Svoreň, J., Žižňovský, J.: 2003, *Contr. Astron. Obs. Skalnaté Pleso* 33, 21 (Práce IV) (dostupné též ze stránky [http://www.ta3.sk/caosp/Eedition/Abstracts/2003/Vol\\_33/No\\_1/pp21-28\\_abstract.html](http://www.ta3.sk/caosp/Eedition/Abstracts/2003/Vol_33/No_1/pp21-28_abstract.html)) 95, 100
- [5] Papoušek, J., Vetešník, M., Tremko, J., Juza, K.: 1984, *Contr. Astron. Inst. MU Brno*, 27, 359 95
- [6] Svoreň, J., Žižňovský, J., Mikulášek, Z., Tremko, J.: 2002, in *Optics of Cosmic Dust*, G. Videen, M. Kocifaj (eds.), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 183 (Práce III) 95, 100

# Měření jasu noční oblohy

Ondřej Pejcha  
Okrouhlá 1, 625 00 Brno  
pejcha @ astro tecka sci . muni . cz

## 1 Abstrakt

Jako boční produkt pozorování proměnných hvězd na brněnské hvězdárně bylo analyzováno 11452 CCD snímků pořízených v 51 nocích v letech 2002 a 2003 za účelem zjištění jasu nebe v Brně. Byl vytvořen poloautomatický systém na analýzu napozorovaných dat. Byla zjištěna závislost jasů nebe na zenitové vzdálenosti a diskutován teoretický model této závislosti. Závislost jasu nebe na azimutu nebyla prokázána ani vyvrácena stejně jako závislost na čase. Střední hodnoty hvězdných velikostí čtvereční vteřiny nebe v zenitu jsou ve fotometrických filtrech V, R a I po řadě 18.6 (což odpovídá jasu  $0.0040 \text{ cd/m}^2$ ), 18.6 a 18.4 mag se standardní nejistotou přibližně 0.05 mag. Srovnání s daty z velkých světových observatoří ukazuje na velké světelné znečištění, jehož intenzita s rostoucí efektivní vlnovou délkou filtrů klesá. Až patnáctinásobné zvýšení vůči přirozenému jasu nebe ve filtrech V a R je vysvětleno světlem sodíkových výbojek, pro filtr I jde pravděpodobně také o emise těchto výbojek (na vln. délkách 768 nm a 819 nm).

## 2 Úvod

I na těch nejtemnějších místech Země není v noci dokonale temná obloha – fotony přicházející z nerozlišených zdrojů mají původ jak mimozemský (slabé hvězdy a galaxie, difusní pozadí Galaxie, zodiakální světlo) tak atmosférický (vlastní záření atmosféry, polární záře apod.). Kromě těchto přirozených složek tvoří většinu jasu noční oblohy v alespoň trochu obydlených oblastech lidská aktivita. Tuto nepřirozenou složku zahrnujeme mezi projevy světelného znečištění a chápeme ji jako rozdíl mezi přirozeným a naměřeným jasem nebe.

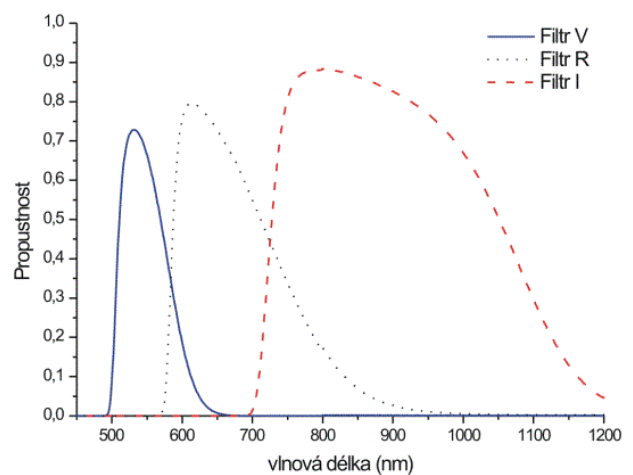
Abychom mohli posuzovat míru takového světelného znečištění lokality, musíme kvantifikovat množství tohoto parazitního světla. Jako jeden z nevhodnějších prostředků se k tomuto účelu hodí astronomická fotometrická měření, jejichž zpracování vyžaduje určení jasu nebe.

## 3 Pozorovací materiál

K analýze současného stavu světelného znečištění byla vybrána pozorovací řada pořízená autorem v letech 2002 a 2003 na Hvězdárně a planetáriu Mikuláše Koperníka v Brně pomocí zrcadlového dalekohledu optické konfigurace Newton (průměr primárního zrcadla 400 mm, ohnisková vzdálenost 1750 mm), který má v primárním ohnisku umístěnou CCD kameru SBIG ST-7. Tato CCD kamera se sestává z obdélníkové matice o rozměrech  $382 \times 255$  pixelů, která dává s použitým dalekohledem zorné pole

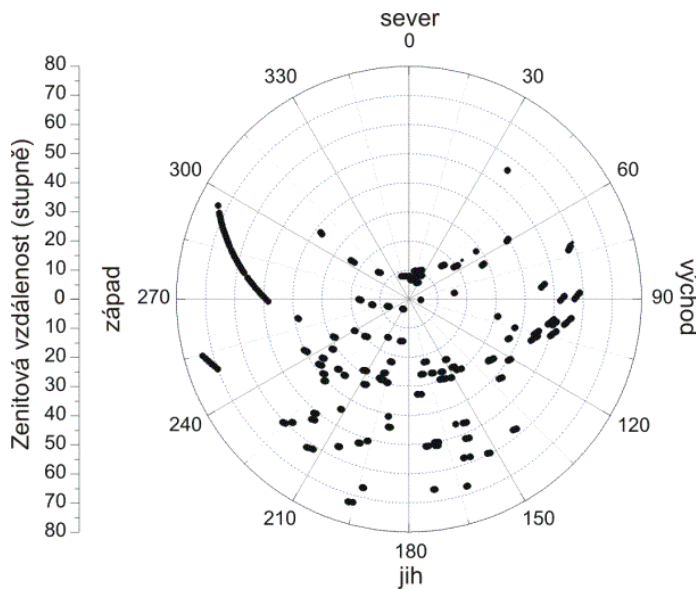
$13 \times 9$  čtverečních úhlových minut orientované delší stranou ve směru východ-západ. Kamera je vybavena karuselem se standardními fotometrickými filtry V(RI)[C], jejichž křivka propustnosti je znázorněna na obrázku 1. CCD kamera a dalekohled jsou ovládány pomocí počítače.

Obrázek 1: Křivky propustnosti filtrů použité CCD kamery



Primárním cílem pořizování měření byla vícebarevná fotometrie symbiotických dvojhvězd (výsledky pozorování např. v Pejcha a kol., 2003, a Sobotka a kol., 2002). Typicky bylo pozorováno kolem padesáti objektů každou noc, pro každý byly pořízeny tři snímky v každém z filtrů v rychlém sledu (celkový čas strávený na jednom objektu činil kolem deseti minut). Z tohoto schématu plynou výhody i nevýhody při použití těchto snímků pro určování jasu nočního nebe. Proměnné hvězdy je možno poměrně úspěšně pozorovat i mimo optimální podmínky (svit Měsíce, chvilková oblačnost apod.), které však značně ovlivňují určování jasu nočního nebe – tato data byla v průběhu zpracování vyřazena (viz část 3). Doba strávená nad jedním objektem neumožňuje spolehlivou detekci jak krátkodobých změn jasu nebe tak změn vlastností atmosféry (extinkce) v průběhu noci. Symbiotické dvojhvězdy nejsou na hvězdné obloze rozmístěny rovnoměrně a z toho plyne i nerovnoměrné pokrytí azimutů a výšek nad obzorem (viz obrázek 2). Na druhou stranu je pokrytí (i když nerovnoměrně) větší část oblohy, než pokud by byla sledována jedna hvězda celou noc.

**Obrázek 2:** Rozložení pozorovaných směrů na obloze v polárních souřadnicích (azimut a zenitová vzdálenost, oboje ve stupních). Zenit je uprostřed.



## 4 Analýza dat

V této části budou používány pojmy astronomické fotometrie, na jejichž přesnou definici zde není dost prostoru. Pro pochopení doporučuji například [2, Brož a kol. (2002)] a manuálové stránky k systému IRAF (<http://iraf.noao.edu/docs/photom.html>).

### 4.1 Redukce CCD snímků

Pro analýzu napozorovaných dat byl vytvořen automatický software, který umožňuje snadno přidávat další pozorování a sledovat tak vývoj světelného znečištění v budoucnu. Do zpracování vstoupilo 11452 snímků pořízených v 51 nocích v letech 2002 a 2003. Všechny tyto snímky byly opraveny o dark frame (korekce tepelného šumu) a flat field (korekce nerovnoměrné citlivosti jednotlivých pixelů a vad optické soustavy) a byla na nich provedena fotometrie pomocí balíku programů MUNIPACK [7, Hroch a kol., 2003]. MUNIPACK je založen na rutinách DAOPHOT II, což je vědecký standard v aperturní fotometrii. Zpracování všech snímků probíhalo automaticky pomocí vlastního frontendu k MUNIPACKu. Průměr clonky pro srovnávací hvězdu byl 7.09 pixelů, zatímco typické FWHM hvězdného obrazu je 2.5–3.0 pixely, což zaručuje, že se do clonky dostalo všechno světlo od hvězdy. Surové výstupy jsou volně k dispozici na adrese <http://var.astro.cz/pejcha/sky/>.

### 4.2 Získání jasů nebe

Návod k získání jasů nebe ze surových dat je popsán například v [6, Hroch (2002)] nebo také [8, Patat (2003)]. Postup uvedený níže je syntézou výše uvedených zdrojů s drobnými modifikacemi především technického rázu.

#### 4.2.1 Teoretický základ

Součástí výstupu MUNIPACKu je kromě instrumentálních hvězdných velikostí všech hvězd na snímku také údaj o inten-

zitě pozadí. Pro určení jasů nebe udaného jako hvězdná velikost čtvereční úhlové vteřiny potřebujeme kromě těchto údajů znát i vněatmosférickou hvězdnou velikost alespoň jedné hvězdy na snímku (nazveme ji srovnávací hvězda) a údaj o poloze měřené pole (azimut a výška nad obzorem spočítáme z rektascenze a deklinace středu měřeného pole a času měření).

Původní naměřený signál od srovnávací hvězdy spočítáme z výstupu MUNIPACKu pomocí následujícího vztahu

$$I_{star} = 10^{0.4(25 - m_{inst})} / t_{exp},$$

kde  $m_{inst}$  je instrumentální hvězdná velikost srovnávací hvězdy ( $/ 1 \text{ mag}$ ) a  $t_{exp}$  expoziční doba v sekundách. Měřený signál od oblohy z jednotkové plochy je

$$I_{sky} = \frac{j_{sky}}{p^2 t_{exp}},$$

kde  $j_{sky}$  je signál exportovaný MUNIPACKem,  $t_{exp}$  expoziční doba a  $p$  škála detektoru při čtvercových pixelech (v arcsec/pixel, v našem případě  $p = 2.17 \text{ arcsec/pixel}$ ). Výsledná hvězdná velikost čtvereční vteřiny nočního nebe (dělená jednou magnitudou) je potom

$$M_{sky} = m_{am} 2.5 \log \left( \frac{I_{sky}}{I_{star}} \right),$$

kde  $m_{am}$  je předpokládaná pozorovaná hvězdná velikost ( $/ 1 \text{ mag}$ ) srovnávací hvězdy v daném filtru, jakou by měla mít v daném místě oblohy. Srovnávací hvězdy byly pečlivě vybrány jako osamocené, barevně neutrální a dostatečně jasné hvězdy z prací [4, 5, Henden a Munariho (2000, 2001)] a z dalších spolehlivých zdrojů.

#### 4.2.2 Implementace

K surovým datům byly nejprve péčí M. Šulce spočítány následující parametry: azimut, výška nad obzorem, vzdušná hmota, azimut Měsíce a jeho výška nad obzorem. V následujícím kroku byla data rozdělena po jednotlivých nocích a vyřazeny všechny snímky, které měly expoziční dobu kratší než 5 s (v opačném případě nedominuje na pozadí CCD snímku jas nebe, ale šum detektoru), k nimž nebyl k dispozici údaj o absolutní hvězdné velikosti srovnávací hvězdy, které měly nejistotu instrumentální hvězdné velikosti srovnávací hvězdy větší než 0.1 mag a na nichž bylo detekováno více než 500 hvězd (políčko je v tom případě příliš zaplněno hvězdami a to neumožňuje spolehlivé určení signálu pozadí). V dalším kroku pak byla vyřazena všechna pozorování se vzdušnou hmotou větší než 3.5 (odpovídá výšce nad obzorem 16 stupňů a méně) a vykonaná v době, kdy byl Měsíc výše než deset stupňů pod obzorem. [8, Patat (2003)] používá ještě přísnější kritérium (-18 stupňů), ovšem pro data z vysokohorské observatoře VLT, kde mnohem temnější oblohu Měsíc ovlivňuje výrazně více. V posledním kroku byly vyřazeny noci, jejichž rozsah maximální a minimální vzdušné hmoty byl menší než 0.2 a které obsahovaly příliš málo měření. Po aplikování těchto kritérií zůstalo 880 měření (většina byla vyřazena kritériem výšky Měsíce).

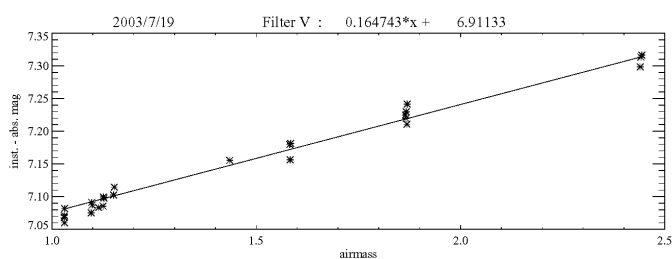
Veličina  $m_{am}$  uvedená v části 3.2.1 je závislá na zeslabení hvězdy atmosférou. Hledáme tedy lineární závislost mezi rozdílem instrumentální a vněatmosférické hvězdné velikosti a vzdušnou hmotou pro každou noc. Určení koeficientů lineárního fitu minimalizací funkce  $\chi^2$  bylo prováděno ve dvou iteracích. V první iteraci byly jako váhování byly zvoleny fotometrické chyby instrumentální hvězdné velikosti. Před druhou iterací byla vyřazena všechna data, jejichž vzdálenost od fitované přímky byla větší než

1s. Důvod pro tuto relativně přísnou selekci vyplynul z vizuální kontroly nařítovaných dat, při které se ukázalo, že velká většina pozorování splňuje závislost velice dobře, zatímco několik málo bodů se výrazně odchyľuje. Druhou iterací pak byly určeny konečné extinkční koeficienty. Pak bylo možno spočítat z vněatmosférických hvězdných velikostí  $m_{out}$  (či  $m_{abs}$ , čímž nemyslíme hvězdnou velikost zdroje ve vzdálenosti 10 pc) hodnoty pro danou vzdušnou hmotu,

$$m_{am} = m_{out} + k X,$$

kde  $k$  je extinkční koeficient a  $X$  vzdušná hmotu. Obrázek 3 znázorňuje typický fit pro určení extinkce. Podobné grafy byly sestaveny pro každou noc a ručně byly vyřazeny noci, ve kterých se nepodařilo extinkční koeficient úspěšně nařítovat. V tabulce 1 jsou udány střední hodnoty extinkčních koeficientů pro jednotlivé filtry. Srovnání například s [8, Patatem (2003)] nebo [10, Pravcem (2002)] ukazuje, že zjištěné údaje jsou výrazně vyšší. Tento rozdíl můžeme přiřadit zvýšené prašnosti ovzduší na území Brna a nízké nadmořské výšce .

**Obrázek 3:** Příklad určení extinkčního koeficientu v noci 19./20. 7. 2003 ve filtru V



### 4.2.3 Odhad chyby určení jas nebe

Chybu výsledného jas nebe ovlivňují kromě chyb instrumentálních hvězdných velikostí srovnávacích hvězd a signálu pozadí také další faktory. Externí nejistota určení hvězdných velikostí srovnávacích hvězd se pohybuje kolem 0.02 mag a v dalších úvahách ji můžeme zanedbat. Chyby určených extinkčních koeficientů byly maximálně v řádu několika setin, nejčastěji několik tisícín magnitud na vzdušnou hmotu, což můžeme při rozsahu vzdušné hmoty několik málo jednotek v dalším zanedbat. Můžeme rovněž zanedbat nestandardnost použitých filtrů - přesné transformační koeficienty jsou zatím předmětem výzkumu, ale pro filtry V a I dosahují několika setin a v případě filtru R maximálně 0.15. Jak je určeno v části 4.4, jas nebe v Brně má fotometrické barvy přibližně nulové a případné opravy by tak dosahovaly maximálně několik setin magnitudy. Na rozdíl od Patata (2003) nebyly uplatněny žádné filtry na data pořizená v době astronomického soumraku – vyřadili bychom tak data naměřená v létě, kdy astronomická noc na našem území vůbec nenastává. Výsledná nejistota tak byla počítána výhradně z chyb instrumentálních hvězdných velikostí srovnávacích hvězd a určení signálu pozadí. Typické hodnoty nejistot jsou kolem 0.2 mag.

## 5 Diskuse a shrnutí

### 5.1 Závislost jas nebe na vzdušné hmotě

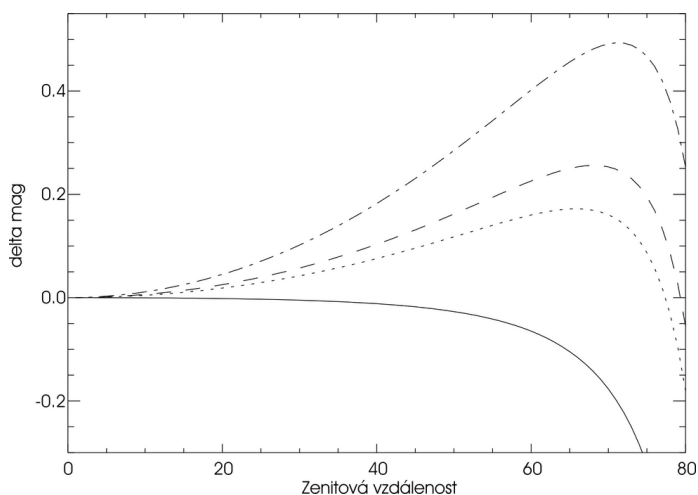
Je zřejmé, že jas nebe bude záležet na vzdušné hmotě měřené oblasti. [8, Patat (2003)] na základě dřívějších studií publikoval teoretickou závislost přirozeného jas nebe na vzdušné hmotě.

Předpokládáme, že část  $f$  celkového jas nebe je generována v atmosféře a  $(1 - f)$  pochází z oblasti mimo atmosféru, pak logaritmičsky vyjádřený jas nebe závisí na vzdušné hmotě jako

$$\Delta m = -2.5 \log[(1 - f) + fX] + k(X - 1),$$

kde  $X$  je vzdušná hmotu a  $k$  extinkční koeficient pro daný filtr. Na obrázku 4 jsou vykresleny tyto závislosti pro různé hodnoty parametru  $f$ .

**Obrázek 4:** Teoretické průběhy závislosti jas nebe na zenitové vzdálenosti pro extinkční koeficient  $k = 0.35$  a různé hodnoty parametru  $f$  (viz část 4.1) – 0.3 (plně), 0.6 (čárkovaně-krátké čárky), 0.7 (čárkovaně-dlouhé čárky) a 1.0 (čerchovaně)

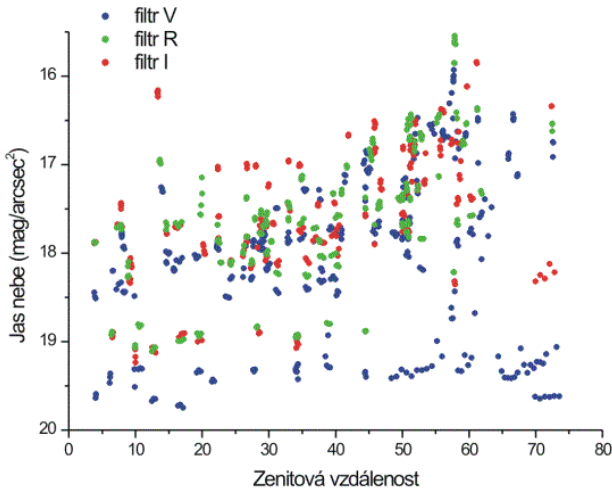


I přesto, že model je určen pro zkoumání přirozeného jas nebe, můžeme ho použít i na modelování jas nebe způsobeného lidmi. Vyplývá to z průběhu funkcí na obrázku 4. Stejně jako přirozený i umělý jas nebe roste s přibývajícím zenitovou vzdáleností. Ale pouze do určité míry, protože později se projeví konečné rozměry osvětlující oblasti (z větších vzdáleností přichází méně světla, které je navíc zeslabeno atmosférou).

Model byl intenzivně porovnáván s naměřenými daty (obrázek 5) pro různé hodnoty parametru  $f$  a nejlepší shoda byla dosažena pro  $f = 1.0$ . I přesto ale model plně nevystihuje v některých nocích pozorovanou závislost jas nebe na vzdušné hmotě. Můžeme to vysvětlit jak špatnými pozorovacími podmínkami (viz část 2), tak závislostí jas nebe na azimutu (viz další část) nebo jeho rychlé změny v čase. Nikdy však nebyla pozorována inverzní závislost (jas nebe klesá s rostoucí zenitovou vzdáleností) a korekce podle popsaného modelu byla na data aplikována. Pro extinkční koeficienty byly zvoleny údaje z tabulky 1. Závislost na vzdušné hmotě tak byla když ne potlačena, tak aspoň zmírněna.



**Obrázek 5:** Naměřená závislost hvězdné velikosti čtvereční vteřiny nebe na zenitové vzdálenosti



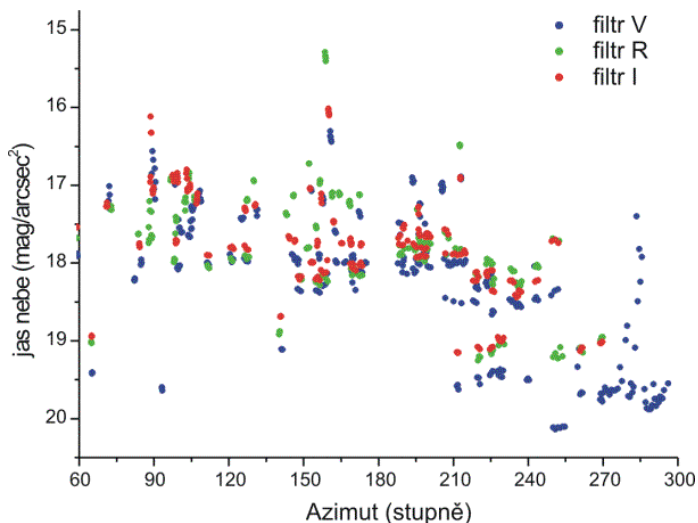
**Tabulka 1:** Střední hodnoty extinkčních koeficientů pro jednotlivé filtry

	$k$	$s_k$
V	0.35	0.14
R	0.24	0.12
I	0.14	0.09

## 5.2 Závislost jasu nebe na azimutu

Dá se očekávat, že ve světelně znečištěných oblastech bude jas nebe obecně záviset na azimutu měřené oblasti. Máme-li tedy jasy nebe opravené (alespoň přibližně) o závislost na vzdušné hmotě, potom můžeme tuto závislost zkoumat. Konzultací s obrázkem 2 zjišťujeme, že azimuty menší než  $60^\circ$  a větší než  $300^\circ$  měření pokrývají nedostatečně. Na obrázku 6 jsou proto vynesena data pouze pro tento zúžený interval.

**Obrázek 6:** Závislost hvězdné velikosti čtvereční vteřiny nebe při jednotkové vzdušné hmotě na azimutu



Srovnáním mapy Brna a obrázku 6 docházíme ke korelaci mezi azimutem a hustotou osídlení. Konkrétně mezi azimuty  $90^\circ$  až

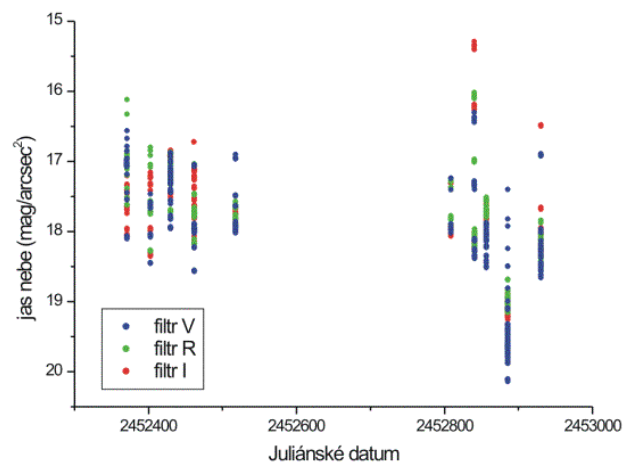
$210^\circ$  se nachází střed města, jižní centrum se silnou komerční aktivitou a sídliště Vinohrady, Líšeň a Bohunice. Oblasti kolem azimutu  $270^\circ$  odpovídá nejmenší lidská aktivita ze čtvrtí Kohoutovice a Žebětín, které jsou navíc ukryty za kopci.

Uvedenou korelaci však nepovažuji za průkaznou (i když ne nemožnou) z několika důvodů. Předně korekce závislosti na vzdušné hmotě nevystihuje plně pozorování (viz část 4.1) a nerovnoměrné rozdělení zenitových vzdáleností v závislosti na azimutu může produkovat popsanou závislost. Dále jasy nebe v obrázku 6 pro azimuty větší než  $270^\circ$  byly pořízeny v jedné noci (večerní datum 2003-09-02), která celkově vykazuje anomálně nízké jasy nebe (jeho čtvereční vteřina má kolem 19 mag) a to ovlivňuje vizuální posouzení obrázku 6.

## 5.3 Závislost jasu nebe na čase

Sledování změn jasu nebe v delším časovém horizontu je velmi žádoucí neboť poskytuje informaci o změnách intenzity světelného znečišťování v dané lokalitě. Přirozená hvězdná velikost elementu nebe vykazuje výrazné fluktuační s amplitudou až 0.8 mag ve filtru V a 1.5 mag ve filtru I [8, Patat, 2003]. Lze očekávat, že i umělý jas nebe bude vykazovat rozptyl ať už kvůli změnám parametrů atmosféry nebo změně intenzity komerčních aktivit v průběhu noci. Obrázek 7 znázorňuje závislost hvězdné velikosti elementu nebe (při jednotkové vzdušné hmotě) na čase. Pokles jasu nebe mezi pozorovacími sezónami 2002 a 2003 patrný z obrázku 7 nelze považovat za reálný. V roce 2002 na rozdíl od roku 2003 byla většina pozorování pořízena v době kolem letního slunovratu, kdy na pozorovacím stanovišti nenastává astronomická noc a jas nebe zvyšuje rozptýlené sluneční světlo. Sezóna 2003 je navíc ovlivněna už zmíněnou anomálně tmavou nocí (2003-09-02).

**Obrázek 7:** Závislost hvězdné velikosti čtvereční vteřiny nebe (při jednotkové vzdušné hmotnosti) na čase



## 5.4 Celkové parametry jasu nebe nad Brnem

Střední hodnota jasu nebe v zenitu byla pro jednotlivé filtry vypočtena jako absolutní člen lineárního proložení dat v obrázku 5. Získané údaje jsou uvedeny v tabulce 2. Z tabulky 2 je zřejmé, že barvy jasů nebe v Brně jsou neutrální, respektive podobné spektru hvězdy typu A0.

**Tabulka 2:** Střední hodnoty hvězdné velikosti čtvereční vteřiny nebe v zenitu ( $/ 1 \text{ mag}$ ) pro jednotlivé filtry

	$M_{sky}$	$s$
V	18.59	0.04
R	18.60	0.05
I	18.38	0.05

Obrázek 2 [3, Cinzana a kol. (2001)] udává pro Brno hvězdnou velikost čtvereční vteřiny nebe v zenitu 18.0–18.5 mag ve filtru V a představuje tak velice dobrou shodu s naměřenými údaji.

Souhrn jasů nebe publikovaný [8, Patatem (2003)] pro největší astronomické observatoře ukazuje, že typické hodnoty hvězdné velikosti čtvereční vteřiny nebe v zenitu jsou  $V = 21.7$ ,  $R = 20.9$  a  $I = 19.6$  mag. Dá se očekávat, že přirozené jasy nebe v lokalitě pozorování budou velice podobné, neboť záření atmosféry vzniká především v tzv. van Rhijnově vrstvě ve výšce 130 km nad povrchem Země.

Největší poměr naměřených jasů nebe vůči přirozeným hodnotám dosahují data ve filtru V, jehož křivka propustnosti dobře souhlasí s citlivostí lidského oka. Zjasnění dosahuje 3 mag, což v lineární škále znamená až patnáctinásobné navýšení vůči přirozenému stavu. Zvýšený jas nebe ve filtrech V a R je dán povahou městského světelného znečištění, na kterém se podílí především sodíkové výbojky zářící v tlakově silně rozšířeném sodíkovém dubletu Na I D, který má vlnovou délku 589 nm. I přesto, že křivka propustnosti filtru I nezasahuje do viditelné oblasti, je v těchto filtrech pozorováno světelné znečištění. Způsobují ho zřejmě zejména infračervené čáry sodíku.

Střední jas nebe ve filtru V pro daný soubor dat a pro zenit v jednotkách SI je 0.00396(14) cd/m<sup>2</sup>.

## Literatura

- [1] Buil, Ch., 2003, How to calibrate spectra, <http://www.astrosurf.com/buil/us/spe2/hresol4.htm>
- [2] Brož, M., Lehký, M., Pejcha, O., Wolf, M., 2002, <http://sirrah.troja.mff.cuni.cz/~mira/variables/absolut/README> 105
- [3] Cinzano, P., Falchi, F., Elvidge, C. D., 2001, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 323, 34–108
- [4] Henden, A., Munari, U., 2000, *Astronomy & Astrophysics*, 143, 343–105
- [5] Henden, A., Munari, U., 2001, *Astronomy & Astrophysics*, 372, 145–105
- [6] Hroch, F., 2002, *CCD-CR mailing-list*, <http://amper.ped.muni.cz/mailman/listinfo/ccd> 105
- [7] Hroch, F., Novák, R., Král, L., 2002, <http://munipack.astronomy.cz> 105
- [8] Patat, F., 2003, *Astronomy & Astrophysics*, 400, 1183–105, 106, 107, 108
- [9] Pejcha, O., Zejda, M., Sobotka, P., 2003, *Information Bulletin on Variable Stars*, No. 5469
- [10] Pravec, P., 2002, *CCD-CR mailing-list*, <http://amper.ped.muni.cz/mailman/listinfo/ccd> 106

- [11] Sobotka, P., Pejcha, O., Šmelcer, L., Marek, P., 2002, *Observations of possible symbiotic star V335 Vul*, In “Symbiotic stars probing stellar evolution”, Eds. R. L. M. Corradi, J. Mikolajewska, and T. J. Mahoney, ASP conf. series, in press (2002)

# Jasy oblohy z klasické fotoelektrické fotometrie

Ing. Dalibor Hanžl,  
Masarykova Univerzita, Brno

## 1 Úvod

Fotoelektrická fotometrie má v Brně dlouhodobou tradici. Naše práce se zaměřuje na zpracování klasických fotometrických měření, která byla získána přístrojem brněnské hvězdárny před nástupem CCD přístrojů či paralelně se začátkem jejich užívání, a pokrývající časový interval od roku 1988 do roku 1995. Pořizování fotometrických dat probíhalo na 0.40-m reflektoru brněnské hvězdárny, vybaveném fotometrem z dílny MFF UK, který byl osazen fotonásobičem EMI 6256 a filtry standardního systému UBV. Ve všech případech byla pro měření použita clonka o průměru 1.2'.

## 2 Charakteristika dat

Pro zpracování byla použita fotometrická data uložená v digitální podobě. Každá série obsahovala měření intenzit oblohy, základní a proměnné hvězdy a nejméně jednu kontrolní hvězdu. K jednotlivým intenzitám byl k dispozici časový údaj. Měření se provádělo ve třech filtrech standardního Johnsonova fotometrického systému UBV. Vzhledem k nízkým hodnotám odstupů signál-šum nebylo ve všech případech možné zpracovat data v oboru U. Základní pozorovací schéma vypadalo takto: OV-OB-OU-ZV-ZB-ZU-VV-VB-VU-AV-BV-BU-OV-OB-OU-ZV-ZB-ZU-VV atd. Intenzity oblohy byly měřeny před každou sérií měření základní, proměnné a kontrolní hvězdy.

## 3 Postup zpracování

Jak již bylo zmíněno výše, měření intenzit oblohy tvoří podstatnou část celého datového souboru. Ve fotometrické praxi potřebujeme pro následné zpracování hodnot intenzit měřených hvězd znát velmi podrobně průběh intenzit oblohy. Díky relativně častému měření oblohy můžeme pro stanovení okamžité hodnoty jasu oblohy zvolit lineární interpolaci dvou měření časově sousedních s měřením zkoumaného objektu.

V případě výzkumu intenzit oblohy bylo tento přístup zachován, protože poskytuje nejpřesnější výsledky s ohledem na výsledné hodnoty jasů oblohy.

Jednotlivá měření byla zpracována v tabulkové formě a doplněna grafy vstupních intenzit měřených objektů. Grafy jsou k dispozici formou přílohy ke všem měřeným oborům. První graf zachycuje celkové průběhy intenzit všech měřených objektů v zadaném časovém úseku.

Dalším grafickým výstupem je vlastní průběh intenzit oblohy. I když je obloha zakreslena i na celkovém grafu, je v mnohých případech vinou měřítka velmi zmenšená a nejasná.

Grafický výstup kromě základních informací o názvu měřené hvězdy, času pozorování (v Gregoriánském a Juliánském datování), použité základní i kontrolní hvězdě, spolu se souřadnicemi proměnné hvězdy obsahuje další údaje. Jsou to např. procento fáze Měsíce, elongace, heliocentrická korekce, souřadnice Slunce a Měsíce.

Hlavním výstupem je tabulka měřených hodnot jasů oblohy. Tabulka je realizována souborem textového typu, který obsahuje v první řadě měření jasů oblohy vůči základní hvězdě (základní hvězda je druhý nejčastěji měřený objekt hned po obloze ve všech měřeních). Základní hvězda byla také obvykle volena jako hvězda s nejlépe známými fotometrickými katalogovými údaji a barevnou charakteristikou.

Hodnoty intenzit oblohy vůči základní hvězdě jsou relativní, protože přesné určení jasnosti základní hvězdy bude předmětem dalšího fotometrického měření nebo dalšího zpracování údajů z literatury. Připravuje se též materiál s identifikací použitých hvězd podle záznamů v pozorovacím deníku.

V dalších tabulkách následují hodnoty jasů oblohy jak vychází z měření kontrolních hvězd seřazené podle oborů. Podobně jako v případě základní hvězdy se jedná o relativní jasnosti, neboť přesnou hodnotu jasnosti v oborech VBU pro tyto hvězdy je nutné určit dalším měřením nebo vyhledáním v literatuře.

Čas je v tabulkách uváděn v Juliánském datování opravený o heliocentrickou korekci (hodnota heliocentrické korekce je uvedena v závěrečné tabulce).

Poslední dva sloupce u každého fotometrického měření obsahují údaj o vzdušné hmotě a hodinovém úhlu objektu v čase měření.

Soubor uzavírá sumární tabulka tzv. katalogového souboru, tedy fotometrické charakteristiky měřených hvězd. Pokud fotometrické charakteristiky (V, B-V, U-B) byly pro tyto hvězdy známy, obsahuje tento soubor jejich katalogové hodnoty. V případě, že známy nebyly, obsahuje pouze hodnoty barevných indexů (B-V, U-B) určených během procesu zpracování daného měření.

Úrovně jasů oblohy jsou tedy vyjádřeny jako rozdíl mezi hvězdnou velikostí základní, resp. kontrolní hvězdy a oblohy v magnitudách. V případě, že se údaj o hvězdné velikosti měřených hvězd podaří dohledat v katalogích, je možné jednoduše určit i absolutní jasy oblohy.

Jak již bylo zmíněno v úvodu, pro měření byla použita clonka o průměru 1.2', což odpovídá plošce na obloze o rozměru 1.13 arcmin<sup>2</sup>.

## 4 Další postup práce

V této chvíli máme zpracovánu zatím pouze část celého fotometrického materiálu. Další postup práce bude spočívat ve vyhod-

nocování veškerých dat, dohledání identifikací měřených hvězd s katalogem, pokus o vyhledání jejich přesných fotometrických charakteristik nebo dodatečné proměření.

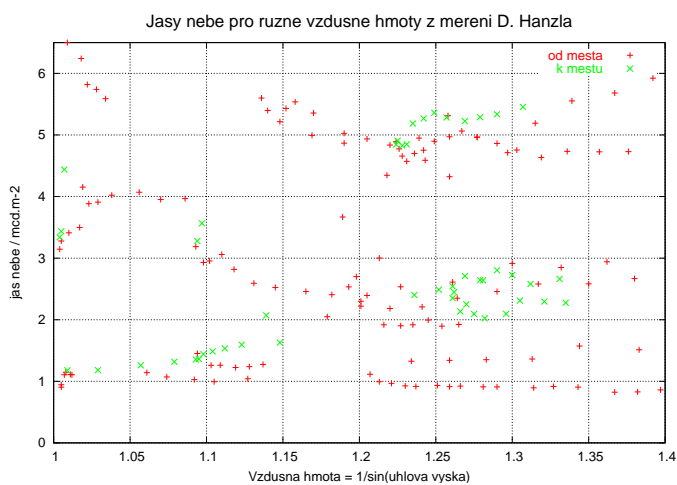
K přesnějšímu určení hodnot jasů oblohy bude také nutné stanovit přesněji úhlový průměr fotometrické clonky.

Dále existuje jistá část fotometrického materiálu ve formě výpisů z registračního zapisovače, které bude potřeba vyhodnotit a přepsat do počítače.

V Brně dne 7. 12. 2003

## 5 Přílohy:

Viz adresář `jasynebe/hanzl/` – datové soubory, grafy měření v jednotlivých nocích. Sumární graf zachycující výsledky, které se zatím podařilo přibližně kalibrovat, je zmenšeně uveden i zde; množství zahrnutých dat je zatím velmi malé a spolehlivé informace o průzračnosti ovzduší v daných chvílích ještě chybějí (graf a poznámka hlavního řešitele projektu, JH).



Autor sám dává data na `ftp://astro.sci.muni.cz/jasy`.



# Astronomická měření jasu oblohy

Rudolf Novák, RNDr. Jan Hollan  
Hvězdárna a planetárium M. Koperníka v Brně

Jednou ze základních disciplín pozorovací astronomie je fotometrie sledovaných objektů. Jedná se o různé způsoby měření veličiny hvězdná velikost (jejíž jednotkou magnituda), která definovaným způsobem souvisí s hustotou zářivého toku od daného objektu přes daný spektrální filtr (viz [1, Hollan 1999]). Fotometrická měření se proto pořizují tak, že přicházejícímu záření stavíme do cesty krom dalekohledu a detektoru také onen filtr, které propouští záření v určitém rozsahu vlnových délek. Obvyklým cílem je zjistit jen vlastnost daného objektu, tedy odečíst z registrovaného signálu vliv ovzduší. Je ale možné z dat právě vlastnosti ovzduší studovat, tj. jeho jas či zář v různých filtrech a také jeho průhlednost. V naší práci uvádíme pozorování prováděná různými detektory, hlavně ale fotonásobiči a tzv. CCD kamerami. To jsou kamery podobné dnešním digitálním fotoaparátům, jenže s větším dynamickým rozsahem a délkou expozic. Oba typy detektorů poskytují takovou informaci a proto je stanovení hodnoty záře pozadí (tedy oblohy) pouze otázkou vhodného zpracování.

(Hvězdná velikost je bezrozměrnou logaritmickou veličinou, odpovídající lidskému vnímání. Lze ji samozřejmě přepočítat na běžné fotometrické veličiny, jako je hustota světelného toku působená daným objektem, v tomto případě nějakým prostorovým úhlem oblohy, v astronomii se této veličině říká jasnost. Podíl jasnosti a prostorového úhlu je ovšem dobře známá veličina zvaná jas, tedy jasnost objektu je integrál jasu přes prostorový úhel zaujímaný objektem.)

Metodika kalibrace fotometrických dat je velmi dobře popsána a dokumentována v běžných studijních textech fyzikálních oborů majících specializaci na astronomii, stejně jako v odborné literatuře. V zásadě se celý postup provádí několikanásobným opakováním odečtu intenzit (klasická fotometrie prováděná s fotonásobiči) zvolených hvězd a oblohy, nebo postupným snímáním celého pole se zkoumaným objektem (CCD kamery ukládají do počítače matici rozložení detekovaného náboje na čipu s hlavičkou obsahující mimo jiné čas a délku expozice). Po provedení redukci o vliv detektoru a ovzduší se data naváží na mezinárodní fotometrický systém. Ten je definován mnoha desítkami hvězd po celé obloze. Měření uváděná v této práci byla zpracována takovým způsobem a v případě zkoumaných objektů také většinou publikována v recenzovaných odborných časopisech.

Během řešení tohoto projektu nebyla zpracována všechna dostupná data, protože nebylo v přiděleném čase reálné je ani sesbírat. I tak se podařilo sestavit unikátní soubor výsledků tří autorů, kteří se stelární fotometrií buď profesně zabývali, nebo stále zabývají. Vzhledem k relativně dlouhé časové škále měření (počátky měření spadají do šedesátých let) jsme zároveň schopni odhadnout celkový trend změn jasu oblohy a určit tak alespoň přibližně tempo nárůstu světelného znečištění. Přesnější výsledky ale vyžadují mnohem více času pro zpracování.

Dosud zpracovaná data ukazují velký interval, ve kterém se jasy oblohy pohybují. Konkrétně v Brně na Kraví hoře je to i v oblasti do dvaceti stupňů od nadhlavníku zhruba od dvou milikandel na metr čtvereční až do deset milikandel na metr čtvereční (čili od jednoho do deseti milinitů, užíjeme-li tuto milou jednotku, která se nedostala do SI, jen do starší ČSN), v závislosti na průzračnosti ovzduší a také na tom, hledíme-li od zenitu k městu nebo na opačnou stranu.

Takové rozmezí je ve shodě s prací Z. Mikuláška vytvořenou v našem projektu, která ukazuje proměnnost zeslabení světla hvězd, které jsou v zenitu, od dvou desetin magnitudy až do jedné magnitudy, v případě Brna (tj. tzv. zenitovou extinkci).

V tak velmi proměnlivých jasech noční oblohy není na první pohled patrný trend změn za poslední čtvrtstoletí. K údajům o jasu oblohy je nezbytné přidat údaj o zenitové extinkci v daném okamžiku, a to údaj dostatečně přesný. To je z větší části již záležitostí pokračování projektu. Přesto se jeden z nás (J. Hollan) pokusil to na onom zlomku dat, který autoři poskytli, v nejjednodušší podobě provést.

U měření RNDr. Jiřího Papouška, CSc. která pokrývají řídké interval od roku 1975 do roku 1992, se středem zhruba v roce 1983, byla průměrná extinkce v zenitu 0.445 mag. Na tuto průměrnou extinkci jsme přepočítali udávané jasy, a to v alternativní doméně hvězdných velikostí vztahem

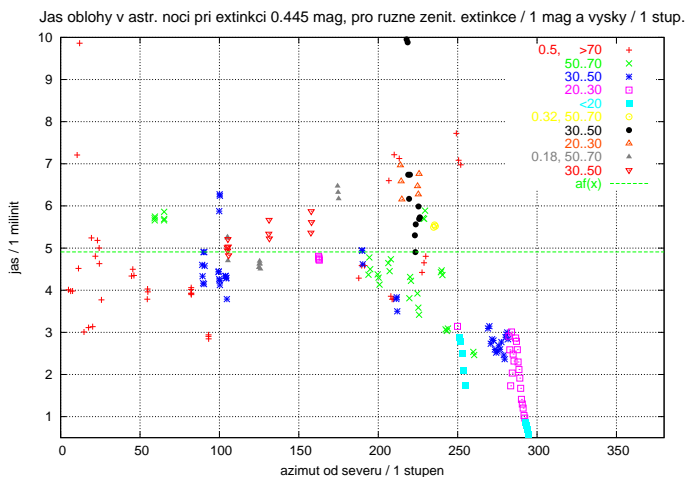
$$\text{udávaná hvězdná velikost} - 2.5 \log(\text{udávaná zenitová extinkce} / 0.445 \text{ mag}).$$

Výsledná průměrná hvězdná velikost čtvereční vteřiny oblohy je 18.8(1) mag, což odpovídá 0.0033(3) nt (bez přepočtu na průměrnou velikost extinkce je výsledek jen zanedbatelně odlišný, o tři procenta). Časová závislost není patrna žádná.

U dat Dalibora Hanžla z let 1994 a 1995 zatím žádné dobré odhady extinkce nemáme, a dat je také jen málo, tedy pokud jde o počet nocí. Zdá se však, že se střední hodnota jasu nebe v zenitu nebude příliš odlišná od hodnoty zjištěné pro osmdesátá léta.

U dat Ondřeje Pejchy se v intenzivní spolupráci s ním podařilo nalézt alternativní metodu transformace dat, která vychází z předpokladu konstatnosti vlastností kamery spíše než z konstatnosti průzračnosti ovzduší během noci a v různých azimutech. Na základě této kalibrace pak jas oblohy v oboru V vychází velmi jednoduše jako podíl signálu na čipu (v oblasti beze hvězd) a expoziční doby krát 1.05. Samozřejmě, mění se v daném místě oblohy ve velkém rozmezí úměrně neprůhlednosti ovzduší. Za její charakteristiku jsme zvolili prostý rozdíl mezi pozorovanou (udávanou použitým softwarem Munipack s arbitrárním, ale pevným počátkem škály, po odečtu empiricky zjištěné konstanty 6.45 mag) a katalogizovanou hvězdnou velikostí hlavní srovnávací hvězdy na daném snímku. Ten charakterizuje extinkci světla hvězdy. Po vydělení střední extinkcí 0.445 mag (abychom dostali hodnotu srovnatelnou s hodnotou Dr. Papouška) dostáváme koeficient, kterým dělíme jas oblohy, abychom zjis-

tili, jaký by byl při této extinkci. Výsledný graf je na obrázku [jas.ynebe/pejcha/445\\_6451.png](http://jas.ynebe/pejcha/445_6451.png) :



V grafu je nyní (na rozdíl od onoho v původním příspěvku O. Pejchy) velmi nápadně vidět vliv města, kde v Brně od severu na jih světelných zdrojů při pohledu z Kraví hory přibývá. Vliv různých úhlových výšek je potlačen přepočtem na jednotnou průhlednost ovzduší, tedy řečneme na zenit při zenitovém zeslabení světla hvězd o onu necelou půlmagnitudu. Rozptyl kolem tohoto trendu je dán nejistotami znalosti skutečné jasnosti použitých jednotlivých hvězd, nejistotami jejich měření, příležitostným vlivem oblačnosti atd., bude vyžadovat další studium na větším materiálu a v delší lhůtě, řečneme jednoho roku.

V azimutech kolem západu se především v malých úhlových výškách uplatňuje ovzduší západně od města, jen málo uměle osvětlené, proto jsou jeho jasy nižší. Tak nízké tam ale přepočítané jasy asi ve skutečnosti nejsou; jde o měření z jediné noci, kde mohly být hvězdy zeslabené cirrostratem daleko od Brna, a přepočet na stejnou průhlednost dal falešně nízký údaj (cirrostratus hvězdu zeslabí, ale světlo ze země pošle hlavně do vesmíru, takže se jas nebe nezvýší úměrně zeslabení hvězdy). U nejnižších výšek se tam kromě toho uplatňuje viněta (část pupily přístroje je zakryta okrajem pozorovatelný).

Významná je střední hodnota jasu přepočítaného na stejné podmínky. V doméně hvězdných velikostí je to pro čtvereční vteřinu nebe 18.4(1) mag, o 0.4 mag méně než v případě dat Papouškových. To znamená, že jas nebe stoupl od roku 1983 do roku 2003 zhruba o čtyřicet pět procent (přesněji, v intervalu standardní nejistoty, o třicet až šedesát pět procent). Je to méně, než jsme čekali.

Na druhé straně je možné, že většina nárůstu se odehrála od poloviny devadesátých let, což by představovalo růst poměrně rychlý. Pro přesnější odpověď bude nutné zanalyzovat mnohem více dat, a to i metodami, které jsme nyní vyvinuli, a dalšími, které z výzkumu vplynuly (je přitom potřeba klást důraz na obvykle jen sekulární proměnnost vlastností měřicí aparatury a naopak rychlou proměnnost vlastností ovzduší; problémem je omezená konstatnost klasických fotometrů před érou CCD kamer, která bude vyžadovat hlubší studium).

Dramatický nárůst jasu noční oblohy v Brně nastal již dříve, od šedesátých do sedmdesátých let, kdy se místo zárovek začaly používat masově výbojky. To je dokumentováno údajem Dr. Tremka z počátku šedesátých let, kdy jas nebe na Kraví hoře v zenitu byl ještě blízký jasu přírodnímu (hvězdnou velikost čtvereční vteřiny oblohy v zenitu udával Tremko ve filtru V na 22 mag, to odpovídá jen dvěma desetínám milinitu). Přírodní jas je v bezměsíčných nocích, když je Slunce dostatečně hluboko pod obzorem

(v úhlové výšce  $-18^\circ$  a níže, tedy za tzv. astronomické noci) v zenitu v průměru asi čtvrt milinitu, a to takřka nezávisle na průzračnosti ovzduší, jen je-li bezoblačné. V dalším čtvrtstoletí byl nárůst zřejmě mnohem menší, alespoň nad Kraví horou v Brně. V okrajových oblastech města a na venkově mohl růst a pravděpodobně rostl i v minulých desetiletích a letech významněji, to ale je nutno zkoumat na datech z takových oblastí.

V každém případě je úroveň jasu nebe tak vysoká, že zvyšuje podstatně šum při fotometrických pozorováních. Ze stejného pozorovacího stanoviště sledujeme slabší objekty pouze za cenu celkově delší expozice. Moderní techniky sice umožňují tento problém obházet tzv. skládáním expozic, každé jednotlivé pozorování se tak ale prodraží a během jedné pozorovací noci nemůže astronom studovat tolik objektů. Vzhledem k tomu, že astronomický výzkum se v ČR provádí výhradně z veřejných prostředků, je nežádoucí, aby byl z těch samých prostředků omezován znehodnocováním životního prostředí.

Mnohem dramatictější je ale dopad pro to nejobyčejnější sledování nočního nebe ze záliby, na vlastní oči. Zvyšující se jas oblohy totiž zmenšuje kontrast mezi svitem reálných nebeských objektů a jasnem pozadí. Nejnápadnějším příkladem totální devastace obrazu jsou polární záře a jasné komety. Během posledních deseti let jsme měli vzácnou možnost sledovat nad celým územím ČR hned dvě jasné komety a tři nápadné polární záře. V případě komet sledujeme na obloze jasnější centrální oblast obsahující jádro komety a tzv. komu, kde dochází k rozptylování slunečního záření na prachových částicích a vlastnímu svícení uvolněného plynu. Právě koma, a zejména pak případný ohon komety bývá tou nejbáječnější podívanou. V případě komety Hyakutake se táhl ohon komety z nadhlavníku k obzoru, v malém dalekohledu byl dokonce vidět pomalý pohyb komety mez hvězdami (tedy vlastní pohyb komety, jak se ve sluneční soustavě mýjí se Zemí). Bohužel většina podívané zůstala většině lidí u nás i v jiných bohatých zemích dokonale ukryta. Ve městech, kam se občané vypraví (intuitivně) na hvězdárny za astronomickými pozorováními, bývá totiž jas oblohy a konstrukce veřejného osvětlení společně natolik velkou překážkou, že i z těch nejobyčejnějších setkání s kometou (jedna pořádná kometa připadá přibližně na padesát lidských let) se stává nevýrazná show postrádající přírodní nádheru a jemné, den ode dne se měnící detaily. Zvýšený jas městského nebe spolehlivě přezáří i slabé okraje komy, ohon je patrný nanejvýš náznakem. Ve velkých dalekohledech můžeme sledovat mnohem méně krásné centrální oblasti komet s vysokým jasnem, kde sice dochází k vývoji během dní a někdy i hodin, ale pohled do okuláru postrádá velkolepost přírodního úkazu.

Ještě horší je to ale s polárními zářemi. Zaplane-li na obloze polární záře, můžeme být svědky procesů ve výškách stovek kilometrů, kdy se v extrémně řídkém ovzduší uvolňují výkony až stovek gigawattů, poté, co do zemské magnetosféry pronikl oblak rychlých částic ze Slunce. Každý (i nepoučený) pozorovatel na tmavé obloze vidí nápadné proměny během několika minut nebo i sekund. Chvillemi se obzor rozsvítí jakoby vzdáleným požárem (dříve se běžně stávalo, že hasiči vyjeli naprázdno...) a do tohoto světlého pozadí se zvednou od obzoru obrovské kužely s barevným nádechem, aby se postupně posunovaly v azimutu a měnily se před očima. Rozdíl pozorování takového jevu z města a tmavého plácku u lesa daleko za městem je propastný. Vidět polární záři z města a z přírody je asi takový rozdíl, jako vidět úplné a částečné zatmění Slunce. Zatímco při úplném slunečním zatmění si můžeme vychutnat svit bledé koróny (takové pozorování přesahuje vše pozemské) a další úchvatné momenty, při částečném si všimneme pouze toho, že kus Slunce chybí. Polární záře ve městě tu a tam bývají vidět, ale jen těžko si jich všimneme na světlém



nebi, natož mezi lampami. Musíme přesně vědět, kam se dívat a musíme také vyčkávat jenom na ty nejnápudnější změny.

Toto naše stanovisko je důkladně opřeno o vizuální pozorování jednoho z autorů – Rudolf Novák odjel během silné polární záře, která probíhala celou první polovinu noci 20. listopadu 2003, z hvězdárny na venkovskou lokalitu, takže mohl pohled z Kraví hory v Brně a pohled z lokality vzdálené od Brna třicet kilometrů severně porovnat. Pořídil ale také sérii snímků, ze kterých druhý z autorů zjistil jasy polární záře. Nejsou veliké, pohybují se od necelé milinuty do zcela výjimečných deseti milinitů, běžné silné jevy mají kolem dvou milinitů. Jestliže má samo městské nebe dva milinuty (při výjimečně bezprašném vzduchu), či dokonce pět milinitů, pak polární záře sice lze ohalit, ale barevná nádhra je velmi potlačena. Jevy níže nad obzorem pak mají jas jen zlomkový oproti trvale znečištěné městské obloze, ta např. v Brně z Kraví hory má výšce dvaceti stupňů jasy nad šest milinitů, a polární záře ani odborník na první pohled neodhalí, lze jen na hranici detekovatelnosti zjistit, že tam zřejmě je, když se jas nebe rychle o malinko změní. Viz adresáře [jasynebe/novak](#) s vyhodnocenými snímky polární záře (pořízenými na venkovské obloze, která má jasy i pod jeden milinit) a [jasynebe/hollan](#) (snímky oblohy z Kraví hory za výjimečně průzračného vzduchu se zenitovou extinkcí jen kolem 0.20 mag).

00367	0.00367	0.00366	0.00369	0.00367	0.00358	0.00359	0.00352	0.00351	0.00352									
22	18	23	18	24	18	25	18	26	18	26	18							
27	27	27	27	27	27	27	26	26	26	26	26							
00382	0.00371	0.00374	0.00414	0.00392	0.00370	0.00370	0.00361	0.00361	0.00361	0.00361	0.00361							
22	19	23	19	24	19	25	19	26	19	27	19	28	19					
29	28	29	28	28	28	27	26	27	26	27	26	27	26					
00383	0.00381	0.00389	0.00415	0.00379	0.00383	0.00372	0.00371	0.00383	0.00383	0.00383	0.00383	0.00383	0.00383					
22	20	23	20	24	20	25	20	26	20	27	20	28	20	29	20	30	20	
29	29	29	29	29	29	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
00397	0.00390	0.00391	0.00398	0.00392	0.00386	0.00387	0.00384	0.00380	0.00380	0.00380	0.00380	0.00380	0.00380	0.00380	0.00380	0.00380	0.00380	
22	21	23	21	24	21	25	21	26	21	27	21	28	21	29	21	30	21	
31	30	30	30	31	30	30	29	29	29	29	29	28	29	29	29	29	29	
00415	0.00404	0.00405	0.00423	0.00409	0.00400	0.00397	0.00395	0.00405	0.00405	0.00405	0.00405	0.00405	0.00405	0.00405	0.00405	0.00405	0.00405	
22	22	23	22	24	22	25	22	26	22	27	22	28	22	29	22	30	22	
31	31	32	31	31	30	30	30	29	30	30	29	29	30	30	30	29	30	
00419	0.00414	0.00415	0.00433	0.00415	0.00404	0.00405	0.00407	0.00399	0.00399	0.00399	0.00399	0.00399	0.00399	0.00399	0.00399	0.00399	0.00399	
22	23	23	24	23	25	23	26	23	27	23	28	23	29	23	30	23	31	23
32	32	32	31	32	31	31	31	31	31	31	30	31	31	31	31	31	31	31
00436	0.00428	0.00424	0.00430	0.00427	0.00419	0.00421	0.00533	0.00412	0.00412	0.00412	0.00412	0.00412	0.00412	0.00412	0.00412	0.00412	0.00412	0.00412
22	24	23	24	24	25	24	26	24	27	24	28	24	29	24	30	24	31	24
33	33	32	32	33	32	32	31	31	31	30	30	30	30	30	30	30	30	30
00451	0.00472	0.00442	0.00442	0.00429	0.00428	0.00431	0.00423	0.00424	0.00424	0.00424	0.00424	0.00424	0.00424	0.00424	0.00424	0.00424	0.00424	0.00424

První obrázek je výřezem ze snímku pořízeného z brněnské hvězdárny za velmi průzračného vzduchu v úhlové výšce třicet až čtyřicet stupňů nad jihem. Obloha je oranžová vinou sodíkových výbojek, s jasnými asi čtyř milinutů. Níže je výřez z jednoho z obrázků polární záře, také je na něm nebe oranžové (jasná hvězda je Mirach, vpravo nahoře je Galaxie v Andromedě). Je to ale záběr detailu tzv. koróny, zvláště rychle se měnícího chvilkového jevu, jaký nastává během některých silných polárních září. I v nejsilnějších částech má tento jev jas pod dva milinuty (dodejme, že i nebe poblíž Blanska mělo v dané chvíli umělé znečištění přes tři čtvrté milinuty, příspěvek polární záře byl jen něco přes milinut)!<sup>33</sup>

<sup>33</sup> Poznamenejme, že údaje o jasu polární záře jsou zatíženy větší nejistotou než jiné jasové údaje, vinou výhradně čarového spektra záře, nejistotu lze odhadnout až na dvojkový řád. Pro snížení nejistoty je nutné proměření spektrálních citlivostí políček různé barvy a jejich srovnání se spektry záře a s ftopickou a skotopickou spektrální citlivostí zraku.

180	181	181	179	176	175	175	173	173	172	171	170	170													
0.00174	0.00174	0.00172	0.00184	0.00158	0.00152	0.00149	0.00148	0.00144	0.00143	0.00138	0.00136	0.00135													
8	25	8	27	8	29	8	31	8	32	8	34	8	35	8	36	8	37								
184	184	181	178	177	176	175	174	173	172	171	171	172													
0.00188	0.00184	0.00170	0.00180	0.00157	0.00154	0.00150	0.00148	0.00146	0.00144	0.00142	0.00141	0.00142													
9	25	9	26	9	27	9	28	9	29	9	30	9	31	9	32	9	33	9	34	9	35	9	36	9	37
186	182	179	179	178	178	177	175	175	174	174	172	173													
0.00199	0.00179	0.00186	0.00182	0.00159	0.00158	0.00158	0.00153	0.00150	0.00148	0.00144	0.00144	0.00145													
10	25	10	26	10	27	10	28	10	29	10	30	10	31	10	32	10	33	10	34	10	35	10	36	10	37
180	179	179	179	180	178	177	176	176	175	174	174	173													
0.00180	0.00169	0.00166	0.00165	0.00165	0.00162	0.00158	0.00155	0.00152	0.00153	0.00148	0.00143	0.00144													
11	25	11	26	11	27	11	28	11	29	11	30	11	31	11	32	11	33	11	34	11	35	11	36	11	37
177	179	180	180	180	180	179	179	178	176	175	174	174													
0.00171	0.00171	0.00172	0.00172	0.00170	0.00168	0.00167	0.00168	0.00160	0.00153	0.00151	0.00146	0.00145													
12	25	12	26	12	27	12	28	12	29	12	30	12	31	12	32	12	33	12	34	12	35	12	36	12	37
179	182	181	180	181	183	183	181	178	176	174	175	175													
0.00179	0.00187	0.00183	0.00179	0.00182	0.00185	0.00182	0.00174	0.00164	0.00157	0.00152	0.00148	0.00145													
13	25	13	26	13	27	13	28	13	29	13	30	13	31	13	32	13	33	13	34	13	35	13	36	13	37
180	180	182	184	184	183	181	179	178	178	177	178	178													
0.00188	0.00188	0.00192	0.00195	0.00195	0.00190	0.00182	0.00175	0.00169	0.00165	0.00161	0.00158	0.00157													
14	25	14	26	14	27	14	28	14	29	14	30	14	31	14	32	14	33	14	34	14	35	14	36	14	37
178	181	182	181	181	181	181	182	183	183	181	180	179													
0.00183	0.00190	0.00192	0.00191	0.00188	0.00190	0.00186	0.00187	0.00185	0.00181	0.00176	0.00172	0.00164													
15	25	15	26	15	27	15	28	15	29	15	30	15	31	15	32	15	33	15	34	15	35	15	36	15	37
177	179	180	180	181	181	183	182	183	181	181	179	178													
0.00178	0.00185	0.00188	0.00190	0.00190	0.00191	0.00191	0.00191	0.00187	0.00183	0.00177	0.00170	0.00168													
16	25	16	26	16	27	16	28	16	29	16	30	16	31	16	32	16	33	16	34	16	35	16	36	16	37
175	176	177	177	177	177	178	178	178	178	179	179	178													
0.00187	0.00179	0.00174	0.00177	0.00174	0.00175	0.00176	0.00179	0.00178	0.00176	0.00179	0.00178	0.00167													

Umělé zvýšení jasu nebe tak paradoxně vadí profesionálním astronomům méně než obyčejným lidem. Pro přesná pozorování si badatelé ve valné většině případů najdou způsob, jak zajímavý objekt sledovat. V případě, že se jedná o náročný výzkum, provádí se měření buď na velkých hvězdárnách ukrytých před světly daleko od měst a na vysokých kopcích, nebo mimo zemskou atmosféru. V České republice ale existují také malé hvězdárny zřizované jako kulturní instituce a právě tam se přicházejí na oblohu dívat obyvatelé měst a vesnic. Veřejné osvětlení tak, jak je nyní konstruováno a budováno, naprosto nevyhovuje požadavkům pro pozorování a bude-li se nadále vyvíjet stejně, nebude sledování nočního nebe z měst ani v budoucnosti kloudně možné. Už se tam jedna generace přestala dívat, žije „bez nebe“. O vesmíru se dozvídá jen z televize, přestala si uvědomovat, že třeba Mars je také nápadnou naoranžovělou hvězdou, kterou např. od léta 2003 vidáme za jasných večerů jako jednu z nejjasnějších na obloze. Zprávy v novinách a pořady v televizi či v planetáriích autentický zážitek z pohledů na takovou planetu, jak putuje po nebi a během měsíců slábne, nemohou nahradit.

## Literatura

- [1] Hollan, J.: Veličiny a jednotky v astronomii, zvláště v astronomické fotometrii [online], 1999, [http://astro.sci.muni.cz/pub/hollan/a\\_papers/si\\_fot/si\\_fot.pdf](http://astro.sci.muni.cz/pub/hollan/a_papers/si_fot/si_fot.pdf) 25, 111
- [2] Hollan, J.: přepočítání mezi logaritmickým a lineárním vyjádřením jasu [online], 2002, <http://amper.ped.muni.cz/jenik/astro/lum.php>

# Další reference

## Literatura

- [1] Coffin, D. *Raw Digital Photo Decoding in Linux*, zejména dcraw.c [program]. Viz <http://www.cybercomnet/~dcoffin/dcraw> 26
- [2] Aue, H. – Doppler, W. – Heinrich, M. – Himmelbauer, H-P. – Hron, J. – Posch, T. – Siegel, M – Thiemann, N.: *Die Helle Not. Künstliche Lichtquellen - Ein unterschätztes Naturschutzproblem*. 2003, Tiroler Landesumweltanwalt & Wiener Umwelthanwaltschaft. (Verzi online viz <https://www.wien.gv.at/wua/pdf/hellenot.pdf>, 1.3 MB.) 9
- [3] Baxant, P. *Pohled shora*. 2001, snímek noční ulice z výšky a komentář, viz online <http://amper.ped.muni.cz/svetlo-v/2001q1/000024.html> či přímo [http://amper.ped.muni.cz/light/p\\_baxant](http://amper.ped.muni.cz/light/p_baxant) 20
- [4] Cinzano, P.: The propagation of light pollution in diffusely urbanised areas. 2000, in *Measuring and modelling light pollution*, Mem. Soc. Astron. It. 71, str. 93–112. <http://dipastro.pd.astro.it/cinzano/memorie/memsait.pdf> (celá kniha, 23 MB), resp. přímo <http://dipastro.pd.astro.it/cinzano/memorie/cinzano1propagation.pdf>, viz přehled obsahu na <http://dipastro.pd.astro.it/cinzano/memorie.23>
- [5] Cinzano, P.: The growth of light pollution in North-Eastern Italy from 1960 to 1995. 2000, in *Measuring and modelling light pollution*, Mem. Soc. Astron. It. 71, str. 159–156. <http://dipastro.pd.astro.it/cinzano/memorie/memsait.pdf> (celá kniha, 23 MB), resp. přímo <http://dipastro.pd.astro.it/cinzano/memorie/cinzano3growth.pdf>, viz přehled obsahu na <http://dipastro.pd.astro.it/cinzano/memorie.25>
- [6] *Ecology of the Night*, 2004. Web-site první všestranné světové konference o ochraně nočního prostředí. Uvádí definici nového oboru, skotobiologie. Viz <http://www.ecologyofthenight.org>.
- [7] Eisenbeis, G. – Hassel, F. (1999): Attraction of nocturnal insects by street lights. *Zoology* 102, Suppl. II 92.1: 81 (Abstract). (Viz též další odkazy na [http://www.uni-mainz.de/FB/Biologie/Zoologie/abt1/eisenbeis/Homepage\\_Licht\\_Umwelt.htm](http://www.uni-mainz.de/FB/Biologie/Zoologie/abt1/eisenbeis/Homepage_Licht_Umwelt.htm).) 22
- [8] *gPhoto* [program k ovládní digitálních kamer]. Viz <http://gphoto.sourceforge.net>
- [9] Hollan, J. *Illuminance by the Moon*. 2002, [vysvětlení k programu spustitelnému online a jeho URL] viz <http://amper.ped.muni.cz/svetlo-v/a/msg00206.html> 27
- [10] Hollan, J. *ies2tab*. 2002a, [vysvětlení k programu počítajícího zvýšení jasu nebe a další parametry nežádoucích projevů při svícení dle dat udávaných výrobcí svítidel, s řešenými stovkami příkladů], viz <http://amper.ped.muni.cz/light/ies2> 28
- [11] Hollan, J. *Fotometrie digitálními fotoaparáty*. 2003 [pracovní adresář online, zahrnující především program raw2lum] viz <http://amper.ped.muni.cz/light/luminance> 26
- [12] Hollan, J. *Fotometrické hodnocení scén pomocí digitálních fotoaparátů*, přednáška na konferenci Ústavu soudního inženýrství VUT v Brně, viz též online [http://amper.ped.muni.cz/light/luminance/jh\\_digf.htm](http://amper.ped.muni.cz/light/luminance/jh_digf.htm)
- [13] Hollan, J. *Krajina v noci*. Text přednášky viz kol.: Venkovská krajina. Sborník příspěvků z konference. Brno, ZO ČSOP Veronica, 2003, str. 39–44, ISBN 80-239-0763-8 (a též [http://amper.ped.muni.cz/light/lectures/kraj\\_noc5.htm](http://amper.ped.muni.cz/light/lectures/kraj_noc5.htm)).
- [14] Hollan, J. *Město v noci*. Přednáška na panelové diskusi o veřejných prostranstvích a městské krajině, galerie J. Fragnera, 2003, text viz <http://amper.ped.muni.cz/light/lectures/mesto.pdf>, folie [http://amper.ped.muni.cz/light/lectures/mes\\_o.pdf](http://amper.ped.muni.cz/light/lectures/mes_o.pdf).
- [15] Hollan, J. *Zachraňme noc! Krása našeho domova*, časopis Českého svazu ochránců přírody, roč. III, podzim/zima 2003, str. 12-15. ISSN 1213-5488.
- [16] Kerschbaum, F. – Posch, T. – Bleha, M. *Himmelshelligkeitsmessungen mit einfachen Mitteln*. Přednáška na symposiu Dark Sky 2003, Stuttgart. Fólie dostupné jako <http://www.astro.univie.ac.at/~agb/TP/kerschbaum.ppt> (28 MB). 24
- [17] Marková, E. 2001, příspěvek do diskuse po přednášce o světelném znečištění 21
- [18] Wandel, M. *Exif Jpeg header parser and thumbnail remover jhead* [program]. Verze 1.8, 2002. Viz <http://www.sentex.net/~mwandel/jhead/> 26



# **Výsledky průzkumu veřejného mínění**

**(samostatně číslovaná následující příloha, zpráva agentury Focus, viz soubor  
verejnost\_noc.pdf )**