

**Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



Milada Moudrá

**Světelné znečištění a ochrana nočního životního prostředí
v České republice**

Light pollution and protection of night environment in the Czech Republic

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Luboš Matějíček, Ph.D.

Ústav pro životní prostředí

Praha, 2015

verze 2016 se zapracovanými připomínkami vedoucího a oponenta

Název práce: Světelné znečištění a ochrana nočního životního prostředí v České republice

Autor: Milada Moudrá

Katedra (ústav): Ústav pro životní prostředí

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Luboš Matějčík, Ph.D.

e-mail vedoucího: lmatejic@natur.cuni.cz

Abstrakt: Světelné znečištění je pojem shrnující negativní dopady umělého světla v noci, jehož množství v posledních desetiletích stále stoupá. Práce obsahuje přehled těchto dopadů a analýzu stavu nočního životního prostředí ve velkoplošných chráněných územích ČR pomocí satelitních snímků. Pro porozumění světlu a jeho zdrojům jsou v první části práce popsány fyzikální vlastnosti světla, fyziologické základy zraku a současný stav světelné techniky a její vývoj směrem k LED zdrojům. Následuje popis světelného znečištění, jeho příčin a zdrojů, monitorování a současného stavu ve světě. Vlivy světelného znečištění se kromě viditelnosti noční oblohy týkají lidského zdraví, živočichů a rostlin i celých ekosystémů, bezpečnosti či ekonomiky; v důsledku toho je v některých oblastech světelné znečištění regulováno legislativně. Poslední část práce obsahuje vlastní analýzu pomocí níž bylo prokázáno, že průměrná zář v národních parcích a chráněných krajinných oblastech je nižší než průměrná zář v ČR. V chráněných krajinných oblastech a národních parcích je tedy noční životní prostředí dotčeno v menší míře a v těchto územích a jejich okolí by pro zachování stávajícího stavu měla být zavedena opatření k ochraně nočního prostředí. Vzhledem k rozsáhlým a dosud ne zcela prozkoumaným dopadům umělého světla v noci je vhodné dodržovat opatření ke snížení světelného znečištění a používat osvětlení se správnými parametry i mimo chráněná území.

Klíčová slova: světelné znečištění, družicové snímky, VIIRS, GIS, ALAN

Title: Light pollution and protection of night environment in the Czech Republic

Author: Milada Moudra

Department: Institute for Environmental Sciences

Supervisor: Ing. Lubos Matejcek, Ph.D.

Supervisor's e-mail address: lmatejic@natur.cuni.cz

Abstract: Light pollution serves as a term for negative effects of artificial light at night which has increased in the last decades. Overview of those effects is summoned in this thesis along with analysis of the current state of night environment in large protected areas of the Czech Republic obtained from satellite images. The first part of thesis describes physical characteristics of light and its physiological perception, present lighting technology and its progress toward LED sources. Characterization of light pollution, its causes and sources, monitoring techniques and of present situation worldwide follows. Impacts of light pollution does not include only decreased night sky visibility but a large scale of effects on human health, animals, plants and ecosystems, safety and security or economy; as a consequence some areas implemented laws regulating light pollution. Analysis in the final part shows that average radiance values for protected areas are lower than average radiance in the Czech Republic. Night environment in protected landscape areas and national parks is thus less affected and actions for preservation of this state should be taken in these areas and their vicinity. With regard to extensive, serious consequences of artificial light at night that are not entirely known so far, it is recommended to stick to light pollution abatement measures and use lights with appropriate parameters even beyond protected areas.

Keywords: light pollution, satellite images, VIIRS, GIS, ALAN

Obsah

1	Úvod	8
2	Světlo a světelné zdroje	9
2.1	O světle	9
2.1.1	Odraz, lom a rozptyl světla	9
2.1.2	Základní jednotky a veličiny	10
2.1.3	Fyziologie vnímání světla	10
2.2	Světelná technika	13
2.2.1	Světelné zdroje a svítidla	14
2.2.2	Venkovní a veřejné osvětlení	16
3	Světelné znečištění	18
3.1	Úvod	18
3.2	Kvantifikace a modelování	18
3.3	Dálkový průzkum Země	21
3.3.1	Systém DMSP/OLS	21
3.3.2	Systém NPP/VIIRS	22
3.3.3	Mezinárodní vesmírná stanice	23
3.4	Stav světelného znečištění	24
4	Světlo v noci	26
4.1	Noční krajina a obloha	26
4.2	Vliv na organismy	27
4.2.1	Cirkadiánní cyklus	27
4.2.2	Člověk	27
4.2.3	Ostatní živočichové	28
4.2.4	Rostliny	31
4.3	Socioekonomické aspekty	32
4.3.1	Bezpečnost, kriminalita a nehodovost	32
4.3.2	Ekonomické a finanční aspekty	33
5	Legislativa	34
5.1	Legislativa v zahraničí	34
5.1.1	Evropa	34
5.2	Legislativa v České republice	35

6	Noční životní prostředí v ČR	37
6.1	Data a metodika zpracování	37
6.2	Výsledky	40
6.2.1	Oblasti tmavé oblohy	42
6.2.2	Srovnání situace ve chráněných územích a celorepublikově	42
7	Diskuse a závěr	44
	Příloha A: Mapy záře	46
	Příloha B: Zář ve vybraných zemích světa	56
	Literatura	56

Seznam zkratek

ALAN	artificial light at night
CHKO	chráněná krajinná oblast
CHÚ	chráněné území
CIE	Mezinárodní komise pro osvětlování
CRI	index podání barev
DIN	Německá technická norma
DLOR	downward light output ratio
DMSP	Defense Meteorological Satellite Programme
DN	digital number
DNB	Day-Night Band
DSLR	Digital Single Lens Reflex camera
GIS	geografický informační systém
HPS	vysokotlaká sodíková výbojka
IDA	International Dark-Sky Association
IR	infrařervené záření
ISS	International Space Station
IUCN	International Union for Conservation of Nature
JPSS	Joint Polar Satellite System
LED	light emitting diode
LPS	nízkotlaká sodíková výbojka
MH	halogenidová výbojka
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NASA	National Aeronautics and Space Administration

NOAA	National Ocean and Atmospheric Administration
NP	národní park
OLS	Operational Linescan System
SAD	Seasonal Affective Disorder
SCN	suprachiasmatické jádro
SZ	Světelné znečištění
UV	ultrafialové záření
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
VO	veřejné osvětlení
VZCHÚ	velkoplošné zvláště chráněné území
ŽP	životní prostředí
ČSN	Česká technická norma

Kapitola 1

Úvod

Od vynálezu elektrického osvětlení před téměř 150 lety člověk stále více přetváří noc v den. Vedle mnohých pozitivních účinků světla, bez něhož by současná technologická vyspělost lidstva nebyla možná, jsou objevovány také jeho negativní důsledky. Nejznámější z těchto dopadů, shrnutých pod pojmem světelné znečištění, je ztráta viditelnosti přírodní hvězdné oblohy; umělé světlo v noci ovšem ovlivňuje i lidské zdraví, fyziologické pochody živočichů a rostlin. Značná část světla, které používáme, zůstává nevyužita a podílí se tak na plýtvání cennou energií. Vzhledem k jeho rozšíření a důsledkům lze světelné znečištění klasifikovat jako globální problém a ochranu nočního životního prostředí jako součást obecné ochrany ŽP. Člověk, jakožto primárně denní živoch, vnímá okolní svět zejména ve dne a světlo je pro něj symbolem pokroku; možná i z těchto důvodů nebyla ochraně nočního životního prostředí historicky věnována taková pozornost jako v případě denní přírody. Tato situace se začíná v posledních letech i pod vlivem přibývajícího výzkumu měnit, a to za pomoci dobrovolných prostředků, jako zakládání oblastí tmavé oblohy či restriktivněji, prosazováním zákonů na omezení světelného znečištění. Nejvhodnějším místem pro zavedení opatření pro ochranu nočního životního prostředí se vzhledem k jejich rozloze a již stávající ochraně ŽP zdají být národní parky a chráněné krajinné oblasti. Nízká hustota osídlení těchto území je zároveň předpokladem pro nižší míru světelného znečištění než v běžné krajině. V kapitole 6 jsou analyzovány satelitní snímky se zaměřením na velkoplošná chráněná území České republiky pro potvrzení této hypotézy.

Pro základní pochopení je nutné porozumět vlastnostem světla, jeho vnímání zrakem a technologiím používaným ve světelné technice - viz kapitola 2. V kapitole 3 jsou uvedeny příčiny a zdroje světelného znečištění, jeho současný stav a možnosti monitoringu a kvantifikace. Kapitola 4 popisuje důsledky umělého světla v noci a kapitola 5 se věnuje legislativním možnostem omezení nadměrného světla ve světě a v České republice. Vzhledem k šíři této problematiky a množství nového výzkumu v posledních letech je v této práci uveden spíše stručnější přehled nejdůležitějších aspektů světelného znečištění.

Kapitola 2

Světlo a světelné zdroje

2.1 O světle

Světlem je obvykle nazývána část elektromagnetického záření v rozsahu vlnových délek 380-780 nm.¹ Rozmezí viditelných vlnových délek je ovšem odlišné za různých podmínek a u různých organismů (viz části 2.1.3 a 4.2). Kratší vlnové délky se nazývají ultrafialovým (UV) zářením, delší vlnové délky infračerveným (IR) – toto záření také bývá označováno jako UV, respektive IR světlo. V následujícím textu proto budou pojmem „světlo” označovány kromě viditelného záření i přilehlé části IR a UV spektra, jež mohou být vyzařovány světelnými zdroji a mají spojitost s fenoménem světelného znečištění.

Elektromagnetické záření, tedy i světlo, má duální povahu; může být považováno za elektromagnetické vlnění, nebo za proud částic, fotonů. V prvním případě je záření charakterizováno frekvencí (rovnice 1), ve druhém případě energií fotonu (rovnice 2). Při osvětlování a vnímání světla se uplatňují oba tyto aspekty světelného záření.

$$f = \frac{\lambda}{c} \quad (1) \qquad E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2)$$

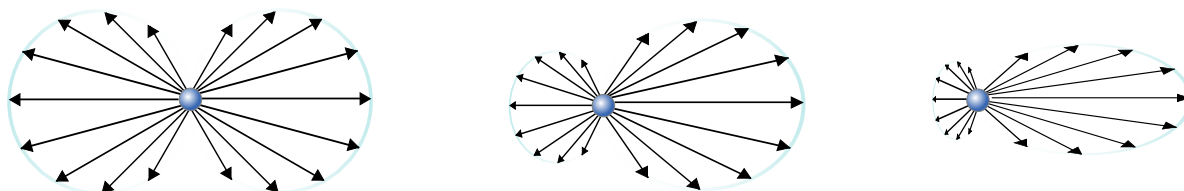
*f – frekvence (Hz); λ – vlnová délka (m); c – rychlost světla (m/s); E – energie (J);
h – Planckova konstanta (J.s)*

2.1.1 Odraz, lom a rozptyl světla

Odraz a lom světla na větších objektech se řídí zákony odrazu a lomu (Snellův zákon), jež vycházejí z Huygensova-Fresnelova principu. Při průchodu světla atmosférou ovšem neustále dochází k rozptylu světla na menších částicích v ovzduší – molekulách a aerosolu. Podle velikosti částic rozlišujeme dva hlavní typy rozptylu: Rayleighův a Mieův (obr. 1). Oba dva typy rozptylu se společně s molekulární absorpcí podílejí na atmosférické extinkci, která je nejvyšší u horizontu a klesá směrem k zenitu.

Rayleighův rozptyl probíhá na částicích a molekulách řádově menších, než je vlnová délka záření. Velikost rozptylu je nepřímo úměrná 4. mocnině vlnové délky dopadajícího záření, světlo o kratších vlnových délkách je tedy rozptylováno více (jedním z důsledků tohoto jevu je modrá barva jasného nebe). Rozptyl světla je symetrický a největší v předozadním směru, ve směru kolmém nejmenší.

Mieův rozptyl se týká částic rozměrově srovnatelných s vlnovou délkou záření – kapky či jemné prachové částice. Mieův rozptyl není tolik závislý na vlnové délce (rozptýlené sluneční



Obrázek 1: Zleva doprava Rayleighův rozptyl a Mieův rozptyl na menší a větší částici. Zdroj: Sharayanan, Wikimedia Commons, CC-BY-SA 3.0.

světlo je bílé, což lze pozorovat na barvě mlhy nebo oblaků), ale je mnohem více směrově orientovaný v závislosti na velikosti částice – rozptyl je nejsilnější v dopředném směru.²

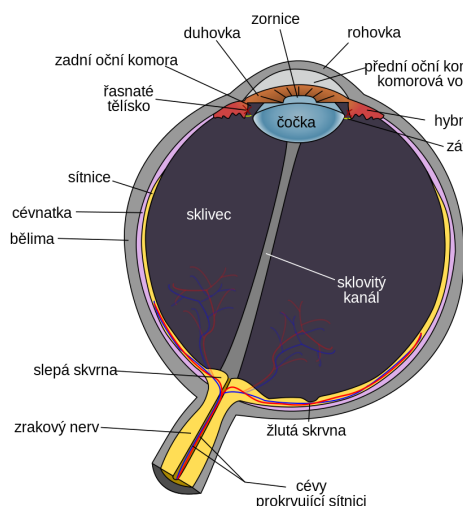
2.1.2 Základní jednotky a veličiny

Pro kvantifikaci světelných poměrů je definováno několik fyzikálních veličin a jednotek pod záštitou Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE). Jednou ze základních jednotek soustavy SI je kandela (cd), jednotka svítivosti, jež vychází ze standardní fotometrické křivky (V_λ) pro normálního fotometrického pozorovatele (viz obr. 6). Jde tedy o režim fotopického vidění (více viz sekce 2.1.3), který platí i pro všechny veličiny a jednotky od svítivosti odvozené.¹

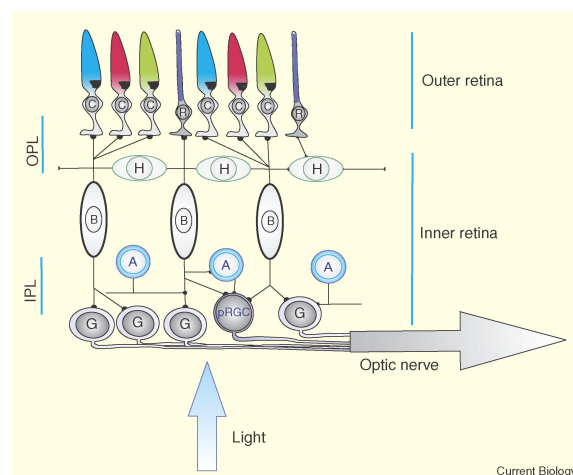
Stručná definice veličin a jednotek zmíněných v této práci: svítivost [cd] je světelný tok vyzařovaný bodovým zdrojem v prostorovém úhlu do určitého směru. Světelný tok [lm = cd.sr] je zářivý tok [W] vyprodukovaný zdrojem vzhledem ke spektrální odezvě lidského oka. Osvětlenost, neboli intenzita osvětlení [lx = lm.m⁻²] je světelný tok dopadající na 1 m². Pro představu, osvětlenost za jasného dne se pohybuje v řádu 10⁴ lx, u interiérového osvětlení desítky až stovky luxů, u Měsíce v úplňku 0,3 lx.³ Jas [cd.m⁻²] je měrnou veličinou svítivosti plošného zdroje, jde tedy o světelný tok z vnímané plochy do určitého úhlu. Např. jas silnice osvětlené veřejným osvětlením se pohybuje v rozsahu 0,5-2 cd.m⁻².³ Zář [W.m⁻².sr⁻¹] je obdobou jasu pro celé spektrum bez ohledu na citlivost lidského oka. V astronomii se pro vyjádření jasu používá magnituda, logaritmická jednotka, kde zvýšení o 5 magnitud je ekvivalentní stonásobnému snížení vnímaného jasu (o rozdílech mezi naměřeným a vnímaným jasnem sekce 2.1.3 a 2.2.1) – jas oblohy se vyjadřuje jako mag.arcsec⁻².

2.1.3 Fyziologie vnímání světla

Proces vnímání světla a tvorby obrazu je velmi komplexní a doposud ne ve všech aspektech prozkoumaný; proto je následující popis nutným zjednodušením. Základním orgánem pro vnímání světla je u vyšších živočichů oko. Stavba lidského oka, jehož základní části jsou typické i pro další obratlovce, je znázorněno na obrázku 2. Světlo prochází skrz rohovku a zornici, ohýbá se na čočce a přes sklivec dopadá na sítnici, kde se nachází základní světločivné buňky obstarávající zrakový vjem – tyčinky a čípky (obr. 3). Tyto fotoreceptory obsahují fotopigment, jenž reaguje s dopadajícím fotonem a řetězcem chemických reakcí vzniká elektrický impuls. Ten je pak přes gangliové buňky veden do mozku, kde se utváří výsledný obraz.



Obrázek 2: Ilustrace stavby lidského oka v řezu.
Zdroj: Rhcastilhos, Wikimedia Commons, PD.

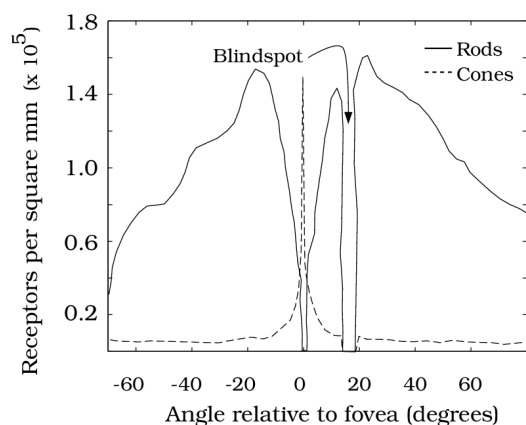


Obrázek 3: Schéma stavby sítnice lidského oka. Zobrazeny jsou tři druhy čípků (C), tyčinky (R), gangliové buňky (G) a světločivné gangliové buňky (pRGC). Zdroj: Foster a Hankins, 2007.⁴

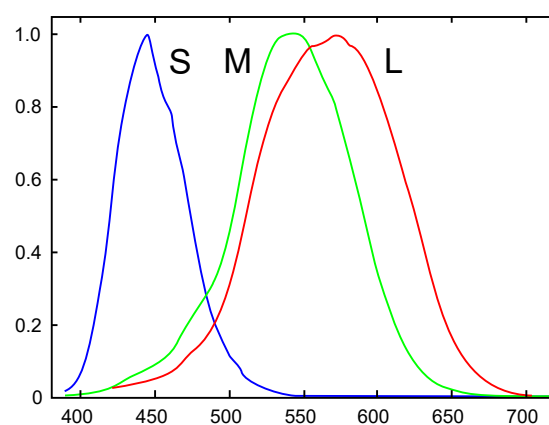
Rozložení čípků a tyčinek na sítnici je znázorněno na obrázku 4. V místě výstupu zrakového nervu z oka, tzv. slepé skvrně, se nenachází žádné světločivné buňky. Čípky, jichž je v lidském oku zhruba 4,5-6,5 milionu, dělíme podle typu fotopigmentu na tři druhy – *short-wavelength* (S), *medium-wavelength* (M) a *long-wavelength* (L). Fotopigment v každém z těchto druhů čípků je citlivý na jiné hladiny energie fotonů, což má za následek různou spektrální odezvu čípků (obr. 5) a tedy barevné vidění. Největší koncentrace M a L čípků se nachází ve středu žluté skvrny – centru zrakové ostrosti. Naopak S čípky, kterých je zhruba 1/20 celkového počtu, se nacházejí pouze na okraji žluté skvrny a jsou mnohem řidšeji rozmístěny mezi ostatními fotoreceptory.⁵ Čípky jsou aktivní přibližně od jasu $3 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ výše.¹

Na nízké hladiny osvětlení jsou oproti čípkům mnohem citlivější tyčinky, jichž se v lidském oku nachází zhruba 90-125 milionů. Tyčinky jsou soustředěny převážně v okrajových částech sítnice a ve žluté skvrně se nenacházejí vůbec. Maxima spektrální odezvy dosahují tyčinky při $\lambda = 507 \text{ nm}$ (viz obr. 7) a jsou aktivní pro jasy nižší než $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ (10^{-3} lx).

Gangliové buňky tvoří mezičlánek při přenosu informace z čípků a tyčinek do mozku. Každá gangliová buňka je spojena s kruhovou částí sítnice, tzv. vjemovým polem (*receptive field*) – to se ve středu žluté skvrny může skládat pouze z jednoho fotoreceptoru, v periferních oblastech oka je však s jednou gangliovou buňkou spojeno až několik tisíc tyčinek a čípků. Vjemová pole nemají stálou velikost a mohou se navzájem překrývat. Rozlišujeme pole centrálního typu (*on-center/off-surround*), kdy gangliová buňka odešle impuls, pokud je osvětlen střed vjemového pole, či opačného typu (*off-center/on-surround*), který reaguje na osvětlení okraje vjemového pole. Pole mohou ovšem vykazovat i vlastnosti obou typů a intenzita odeslaného impulsu se také mění v závislosti na poměru ploch středu a okraje pole jež jsou osvětleny.



Obrázek 4: Distribuce tyčinek (rods) a čípků (cones) na sítnici. Zdroj: Wandell, 1995.⁵



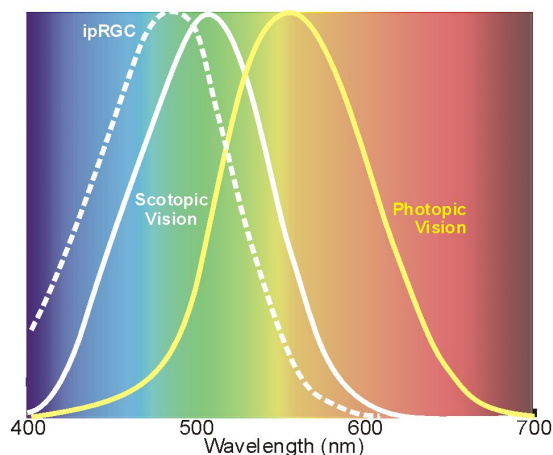
Obrázek 5: Normalizovaná spektrální odezva různých druhů čípků v lidském oku. Zdroj: Vannessaekowitz, Wikimedia Commons, CC-BY-SA 3.0

Třetí, dosud nezmíněnou, skupinou světločivných buněk sítnice jsou tzv. vlastní světločivé sítnicové gangliové buňky (*intrinsically photosensitive retinal ganglion cells* – ipRGC). Tvoří asi 1-5 % z celkového počtu gangliových buněk a jejich existence byla potvrzena až v roce 2001.^{6,7} Obdobně jako tyčinky a čípky, ipRGC obsahují fotopigment - melanopsin s $\lambda_{\max} = 480 \text{ nm}$ (viz obr. 6).⁷ Na rozdíl od fotopigmentů čípků, jež se u živočišných druhů liší (a liší se tedy i jejich spektrální odezva), je melanopsin v ipRGC, podobně jako rhodopsin v tyčinkách, zřejmě přítomen u savců obecně.^{4,7} Oproti ostatním fotoreceptorům je u ipRGC pravděpodobnost absorpce fotonu nižší řádově 10^6 , zároveň ale disponují schopností integrovat světelný signál po dobu až několika minut.⁸ Navíc, stejně jako ostatní gangliové buňky, přijímají ipRGC impulzy z tyčinek a čípků, které se tak podílejí na výsledném signálu odeslaném do mozku. Primárním úkolem ipRGC ovšem není tvorba obrazu, ale sbírání informací o množství světla a jeho spektrálním složení, které se pak podílí na řízení cirkadiánního cyklu – více viz sekce 4.2.1.

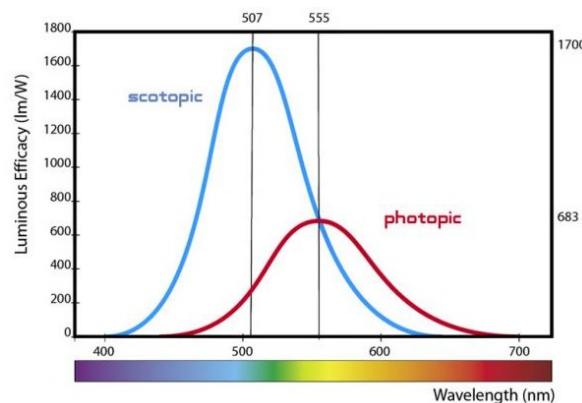
Fotopické, mesopické a skotopické vidění

Oko má schopnost výrazného přizpůsobení hladině jasu – rozsah jasů, které je schopno vnímat, je až 10^{14} .⁹ Tato schopnost adaptace je možná díky kombinaci tří vzájemně propojených mechanismů:¹⁰

- Množství světla dopadající na sítnici je přímo úměrné ploše zornice. Ta mění svůj průměr zhruba od 2 do 8 mm, v závislosti na věku, a proces zužování a rozšiřování trvá stovky milisekund.¹
- Při zvyšujících se hladinách osvětlenosti se zmenšují vjemová pole a mění se jejich typ. Výsledkem je, že gangliová buňka odesílá nervový impuls později (při vyšším jasu). Naopak při nízké hladině osvětlenosti se vjemová pole zvětšují a více fotoreceptorů je schopno dodat elektrický impuls potřebný k odeslání signálu.



Obrázek 6: Relativní spektrální odezvy melanosinu v ipRGC a lidského oka při fotopickém (V_λ) a skotopickém vidění. Zdroj: www.rasc.ca



Obrázek 7: Absolutní světelná účinnost fotopického a skotopického vidění. Zdroj: www.prismalenceuk.com.

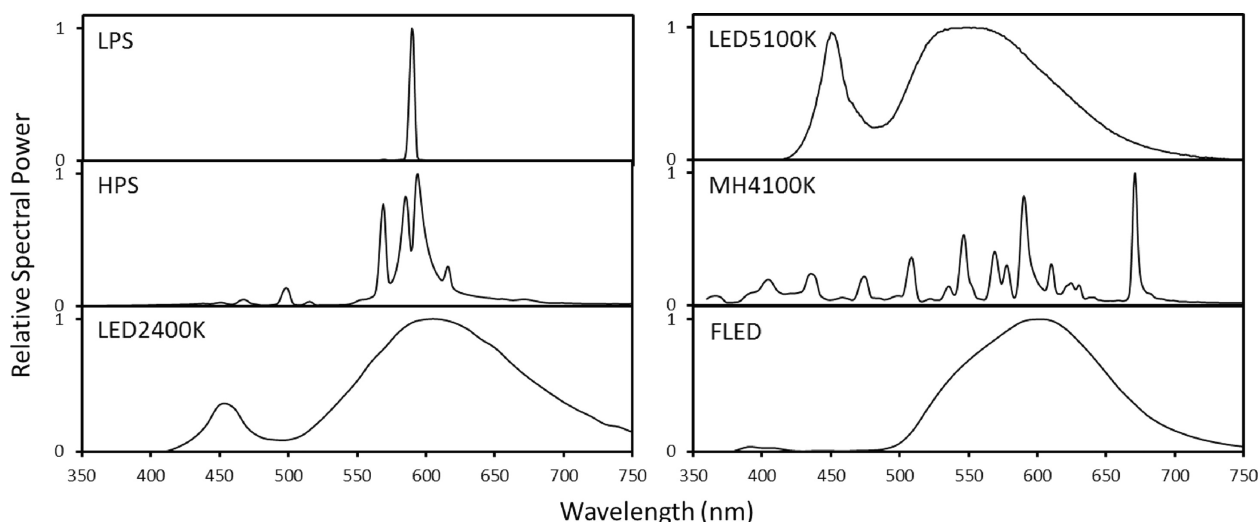
- Aktivace a deaktivace fotoreceptorů. Tyčinky a čípky jsou aktivní při různých hladinách jasu. V závislosti na jasu se přizpůsobuje i citlivost samotných fotoreceptorů změnou množství dostupného fotopigmentu – při velkém jasu se pigment rozpadá a citlivost se snižuje. Podstatou adaptace na tmu je naopak resyntéza rhodopsinu, kvůli které proces přizpůsobení trvá až několik desítek minut.

Ačkoliv tedy oko funguje při velkém rozsahu jasů, zrakový vjem je tvořen pomocí odlišných fotoreceptorů; proto podle intenzity osvětlení a aktivity fotoreceptorů rozlišujeme tři režimy vidění – fotopické, mesopické a skotopické. Fotopický režim, kdy jsou aktivní pouze čípky, funguje při denních hladinách jasu, zhruba od 10 cd.m^{-2} výše. Při fotopickém vidění vykazuje oko vyšší rozlišovací schopnost, vyšší rychlost tvorby zrakového vjemu a rychlejší adaptaci na změnu jasu. Při skotopickém vidění, u jasů menších než ca. $10^{-3} \text{ cd.m}^{-2}$, je světlo vnímáno pouze tyčinkami. Protože spektrální odezva tyčinek a čípků je odlišná, liší se i odezva při fotopickém a skotopickém vidění (viz obr. 6). Křivka fotopického vidění je totožná se standardní fotometrickou křivkou V_λ , používanou pro výpočty ve světelné technice.

Ačkoliv tyčinky neumožňují rozlišení barev, jejich absolutní citlivost v krátkých vlnových délkách je vyšší (obr. 7). S klesáním intenzity osvětlení proto dochází k posunu ve vnímání barev – kratší vlnové délky jsou vnímány jako jasnější než dlouhé v porovnání se stejnou scénou viděnou ve fotopickém režimu. Tento jev, zvaný Purkyňův, má obzvláštní důležitost vzhledem ke spektrální charakteristice světelných zdrojů (viz sekce 2.2). Přejížděním mezi těmito dvěma režimy je vidění mesopické, při kterém jsou aktivní čípky i tyčinky v různém poměru v závislosti na hladině osvětlení. Nelze proto stanovit jednoznačnou křivku spektrální citlivosti pro mesopické vidění.¹

2.2 Světelná technika

Světelná technika je obor, který je úzce spjat s fotometrií, elektrotechnikou a energetikou, a zabývá se osvětlováním venkovních i vnitřních prostor v teorii a praxi. Hlavním úkolem



Obrázek 8: Spektrální složení několika druhů světelných zdrojů (vysvětlení zkratk v textu). Zdroj: Luginbuhl et al., 2014.¹¹

návrhu světelné soustavy je zajistit dostatečnou osvětlenost pro vykonávání činnosti v daném prostoru s maximálním komfortem pro uživatele a minimálními negativními účinky.¹ S přihlédnutím k zatím neúplnému poznání lidského vidění a množství rozdílných (někdy i protichůdných) parametrů a požadavků jde o velmi komplexní problém, jehož řešení se stále vyvíjí dle nových poznatků a technického pokroku. V následujících sekcích jsou nastíněny současné možnosti a postupy v osvětlování. Světelně technická praxe se dále řídí normami ČSN a doporučeními CIE (více v kapitole 5).

2.2.1 Světelné zdroje a svítidla

Světlo je produkováno světelným zdrojem, kde vzniká jedním z následujících způsobů:¹

- žhnutí zahřátého objektu (vlákna) – obyčejné a halogenové žárovky
- vybuzení atomu v elektrickém výboji – nízkotlaké a vysokotlaké výbojové zdroje
- vyzáření fotonu při průchodu polovodičem – světelné diody (*light emitting diode* – LED)
- fotoluminiscence pevných látek – používá se v kombinaci s výbojovým zdrojem (zářivky) a LED

Světelný zdroj (nebo více zdrojů) je základní součástí „lampy“ neboli svítidla – zařízení, které přivádí energii ke zdroji, pomocí reflektoru a difuzoru usměrňuje světlo, krytem chrání zdroj před povětrnostními podmínkami a v neposlední řadě dovoluje připevněním na stožár, konzoli či lano umístění zdroje venkovního osvětlení do požadované polohy a výšky. Světelný zdroj, potažmo svítidlo je kromě své spektrální distribuce (obr.8) definován několika důležitými parametry; měrný výkon [lm.W^{-1}] určuje množství produkovaného světelného toku na dodávaném příkonu [W] – současné nejúčinnější světelné zdroje disponují měrnými výkony 200 lm.W^{-1} (pro srovnání, měrný výkon obyčejné žárovky je pouze $6\text{--}15 \text{ lm.W}^{-1}$). Zejména u LED zdrojů je často zohledňovaným parametrem tzv. náhradní teplota chromatičnosti – T_c

Světelný zdroj	Měrný výkon [lm.W ⁻¹]	T _c [K]	R _a	Životnost [hod]	S/P
Vysokotlaká sodíková výbojka	80-130	2000	25	24 000	0,4-0,6
Nízkotlaká sodíková výbojka	130-200	1700	0	18 000	0,2
Halogenidová výbojka	100-125	2800-4000	70-90	16 000	1,4-2,1
Rtuťová výbojka	40-50	3000-4000	50	10 000	0,8
LED	130-200	2400-8000	70-90	80 000	1,2-2,0

Tabulka 1: Vybrané parametry světelných zdrojů používaných pro veřejné osvětlení. *Zdroj: sestaveno podle údajů ze Sokanský et al, 2010, Habel a Žák, 2015.^{1,14}*

[K], jež úzce souvisí se spektrálním složením. Podle náhradní teploty chromatičnosti jsou rozlišovány tři kategorie barvy světla: teple bílá, $T_c < 3\,300\text{ K}$, bílá, $T_c = 3\,300\text{--}5\,000\text{ K}$ a denní, $T_c > 5\,000\text{ K}$. Se spektrální charakteristikou zdroje je spjat také další parametr – index podání barev R_a (též CRI), který zohledňuje věrohodnost barevného vnímání. Hodnoty indexu jsou 0-100; čím vyšší hodnota, tím kvalitnější rozlišení a interpretace barev. Dále se hodnotí účinnost svítidla (poměr světelných toků svítidla a zdrojů), křivka svítivosti svítidla (distribuce světelného toku do prostoru) a životnost (odlišná u zdroje, svítidla, stožáru a rozvodů). Svítidlo má pak ve vztahu ke světelnému znečištění ještě jednu důležitou charakteristiku a tou je ULOR (*upward light output ratio*), procento světelného toku vyzařovaného nad horizontální rovinu, a případně jeho doplněk, DLOR.¹

Vzhledem k tomu, že současná světelná technologie a praxe je postavena na standardní fotometrické křivce, která odpovídá fotopickému režimu vidění, mohou být při praktické aplikaci rozdíly mezi naměřeným a vnímaným jasnem značné. V jasech mesopického vidění se přitom odehrává mnoho aktivit, kvůli kterým je zřizováno venkovní osvětlení, je proto žádoucí přizpůsobit osvětlení tomuto režimu vnímání, aby bylo pro uživatele výhodné. V posledních letech proto dochází k rozvoji nového oboru mesopické fotometrie (např. CIE 191:2010) a lze očekávat odpovídající změny v návrhu a klasifikaci světelných zdrojů, osvětlovacích soustav a legislativě. Jedním z nově zavedených parametrů je tzv. S/P poměr, což je poměr světelného toku svítidla vypočteného pro skotopickou a fotopickou citlivost lidského oka. Zdroje, které mají větší podíl modré složky spektra, mají vyšší S/P a zdají se při mesopickém vidění jasnější než zdroje se stejným příkonem, ale nižším S/P.

V osvětlování venkovních prostor patří mezi nejrozšířenější zdroje následující: vysokotlaké sodíkové výbojky (HPS), nízkotlaké sodíkové výbojky (LPS), zářivky, halogenidové výbojky (MH), rtuťové výbojky a LED.^{1,12,13} Pojmem FLED se někdy označují LED svítidla vybavená filtrem pro blokaci kratších vlnových délek (např. pod 500 nm). Parametry některých těchto zdrojů jsou uvedeny v tab. 1 Kvůli svým nevyhovujícím charakteristikám jsou v současnosti zcela opouštěny rtuťové zdroje a LPS. V posledním desetiletí nastal velký pokrok na poli LED osvětlení, jehož parametry se stále zlepšují – do roku 2030 se očekává zvýšení měrného výkonu až na 250 lm.W⁻¹ a zvýšení životnosti, a to zejména u „teplých“ LED zdrojů ($T_c < 3\,300\text{ K}$), které v současnosti v těchto parametrech zaostávají za „studenými“ zdroji ($T_c > 3\,300\text{ K}$) zhruba o 10-15 %.¹⁵ Oproti jiným zdrojům distribuují LED světlo konkrétně

ního směru, čímž podstatně zvyšují účinnost svítidel (tj. snižují energetickou náročnost). Další výhody spočívají ve snadné regulovatelnosti a okamžitém náběhu na maximální výkon

2.2.2 Venkovní a veřejné osvětlení

Venkovní osvětlení, jež je hlavním přispěvatelem ke světelnému znečištění, můžeme rozdělit na několik druhů: veřejné osvětlení (VO), osvětlení památek a budov, osvětlení sportovišť, komerčních soukromých objektů (parkoviště nákupních center, čerpací stanice, průmyslové a logistické areály, ...), reklamních ploch a soukromé nekomerční osvětlení (rezidenční). Významnou složkou je zejména veřejné osvětlení – osvětlení veřejných komunikací a prostor, osvětlení významných objektů a slavnostní příležitostné osvětlení, jež je hrazeno většinou z obecních rozpočtů.¹

Při návrhu každé osvětlovací soustavy jsou, či měly by být, brány v úvahu požadavky bezpečnostně-dopravní a architektonicko-urbanistické a hledisko rušivých vlivů na okolí (tj. světelné znečištění). Dbá se tedy mj. na osvětlenost, možnost oslnění, rovnoměrnost a kontrast jasů, barevné podání a tón či možnost stmívání. Každá obec by také měla mít zpracovanou tzv. koncepci venkovního osvětlení – soubor dokumentů, jenž definuje představu o nočním vzhledu obce a jehož součástí je zejména Základní plán osvětlení (*Lighting Masterplan*), který řeší osvětlení z pohledu výše uvedených požadavků. Dalšími dokumenty jsou např. plány obnovy a údržby či standardy používaných prvků. V současnosti je také používán dokument zvaný Generel VO, který se ovšem zaměřuje pouze na bezpečnostně-dopravní hledisko.¹⁴

Podle dotazníkového hodnocení 350 obcí v ČR z roku 2010 je necelých 85 % zdrojů VO tvořeno HPS, 5 % MH, 4 % rtuťovými výbojkami, 6,4 % kompaktními zářivkami a 0,2 % ostatními zdroji. V roce 2009 byly průměrné náklady související s provozem světelného bodu 2600 Kč, z toho náklady na elektrickou energii 1300 Kč při průměrném příkonu 124 W. Regulování VO bylo prováděno ve 37 % obcí, nejčastěji zhasínáním v pozdních nočních hodinách. Odhadovaný počet světelných míst VO v ČR se pohybuje okolo 1,4 mil. a odhadovaná roční spotřeba okolo 585 GWh, což činilo 0,9 % spotřeby elektrické energie v ČR.¹² Pouze 39 % obcí mělo provedený pasport (inventarizaci) VO.¹⁶ Stáří jednotlivých prvků VO je uvedeno v tab. 2 a pouze dílčí či žádnou opravou neprošlo VO v 50 % obcí. Vzhledem k tomuto stavu lze v nejbližších letech očekávat nutnost nákladné obnovy sítí VO; možnosti financování z jiných než obecních rozpočtů jsou ovšem omezené a dočasné (např. dotační program MPO EFEKT v roce 2012 či program MŽP pro obce v národních parcích v roce 2015).

	0-5 let	6-10 let	11-20 let	21+ let
Stožáry	3%	11%	40%	44%
Rozvody	4%	12%	39%	43%
Svítilna	11%	29%	39%	19%

Tabulka 2: Stáří jednotlivých prvků VO k roku 2014. Zdroj: Staša, 2014.¹⁶

V posledních letech se i v ČR rozšiřují LED zdroje, které již nyní tvoří v USA zhruba 13 % veřejného osvětlení. Do roku 2030 se počítá, že podíl LED zdrojů při obnově a instalaci

nových sítí VO v USA dosáhne 100 %. Očekávané úspory ve spotřebě energie na osvětlení vlivem zavedení LED svítidel by měly v USA roce 2030 dosáhnout 46 % a pořizovací náklady LED by se měly snížit na méně než desetinu.¹³ V Evropě by měl podíl instalovaných LED v témže roce dosáhnout $\frac{2}{3}$ v nerezidenčním osvětlení s úsporami energie 46 %.¹⁵

Kapitola 3

Světelné znečištění

3.1 Úvod

Světelné znečištění (SZ) je termín, jenž lze definovat jako soubor nepříznivých účinků umělého osvětlení^{10,17–19*} Světelné znečištění je nejvíce koncentrováno v zemích a oblastech s vysokou hustotou obyvatelstva a vysokou životní úrovní a jeho dopady můžeme pozorovat v několika oblastech: viditelnost noční oblohy, lidské zdraví, ekologie, ekonomika a bezpečnost. Tyto aspekty budou podrobněji rozebrány v kapitole 4.

Světelné znečištění se projevuje v několika formách: umělý jas oblohy (*sky glow*, též lidově nazývaný „světelný smog“) nad městy způsobený rozptylem světla v atmosféře; rušivé a omezující oslnění (*glare*), kdy je překročena adaptační schopnost oka; neúměrná intenzita osvětlení (*over-illumination*) objektu nebo interiéru; a světelný přesah (*light intrusion/trespass*) do nevhodných prostor. Tyto formy se vyskytují většinou pohromadě a mají charakter lokální (např. osvětlené okno ložnice), regionální (oslnění od vzdálených zdrojů, zvýšený jas oblohy nad malým městem) a nadregionální (zvýšený jas oblohy v širokém okolí megalopole).

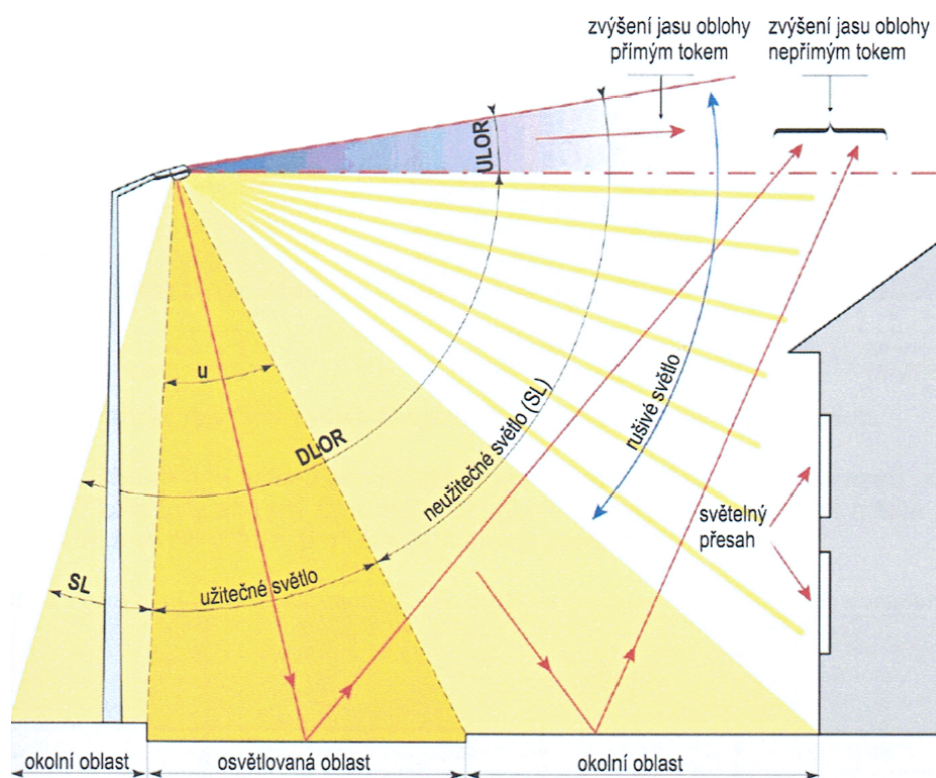
Původcem světelného znečištění je obecně každý umělý světelný zdroj – vzhledem k podstatě viditelnosti objektů, kdy musí na sítnici pozorovatele dopadnout světlo odražené od osvětlovaného povrchu, je tedy jistá míra světelného znečištění při používání umělého světla v noci nevyhnutelná (obr. 9). Příčiny vzniku světelného znečištění lze rozdělit následovně:¹⁸

- osvětlování mimo nutné časové období (např. osvětlení parkoviště nákupního centra mimo otevírací dobu)
- směřování světla do nežádoucích prostor (např. na nebe nebo okna do interiérů)
- použití zdrojů s nevhodnými spektrálními charakteristikami (více v sekci 4.2)

3.2 Kvantifikace a modelování

Kvůli různorodosti forem světelného znečištění je jeho kvantifikace obtížná – jakýmsi proxy měřítkem pro hodnocení míry světelného znečištění je proto jas oblohy. Přirozený jas oblohy je tvořen rozptýleným světlem Měsíce, jasných planet, hvězd, pásu Mléčné dráhy, zvířetníkového světla, *airglow* a dalšími astronomickými jevy. Jeho hodnota se liší podle zeměpisné šířky, fáze Měsíce, roční doby a sluneční aktivity a v průběhu noci se mění. Umělý jas oblohy je způsoben světlem uměle přidaným do nočního prostředí a bývá vyjádřen v poměru

*Pro odlišení nepříznivých účinků umělého osvětlení ve dne a v noci se také používá termín ALAN (artificial light at night) označující umělé osvětlení v noci.



Obrázek 9: Světlo vyzařované osvětlovací soustavou lze podrobněji rozdělit na užitečné světlo, které míří do osvětlované oblasti; neúčinné světlo, které míří mimo osvětlovanou oblast; a rušivé světlo, jež je neúčinným světlem, které má negativní vedlejší účinky. Každá z těchto kategorií částečně přispívá ke světelnému znečištění. Zdroj: Habel a Žák, 2015.¹⁴

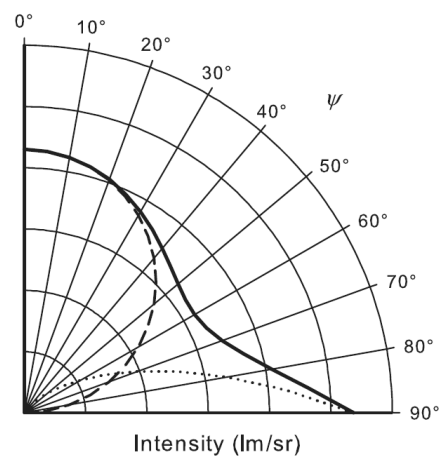
k přirozenému jasů noční oblohy. Příbuznými a odvozenými měřítka jsou například limitní magnituda hvězd viditelných pouhým okem, počet viditelných hvězd aj.²⁰

Vliv na jas oblohy má množství zdrojů světla, umístění a parametry svítidel, množství zeleně, sněhové pokrývky, množství a typ aerosolů, šířka ulic, výška zástavby, apod. Velkou měrou se na velikosti jasů oblohy a jeho spektrálním složení podílí oblačnost – měřením v Berlíně byl při zatažené obloze zjištěn až 10× vyšší jas oblohy v centru města a ve vzdálenosti 32 km od centra až 2,8×.²¹ V souladu s teorií Mieova a Rayleighova rozptylu jsou na zatažené obloze více rozptylovány delší vlnové délky oproti kratším – rozptyl naměřený Kybou et al. při zatažené obloze byl u modrého světla 7× vyšší oproti bezoblačné atmosféře, zatímco u červeného světla až 17× vyšší.²² V lokalitě bez světelného znečištění oblaky odstiňují světlo přicházející z vesmíru a vyšších vrstev atmosféry a jas oblohy tak naopak snižují. Vyšší množství aerosolu v atmosféře (smog, opar) má za následek zvýšení jasů oblohy v blízkosti zdroje světelného znečištění a jeho snížení na vzdálené lokalitě oproti téměř stavu s čistou atmosférou.¹¹

Jeden z prvních modelů světelného znečištění pro bezoblačnou atmosféru, který umožňuje spočítat jas oblohy v dané vzdálenosti od zdroje, představil Garstang roku 1986 (s modifikacemi v následujících letech).^{11,23–26} Město – zdroj světelného znečištění – je v modelu idealizováno jako kruhový disk, který produkuje světelný tok ekvivalentní násobku populace města a odhadnutému světelnému toku *per capita*. Část tohoto světelného toku se odrazí od země, část je přímo vyzářena do ovzduší. V úvahu je brán Rayleighův a Mieův rozptyl, albedo země,

dále hustota molekul a aerosolů podle nadmořské výšky, zakřivení Země, velkorozměrové struktury terénu (hory), extinkce v atmosféře, ozonová vrstva a vulkanický a pouštní prach. Vyzařovací funkce města podle tohoto tzv. „Garstangova standardního modelu” je na obr. 10.

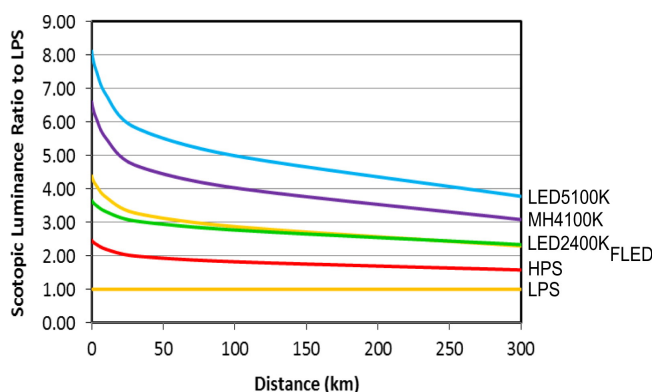
Tento model je samozřejmě zjednodušenou představou a nemůže zcela popsat komplexní povahu šíření světla v reálném prostředí. V dalších letech proto proběhla řada změn a také vývoj nových modelů: mj. Cinzano a Castro 2000²⁷, Aubé et al. 2005²⁸, Baddiley 2007²⁹, Kocifaj 2007³⁰, Luginbuhl et al. 2009²⁶, Kocifaj et al. 2010³¹, Cinzano a Falchi 2013³², Luginbuhl et al. 2014¹¹, Kocifaj et al. 2014³³ a Aubé 2015.³⁴ Např. model Illumina (Aubé et al.) bere v úvahu i rozptyl druhého řádu na aerosolu a pravděpodobné složení aerosolu (městský×venkovský), vliv okolního terénu, dále je možno definovat odrazivost povrchu a parametry několika typů svítidel.^{28,34} S úpravami a vhodně zvolenými parametry byla spolehlivost Garstangova modelu prokázána srovnáváním pozorovaných hodnot jasu noční oblohy s předpověďmi modelu.^{11,35,36}



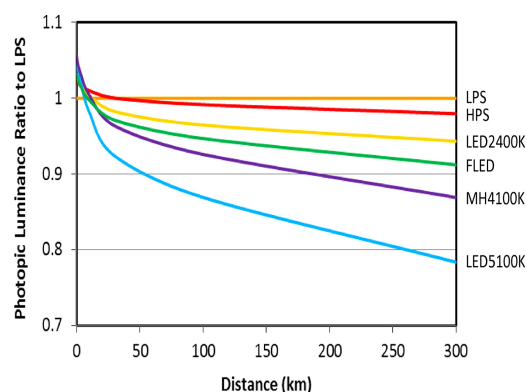
Obrázek 10: Vyzařovací křivka města podle Garstangova standardního modelu. Čárkovaně je zobrazen odraz 90 % světelného toku od povrchu s 15 % albedem, tečkovaně přímý světelný tok (10 %), jehož intenzita je přímo úměrná 4. mocnině zenitového úhlu (ψ). Zdroj: Luginbuhl et al., 2009.²⁶

Z vyzařovací charakteristiky města je patrné, že světlo vyzářené v malých úhlech od horizontální roviny se šíří nejvíce do dálky. Cinzano a Diaz určili, že světelný tok v 0-10° nad horizontální rovinu se podílí na jasu oblohy na vzdálené lokalitě stejnou měrou jako celkový tok od 10° do zenitu.²⁷ Světlo vyzařované pod malými horizontálními úhly je však ve městech mnohem více odstíněno budovami a vegetací – Luginbuhl et al. tak s ohledem na stínění budov a vylepšený model odrazu od terénu poukazují, že rozložení Garstangovy vyzařovací funkce města by mělo být posunuto více k zenitu, konkrétní rozložení se ale u jednotlivých měst bude lišit.²⁶

Garstangův standardní model také operuje s předpokladem, že vyzařované světlo je monochromatické o $\lambda = 550$ nm. Luginbuhl et al. rozšířili působnost modelu i pro jiné vlnové délky a provedli analýzu vlivu několika hlavních světelných zdrojů na jas oblohy. Z výsledků vyplývá, že světelné zdroje s větším podílem krátkých vlnových délek přispívají k jasu oblohy při skotopickém vnímání násobně více než červenější zdroje (obr. 11). Pokud jde ovšem o jas naměřený přístroji kalibrovanými pro V_λ , použití modrých zdrojů se projeví sníženým jasnem oblohy (obr. 12).¹¹ Vzhledem k hodnotám, ve kterých se jas oblohy obvykle pohybuje, je ovšem skotopické vidění značně upřednostněno, nehledě na odezvu ipRGC. Z grafů je patrný rychlejší pokles jasu se vzdáleností pro kratší vlnové délky, jenž posléze potvrdil Aubé (2015). Rozptyl je vzhledem k měnícímu se poměru Mieova a Rayleighova rozptylu závislý na vlnové délce jako $\lambda^{-\alpha}$, kde se hodnoty exponentu α pohybují od 2,7 do 3,6 podle



Obrázek 11: Relativní skotopický jas světelných zdrojů v závislosti na vzdálenosti. Zdroj: Luginbuhl et al., 2014.¹¹



Obrázek 12: Relativní fotopický jas světelných zdrojů v závislosti na vzdálenosti. Zdroj: Luginbuhl et al., 2014.¹¹

vzdálenosti od zdroje. V centru města tak má na jas oblohy hlavní vliv Rayleighův rozptyl, zatímco dále od města Mieův rozptyl.³⁴

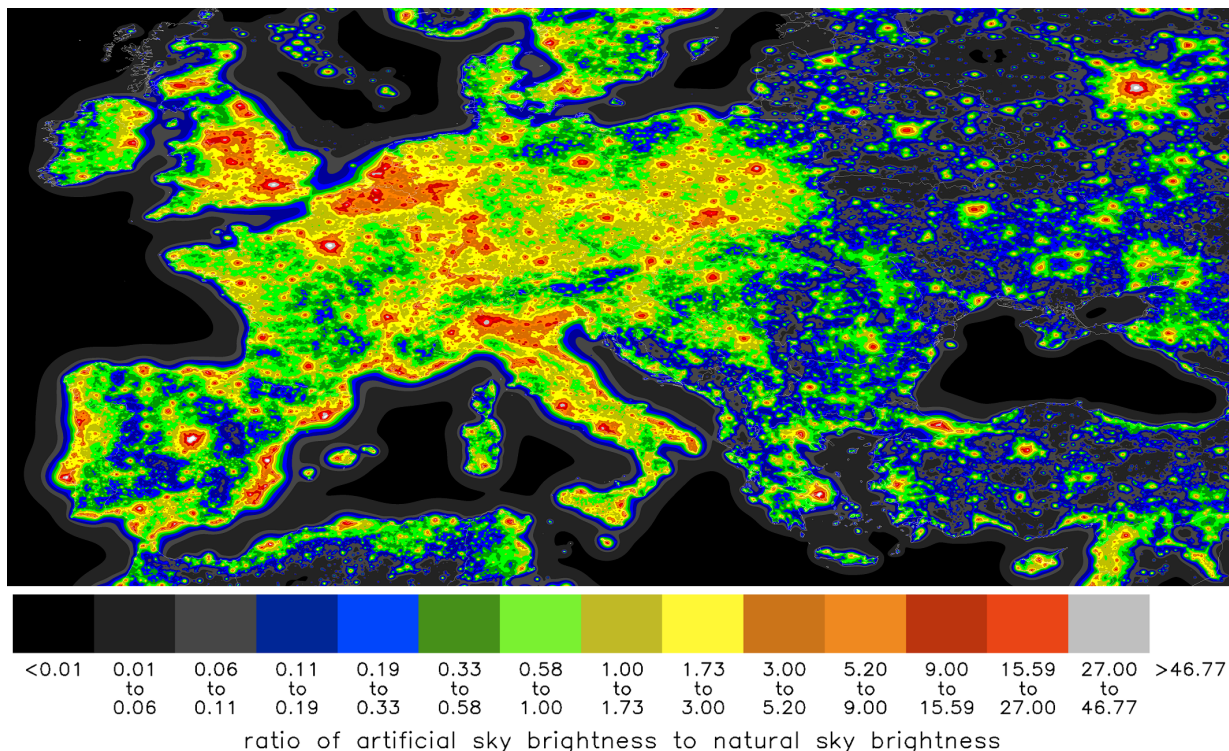
3.3 Dálkový průzkum Země

Druhým přístupem k hodnocení světelného znečištění jsou, kromě pozemních měření a modelů jasu, satelitní snímky; ty ovšem zobrazují pouze zářivý tok směrem k družici a neberou tak v úvahu šíření světla do ostatních směrů. Oblast, která se na satelitním snímku zdá tmavá, je ve skutečnosti ovlivněna přilehlými zdroji světla ze vzdálenosti až několika set kilometrů, což je při analýze dat pro účely hodnocení světelného znečištění nutno vzít v úvahu. Snímky umělého nočního osvětlení z oběžné dráhy nacházejí i další použití, mj. pro odhad spotřeby elektrické energie^{37–40}, míry elektrifikace⁴¹, průmyslové a ekonomické aktivity^{37,42,43}, pro demografické výzkumy⁴⁴, dopady přírodních katastrof a válek^{45,46}, odhad kvality života⁴⁷, produkce průmyslových odpadních vod⁴⁸, produkce CO₂⁴⁹, porodnosti a porodní úmrtnosti⁵⁰, či urbanizace⁵¹.

3.3.1 Systém DMSP/OLS

Historie systematického sbírání nočních dat o Zemi sahá do 60. let 20. století, kdy byly vypuštěny první družice DMSP pod správou Ministerstva obrany Spojených států amerických. V průběhu programu bylo vypuštěno několik desítek satelitů a jejich současná generace pochází technologicky ze 70. let. Roční kompozity globálních nočních snímků jsou publikovány od roku 1992.

Satelity se pohybují na polární helio-synchronní oběžné dráze s periodou 102 minut ve výšce 850 km nad povrchem Země a snímají pás široký 3000 km. Vlivem rotace Země poskytují satelity globální pokrytí 2x denně. Pro noční snímky jsou použita data z přeletů zhruba v 19:30 lokálního slunečního času. Noční snímání je založeno na přístroji Operational Linescan System (OLS), který funguje na principu fotonásobiče. Jeho spodní detekční limit je $4 \cdot 10^{-5} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ a hranice šumu $5 \cdot 10^{-6} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. Rozsah je měnitelný, umožňuje tedy



Obrázek 13: Mapa umělého jasu noční oblohy nad Evropou v roce 2006. Zdroj. Lorenz, 2006.⁵⁶

použití pro denní i noční snímkování. Informace o záři je přímo na palubě konvertována do jednotek Digital Number (DN) v rozsahu 0-63. OLS má prostorové rozlišení pouze 5 km, které neumožňuje jednoznačně identifikovat ani poměrně velké světelné struktury (např. letiště u měst). Mezi zásadní nevýhody pro noční snímání patří 6-bitový dynamický rozsah, kvůli němuž jsou jasná světla (např. centra měst) saturována, a především zcela chybějící možnost kalibrace během provozu.⁵² Kalibrace na satelitu probíhá pouze před vypuštěním a posléze jsou kalibrována až obdržená data, a to mezi jednotlivými satelity a jednotlivými roky. Protože různí autoři volí jiné metody kalibrace, je nutno při analýze a interpretaci dat brát tyto rozdíly v úvahu.^{53,54}

Na základě dat z DMSP a Garstangova modelu byl vytvořen *World Atlas of Artificial Night Sky Brightness*, jediný atlas s celosvětovým pokrytím jenž zobrazuje poměr umělého a přírodního jasu noční oblohy v zenitu za jasné noci (verze podle dat z roku 2006 na obr.13).⁵⁵

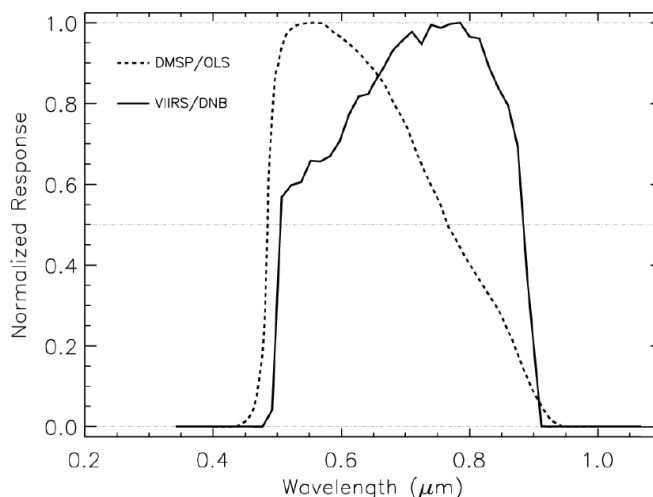
Program je v provozu dodnes (od roku 1998 pod správou NOAA⁵⁷), ale poslední dvě družice (starty 2014 a 2020) nebudou využitelné pro noční snímání kvůli přeletům v době soumraku a svítání.^{52,58}

3.3.2 Systém NPP/VIIIRS

Široká aplikace a využitelnost dat ze družic DMSP/OLS vedly k potřebě obdobného systému s lepšími parametry. V roce 2011 tak byla vypuštěna družice Suomi National Polar-Orbiting Partnership (Suomi NPP) provozovaná společně agenturami NASA a NOAA v rámci programu JPSS. Jedním z přístrojů na palubě družice je Visible Infrared Imaging Radiometer

Suite (VIIRS) se 14-bitovým dynamickým rozsahem, dolním detekčním limitem $3 \cdot 10^{-5} \text{ W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$ a hladinou šumu $5 \cdot 10^{-7} \text{ W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$. Primárním filtrem pro noční snímání záře je Day-Night Band (DNB) se spektrálním rozsahem 0,5-0,9 μm a prostorovým rozlišením 742 m. Oproti DMSP/OLS je NPP/VIIRS kalibrován za provozu pomocí difuzoru slunečního světla a jasná světla nejsou saturována – možnost využitelnosti dat se tak podstatně rozšiřuje. Jak je vidět na obrázku 14, spektrální odezva obou systémů se mírně liší, což může mít vliv při budoucím srovnávání dat z oblastí, kde jsou převažující světelné zdroje odlišného typu, či oblastí, kde dojde k výměně světelných zdrojů (např. současný přechod k LED zdrojům).

V roce 2017 má být vypuštěna v rámci téhož programu družice JPSS-1 a v plánu je i třetí družice, JPSS-2, s vypuštěním v roce 2021.⁵⁸ Obě družice mají nést přístroj VIIRS, pravděpodobně s vylepšenými parametry (např. prostorové rozlišení DNB filtru až 371 m⁶⁰). I do budoucna je tedy zajištěna možnost kontinuálního sledování stavu světelných podmínek. Aby bylo možno sledovat změny v delší časové řadě, zůstává ovšem velkou výzvou vzájemná srovnatelnost dat z DMSP/OLS a NPP/VIIRS, především kvůli jejich rozdílnému dynamickému rozsahu, spektrální odezvě a prostorovému rozlišení.

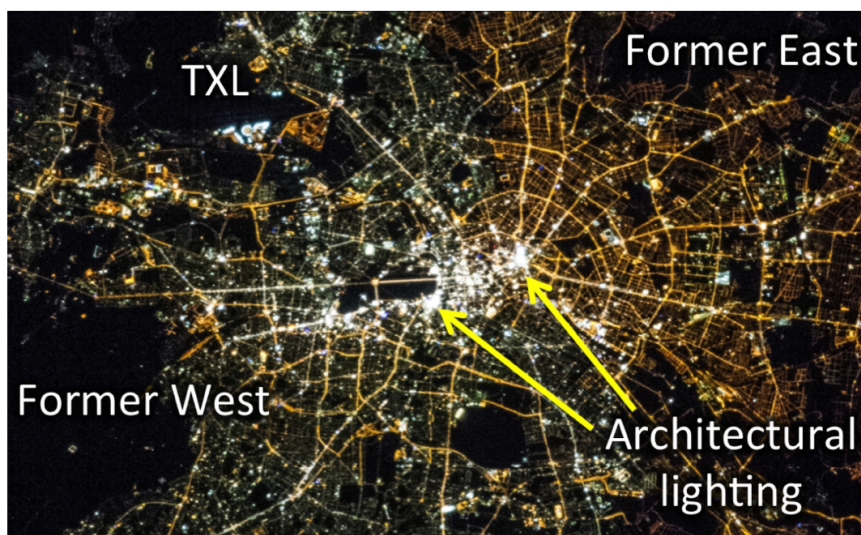


Obrázek 14: Srovnání spektrální odezvy snímačů VIIRS a DMSP. Oba snímače jsou posunuty výrazně k delším vlnovým délkám oproti citlivosti lidského oka
Zdroj: Miller et al. 2013.⁵⁹

Před vypuštěním Suomi NPP/VIIRS byl také představen nový koncept satelitu Nightsat, jenž měl mít oproti DMSP podstatné výhody v rozlišení (50-100 m), nižší spodní hranici detekčního limitu ($2,4 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$) a možnosti snímání ve více spektrálních oblastech viditelného světla.⁶¹ Jak vidno, jeho (teoretické) parametry by v mnoha ohledech překonávaly NPP/VIIRS, k realizaci Nightsatu ovšem nedošlo.

3.3.3 Mezinárodní vesmírná stanice

V roce 2012 byl na Mezinárodní vesmírnou stanici (ISS) instalován systém NightPod, jenž umožňuje pořizovat snímky s rozlišením 10 m a lepším. Protože snímky jsou pořizovány přes okno ISS běžnou komerční sestavou DSLR fotoaparátu a objektivu, systém je kalibrován pomocí fotometrie hvězd. Vzhledem k oběžné dráze ISS je počet přeletů nad konkrétním místem omezen a snímky také nemohou být pořízeny v přesně stanovených hodinách – výhodou je ovšem možnost sledovat vývoj osvětlení během noci.⁶² Protože DSLR kamery snímají ve třech barevných pásmech (R, G, B) je možno, na rozdíl od satelitních dat, rozeznat na výsledných snímcích například převažující typ zdrojů osvětlení (obr. 15).



Obrázek 15: Snímek Berlína z ISS. Patrný je rozdíl mezi zdroji svítidel VO v bývalém východním (oranžová, HPS) a západním (bílá, rtuťové výbojky, LED) Berlíně. Mezinárodní letiště Tegel je značeno „TXL”. Zdroj: Kyba et al.⁶², originál snímku *Earth Science and Remote Sensing Unit, NASA Johnson Space Center*.

3.4 Stav světelného znečištění

Podle Cinzana et al. pod oblohou zasaženou světelným znečištěním žijí $\frac{2}{3}$ světové populace a v Evropské unii[†] a USA[‡] 99 % obyvatel; čtvrtina světové populace, 80 % populace USA a $\frac{2}{3}$ obyvatel EU žijí pod noční oblohou jasnější než za Měsíce v úplňku; pětina obyvatel Země, $\frac{2}{3}$ obyvatel USA a více než polovina obyvatel EU již nemůže pouhým okem spatřit Mléčnou dráhu.⁵⁵ Vzhledem k rostoucí urbanizaci společnosti se tyto hodnoty od analyzovaného období (1996-1997) pravděpodobně zvýšily.

Podíl jednotlivých druhů osvětlení na světelném znečištění se nedá stanovit obecně – liší se u jednotlivých obcí podle jejich charakteru, zvyklostí při osvětlování a místních legislativních úprav. Na různých formách světelného znečištění se navíc různé druhy mohou projevat odlišně, a to i v závislosti na čase a vzdálenosti. V Berlíně je podle leteckého průzkumu světlo z ulic zodpovědné za 32 % světelného toku směrem vzhůru, dále 16 % připadá na průmyslové zóny, 10 % na oblast veřejných služeb (školy, nemocnice, ...), 8 % domovní bloky, 6 % městské centrum, 4 % letiště a 4 % provozní areály (ČOV, spalovny, vodárny, ...).⁶³ Oproti tomu ve Flagstaffu (Arizona, USA), kde bylo provedeno pozemní sčítání a hodnocení svítidel, je největší podíl komerčního osvětlení (36 %), dále sportoviště (32 %), silnic (12 %) a rezidenčního osvětlení (9 %).²⁶ V Reykjavíku (Island) se jas oblohy při zhasnutí veřejného osvětlení snížil o 50 %.⁶⁴ Stejně tak se podle charakteristik dané oblasti liší celková zář – Kyba et al. analýzou satelitních snímků zjistili, že zář obcí v USA je průměrně 3-5× vyšší než u obcí srovnatelné velikosti v Německu.⁶² Kromě měst a obcí jsou zdroji světelného znečištění pozorovatelnými z vesmíru např. těžební oblasti (spalování plynu) či rybářské flotily⁵⁵; v úvahu

[†]Jde o složení EU v roce 2001, tedy státy EU-15.

[‡]Kromě států Aljaška a Havaj.

je nutné vzít i světlo z interiérů a dočasné mobilní zdroje jako světlomety vozidel. Podle pozemních měření také jas oblohy v silně zasažených oblastech klesá přibližně o 5% za hodinu od počátku astronomické noci (vlivem úbytku rozsvícených zdrojů).⁶⁵

Bennie et al. podle snímků z DMSPP provedl analýzu změn jasu v mezi lety 1995-2010 a 2005-2010, podle níž se zář na většině území Evropy zvýšila. Jediné státy, které vykázaly pokles na většině území, jsou Belgie a Slovensko, kde v obou případech byly z finančních důvodů částečně zhasínáno veřejného osvětlení.⁶⁶ Množství osvětlení ve světě narůstá o 3-6 % za rok.^{10,67} I pokud by celkový světelný tok zůstal na stejné úrovni, se zvyšujícím se poměrem LED svítidel se bude vzhledem k jejich spektrálním charakteristikám zvyšovat i vnímaný jas noční oblohy.

Obdobná analýza pro přírodní a polo-přírodní ekosystémy mezi lety 1992 až 2012 prokázala největší nárůst jasu v mírných pásmech a v oblasti Středomořího moře. Nejnížší nárůst vykazují horské, arktické a boreální oblasti. V tropických a subtropických oblastech jsou nejvíce dotčeny mangrovové a subtropické jehličnaté a smíšené lesy; v suchých oblastech jde o lesnaté a zemědělské lokality. Ekosystémy s nejvyšším nárůstem záře jsou již nyní fragmentované a často se jedná o oblasti, které vykazují vysokou diverzitu a přítomnost endemických a vzácných druhů.⁶⁸

Kapitola 4

Světlo v noci

3,5 miliardy let se život na Zemi vyvíjí podle cyklů určených množstvím světla – střídání ročních období, měsíčního cyklu a střídání dne a noci, přičemž u tohoto cyklu je rozdíl mezi hladinami osvětlení nejvyšší. Většina druhů, včetně člověka, se těmto změnám přizpůsobila a jejich pravidelné činnosti se odehrávají v tzv. cirkadiánním cyklu (trvajícím přibližně 24 h). Téměř neustálá přítomnost světla v moderní společnosti a zvýšené množství světla ve venkovním prostředí má za následek narušení těchto cyklů a změny v chování organismů. Podrobnější soupis těchto důsledků je v sekci 4.2. Dále jsou v této kapitole popsány dopady světelného znečištění na viditelnost noční oblohy, spojitost světla s bezpečností a finanční dopady. Ne všechny oblasti jsou prozatím dostatečně pokryty výzkumem – dosavadní výsledky ale ukazují na závažnost negativních dopadů světelného znečištění.^{67,69}

4.1 Noční krajina a obloha

Vliv světelného znečištění, obzvláště ve formě zvýšeného jasu oblohy, je na první pohled nejvýraznější v proměně noční krajiny. Krajinu vnímáme většinou ve dne, kdy je součástí dojmu z celkového obrazu i obloha nad krajinou a s ní spojené jevy (východ a západ slunce, počasí). Stejně tak v noci je součástí krajiny noční obloha, jejímiž prvky jsou astronomické objekty jako Měsíc, hvězdy, pás naší Galaxie neboli Mléčná dráha, planety a zvířetníkové světlo a atmosférické jevy jako polární záře, noční svítící oblaka a airglow. Po mnoho tisíciletí lidé používali hvězdné nebe pro navigaci a odhad času, byly s ním úzce spojeny náboženské a mytologické příběhy, inspiraci z něj čerpali umělci i vědci. Světelné znečištění má za následek ztrátu viditelnosti této součásti krajiny – zatímco na přírodní obloze je možno pouhým okem spatřit až několik tisíc hvězd, na většině území ČR jsou to pouze stovky hvězd a v nejhůře postižených oblastech jako centra velkých měst a aglomerací jde pouze o několik jednotek či desítek hvězd.⁵⁵

S cílem propagovat a zachovat hvězdnou oblohu jsou proto v posledních letech zakládány tzv. oblasti a parky tmavé oblohy, které jsou často součástí jiného chráněného území, např. národních parků. Nejrozšířenější program zaštiťující tyto lokality je pod správou *International Dark-Sky Association* a bylo v něm založeno více než 42 parků a rezervací tmavé oblohy – z toho 15 v Evropě (Velká Británie 7, Německo 3, Maďarsko 2, Francie 1, Irsko 1, Nizozemí 1).⁷⁰ V ČR existují tři Oblasti tmavé oblohy (Jizerská, Beskydská a Manětínská) vyhlášené mimo rámec těchto programů. Noční obloha je organizací UNESCO považována za součást světového dědictví, ačkoliv přírodní obloha jako taková, ani oblasti tmavé oblohy nemohou být podle současných kritérií zapsány do Seznamu světového dědictví.⁷¹

4.2 Vliv na organismy

4.2.1 Cirkadiánní cyklus

Každý organismus má své vlastní „vnitřní hodiny“, jež se u člověka nacházejí v supraschiasmatickém jádře (SCN) v mezimozku. SCN přijímá informace o světle od ipRGC fotoreceptorů (viz sekce 2.1.3) a na jejich základě reguluje sekreci hormonů melatoninu a kortisolu a tělesnou teplotu. Za normálních podmínek (tj. pravidelné střídání denních a nočních hladin osvětlení) hodnoty těchto hormonů a teplota oscilují v přibližně 24-hodinovém (cirkadiánním) cyklu, stejně jako na ně navázané aktivity, např. spánek a příjem potravy. Vnitřní hodiny organismu jsou schopny udržet tento cyklus samy o sobě i po několik dní – ke správné synchronizaci a funkčnosti cyklu je ovšem třeba vnějšího stimulu (*zeitgeber*), kterým je světlo.⁷²

Primárním hormonem ve funkci cirkadiánního rytmu je melatonin, jehož sekrece se zvyšuje při klesající intenzitě osvětlení a zvyšující se vlnové délce, což odpovídá západu slunce v přírodních podmínkách; nejvyšší hladiny melatonin dosahuje za normálních podmínek mezi 3. a 5. hodinou ranní. Sekrece melatoninu není ovlivněna bdělým stavem nebo spánkem, závisí na hladině a intenzitě světla dopadajícího na sítnici. Nejvíce je sekrece narušena modrým světlem (s maximem odezvy při vlnové délce přibližně 440-500 nm odpovídající citlivosti ipRGC a melanopsinu) a intenzitou osvětlení už od hladiny 1,5 lx monochromatického záření a < 100 lx multispektrálního záření.^{3,73-75} Pokud je organismus vystaven světlu i ve večerních hodinách, sekrece melatoninu je posunuta a nestihne se vytvořit dostatečné množství melatoninu do té doby, než ráno dojde ke zvýšení hladin osvětlení. Melatonin se kromě SCN nachází i v dalších orgánech a je schopen vnitrobuněčného membránového transportu – díky těmto vlastnostem je velmi účinným antioxidantem a podílí se na funkci imunitního systému. Na podobném principu funguje cirkadiánní cyklus i u ostatních živočichů, včetně citlivosti na podobné vlnové délky.⁷³

4.2.2 Člověk

V důsledku vynálezu umělého osvětlení se v posledních 140 letech podstatně proměnil životní styl; v rozvinutých zemích podstatná většina obyvatel mění svůj přirozený cirkadiánní rytmus prostřednictvím světla. Důsledky narušení cirkadiánního rytmu jako jsou sezónní deprese (SAD) a poruchy spánku se více projevují u obyvatel vyšších zeměpisných šířek, kde vlivem výrazně prodlouženého dne v létě a noci v zimě nedochází k dostatečně vysokým a nízkým hladinám osvětlení.⁷⁶ Ještě výraznější změny probíhají u lidí pracujících na směny.⁷²

Narušení cirkadiánních cyklů přispívá k poruchám spánku, vzniku depresí a cukrovky či nárůstu obezity.^{77,78} Vzhledem ke schopnosti melatoninu působit jako protirakovinné činidlo, jsou jeho nízké hladiny způsobené přemírou osvětlení asociovány se vznikem rakoviny prsu a prostaty.^{75,79,80} Výskyt rakoviny prsu celosvětově koreluje s hodnotami záře z DMSP – ačkoliv tato situace může být způsobena rozložením obyvatelstva, podobná korelace se neprojevila u rakoviny plic, jater, hrtanu a tračnicku.⁸¹ Vzhledem k těmto výsledkům WHO klasifikuje

„práci na směny s narušením cirkadiánního cyklu” jako možný karcinogen⁸² a Dánsko uznalo rakovinu prsu jako nemoc z povolání při práci na směny.⁸³ Souhrnný report na toto téma poskytuje například Stevens et al.⁷⁵

Ačkoliv tyto závažné dopady jsou zatím nejvíce prokázány u práce na směny, mohou se týkat i ostatního obyvatelstva – např. Gooley et al. zjistil, že v mnoha ložnicích je intenzita osvětlení před spánkem vyšší než intenzita vhodná pro zachování správné sekrece melatoninu.⁸⁴ Velmi významným zdrojem modrého světla jsou LED obrazovky elektronických zařízení jako počítače, mobily a tablety, jež lidé používají ve vysoké míře i těsně před spaním.⁸⁵ V několika studiích se nošení brýlí blokujících modré světlo při zvýšených hladinách osvětlení ve večerních hodinách prokázalo jako vhodné opatření pro zachování správné funkčnosti sekrece melatoninu.^{76,86}

Světlo se pro své pozitivní účinky používá při léčbě depresí či u pacientů s demencí.⁷² Pacienti s bipolární poruchou, kteří byli hospitalizováni v pokojích s okny ve východním směru, byli díky těmto ranním dávkám světla navíc propouštěni z nemocnice dříve.⁸⁷ Ačkoliv je tedy ve dne vhodná co nejvyšší expozice světlu, po západu slunce je tomu naopak (zejména u modrého světla), aby nedocházelo k narušení přirozeného rytmu.

4.2.3 Ostatní živočichové

Téměř třetina obratlovců a 2/3 bezobratlých jsou noční živočichové – člověkem vytvořené umělé osvětlení proto významně zasahuje do jejich přirozeného prostředí. Na rozdíl od člověka, který dnes čas určuje převážně pohledem na hodinky a do kalendáře a své aktivity široce přizpůsobuje vlastnímu přání, jsou živočichové v odhadu času mnohem více závislí na množství světla a jeho dalších parametrech. Podle světla odhadují správnou dobu pro rozmnožování, hledání potravy či odpočinek, světlo slouží jako orientační pomůcka, živočichové jsou k němu přitahováni, či se mu naopak vyhýbají. Pokud se živočichové nacházejí v prostředí, kde dosahuje umělé světlo takových intenzit, že narušuje a mate tyto přirozené pochody, jsou tyto dopady pozorovatelné na celých společenstvech a ovlivňují na ně navázaný ekosystém. Kromě narušení cirkadiánních cyklů na podobném principu jako u člověka, se lze u živočichů setkat s níže popsányými účinky zvýšených hladin umělého světla v noci. Souhrn pozorovaných efektů včetně intenzit osvětlenosti lze najít například v reportech od Gaston et al., Navara a Nelson či Rich a Longcore.^{88–90}

Hmyz

Hmyz tvoří polovinu dosud známých druhů a je nezastupitelnou součástí potravního řetězce. Je ovšem také třídou, jež v posledních desetiletích zažívá nejvyšší úbytek a vymírání.⁹¹ V některých obzvláště ohrožených skupinách (např. motýli) je většina druhů aktivních v noci. Noční motýli („můry”) a další druhy hmyzu jsou ke světlu silně přitahováni – přilákání jedinci poté okolo svítidla krouží tak dlouho, dokud nezemřou vyčerpáním, či se nestanou obětí predátorů. Jediné svítidlo v blízkosti potoka může přilákat stejné množství jedinců, jaké se za stejnou dobu vylíhne ve 200m úseku potočního břehu.⁷² Davies et al. prokázali,

že přítomnost venkovního osvětlení významně a trvale pozměňuje složení přízemních společenstev.⁹² Přitažlivost různých světelných zdrojů se liší podle druhu hmyzu – obecně je ale hmyz nejméně přitahován zdroji bez modré složky spektra, LPS a HPS, zatímco u osvětlení s vyšším podílem modrého světla je množství hmyzu vyšší.^{72,90}

Ptáci

Změny reprodukčního chování byly pozorovány u několika druhů zpěvných ptáků (např. kosi, sýkory, červeny, drozdi). V přirozených podmínkách je časný ranní zpěv znakem kvality samce – ovšem v oblastech s umělým osvětlením začínají samci zpívat podle toho, jak daleko od zdroje světla se nacházejí, nikoliv podle své zdatnosti. Samičky jsou pak přitahovány k samcům, kteří mohou být méně kvalitní, což má dopady na další generace. Dochází také k dřívějšímu kladení vajíček, které může mít opět nepříznivý vliv na přežití či zdraví mláďat.^{72,93,94}

Známé jsou případy dezorientace či úmrtí ptáků při setkání s výraznými světelnými zdroji a objekty – výškové domy, památky, majáky, ropné plošiny, billboardy a výkonné světlomety. Tyto efekty jsou navíc výraznější při špatném počasí a snížené viditelnosti. V USA jsou známy případy, kdy během jedné noci uhynou tisíce jedinců při srážce s konkrétní budovou. Ptáci mají také tendenci u silných zdrojů světla kroužit až do úplného vyčerpání, přičemž intenzita světla je přímo úměrná atraktivitě pro ptáky. V průzkumu u nasvíceného mrakodrapu *Post Tower* v Bonnu bylo u více než 90 % pozorovaných ptáků výrazně ovlivněna trasa letu a chování. Minimálně v době migrací stěhovavých ptáků proto bývá doporučeno odstínit či zhasnout svítidla mířící k nebi.^{72,95}

Podle experimentu od Poot et al. je pro ptáky při této orientaci nejvíce rozptylující červené světlo, následně bílé a nejméně modro-zelené.⁹⁶ Tyto výsledky jsou diskutovány v reportu od Ballasus et al. který poukazuje na nedostatky v provedení experimentu. V témže reportu jsou uvedeny další studie, jež přinášejí vzájemně neslučitelné výsledky – přesnou reakci ptáků na různou barvu světla tak zatím neznáme.⁹⁵ Při výrazné intenzitě světla, se kterou se ptáci u osvětlených budov většinou setkávají, však nehraje barva osvětlení významnou roli.⁷² Jedním z faktorů, které mohou přispívat ke schopnosti navigace u ptáků je také hladina melatoninu.⁹⁰ Zajímavá je citlivost ptáků na dobu trvání světla – stavby s výstražnými svítidly pro letecký provoz, u kterých svítidla vydávají krátké záblesky, vykazují menší úmrtnost ptáků než obdobné stavby s trvale svítícími či pomalu blikajícími svítidly bez ohledu na to, zda jsou světla bílá či červená.⁹⁵

Netopýři

Netopýři jsou jediní létající savci a výlučně noční živočichové. Ačkoliv se orientují převážně pomocí echolokace, netopýři jsou schopni vidět zrakem. Vyšší množství umělého světla v noci má za následek zkrácení aktivní doby lovu – netopýři vylétají z hnízdiště později a dříve se vrací. Vzhledem k tomu, že většina vhodného hmyzu je aktivní v dřívějších večerních hodinách, mají netopýři nejen celkově kratší dobu na lov, ale i menší šanci úspěchu a celkové

množství přijaté potravy je tak výrazně zmenšeno. 12 z 35 zkoumaných druhů netopýrů se pohybuje v blízkosti světla; není ovšem známo, zda je pro ně atraktivní světlo samotné či hmyz, který se u něj sdružuje.^{72,95}

Ačkoliv některé druhy z umělého světla profitují lovem hmyzu nashromážděného u zdrojů světla – např. netopýr severní (*Eptesicus nilssonii*) či netopýr hvízdavý (*Pipistrellus pipistrellus*) – většina druhů se při lovu světlu vyhýbá a vynakládá tak další energii, což se může negativně projevit na zdraví a reprodukčních schopnostech jedince. Naopak v méně osvětlených oblastech hmyzu ubývá a světlopláší netopýři tak mají potravy nedostatek. Netopýr pobřežní (*Myotis dasycneme*)* snižuje v osvětlených oblastech svou predační aktivitu, i přesto, že je zde větší hojnost kořisti. Změny chování byly pozorovány také u netopýra jižního (*Pipistrellus kuhlii*) a Bottova (*Eptesicus bottae*), který loví pouze v neosvětlených oblastech. Vrápenec malý (*Rhinolophus hipposideros*)* začíná v oblastech se zvýšeným jasem oblohy lovit znatelně poději a osvětleným oblastem se vyhýbá. I netopýři, kteří umělého světla využívají k lovu, jsou na světlo citliví, pokud je osvětlen vstup jejich hnízdišť, kterými často bývají kostelní věže. Netopýr hvízdavý nezalétává do hnízdiště, pokud je osvětleno a netopýr brvitý (*Myotis emarginatus*)* se vstupem čeká až dvě hodiny po zhasnutí osvětlení. Podobné chování bylo pozorováno i u vrápence velkého (*Rhinolophus ferrumequinum*)* a netopýra východního (*Myotis oxygnathus*) a vysoká intenzita osvětlení může vést až k úplnému opuštění hnízdiště. Mláďata v osvětlených hnízdištích vykazují menší velikost a tělesnou hmotnost.^{72,98}

Stejně jako ptáci mají netopýři tendenci ke kolizím s osvětlenými vysokými budovami. Pokud jde o citlivost na jednotlivé části spektra, u svítidel s monochromatickým spektrem byla pozorována nižší aktivita netopýrů než u svítidel se širší spektrální distribucí. Je pravděpodobné, že netopýři vidí i v UV části spektra.⁹⁵

Ryby a vodní ekosystémy

Velká část vodních ploch a toků, jako řeky, vodní nádrže a pobřeží jezer, moří a oceánů, je dnes přímo či nepřímo osvětlena umělým světlem. Mnoho ryb je ke světlu přitahováno, čehož se využívá v rybářském průmyslu. Změny chování se projevují například u hrotnatek (*Daphnia sp.*), které v přirozených podmínkách ve dne klesají ke dnu a v noci stoupají k hladině, kde se živí řasami. V osvětlených oblastech se zmenšuje množství vzhůru migrujících hrotnatek i doba migrace, čímž zůstává u hladiny vyšší množství řas a mění se kvalita vody, což má důsledky pro všechny v ní žijící organismy. Některé druhy zooplanktonu a krevet nevykonávají tuto vertikální migraci, pokud je intenzita osvětlení hladiny vyšší než za Měsíce v první čtvrti. Také mladé ryby a potěr jsou často světloplaché a vykonávají noční vertikální pohyb k hladině společně se zooplanktonem, kterým se živí. Migrace z moří zpět na trdliště (např. u úhoře evropského či lososů) se odehrává pouze v noci a může být narušena i osvětlením o nízké intenzitě. U lososovitých je měsíční nov (tedy nízká hladina osvětlení) jedním ze signálů pro započetí migrace k moři. U některých ryb mohou vhodné světelné

Symbolem „” jsou označeny kriticky ohrožené druhy podle vyhlášky 395/1992 Sb.⁹⁷

podmínky ke tření nastat v přirozených podmínkách pouze 1-2× ročně.⁶⁹ Pro ryby živící se hmyzem u hladiny je problematická přítomnost umělého osvětlení, které množství tohoto hmyzu snižuje^{72,88,90}

Další

Důležitou schopností některých živočichů je orientace s pomocí Měsíce a jeho polarizovaného světla, hvězd či Mléčné dráhy, která byla pozorována u obojživelníků, plazů (zejména mladých želv), brouků či ptáků; tato orientace je v případě zvýšeného jasu oblohy či přemíry umělých zdrojů světla nefunkční.^{88,90,99–102} Je známo několik tisíc druhů, jež pomocí biochemických reakcí světélkují – toto světlo slouží k různým účelům, od lovu a obrany po rozmnožování, ale jeho intenzita je velmi malá. Tito živočichové proto preferují výskyt v oblastech s nízkou mírou světelného znečištění, ať už jsou to oceány (bioluminiscentní plankton, ryby, měkkýši) či lesy (světlušky, chrobáci, *Phengodidae*), kde se může jejich evoluční přizpůsobení projevit.^{88,103,104} U některých druhů žab se v přítomnosti umělého osvětlení projeví změny ve výběru partnera a namlouvacích rituálech.⁹⁰ Úspěšnost predátorů v lovu kořisti (např. sova-hlodavci) se značně mění s množstvím měsíčního světla – přítomnost umělého osvětlení se ukázala jako rizikový faktor u některých druhů hlodavců.⁹⁰

4.2.4 Rostliny

Vliv umělého světla v noci na floru není zatím tak podrobně prozkoumán. Podobně jako u živočichů i u rostlin probíhají důležité fyziologické pochody i v noci – např. fotosyntéza má ekvivalentně významné denní i noční fáze a přítomnost umělého světla narušuje rozložení těchto fází. Světlo obecně ovlivňuje několik fází růstu rostliny, např. klíčení semen, růst stonku, rašení a opad listů, přechod z vegetativního do kvetoucího stavu či rozvoj květu a plodů a dobu kvetení – pro každou z těchto fází jsou typické světelné parametry jako délka a intenzita osvětlení či vlnová délka a tyto parametry jsou používány pro co nejproduktivnější růst rostlin ve skleníkovém průmyslu.⁸⁸ Při fotosyntéze je citlivost na specifické vlnové délky závislá na zastoupení pigmentů (chlorofyly, karoteny, ...), jež se u jednotlivých druhů liší. Často se proto používá průměrná fotosyntetická odezva rostlin (DIN 5031-10), jež má dvě maxima v 430 nm a 660 nm. Mezi zdroje, jež mají nejnižší dopad na fotosyntézu patří tedy například LPS či FLED, naopak širokospektrální zdroje s maximy v modré a červené části spektra jako MH a nefiltrované LED narušují fotosyntézu podstatně více.¹⁰⁵ Dalšími fotoreceptory rostlin, které regulují nefotosyntetické chování (např. fototropismus, fotoperiodismus) jsou fotosenzory, jež informují rostliny o parametrech světla na stanovišti. Jde opět o chemické sloučeniny různého složení a různých vlastností, včetně odlišné citlivosti na vlnové délky, a to od UV po červené záření.⁸⁸

Přítomnost nadměrného množství světla v noci u rostlin může způsobit předčasné olistění, pozdní opad listů (tyto efekty byly pozorovány zejména u stromů ve městech) a prodloužení růstové periody, což má dopad na individuální zdraví rostliny.⁸⁸ Negativní vliv na rostliny má také snížené množství nočních opylovačů v důsledku změn nočního prostředí (top-down

efekt).⁶⁷ Bennie et al. v experimentu prokázali, že vliv světla ze zdroje LED 6000 K na množství květů štírovníku bažinného (*Lotus pedunculatus*) je nižší než vliv z LED o téměř monochromatickém jantarovém spektru. Snížené množství rostlin určitého druhu může mít dále dopad na populaci specializovaného herbivora (bottom-up efekt).¹⁰⁶

4.3 Socioekonomické aspekty

4.3.1 Bezpečnost, kriminalita a nehodovost

Proti regulaci umělého osvětlení v noci bývá argumentováno možným snížením bezpečnosti v souvislosti s kriminalitou a dopravní nehodovostí. Noční osvětlení je používáno jako jedna ze složek prevence kriminality u veřejných a soukromých prostor; potenciální pachatel může být odrazen vyšší pravděpodobností spatření či identifikace při činu. Vyšší hladiny osvětlení mohou ovšem pomáhat i pachatelům, kteří nemusí používat vlastní osvětlení, mohou si lépe prohlédnout místo činu či vytipovat oběť. Některé parametry nevhodně provedeného osvětlení, např. ostré přechody mezi světlem a stínem, oslnění apod., bezpečnost přímo snižují. Pokud jde o kriminalitu, chodci se při větším množství světla cítí bezpečněji, skutečný vztah mezi vyšší intenzitou osvětlení a vyšším bezpečím však nebyl současnými studiemi potvrzen.^{10,18,107} Studie Oddělení prevence kriminality Vlády UK z roku 1991 nenašla vliv zlepšení osvětlení na úroveň kriminality.¹⁰⁸ V průzkumu od Steinbach et al. z 62 lokalit Anglie a Walesu nebyla nalezena spojitost mezi mírou nehodovosti a kriminality a tím, zda bylo veřejné osvětlení po část noci zhasnuto, ztlumeno či zcela nepoužíváno.¹⁰⁹ Welsh a Farrington analyzovali několika desítek lokalit v USA a UK poukázali na souvislost mezi „vylepšeným pouličním osvětlením“ a snížením kriminality, přičemž pozitivní vliv osvětlení byl vyšší u případů v UK oproti případům z USA.¹¹⁰

Účelem osvětlení komunikací je zvýšit viditelnost neosvětlených prvků (např. chodců a zvěře), snížit nároky na zrak řidičů a přispět tak k bezpečnějšímu provozu. Zejména u nočního provozu je mnoho specifik a faktorů, které je třeba při analýze vzít v úvahu (rozdílná intenzita provozu podle ročního období, nižší počet najetých kilometrů, únava řidiče, vyšší počet řidičů a chodců pod vlivem alkoholu a omamných látek, různorodá kvalita osvětlení), tudíž podíl vlivu veřejného osvětlení na bezpečnost provozu je obtížné přesně určit. Bezpečnost provozu může dále ovlivňovat i jiné osvětlení v zorném poli řidiče, např. reklamní plochy a další soukromé osvětlení. Podle studií z 50. let provedených v UK, měla přítomnost VO za následek snížení noční nehodovosti až o 30 %. Díky zlepšujícím se parametrům aut (zejména světlometů) a stavu komunikací se ovšem podíl veřejného osvětlení na bezpečnosti silničního provozu snížil. Britská Highways Agency v roce 2008 určila, že osvětlení dálnic mezi sjezdy snižuje nehodovost o 10 % se závěrem, že tento pozitivní vliv není ospravedlnitelný vzhledem k nákladům.⁶⁹ Statistika nehod v Berlíně mezi roky 2006 a 2008 neukázala spojitost mezi počtem nehod s ublížením na zdraví a intenzitou osvětlení místa nehody.¹¹¹

4.3.2 Ekonomické a finanční aspekty

Veřejné osvětlení a viditelnost noční oblohy jsou ze své podstaty v ekonomickém pojetí veřejným statkem, tj. jejich spotřeba neovlivňuje spotřebu jiného uživatele. Samotná finanční hodnota nočního nebe je nevyčíslitelná, podobně jako hodnota Slunce či gravitace. Obdobně obtížně hodnotitelné jsou škodlivé dopady světelného znečištění na lidské zdraví, ekosystémové služby či biodiverzitu.¹¹² Všechny tyto důsledky lze posuzovat jako negativní externality

Lépe se dají vyhodnotit přímé finanční náklady na spotřebu energie nevyužitého světla (*wasted light*). Celosvětově jde zhruba 20 % světové energie na osvětlení, v EU činí tento podíl 15,4 %. Venkovní osvětlení tvoří v EU zhruba 21 % osvětlení podle spotřeby energie, která na obyvatele činí 200 kWh ročně (též pro venkovní osvětlení).⁷² Náklady na nevyužitou energii v Evropě jsou odhadovány na 5,2 mld. Euro ročně (140,4 mld. Kč), přičemž v poměru k počtu obyvatel tato částka pro ČR činí asi 2 miliardy Kč.¹⁸ Mnoho obcí volí snižování hladin osvětlení či jeho úplné vypínání v pozdních nočních hodinách jako metodu ke snížení výdajů obecního rozpočtu. Toto bývá aplikováno i na osvětlení památek (např. osvětlení Pražského hradu, které je po půlnoci zhasínáno) a soukromé osvětlení (reklamní plochy). S přechodem na účinnější a lépe směrovatelná a regulovatelná LED svítidla se očekává jak celková redukce nákladů na energie, tak pokles poměru nevyužité energie, čímž se umenší jeden z negativních aspektů světelného znečištění. Vzhledem k výraznějšímu vlivu modré části světelného spektra LED lze ovšem předpokládat nárůst ostatních výše jmenovaných externalit a nákladů na ně.

Kapitola 5

Legislativa

Jednu z možností, jak omezit světelné znečištění a jeho negativní vlivy, představují právní předpisy, jež jsou v poslední době zaváděny v různých podobách po celém světě. Některé předpisy se týkají pouze vymezených oblastí (např. v okolí astronomických observatoří v Chile a na Kanárských ostrovech) či jednotlivých obcí, jinde platí předpisy na regionální či celostátní úrovni. K příbuzným dokumentům lze zařadit i technické normy a doporučení oborových organizací – např. Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE) vydala k rušivému světlu doporučení 126:1997 a 150:2003. Některé parametry těchto doporučení byly později převzaty do evropských (a následně českých) technických norem (viz tab. 3 a 4).

5.1 Legislativa v zahraničí

Nejrozšířenější jsou právní opatření k omezení světelného znečištění v USA, kde přes 300 obcí v 18 státech zavedlo nařízení stanovující vhodné parametry svítidel a osvětlení – často vycházející ze vzorového nařízení, které vydala IDA ve spolupráci s *Illuminating Engineering Society*. V sedmi státech USA jsou schváleny celostátní zákony o omezení světelného znečištění.^{113,114}

5.1.1 Evropa

V Lombardii a dalších 15 italských regionech platí zákony omezující instalaci svítidel s vyzařováním nad horizontální rovinu. Pouze svítidla s nižším světelným tokem (pod 2250 lm, např. historická či architektonická) mohou mít $ULOR > 0 \%$.¹⁸

Slovinsko přijalo v roce 2007 zákon, který určuje přesné požadavky na venkovní osvětlení, např. že svítidla musí být „plně cloněná“ s $ULOR = 0 \%$. Obce nesmí při spotřebě energie na osvětlení překročit limit 44,5 kWh na obyvatele. Jas fasád objektů nesmí překročit 1 cd.m^{-2} a pokud jde o architektonické osvětlení budov, doporučeno je nasvětlení shora. Je zakázáno osvětlovat vstupy do hnízdišť netopýrů (kostelní věže apod.) a zakázány jsou rovněž světelné lasery a zemní svítidla. Výjimky jsou uděleny pro dočasné slavnostní osvětlení, některé kulturní oblasti a vojenské či záchranné operace.^{18,72}

Zatímco italská a slovinská nařízení se zaměřují především na venkovní osvětlení, francouzský zákon o světelném znečištění se týká i interiérového osvětlení. Vnitřní osvětlení podniků (včetně výloh obchodů) musí být zhasnuto nejpozději hodinu po odchodu posledního zaměstnance a pokud je zavřeno, tak i exteriérové osvětlení mezi 1. a 7. hodinou ranní musí být zhasnuto. Výjimky z důvodu bezpečnosti jsou povoleny, pokud jsou svítidla napojena

na pohybový senzor. Z nařízení lze také udělit výjimku pro slavnostní osvětlení a významné turistické oblasti.¹⁸

5.2 Legislativa v České republice

V České republice v současnosti neexistuje právní předpis, který by se komplexně zabýval problematikou světelného znečištění.

Již neplatný zákon o ochraně ovzduší 86/2002 Sb. měl za jeden ze svých cílů stanovit „opatření ke snižování světelného znečištění ovzduší“ (§ 1, odst. 1, písm. d) ve znění ze 14. 2. 2002), čímž se ČR stala první zemí světa s celostátním zákonem týkajícím se světelného znečištění.¹¹⁵ Konkrétní opatření měla být součástí zvláštního prováděcího předpisu, k jehož vydání ovšem nikdy nedošlo. Další novelizací zákona byly části týkající se světelného znečištění postupně rušeny a pozměňovány. Původně bylo světelné znečištění zákonem definováno jako „každá forma osvětlení umělým světlem, které je rozptýleno mimo oblasti, do kterých je určeno, zejména pak míří-li nad hladinu obzoru“ (§ 2, písm. r) ve znění ze 14. 2. 2002). V posledním platném znění zákona se světelným znečištěním rozumělo „viditelné záření umělých zdrojů světla, které může obtěžovat osoby nebo zvířata, způsobovat jim zdravotní újmu nebo narušovat některé činnosti a vychází z umístění těchto zdrojů ve vnějším ovzduší nebo ze zdrojů světla, jejichž záření je do vnějšího ovzduší účelově směřováno.“ Obce měly dále podle § 50, odst. 3, písm. c) téhož zákona možnost obecně závaznou vyhláškou „regulovat promítání světelných reklam a efektů na oblohu“, přičemž pod regulací se rozumí i úplný zákaz.¹¹⁶ Této pravomoci využily např. obce Pec pod Sněžkou¹¹⁷, Vimperk¹¹⁸, Harrachov¹¹⁹, Malá Úpa¹²⁰, Sezimovo Ústí¹²¹ či Otrokovice¹²². Zákon 86/2002 Sb. byl nahrazen zákonem 201/2012 Sb., který již o světelném znečištění nehovoří.

Kusé zmínky o obtěžování světlem lze nalézt v několika právních předpisech – podle občanského zákoníku (89/2012 Sb.), § 1013, odst. 1, se má vlastník zdržet „všeho, co působí, že ... světlo, stín, ... vnikají na pozemek jiného vlastníka (souseda) v míře nepřiměřené místním poměrům a podstatně omezují obvyklé užívání pozemku.“¹²³ V zákoně 183/2006 Sb. (stavební zákon) je v § 137 odst. 1, písm. a) ukotvena pravomoc stavebního úřadu nařídit „vlastníku stavby, stavebního pozemku nebo zastavěného stavebního pozemku nezbytné úpravy, jimiž se docílí, aby užívání stavby nebo jejího zařízení neohrožovalo životní prostředí, nepřiměřeně neobtěžovalo její uživatele a okolí ... světelným zářením.“¹²⁴ Prováděcí předpis tohoto zákona, vyhláška 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby v § 10, odst. 1, písm. j) stanovuje, že „stavba musí být navržena a provedena tak, aby neohrožovala život a zdraví osob nebo zvířat, bezpečnost, zdravé životní podmínky jejích uživatelů ani uživatelů okolních staveb a aby neohrožovala životní prostředí nad limity obsažené v jiných právních předpisech, zejména následkem ... nevhodných světelně technických vlastností.“¹²⁵ Též při procesu EIA by se mělo přihlížet k vlivu na noční životní prostředí, včetně dopadů na noční krajinu a krajinný ráz. Vyhláška o obecných požadavcích na využívání území (501/2006 Sb.) zakazuje v § 24d, odst. 1 umísťovat reklamní zařízení a stavby pro reklamu tak, že obtěžují

Zóna	Popis	Min. vzdálenost hranice od zóny E4
E1	národní parky a chráněná území	100
E2	zemědělské a venkovské obytné oblasti	10
E3	příměstské a městské obytné oblasti	1
E4	centra měst a oblasti s významnou noční aktivitou	-

Tabulka 3: Definice environmentálních zón CIE. Zdroj: podle Narisada a Schreuder, 2004 a Sokanský et al., 2011.^{1,10}

Zóna	ULOR [%]	Osvětlenost objektů [lx]		Svítivost svítidla [cd]		Jas [cd.m ⁻²]	
		mimo noční klid	v době nočního klidu	mimo noční klid	v době nočního klidu	fasády budov	značky
E1	0	2	0	2500	0	0	50
E2	≤ 5	5	1	7500	500	5	400
E3	≤ 15	10	2	10 000	1000	10	800
E4	≤ 25	25	5	25 000	2 500	25	1000

Tabulka 4: Parametry osvětlení v zónách CIE (adaptováno v ČSN EN 12464-2). Zdroj: podle Narisada a Schreuder, 2004 a Sokanský et al., 2011.^{1,10}

okolí světlem nad „limitní hodnoty”.¹²⁶

Požadavky na kvalitu osvětlení jsou stanoveny v českých technických normách (ČSN), které ovšem nejsou obecně závazné; jejich splnění v určitých oblastech může být vyžadováno příslušným zákonem či vyhláškou, a to formou výlučnou (splnění je povinné) či indikativní (požadavek lze splnit i jinou formou než uplatněním norem).¹²⁷ Normy ČSN EN 13 201 (části 1-4) zaměřené na osvětlení venkovních komunikací specifikují s ohledem na zrakové potřeby uživatelů komunikace třídy osvětlení, jež jsou stanoveny podle charakteru a uspořádání komunikace a okolních prostor a dalších jevů jako např. intenzita provozu, převládající počasí apod. Každá třída osvětlení pak má určeny minimální či maximální hodnoty vybraných světelně-technických parametrů, např. minimální průměrný jas, celková a podélná rovnoměrnost jasu, maximální prahový přírůstek (pro zabránění oslnění) aj. V ČSN EN 12193 a 12464-2 jsou podobně stanoveny požadavky na osvětlení sportovišť, resp. venkovních pracovních prostor. V obou těchto normách jsou navíc uvedeny limity pro rušivé světlo s aplikací na environmentální zóny CIE (viz tab. 3 a 4). Normy též doporučují využít možnosti regulace VO až o 65 % jmenovité hladiny osvětlení, pokud to dopravní situace dovoluje.¹

Pokud jde o veřejné osvětlení, obce nemají ze zákona povinnost jej zřídit. Vyhláška 104/1997 Sb. o provozu na pozemních komunikacích ovšem stanovuje povinnost osvětlovat silnice* a dálnice v zastavěném území obcí, dodržení norem o osvětlení je však pouze doporučené. Povinnost osvětlovat se vztahuje k vlastníkovi komunikace – v případě dálnic a silnic I. třídy je jím stát, u silnic II. a III. třídy kraj – ten ale nemusí být vlastníkem VO.¹²⁸ Stavba veřejného osvětlení také nevyžaduje povolení, ani ohlášení stavebnímu úřadu.

*Jedná se o silnice I., II. a III. třídy, nikoliv místní či účelové komunikace.

Kapitola 6

Noční životní prostředí v ČR

S přihlédnutím k charakteru světelného znečištění je pravděpodobné, že velkoplošná chráněná území jím budou méně ovlivněna. Cílem následující sekce bylo získat potřebná data pro potvrzení této hypotézy u chráněných území České republiky na základě satelitních snímků Suomi NPP/VIIIRS. Pro zpracování jsou uvažována pouze velkoplošná zvláště chráněná území (VZCHÚ), která jsou vzhledem k rozloze méně náchylná na lokální změny a je u nich předpoklad možného zavedení plošných opatření, která povedou ke zlepšení situace.

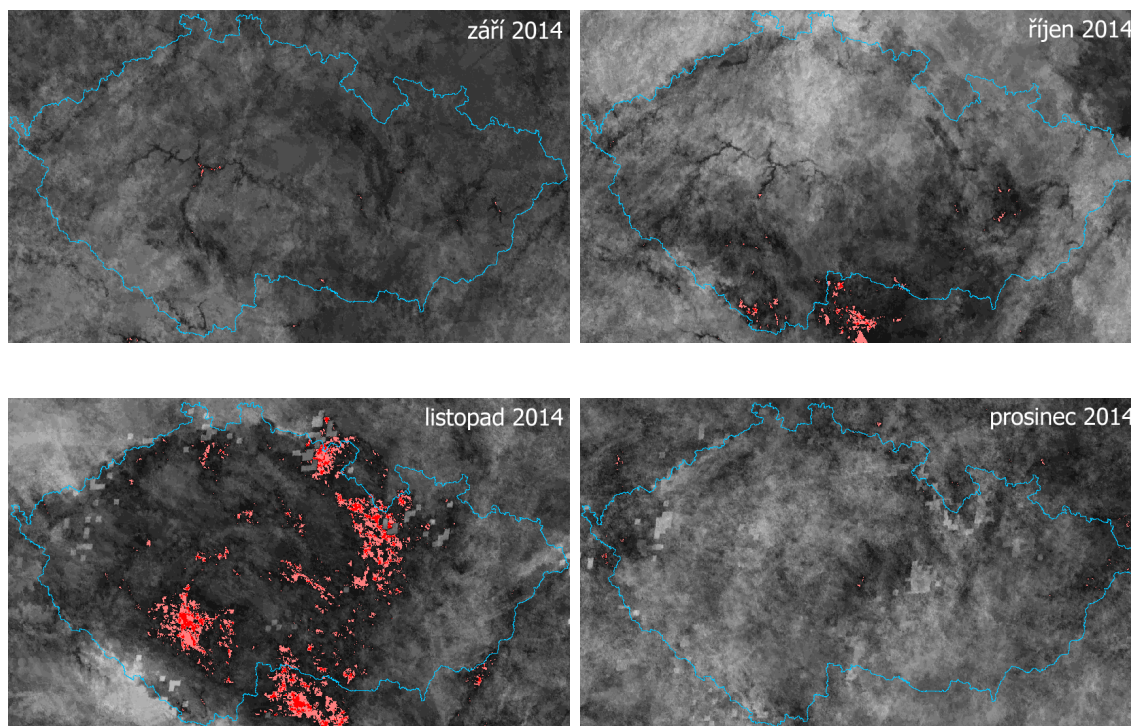
V průběhu psaní této práce byl publikován článek, který se zabývá potvrzením téže hypotézy.¹²⁹ Gaston et al. pomocí dat DMSP z let 1992-2010 určili, že např. v Evropě 65 % rozlohy chráněných oblastí spadalo do nejtmaší kategorie pixelů, zatímco mimo ně se jednalo o 58 % rozlohy. Celkově je ve chráněných územích distribuce pixelů posunuta k tmavším hodnotám. Podle jejich výsledků také počet tmavých pixelů od roku 1992 stále klesá, úbytek v chráněných oblastech je ovšem nižší než v oblastech nechráněných. Přesto 32 % chráněných oblastí v Evropě vykázalo významný nárůst jasu mezi roky 1992 a 2010. Gaston et al. poukázali také na rozdílné změny v jasu podle kategorie IUCN chráněného území. Oblasti kategorie I vykazují nižší nárůst než ostatní kategorie, zatímco u kategorie V byl pozorován signifikantní nárůst u více než 30 % oblastí a 50 % plochy.¹²⁹

Vzhledem k tomu, že data z VIIIRS a DMSP nejsou vzájemně porovnatelná, nelze přímo navázat na výše uvedenou práci. Následující sekce se zabývá výběrem dat, metodikou jejich zpracování a analýzou s cílem určit, zda jsou podobné závislosti platné i pro Českou republiku a její chráněná území.

6.1 Data a metodika zpracování

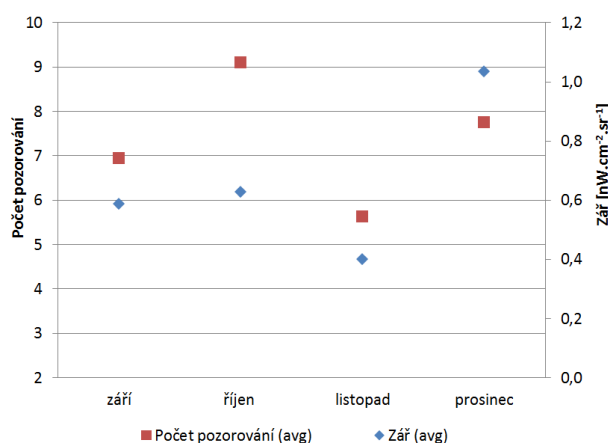
Pro základní analýzu byla použity georeferencované měsíční kompozity VIIIRS/DNB vyprodukované Earth Observation Group, NOAA National Geophysical Data Center.¹³⁰ Měsíční kompozity jsou k dispozici ve dvou verzích – pouze snímky neovlivněné rozptýleným světlem nebo všechny snímky s korekcí rozptýleného světla. Protože korekce rozptýleného světla není zcela dokonalá¹³¹, vybrala jsem neovlivněné kompozity, které jsou pro zeměpisné šířky České republiky dostupné pro měsíce září, říjen, listopad a prosinec roku 2014. Pro tvorbu kompozitů byla použita pouze data, která prošla procesem odstranění nevyhovujících snímků. Snímky zahrnuté do tvorby kompozitu jsou ty, u nichž vypočtená intenzita osvětlení terénu Měsícem nepřesahuje 0,0005 lx, zenitový úhel Slunce je vyšší než 118,5° a není detekována oblačnost (na základě rozdílných teplot povrchů snímaných infračerveným spektrálním filtrem VIIIRS/M15).¹³² Z kompozitů nebyly odstraněny pozadové hodnoty, dočasné světelné zdroje

(polární záře, lodě, požáry) a nejsou opravena o atmosférickou extinkci. Každý kompozit je doplněn rastrem s informacemi o počtu pozorování, které byly použity pro jeho tvorbu v každém pixelu.¹³⁰



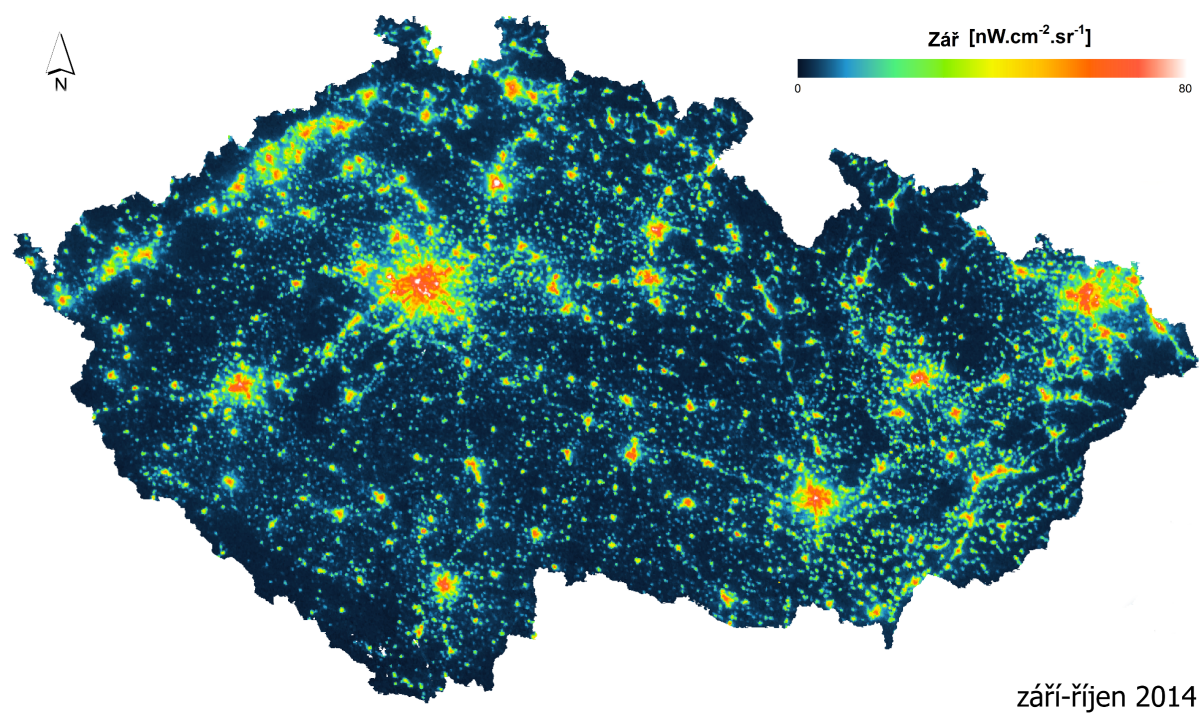
Obrázek 16: Rastry ukazující počet pozorování [n], která byla zahrnuta do tvorby měsíčního kompozitu. Červeně jsou vyznačeny oblasti s $n = 0$, růžově $n = 1$.

Vzhledem ke špatným meteorologickým podmínkám byl z podrobnější analýzy vyřazen listopad 2014 (viz obr. 16). V prosinci 2014 byl průměrný počet jasných nocí na podobné úrovni jako v září a říjnu, prosincové hodnoty záře byly ale znatelně vyšší než v těchto měsících (viz obr. 17). Takto výrazný nárůst může být způsoben např. ležícím sněhem (tj. zvýšenou odrazivostí povrchu) či používáním slavnostního osvětlení; zvýšení záře bylo ovšem zjištěno i v oblastech, kde sníh neleží (podrobné výsledky viz obr. 21). Příčina nárůstu je neznámá a může být způsobena i chybou při sběru nebo zpracování originálních dat pro tvorbu kompozitu. Z těchto důvodů byla podrobnější analýza, jež je dále prezentována, provedena pouze na datech ze září a října 2014.



Obrázek 17: Graf zobrazuje průměrný počet pozorování a průměrnou zář ve velkoplošných chráněných územích ČR za zvolené měsíce roku 2014 podle dat z NPP/VIIRS. Patrný je výrazný pokles počtu pozorování a průměrné záře v listopadu a nárůst průměrné záře v prosinci

Při zpracovávání kompozitů bylo použito Albersovo plochojevné kuželové zobrazení pro Evropu a snímky byly resamplovány na velikost buňky 250 m. Do výpočtů populace a hustoty zalidnění v chráněných územích a oblastech tmavé oblohy byly zahrnuty polygony všech sídel, jejichž centroid se nachází v dotyčném území či do 500 m od jeho hranic. Územní členění ČR a data ze Sčítání lidu 2011 byla získána z databáze ArcČR® 500. Krkonošský národní park je posuzován jako jednolitě území včetně vnitřních polygonů, které nejsou oficiálně součástí parku, ale patří do jeho ochranné zóny – obce Pec pod Sněžkou a Špindlerův Mlýn.



Obrázek 18: Mapa průměrné zenitové záře na území ČR z období září až říjen 2014 z dat NPP/VIIRS

Území	Průměr záře [nW.cm ⁻² .sr ⁻¹]	Hustota zalidnění [ob.km ⁻²]	Suma záře [nW.cm ⁻² .sr ⁻¹]	Minimum [nW.cm ⁻² .sr ⁻¹]	Maximum [nW.cm ⁻² .sr ⁻¹]	Průměr počtu pozorování
Šumava NP	0,213	5,68	2 329,9	0,061	5,659	9,43
Český les	0,241	15,49	1 802,2	0,093	5,986	7,41
Orlické hory	0,251	25,63	938,1	0,110	3,574	8,22
České Švýcarsko NP	0,275	18,18	346,6	0,141	4,392	8,75
Šumava CHKO	0,311	20,18	4 931,6	0,042	9,412	8,28
Blaník	0,353	61,66	225,9	0,183	1,977	8,44
Kokořínsko	0,358	27,71	1 561,9	0,175	9,038	10,40
Křivoklátsko	0,362	37,71	3 615,6	0,136	7,118	9,30
Podyjí NP	0,382	127,52	385,9	0,105	9,033	4,07
Krkonošský NP	0,411	31,71	2 502,7	0,128	33,950	10,13
Železné hory	0,414	88,97	1 896,3	0,099	46,532	8,38
Jeseníky	0,443	55,39	5 251,8	0,083	27,370	7,57
Beskydy	0,454	85,31	8 747,2	0,103	23,114	9,09
Český ráj	0,484	97,58	1 409,5	0,214	6,023	10,70
Broumovsko	0,497	79,06	3 442,7	0,151	11,954	7,61
Třeboňsko	0,513	40,08	5 640,5	0,110	16,170	6,14
Lužické hory	0,515	120,85	2 228,3	0,167	13,431	8,88
Bílé Karpaty	0,585	98,75	6 976,3	0,144	18,431	8,47
Labské pískovce	0,596	177,89	2 306,2	0,154	11,145	8,51
Jizerské hory	0,661	135,83	3 939,9	0,137	12,366	9,59
Blanský les	0,690	66,65	2 420,9	0,111	26,242	7,03
Slavkovský les	0,698	83,41	6 817,4	0,116	30,071	8,25
Žďárské vrchy	0,706	107,16	8 004,3	0,053	44,176	7,59
Moravský kras	0,723	113,07	1 049,8	0,239	6,798	6,09
Pálava	1,047	141,88	1 435,1	0,190	21,613	4,95
Poodří	1,048	147,89	1 356,7	0,287	12,554	7,46
Český kras	1,089	164,61	2 306,1	0,242	22,689	9,41
České středohoří	1,094	170,38	18 702,6	0,202	50,812	8,14
Litovelské Pomoraví	1,183	213,32	1 773,2	0,200	21,150	6,04
Česká republika	1,218	129,70	1 536 251,6	0,042	139,045	7,77

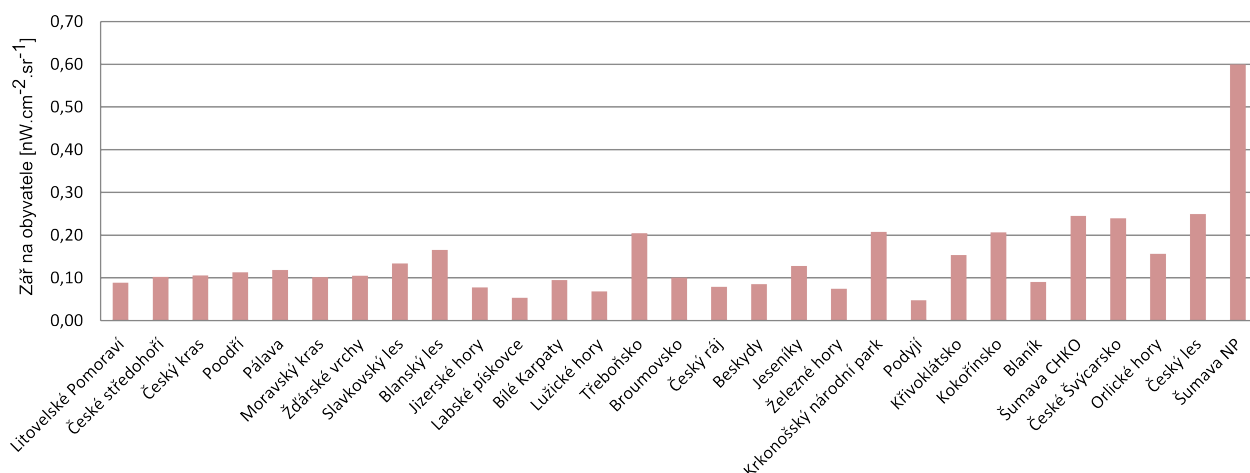
Tabulka 5: Hodnoty průměrné záře a počtu pozorování (průměry z měsíců září a říjen 2014) ve velkoplošných chráněných územích České republiky

6.2 Výsledky

Hodnoty průměrné záře pro jednotlivá území a Českou republiku společně s hustotou obyvatelstva a dalšími parametry jsou uvedeny v tabulce 5. Mapa záře na území ČR je na obrázku

18; mapy pro jednotlivá chráněná území a oblasti tmavé oblohy se nacházejí v příloze A. Při interpretaci výsledků je nutno upozornit na to, že hodnoty reprezentují pouze přímou zenitovou záři a ne skutečnou intenzitu osvětlení terénu či jas oblohy nad územím, který závisí na mnoha dalších faktorech (viz kapitola 3). Například NP České Švýcarsko vykazuje nízké hodnoty záře, ale v jeho okolí je mnoho větších měst. Na mapě jasu oblohy by tak území NPČŠ bylo označeno vyšší hodnotou, než např. CHKO Broumovsko, které má výrazně vyšší hodnoty záře než NPČŠ, ale v jehož okolí se nenacházejí velké zdroje světelného znečištění. V úvahu musí být vzat i charakter místního terénu – ačkoliv je zář v okolí v případě NPČŠ vysoká, místní kopcovitý a příkrý reliéf (soutěsky) má schopnost světlo odstínit a vnitřní části parku mohou být velmi tmavé. Pro komplexní zhodnocení stavu nočního životního prostředí je nutné provést pozemní měření přímo ve chráněném území, jež provádí například americký National Park Service.^{26,35}

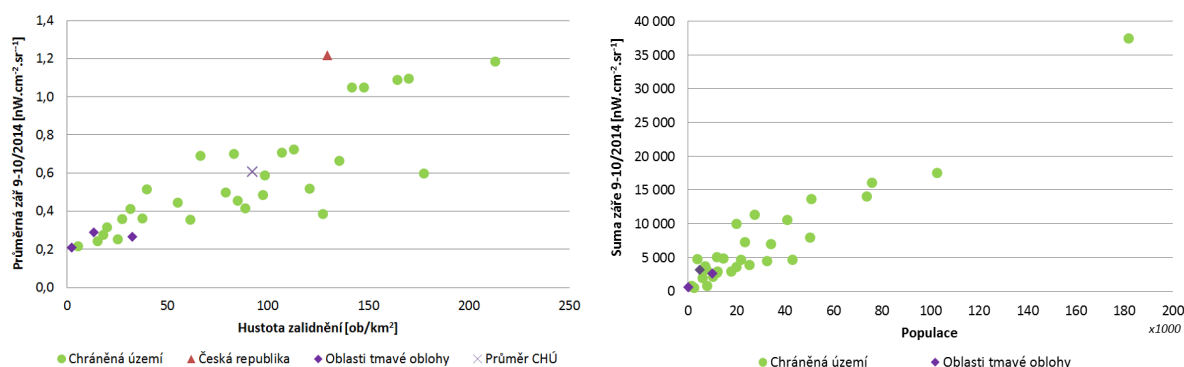
Zář ve chráněných územích podle předpokladů koreluje s celkovou populací a hustotou obyvatelstva (obr. 20), nejnižší hodnoty průměrné záře vykazuje Národní park Šumava, kde ovšem kvůli jeho velké rozloze poněkud paradoxně připadá na jednoho obyvatele největší množství záře ze všech analyzovaných území (obr. 19).



Obrázek 19: Zář připadající na jednoho obyvatele ve chráněných územích. CHÚ jsou seřazena podle hodnot průměrné záře (maximum vlevo).

Ze dvou důvodů nelze zcela vyloučit vliv počtu pozorování na průměrné hodnoty záře. Za prvé, vzhledem k tomu, že vyřazení snímků ovlivněných oblačností probíhá automatizovaně, je možné že hodnotící algoritmus nerozezná některé typy oblačnosti či oparu, které zář zmenšují. Při velmi malém počtu pozorování může i jedno pozorování s takto zhoršenými podmínkami výrazně ovlivnit výsledné hodnoty celého setu. Druhý, méně pravděpodobný důvod spočívá v tom, že původní snímky nebyly opraveny o pozadový signál; lze tedy usuzovat, že s rostoucím počtem pozorování roste i naměřená hodnota záře. Ačkoliv by hodnota pozadového signálu neměla být významná v porovnání s celkovým signálem, tento vliv nelze zcela vyloučit. U chráněných území, jež mají podprůměrné počty pozorování (CHKO Pálava, NP Podyjí) je tedy při porovnávání s ostatními CHÚ nutno brát tuto možnou závislost v potaz. Totéž může být vysvětlením průběhu grafu 17, kde listopad vykazuje výrazně nízké

hodnoty záře při obdobně nízkém počtu pozorování.



Obrázek 20: Hustota zalidnění vs. průměrná zář (vlevo, korelační koeficient $k = 0,80$) a populace vs. celková zář (vpravo, $k = 0,95$) ve velkoplošných chráněných územích a oblastech tmavé oblohy v ČR.

6.2.1 Oblasti tmavé oblohy

Srovnáním tabulek 6 a 5 lze pozorovat, že mnohá z chráněných území mají parametry srovnatelné s oblastmi tmavé oblohy. Výjimečná je zejména poměrně rozlehlá Manětínská oblast tmavé oblohy, která leží kompletně mimo VZCHÚ, ale díky nízké hustotě osídlení dosahuje hodnot záře srovnatelných s nejlepšími chráněnými územími. Jizerská i Beskydská oblast se nacházejí uvnitř CHKO Jizerské hory, resp. Beskydy. Velmi zajímavé by bylo srovnání s oblastmi tmavé oblohy v zahraničí, které zřizuje IDA. Bohužel, pro tyto oblasti zatím neexistují GIS data, která by toto srovnání umožnila.

Území	Průměr záře [nW.cm ⁻² .sr ⁻¹]	Hustota zalidnění [ob.km ⁻²]	Suma záře [nW.cm ⁻² .sr ⁻¹]	Minimum [nW.cm ⁻² .sr ⁻¹]	Maximum [nW.cm ⁻² .sr ⁻¹]	Průměr počtu pozorování
Manětínská oblast tmavé oblohy	0,286	13,71	3 164,9	0,124	3,009	9,01
Jizerská oblast tmavé oblohy	0,209	2,68	500,0	0,119	0,300	8,80
Beskydská oblast tmavé oblohy	0,264	32,57	2 599,8	0,103	4,073	8,61

Tabulka 6: Hodnoty záře a počet pozorování v oblastech tmavé oblohy v ČR (u přeshraničních oblastí včetně zahraniční části).

6.2.2 Srovnání situace ve chráněných územích a celorepublikově

Pro celé území České republiky byla vytvořena mřížka s velikostí buňky 1×1 km, přičemž buňky byly rozděleny na dva typy – s polohou ve VZCHÚ a mimo ně. Do chráněných území spadají ty buňky, jejichž centroid se nacházel do 250 m od hranic chráněné oblasti. Pro každou buňku pak byla spočítána průměrná zář a každá buňka byla podle své hodnoty přiřazena do jedné či více následujících kategorií: zář vyšší než je průměr ČR, zář nižší než průměr ČR, zář nižší než průměr CHÚ a zář nižší než je průměr NP Šumava. Distribuci počtu buněk v jednotlivých kategoriích shrnuje tabulka 7. Chráněná území vykazují jednoznačně vyšší relativní zastoupení buněk s nižší září, než oblasti mimo chráněná území. Tento trend je

patrný zejména u září nižších než je průměrná zář v NP Šumava (nejnižší ze všech CHÚ). Tyto výsledky jsou samozřejmě způsobeny nižší osídleností chráněných území oproti územím nechráněným, podobná závislost ovšem platí i u řady dalších indikátorů kvality životního prostředí.

	Chráněná území			Ostatní		
	počet buněk	% abs	% rel	počet buněk	% abs	% rel
celkem	12901	16,24%	100%	66522	83,76%	100%
Avg > A	892	1,12%	6,91%	11599	14,60%	17,44%
Avg ≤ A	12009	15,12%	93,09%	54923	69,15%	82,56%
Avg ≤ B	10455	13,16%	81,04%	42529	53,55%	63,93%
Avg ≤ C	2964	3,73%	22,97%	4679	5,89%	7,03%
Hodnoty A, B, C jsou uvedeny v nW.cm ⁻² .sr ⁻¹	A (průměr ČR) 1,217	B (průměr CHÚ) 0,572	C (průměr NP Šumava) 0,213			

Tabulka 7: Počet buněk o rozloze 1 km² jejich zastoupení v jednotlivých kategoriích podle průměrné záře.

Kapitola 7

Diskuse a závěr

Současné studie dokazují, že světelné znečištění je globální problém, jehož podstatné důsledky se pojí zejména s modrou složkou světla. Podle množství světla v této části spektra se řídí sekrece melatoninu a cirkadiánní systém u člověka i živočichů, jsou na něj citlivé rostliny a výrazně zvyšuje vnímaný jas oblohy. Zvýšené množství umělého světla v noci se projevuje závažnými dopady na lidské zdraví a ekosystémy. Současná míra světelného znečištění se neustále zhoršuje vzhledem k narůstajícímu množství svítidel a tento trend lze očekávat i nadále vzhledem k vývoji nových LED svítidel, která mají zvýšený podíl modré části spektra. S poukazem na dosud nedostatečné vědomosti o všech dopadech světelného znečištění a zatím známé množství dopadů negativních je vhodné uvažovat o aplikaci zásady předběžné opatrnosti včetně zavedení odpovídajících legislativních opatření, jaké bylo provedeno v některých oblastech. Revizí by též měly projít světelně-technické normy s ohledem na spektrální odezvu lidského oka a rozdíly mezi fotopickým, skotopickým a mesopickým viděním.

Světelné znečištění a jeho známé negativní dopady lze poměrně účinně omezit dodržením následujících opatření, nejlépe jejich kombinací:³

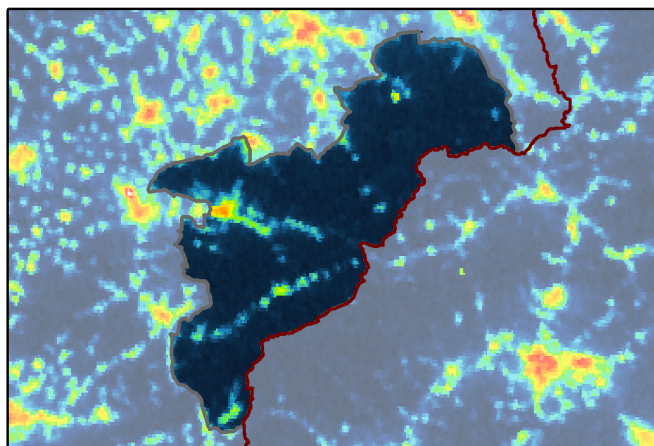
- nepoužívat svítidla, která přímo vyzařují světlo v horizontální rovině a nad ni
- osvětlovat pouze prostory, které mají být osvětleny
- svítit jen tolik, kolik je potřeba
- zhasnout světla v době, kdy nejsou zapotřebí
- nezvyšovat celkové množství instalovaného světelného toku
- omezit světlo krátkých (modrých) vlnových délek

Analýza satelitních snímků v této práci prokázala nižší hodnoty záře ve velkoplošně chráněných územích ČR oproti územím nechráněným. Ačkoliv tato hodnota nevyjadřuje skutečnou míru světelného znečištění a stav nočního životního prostředí v oblasti, pohledem do mapy záře v okolí lze tento stav do jisté míry interpretovat. O zachování či zlepšení současného stavu by se mělo usilovat zejména v územích s dostatečně velkou rozlohou, nízkou průměrnou září a malým množstvím zdrojů světelného znečištění v jejich blízkosti - např. NP a CHKO Šumava, CHKO Český les a Orlické hory. Významný prostor pro zlepšení existuje v oblastech, na jejichž území a v jejich blízkosti se nachází pouze malé množství dominantních zdrojů světelného znečištění, které zároveň nejsou příliš velké - např. NP Podyjí (Znojmo), Krkonošský NP (Pec p. Sněžkou, Špindlerův Mlýn, Vrchlabí), CHKO Jeseníky (Jeseník, Šumperk).

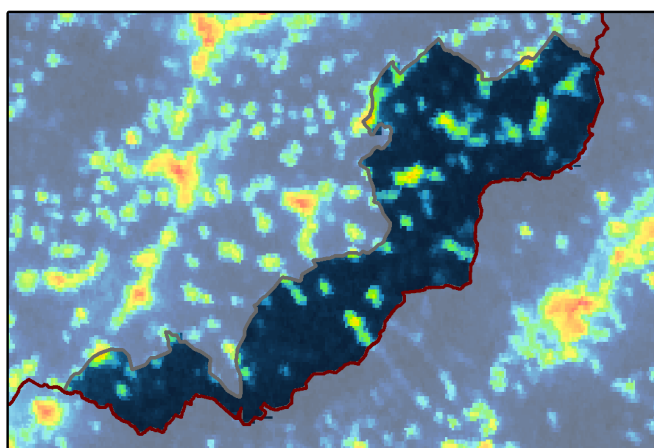
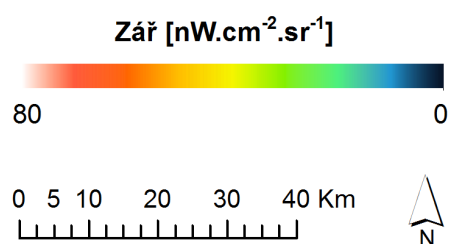
Problémem mnoha chráněných území je velké množství malých zdrojů (CHKO Pálava), přítomnost velkých měst či aglomerací, často v bezprostřední blízkosti CHÚ (CHKO Jizerské hory, Beskydy, Poodří, Český kras) či přímo v něm (CHKO České Středohoří). Vzhledem k negativním důsledkům světelného znečištění a relativně dobrému stavu v našich národních parcích a chráněných krajinných oblastech by se měla ochrana nočního životního prostředí stát běžnou součástí ochrany životního prostředí na jejich území i mimo ně, včetně uvedení do legislativy; ta je v současné době v České republice v možnostech omezení světelného znečištění nedostatečná a nekomplexní.

Vzhledem ke stáří soustav VO lze v České republice v nejbližších letech očekávat obnovu velkého množství světelných míst a jejich nárůst. Při osazování budou při současném technologickém stavu ve velkém množství případů použity LED svítidla. Opět je třeba klást důraz na správné směřování světelného toku, omezení modré části spektra zdrojů a vhodnou intenzitu osvětlení.

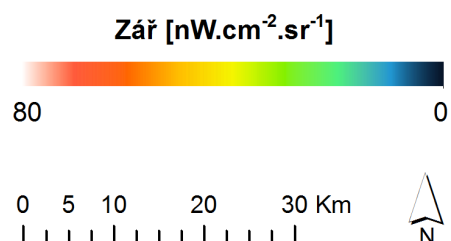
Příloha A: Mapy záře

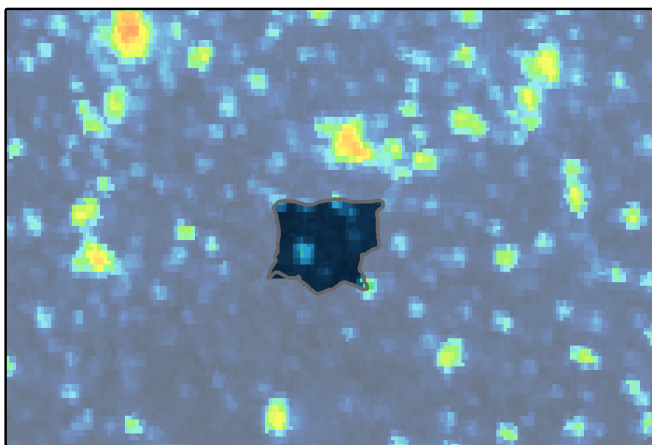


ČHKO Beskydy

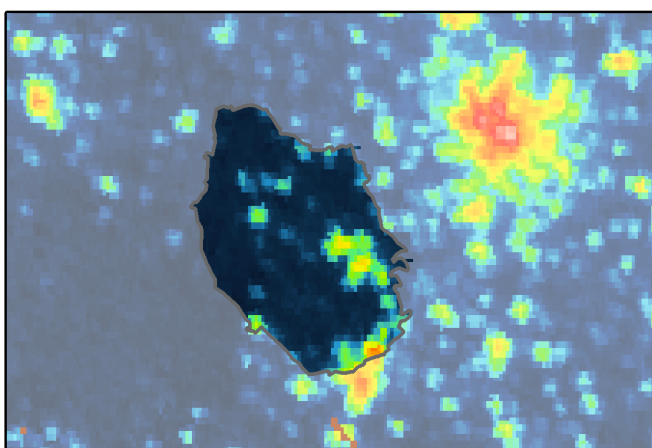
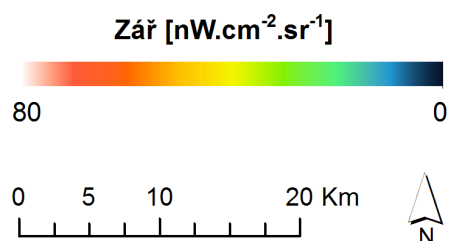


ČHKO Bílé Karpaty

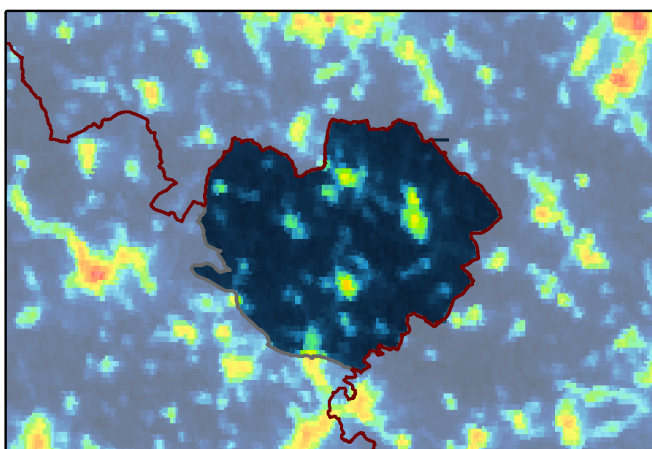
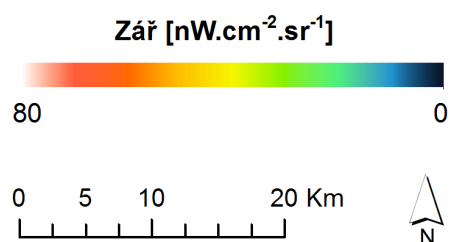




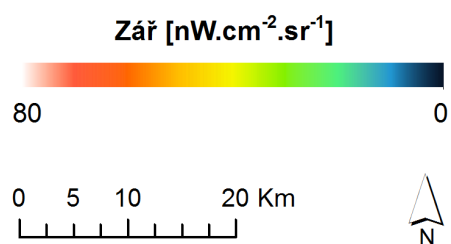
CHKO Blaník

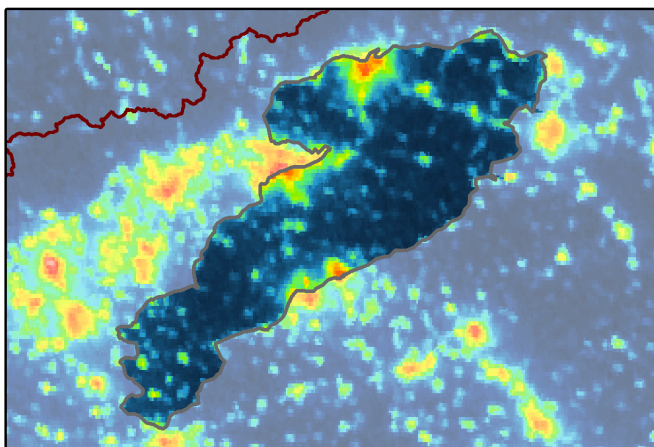


CHKO Blanský les

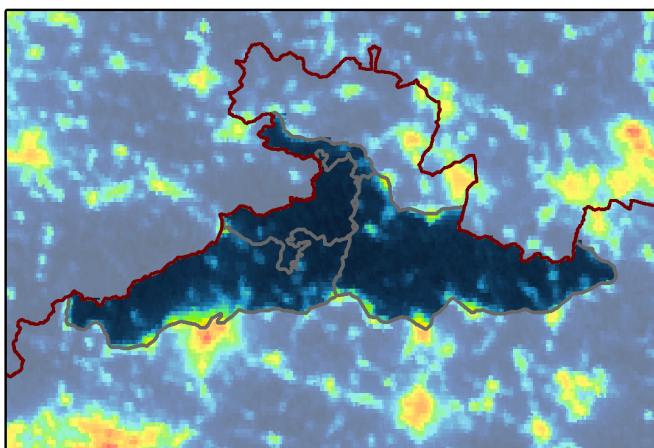
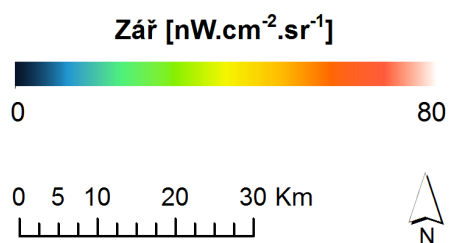


CHKO Broumovsko

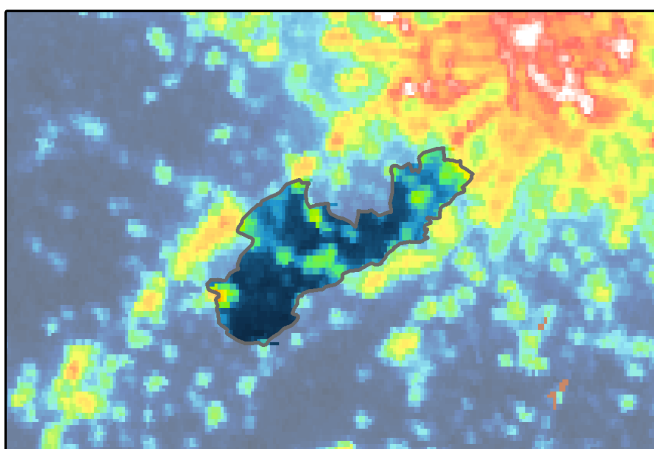
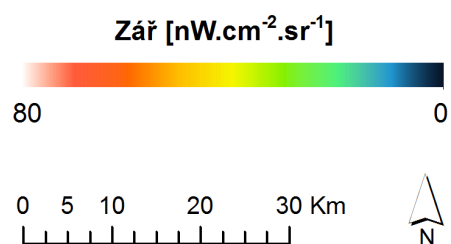




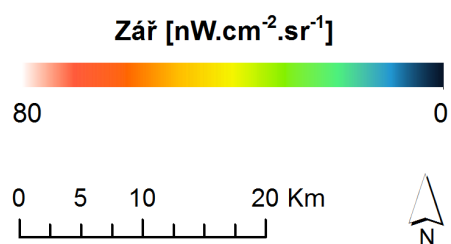
CHKO České středohoří

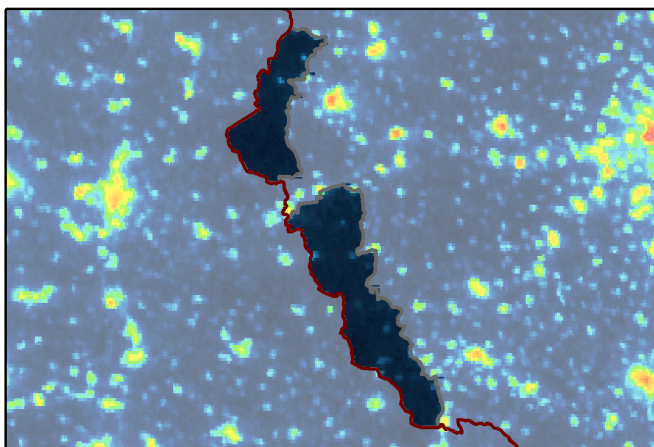


NP České Švýcarsko CHKO Labské pískovce CHKO Lužické hory

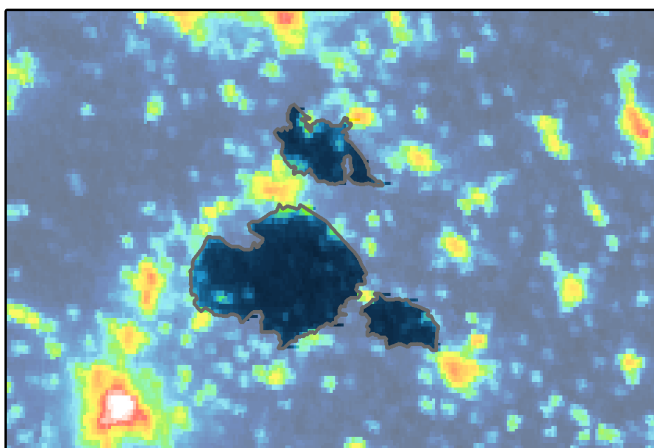
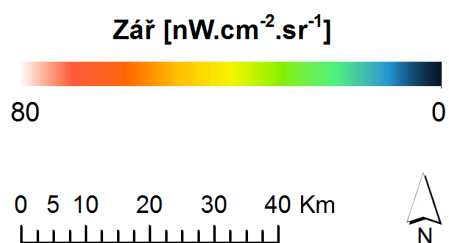


CHKO Český kras

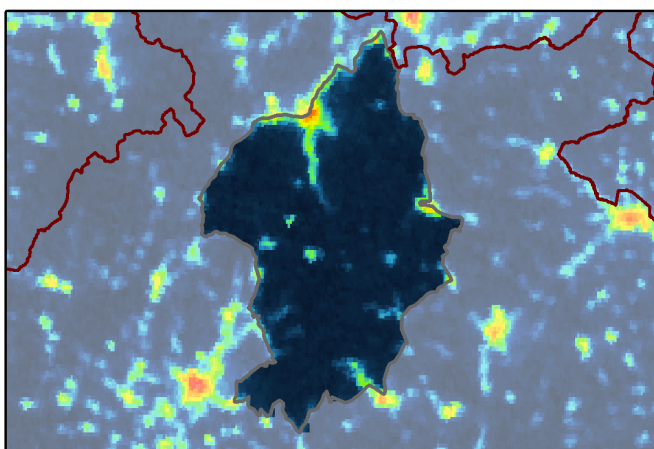
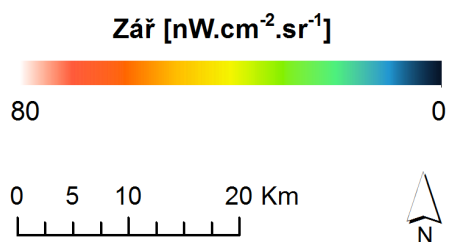




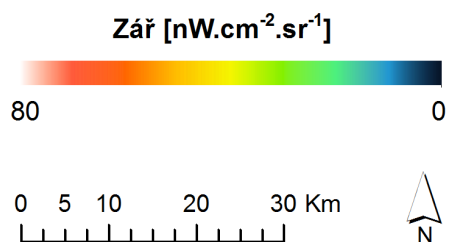
CHKO Český les

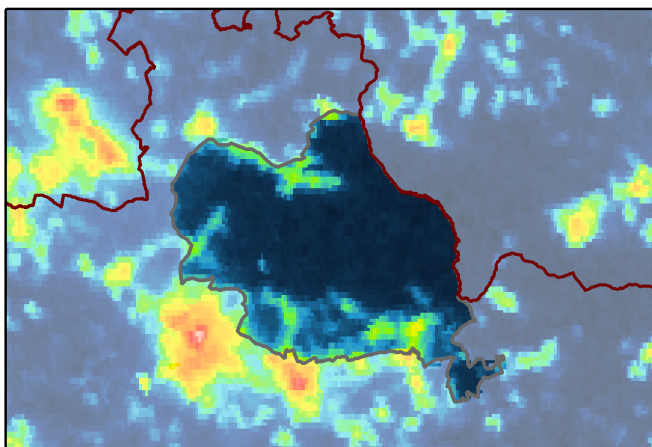


CHKO Český ráj

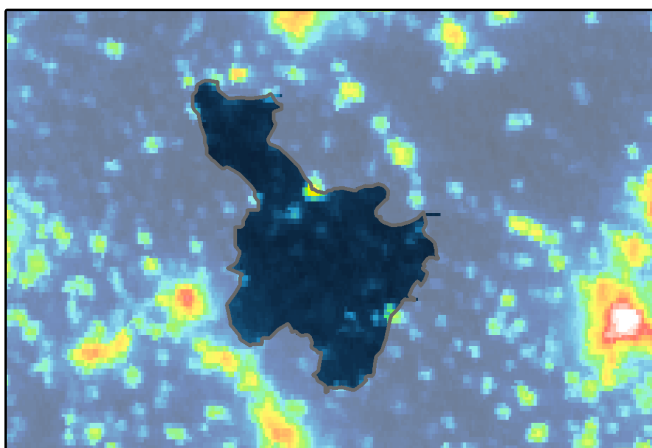
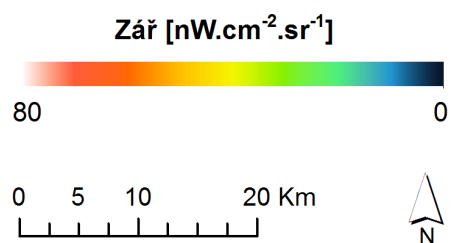


CHKO Jeseníky

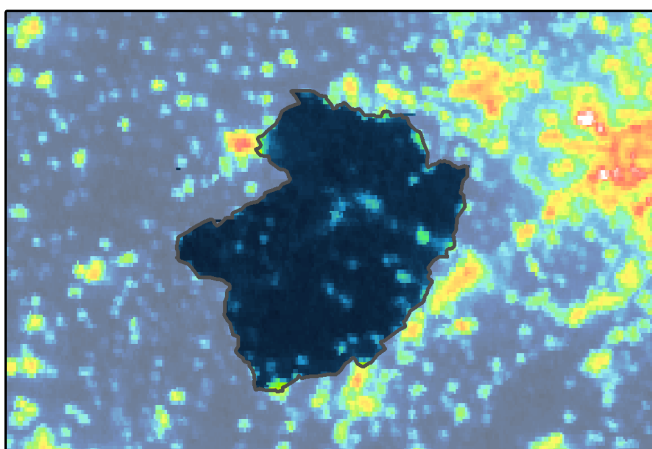
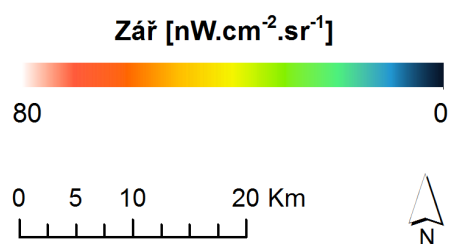




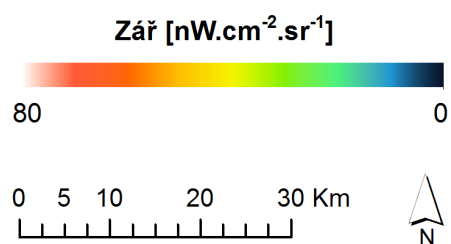
CHKO Jizerské hory

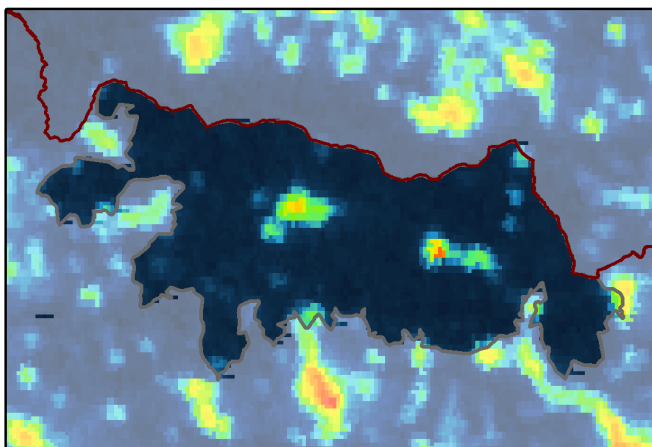


CHKO Kokořínsko

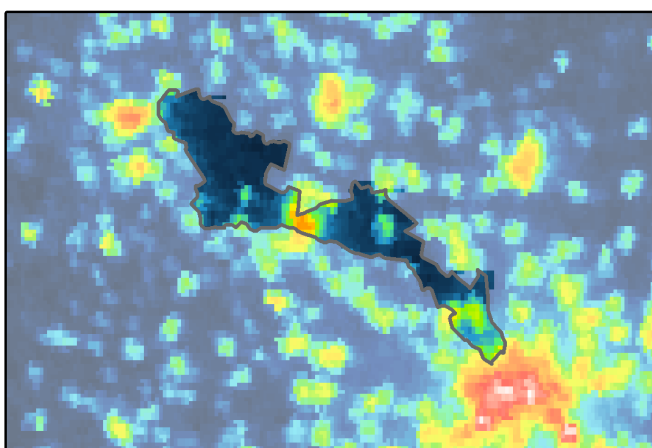
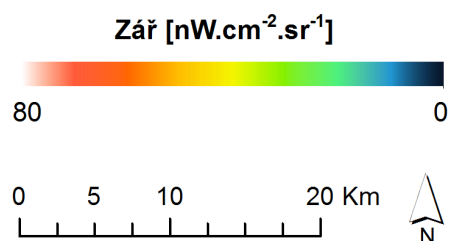


CHKO Křivoklátsko

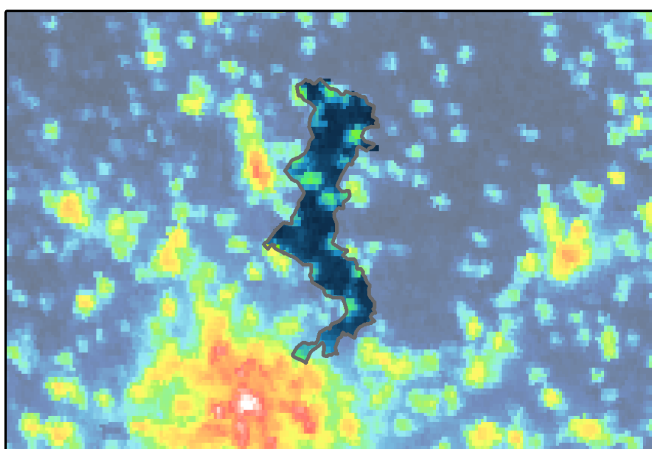
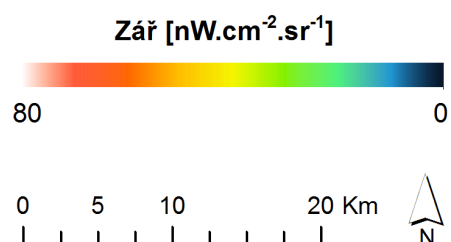




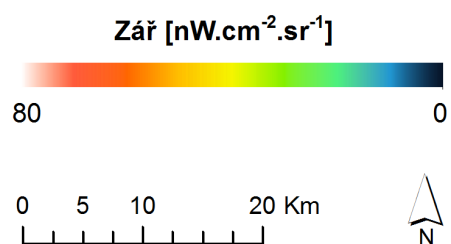
Krkonošský NP

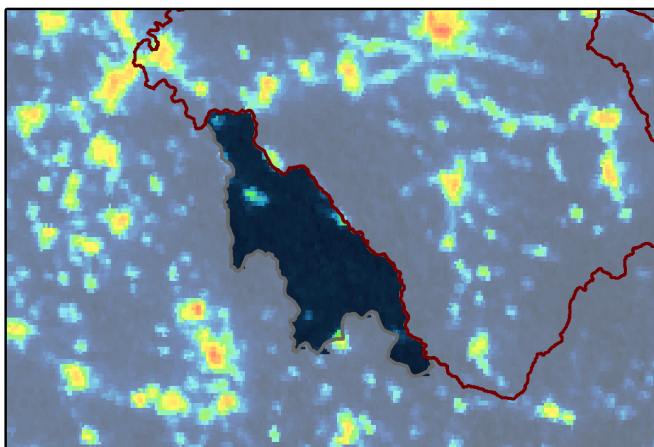


CHKO Litovelské Pomoraví

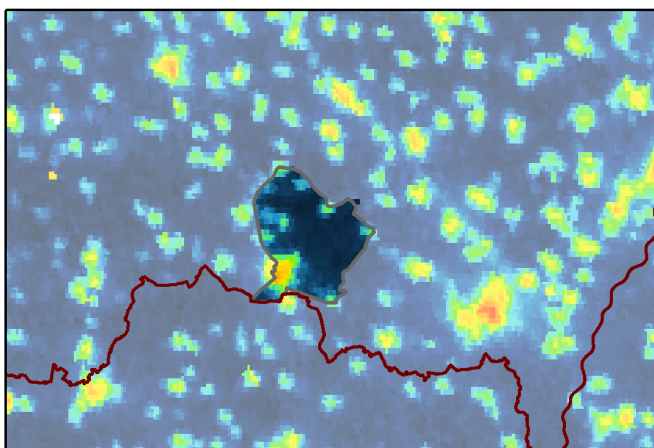
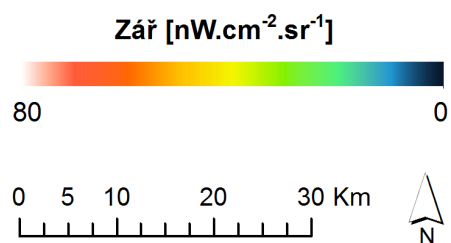


CHKO Moravský kras

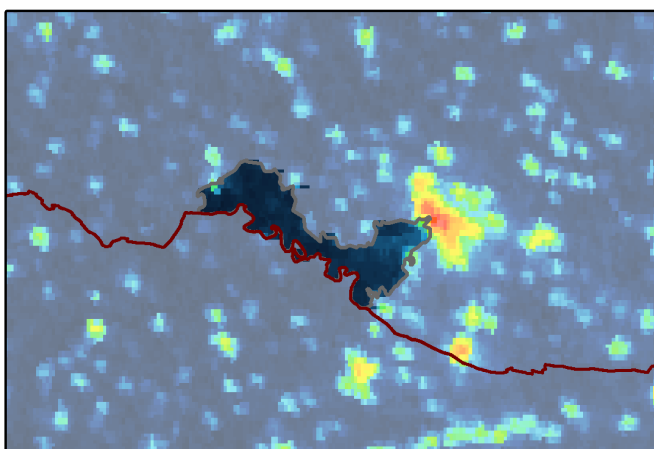
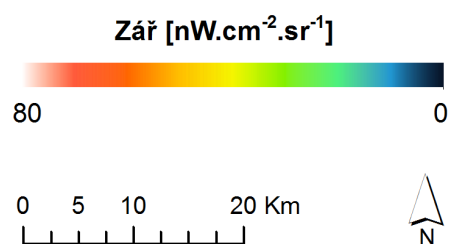




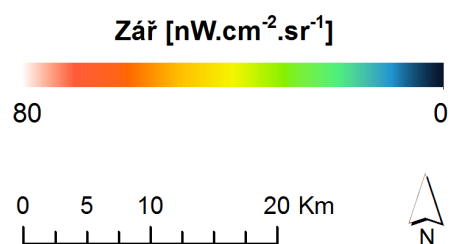
CHKO Orlické hory

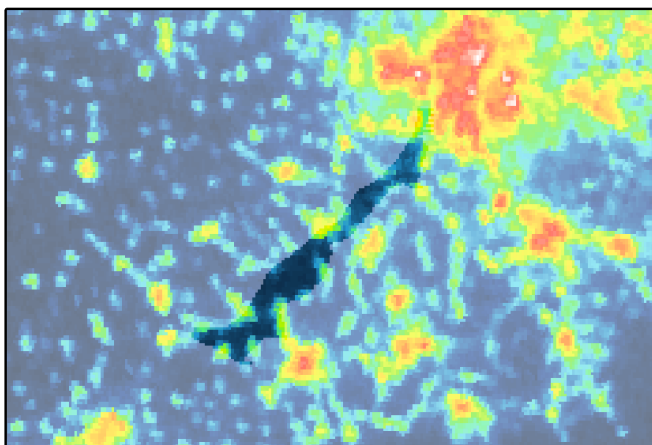


CHKO Pálava

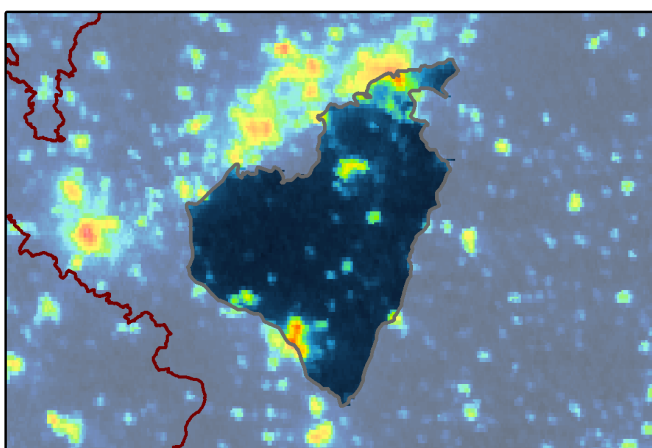
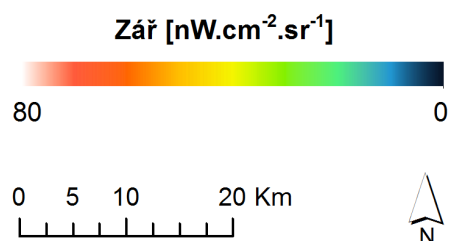


NP Podyjí

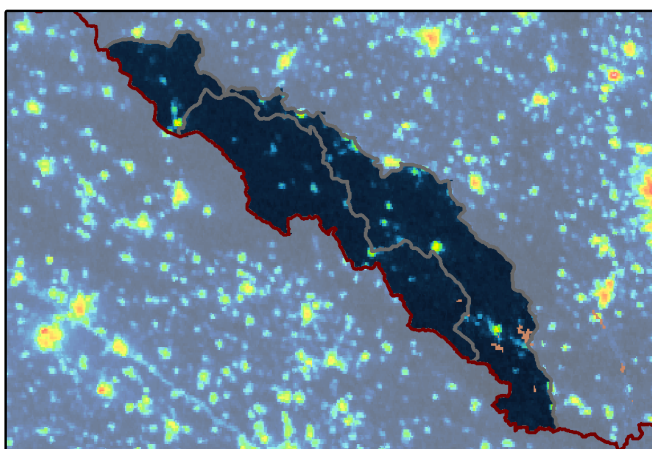
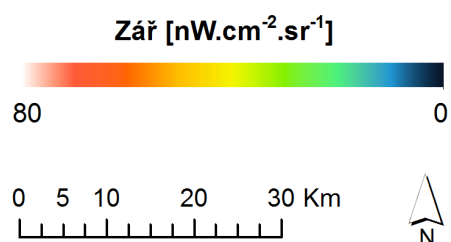




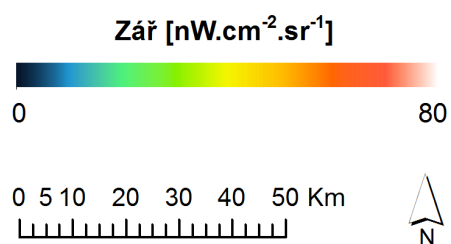
ČHKO Poodří

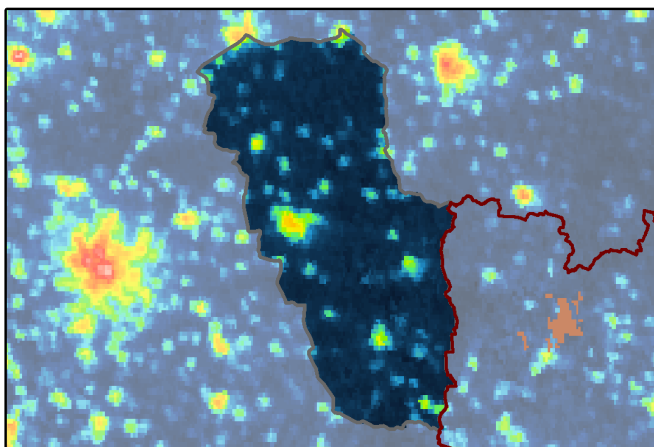


ČHKO Slavkovský les

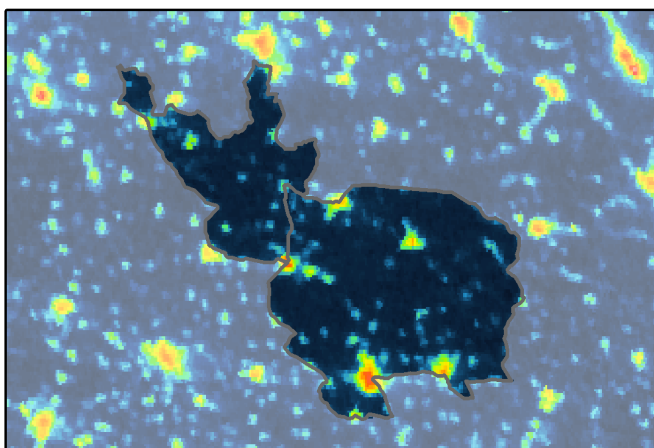
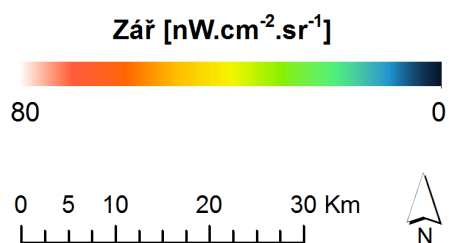


ČHKO a NP Šumava

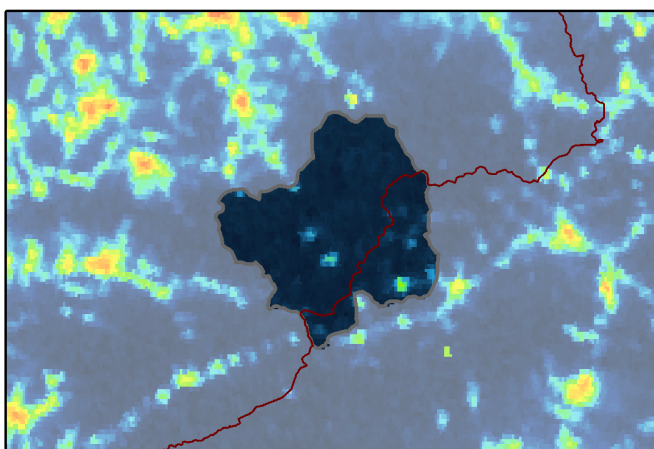
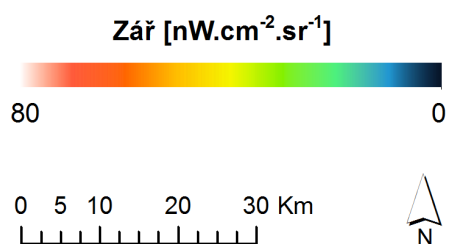




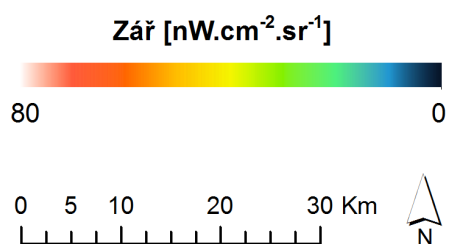
CHKO Třeboňsko

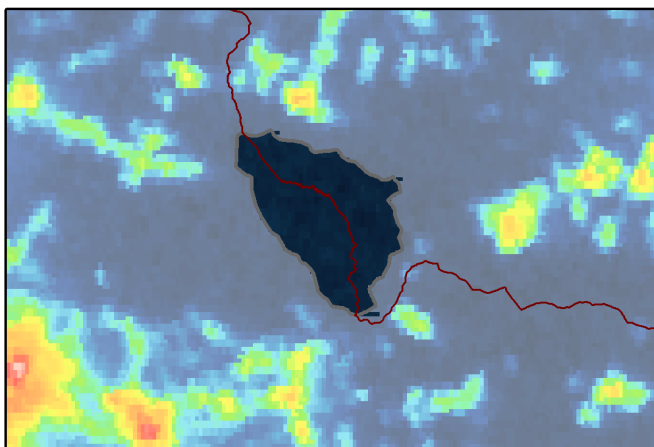


CHKO Žďárské vrchy CHKO Železné hory

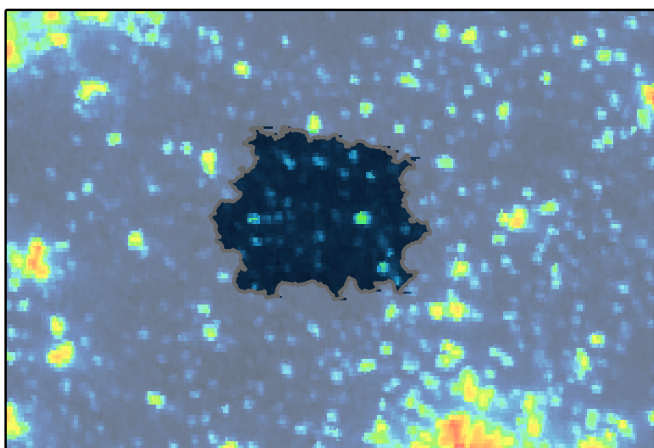
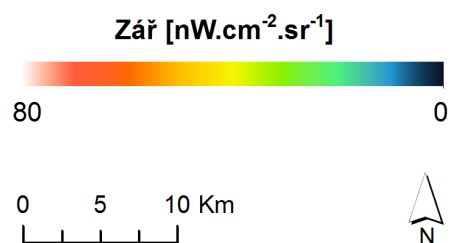


Beskydská oblast tmavé oblohy

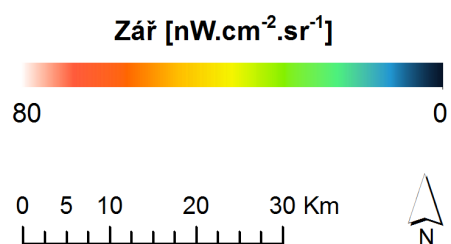




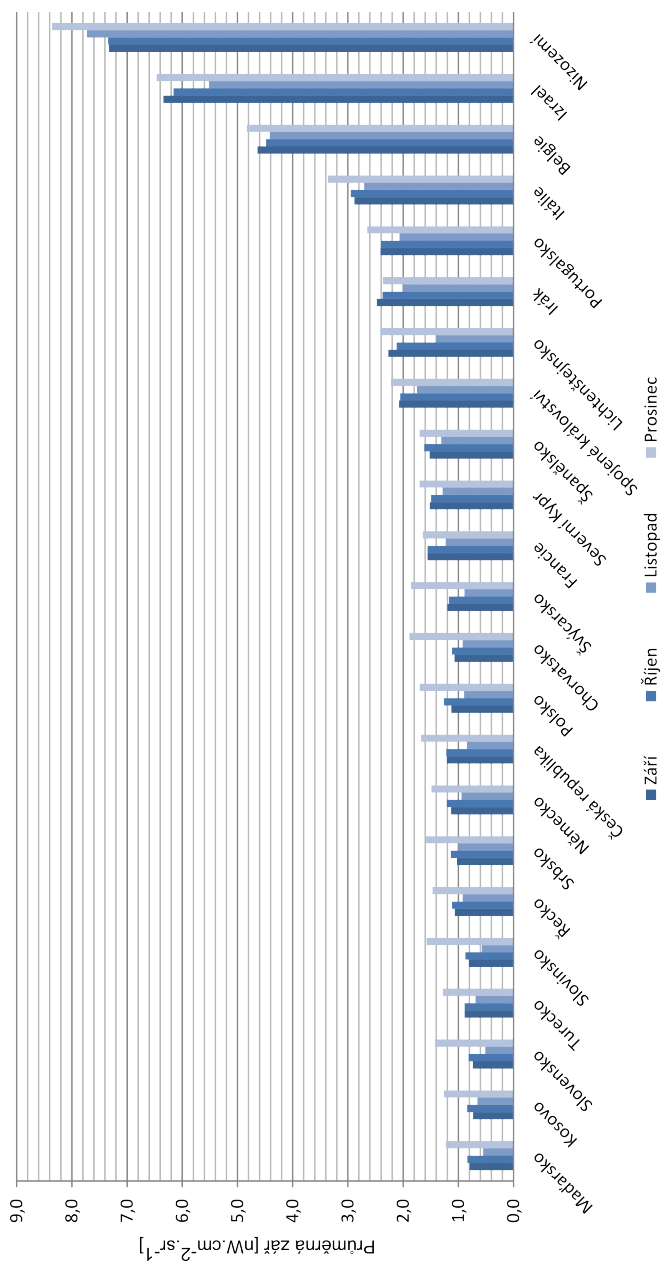
Jizerská oblast tmavé oblohy



Manětínská oblast tmavé oblohy



Příloha B: Zář ve vybraných zemích světa



Obrázek 21: Průměrná zář pro vybrané měsíce roku 2014 ve vybraných státech světa, Afriky a Asie

Literatura

- [1] SOKANSKÝ, K., T. NOVÁK, M. BÁLSKÝ, et al.: Světelná technika. České vysoké učení technické v Praze, Praha, první vydání. 2011, ISBN 978-80-01-04941-9.
- [2] HINDS, W. C.: Aerosol technology. John Wiley, New York, druhé vydání. 1999, ISBN 04-711-9410-7.
- [3] FALCHI, F., P. CINZANO, C. D. ELVIDGE, et al.: Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Journal of Environmental Management*. 2011, **92**(10), ISSN 0301-4797, doi:10.1016/j.jenvman.2011.06.029, url: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.029>.
- [4] FOSTER, R. G., M. W. HANKINS: Circadian vision. *Current Biology*. 2007, **17**(17): s. 746–751, ISSN 09609822, doi:10.1016/j.cub.2007.07.007, url: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960982207016855>.
- [5] WANDELL, B. A.: Foundations of vision. Sinauer Associates, Sunderland, Mass. 1995, ISBN 08-789-3853-2, url: <https://foundationsofvision.stanford.edu>.
- [6] THAPAN, K., J. ARENDT, D. J. SKENE: An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *The Journal of Physiology*. 2001, **535**(1): s. 261–267, ISSN 00223751, doi:10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00261.x, url: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00261.x>.
- [7] LUCAS, R. J., S. N. PEIRSON, D. M. BERSON, et al.: Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in Neurosciences*. 2014, **37**(1): s. 1–9, ISSN 01662236, doi: 10.1016/j.tins.2013.10.004, url: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0166223613001975>.
- [8] DO, M. T. H., S. H. KANG, T. XUE, et al.: Photon capture and signalling by melanopsin retinal ganglion cells. *Nature*. 2008, **457**(issue 7227): s. 281–287, ISSN 0028-0836, doi:10.1038/nature07682, url: <http://www.nature.com/doifinder/10.1038/nature07682>.
- [9] BANTERLE, F., A. ARTUSI, K. DEBATTISTA, et al.: Advanced high dynamic range imaging. A K Peters, Natick, Mass. 2011, ISBN 978-156-8817-194.
- [10] NARISADA, K., D. SCHREUDER: Light pollution handbook. Springer, Dordrecht. 2004, ISBN 14-020-2665-X.
- [11] LUGINBUHL, C. B., P. A. BOLEY, D. R. DAVIS: The impact of light source spectral power distribution on sky glow. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. 2014, (139): s. 21–26, ISSN 00224073, doi:10.1016/j.jqsrt.2013.12.004, url: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022407313004792>.
- [12] SEVEN: Veřejné osvětlení pro města a obce: manuál pro pracovníky místních samo-

- správ. 2010, url: <http://www.svn.cz/assets/files/informacni-materialy/2011/manual-verejneho-osvetleni.pdf>.
- [13] NAVIGANT CONSULTING, I.: Energy Savings Forecast of Solid-State Lighting in General Illumination Applications. 2014, url: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/energysavingsforecast14.pdf>.
 - [14] HABEL, J., P. ŽÁK: Veřejné osvětlení Prahy: Základní analýza pro MHMP. 2015.
 - [15] DOE: Solid-State Lighting Research and Development. 2012, url: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl_mypp2012_web.pdf.
 - [16] STAŠA, M.: Financování a efektivita veřejného osvětlení. 2014, url: http://tschechien.ahk.de/fileadmin/ahk_tschechien/Energieeffizienz/6_Financovani_a_efektivita_verejneho_osvetleni_v_CR.pdf.
 - [17] CIE: Elektronický mezinárodní slovník světelné techniky CIE. 2015, url: <http://eilv.cie.co.at/>.
 - [18] MORGAN-TAYLOR, M.: Regulation of Light Pollution in Europe: Legal Challenges and Ways Forward. In *Urban lighting, light pollution, and society*, Routledge, New York, ISBN 9781138813977, s. 159–176.
 - [19] ES 245/2009. *Úřední věstník Evropské unie*. 2009, url: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:076:0017:0044:CS:PDF>.
 - [20] CINZANO, P., F. FALCHI: Quantifying light pollution. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. 2014, (139): s. 13–20, ISSN 00224073, doi: 10.1016/j.jqsrt.2013.11.020, url: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022407313004755>.
 - [21] KYBA, C. C. M., T. RUHTZ, J. FISCHER, et al.: Cloud Coverage Acts as an Amplifier for Ecological Light Pollution in Urban Ecosystems. *PLoS ONE*. 2011, **6**(3), ISSN 1932-6203, doi:10.1371/journal.pone.0017307, url: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0017307>.
 - [22] KYBA, C. C. M., T. RUHTZ, J. FISCHER, et al.: Red is the new black: how the colour of urban skyglow varies with cloud cover. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2012, **425**(1): s. 701–708, ISSN 00358711, doi:10.1111/j.1365-2966.2012.21559.x, url: <http://mnras.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1111/j.1365-2966.2012.21559.x>.
 - [23] GARSTANG, R. H.: Model for Artificial Night-Sky Illumination. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. 1986, (98).
 - [24] GARSTANG, R. H.: Night-Sky Brightness at Observatories and Sites. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. 1989, (101).
 - [25] GARSTANG, R. H.: Dust and Light Pollution. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. 1991, (103).
 - [26] LUGINBUHL, C. B., D. M. DURISCOE, C. W. MOORE, et al.: From the Ground Up II: Sky Glow and Near-Ground Artificial Light Propagation in Flagstaff, Arizona. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. 2009, **121**(876): s. 204–212,

- ISSN 0004-6280, doi:10.1086/597626, url: <http://www.jstor.org/stable/10.1086/597626>.
- [27] CINZANO, P., F. J. DIAZ CASTRO: The artificial sky luminance and the emission angles of the upward light flux. *Memorie della Societa Astronomia Italiana*. 2000, (71).
 - [28] AUBE, M., L. FRANCHOMME-FOSSE, P. ROBERT-STAEHLER, et al.: Light pollution modelling and detection in a heterogeneous environment: toward a night-time aerosol optical depth retrieval method. *Proceedings of SPIE: The International Society for Optical Engineering*. 2005, (8), doi:10.1117/12.615405, url: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=868212>.
 - [29] BADDILEY, C.: A Model to Show the Differences in Skyglow from Types of Luminaires Designs. 2007, url: http://www.starlight2007.net/pdf/proceedings/C_Baddiley.pdf.
 - [30] KOCIFAJ, M.: Light-pollution model for cloudy and cloudless night skies with ground-based light sources. *Applied Optics*. 2007, **46**(15), ISSN 0003-6935, doi:10.1364/AO.46.003013, url: <https://www.osapublishing.org/ao/abstract.cfm?uri=ao-46-15-3013>.
 - [31] KOCIFAJ, M.: Modelling the spectral behaviour of night skylight close to artificial light sources. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2010, **403**(4): s. 2105–2110, ISSN 00358711, doi:10.1111/j.1365-2966.2010.16241.x, url: <http://mnras.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1111/j.1365-2966.2010.16241.x>.
 - [32] CINZANO, P., F. FALCHI: The Propagation of Light Pollution in the Atmosphere. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2013, **427**(4): s. 3337–3357, doi: 10.1111/j.1365-2966.2012.21884.x.
 - [33] KOCIFAJ, M.: Modeling the night-sky radiances and inversion of multi-angle and multi-spectral radiance data. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. 2014, (139): s. 35–42, ISSN 00224073, doi:10.1016/j.jqsrt.2013.12.002, url: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022407313004779>.
 - [34] AUBE, M.: Physical behaviour of anthropogenic light propagation into the nocturnal environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2015, **370**(1667): s. 20140117–20140117, ISSN 0962-8436, doi:10.1098/rstb.2014.0117, url: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rstb.2014.0117>.
 - [35] DURISCOE, D., C. LUGINBUHL, C. ELVIDGE: The relation of outdoor lighting characteristics to sky glow from distant cities. *Lighting Research and Technology*. 2014, **46**(1): s. 35–49, ISSN 1477-1535, doi:10.1177/1477153513506729, url: <http://lrt.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/1477153513506729>.
 - [36] GARSTANG, R. H.: Mount Wilson Observatory: The sad story of light pollution. *The Observatory*. 2004, (124).
 - [37] BHANDARI, L., K. ROYCHOWDHURY: Night Lights and Economic Activity in India: A

- study using DMSP-OLS night time images. *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network*. 2013-07-01, **vol. 32**(issue 0): s. 218–, ISSN 22273026, doi:10.7125/APAN.32.24, url: <http://journals.sfu.ca/apan/index.php/apan/article/view/59>.
- [38] CAO, X., J. WANG, J. CHEN, et al.: Spatialization of electricity consumption of China using saturation-corrected DMSP-OLS data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2014, (28): s. 193–200, ISSN 03032434, doi:10.1016/j.jag.2013.12.004, url: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0303243413001724>.
- [39] CHAND, T. R. K., K. V. S. BADARINATH, C. D. ELVIDGE, et al.: Spatial characterization of electrical power consumption patterns over India using temporal DMSP-OLS night-time satellite data. *International Journal of Remote Sensing*. 2009, **30**(3): s. 647–661, ISSN 01431161, doi:10.1080/01431160802345685, url: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431160802345685>.
- [40] DE MIGUEL, A. S., J. ZAMORANO, J. G. CASTANO, et al.: Evolution of the energy consumed by street lighting in Spain estimated with DMSP-OLS data. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. 2014, (139): s. 109–117, ISSN 00224073, doi:10.1016/j.jqsrt.2013.11.017, url: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002240731300472X>.
- [41] MIN, B., K. GABA: Tracking Electrification in Vietnam Using Nighttime Lights. *Remote Sensing*. 2014, **6**(10): s. 9511–9529, ISSN 2072-4292, doi:10.3390/rs6109511, url: <http://www.mdpi.com/2072-4292/6/10/9511/>.
- [42] FLORIDA, R., C. MELLANDER, T. GULDEN: Global Metropolis: Assessing Economic Activity in Urban Centers Based on Nighttime Satellite Images. *The Professional Geographer*. 2012, **64**(2): s. 178–187, ISSN 00330124, doi:10.1080/00330124.2011.583590, url: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00330124.2011.583590>.
- [43] HATTORI, R., S. HORIE, F.-C. HSU, et al.: Estimation of in-use steel stock for civil engineering and building using nighttime light images. *Resources, Conservation and Recycling*. 2013, (12), ISSN 09213449, doi:10.1016/j.resconrec.2013.11.007, url: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344913002528>.
- [44] LEVIN, N., Y. DUKE: High spatial resolution night-time light images for demographic and socio-economic studies. *Remote Sensing of Environment*. 2012, (119): s. 1–10, ISSN 00344257, doi:10.1016/j.rse.2011.12.005, url: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425711004421>.
- [45] GILLESPIE, T. W., E. FRANKENBERG, K. F. CHUM, et al.: Night-time lights time series of tsunami damage, recovery, and economic metrics in Sumatra, Indonesia. *Remote Sensing Letters*. 2014, **5**(3): s. 286–294, ISSN 2150-704x, doi:10.1080/2150704X.2014.900205, url: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/2150704X.2014.900205>.
- [46] WITMER, F. D. W., J. O'LOUGHLIN: Detecting the Effects of Wars in the Caucasus Regions of Russia and Georgia Using Radiometrically Normalized DMSP-OLS

- Nighttime Lights Imagery. *GIScience & Remote Sensing*. 2011, **48**(4): s. 478–500, ISSN 15481603, doi:10.2747/1548-1603.48.4.478, url: <http://bellwether.metapress.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.2747/1548-1603.48.4.478>.
- [47] GHOSH, T., S. ANDERSON, C. ELVIDGE, et al.: Using Nighttime Satellite Imagery as a Proxy Measure of Human Well-Being. *Sustainability*. 2013, **5**(12): s. 4988–5019, ISSN 2071-1050, doi:10.3390/su5124988, url: <http://www.mdpi.com/2071-1050/5/12/4988/>.
- [48] LI, Z., H. LIU, C. LUO, et al.: Industrial Wastewater Discharge Retrieval Based on Stable Nighttime Light Imagery in China from 1992 to 2010. *Remote Sensing*. 2014, **6**(8): s. 7566–7579, ISSN 2072-4292, doi:10.3390/rs6087566, url: <http://www.mdpi.com/2072-4292/6/8/7566/>.
- [49] MENG, L., W. GRAUS, E. WORRELL, et al.: Estimating CO₂ (carbon dioxide) emissions at urban scales by DMSP/OLS (Defense Meteorological Satellite Program’s Operational Linescan System) nighttime light imagery. *Energy*. 2014, (71): s. 468–478, ISSN 03605442, doi:10.1016/j.energy.2014.04.103, url: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544214005349>.
- [50] ROYCHOWDHURY, K., S. JONES: Nexus of Health and Development: Modelling Crude Birth Rate and Maternal Mortality Ratio Using Nighttime Satellite Images. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2014, **3**(2): s. 693–712, ISSN 2220-9964, doi:10.3390/ijgi3020693, url: <http://www.mdpi.com/2220-9964/3/2/693/>.
- [51] XU, T., T. MA, C. ZHOU, et al.: Characterizing Spatio-Temporal Dynamics of Urbanization in China Using Time Series of DMSP/OLS Night Light Data. *Remote Sensing*. 2014, **6**(8): s. 7708–7731, ISSN 2072-4292, doi:10.3390/rs6087708, url: <http://www.mdpi.com/2072-4292/6/8/7708/>.
- [52] ELVIDGE, C. D., K. E. BAUGH, M. ZHIZHIN, et al.: Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights. In Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network, ročník 35, ISSN 2227-3026, doi:10.7125/APAN.35.7, url: <http://journals.sfu.ca/apan/index.php/apan/article/view/7>.
- [53] ELVIDGE, C. D., K. E. BAUGH, J. B. DIETZ, et al.: Radiance Calibration of DMSP-OLS Low-Light Imaging Data of Human Settlements. *Remote Sensing of Environment*. 1999, **68**(1): s. 77–88, doi:10.1016/s0034-4257(98)00098-4.
- [54] HSU, F.-C., K. BAUGH, T. GHOSH, et al.: DMSP-OLS Radiance Calibrated Nighttime Lights Time Series with Intercalibration. *Remote Sensing*. 2015, **7**(2): s. 1855–1876, ISSN 2072-4292, doi:10.3390/rs70201855, url: <http://www.mdpi.com/2072-4292/7/2/1855/>.
- [55] CINZANO, P., F. FALCHI, C. ELVIDGE: The first World Atlas of the artificial night sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2001, **328**(3): s. 689–707, ISSN 00358711, doi:10.1046/j.1365-8711.2001.04882.x, url: <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-8711.2001.04882.x>.

- [56] LORENZ, D. J.: Light Pollution Atlas 2006. 2006, url: <https://djllorenz.github.io/astronomy/lp2006/>.
- [57] 6TH SPACE OPERATIONS SQUADRON. 2013-05-31, url: <http://www.310sw.afrc.af.mil/library/factsheets/factsheet.asp?id=14161>.
- [58] POES Flyout Chart as of 08/06/14. url: http://www.nesdis.noaa.gov/flyout_schedules.html.
- [59] MILLER, S., W. STRAKA, S. MILLS, et al.: Illuminating the Capabilities of the Suomi National Polar-Orbiting Partnership (NPP) Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Day/Night Band. *Remote Sensing*. 2013, **5**(12): s. 6717–6766, ISSN 2072-4292, doi:10.3390/rs5126717, url: <http://www.mdpi.com/2072-4292/5/12/6717/>.
- [60] MCCARTHY, J. K., E. J. JACOBSON, T. M. KILDUFF, et al.: On the potential to enhance the spatial resolution of the day-night band (DNB) channel of the visible and infrared imaging radiometer suite (VIIRS) for the second joint polar satellite system (JPSS-2) and beyond. doi:10.1117/12.2024407, url: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.2024407>.
- [61] ELVIDGE, C. D., P. CINZANO, D. R. PETTIT, et al.: The Nightsat mission concept. *International Journal of Remote Sensing*. 2007, **28**(12): s. 2645–2670, ISSN 0143-1161, doi:10.1080/01431160600981525, url: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431160600981525>.
- [62] KYBA, C., S. GARZ, H. KUECHLY, et al.: High-Resolution Imagery of Earth at Night: New Sources, Opportunities and Challenges. *Remote Sensing*. 2015, **7**(1): s. 1–23, ISSN 2072-4292, doi:10.3390/rs70100001, url: <http://www.mdpi.com/2072-4292/7/1/1/>.
- [63] KUECHLY, H. U., C. C. KYBA, T. RUHTZ, et al.: Aerial survey and spatial analysis of sources of light pollution in Berlin, Germany. *Remote Sensing of Environment*. 2012, (126): s. 39–50, ISSN 00344257, doi:10.1016/j.rse.2012.08.008, url: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425712003203>.
- [64] HISCOCKS, P. D., S. GUDMUNDSSON: The Contribution of Street Lighting to Light Pollution. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*. 2010, **104**(5), url: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2010JRASC.104..190H>.
- [65] KYBA, C. C. M., K. P. TONG, J. BENNIE, et al.: Worldwide variations in artificial skyglow. *Scientific Reports*. 2015, (5), ISSN 2045-2322, doi:10.1038/srep08409, url: <http://www.nature.com/doifinder/10.1038/srep08409>.
- [66] BENNIE, J., T. W. DAVIES, J. P. DUFFY, et al.: Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights. *Scientific Reports*. 2014, (4), ISSN 2045-2322, doi:10.1038/srep03789, url: <http://www.nature.com/doifinder/10.1038/srep03789>.
- [67] HÖLKER, F., C. WOLTER, E. K. PERKIN, et al.: Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology*. 2010, **25**(12): s. 681–682, ISSN 01695347, doi: 10.1016/j.tree.2010.09.007, url: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169534710002211>.

- [68] BENNIE, J., J. DUFFY, T. DAVIES, et al.: Global Trends in Exposure to Light Pollution in Natural Terrestrial Ecosystems. *Remote Sensing*. 2015, **7**(3), ISSN 2072-4292, doi: 10.3390/rs70302715, url: <http://dx.doi.org/10.3390/rs70302715>.
- [69] Artificial Light in the Environment. 2009, ISBN 9780108508547, url: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/228832/9780108508547.pdf.
- [70] IDA: Dark Sky Places Program. 2015, url: <http://darksky.org/idsp/>.
- [71] UNESCO: Astronomy and World Heritage Thematic Initiative. 2015, url: <http://whc.unesco.org/en/astronomy/>.
- [72] HELD, M., F. HÖLKER, B. JESSEL: Schutz der Nacht - Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft. BfN Bundesamt für Naturschutz, Bonn. 2013, ISBN 978-389-6240-712, url: https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Skript_336.pdf.
- [73] JONES, T. M., J. DURRANT, E. B. MICHAELIDES, et al.: Melatonin: a possible link between the presence of artificial light at night and reductions in biological fitness. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2015, **370**(1667), ISSN 1471-2970, doi:10.1098/rstb.2014.0122, url: <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0122>.
- [74] CAJOCHEN, C., M. MUNCH, S. KOBIALKA, et al.: High Sensitivity of Human Melatonin, Alertness, Thermoregulation, and Heart Rate to Short Wavelength Light. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2005, **90**(3), ISSN 1945-7197, doi: 10.1210/jc.2004-0957, url: <http://dx.doi.org/10.1210/jc.2004-0957>.
- [75] STEVENS, R. G., G. C. BRAINARD, D. E. BLASK, et al.: Breast cancer and circadian disruption from electric lighting in the modern world. *CA A Cancer Journal for Clinicians*. 2013, **64**(3), ISSN 0007-9235, doi:10.3322/caac.21218, url: <http://dx.doi.org/10.3322/caac.21218>.
- [76] PAUL, M. A., R. J. LOVE, A. HAWTON, et al.: Sleep and the endogenous melatonin rhythm of high arctic residents during the summer and winter. *Physiology & Behavior*. 2015, **141**, ISSN 0031-9384, doi:10.1016/j.physbeh.2015.01.021, url: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.01.021>.
- [77] ZELINSKI, E. L., S. H. DEIBEL, R. J. McDONALD: The trouble with circadian clock dysfunction: Multiple deleterious effects on the brain and body. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2014, **40**, ISSN 0149-7634, doi:10.1016/j.neubiorev.2014.01.007, url: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.01.007>.
- [78] KARATSOREOS, I. N.: Effects of Circadian Disruption on Mental and Physical Health. *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2012, **12**(2), ISSN 1534-6293, doi:10.1007/s11910-012-0252-0, url: <http://dx.doi.org/10.1007/s11910-012-0252-0>.
- [79] HAIM, A., B. PORTNOV: Light Pollution as a New Risk Factor for Human Breast and Prostate Cancers. Springer. 2013, ISBN 9789400762206.
- [80] MEGDAL, S. P., C. H. KROENKE, F. LADEN, et al.: Night work and breast cancer

- risk: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Cancer*. 2005, **41**(13), ISSN 0959-8049, doi:10.1016/j.ejca.2005.05.010, url: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejca.2005.05.010>.
- [81] KLOOG, I., A. HAIM, R. G. STEVENS, et al.: Global Co-distribution of Light at Night (LAN) and Cancers of Prostate, Colon, and Lung in Men. *Chronobiol Int*. 2009, **26**(1), ISSN 1525-6073, doi:10.1080/07420520802694020, url: <http://dx.doi.org/10.1080/07420520802694020>.
- [82] IARC: Agents Classified by the IARC Monographs. 2015.
- [83] WISE, J.: Danish night shift workers with breast cancer awarded compensation. *BMJ*. 2009, **338**(mar18 1), ISSN 1468-5833, doi:10.1136/bmj.b1152, url: <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.b1152>.
- [84] GOOLEY, J. J., K. CHAMBERLAIN, K. A. SMITH, et al.: Exposure to Room Light before Bedtime Suppresses Melatonin Onset and Shortens Melatonin Duration in Humans. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2011, **96**(3), ISSN 1945-7197, doi:10.1210/jc.2010-2098, url: <http://dx.doi.org/10.1210/jc.2010-2098>.
- [85] SROYKHAM, W., Y. WONGSAWAT: Effects of LED-backlit computer screen and emotional selfregulation on human melatonin production. *2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*. 2013, doi:10.1109/embc.2013.6609847, url: <http://dx.doi.org/10.1109/EMBC.2013.6609847>.
- [86] VAN DER LELY, S., S. FREY, C. GARBAZZA, et al.: Blue Blocker Glasses as a Countermeasure for Alerting Effects of Evening Light-Emitting Diode Screen Exposure in Male Teenagers. *Journal of Adolescent Health*. 2015, **56**(1), ISSN 1054-139X, doi: 10.1016/j.jadohealth.2014.08.002, url: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jadohealth.2014.08.002>.
- [87] BENEDETTI, F., C. COLOMBO, B. BARBINI, et al.: Morning sunlight reduces length of hospitalization in bipolar depression. *Journal of Affective Disorders*. 2001, **62**(3): str. 221â€“223, ISSN 0165-0327, doi:10.1016/s0165-0327(00)00149-x, url: [http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0327\(00\)00149-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0327(00)00149-X).
- [88] RICH, C., T. LONGCORE: Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. První vydání. 2004, ISBN 9781559631297.
- [89] GASTON, K. J., J. BENNIE, T. W. DAVIES, et al.: The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal. *Biological Reviews*. 2013, **88**(4), ISSN 1464-7931, doi:10.1111/brv.12036, url: <http://dx.doi.org/10.1111/brv.12036>.
- [90] NAVARA, K. J., R. J. NELSON: The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences. *Journal of Pineal Research*. 2007, **43**(3), ISSN 1600-079X, doi:10.1111/j.1600-079x.2007.00473.x, url: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-079X.2007.00473.x>.
- [91] THOMAS, J. A.: Comparative Losses of British Butterflies, Birds, and Plants and

- the Global Extinction Crisis. *Science*. 2004, **303**(5665), ISSN 1095-9203, doi:10.1126/science.1095046, url: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1095046>.
- [92] DAVIES, T. W., J. BENNIE, K. J. GASTON: Street lighting changes the composition of invertebrate communities. *Biology Letters*. 2012, **8**(5), ISSN 1744-957X, doi:10.1098/rsbl.2012.0216, url: <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2012.0216>.
- [93] KEMPENAERS, B., P. BORGSTRÅM, P. LOÅS, et al.: Artificial Night Lighting Affects Dawn Song, Extra-Pair Siring Success, and Lay Date in Songbirds. *Current Biology*. 2010, **20**(19), ISSN 0960-9822, doi:10.1016/j.cub.2010.08.028, url: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2010.08.028>.
- [94] LONGCORE, T.: Sensory Ecology: Night Lights Alter Reproductive Behavior of Blue Tits. *Current Biology*. 2010, **20**(20), ISSN 0960-9822, doi:10.1016/j.cub.2010.09.011, url: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2010.09.011>.
- [95] BALLASUS, H., K. HILL, O. HÜPPOP: Gefahren künstlicher Beleuchtung für ziehende Vögel und Fledermäuse. *Vogelschutz*. 2009, (46).
- [96] POOT, H., B. ENS, H. DE VRIES, et al.: Green Light for Nocturnally Migrating Birds. *Ecology and Society*. 2008, **15**(3), url: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art47/>.
- [97] 395/1992: Vyhláška ministerstva životního prostředí České republiky, kterou se provádějí některá ustanovení zákona České národní rady č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. *Sbírka zákonů České republiky*. 1992.
- [98] BOLDOGH, S., D. DOBROSI, P. SAMU: The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences. *Acta Chiropterologica*. 2007, **9**(2), ISSN 1733-5329, doi:10.3161/1733-5329(2007)9[527:teotio]2.0.co;2, url: [http://dx.doi.org/10.3161/1733-5329\(2007\)9\[527:TEOTIO\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.3161/1733-5329(2007)9[527:TEOTIO]2.0.CO;2).
- [99] DACKE, M., M. J. BYRNE, C. H. SCHOLTZ, et al.: Lunar orientation in a beetle. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2004, **271**(1537), ISSN 1471-2954, doi:10.1098/rspb.2003.2594, url: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2003.2594>.
- [100] DACKE, M., E. BAIRD, M. BYRNE, et al.: Dung Beetles Use the Milky Way for Orientation. *Current Biology*. 2013, **23**(4), ISSN 0960-9822, doi:10.1016/j.cub.2012.12.034, url: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2012.12.034>.
- [101] WILTSCHKO, W., R. WILTSCHKO: Interrelation of magnetic compass and star orientation in night-migrating birds. *J. Comp. Physiol.* 1976, **109**(1), ISSN 1432-1351, doi:10.1007/bf00663437, url: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00663437>.
- [102] DIEGO-RASILLA, J., R. LUENGO: Celestial orientation in the marbled newt (*Triturus marmoratus*). *Journal of Ethology*. 2002, **20**(2), ISSN 0289-0771, doi:10.1007/s10164-002-0066-7, url: <http://dx.doi.org/10.1007/s10164-002-0066-7>.
- [103] HAGEN, O., R. M. SANTOS, M. N. SCHLINDWEIN, et al.: Artificial Night Lighting Reduces Firefly (Coleoptera: Lampyridae) Occurrence in Sorocaba, Brazil. *AE*. 2015, **03**(01), ISSN 2331-2017, doi:10.4236/ae.2015.31004, url: <http://dx.doi.org/10.4236/ae.2015.31004>.

- [104] PICCHI, M. S., L. AVOLIO, L. AZZANI, et al.: Fireflies and land use in an urban landscape: the case of *Luciola italica* L. (Coleoptera: Lampyridae) in the city of Turin. *J Insect Conserv.* 2013, **17**(4), ISSN 1572-9753, doi:10.1007/s10841-013-9562-z, url: <http://dx.doi.org/10.1007/s10841-013-9562-z>.
- [105] AUBE, M., J. ROBY, M. KOCIFAJ: Evaluating Potential Spectral Impacts of Various Artificial Lights on Melatonin Suppression, Photosynthesis, and Star Visibility. *PLoS ONE*. 2013, **8**(7), ISSN 1932-6203, doi:10.1371/journal.pone.0067798, url: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0067798>.
- [106] BENNIE, J., T. W. DAVIES, D. CRUSE, et al.: Cascading effects of artificial light at night: resource-mediated control of herbivores in a grassland ecosystem. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2015, **370**(1667), ISSN 1471-2970, doi:10.1098/rstb.2014.0131, url: <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0131>.
- [107] PENA-GARCIA, A., A. HURTADO, M. AGUILAR-LUZAN: Impact of public lighting on pedestrians' perception of safety and well-being. *Safety Science*. 2015, **78**, ISSN 0925-7535, doi:10.1016/j.ssci.2015.04.009, url: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.04.009>.
- [108] ATKINS, S., S. HUSAIN, A. STOREY: The Influence of Street Lighting on Crime and Fear of Crime. *Crime Prevention Unit Paper No. 28*. 1991, url: http://www.popcenter.org/library/scp/pdf/07-Atkins_Husain_Storey.pdf.
- [109] STEINBACH, R., C. PERKINS, L. TOMPSON, et al.: The effect of reduced street lighting on road casualties and crime in England and Wales: controlled interrupted time series analysis. *Journal of Epidemiology and Community Health*. 2015, ISSN 1470-2738, doi: 10.1136/jech-2015-206012, url: <http://dx.doi.org/10.1136/jech-2015-206012>.
- [110] WELSH, P., D. FARRINGTON: Effects of improved street lighting on crime. 2008, doi: 10.4073/csr.2008.13, url: <http://dx.doi.org/10.4073/csr.2008.13>.
- [111] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung: Stadtbild Berlin: Lichtkonzept Handbuch. Druhé vydání. 2015.
- [112] GALLAWAY, T.: The Value of the Night Sky. In *Urban lighting, light pollution, and society*, Routledge, New York, ISBN 9781138813977, s. 267–283.
- [113] NASSER, H. E.: More U.S. cities dimming the lights. *USA Today*. 2010, url: http://usatoday30.usatoday.com/news/nation/environment/2010-12-29-light-pollution_N.htm.
- [114] IDA, IES: Model Lighting Ordinance with User's Guide. 2011, url: http://www.ies.org/PDF/MLO/MLO_FINAL_June2011.pdf.
- [115] CONNOLLY, K.: Light pollution law helps Czechs reclaim the stars. *The Guardian*. 2002, url: <http://www.theguardian.com/science/2002/mar/27/spaceexploration.physicalsciences>.
- [116] Právní výklad k zákonnému zmocnění odboru dozoru a kontroly veřejné správy Mi-

- nisterstva vnitra: K obecně závazné vyhlášce, kterou se stanoví regulace promítání světelných reklam a efektů na oblohu. *Ministerstvo vnitra ČR*. 2009.
- [117] Obecně závazná vyhláška 1/2010. *Město Pec pod Sněžkou*. 2010, url: <http://www.pecpodsnezkou.cz/soubory/ozv-c-1-2010-o-regulaci-promi-ta-ni-sve-telny-ch-reklam-a-efektu-na-oblohu.pdf>.
 - [118] Obecně závazná vyhláška 1/2011. *Město Vimperk*. 2011, url: <http://www.vimperk.cz/files/3333-obecne-zavazna-vyhlaska-c-1-2011-ktou-se-reguluje-promitani-svetelnych-reklam-a-efektu-na-oblohu-na-uzemi-mesta-vimperk.pdf>.
 - [119] Obecně závazná vyhláška 8/2011. *Město Harrachov*. 2011, url: <http://www.harrachov.cz/mesto/doku/OZV-8-2011.pdf>.
 - [120] Obecně závazná vyhláška 2/2010. *Město Malá Úpa*. 2010, url: http://www.malaupa.cz/urednideska/1283767880_file.PDF.
 - [121] Obecně závazná vyhláška 3/2007. *Město Sezimovo Ústí*. 2007, url: <http://www.sezimovo-usti.cz/prilohapdf/2007-03.pdf>.
 - [122] Obecně závazná vyhláška 5/2013. *Město Otrokovice*. 2013.
 - [123] 89/2012: Občanský zákoník. *Sbírka zákonů České republiky*. 2012.
 - [124] 183/2006: Zákon o územním plánování a stavebním řádu. *Sbírka zákonů České republiky*. 2006.
 - [125] 268/2009: Vyhláška o technických požadavcích na stavby. *Sbírka zákonů České republiky*. 2009.
 - [126] 501/2006: Vyhláška o obecných požadavcích na využívání území. *Sbírka zákonů České republiky*. 2006.
 - [127] Nález Ústavního soudu 40/08 ze dne 26. 5. 2009. 2009.
 - [128] SEQUENS, T., P. NOVÁKOVÁ, R. HAMRAN: Veřejné osvětlení a obec pod lupou zákona. *Světlo*. 2013, (6): s. 61–63, url: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/verejne-osvetleni-a-obec-pod-lupou-zakona--628>.
 - [129] GASTON, K. J., J. P. DUFFY, J. BENNIE: Quantifying the erosion of natural darkness in the global protected area system. *Conservation Biology*. 2015: s. 1–10, ISSN 08888892, doi:10.1111/cobi.12462, url: <http://doi.wiley.com/10.1111/cobi.12462>.
 - [130] VIIRS DNB Cloud Free Composites. url: http://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_monthly.html.
 - [131] MILLS, S., S. WEISS, C. LIANG, et al.: VIIRS day/night band (DNB) stray light characterization and correction. doi:10.1117/12.2023107, url: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.2023107>.
 - [132] BAUGH, K., F.-C. HSU, C. D. ELVIDGE, et al.: Nighttime Lights Compositing Using the VIIRS Day-Night Band: Preliminary Results. In Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network, ročník 35, ISSN 2227-3026, doi:10.7125/APAN.35.8, url: <http://journals.sfu.ca/apan/index.php/apan/article/view/8>.