

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta



Světelné znečištění a jeho možné ekologické důsledky

Bakalářská práce

Jakub Sokolík

Školitel: RNDr. Martin Hais, PhD

Konzultant: Mgr. Stanislav Grill

RNDr. Ladislav Hejna, CSc

České Budějovice 2012

Sokolík, J., 2012: Světelné znečištění a jeho možné ekologické důsledky [light pollution and possible environmental consequences. Bc. Thesis, in Czech.] – 33 p., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace:

Tato práce představuje grantovou žádost na projekt zabývající se mapováním světelného znečištění a následné využití výsledků v konkrétní krajině.

Annotation:

This work represents the grant application for project dealing with mapping of light pollution and following realization results in a specific landscape.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 12. 12. 2012

Jakub Sokolík

Shrnutí projektu

Světelné znečištění se v současné době začíná dostávat do zájmu odborníků z mnoha odvětví výzkumu. Děje se tomu tak z důvodu neustálého rozšiřování umělého osvětlení do rozsáhlých území a s tím souvisejícího negativního ovlivnění organismů. Rozšiřování umělého osvětlení je možno nalézt již v prvním atlasu světelného znečištění Cinzana a kol., 2001.

V České republice probíhají výzkumy především astronomického světelného znečištění, které se přednostně soustřeďují na světlo, které jde do atmosféry. Důvody tohoto zájmu jsou degradace noční oblohy a znemožnění práce astronomů. Nezahrnutí působení světla na organismy ve výzkumech vychází ze složitosti reakcí organismů na světlo. Potřebné výzkumy dopadu světelného znečištění na organismy prozatím zaostávají.

Projekt soustřeďuje informace získané z družicových snímků. Jejich analýza umožňuje hodnocení úrovně ovlivnění České republiky světelným znečištěním. Cílem projektu je vytvoření mapy, která nese informaci o lokalitách v České republice, které jsou pouze minimálně ovlivněny světelným znečištěním, a kvantifikaci světelného znečištění na daných místech.

Zvolená metoda dálkového průzkumu představuje možnost zhodnocení rozsáhlých území bez nutnosti kontaktu s povrchem země. Umožňuje zobrazení lokalit s minimálním ovlivněním světelným znečištěním. Využívá poznatků o astronomickém světelném znečištění pro hodnocení možného vlivu ekologického světelného znečištění.

Tyto lokality mohou posloužit jako reprezentující místa sloužící k výzkumu organismů zde žijících, a tak umožnit potvrzení negativních účinků umělého světla na organismy. Výsledná místa mohou být vyhlášena za chráněná území a mohou poskytnout útočiště pro rozvoj zdejších organismů, které by mohlo budoucí rozšiřování světelného znečištění ohrozit.

Na těchto lokalitách může probíhat osvěta světelného znečištění ve formě informačních tabulí a tyto lokality také mohou sloužit jako místa, která budou motivovat k úpravě světelných zdrojů na rozsáhlejších územích.

Možností dalšího sledování problematiky je i návrh k upravení termínu světelného znečištění v zákoně č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů, který je v současné době nedostačující.

Poděkování:

Rád bych poděkoval svému školiteli RNDr. Martinu Haisovi, PhD., za vedení bakalářské práce a ochotu pomoci při řešení problémů během práce. Velké poděkování patří také mému konzultantovi Mgr. Stanislavu Grillovi, který byl také velice vstřícný a ochotný poradit.

Obsah

1. Současný stav poznání.....	1
1.1 Charakteristika světelného znečištění.....	1
1.1.1 Astronomické světelné znečištění.....	1
1.1.2 Ekologické světelné znečištění.....	2
1.2 Vliv světelného znečištění na organismy.....	3
1.2.1 Hmyz.....	4
1.2.2 Ptáci.....	4
1.2.3 Obojživelníci	5
1.2.4 Vodní živočichové	6
1.2.5 Rostliny	6
1.2.6 Člověk	7
1.3 Vývoj světelného znečištění v čase a prostoru.....	8
1.3.1 Omezení světelného znečištění.....	8
1.4 Světelné znečištění v České republice.....	10
1.4.1 Zdroje světelného znečištění v České republice.....	10
1.4.2 Stav světelného znečištění v České republice	11
1.4.3 Omezení světelného znečištění v České republice	13
1.5 Detekce a způsoby modelování světelného znečištění v životním prostředí.....	14
1.5.1 Přístroje využitelné na detekci světelného znečištění.....	15
1.5.2 Možné způsoby modelování světelného znečištění.....	17
2. Cíle projektu.....	19
3. Hypotézy	19
4. Návrh experimentu	20
4.1 Datové podklady	20
4.2 Faktory ovlivňující kvalitu snímků	20
4.3 Určení intenzity světla	21
4.4 Mapové výstupy	21
4.5 Očekávané výsledky	22
4.6 Využití projektu	22
4.7 Časový harmonogram projektu.....	24
4.8 Finanční zhodnocení projektu.....	24
5. Přílohy	25
6. Literatura	29

1. Současný stav poznání

1.1. Charakteristika světelného znečištění

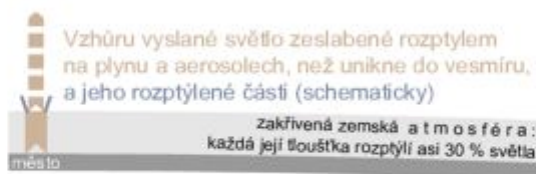
Noční osvětlení umožňuje člověku přizpůsobit se 24 hodinové aktivní společnosti. Nicméně tento nárůst používání venkovního osvětlení během noci vytvořil nežádoucí vedlejší efekt známý jako "světelné znečištění". Termín světelné znečištění je používán řadu let v souvislosti s degradací noční oblohy vlivem používání nevhodných pouličních svítidel. Kromě toho může mít umělé noční osvětlení nepříznivé účinky na volně žijící živočichy, rostliny i člověka (Kondziolka a kol., 2008). Vzhledem k těmto okolnostem dělíme světelné znečištění na astronomické, které umělým osvětlením degraduje kvalitu noční oblohy, a ekologické, u něhož světlo narušuje přirozené procesy v ekosystému.

1.1.1. Astronomické světelné znečištění

Astronomické světelné znečištění vysvětluje především jas oblohy a omezení schopnosti pozorovat nebeská tělesa pouhým okem. Noční obloha má svou přirozenou intenzitu jasu, která je způsobena několika faktory. Jsou to paprsky slunce odražené od Měsíce a Země, sluneční světlo odražené od meziplanetárního prachu, rozptýlené světlo hvězd v atmosféře a zbytkové světlo ze vzdálených hvězd a mlhovin. Tento přirozený jas je několinásobně zvyšován umělým osvětlením spojeným s lidskou činností. Zdroje světla svítí přímo do oblohy, dále je světlo odráženo od ploch na zemi, nebo se odráží od prachových částic obsažených v atmosféře. Výsledkem je vznik oranžové oblohy nejen v blízkém okolí, ale i v oblastech vzdálených od zdroje světla a znemožnění pozorování nebeských těles (Mizon, 2002).

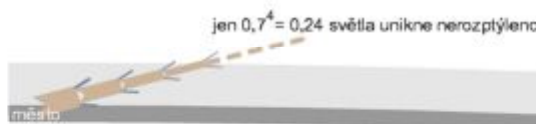
Když jde světlo z lamp
či osvětlených ploch
směrem:

- 90 stupňů vzhůru:
30 % se rozptýlí,
z toho 28 % dolů,
celkem se tedy vrátí dolů jen
8 % takového světla,



Souhm světla
rozptýleného ovzduším
a jeho skutečné směry
– většinou podobné
směru původnímu

- 15 stupňů nahoru:
76 % se rozptýlí,
z toho 40 % dolů,
celkem se tedy vrátí dolů
31 % takového světla,



- 5 stupňů nahoru:
97 % se rozptýlí,
z toho 45 % dolů,
celkem se tedy vrátí dolů
45 % takového světla.



Obrázek č. 1: Schéma popisující jasnou oblohu v okolí měst (Kondziolka a kol., 2008).

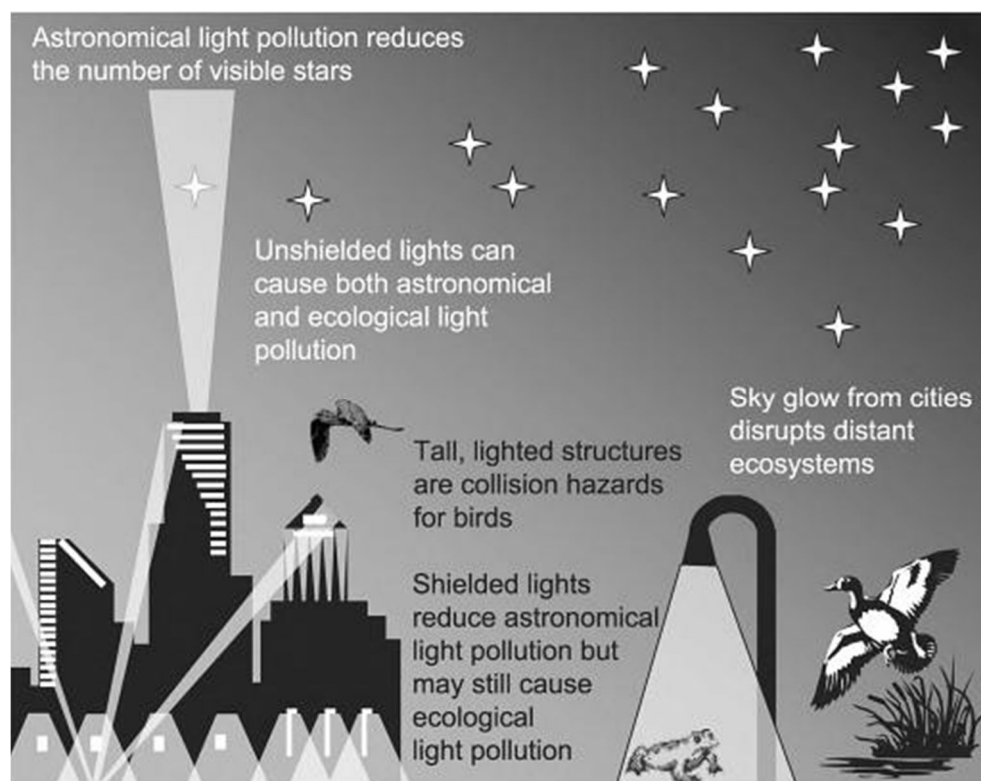
1.1.2. Ekologické světelné znečištění

Tímto termínem se myslí světlo, které je antropogenního původu, dopadá na zemský povrch a může negativně ovlivňovat různé druhy organismů v nočním prostředí. Konkrétně jde o přímé oslnění zdrojem, osvětlení velkou intenzitou, ale také náhlé kolísání osvětlení (Rich a Longcore, 2006).

Toto znečištění také můžeme nazývat „photopollution“, tedy světlo, které je umělé a má negativní účinky na životní prostředí (Verheijen F. J., 1985). Výskyt světelného znečištění je celosvětový, jak ukazují výzkumy zaměřené na mapování zdrojů antropogenního světla (Elvidge a kol., 1997).

Výzkum Cinzana a kol. (2001) ukázal, že pouze polovina Američanů žije v místě, kde v noci nastává dostatečná tma, při které zrak zcela přechází z čípkového vidění na tyčinkové.

Ekologické světelné znečištění může být způsobeno více zdroji než astronomické světelné znečištění. Zdrojem ekologického světelného znečištění mohou být například osobní automobily, osvětlené lodě, bezpečnostní světla nebo i světla na výzkumných ponorkách. Samozřejmě se zdroje ekologického světelného znečištění prolínají se zdroji astronomického, jako tomu je například u osvětlení budov, věží a u pouličního osvětlení (Rich a Longcore, 2006).



Obrázek č. 2: Schéma zobrazující rozdíly mezi astronomickým a ekologickým světelným znečištěním (Rich a Longcore, 2006).

1.2 Vliv světelného znečištění na organismy

Při ovlivňování organismů se astronomické i ekologické světelné znečištění vzájemně prolínají. Světlo, které proniká nad úroveň zdroje, tedy především do horního poloprostoru zdroje, negativně ovlivňuje druhy schopné létání. Světlo, které je vyzařováno pod úroveň zdroje, ovlivňuje především suchozemské a vodní organismy.

Umělé noční osvětlení může narušovat přirozené chování a životní cykly u mnoha organismů. Pozorované reakce se velmi liší v závislosti na druhu organismu. Největší změny chování byly pozorovány u hmyzu, ptáků a obojživelníků. Tyto organismy mohou být světlem přitahovány, odpuzovány nebo dezorientovány. V některých případech může dojít až k lokálnímu vyhynutí dotyčného druhu (Health Council of the Netherlands, 2000).

Nejvíce ovlivněny jsou organismy, které využívají rozsáhlejší území nebo sezónně migrují. První skupinou jsou organismy, které ke svému životu využívají zdroje ze širokého okolí. Může to být například hmyz. Při hledání potravy může hmyz cestovat na velké vzdálenosti a při návratu do svého hnízda může být přilákan pouličním osvětlením. Takto přilákaný hmyz často hyne vyčerpáním (Health Council of the Netherlands, 2000).

Druhou skupinu tvoří nejen tažní ptáci, ale také obojživelníci. U obojživelníků, kteří se přesouvají na svá zimoviště, byla pozorována tendence přiblížit se ke zdroji umělého světla. Při takovémto chování vzniká nebezpečí střetu například s osobními automobily, pokud se zdroj světla nachází poblíž pozemní komunikace (Health Council of the Netherlands, 2000).

Také u tažných ptáků vzniká možnost ovlivnění světlem, a to především při oblačnosti. Při velké oblačnosti jsou ptáci nuceni letět níže, a jsou tedy náchylnější k ovlivnění světelnými zdroji na zemském povrchu. Pokud dojde k přilákání ptáků světlem, vzniká zde nebezpečí kolize s budovami nebo jinými překážkami (Health Council of the Netherlands, 2000).

1.2.1. Hmyz

Neznámějším příkladem organismů, které jsou ovlivněné světelným znečištěním, je hmyz. Mnoho lidí již vidělo létat roje hmyzu kolem pouličního osvětlení, a mnohdy to bývají důležité opylovači a klíčové druhy, jejich hynutí u světelných zdrojů může mít za důsledek velké ekologické následky.

Například studie v rakouském městě Graz ukázaly, že k světelným písmenům reklamy v centru města bylo přilákáno 350 000 jedinců hmyzu za rok. Tito jedinci přilétali

až z několikakilometrové vzdálenosti ve snaze nalézt zde potravu, partnera či vhodné místo ke kladení vajíček. (Kondziolka et al., 2008).

Hmyz je nejvíce ohrožen přitahováním ke zdroji světla z důvodu atraktivity jednotlivých spekter světelného zdroje. Například noční motýli jsou nejvíce přitahováni k UV a bílému světlu. Existuje i několik dalších vlivů, ty jsou prozatím nedostatečně prozkoumány (Frank, 1988).

Ohledně těchto vlivů vzniklo několik hypotéz. Je to například možný vliv umělého světla na přirozenou orientaci hmyzu, při které se hmyz řídí úhlem mezi svou polohou v prostoru a měsícem (www.jvrichardsonjr.net). Jiná hypotéza je založena na faktu, že zdroj umělého světla, na rozdíl od měsíce, se vyskytuje na zemském povrchu, a je tedy i blíže k letícímu hmyzu. Tento jev může způsobit, že do jednoho oka hmyzu proudí více světla než do druhého. Hmyz se tuto rozdílnou intenzitu snaží vyrovnat zrychleným máváním křídel na jedné straně těla, a tak začne kroužit kolem zdroje světla (www.jvrichardsonjr.net)

1.2.2. Ptáci

Ptáci mohou být nočním světlem vytvořeným lidskou činností dezorientováni a zachyceni, tedy nejsou schopni opustit osvětlený prostor (Evans Ogden, 1996). Ptáci, kteří v nočních hodinách přelétají nad osvětlenou plochou, jsou zdrojem světla přitahováni, nedokáží se správně zorientovat a zmateně krouží kolem zdroje světla. Při tomto kroužení se mohou srazit s budovami nebo konstrukcemi poblíž zdroje světla. Nejvíce náchylní k tomuto jevu jsou tažní ptáci, u kterých bylo toto chování pozorováno již v 19. století, ale stále dodnes není přesně znám důvod. Odborníci se domnívají, že ptáci využívají horizontu k orientaci a udržení směru letu. Pokud dojde ke změně intenzity osvětlení vlivem umělého zdroje světla nebo jasem oblohy, ptáci jsou dezorientováni (Deda a kol., 2007)

Noční osvětlení může prodlužovat denní typy chování do nočních hodin. Velké množství denních ptáků (Hill, 1990) bylo pozorováno, jak se krmí pod umělými světly. Toto chování může mít za následek nevyvážený vztah mezi predátorem a jeho kořistí.

Někteří pěvci, jako například drozdec mnohohlasý (*Mimus polyglottos*), v osvětlených místech mění také své chování. Samci drozdce totiž běžně v noci zpívají pouze před pářením, po spáření zpívají pouze samci v osvětlených lokalitách (Derrickson, 1988).

Někteří ptáci dokonce mění své chování na takové úrovni, že mění i svůj způsob lovu. Například byl spatřen zoborožec čelenkový (*Tockus alboterminatus*), který lovil hmyz shromážděný u bezpečnostního světla. Toto se může zdát jako zlepšení možností při

získávání potravy, ale upřednostňuje to pouze druhy živočichů, kteří nejsou světlem odpuzováni (Hill, 1990).

U některých druhů bylo také zjištěno, že podle intenzity osvětlení dané lokality se rozhodují, kde zahníždí. Ve studii De Molenaara (De Molenaar a kol., 2000) byla zjišťována hustota hnízdění břehouše černoocasého (*Limosa l. limosa*) v závislosti na intenzitě osvětlení jeho hnízdiště. Bylo prokázáno, že ptáci, kteří přiletěli dříve než ostatní, si vybrali k hnízdění místo ležící dále od zdroje světla.

1.2.3. Obojživelníci

U obojživelníků byly pozorovány změny v chování způsobené působením uměle vytvořeného světla. Mnoho druhů obojživelníků má noční aktivitu, kdy dochází k jejich migraci. Mazerolle a kol. (Mazerolle a kol., 2005) zjistil, že pokud jsou při tomto přesunu vyrušeni světly projíždějících aut, jejich nečastější reakce je strnutí. Toto chování může přispívat ke zvýšené mortalitě žab vlivem automobilové dopravy (Mazerolle a kol., 2005). Jako další změny chování můžeme pozorovat změny v potravních návycích, změny ve výběru partnera při rozmnožování a také jiné změny chování, jak je konkrétně popsáno dále.

Někteří obojživelníci mění své chování při umělém osvětlení jako například rosnička hádavá (*Hyla squirella*). Rosnička je při krmení závislá na intenzitě světla, přestává se krmit při intenzitách nad 10^{-3} lx (Buchanan, 1998).

Příkladem také může být ropucha západoamerická (*Bufo boreas*), která se krmí pouze při osvětlení mezi 10^{-1} a 10^{-5} lx, nebo ocasatka americká (*Ascopus truei*), která přijímá potravu při méně než 10^{-5} lx (Hailman, 1984).

Některé druhy žabích samiček, konkrétně hvízdalka pěnodějná (*Physalaemus pustulosus*), mění své chování při výběru samečka v osvětlených oblastech. Pravděpodobně z důvodu obavy z predace jsou méně vybíravé (Rand a kol., 1997).

Mloci projevují také změny chování při vystavení umělému světlu. Pokud jsou mloci ozářeni jasným světlem ze 100W žárovky, snižují příjem potravy a spíše vyhledávají úkryt (Placyk a kol., 2001).

Z několika studií vyplývá, že většina mloků vykazuje negativní fototaxi (Sugalski a kol., 1997)

Výzkum Phillipse a kol. (1994) prokázal, že čerstvě vylíhnutí čolci, kteří opouštějí své rodné rybníky a přesouvají se do lesa, využívají k pozdějšímu návratu zpět orientace podle magnetického pole závislého na frekvenci světla (550-600 nm). Tato frekvence je

velmi podobná té, která se běžně používá v pouličním osvětlení. Výsledným jevem může být dezorientace čolků vracejících se zpět do svého rodiště (Phillips a kol., 1994).

Umělé světlo nemění pouze chování obojživelníků, ale ovlivňuje také distribuci hormonů v těle a celkový růst, jak potvrzuje výzkum Wiseové (Wise, 2007). Tento výzkum ukázal, že žabí pulci, kteří byli vystaveni umělému světlu po západu slunce, prodělávali přeměnu v dospělce pomaleji než pulci se zachovanou přirozenou délkou dne a noci (Wise, 2007)

1.2.4 Vodní živočichové

Světelným znečištěním jsou zasaženi i vodní živočichové, tedy organismy, které využívají vodního prostředí ke svému životu. Patrně nejznámějším případem jsou mořské želvy. Samičky želv, které vylézají na pláže, aby nakladly vajíčka, jsou často dezorientované v přítomnosti umělého osvětlení. Také mladé želvy jsou dezorientované po vylíhnutí. Želvy, které jsou zvyklé se orientovat podle intenzity světla, se místo do moře vydávají od něj; toto způsobuje jev, při kterém se želvy snaží dostat od nízkých temných siluet, které znamenají pevninu. Na uměle osvětlených plážích však špatně rozeznávají správný směr (Salmon a kol., 1995).

V americkém Boca Raton na Floridě zakročili proti umělému osvětlení cesty kolem pláže. Osvětlení tu sice existuje, je ale tvořeno ze speciálně navržených LED svítidel, které jsou nainstalované na zemi okolo silnice a osvětlují pouze tuto plochu. Výsledky tohoto experimentu byly pozitivní. Díky tomuto designu svítidel bylo zamezeno dezorientaci želv a obyvatelé i motoristé využívající cestu jsou spokojeni (Ellis, 2003)

Dalším příkladem z vodního prostředí může být zooplankton. V nočních hodinách se zooplankton přesouvá ke hladině, aby se zde krmil. Pokud byl však osvětlen vycházejícím měsícem, zvýšila se predace ryb na planktonu. Stejný efekt může nastat při umělém osvětlení vodní plochy (Gliwicz, 1986)

1.2.5 Rostliny

Umělé osvětlení má vliv i na rostliny. Podíl světla a tmy řídí metabolismus rostlin, vývoj a také jejich celkový růst. Mnoho druhů rostlin reaguje na délku dne a noci. Například krátkodenní rostliny potřebují ke svému správnému růstu dlouhé noci. Pokud jsou tyto druhy ozářeny během noci, chovají se jako by prožily dvě krátké noci místo jedné dlouhé. V důsledku tohoto může rostlina zpomalit nebo zastavit vývoj květu. Děje se tomu tak,

jelikož krátkodenní rostliny mají svou vegetační dobu na podzim, kdy jsou dlouhé noci a krátké dny. (Deda a kol., 2007)

Stromy také reagují na umělé osvětlení. Pokud je strom uměle osvětlen, nedokáže reagovat na změnu délky dne a noci a nezačnou v něm probíhat přirozené procesy spojené se změnou sezóny (Deda a kol., 2007).

Například platany jsou na světlo velmi citlivé. Pokud jsou stromy osvětleny, nepoznají příchod zimy, listy se jim neobarví, ale přímo zelené zmrznou a opadnou (Kondziolka a kol., 2008).

1.2.6 Člověk

Ani člověk není před vlivem světelného znečištění chráněn. V poslední době probíhají výzkumy, které zahrnují především zaměření na hormon melatonin, který nejen že synchronizuje tělo (řídí chod cirkadiánních rytmů), ale je také silný antioxidant, což by se dalo vysvětlit tak, že zabraňuje poškozování DNA, a tudíž i zamezuje výskytu rakoviny (Kondziolka et al., 2008). Bylo prokázáno, že působení po dobu 2 hodin monochromatickým světlem s vlnovou délkou 450 nm ve večerních hodinách způsobuje potlačení tvorby melatoninu. Při použití vlnové délky 550 nm a stejných podmínek tyto změny pozorovány nebyly. Nedávný objev také ukázal, že i noční světýlko používané v mnoha ložnicích může způsobit změny v tvorbě melatoninu (Falchi a kol., 2011).

Za další možný faktor vzniku rakoviny můžeme považovat narušení lidského cirkadiánního neboli denního rytmu. Tento rytmus řízený hormonem melatoninem umožňuje tělu přizpůsobovat se denním hodinám a měnit například zastoupení hormonů, usměrňovat aktivitu mozku nebo regulovat buněčnou aktivitu. Narušením tohoto rytmu mohou vzniknout některé zdravotní problémy, jako například nespavost, deprese, kardiovaskulární onemocnění a také již zmíněná rakovina (Chepesiuk, 2009).

Dalším problémem je narušení cirkaanuálního, tedy ročního rytmu. Člověk byl v létě zvyklý na přirozené střídání dlouhých dnů a krátkých nocí a v zimě tomu bylo naopak. To člověku dovoľovalo si v létě udělat zásoby podkožního tuku na zimu. V současné době člověk prožívá celoroční léto a z tohoto důvodu může světelné znečištění přispívat i k obezitě (Kondziolka et al., 2008).

1.3 Vývoj světelného znečištění v čase a prostoru

Přirozená tma byla součástí lidského života již od počátku lidské existence. Člověk se vyvíjel v podmínkách, kde se přirozeně střídal den a noc. Potřeba člověka svítit v noci panuje od nepaměti, pravděpodobně z důvodu, že člověk je denní organismus, a proto se při osvětlení cítí v bezpečí (Horts, 2007).

Od doby, co se člověk naučil získávat oheň, začal svítit do tmy v okolní krajině. Oheň jako zdroj světla člověk využíval nejprve při okrajích svých sídel jako ochranu před možnými útoky nepřátel. Tento zdroj světla však nebyl významný pro krajinu (Horts, 2007).

Teprve po průmyslové revoluci se lidská sídla začala rozvíjet s takovou intenzitou, až vzniklo množství umělého světla nadmíru ovlivňující životní prostředí. Samotný vývoj osvětlení je úzce spjat s vývojem lidských sídel, které člověk osvětluje. Také vývoj efektivnějších svítidel zvyšuje intenzitu umělého světla v prostředí. Nejprve se k osvětlení využívalo plynových svítidel, později byla vynalezena žárovka, která ještě urychlila trend osvětlování (Horts, 2007).

Světlo, které dříve umožňovalo lidem pracovat do noci, nebo sloužilo k ochraně, začalo pronikat do nočního prostředí. V důsledku rozvoje umělého osvětlení dochází ke světelnému znečištění, které se dále rozšiřuje (Horts, 2007).

Příkladem ze současnosti může být Velká Británie. Zde proběhla studie, kde je popisováno ztrojnásobení intenzity světla od roku 1993 do roku 2000 (Artificial Light in the Environment ,2009).

1.3.1 Omezení světelného znečištění

Světelné znečištění na základě výše uvedených studií je problém pro životní prostředí a je tedy nutné hledat možnosti, jak ho správně kvantifikovat a následně omezovat. Příkladem jsou Benátky, konkrétně čtvrť San Marco. Zde svítí pouze přiměřenou intenzitou z důvodu zachování historického rázu města. Při pokusech změnit používaný typ svícení mnoho z obyvatel vyjádřilo svůj nesouhlas. (Hollan, 2002)

Dalším příkladem může být jeden z prvních parků, kde chrání přirozenou tmu, je to území Zselic v Maďarsku. Toto území s rozlohou 9000 hektarů je chráněno z důvodu velké kvality nočního prostředí, jelikož zde vliv uměle vytvořeného světla nepřevyšuje přirozený jas oblohy (Kolláth, 2010). Tyto parky jsou vyhlašovány společností International Dark-Sky Association. Jedná se o území, která byla vyhodnocena podle navržených kritérií, která spadají do jedné ze tří kategorií: zlatá, stříbrná nebo bronzová. Parkem se může stát jakákoliv oblast, která splňuje minimálně bronzovou úroveň. Tato úroveň je

charakterizována jako oblast, která má jas oblohy maximálně 5-5,9 magnitudy na čtvereční úhlovou vteřinu (jednotka využívaná v astronomii, určující jas oblohy). Důvodem vzniku těchto oblastí bylo zachování přirozené noční oblohy v chráněných územích, chránění oblastí s vysokou kvalitou noční oblohy, umožnit pozorovat přirozenou noční oblohu dalším generacím, využít území pro profesionální i amatérskou astronomii. Cílem je také ustanovit noční oblohu jako hodnotu, kterou je potřeba chránit, a zajistit mezinárodní uznání těchto území, informovat o území s vysokou kvalitou noční oblohy (www.darksky.org).

Velkého pokroku v zařazení světelného znečištění do legislativy dosáhlo severní Chile. Tato oblast tvořená regionálními lokalitami zavedla zákon regulující světelné znečištění. Zákon, který platí od roku 1999, udává povinnost upravit pouliční osvětlení na osvětlení podléhající dané normě. Zákon usměrňuje i dobu, po kterou je možno osvětlovat sportovní areály a billboardy. Zařazené regiony podle navrhnutého plánu přeměnily všechny své stávající pouliční lampy na lampy minimalizující vznik světelného znečištění. Myšlenka k přebudování vznikla z potřeby nepodporovat negativní vliv světelného znečištění a dále jako možné řešení v šetření elektrickou energií. Mnoho z okolních států bylo tímto projektem osloveno a začalo uvažovat o možných změnách i na svém území. (Sanhueza a kol., 2007)

V Lombardii 12. března 2000 byl uveden v platnost zákon s názvem „Naléhavá opatření ve věci úspor energie při užití venkovního osvětlení a boje proti světelnému znečištění“. Tento zákon reguluje světelné znečištění a je vytvořen na regionální úrovni. Jedná se o první zákon tohoto typu v Evropě. Svým působením upravuje limit možného vyzařování světla do horního poloprostoru lamp. Dále je zakázáno osvětlovat reklamní tabule směrem vzhůru. Existují zde také ochranná pásma observatoří. Obce jsou povinné snížit vyzařování světelného znečištění na mez určenou zákonem. Pokud nejsou dodrženy limity, viník musí zaplatit odpovídající sankce (Kondziolka a kol., 2008).

1.4 Světelné znečištění v české republice

Světelné znečištění nalezneme i v České republice. Vlivem rozšiřování pouličního osvětlení a využíváním nových silných lamp světelné znečištění roste. Na našem území vzniká světelné znečištění z různých zdrojů.

1.4.1 Zdroje světelné znečištění v České republice

Komunikace

Lampy používané k osvětlení komunikací jsou ve velké míře již zastaralé a svítí mnohdy tam, kde není světlo potřeba. Nejen staré lampy, ale také nové kulaté lampy svítící všemi směry jsou zdrojem světelného znečištění. Tento zdroj je největší z důvodu velkého výskytu pouličního osvětlení na území České republiky (Suchan, 2004).

Parky

Existuje velké množství osvětlených parků, kde se nejen osvětlují cesty, ale jsou nasvíceny i stromy. K tomuto osvětlení se využívají silná světla, která navíc svítí směrem k nebi. Vzniká tak velké množství umělého světla, které uniká do nejen do atmosféry, ale navíc negativně ovlivňuje i samotné organismy, na které dopadá (Suchan, 2004).

Sjezdovky Krkonoše

V České republice se nachází pouze malé množství sjezdovek, proto jsou na celém území pouze malými znečišťovateli, avšak pokud bereme lokální hledisko, je znečištění velké (Hollan, 2004).

V případě sjezdovek můžeme hovořit o velké nerovnováze mezi denním a nočním cyklem. Během dne se sjezdovky velmi podobají přírodním ekosystémům, avšak v noci se osvětlují velkým množstvím silných světél, které narušují krajinu (Hollan, 2004).

Světla jsou nejen silná, ale také jsou špatně směřovaná a velké množství světla svítí mimo potřebnou plochu a také na oblohu (Hollan, 2004).

Důležitým faktem je také to, že Krkonoše spadají do zvláště chráněného území a světelným znečištěním se zde nezabývají (Hollan, 2004).

Osvětlení budov

V České republice je v noci osvětleno velké množství budov, především památek. Tyto budovy jsou téměř ve všech případech osvětleny směrem vzhůru a vzniká zde světelné znečištění. Přitom náprava je možná změnou osvětlení, kdy je objekt osvětlen shora dolů, nebo využitím krytů vyrobených přímo na míru dané budovy (Suchan, 2004).

Bezpečnostní osvětlení

Na mnoha místech, ať už to jsou parkoviště, venkovní prostory firem, nebo třeba sklady, je instalované silné osvětlení pro zvýšení bezpečnosti. Bohužel tato světla nejsou nijak regulovaná a často svítí do horního poloprostoru (Suchan, 2004).

Osvětlení stadionů a sportovišť

I když jsou tyto zdroje zapnuty pouze občasně, způsobují kvůli použitým silným reflektorům velké světelné znečištění, i když pouze na lokální úrovni (Suchan, 2004).

Osvětlení billboardů

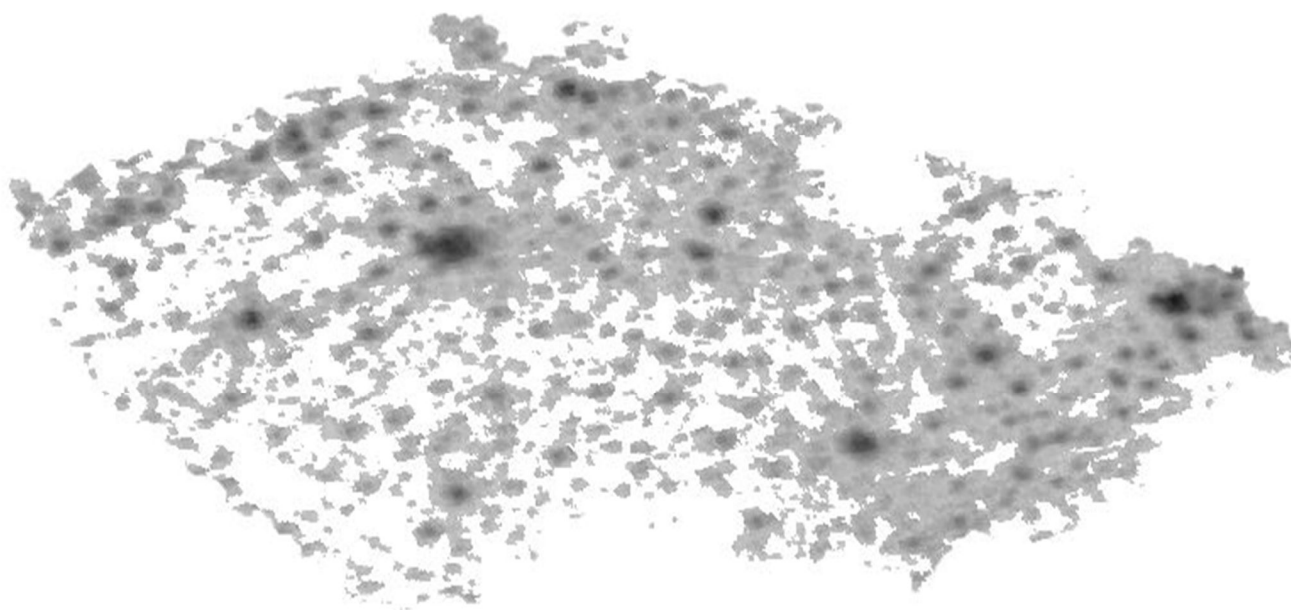
V České republice způsobují osvětlené billboardy velké světelné znečištění. Jsou osvětlovány především zespodu a tento fakt způsobuje, že veliké množství světla je zbytečně vysvíceno do atmosféry. Jako nápravu lze upravit směr osvětlení, tedy osvětlit billboard směrem dolů (Suchan, 2004).

1.4.2 Stav světelného znečištění v České republice

Česká republika je zatížena světelným znečištěním více než je tomu v jiných zemích. Je to způsobeno dvěma faktory. Za prvé je to poloha. Země, které se nacházejí například u pobřeží, mají od světelného znečištění částečnou úlevu, jelikož na moři najdeme pouze několik zdrojů světla. Česká republika je bohužel obklopena dalšími státy, které také mají na svém území světelné znečištění a to proniká až na naše území. Druhým faktorem je nedostatek vysokých hor, přes které v jiných zemích neproniká světlo. Tento nedostatek v České republice světelné znečištění zvyšuje (www.odbornecasopisy.cz).

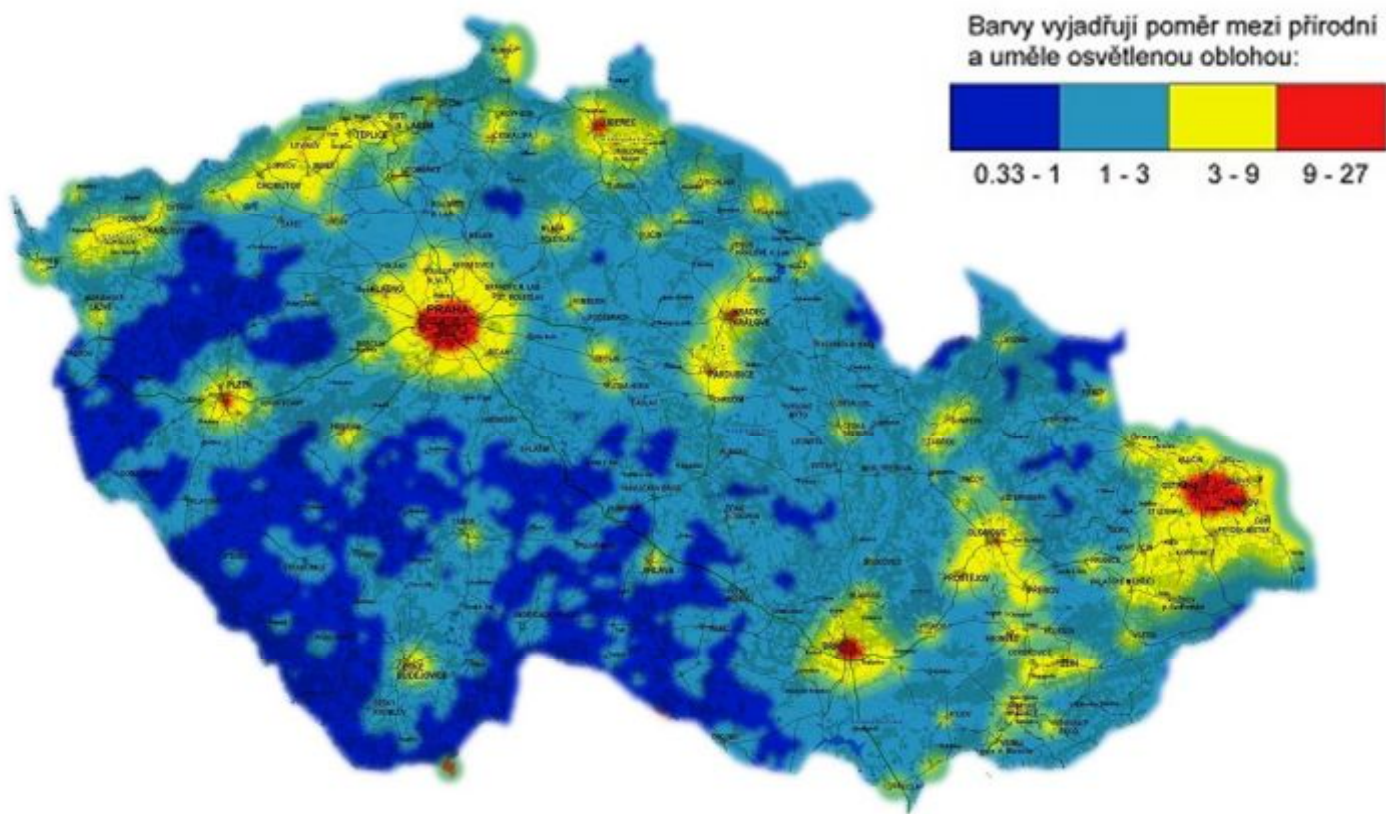
V české republice probíhají převážně lokální výzkumy založené na některé z metod uvedených dále. Celkovým stavem se podrobněji zabývají pouze některé studie. Jedním z příkladů je studie od Jana Hollana a kol. 2004. V této studii se autoři zabývali emisemi

světla na území České republiky. Z datových podkladů získaných se satelitů NOAA vypočítali hodnoty vyzářeného světla pro vybraná města. Tyto zjištěné hodnoty využili k dalšímu výpočtu spotřebované energie, které porovnali s daty spotřeby elektrické energie, a došli k závěru, že tímto způsobem se dá spotřeba energie zjistit. Nedostatkem celoplošných studií v České republice je pouze úzké zaměření, jako například v této studii je cílem pouze zjištění vyzářené energie. Pro návrhy řešení při snižování světelného znečištění je potřeba propojit technické parametry také s údaji o krajině a ekologii a vytvořit tak sofistikovanější přístupy při řešení problémů s rušivým světlem (Hollan a kol., 2004).



Obrázek č. 3: Mapové podklady ze satelitů NOAA, pro výpočet emisí světla na území České republiky (Hollan a kol., 2004).

Další studie pochází od Cinzana a kol. 2004, kteří zkoumali jas oblohy nad Evropou. Na této mapě je možno vidět, že v České republice se již nevyskytuje místo s přirozeným výskytem jasu oblohy. Tmavě modrá barva na mapě totiž znamená zvýšení od přirozeného jasu o 0,33-1 (přirozený jas je 1, znamená to tedy, že nejtmaší místa v České republice mají jas 1,33) (Hollan a kol., 2004).



Obrázek č. 4: Mapa jasů noční oblohy v České republice (Hollan a kol., 2004).

1.4.3 Omezení světelného znečištění v České republice

Hornbach Praha

Na parkovišti tohoto obchodního domu jsou použita plně cloněná svítidla s plochým spodním krytem, která minimalizují únik světla mimo potřebnou plochu (Suchan, 2004).

Jizerská oblast tmavé oblohy

Největším projektem v České republice je oblast tmavé oblohy (Izera dark-sky park). Nachází se v Jizerských horách, oblast zahrnuje horní hraniční část údolí Jizery a údolí Jizerky. Je to území o rozloze přibližně 75km². Území bylo vymezeno na základě charakteru reliéfu a množství umělého světla, aby splňovalo astronomické podmínky. Oblast vznikla na podporu amatérské astronomie a také jako oblast, která podněcuje ochranu noční oblohy v České republice. Nalezneme zde informační tabule popisující neustálé rozšiřování světelného znečištění (www.izera-darksky.eu).

Hamr sport Praha

Osvětlení tohoto areálu je zvoleno tak, aby neoslňovalo hráče, kteří jej využívají, také aby světlo neobtěžovalo občany, kteří mají byty v okolních domech, a v neposlední řadě aby světlo nesvítilo na přilehlý rybník. Byla zde použita plně cloněná svítidla s plochým dolním krytem, která nesvítí do horního poloprostoru. Použitím těchto svítidel majitelé také ušetří na spotřebě energie a návratnost svítidel je přibližně 6 let (Suchan, 2004).



Obrázek č. 5: Hamr sport Praha. Svítidla použitá v areálu jsou plně cloněná s plochým spodním krytem a minimalizují tak únik světla na nevhodná místa (Suchan, 2004).

1.5 Detekce a způsoby modelování světelného znečištění v životním prostředí

Metody detekce světelného znečištění jsou stále v rozvoji. Tento druh znečištění začal být chápán jako negativní teprve před několika lety. Vývoj metod pro detekci světelného znečištění je úzce spojený s rozvojem umělého osvětlení sídel a cest, které člověk využívá. Osvětlení měst má bohužel charakter neudržitelného rozvoje, proto nutnost detekce nežádoucího osvětlení narůstá. V současné době existuje několik metod detekování světelného znečištění. Tyto metody se liší jak svou náročností, tak požadavky na současné

technologie. Při detekování světelného znečištění se využívají přístroje, které jsou založené na měření vybraných fotometrických veličin (svítivost, osvětlení a jas).

Fotometrické veličiny

K objektivnímu vyjádření fyzikálních veličin zdroje světla se využívají fotometrické veličiny. Nejdůležitější z nich jsou svítivost, osvětlení a jas.

Svítivost (I) se využívá k charakterizování zdroje světla (Lepil a kol., 2001). Jednotkou je kandela (cd). Kandela z lat. *candela* = svíčka, jelikož v minulosti se svítivost zdroje porovnávala se svítivostí jedné svíčky. Současná definice z roku 1979 určuje kandelu jako monochromatické světlo s frekvencí 540 THz. Frekvence 540 THz byla zvolena z důvodu, že pro toto světlo je lidské oko (při denním čípkovém vidění) nejcitlivější (Mikulčák a kol., 2005).

Osvětlením (E) se dá vyjádřit svítivost zdroje, který je vzdálený od osvětlené plochy. Jednotkou osvětlení je lux (lx). Osvětlení 1lx má ploška ve vzdálenosti 1m od zdroje světla se svítivostí 1cd při kolmém dopadu světla. K měření se používá luxmetr se zabudovaným senzorem, který převádí osvětlení na elektrický signál; tento signál se zobrazuje na displeji přístroje jako hodnota lux (Lepil a kol., 2001).

Jas (L) je jednotka, která vyjadřuje intenzitu světla odraženého od difuzního materiálu (např. papír, bílá zeď). Jednotkou je kandela na metr čtvereční (cd/m^2) (Lepil a kol., 2001).

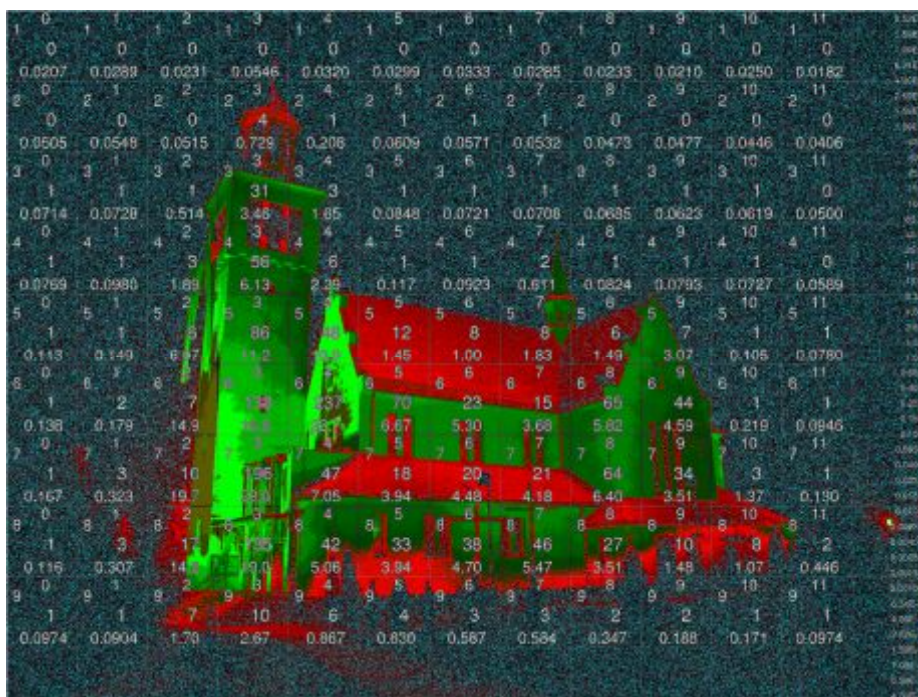
1.5.1 Přístroje využitelné na detekci světelného znečištění

Přenosný spektrofotometr pro měření světelného znečištění

Spektrofotometr umožňuje měření intenzity světla v místě, kde se nachází. Je tedy možné ho využít při automatickém zaznamenávání intenzit dané lokality. Přístroj využívá kamer s CCD (Charged Coupled Device) senzorem, který umožňuje zaznamenávat mnohočetná měření intenzity světla dopadajícího na jeho plochu (Hollan, 2006). Rozlišení čipu je 760x519 pixelů ($9 \times 9 \mu\text{m}^2$ na jeden pixel). Spektrofotometr umožňuje měření intenzity dopadajícího záření v rozsahu od 400 nm do 1000 nm. Je navržený tak, aby bylo jeho používání v terénu nenáročné. Umožňuje velký záběr pro měření a snadnou rychlou kalibraci na místě měření (Cinzano, 2004).

Digitální fotoaparáty

Jedním ze způsobů měření světelného znečištění může být vyhodnocení snímků ve formátu RAW (formát, který obsahuje jen minimálně zpracovaná data ze senzoru) získaných digitálním fotoaparátem obsahujícím CCD čip. Vyhodnocení intenzity osvětleného prostoru jednotkami cd/m^2 je možné při využití speciálně navrženého softwaru raw2lum (Hollan, 2006). Tento software navržený Hollanem umožňuje přeměnit digitální fotoaparáty na fotometrické přístroje. Před samotným hodnocením je nutná kalibrace fotoaparátu. Nejprve se musí pořídit snímek, který neobsahuje světlo (se zakrytým objektivem). Dalším krokem je vyhodnocení bílého světla. Bílé světlo se určuje jako denní světlo, kdy je slunce vysoko na obloze. Pro hodnocení je potřeba mít ještě bezbarvou rozptylující plochu. Příkladem může být papír, ale jako nejvhodnější řešení se prokázalo využití fotometrického bílého standardu, například Spectralon od firmy Labsphere (Hollan, 2006). Tímto způsobem získáme maximální úroveň světla, které je možno zachytit fotoaparátem. Pro vyhodnocení snímku je využito těchto krajních hodnot k vypočítání intenzity světla na snímku. Toto vyhodnocení probíhá pomocí softwaru raw2lum. Výsledkem tohoto zpracování je například obrázek č. 6 s intenzitami osvětlené plochy v cd/m^2 .



Obrázek č. 6: Vyhodnocení RAW snímku digitálního fotoaparátu, na pravé straně je uvedena stupnice v cd/m^2 (Kondziolka a kol., 2008).

Sky Quality Meter

Sky quality meter je kapesní fotometr, který umožňuje měřit jas noční oblohy. Hlavní částí přístroje je čip, který zaznamenává, kolik světla přichází z oblasti, do které je Sky Quality meter namířen. Využívá se především na měření noční oblohy, ale může se s ním

měřit i jas různých těles. Měření udává v jednotkách magnituda na čtvereční úhlovou vteřinu. Tyto jednotky se běžně využívají v astronomii. Stupnice magnitud je obrácená, proto je důležité vědět, že pokud je naměřená hodnota vyšší, tak je obloha tmavší (Cinzano, 2005).

1.5.2 Možné způsoby modelování světelného znečištění

Pro podrobné studium nestačí světelné znečištění pouze lokalizovat, ale také je třeba vytvořit modely, které nám umožní popsat a analyzovat tento jev pro celou zájmovou oblast. Podle zvoleného měřítko můžeme vytvořit model lokálního účinku, kdy například hodnotíme vhodnost typu pouličních lamp ve městě. Pokud si zvolíme širší měřítko, můžeme toho využít k vytvoření map světelného znečištění státu a můžeme tyto mapy dále použít k propojení více oblastí výzkumu. Tímto způsobem můžeme modely dělit na lokální a regionální, či globální.

Modely na lokální úrovni

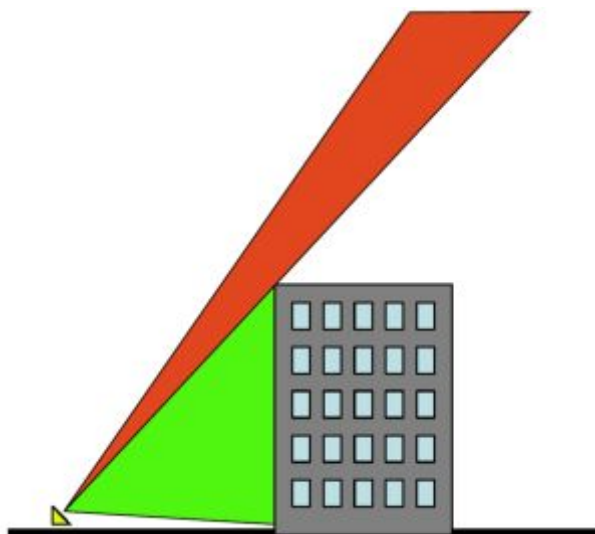
RoadPollution software

Tento software je určen k vytvoření modelu ovlivnění biotopů přilehlými silnicemi. Je navržen pro silnice s dvěma jízdními pruhy, ale umožňuje také při zadání velikosti silnice a umístění pozorovatele výpočet komplexnější silniční sítě. Je také možno vytvořit návrh designerům pouličního osvětlení a určit vhodnost daného svítidla vzhledem ke světelnému znečištění a tímto způsobem také snižovat spotřebu elektrické energie. Celkovým výstupem tohoto modelu jsou údaje v tabulce, které jsou vypočítané ze zadaných parametrů. Může to být například jas nebo osvětlení. Tento software však nebyl navržen pro přesné modelování a slouží spíše jako orientační a to je jeho největší nevýhoda. Model se dá využívat na předběžné studie, při plánování pozemních komunikací, ale nelze ho použít na složitější modelování (Cinzano, 2005).

DIALux (Upward Light Ratio Calculation)

DIALux je software, který je možné využít při modelování směru záření samotných vnitřních nebo venkovních zdrojů. Data jsou vyhodnocena a je vytvořen obraz popisující navrženou situaci, jako je znázorněno na obrázku č. 7, kde červená část je procentuální hodnota z celkového světelného toku zdroje, který svítí mimo vymezený prostor.

Z informace, kolik procent je vyzařováno do atmosféry, se může vyhodnotit celkový jas noční oblohy, který je způsoben umělým světlem (Teikari, 2007).



Obrázek č. 7: Znárodnění světelného toku, který jde nad úroveň budovy, která má být osvětlena.

Software umožňuje také zahrnutí různých stupňů ochrany daného území, jako například zda se zdroj nachází v tmavé oblasti, kterou může být národní park. Nejvyšší stupně mohou znamenat například centra měst. Software navrhuje umístění svítidla tak, aby bylo dosaženo co nemenšího vyzařování energie do horního poloprostoru. Software je navržen především pro modelování samostatných zdrojů světla. Je vhodný pro hodnocení malých území, která jsou nejvíce ovlivněna jedním silným zdrojem světla (Teikari, 2007).

Modely na regionální a globální úrovni

Geografický informační systém (GIS)

Geoinformační metody umožňují modelování světelného znečištění v prostoru a rovněž i jeho vývoj v čase. GIS se z pohledu analýzy světelného znečištění používá především ve spojení s daty dálkového průzkumu země (družicové snímky).

Prostředí GIS bylo použito v rámci projektu MANTLE (mapping night-time light emissions), jehož hlavním cílem bylo využití družice z řady NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) k získání mapových podkladů, které zobrazují vyzářené světlo a intenzitu v městských oblastech. Za pomoci satelitů schopných zaznamenat světlo vyzařované pouličním osvětlením určily polohu měst a obcí v oblasti Athén. V projektu byly sledovány dva vlivy světelného znečištění. První vliv představoval světlo vyzařované přímo do oblohy a druhou analyzovanou částí byl jas oblohy. Přímé unikající světlo bylo hodnoceno z družicových snímků pomocí GIS funkce umožňující zobrazit pozorovatelné

objekty na povrchu. Jelikož snímky byly pořízené v noci, tak pozorovatelné oblasti byla místa s výskytem antropogenního světla. Nalezená místa byla analyzována a podle míry viditelnosti objektů byl vytvořen model světelného znečištění pro vymezenou oblast. Pro hodnocení jasu oblohy využili Chalkias a kol. (2006) data získaná pozemním měřením a v prostředí GIS propojili vrstvu dat získaných z družic s vrstvou pozemního měření. Z těchto dat vytvořili model znázorňující oranžovou kopuly unikajícího světla nad okolím Athén. Výsledkem byla mapa intenzity umělého osvětlení v oblasti Athén (Chalkias a kol., 2006).

Pro modelování světelného znečištění se metody využívající dálkového průzkumu používají nejvíce. Je v nich totiž možné zhodnotit rozsáhlé území. Některé metody však nejsou přesné, jelikož na výskytu světelného znečištění se nepodílejí pouze samotné zdroje světla, ale velkou roli hraje tak vliv reliéfu krajiny. Například v údolích se bude vyskytovat více světelného znečištění než mimo něj. Je tedy nutné pro zpřesnění měření zahrnout do analýzy také data z jiných zdrojů než jsou satelitní (www.odbornecasopisy.cz).

2. Cíle projektu

- Analýza míry světelného znečištění pomocí dat DPZ (kvantifikace a klasifikace světelného znečištění)
- Určení lokalit minimální a maximální zátěže území světelným znečištěním (extrémní oblasti) a posouzení střetů zájmu daných lokalit s prvky ochrany přírody

3. Hypotéza

V České republice existují místa, která nemají statut ochrany přírody, přitom mají významný potenciál z hlediska kvality noční oblohy.

4. Návrh experimentu

Světlo antropogenního původu vyzařované v noci pochází především z velkých měst a je jedním z hlavních zdrojů astronomického světelného znečištění. Cílem navrhovaného experimentu je hodnotit míru světelného znečištění v České republice. Toto území bude dále klasifikováno podle míry světelného znečištění. Klasifikace bude provedena na základě distančních dat (družicové snímky). Součástí studie bude i analýza rizik, stávajících a potencionálních střetů chráněných území s rostoucím počtem zdrojů umělého osvětlení (nárůstem světelného znečištění).

4.1 Datové podklady

Pro experiment budou použity snímky pořízené satelitní družicí NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), fungující v rámci programu DMSP (The Defense Meteorological Satellite Program). Družice obsahuje dva senzory, které jsou schopné zaznamenat záření světla, které odpovídá vlnovým délkám používaných výbojek v osvětlení. Prostorové rozlišení senzoru družice je 0,56 km. Toto rozlišení je následně snižováno převzorkováním na 2,8 km. Z tohoto důvodu nebudou objektem zájmu solitérní zdroje světla, ale komplexnější části krajiny (míra osvětlení z umělých světelných zdrojů v krajině). Satelitů NOAA je velké množství, řídí se pravidlem, při kterém jsou vždy dva primární satelity, které pořizují snímky, a několik záložních satelitů. Během 24 hodin je možné získat nejméně 4 snímky místa, které jsme si určili pro analýzu. Pro navrhovaný experiment bude získáno maximální množství pořízených snímků, aby bylo možno vyřadit snímky, na kterých se vyskytují negativní faktory, které ovlivňují kvalitu analyzovaného snímku. Snímky vykazující optimální kvalitu se následně analyzují a informace (intenzita světla) na nich obsažená bude průměrována pro výslednou prezentaci údajů.

4.2 Faktory ovlivňující kvalitu snímků

Při práci s družicovými daty je nutno vzít v úvahu některé faktory, které mohou mít vliv na kvalitu daného snímku. Jako největší faktor při hodnocení světelného znečištění působí oblačnost. Tento faktor způsobuje rozptyl a pohlcení záření. Vytváří možné zkreslení, při kterém nejsou analyzována jednotlivá ohniska záření, ale světlo, které je rozptýleno do rozsáhlých území. Také velká část světla je od mraků odražena zpět k zemskému povrchu a v analýze se neprojeví.

Dalším faktorem jsou prachové částice v atmosféře (smog). V místech s výskytem smogu je možno pozorovat světlo, které je rozptýleno do rozsáhlejšího území z důvodu

odrazu světla od prachových částic antropogenního původu v atmosféře. Světelné znečištění může mít tedy specifickou vazbu s jinými druhy znečištění.

Z důvodu možného výskytu těchto faktorů během zpracování projektu budou využita i data meteorologická a klimatická, která umožní nalézt možné zdroje zkraslení a vyřazení (případně korekci) těchto snímků z analýzy. Dále také budou použita topografická data, která umožní zaměřit možnou oblast výskytu těchto faktorů v analyzované části krajiny.

Za jiný typ faktoru také můžeme považovat roční období. V navrhovaném projektu je tento faktor odstraněn zvolením snímků v určité noční hodině, při které je jisté, že bude umělé noční osvětlení již v provozu.

4.3 Určení intenzity světla

Základní charakteristikou, která určuje míru světelného znečištění, je intenzita světla vyzařovaného ze zdroje. Klasifikace intenzity světla bude provedena na základě vyhodnocení satelitních snímků. Na snímku budou zhodnoceny jednotlivé pixely nacházející se na území České republiky. Na pixelech bude vyhodnocena informace o intenzitě světla. Tímto způsobem bude nalezena minimální a maximální intenzita. Tyto hodnoty budou brány jako krajní a hodnoty ležící mezi nimi budou podle stejně rozsáhlého intervalu rozděleny do 7 klasifikačních tříd. Úroveň jedna bude nejméně ovlivněna světelným znečištěním, úroveň sedm nejvíce. Touto klasifikací bude možné vymezit území ovlivněné světelným znečištěním.

4.4 Mapové výstupy

Získané datové podklady budou zpracovány v prostředí GIS. Oblastí zájmu bude území České republiky. První částí práce v GIS bude propojení získaných vrstev intenzity světla s konkrétním územím zemského povrchu, s využitím topografických a socioekonomických prostorových dat získaných z veřejných zdrojů (geoportál veřejné správy, mapový portál AOPK apod.). Tímto způsobem získáme místa v České republice, ke kterým můžeme přiřadit jejich intenzitu světla. Z důvodu vyhodnocování rozsáhlejších území v České republice, které je možno zhodnotit díky rozlišení družice, budou v projektu zanedbána pozemní kalibrační data.

Vliv reliéfu na prostorovou distribuci světelného znečištění získáme využitím digitálního modelu terénu. Na základě klasifikace světelné intenzity, modelu terénu, topografických dat a hodnot rozšíření biotopů bude navržen model pro vymezení území,

kteřá jsou potencionálně vhodná pro ochranu před světelným znečištěním. Získaný model bude propojen s vrstvou zobrazující území podléhající ochraně životního prostředí.

Zájmovou oblastí budou lokality ležící mimo tato chráněná území. Cílem tohoto hodnocení je definovat a navrhnout vymezení oblastí, které nejsou v současnosti chráněné běžně využívanými kritérii pro ochranu území. Tyto lokality mohou být navrženy na ochranu z důvodů výjimečné kvality nočního prostředí v rámci České republiky.

4.5 Očekávané výsledky

Výsledkem projektu bude pravděpodobně zjištění velkého ovlivnění světelným znečištěním pro Českou republiku. Předpokládané maximální intenzity světla budou v lokalitách velkých městských aglomerací s rozvinutou infrastrukturou (veřejné světlení, billboardy, prosklené kancelářské budovy).

Míra světelného znečištění v České republice může být také zvýšena z důvodu nedostatečného zakotvení světla jako znečišťující látky v zákoně. Světelné znečištění je zmiňováno pouze v zákoně č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů. Podrobnější rozbor zákonu bude diskutován dále v textu.

Výsledky analýzy ovlivňují i lokální charakteristiky – např. místní zdroj světla. Pokud například malá obec vlastní fotbalové hřiště s nainstalovanými halogenovými světly a pokud budou ta světla během pořizování snímku zapnutá, bude vykazovat větší hodnoty světelného znečištění, než jsou hodnoty běžné při ročním chodu obce.

4.6 Využití projektu

Příkladem uplatnění tohoto projektu může být oblast Novohradských hor, konkrétně vrch Myslivna. Na tomto místě je navrhovaná výstavba astronomické observatoře, která se bude zaměřovat na sledování vesmírných těles, která by se mohla srazit se Zemí. (www.iDnes.cz)

Oblast byla vybrána z důvodu nízkého procentuálního pokrytí oblasti oblačností a především z důvodu nízkého výskytu světelného znečištění. Navrhovaná metoda by mohla být využita k zahrnutí takovýchto území vhodných k pozorování noční oblohy do oblastí s ochranou noční oblohy. Nemohlo by tedy dojít k degradaci noční oblohy v okolí z důvodu neregulované zástavby a následného využívání nevhodných svítidel.

Takto vyhodnocená oblast by také přispěla k amatérské astronomii, která by zde mohla být provozována s kvalitnějšími výsledky než v oblasti znečištěné. Nově vzniklé

informační centrum by zprostředkovávalo návštěvníkům informace o pozorování noční oblohy a také by zde probíhala osvěta o světelném znečištění formou informačních tabulí.

Dalším využitelným výstupem projektu bude samotná klasifikace intenzity umělého osvětlení. Klasifikace umožní zobrazení lokalit s extrémním výskytem světelného znečištění. V těchto lokalitách by mohl proběhnout navazující výzkum, který by zobrazil možné změny ve výskytu světelného znečištění v závislosti na použitém typu svítidel.

Výstupy projektu mohou sloužit jako podkladový materiál pro návrh vytvoření zákonné normy, která by upravovala světelné znečištění v České republice. Současné zahrnutí světelného znečištění v zákoně č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší) je nedostatečné. Důvodem je novelizace původního znění §2 písmeno r, kde bylo světelné znečištění popisováno jako „každá forma osvětlení umělým světlem, které je rozptýleno mimo oblasti, do kterých je určeno, zejména pak míří-li nad hladinu obzoru.“ Po novelizaci 1. 5. 2004 je do současné doby světelné znečištění charakterizováno jako „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“ (www.mzp.cz). Rozvolnění regulačního režimu spočívá především v tom, že původní verze zákona předpokládala vydání obecně platného prováděcího předpisu, který by vymezoval a upřesňoval základní ochranný režim před světelným znečištěním (citlivá místa a prostory, opatření ke snižování a předcházení daného znečištění, limity stanovující horní mez) (seminář Temné nebe, 2008). Takový prováděcí předpis nebyl nikdy vydán a po novelizaci byla myšlenka podrobnější obecné regulace zcela opuštěna a nahrazena ustanovením (§ 50 odst. 3 písm. c): „Obec může obecně závaznou vyhláškou v oblasti opatření proti světelnému znečištění regulovat promítání světelných reklam a efektů na oblohu.“ Z tohoto důvodu vyplývá potřeba normy k regulování světelného znečištění, která by mohla čerpat podkladové materiály z navrhovaného projektu.

Další využití výstupů projektu je také možné při plánování rozvoje území. V současné době existuje několik zjišťovacích řízení, které určují dopady zástavby na krajinu. V žádném není však hodnoceno možné vyzařování světla ze stavby do přilehlého okolí. Oblasti urbanistického rozvoje mohou mít vliv na distribuci světelného znečištění v krajině a na ovlivnění organismů citlivých na ozáření světlem. Tento projekt poskytne potřebné údaje na hodnocení dopadů na biotu.

4.7 Časový harmonogram projektu

Úkol	1. rok projektu				2. rok projektu				3. rok projektu				
Získání datových podkladů	■	■											
Zpracování podkladů			■	■	■								
Analýza v GIS							■	■	■	■			
Vyhodnocení výsledků										■	■	■	

4.8 Finanční zhodnocení projektu

	1. rok projektu	2. rok projektu	3. rok projektu
Datové podklady	50 000Kč	-	-
Software	50 000Kč	-	-
Neinvestiční materiál (kancelářské potřeby apod.)	2 000Kč	1 000Kč	1 000Kč
Služby (skenování dat, tisk)	5 000Kč	-	5 000Kč
Platy a odměny (1 pracovník 40% úvazek)	100 000Kč	100 000Kč	100 000Kč
Celkem (rok)	207 000Kč	101 000Kč	106 000Kč
Celkem projekt	414 000Kč		

5. Přílohy

Seznam příloh:

Příloha 1

Světelné znečištění v Evropě.

Příloha 2

Počet hvězd viditelných pouhým okem.

Příloha 3

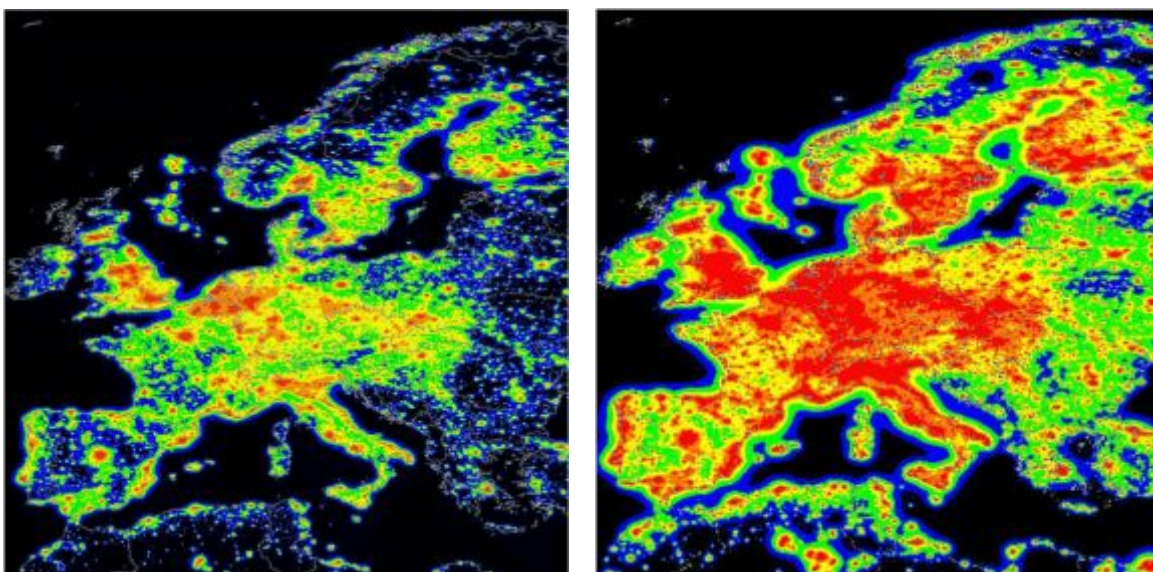
Světová mapa zobrazující světelného znečištění.

Příloha 4

Zdroje antropogenního světla.

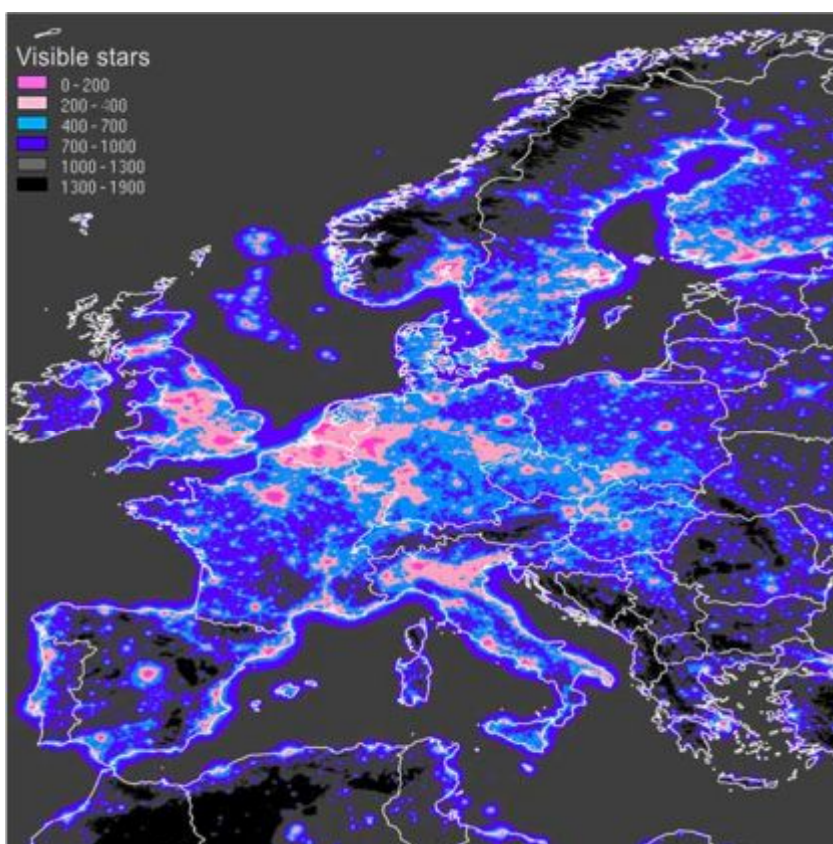
Příloha č. 1

Světelné znečištění v Evropě (vlevo rok 2000, vpravo odhad pro rok 2025 při zachování stávajícího tempa rozvoje) (seminář Temné nebe, 2008).



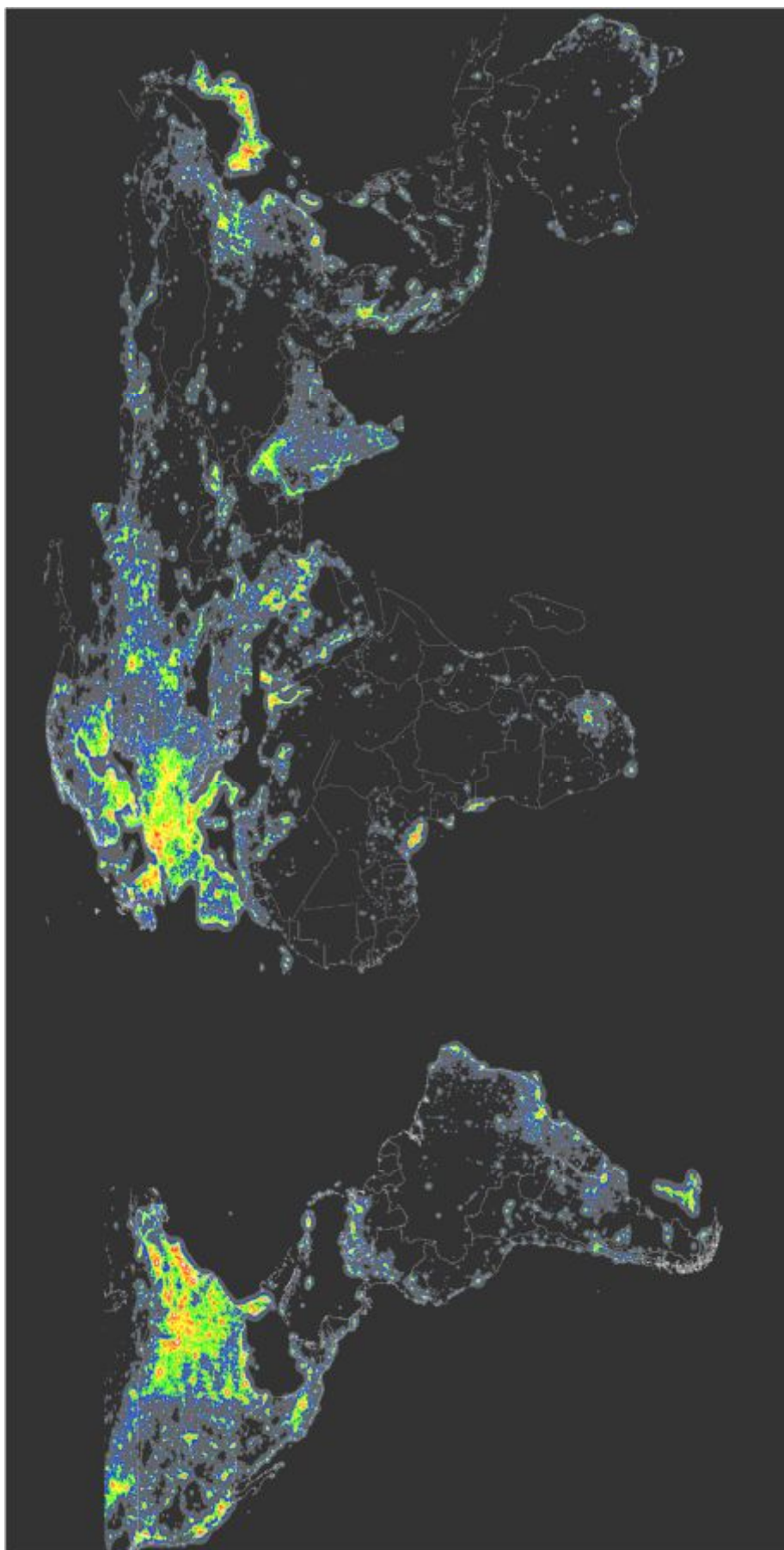
Příloha č. 2

Počet hvězd viditelných pouhým okem (seminář Temné nebe, 2008).



Příloha č. 3

Světová mapa zobrazující světelné znečištění (Cinzano a kol., 2001).



Příloha č. 4

Zdroje antropogenního světla ([Www.visibleearth.nasa.gov](http://www.visibleearth.nasa.gov)).



7. Literatura

BUCHANAN, BW. Low-illumination prey detection by squirrel treefrogs. *Journal of Herpetology*. 1998, č. 32, 270–274.

CINZANO, P, F FALCHI a CD ELVIDGE. The first world atlas of the artificial night sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2001, č. 328, 689–707.

CINZANO, P. A portable spectrophotometer for light pollution measurements. *Memorie Societa Astronomica Italiana Supplementi*. 2004, č. 5,

CINZANO, P. Night sky photometry with Sky Quality Meter. *ISTIL*. 2005, č. 9,

CINZANO P. Roadpollution Software for the analysis of road lighting installations and the evaluation of the environmental impact due to light pollution. User Manual. 2005

DEDA, P, I ELBERTZHAGEN a M KLUSSMANN. Light pollution and the impacts on biodiversity, species and their habitats. *Secretariat of the Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals*. 2007, č. 27, 133-139.

De MOLENAAR, JG, DA JONKERS a ME SANDERS. Road illumination and nature. III. Local influence of road lights on a black-tailed godwit (*Limosa l. limosa*) population. *Wageningen, The Netherlands: Alterra*. 2000.

DERRICKSON, KC. Variation in repertoire presentation in northern mockingbirds. *Condor*. 1988, č. 90, 592–606.

ELLIS, R a S WASHBURN. Evaluation of the Safety and User Response to Embedded Roadway Lighting Systems on an FDOT Demonstration Project. 2003.

ELVIDGE, C, KE BAUGH, EA KIHN a ER DAVIS. Mapping city lights with nighttime data from the DMSP Operational Linescan System. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1997, č. 63, 727–734.

Evans Ogden, LJ. Collision course: the hazards of lighted structures and windows to migrating birds. *Toronto: World Wildlife Fund Canada and Fatal Light Awareness Program*. 1996.

FALCHI, F, P CINZANO, CHD ELVIDGE, DM KEITH a A HAIM. Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Journal of Environmental Management*. 2011, č. 92, 2714-2722.

FRANK, KD. Impact of outdoor lighting on moths: an assessment. *Journal of the Lepidopterists' Society*. 1988, č. 42, 63–93.

GLIWICZ, ZM. A lunar cycle in zooplankton. *Ecology*. 1986, č. 67, 883–897.

HAILMAN, JP. Bimodal nocturnal activity of the western toad (*Bufo boreas*) in relation to ambient illumination. *Copeia*. 1984, 283–290.

HEALTH COUNCIL OF THE NETHERLANDS. Impact of outdoor lighting on man and nature. *The Hague: Health Council of the Netherlands*, 2000.

HILL, D. The impact of noise and artificial light on waterfowl behaviour: a review and synthesis of the available literature. *Norfolk, United Kingdom: British Trust for Ornithology*. 1990, Zpráva č. 61.

HOLLAN, J. Obec v noci, *Hvězdárna a planetárium M. Koperníka v Brně*. 2002, 1-28.

HOLLAN, J. Příklady mapování světelného znečištění. *Mapování světelného znečištění a negativní osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky*. 2004, 43-74.

HOLLAN, J. RGB radiometrie digitálními fotoaparáty. Workshop NDT 2006. *Vysoké učení technické v Brně*. 2006, 31-37.

HOLLAN, J a V VOTRUBA. České světelné emise dle satelitních dat. *Mapování světelného znečištění a negativní osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky*. 2004, 98-105.

HORTS, P. The importance of protecting the night sky. *StarLight: a common heritage*. 2007, 71-77.

CHALKIAS, C, M PETRAKIS, B PSILOGLOU a M LIANOU. Modelling of light pollution in suburban areas using remotely sensed imagery and GIS. *Journal of Environmental Management*. 2006, č. 79, 57-63.

CHEPESIUK, R. Missing the Dark Health Effects of Light Pollution. *Environmental Health Perspectives*. 2009, č. 117, 20-27.

KOLLÁTH, Z. Measuring and modelling light pollution at the Zselic Starry Sky Park. *Journal of Physics*. 2010, č. 218, 1-7.

KONDZIOLKA, J. et al. *Světelné znečištění*. Sezimovo Ústí: Hvězdárna Františka Pešty, 2008.

LEPIL, O, M BEDNAŘÍK a R HÝBLOVÁ. *Fyzika II: pro střední školy*. Praha: Prometheus, 2001.

MAZEROLLE, MJ, M HUOT a M GRAVEL. Behavior of amphibians on the road in response to car traffic. *Herpetologica*. 2005, č. 62, 380–388.

MIKULČÁK, J, J CHARVÁT, M MACHÁČEK a F ZEMÁNEK. *Matematické, fyzikální a chemické TABULKY a VZORCE: pro střední školy*. Praha: Prometheus, 2005.

MIZON, B. *Light pollution: responses and remedies*. London: Springer-Verlag, 2002.

PHILLIPS, JB a SC BORLAND. Use of a specialized magnetoreception system for homing by the eastern redspotted newt *Notophthalmus viridescens*. *Journal of Experimental Biology*. 1994, č. 188, 275–291.

PLACYK, JS a BM GRAVES. Foraging Behavior of the RedBacked Salamander (*Plethodon cinereus*) under Various Lighting Conditions. *Journal of Herpetology*. 2001, č. 35, 3.

RAND, AS, ME BRIDAROLLI, L DRIES L a MJ RYAN. Light levels influence female choice in Tungara frogs: predation risk assessment? *Copeia*. 1997, 447–450.

RICH, C a T LONGCORE. *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Washington, DC: Island Press, 2006.

SALMON, M, MG TOLBERT, DP PAINTER, M GOFF a R REINERS. Behavior of loggerhead sea turtles on an urban beach. II. Hatchling orientation. *Journal of Herpetology*. 1995, č. 29, 568–576.

SANHUEZA, P, HE SCHWARZ a MG SMITH. The OPCC experience protecting the skies of northern Chile, *StarLight: a common heritage*. 2007, 427-434.

SUGALSKI, MT a DL CLAUSSEN. Preference for Soil Moisture, Soil pH, and Light Intensity by the Salamander, *Plethodon cinereus*. *Journal of Herpetology*. 1997, č. 31, 2.

SUCHAN, P. Analýza znečišťovatelů světlem na území České republiky. *Mapování světelného znečištění a negativní osvětlovaní umělým světlem na živou přírodu na území České republiky*. 2004, 90-97.

TEIKARI, P, Light pollution: definition, legislation, measurement, modeling and environmental effects. *Universitat politècnica de catalunya*. 2007, 39.

THE ROYAL COMMISSION ON ENVIROMENTAL POLLUTION. *Artificial Light in the Environment*. UK: The Stationery Office Limited on behalf of the Controller of Her Majesty's Stationery Office, 2009.

VERHEIJEN, FJ. Photopollution: artificial light optic spatial control systems fail to cope with: Incidents, causations, remedies. *Experimental Biology*. 1985, č. 44, 1–18.

WISE, S. Studying the ecological impacts of light pollution on wildlife: amphibians as models. *Journal of Thermal Biology*. 2007, č. 6, 107-116.

Další zdroje:

Raw2lum. *Amper* [online]. 2000 [cit. 2012-02-06]. Dostupné z: <http://amper.ped.muni.cz/light/luminance/>

Seminář Temné nebe. Hvězdárna Františka Pešty, Sezimovo Ústí, 2008.

Why Are Moths and Other Insects Attracted to Light?. In: John V. Richardson Jr., Ph.D. [online]. 2008 [cit. 2012-02-12]. Dostupné z: <http://jvrichardsonjr.net/insects/phototaxis.htm>

Www.geoportal.gov.cz. Národní geoportál INSPIRE [online]. 2012 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: <http://geoportal.gov.cz>

Www.iDnes.cz. IDnes [online]. 2009 [cit. 2012-03-30]. Dostupné z: http://zpravy.idnes.cz/observator-v-novohradskych-horach-ma-zemi-chronit-pred-asteroidy-p92-/zahranicni.aspx?c=A090211_124556_vedatech_itu

Www.izera-darksy.eu. Jizerská oblast tmavé oblohy [online]. 2007 [cit. 2012-02-15]. Dostupné z: <http://www.izera-darksy.eu/izera/izera-cs.html>

Www.mzp.cz. Ministerstvo životního prostředí [online]. 2002 [cit. 2012-03-30]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/ED2982986242AF40C125754B003BB44A/\\$file/86-02%20ovzduší.pdf](http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/ED2982986242AF40C125754B003BB44A/$file/86-02%20ovzduší.pdf)

Www.odbornecasopisy.cz. FCC PUBLIC [online]. 2000 [cit. 2012-10-13]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=35944

Www.portal.nature.cz. Portál informačního systému ochrany přírody [online]. 2007 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: <http://portal.nature.cz>

Www.visibleearth.nasa.gov. NASA [online]. 2000 [cit. 2012-03-31]. Dostupné z: <http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=55167>

Www.odbornecasopisy.cz. FCC PUBLIC [online]. 2000 [cit. 2012-10-13]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=35944