

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



VLIV SVĚTELNÉHO ZNEČIŠTĚNÍ NA ŽIVOČICHY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: **Ing. Lenka Wimmerová, MSc., Ph.D.**

Bakalant: **Anna Kaslová**

2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Anna Kaslová

Krajinářství

Územní technická a správní služba

Název práce

Vliv světelného znečištění na živočichy

Název anglicky

Influence of Light Pollution on Animals

Cíle práce

Cílem práce je podrobná rešerše současného stavu poznání o dopadech světelného znečištění na živočišné druhy. První část rešerše bude zaměřena na definici světelného znečištění, světelné zdroje, jejich rizika a na legislativní ukotvení této problematiky. Druhá část rešerše bude zaměřena na vliv světelného znečištění na vybrané druhy živočichů nacházejících jak v České republice, tak v zahraničí.

Metodika

Bakalářská práce má rešeršní charakter. Metodicky půjde o vytvoření aktuálního a účelného literárního přehledu o vlivu světelného znečištění na živočišné druhy v ČR a ve světě.

Doporučený rozsah práce

cca 40 stran textu a 5 stran příloh

Klíčová slova

světelné znečištění, světelný zdroj, vliv, dopad, živočich, druh, populace, ekosystém

Doporučené zdroje informací

- Longcore, T., Rich, C., 2004: Ecological Light Pollution. *Front. Ecol. Environ.* 2(4): 191-198.
- Mizon, B., 2012: *Light Pollution: Responses and Remedies*, 2nd Edition. Springer Science & Business Media, New York, 282 s.
- MŽP, 2017: Informace pro Vládu ČR o problematice světelného znečištění. 69 s. „nepublikováno“. Dostupné z <https://www.mzp.cz/cz/news_170724_SZ>.
- Navrátilová, K., 2019: Světelné znečištění a jeho rizika. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha, 61 s (bakalářská práce).
- Petrucha, M., 2011: Vliv světelného znečištění na životní prostředí. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Brno, 57 s (bakalářská práce).
- Rodríguez, A. et al., 2015: GPS Tracking for Mapping Seabird Mortality Induced by Light Pollution. *Sci. Rep.* 5: 10670.
- Stone, T., 2017: Light Pollution: A Case Study in Framing an Environmental Problem, *Ethics, Policy & Environ.*, 20(3), 279-293.
- TUHÁČEK, M. – JELÍNKOVÁ, J. *Právo životního prostředí : praktický průvodce*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5464-2.

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Lenka Wimmerová, MSc, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 23. 11. 2019

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 25. 11. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 19. 05. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Vliv světelného znečištění na živočichy vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 16. června 2020

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala Ing. Lence Wimmerové, MSc., Ph.D., za odborné vedení práce, velkou ochotu a trpělivost. Dále bych chtěla poděkovat svým rodičům za podporu při studiu.

Vliv světelného znečištění na živočichy

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je zpracování podrobné rešerše dostupných informací o vlivu světelného znečištění na různé živočišné druhy. Úvodní část rešerše se zabývá světlem a světelnými zdroji, definicí pojmu světelné znečištění, příčinami světelného znečištění a jeho druhy. Dále se bakalářská práce zaměřuje na negativní aspekty nadměrného osvětlení na různé oblasti života a legislativní ukotvení této problematiky. Významná část práce je pak zaměřena na dostupné informace o negativních dopadech světelného znečištění na živou přírodu a současný stav poznání o těchto dopadech na vybrané druhy volně žijících živočichů. Výsledky použitých studií, z velké části zahraničních, poukazují na výrazný negativní vliv na řadu živočišných druhů, jako například korýši, hmyz, plži, obojživelníci, ryby, plazi, savci a ptáci. Nejčastěji popisovaným efektem je ztráta orientace, narušení cirkadiánních rytmů, zvýšená úmrtnost, změny ve složení druhů, snížení reprodukce a změny v trofickém řetězci.

Klíčová slova: světelné znečištění, světelný zdroj, vliv, dopad, živočich, druh, populace, ekosystém

Abstract

The aim of this bachelor work is a detailed review of available information about the impact of light pollution on various animal species. The introductory part of the work is focused on light and light sources, the term definition of light pollution, causes of light pollution and its types. Furthermore the bachelor work's deals with negative aspects of excessive lighting in various area of life and the current legislation relevant to this issue. The significant part of the work is focused on the available information on negative impacts of light pollution on wildlife and the state of knowledge about these impacts on selected wildlife species. Results of the studies used, which majority of them are from foreign sources, point out the significant negative effects on many animal species, such as crustaceans, insects, snails, amphibians, fish, reptiles, mammals and birds. The most frequently observed effects are loss of orientation, disruption of circadian rhythms, increased mortality, changes in species composition, decreased reproduction and changes in a trophic chain.

Keywords: light pollution, light source, influence, impact, animal, species, population, ecosystem

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce	3
3. Literární rešerše	4
3.1 Světlo a jeho zdroje	4
3.2 Zdroje světla	4
3.2.1 Přirozené světlo	5
3.2.2 Antropogenní světlo	5
3.3 Světelné znečištění	5
3.3.1 Pojem světelné znečištění	5
3.3.2 Negativní aspekty umělého osvětlení.....	6
3.3.3 Příčiny nadbytečného světelného znečištění.....	7
3.4 Druhy světelného znečištění.....	8
3.4.1 Astronomické světelné znečištění	8
3.4.2 Ekologické světelné znečištění	8
3.5 Světlo v noci.....	8
3.5.1 Ekonomické aspekty nočního osvětlování.....	9
3.5.2 Vliv nočního osvětlení na dopravní nehodovost a kriminalitu	10
3.5.3 Vliv nočního osvětlování na astronomii	11
3.5.3.1 Světelný závoj a jas noční oblohy	11
3.5.3.2 Mezinárodní asociace pro ochranu tmy.....	13
3.6 Problematika světelného znečištění v legislativě	14
3.6.1 Legislativa v České republice	14
3.6.1.1 Zákon o ochraně ovzduší.....	15

3.6.1.2	Související zákony a právní předpisy	16
3.6.2	Příklady ze zahraničí	17
3.6.2.1	Itálie	17
3.6.2.2	Slovinsko	17
3.7	Světelné znečištění jako ekologický problém	18
3.7.1	Vliv světla na živé organismy	19
3.7.1.1	Melatonin a cirkadiánní rytmy	19
3.7.2	Vliv světelného znečištění na rostliny	20
3.7.3	Vliv světelného znečištění na lidské zdraví	22
3.7.3.1	Následky porušení cyklu světlo-tma u člověka	22
3.8	Vliv světelného znečištění na vybrané druhy živočichů	23
3.8.1	Bezobratlí	23
3.8.1.1	Korýši	23
3.8.1.2	Hmyz	24
3.8.1.3	Plži	27
3.8.2	Obratlovci	29
3.8.2.1	Obojživelníci	29
3.8.2.2	Ryby	30
3.8.2.3	Plazi	32
3.8.2.4	Savci	34
3.8.2.5	Ptáci	37
4.	Výsledné zhodnocení	41
5.	Diskuze	44
6.	Závěr a přínos práce	46
7.	Přehled literatury a použitých zdrojů	47

1. Úvod

Světlo je jednou ze základních podmínek života na Zemi a je důležitým zdrojem energie pro všechny procesy, které v přírodě probíhají. Zdrojem přírodního, pro existenci života nezbytného světla je od začátku věků Slunce. Ovšem s prudkým rozvojem vědy a techniky a s narůstající urbanizací začalo přibývat velké množství dalších zdrojů světla. Tyto umělé zdroje světla byly vytvořeny člověkem pro zvýšení jeho komfortu, bezpečí i produktivity práce.

Postupem času se začalo ukazovat, že toto nepřirozené prodlužování dne a zkracování noci za pomoci umělého osvětlování může být významným negativním faktorem pro mnoho různých oblastí života. V souvislosti s nadměrným, zbytečným, obtěžujícím umělým světlem vznikl termín světelné znečištění.

Světelné znečištění a problematika spojená s tímto jevem se dostala do popředí zájmu odborné veřejnosti až v posledních desetiletích. Již v 60. letech 20. století začali na problém s velkým množstvím umělého světla upozorňovat astronomové, protože toto světlo způsobuje přílišný jas noční oblohy, což komplikuje a občas i znemožňuje zkoumání noční oblohy. Postupně vznikaly další výzkumy z různých oblastí, které poukazují na škodlivost nadměrného umělého osvětlování.

Kromě zmíněných komplikací pro astronomy je světelné znečištění významným ekonomickým problémem z důvodu plýtvání elektrickou energií a nemalými finančními prostředky. Předmětem diskuse je také vliv nadměrného nočního osvětlování na kriminalitu a bezpečnost silničního provozu.

Jako velmi alarmující se jeví fakt, že se fenomén světelného znečištění stal ekologickým problémem, neboť má závažné dlouhodobé dopady na životní prostředí. Výsledky mnoha různých studií dokazují, že nadměrné noční osvětlování významným způsobem ovlivňuje různé přirozené pochody v živých organismech a mnoho zástupců rostlinné a živočišné říše, včetně člověka, je vystaveno škodlivému vlivu nadbytečného světla.

Negativní dopady světelného znečištění na některé druhy živočichů jsou tak zásadní, že mohou způsobit až kritické ohrožení existence některých druhů, což je

zvláště patrné u ohrožených druhů, i nevratné změny v celých ekosystémech, což by mělo fatální následky pro rovnováhu v přírodě.

2. Cíle práce

Prvním cílem práce je uvedení do problematiky světelného znečištění se zaměřením na druhy světla a světelné zdroje, typy světelného znečištění, dopady umělého osvětlování na různé oblasti života a platnou legislativu.

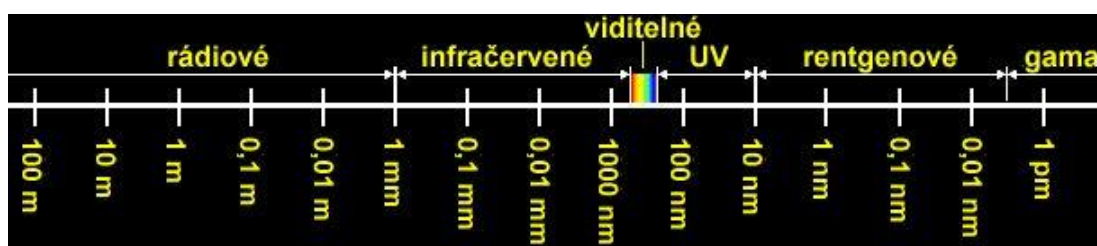
Druhým cílem práce je zhodnocení negativních dopadů a rizik ekologického světelného znečištění.

Třetím cílem práce je podrobné shrnutí vlivu ekologického světelného znečištění na procesy probíhající v organismech živočichů a na populační a ekosystémové procesy u vybraných živočišných druhů.

3. Literární rešerše

3.1 Světlo a jeho zdroje

Světlo je druh elektromagnetického záření, který je vnímán zrakem. Vlnová délka světla je 790 nm – 390 nm. Světlo je možné rozložit podle vlnových délek na jednotlivé spektrální barvy. Viditelné světlo je významnou složkou slunečního záření, dopadajícího na zemský povrch (Army, ©2020).



Obr. 1: O vlnění: Elektromagnetické spektrum (Army, ©2020)

Světlo proniká do těla okem - vyzařuje částice zvané fotony. Fotony se přes rohovku, čočku a sklivce dostávají k sítnici. Tam se nacházejí zrakové buňky, ve kterých vznikají nervové impulzy směřující ke zrakovému nervu. Poté se tyto impulzy přenášejí po zrakové dráze až k týlnímu laloku a zde se vytváří zrakový vjem (Ducournau).

3.2 Zdroje světla

- **Slunce** - zdrojem jeho energie jsou termojaderné reakce v jeho nitru. Další hvězdy jsou také zdrojem světla, ale vzhledem k jejich vzdálenosti od Země, je toto světlo nepatrné. Měsíc také osvětluje krajinu, ale nevysílá vlastní světlo, jde jen o odraz světla ze Slunce.
- **Otevřený oheň** - světlo a teplo vzniká hořením, tedy oxidací hořlavých látek. Mezi svítidla s otevřeným ohněm patří louče, svíčky, olejové, petrolejové nebo plynové lampy.
- **Žárovky** - zdroj světla, který souvisí s rozvojem elektrotechniky. Elektrický proud rozžhává v žárovce tenké kovové vlákno a to se rozžhává.

- **Nízkotlaké rtuťové výbojky (zářivky) a vysokotlaké halogenidové výbojky** - elektrický proud prochází zředěnými plyny a vznikne světlo různých barev.
- **Luminiscenční diody (LED)** - miniaturní polovodičové zdroje světla (ČEZ, ©2020).

3.2.1 Přirozené světlo

V dávných dobách bylo hlavním zdrojem světla především Slunce, které svítí ve dne. V noci je potom základním zdrojem světla Měsíc a dále také hvězdy nebo například polární záře. K přirozeným přírodním zdrojům patřil také oheň, který byl náhodně založen bleskem (Army, ©2020).

Toto přirozené střídání světla a tmy bylo základem pro vytvoření přirozených cirkadiánních rytmů, které mají zásadní vliv na důležité pochody v živých organismech (Dunlap, 1999).

3.2.2 Antropogenní světlo

Za umělé světlo je považováno světlo, které přidává do přirozeného přírodního prostředí člověk. Prvním umělým světlem tak mohlo být již vědomé zakládání a udržování ohně předky současného člověka. Takové světlo ještě nemělo vliv na změnu jasu noční oblohy a mohlo mít jen omezený vliv na narušování ekologických struktur (Army, ©2020).

S nástupem a následným rozvojem industriální společnosti došlo k významnému rozvoji umělého osvětlení a v posledních desetiletích se stává zásadním problémem z pohledu ekologie, ale i mnoha dalších oborů.

3.3 Světelné znečištění

3.3.1 Pojem světelné znečištění

Znečištěním prostředí se rozumí zanášení nebo vznik patogenních činitelů do prostředí, pro které nejsou tyto činitele typické (Petrucha, 2011).

Znečištění je narušení přirozeného stavu prostředí. Pokud je světlo v přirozeném prostředí polutantem, tedy látkou cizorodou, nepatřičnou a nadbytečnou, hovoří se o světelném znečištění. Taková situace nastává večer a

v noci, kdy ubývá přirozeného světla. V noci se tedy stává umělé světlo tím nejnápadnějším a nejvýznamnějším polutantem v prostředí (Hollan, 2004).

Mezinárodní asociace pro ochranu tmy (IDA), pravděpodobně vedoucí autorita v oblasti světelného znečištění, definuje světelné znečištění jednoduše jako „*nevhodné nebo nadměrné používání umělého světla.*“ (IDA, ©2011a).

Gallaway (2010) definuje světelné znečištění jako: „*nezamýšlené následky špatně navrženého a nevhodně používaného umělého osvětlení.*“

Světelné znečištění je výsledkem nehospodárného nebo nesprávného používání umělého světla.

Cílem různých definic není odsoudit veškeré noční osvětlení jako celek, ale spíše upozornit na určitá specifická použití a výstupy umělého osvětlení (Stone, 2017).

3.3.2 Negativní aspekty umělého osvětlení

Ve své případové studii z roku 2017 dělí Stone negativní nebo nežádoucí aspekty nočního osvětlení do čtyř kategorií:

- 1) Umělý jas oblohy (*skyglow*) - světlo vysílané vzhůru (přímo nebo odrazem) a rozptýlené v atmosféře, což způsobuje umělý jas okolního prostředí a snižuje hvězdnou viditelnost (Mizon, 2012).

Jde o oranžový opar často viděný nad městy a je největší zátěží pro astronomii. Bylo také patrně dominantním zaměřením úsilí o kvantifikaci světelného znečištění, protože některé významné studie se spoléhají na satelitní snímky (Cinzano a kol., 2001).

- 2) Oslnění (*glare*) - nastává, když nadměrný jas snižuje viditelnost (např. světlomet na úrovni očí)
- 3) Světelný přesah (*lightintrusion/trespass*) - nežádoucí nebo nezamýšlené světlo (např. světlo svítí v noci do okna ložnice)
- 4) Neúměrná intenzita osvětlení (*over-illumination*) - je způsobena příliš osvětlenými shluky světelných zdrojů (např. billboard, reklama) (MŽP, ©2017a).



Obr. 2: Ukázky nežádoucích efektů nočního osvětlení (vlastní zpracování dle Blogspot.com, ©2020)

1. Jas oblohy;
2. Oslnění;
3. Světelný přesah;
4. Neúměrná intenzita osvětlení.

3.3.3 Příčiny nadbytečného světelného znečištění

Určité míře světelného znečištění se v podstatě nedá vyhnout, ale často je nadbytečná. K nadbytečnému světelnému znečištění dochází především v těchto situacích:

- Osvětluje se mimo nutné časové období (např. při osvětlování parkovišť nákupních center mimo jejich otevírací dobu).
- Světlo směřuje do nežádoucích prostor (např. světlo směřuje do volné krajiny, do nebe nebo do oken).
- Používají se zdroje s nevhodnými spektrálními charakteristikami (jde především o modrou část spektra) (MŽP, ©2017a).

3.4 Druhy světelného znečištění

3.4.1 Astronomické světelné znečištění

Termín světelné znečištění se používá již řadu let, ale většinou se vztahoval k degradaci pohledu na noční oblohu (Longcore a Rich, 2004).

Za normálních okolností má noční obloha svou přirozenou intenzitu jasu, ale působením světel, která jsou nasměrována nebo odražena vzhůru, se její jas mnohonásobně zvyšuje. Tento jas se vyskytuje nejen na obloze nad zdrojem světla, ale i v oblastech značně vzdálených od zdroje světla. V této souvislosti vzniká velký problém pro astronomii a celkovou kvalitu vědeckého i laického pozorování noční oblohy. Na obloze je možné pozorovat méně hvězd, na mnoha místech není vidět Mléčná dráha a některé jedinečné úkazy jsou vidět jen výjimečně (Světelné znečištění, ©2020a).

Astronomické světelné znečištění se týká všech obydlených kontinentů (Cinzano a kol., 2001).

3.4.2 Ekologické světelné znečištění

Ekologické světelné znečištění je definováno jako umělé světlo, které mění přirozené světelné režimy v suchozemských a vodních ekosystémech.

Ekologické světelné znečištění zahrnuje přímé oslnění, chronicky zvýšené osvětlení a dočasné, neočekávané výkyvy osvětlení. Zdroji tohoto světelného znečištění jsou zář oblohy, osvětlené budovy a věže, pouliční osvětlení, rybářské lodě, bezpečnostní světla, světla na vozidlech, osvětlení ropných plošin a také světla na podmořských plavidlech (Longcore a Rich, 2004).

3.5 Světlo v noci

Osvětlení noci přineslo náročnou situaci. Touha po větším a lepším osvětlení v noci nám zanechala nadbytek umělého osvětlení a vytvořila nový problém. Realizace prodloužení dne je stále více vnímána jako ztráta noci a objevily se nové obavy. Příběh světelného znečištění souvisí s technickou a sociální historií moderního nočního osvětlení (Stone, 2017).

S postupujícím přibýváním umělého světla začal člověk považovat tmu za nezajímavou a v podstatě za znak zaostalosti. Avšak hojnost a stálá všudypřítomnost světla vyvolala zájem o to, čemu světlo brání. Různé obavy jsou stále více spojovány s pocitem ztráty spojení s hvězdným světlem a ztráty přirozených nocí. Stále sice přetrvává určitá fascinace osvětlením, jež působí lákavě, ale tma v noci začíná být vnímána jako vzácná a cenná komodita. Z temnoty se stal valorizovaný a vyhledávaný luxus (Kyba a kol., 2017).



Obr. 3: *Výhled z okna obytného domu v centru Prahy (foto: autorka práce 25. 3. 2020)*

3.5.1 Ekonomické aspekty nočního osvětlování

V posledních několika desetiletích došlo k prvnímu rozsáhlému zkoumání spotřeby energie využitě pro umělé noční osvětlení a její souvislosti s ekonomickými náklady. Tyto studie se nezaměřují pouze na množství energie použité na osvětlení, ale konkrétně na množství zbytečného světla. Například v USA je konzistentní odhad, že přibližně 30 % venkovního osvětlení je promarněno. To znamená zhruba 73 milionů MWh zbytečně vygenerovaných elektrárnami, přičemž se odhadují roční náklady na 6,9 miliardy USD (Gallaway, 2010).

V Evropě se roční náklady na nevyužitě světlo odhadují na 5,2 miliardy EUR. V poměru k počtu obyvatel tato částka činí přibližně 2 miliardy Kč (MŽP, ©2017a).

Mnoho menších obcí v České republice má z finančních důvodů problém vyměnit stávající nevyhovující osvětlení za nové a kvalitní. V rámci národního dotačního programu EFEKT, zajišťovaného Ministerstvem průmyslu a obchodu České republiky (MPO), který podporuje optimalizaci veřejného osvětlení, jsou podle stanovených parametrů poskytovány prostředky na rekonstrukce veřejného osvětlení (MŽP, ©2017a).

Přechod na účinná a úsporná svítidla na bázi LED (elektroluminiscenční dioda) dává naději na úspory nákladů na energii. Na druhou stranu se ale projevuje účinek tzv. Jevonsova paradoxu. Se zaváděním úsporných svítidel se objevuje tendence svítit intenzivněji a déle, což má za následek problém se světelným znečištěním a spotřeba elektriny se nesnížila (Ač a kol., 2013).

3.5.2 Vliv nočního osvětlení na dopravní nehodovost a kriminalitu

V souvislosti se zvyšujícím se tlakem na regulaci nočního osvětlení se objevují obavy z možného zvýšení dopravní nehodovosti. Mimo jiné též z ohrožení bezpečnosti osob nebo zvýšení majetkové kriminality v málo osvětlených místech.

Analýza provedená v 62 lokalitách v Anglii a Walesu (Steinbach a kol., 2015) mapovala vliv sníženého pouličního osvětlení na počet obětí dopravních nehod a kriminalitu. Výsledky této analýzy neposkytly žádné důkazy o tom, že by vypnutí světel, osvětlení na částečný úvazek, stmívání nebo úpravy bílého světla na pouličním osvětlení byly spojeny s nočními dopravními nehodami.

Studie však naznačila souvislost mezi některými úpravami pouličního osvětlení a zločinem. Výše uvedené strategie osvětlení nebyly spojeny s nárůstem kriminality, ale celkově se ukázalo, že stmívání mělo vliv na snížení kriminality, a to především u násilné trestné činnosti. To může podpořit hypotézu, že nižší úroveň viditelnosti způsobuje obtíže při určování vhodných cílů.

Přestože je venkovní osvětlení určeno ke zvýšení bezpečnosti v noci, příliš mnoho osvětlení může mít ve skutečnosti opačný účinek. Cílem by měla být především viditelnost. Oslnění z jasných, nestíněných světel ve skutečnosti snižuje bezpečnost, protože svítí do našich očí a zužuje naše zorničky. To může být nejen oslepující, ale také to ztěžuje našim očím přizpůsobit se nízkým světelným podmínkám (IDA, ©2011a).



Obr. 4: *Záře z jasných, nestíněných světel ve skutečnosti snižuje bezpečnost* (IDA, ©2011b).

3.5.3 Vliv nočního osvětlování na astronomii

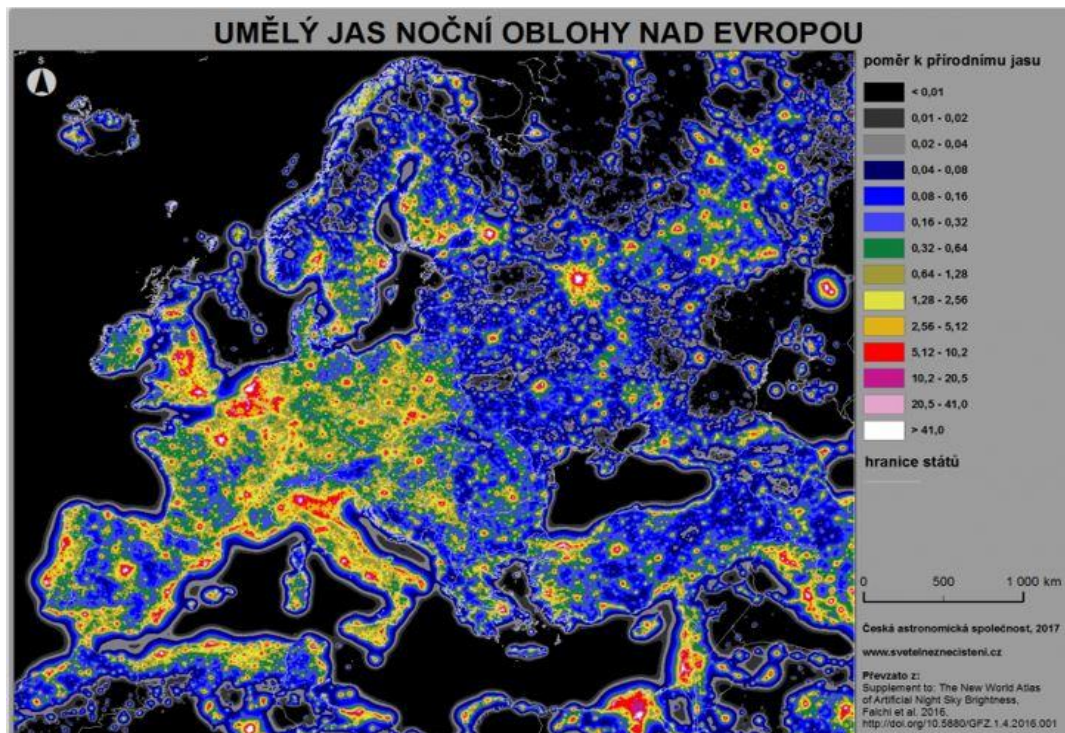
K celkovému obrazu vnímání okolní krajiny patří obloha i se všemi úkazy, které nabízí. Ve dne je možné sledovat například východ a západ Slunce nebo různé jevy, které souvisí s počasím. K noční obloze patří různé astronomické objekty, jako jsou hvězdy, Měsíc, Mléčná dráha, planety a také různé atmosférické jevy (MŽP, ©2017a).

3.5.3.1 Světelný závoj a jas noční oblohy

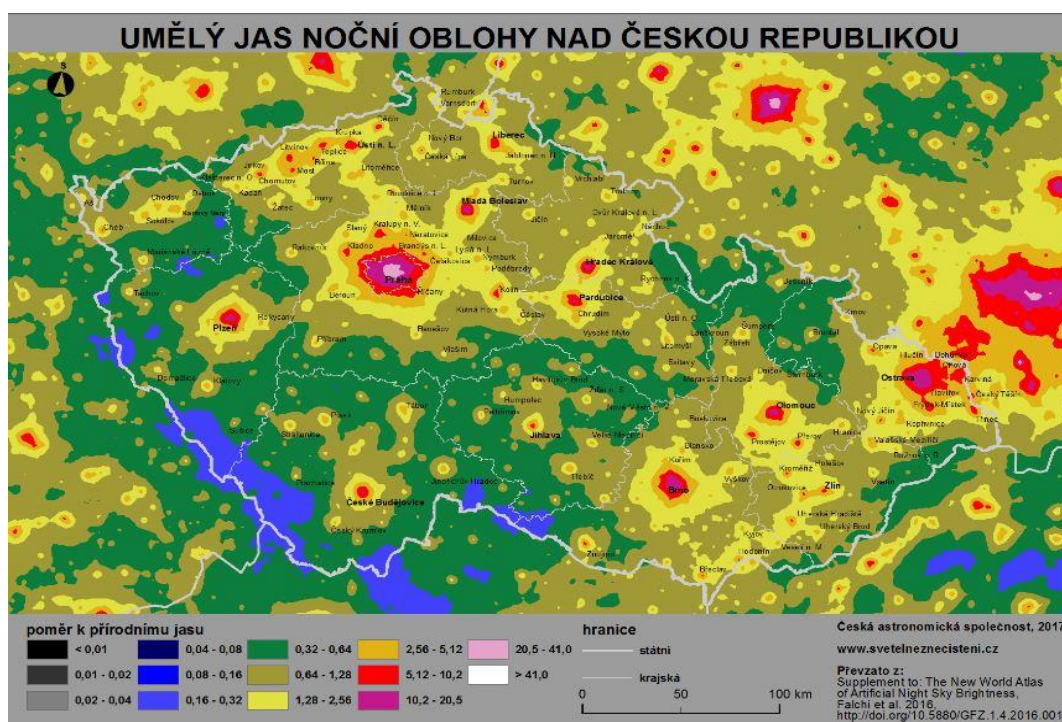
V souvislosti se světelným znečištěním vzniká na obloze tzv. světelný závoj, který zásadně mění vzhled noční oblohy. Tyto změny jsou patrné nejen nad rozsvíceným územím, ale i na velkém teritoriu kolem. Právě zvýšený jas noční oblohy je pro astronomii závažným problémem. Na světlém pozadí nejsou vidět různé vesmírné objekty. Na přírodní obloze je možné při dobrých podmínkách vidět pouhým okem 3 000 - 5 000 hvězd. Vzhledem k nočnímu jasu oblohy je na většině míst v České republice vidět 1 000 - 1 500 hvězd a ve velkých městech je to jen několik desítek až stovek hvězd. Na mnoha místech není vidět Mléčná dráha a některé jedinečné přírodní fenomény jsou pozorovatelné jen zřídka (Světelné znečištění, ©2020a).

V Novém světovém atlasu umělého jasu noční oblohy, který vydal Falchi a kol. v roce 2016, je zobrazen umělý jas noční oblohy oproti přírodnímu jasu ve

světě. Mapy na následujících obrázcích ukazují stav světelného znečištění nad Evropou a Českou republikou. Světle modré oblasti jsou místa s nejnižší mírou světelného znečištění v České republice. Tmavě modré, šedé a černé oblasti se u nás již nenacházejí. Nejbližší tmavší místa jsou na východním Slovensku a v Alpách. Nejvíce světla je pak v okolí velkých měst a aglomerací (Astronomický ústav AV ČR, ©2018).



Obr. 5: Mapa světelného znečištění v Evropě (Falchi, 2006).



Obr. 6: Mapa světelného znečištění v České republice (Falchi, 2006).

3.5.3.2 Mezinárodní asociace pro ochranu tmy

Se zvyšujícím se světelným znečištěním vznikla potřeba chránit noční oblohu. Hlavním posláním neziskové Mezinárodní asociace pro ochranu tmy (*International Dark-Sky Association, IDA*), která byla založena v roce 1988, je ochrana nočního prostředí a dědictví temné oblohy pro současné i budoucí generace za pomoci ekologicky odpovědného venkovního osvětlení. Mezi její hlavní cíle patří ochrana tmavé oblohy, vzdělávání v této oblasti, prosazování ekologicky odpovědného osvětlení a seznamování veřejnosti s nástroji, které pomáhají vrátit noc.

IDA je v současnosti uznávaným orgánem pro ochranu noční oblohy a převzala vedení při identifikaci a propagaci negativních dopadů umělého světla v noci na lidské zdraví, volně žijící zvířata a změny klimatu.

Spolupracuje s veřejností, urbanisty, zákonodárci, výrobci osvětlení, parky a chráněnými oblastmi, aby zajistili a implementovali inteligentní volby osvětlení. Organizuje kvalitní vzdělávání a programy, které rozšiřují informace po celém světě.

V roce 2001 IDA založila Program mezinárodních oblastí tmavé oblohy (*International Dark Sky Places Program, IDSP*), který má za cíl podpořit komunity,

parky a chráněné oblasti po celém světě, aby chránily temné lokality prostřednictvím odpovědného osvětlení a veřejného vzdělávání. Existuje několik typů označení:

- Městská prostranství tmavé oblohy (*Urban Night Sky Places*).
- Mezinárodní společenství tmavé oblohy (*International Dark Sky Communities*).
- Mezinárodní park tmavé oblohy (*International Dark Sky Parks*).
- Mezinárodní rezervace tmavé oblohy (*International Dark Sky Reserves*).
- Mezinárodní útočiště tmavé oblohy (*International Dark Sky Sanctuaries*) (IDA, ©2011a).

V České republice existují tři Oblasti tmavé oblohy, které byly vyhlášeny mimo rámec těchto programů:

- Jizerská oblast tmavé oblohy (založena v r. 2009).
- Beskydská oblast tmavé oblohy (založena v r. 2012).
- Mančtínská oblast tmavé oblohy (založena v r. 2013).

V rámci České republiky jsou tyto oblasti nejméně zasaženy světelným znečištěním a kromě pozorování noční oblohy a informování o dané problematice slouží také k ochraně noční přírody a krajiny (Světelné znečištění, ©2020a).

3.6 Problematika světelného znečištění v legislativě

3.6.1 Legislativa v České republice

Česká republika byla první na světě, kdo přijal zákonné opatření, které se týkalo světelného znečištění a mělo celostátní působnost. Šlo o zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší. K tomuto zákonu měly být vydány prováděcí vyhlášky, což se nakonec nestalo a zákon byl postupně zmírňován novelizacemi (Navrátilová, 2019).

Díky absenci platného prováděcího předpisu, který by vymezil ochranný režim s určením limitů a citlivých míst, a díky novelizacím byla smysluplná a osvědčená myšlenka obecné regulace zcela opuštěna (Kondziolka a Slezák, 2008).

3.6.1.1 Zákon o ochraně ovzduší

V původním znění zákona č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší, v § 1, odst. 1, písm. d tento zákon stanovil opatření ke snižování světelného znečištění ovzduší. Světelné znečištění bylo v tomto zákoně v § 2, odst. 1, písm. r definováno jako: *„každá forma osvětlení umělým světlem, které je rozptýleno mimo oblasti, do kterých je určeno, zejména pak, míří-li nad hladinu obzoru“*.

Původní znění zákona také v § 3, odst. 10 stanovilo povinnosti pro fyzické a právnické osoby: *„při činnostech v místech a prostorech stanovených prováděcím právním předpisem je každý povinen plnit nařízení orgánu obce a v souladu s ním provádět opatření k zamezení výskytu světelného znečištění ovzduší“* a v § 3, odst. 12 dále uvádělo, že *„prováděcí právní předpis stanoví místa a prostory, kde nesmí docházet k výskytu světelného znečištění, činnosti, na které se vztahuje povinnost podle odstavce 10, opatření ke snižování nebo předcházení výskytu světelného znečištění a limity stanovující horní mez světelného znečištění“*.

V hlavě VI, § 40, odst. 5 pak stanovilo konkrétní sankce: *„pokutu ve výši od 500 do 150 000 Kč uloží orgán obce osobě, která poruší alespoň jednu z povinností uloženou podle § 3 odst. 5 nebo 10“*.

Původní znění zákona věnovalo problematice světelného znečištění velkou pozornost a byl prvním efektivním nástrojem pro řešení zdrojů světelného znečištění.

Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší byl novelizován předpisem č. 92/2004 Sb., s účinností od 3. března 2004. Zde byla upravena stávající definice světelného znečištění v § 2, odst. 1, písm. r na následující: *„světelným znečištěním je 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“*.

Dále v § 50 zákona tato novela doplnila odstavce 3, který zněl: *„obec může obecně závaznou vyhláškou zakázat promítání světelných reklam a efektů na oblohu a zakázat používání laserové techniky při kulturních akcích“*.

Zásadním krokem zpět byla změna v § 50 odst. 2 písm. d), kdy se slova „a 10“ zrušují a změna v § 40 odst. 10, kdy se slova „nebo 10“ zrušují.

Další předpis č. 385/2005 Sb., s platností od 1. října 2005, upravil již jednou novelizované znění § 50 odstavec 3, písm. c na „v oblasti opatření proti světelnému znečištění regulovat promítání světelných reklam a efektů na oblohu“.

Tyto novelizace a neexistence prováděcích právních předpisů vytvořily z progresivního zákona ve vztahu ke světelnému znečištění okleštěný a nefunkční zákon, jehož dodržování bylo v podstatě nevymahatelné.

S účinností od 1. září 2012 vstoupil pak v platnost zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, který zrušil původní zákon č. 86/2002 Sb., a jeho novelizace světelné znečištění již vůbec nezmiňuje. Na této skutečnosti nezměnila nic ani poslední novelizace zákona č. 87/2014 Sb., která vstoupila v platnost 1. června 2014.

3.6.1.2 Související zákony a právní předpisy

Některé zákony se sice přímo netýkají světelného znečištění, ale mohou být v této souvislosti uvedeny, protože řeší například problematiku reklamního osvětlení anebo obtěžování světlem (Starý, 2013).

Jedním ze zákonů, který upravuje problematiku světelného znečištění je zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, v § 16 odst. 1 v písm. j) kde: „na území národních parků zakazuje umisťovat světelné zdroje mimo uzavřené objekty, které směřují světelný tok nad vodorovnou rovinu procházející středem světelného zdroje“.

Dalším zákonem, kterého se nepřímě týká světelné znečištění, je stavební zákon a občanský zákoník. Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu, v § 137 odst. 1 písm. a) stanoví, že: „stavební úřad může nařídít 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 hlukem, exhalacemi včetně zápachu, otrěsy, vibracemi, účinky neionizujícího záření anebo světelným zářením“.

Ke dni 1. dubna 2014 vešel v platnost občanský zákoník 89/2012 Sb., který by mohl do určité míry poskytovat ochranu před světelným znečištěním, když v §

1013 odst. 1 stanoví, že „*vlastník se zdrží všeho, co působí, že odpad, voda, kouř, prach, plyn, pach, světlo, stín, hluk, otřesy a jiné podobné účinky (imise) vnikají na pozemek jiného vlastníka (souseda) v míře nepřiměřené místním poměrům a podstatě omezují obvyklé užívání pozemku.*“

Dalším platným předpisem je nařízení Komise (EU) č. 347/2010 ze dne 21. dubna 2010, kterým se mění nařízení Komise (ES) č. 245/2009, pokud jde o požadavky na eko-design pro zářivky bez integrovaného předřadníku, vysoce intenzivní výbojky a předřadníky a svítidla, jež mohou sloužit k provozu těchto zářivek a výbojek. Jako hlavní úlohu má tento předpis úpravu racionálního využití energií v závislosti na jejich úspoře. Dále stanovuje obsah rtuti, která je v zářivkách a výbojkách (Navrátilová, 2019).

3.6.2 Příklady ze zahraničí

3.6.2.1 Itálie

Lombardie se stala regionem, kde byl přijat zákon na ochranu před světelným znečištěním. Regionální zákon č. 17 byl zveřejněn v Ústředním věstníku regionu Lombardie dne 30. března 2000 a tímto dnem se stal také platným. Jeho cílem je snížení spotřeby elektrické energie a ochrana vědeckých výzkumů v italských observatořích. Zákon navrhuje region k různým úpravám venkovního osvětlení. Obce si musí do tří let vypracovat plány na osvětlování, které usměrní světla a musí být v souladu s tímto zákonem. Za úkol mají zajistit veškeré podklady venkovního osvětlení, včetně reklamního. Podle pravidel musí být instalace umělého venkovního světla, ať už jde o soukromé nebo veřejné osvětlení. Například se nesmí používat soustavy, které rozptylují světla do výšek. Smí se používat pouze soustavy, které mají svítivost 0 cd na 1000 l do směru 90° a výše. Osvětlení budov, pomníků a různých informačních tabulí musí směřovat shora dolů. Zákon obsahuje i sankce za nedodržení podmínek. Obce pak použijí peníze z pokut na úpravy soustav veřejných osvětlení (Hollan a Klímplová, 2001).

3.6.2.2 Slovinsko

Velkým průkopníkem v boji proti světelnému znečištění je Slovinsko. V roce 2007 vešel v platnost zákon o regulaci světelného znečištění (Kondziolka, 2010).

Cílem zákona je snižovat spotřebu elektrické energie a ochraňovat obytné prostory před rozptýleným světlem a oslněním. Dalším cílem je ochrana před rizikovými účinky světelného znečištění (Dark Skies Awareness, ©2009).

Slovinské právo rozděluje osvětlení do několika oblastí. Například osvětlení silnic a železnic, kulturních památek, reklamních zařízení, sportovních ploch atd. Hlavním nařízením je nulová tolerance světla nad úroveň horizontu (existují však stanovené výjimky). Zákon například také stanovuje, že reklamní plochy jsou osvětleny shora dolů, elektrický výkon je omezen a osvětlení je zhasnuté mezi 24. hod. a 5. hod. atd. Fasádu kulturních památek může míjet maximálně 10 % světelných paprsků. Osvětlené mohou být jen části, které se nachází 1 metr pod spodní částí střechy a 1 metr od vrcholu památky bez střechy. Co se týče ochrany ohrožených druhů, tak v budovách, kde se vyskytují a hnízdí ohrožené druhy, nesmí být žádná světla. Za nedodržení daných podmínek se mohou udělovat sankce (Kondziolka, 2010).

3.7 Světelné znečištění jako ekologický problém

Světelné znečištění je i přes výše uvedené legislativní překážky téma, které získává na významu z hlediska vlivu na životní prostředí. Zatímco umělé noční osvětlení s sebou přineslo pokrok a mnoho možností, negativní důsledky jeho všudypřítomnosti se objevily teprve nedávno. V diskusích se stále více objevují obavy týkající se nočního osvětlení prostřednictvím koncepce světelného znečištění, zejména s ohledem na dopady na životní prostředí (Stone, 2017).

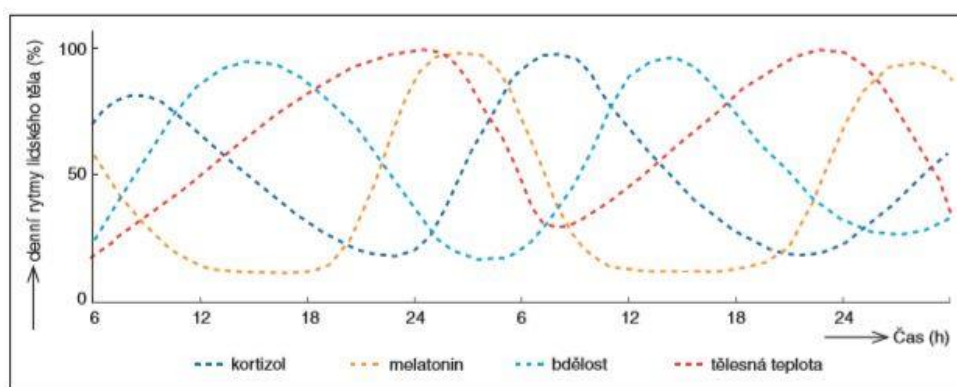
Existuje velké množství studií, které dokumentují ekologické důsledky světelného znečištění. Umělé světlo ovlivňuje procesy v živých organismech, jako jsou primární produktivita, obnova fyziologických funkcí, měření času prostřednictvím narušení detekce časových cyklů, detekce zdrojů a přirozených nepřátel a navigace u celé řady rostlin a živočichů, včetně člověka.

Světelné znečištění má ale také dopady na populační a ekosystémové procesy jako jsou úmrtnost, plodnost, produktivita společenství, složení druhů a trofickou interakci (Gaston, 2013).

3.7.1 Vliv světla na živé organismy

Střídání světla a tmy je základním faktorem, který ovlivňuje fyziologii, chování a reprodukci rostlin a živočichů. Tzv. cirkadiánní systém řídí fyziologické procesy na biochemické a molekulární úrovni. Cirkadiánní systém synchronizuje všechny fyziologické behaviorální procesy v organismu a hodinový mechanismus existuje v každé jaderné buňce (MŽP, ©2018).

Časové rytmy je možné najít všude v živé přírodě. Pojem „cirkadiánní“ zavedl v padesátých letech 20. století Franz Halberg, který byl jedním ze zakladatelů vědy o časovém řádu v živé říši – chronobiologii. V České republice je nejznámější v oboru chronobiologie prof. Helena Illnerová. Jako první na světě objevila, jak změna délky osvětlení ovlivňuje tvorbu melatoninu v epifyze a vliv fotoperiody (sezónní změny délky dne) na cirkadiánní rytmy v živých organismech (Fuksa, 2010).



Obr. 7: Světlo a biologické hodiny (Fuksa, 2010).

3.7.1.1 Melatonin a cirkadiánní rytmy

Cirkadiánní rytmy jsou ovlivněny vylučováním hormonu melatoninu, k němuž dochází výhradně v noci. Melatonin je hormon, který byl objeven v roce 1958, a zjistilo se, že se vyskytuje ve všech živých organismech. Byl nalezen v jednobuněčných mořských řasách i v různých vyšších rostlinách, u bezobratlých živočichů i u obratlovců, včetně člověka. Melatonin se v organismu produkuje výhradně v noci, a to bez ohledu na to, zda je tento organismus aktivní ve dne nebo

v noci. Melatonin působí jako látka, která ovlivňuje v organismu cirkadiánní rytmy (Illnerová, 1996).

Zatímco ve dne má působení světla na cirkadiánní systém pozitivní vliv, protože ovlivňuje udržení pozornosti a bdělost a pomáhá adaptaci k sezónním změnám v přírodě, působení světla pozdě večer a v noci je pro tento systém škodlivé. Smazávání rozdílů mezi intenzitou světla ve dne a noci je patofyziologické. Nedostatečný kontrast mezi světlem ve dne a tmou v noci snižuje amplitudu cirkadiánních rytmů a snížení této amplitudy může způsobovat různá onemocnění (MŽP, ©2018).

V organismech se nacházejí tři přirozené periodické cykly ve světelném režimu. Jsou to denní cyklus dne a noci, sezónní změny délky dne a měsíční cyklus. Především denní a sezónní cykly jsou důležité pro předvídání pravidelných změn prostředí (např. teplota či vlhkost), které souvisí s daným denním nebo ročním cyklem. Měsíční cyklus má význam pro aktivitu a reprodukci u některých druhů, které přímo reagují na světlo nebo využívají měsíční cyklus k předvídání změn prostředí spojených s nočním světlem, přílivovými podmínkami nebo jako pravidelný podnět k synchronizaci reprodukční aktivity (Gaston, 2013).

3.7.2 Vliv světelného znečištění na rostliny

Růst a vývoj rostlin jsou ovlivněny kvalitou, kvantitou a dobou trvání světla. Fotoreceptory rostlin zprostředkovávají fyziologické a vývojové odpovědi v rostlinách. Některé jejich reakce na světlo jsou velmi citlivé (Briggs, 2006).

Některé rostliny a druhy stromů reagují na silné zdroje světla a na změny v délce dne a noci. Přibližně 80 % kvetoucích rostlin je citlivých na fotoperiodismus (Samach a Gover, 2001).

Jejich kvetení, tvorba pupenů i opadávání listů se přirozeně vyskytuje v příslušných ročních obdobích, což může změna fotoperiody ovlivnit. Umělé světlo v noci je dostatečné na to, aby vyvolalo v rostlinách fyziologickou reakci a ovlivnilo jejich fenologii, formu růstu a alokaci zdrojů (Bennie a kol., 2016).

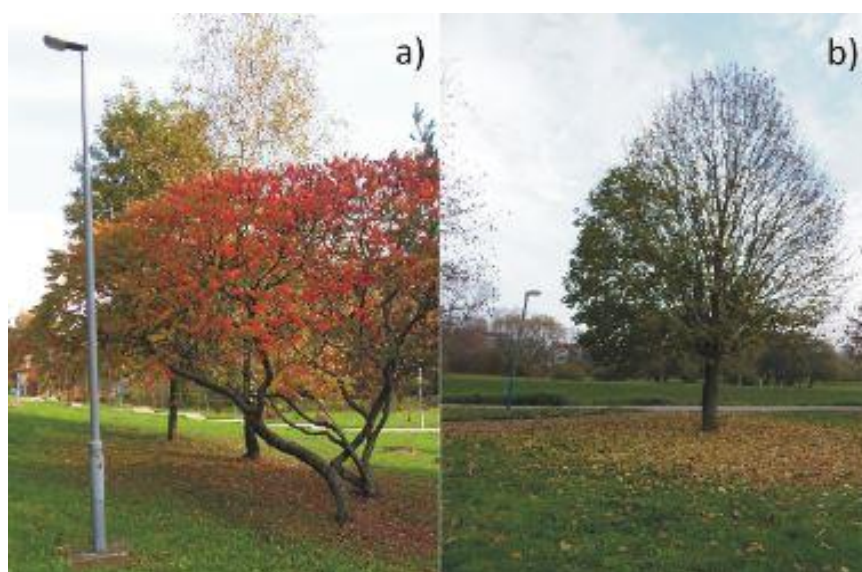
Většina nočního osvětlení není sice dostačující pro fotosyntézu, ale ovlivňuje stromy, které jsou citlivé na délku dne. Za nejdůležitější se považuje pokračující růst dlouho poté, kdy to není pro stromy vzhledem k nastávající zimě bezpečné. Umělé

prodloužení délky dne může výrazně prodloužit dobu, během níž dochází k aktivaci růstu a produkci pravých listů (Briggs, 2006).

Stromy, které rostou poblíž umělých světel, reagují se zpožděním na podzimní ochlazení a nízké teploty. Jejich listy nemění barvu a často jsou v mrazech úplně zelené. Pokud se na jejich povrchu zachytí led a sníh, může dojít ke zlomení větví.

Příliš časté nepřetržité osvětlení je potenciálně škodlivější než osvětlení vypnuté v pozdních večerních hodinách. Listy stromů pěstovaných za nepřetržitého osvětlení mohou být větší a náchylnější ke znečištění ovzduší a nedostatku vody během vegetačního období, protože stomatální póry v listech zůstávají otevřené po delší dobu. V náchylnosti dřevin na umělé osvětlení existuje velká variabilita (Chaney, 2002).

Škvareninová zkoumala vliv světelného znečištění na fenologické fáze vybraných druhů dřevin v městském prostředí (*Acerpseudoplatanus L.* a *Rhustyphina L.*). Došla k závěru, že světelné znečištění ovlivnilo biorytmus těchto stromů tak, že způsobilo zpoždění nástupu podzimních vegetativních fenologických fází na korunních částech pod světly v průměru o 13 až 22 dní. Vzhledem k osvětlení byla doba barvení listů prodloužena o 6 až 9 dní a doba trvání listů stoupla o 6 až 7 dní. Tyto dřeviny patří do skupin, které jsou vysoce citlivé na světelné znečištění (Škvareninová a kol. 2017).



Obr. 8: Účinky světelného znečištění na fenologii stromů v městském prostředí (Tuhárska a kol., 2017).

Rozdíl v nástupu fenologické fáze barvení listů. Světelný zdroj na obrázku (b) způsobil zpoždění fenologické fáze pádů listů.

3.7.3 Vliv světelného znečištění na lidské zdraví

3.7.3.1 Následky porušení cyklu světlo-tma u člověka

- Syndrom sezónní deprese

Příčinou není jen nedostatek světla na podzim a v zimě, ale malé kontrasty mezi dnem a nocí. To, že člověk tráví dlouhý čas v budovách, kde převažuje umělé osvětlení, způsobuje, že se u něj nedostatečně synchronizují cirkadiánní rytmy cyklu den - noc a vznikají poruchy v produkci melatoninu.

Příznaky tohoto syndromu jsou velká unavitelnost, snížení aktivity a zájmu o své okolí, špatné soustředění a celkový duševní útlum. Zvyšuje se riziko sebevražedného chování. Objevují se také poruchy spánku a zvýšení chuti k jídlu, které vede k přibývání na váze (Drahoňovská, 2004).

- Poruchy spánku

Pokud je v noci člověk vystaven světlu, je produkce melatoninu potlačena a křivka této produkce je posunutá nebo opožděná. Nezaleží ani na tom, zda osoba spí či bdí. Mozek si tyto změny pamatuje, i když v dalších dnech k působení světla nedochází (Illnerová, 1996).

Vzniká chronická nespavost nebo temporální nespavost (při práci v noci, práci na směny nebo přeletech do jiných časových pásem) (Zisapel, 2001).

- Psychiatrická, neurologická a degenerativní onemocnění

Vnitřní rytmicita a její absence je příčinou např. endogenní deprese či maniodepresivní psychózy.

Vystavení světlu během noci a spánku může zvýšit vznik záchvatů u epileptiků (Drahoňovská, 2004).

Melatonin má také kladný vliv na projevy Alzheimerovy choroby a může snižovat působení autoimunitních protilátek ve tkáních (Skene a Swaab, 2003).

- Stárnutí

V některých zemích propagují melatonin ve formě doplňku stravy ke zpomalování procesu stárnutí. Výsledky pokusů na hmyzu a na hlodavcích sice ukazují na souvislost melatoninu a délky života, ale u lidí se toto nepotvrdilo. Nicméně melatonin je považován za antioxidant, takže může být prostředkem oddalujícím nepříznivé důsledky provázející stárnutí (Drahoňovská, 2004).

- Rakovina prsu

Melatonin má vliv na produkci estrogenu - hormonu, který má přímý vliv na patologické změny v prsní tkáni. Je velká pravděpodobnost, že riziko vzniku rakoviny prsu z důvodu potlačení produkce melatoninu následkem světla je značné.

Studie, které se zaměřují na vztah mezi světlem a rakovinou prsu, zkoumaly spánkové zvyklosti, osvětlení v ložnici a pracovní anamnézu vybraných žen. Jejich výsledky rozšířily skupiny žen, které jsou ohroženy rizikem onemocnění (Davis a kol., 2001).

- Rakovina dalších orgánů

V souvislosti s vlivem světla na produkci melatoninu a následnou pravděpodobnost vzniku zhoubného bujení jsou ohroženy orgány, které fungují na základě cirkadiálních rytmů, tedy vaječníky, prostata a děloha (Drahoňovská, 2004).

3.8 Vliv světelného znečištění na vybrané druhy živočichů

3.8.1 Bezobratlí

3.8.1.1 Koryši

Různonožci

Světelná fáze řídí aktivitu mnoha mořských organismů. V mělkých vodách jsou přirozené cykly světla a tmy důležitým faktorem, který reguluje denní vertikální migraci malých mořských bezobratlých. Organismy s tímto chováním často nazýváme demersální nebo bentopelagický zooplankton (Alldredge a King, 1997).

V mořském prostředí má umělé světlo dvě formy. První formou je okolní záře z pouličního osvětlení a osvětlení lidských příbytků. Druhou formou je mořské světlo umístěné na vodní hladině nebo mírně ponořené, což zahrnuje osvětlení přístavů, pontonů a lodí. Umělé osvětlení mělkých zón významně modifikuje chování a distribuci různonožců. Tyto modifikace mohou mít dopad na celý ekosystém (Navarro-Barranco a Hughes, 2015).

Barrancova studie z roku 2015 zkoumá účinek různých typů městského světelného znečištění na skupinu různonožců. Obě světelné pasti (LED a halogenová světla) vykazovaly výrazně vyšší počet jedinců všech druhů, u nichž se zdá, že přitažlivost světla je stálým chováním u všech různonožců. LED světla zachytila více jednotlivců než halogenová světla. Světelné znečištění by mohlo způsobit změnu složení různonožců a pelagických druhů. Halogenové světlo přitahovalo vyšší množství různonožců, ale složení bylo podobné jako u zhaslých světel. LED světla však mají silnější účinek na vznikající faunu, protože ovlivňují jak hojnost, tak složení.

Na základě biomasy jsou různonožci dominantními taxony v rámci vznikajícího zooplanktonu (Anokhina, 2006), což je důležitý zdroj potravy pro noční planktivorní predátory, jako jsou ryby, korály a lilijice (Alldredge a King, 1997). Takže změna složení a hojnost různonožců v prostředí umělého světelného znečištění mění dostupnost kořisti pro predátory zooplanktivorous (Ioanna a kol., 2012).

3.8.1.2 Hmyz

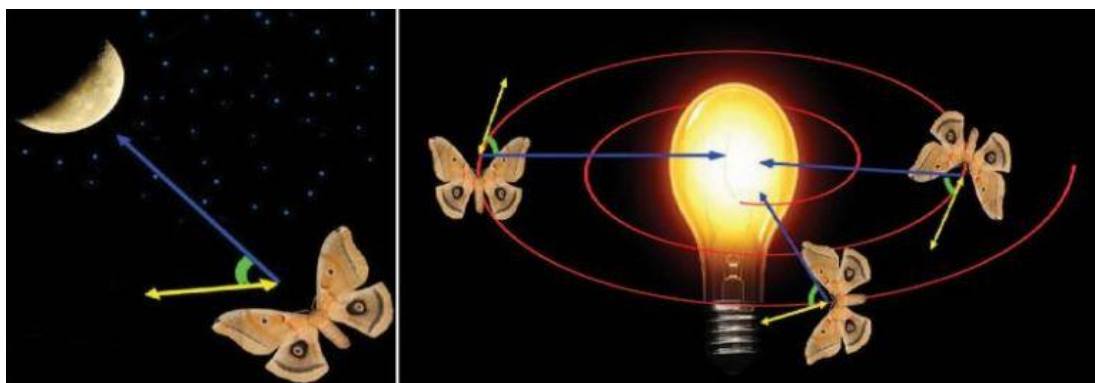
Na celém světě je až 50 % druhů zvířat popsáných jako hmyz. Někteří z hmyzu ztratili křídla a tím i schopnost létat (Eisenbeis a Eick, 2001). Nejvíce je ovlivňováno světelným zářením široké spektrum všech řádů hmyzu, a to především v letu. Záření může být buďto přírodní, jako je Měsíc, jasná obloha, blesk či oheň, nebo lidského původu, jako je například jakékoli osvětlení nebo oheň (Bina 2004). Hmyz tvoří nejen podstatnou část potravinových pyramid predátorů - kořistí, ale je také důležitý pro potravinové sítě tím, že je opylovačem mnoha rostlin. Tím pomáhá vytvářet potravu pro jiná zvířata (DeVries, 2006).

Chování hmyzu ve vztahu ke světlu bylo popsáno několika způsoby. Jedním z nich je účinek, který se nazývá fixovaný nebo zachycovací efekt. Spočívá v tom, že hmyz letí směrem ke světlu a zastaví se v určité vzdálenosti od zdroje světla, kde

může díky silnému oslnění uvíznout celou noc. Hmyz letí směrem ke světlu a ve skutečnosti se zastaví do určité vzdálenosti od zdroje světla. Zde může díky silnému oslnění uvíznout celou noc. Zachycen světlem znamená, že nemůže plnit své základní funkce po celý život, jako je hledání potravy a rozmnožování. Některé druhy hmyzu létají přímo do světla, kde je vzápětí zabije rozpálený skleněný povrch (Eisenbeis, 2006). Hmyz, který narazí do světlem rozžhavené lampy, je poškozen natolik, že padá k zemi a není schopen létat (Bína, 2004).

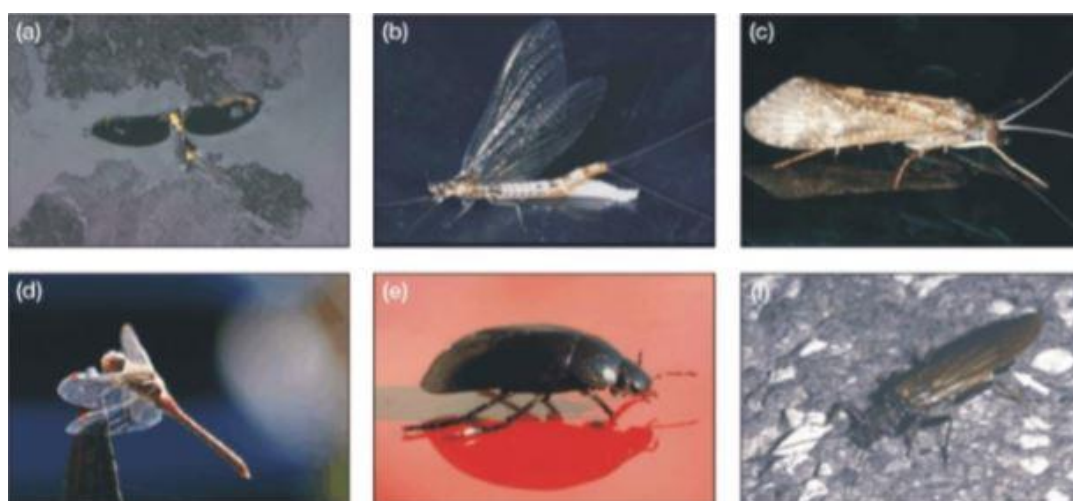
Je známo, že v některých skupinách hmyzu převládá počet nočních druhů. Mnoho druhů láká světlo přímo k jeho zdroji, čehož je hojně využíváno k odchytu hmyzu za vědeckými účely. U řádu *Lepidoptera* (motýli), kde většinu druhů lze nejnadhěji získat odchytém na světlo, při individuálním sběru nebo do osvětlených pastí. Sčítání počtu motýlů v Tyrolsku vedlo k překvapivému výsledku, že přibližně 85 % z 2 700 druhů žije v noci (Held a kol., 2013). Motýli jsou hmyz, který potřebuje sluneční světlo, aby se mohl rozmnožovat a vzkvétat. Denní světlo je jejich říší. Nicméně hlavní částí jejich životního cyklu je housenka, která je často aktivní pouze v noci. Zavádění umělých světel v přírodních oblastech má významný dopad na rozmanitost, distribuci a hojnost motýlů (DeVries, 2006).

Důvod, proč motýli a tisíce dalších druhů hmyzu létají ke světlu, je nejspíše multifaktoriální a má souvislost s orientací hmyzu. Takový motýl se často orientuje podle Měsíce, který je jeho jediným orientačním bodem. Pokud nahradíme Měsíc umělým světlem, změní se dráha letu motýla, který se „domnívá“, že letí stále přímočaře. Skutečností je, že se směr jeho dráhy ve skutečnosti mění. Dráha motýla už není přímočará, nýbrž spirálovitá, až vltne do umělého zdroje světla (Kralíček, 2014).



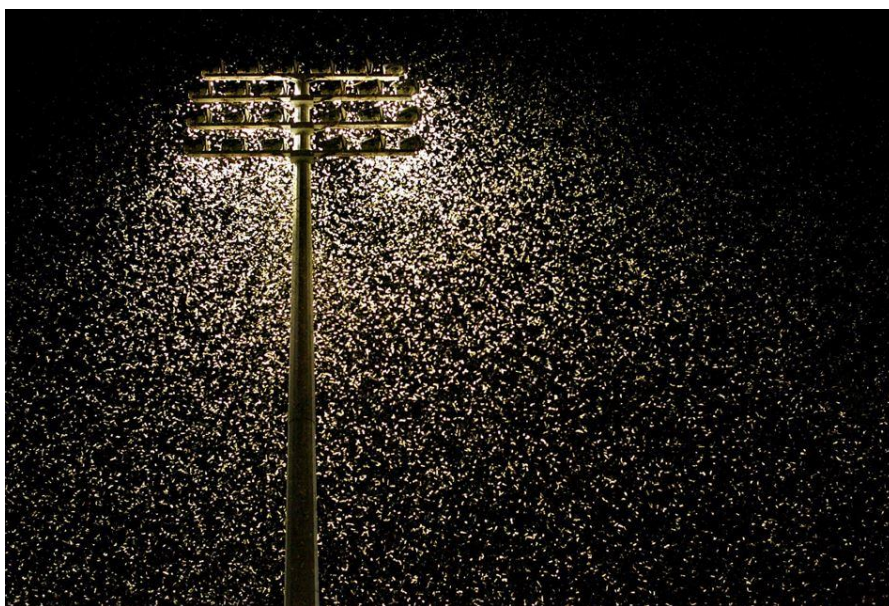
Obr. 9: *Dráha motýla* (Cloudy Nights, ©2019).

Mnoho vodního hmyzu zažívá úplné reprodukční selhání, když klade vejce na umělé polarizátory. Například vážky a jepice provádí sexuální chování a kladou vejce na nevhodné povrchy. Ku příkladu můžeme uvést lesklé cementové podlahy, černé lavičky, skleněné tabule, černé plastové folie a vodorovné černé náhrobky, které jako voda odrážejí horizontálně polarizované světlo. Silné polarizační vzorce činí také černá nebo červená auta, která jsou atraktivní pro řadu druhů. Sameček vážky často sedí na anténách automobilu a vytváří si svá teritoria na kapotách, zatímco samička klade vajíčka na vodorovné povrchy automobilů, kde se jim nedaří vylíhnout (Wildermuth a Horváth 2005). Přitažlivost ke zdrojům znečištění polarizovaným světlem (*Polarized Light Pollution, PLP*) je tak velká, že se jednotlivci jeví jako neschopni odejít, což je chování, které je nazýváno jako „*účinek zajetí polarizace*“ (Eisenbeis a Rich, 2006) a vrcholí smrtí hmyzu v důsledku dehydratace a vyčerpání.



Obr. 10: Hmyz milující vodu přitahovaný na různé zdroje PLP. (Horváth 2009); (a) Jepice uvězněna v jezeře na odpadním oleji (b) Jepice snášející vajíčka na vodorovnou černou plastovou fólii (c) Chrostíci na vertikální skleněné tabuli (d) Sameček vážky sedící nad lesklým náhrobkem (e) Vodní brouk na červené střeše automobilu (f) Pošvatky kladou vejce na suchou asfaltovou silnici.

Vizuální komunikace uvnitř a mezi druhy může být ovlivněna umělým nočním osvětlením. Některé druhy používají ke komunikaci světlo, a proto jsou zvláště náchylné k jejímu narušení. Světlušky přitahují samečky do vzdálenosti 45 metrů bioluminiscenčními záblesky. Přítomnost umělého osvětlení snižuje viditelnost těchto komunikací. Podobně složité vizuální komunikační systémy světlušek by mohly být narušeny bludným světlem (Lloyd, 1994).



Obr. 11: *Tisíce můr, rojících se kolem světlometů* (De Peak ©2019).

Pokud jsou můry blízko umělého světla, mohou ztratit své obranné chování a tím jsou náchylnější k lovu predátorů. Miliarda můr a mnoho dalšího nočního hmyzu jsou zabity každý rok pouhým vyčerpáním a tím, že nemohou uniknout světlu, pokud nejsou okamžitě zabity horkým světelným zdrojem (DeVries, 2006).

3.8.1.3 Plži

Slimáci

Slimáci jsou dominantní měkkýši a důležití býložravci v ekosystému. Dlouhodobé účinky na taxon, který silně ovlivňuje ekosystémové procesy, jako jsou slimáci, může mít negativní důsledky na fungování ekosystému. Umělé noční osvětlení může mít přímý a nepřímý účinek na slimáky. Slimáci jsou známí tím, že jsou negativně fototaktičtí (Zieger a kol., 2009), a proto by se měli vyhnout v noci osvětleným stanovištím. Někteří predátoři slimáků se také vyhýbají světlu, například ježek, zatímco střevláci jsou vizuálními lovci a mohli by těžit ze zvýšené viditelnosti

slimáků pod umělým osvětlením. Proto nepřímé účinky umělého osvětlení v závislosti na predaci mohou hojnost slimáků zvýšit anebo snížit.

Dalším způsobem, jak by mohlo umělé světlo nepřímo ovlivnit slimáky, je díky změně dostupnosti potravy (Van Grunsven a kol., 2018).



Obr. 12: Přemnožený plzák hnědý v zeleninové zahradě (Zahrada centrum, ©2019).

Slimáci jsou aktivní především v noci a jednotlivé druhy se liší načasováním svého nočního pohybu. Nástup aktivity se ale nemusí nutně shodovat s nástupem tmy (Dainton, 1953).

Lewis (1969) ukázal, že u plzáka černého (*Arion ater*) přetrvává cirkadiánní rytmus pohybové aktivity pod stálým osvětlením.

Umělé světlo mohlo snížit také tlak predátorů na slimáky. U vizuálních dravců, jako jsou ježci, střevláci a jiní brouci, lze očekávat, že budou aktivnější při nočním osvětlení. To má za následek nárůst počtu slimáků na osvětleném místě. Zde byl ovšem pozorován opačný jev. Pokud se tyto predátoři sami vyhýbají světlu, do určité míry byl viděn větší počet slimáků (Manfrin, 2017).

V okrasných nebo zeleninových zahradách slimáci z čeledi Plzákovitých (*Arionidae*) patří mezi nejproblematičtější škůdce, kteří mohou poškozovat nebo konzumovat mnoho rostlin a sazenic (Gregory a Musick, 1976). S rostoucí popularitou malých solárních LED diod světel má více zahrad noční zdroje světla, které svítí celou noc. Pokud se zvýší osvětlení i používání ozdobného osvětlení

v zahradách, zvýší se zároveň hojnost slimáků, což může stimulovat používání pesticidů s možnými důsledky pro další organismy (Saad a kol., 2017).

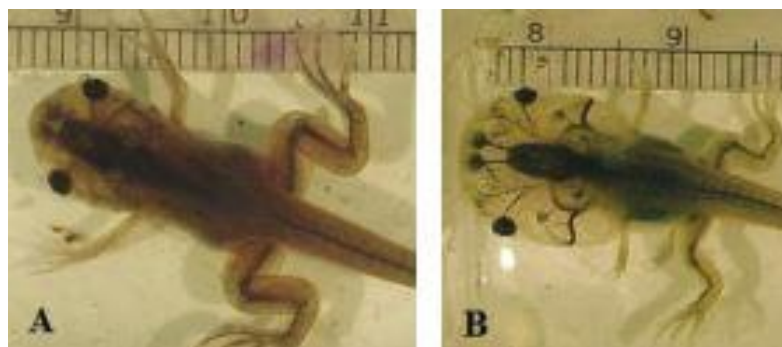
3.8.2 Obratlovci

3.8.2.1 Obojživelníci

Obojživelníci jsou důležitou součástí lesních a vodních ekosystémů a jsou velmi citliví na změny životního prostředí. Světelné znečištění může přispět ke globálnímu poklesu obojživelníků, protože jsou aktivní většinou v noci nebo jsou jejich biologické rytmy regulované světlem (Wise, 2007). Rozsah anatomických adaptací, které umožňují noční vidění, je široký (Park, 1940) a rychlý nárůst světla může živočichy oslepit (Longcore a Rich, 2004).

Rychlé zvýšení osvětlení způsobuje žábám snížení vizuální schopnosti. Doba zotavení může trvat několik minut až hodin (Buchanan, 1992).

Nedávný laboratorní výzkum používal různá noční osvětlení na drápatku vodní (*Xenopus laevis*) ke studiu vlivu na růst pulců a metamorfózu. Zjistilo se, že zvýšená úroveň tmy přispěla k většímu počtu zrajících žab. Metamorfóza byla výrazně snížena u živočichů ve stálém světle. Tím pádem i nízké úrovně osvětlení v noci, jako je například jasné měsíční světlo nebo umělé světlo, mohou metamorfózu oddálit. Pokud se toto zjištění vztahuje na jiné druhy žab, které mají omezenou délku larválního stadia v důsledku sušení, pak by taková zpožděná metamorfóza mohla snížit pravděpodobnost úniku z kaluže předtím než vyschne nebo zamrzne, což by při noční expozici zvýšilo mortalitu umělým osvětlením (Wise, 2007).



Obr. 13: Pulci stejného věku, vystavení různé intenzitě osvětlení (Wise 2007).

Na obrázku A je pulec, který nebyl osvětlen a probíhá metamorfóza. Na obrázku B je pulec, který byl osvětlen a zachovává si stále formu larválního stádia a ještě není připraven k proměně.

Umělým nočním světlem může být také narušena reprodukce. Například žáby z čeledi Hvízdalkovitých (*Physalaemus pustulosus*) jsou méně selektivní, pokud jde o volbu partnera. Pokud se zvýší hladina světla, pravděpodobně se jedinci raději rychle spáří, aby se vyhnuli riziku predace (Rand a kol., 1997).

Studie z roku 1983 sledovala dopad světla na plazmatický melatonin u axolotla tygrovaného (*Ambystoma tigrinum*). Melatonin je hlavní hormon, který je regulován fotoperiodou. Produkce tohoto hormonu je inhibována světlem. Za stálého světla byla produkce melatoninu snížena. To ovlivnilo produkci tyroxinu, hormonu štítné žlázy, vývoj gonád, reprodukční chování, zbarvení kůže, termoregulaci a schopnost vizuálně se přizpůsobit tmě. Další terénní studie zkoumala účinek umělého nočního osvětlení mločika popelavého (*Plethodon cinereus*) na hledání potravy. Tito mloci okupují spadané listy ve východních severoamerických listnatých lesích a ukrývají se pod různými objekty, které poskytují ochranu před predátory a vysycháním. Jejich nadzemní potravní aktivita je omezena vlhkostí během deštivých nebo vlhkých nocí. Na lesním dně se v neosvětlených transektech aktivně objevovalo podstatně více mloků než v osvětlených transektech. Chronické vystavení umělému nočnímu osvětlení omezuje možnosti hledání potravy, což vede ke sníženému růstu anebo neschopnosti se rozmnožovat (Wise, 2007).

3.8.2.2 Ryby

Umělé světlo v noci může mít také silný vliv na vodní stanoviště (Perkin a Gido, 2011). Břehy mnoha jezer, řek, pobřeží moří a oceánů jsou charakterizovány mnoha umělými světelnými zdroji. Příkladem je osvětlení břehů, přístavů a osvětlené mosty (Held a kol., 2013). Obecněji můžeme říci, že dochází k narušení nebo oslabení vlivu přirozených fotoperiodických cyklů ve vodách, které jsou silně ovlivněny nepřirozeným nočním osvětlením. To může ovlivňovat metabolismus a chování ryb. Vede to až k podpoře a zvyšování abundance ryb, žijících v hejnech. Profitovat mohou ale také rybožravé druhy, které se orientují vizuálně. Významně narušeny mohou být přirozené vzorce chování a využívání přírodních zdrojů. Poté

může dojít k přeměně struktury populací jednotlivých druhů a také může dojít ke vzniku nepřírozených společenstev (Peňáz a Prokeš, 2014).

Většina ryb reaguje na světlo nebo se orientuje podle světla. V důsledku toho jsou potencionálně citlivé na změny světelného režimu, což v dlouhodobém horizontu může vést k tomu, že vodní ekosystémy nebudou vyváženy. I když jsou při reprodukci narušeny umělým světlem jen některé druhy, může to mít za následek celkovou změnu druhové struktury. Každý druh, ale často také různé fáze vývoje uvnitř druhu, reagují na světlo odlišně. Na jedné straně je to pravděpodobně způsobeno příslušným způsobem života, to znamená, zda jsou ryby nočním nebo denním typem. Na druhé straně určitě hrají roli biologické a fyzické zvláštnosti obytného prostoru a charakterové rysy jedince (Held a kol., 2013).

Při změně přirozeného denního rytmu umělým světlem jsou ovlivněny zejména fyziologické procesy, které jsou hormonálně kontrolovány. Jedná se především o procesy založené na ročních rytmech, jako je reprodukce, a denních rytmech, jako je příjem potravy. Vnitřní rytmus ryb je řízen částí mozku citlivou na světlo, tzv. šišinkou, která působením světla produkuje hormon melatonin. Změny hladiny melatoninu během dne synchronizují funkce těla a umožňují tak účinnou regeneraci během klidové fáze. Změněná hladina melatoninu může také ovlivnit sekreci jiných hormonů, jako jsou hormony štítné žlázy, které jsou zvláště důležité pro kontrolu vývoje, růstu a metabolických procesů. Hormony štítné žlázy hrají klíčovou roli v metamorfóze platýse, ve které se tělo zplošťuje do tvaru disku a oči se přesouvají k horní části těla. Ovlivnění produkce melatoninu světelným znečištěním a následná změna ve funkci štítné žlázy může mít tedy devastující účinky na růst a vývoj ryb (Held a kol., 2013).

Některé migrující druhy ryb, jako je například losos nebo úhoř, nepokračují v migraci díky osvětleným mostům. Výsledkem je, že živočichové ztrácejí drahocenný čas a plýtvají energií, která jim již nemusí být k dispozici pro dosažení cíle a úspěšné reprodukci (Brünning a Hölker, 2015).

Vývoj pohlavních orgánů je také spouštěn světlem. Tyto procesy řídí především sezónní změna doby denního světla. Například klesající délka denního světla na podzim je impulsem pro zahájení reprodukce. Pokud je tato klesající délka denního světla v této takzvané fotocitlivé fázi nahrazena trvalým světlem, tento

impuls chybí. Důsledky umělého světla v noci však mohou být pro vodní ekosystém dalekosáhlé, pokud se některé druhy nereprodukuje nebo se reprodukuje pouze v omezené míře (Held a kol., 2013).

3.8.2.3 Plazi

Mořské želvy

Mořské želvy jsou obrovští plazi, kteří žijí na této planetě několik desítek milionů let. Avšak nováčci - lidé, katastroficky snížili jejich počet. Přímo- sběrem vajec a lovem dospělých jedinců a nepřímo- pomocí rybolovu, modifikace a degradace stanovišť (Salmon, 2003). Dnes zůstává pouze sedm druhů želv, z nichž šest je označeno jako ohrožené a jeden jako kriticky ohrožený. Důvody jejich zápisu jsou různé, ale všechny jsou způsobeny člověkem. Ztráta stanoviště, změna stanoviště, nelegální rybolov, zásahy lodí, znečištění atd. (Nicholas, 2001).

Světelné znečištění na hnízdních plážích škodí mořským želvám, protože mění jejich kritické noční chování. Konkrétně jak si želvy vybírají svá hnízda, jak se po hnízdění vracejí do moře a jak mláďata hledají moře poté, co se vylíhnou. Tato nepřímá pozorování a experimentální důkazy ukazují, že umělé osvětlení pláží má tendenci odrazovat želvy, které se vynoří z moře a putují do hnízda. Přestože je zde tendence želv upřednostňovat tmavé pláže, mnoho z nich hnízdí na osvětlených březích, a proto jsou ohroženy životy jejich mláďat.

Podle Witheringtona a Martina (1996) jsou účinky světelného znečištění viditelnější, když se želvy pomalu blíží na břeh. Znečištění může někdy ovlivnit výběr místa hnízda, zkrátit dobu hnízdění nebo v některých případech dochází k tomu, že se jednotlivci zcela odvrátili a opustili svůj pokus zahnízdit (Witherington a Martin 2003).

Plazící se mláďata, která se vylíhnou z vajec a jsou vystavena svítidlům, nedokážou lokalizovat moře. Místo stop, vedoucích přímo k moři, želvy zanechávají v písku důkaz, že se plazí celé hodiny po okružních cestách (jsou dezorientovány) nebo se plazí na přímých cestách od oceánu směrem k osvětlení. Ovšem i mírné zpoždění při hledání moře může být pro mláďata smrtelné (Witherington 1997).



Obr. 14: Stopy dezorientovaných mlád'at karety obecné (*Caretta caretta*) na pláži Melbourne na Floridě (Witherington, 1997).

Na Floridě každoročně umírají mlád'ata na vyčerpání, střety se suchozemskými predátory, zapletení se do vegetace dun, dehydrataci nebo dokonce na střet s auty, když procházejí pobřežními vozovkami (Salmon, 2003). Úmrtnost při cestě mlád'at do moře způsobená světlem je závažným problémem ochrany, protože hnízda jsou obvykle umístěna na plážích a ty jsou příliš osvětlené na to, aby umožnily únik mlád'at.

Absence umělého osvětlení je důležitá. Witherington několik dní pomocí přenosných generátorů osvětloval části dvou hlavních hnízdních míst: Melbourne Beach na Floridě, kde hnízdily karety obecné (*Caretta caretta*), a Turtuguero v Kostarice, což je místo upřednostňované karetami obrovskými (*Chelonia mydas*). Když světla svítila, hnízdní aktivita želv klesla téměř na nulu. Pokud byla světla zhasnuta, samičky se vrátily. Kvalita světla byla také důležitá. Takzvané bílé světlo, obsahující jak krátké, tak dlouhé vlnové délky, želvy odrazovalo. Zatímco žluté světlo, složené z jediné dlouhé vlnové délky viditelné pro želvy, nikoli (Witherington, 1997).

Kareta obecná je mimo jiné náchylná na přírodní rizika, jako jsou krabi, kteří loví vejce a mlád'ata (Strachan 1999). Krabi byli také pozorováni, jak vstupují do hnízda během hnízdění samiček. Toto chování predátorů může být také ovlivněno osvětlením pláže (Tuxbury a Salmon, 2005).

Vzhledem k tomu, že želvám vadí nadměrné noční osvětlování, vědci se domnívají, že želvy používají vysoké předměty jako štíty před umělým osvětlením z vnitrozemí (Salmon, 2003).

3.8.2.4 Savci

Netopýři

Evoluce netopýřů započala před 60 mil let. Jejich předci pravděpodobně žili na stromech, odkud chytali hmyz. Postupem času a vývojem evoluce se malá kůže mezi prsty zvětšovala. Schopnost létat aktivně spolu s vývojem sofistikované echolokace pro orientaci otevřela pro netopýry předky úplně nové místo: vzdušný prostor. Dobytní nočního vzdušného prostoru bylo doprovázeno působivým rozšířením biologické rozmanitosti netopýřů. Po hlodavcích jsou netopýři s 1 200 známými druhy nejbohatší skupinou savců. Netopýři jsou pouze noční tvorové, protože kůže aktuálních žijících druhů a kůže vzdáleně příbuzných skupin savců, jako jsou například chřestýši a ježci, je tmavě pigmentovaná. Kůže původních netopýřů byla pravděpodobně také tmavá. Vysoká absorpce tepla tmavé kůže znemožňuje činnost lovecké činnosti, a pokud by netopýři lovíli ve dne, mohlo by vlivem slunce dojít k přehřátí (Voigt a Lewanzik, 2011).

Vliv nočního osvětlení má pro netopýry dalekosáhlé důsledky. Mnoho netopýřů vylétá ze svých úkrytů až za úplné tmy. Vzhledem k tomu, že se neustále svítí, mají kratší dobu na lovení potravy. Netopýřům nejvíce chybí časná večerní hodiny, kdy je dostupnost hmyzu pro hmyzožravce nejvyšší (Held a kol., 2013).

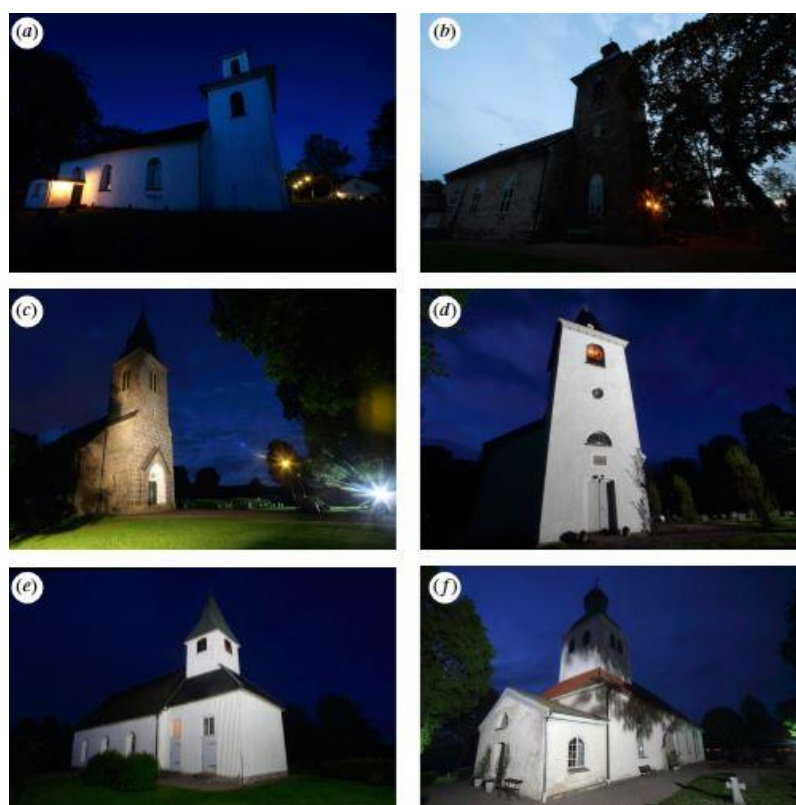
Někteří netopýři profitují z pouličního osvětlení. I když se může zdát, že se jedná o pozitivní účinek, prospívá pouze těm druhům, které využívají zdroje světla, a proto by mohla mít za následek změnu struktury společenství (Longcore a Rich, 2004). Existují studie, které ukazují, že některé druhy netopýřů využívají umělého světla. Některí hmyzožraví netopýři se naučili, že lov na pouličních lampách je snadný a efektivní, protože mnoho hmyzu, zejména můry, v noci přitahují ve velkém množství. Dokonce ve studii ze Švédska bylo zjištěno, že rychle létající netopýr severní (*Eptesicus nilssonii*) loví více v místech, jejichž ulice jsou v noci osvětlené. (Rydell, 1991). V Panamě např. netopýr bělavý (*Myotis albescens*) pomalu létá kolem pouličních lamp a loví hmyz (Jung a Kalko, 2010).

Na rozdíl od rychlých letců neprovádějí klikatý let s dlouhým dosahem pro lov hmyzu, ale ve světelném kuželu jednotlivých luceren létají v úzkých kruzích. Mohou také snížit riziko, že se stanou kořistí při lovu. Existují též druhy netopýrů, které se vyhýbají osvětleným oblastem nebo vykazují změnu chování. Evropský netopýr pobřežní (*Myotis dasycneme*) se straní umělého světla a snižuje svou loveckou aktivitu v osvětlených oblastech, i když se zde navyšuje zásoba potravy (Kujper a kol., 2008).

Osvětlení tradičních letových koridorů by mohlo mít negativní dopad na lovecký úspěch a nakonec na celé populace netopýrů. Nedávná studie ukazuje, že netopýr jižní (*Pipistrellus kuhlii*) a netopýr Bottův (*Eptesicus bottae*) také mění své chování za umělého osvětlení. Oba tyto druhy létaly výrazně rychleji, když byly vystaveny světlu, pravděpodobně proto, aby se minimalizovalo riziko objevení. Netopýr jižní se zdá být docela tolerantní vůči světlu, protože jen mírně snížil svou aktivitu během osvětlení a pokračoval dále v lovu. Na druhou stranu netopýr Bottův lovil pouze v neosvětlených podmínkách. Osvětlené oblasti se téměř úplně vyhnul (Polak a kol., 2011). Vrápenec malý (*Rhinolophus hipposideros*) je stejně citlivý na umělé světlo. Pokud byl vrápenec malý osvěcen, vyhýbal se svým tradičním letovým koridorům téměř úplně (Stone a kol., 2012). Osvětlené prostory netopýrům zpomalují vývoj mláďat, i když se jedná o tolerantnější druhy na světlo, jako například netopýr hvízdavý (*Pipistrellus pipistrellus*), který loví na lucernách. Studie z roku 2007 z Velké Británie ukázala, že čím vyšší je intenzita osvětlení, tím méně netopýrů z hnízda vyletí. Bílé světlo mělo největší dopad ve srovnání s červeným a modrým světlem (Downs a kol., 2003). Netopýr brvitý (*Myotis emarginatus*) se zdá být zvláště citlivý. Téměř všichni jednotlivci v testované kolonii opustili své kajuty v kostele až dvě hodiny po zhasnutí světel. Studie na mláďatech netopýrů ušatých (*Plecotus auritu*) poskytují první náznaky toho, že zkrácení nočního hledání potravy může mít negativní dopad na jejich vývoj. Během fáze, kdy byla mláďata kojena, byla jejich délka předloktí, která se používá jako měřítko růstu jejich velikosti, v osvětlených čtvrtích kratší a jejich tělesná hmotnost byla nižší než u mláďat z neosvětlené čtvrti. Pokud takové nevýhody přetrvávají až do režimu spánku, mohou mít netopýři, kteří vyrůstají v koloniích osvětlených čtvrtí, v zimě menší šanci na přežití (Boldogh, 2007).

Světlo- požehnání pro jednoho, kletba zase pro jiné druhy netopýrů citlivých na světlo. Ve svém životním prostoru jsou stále častěji omezováni všudypřítomným osvětlením a jsou odříznuti od svých loveckých oblastí. Vzhledem k tomu, že světlo přitahuje hmyz z velké vzdálenosti, již není k dispozici jako kořist v sousedních tmavých oblastech druhů citlivých na světlo. Například populace některých druhů netopýrů odolných vůči světlu, jako je netopýr hvízdavý (*Pipistrellus pipistrellus*), roste pravděpodobně v důsledku dobré dostupnosti potravy na pouličních lampách. Při lovu na neosvětlených stanovištích soutěží s populací druhů citlivých na světlo o málo hmyzu, který je zde k dispozici. V důsledku toho může být jejich existence dále ohrožena (Held a kol., 2013).

Osvětlení budov pro estetické účely může být velkým problémem životního prostředí. Hnízda netopýrů jsou ve velkém počtu zničena a problém by se měl odpovídajícím způsobem řešit. Nedávná studie ve Švédsku zjišťovala, zda kolonie netopýrů kvůli osvětlení kostelů opouští svá obydlí. Počet kostelů, které obývali netopýři, se podstatně snížil. Z původních 61 % v 80. letech na pouhých 38 % v roce 2016. Ztráta kolonií netopýrů z osvětlených kostelů byla velmi významná a nejzranitelnější, když byla světla aplikovaná do všech možných směrů, tím pádem netopýři neměli žádnou tmavou chodbu, která by vedla zpět do hnízda. Za více než 25 let klesl počet kolonií z kostelů, které byly následně osvětleny. Z původních 24 se snížil na 14. Neví se, jestli netopýři z osvětlených kostelů zemřeli nebo přežili a rozmnožili se někde jinde (Rydell a kol., 2017).



Obr. 15: Sezónní využití osvětlených oblastí při hledání potravy severních netopýřů *Eptesicus nilssonii* (Rydell a kol., 2017).

Tři kategorie osvětlení kostelů. Na obrázku (a,b), jsou téměř neosvětlené (c,d) částečně osvětlené a (e,f) osvětlené. V 80. letech, se v kostelích nacházely ukryté kolonie netopýřů. V roce 2016 se ukázalo, že kolonie netopýřů z kostelů na obrázcích (d,e) vymizely.

V jiné studii byla kolonie netopýřů řasnatých (*Myotis nattereri*) uvězněna v podkroví uvnitř kostela kvůli nainstalovanému světlu. Nemohli se normálně žít a hrozilo jim hladovění. Tato situace přetrvávala, dokud se světlo trvale nezhaslo (Rydell a kol., 2017).

3.8.2.5 Ptáci

V noci migruje mnoho druhů ptáků, kteří se orientují podle Měsíce, hvězd a zapadajícího Slunce. Světelné znečištění skrývá jejich navigační pomůcky. Umělá městská světla zvláště zasahují do jejich instinktivního chování a ptáky migrující v noci přitahují jasně osvětlené budovy v městských oblastech (Stump, 2008). Časově je to především v době po půlnoci, kdy se začíná snižovat výška tahu. Ptáci se začínají pouštět k zemi a hledat místa k dennímu odpočinku. Dezorientovaní ptáci tak narážejí na výškové stavby, na místech tahových koncentrací jsou zjišťovány

desítky až stovky mrtvých ptáků za jedinou noc. K nízko položeným intenzivním zdrojům světla se ptáci soustřeďují a poletují kolem nebo usedají přímo ke zdroji (Hudec, 2004).



Obr. 16: Mrtví ptáci shromáždění v jednom roce po srážce s osvětlenými okny v Torontu (The Commission for the Dark Skies, ©2015-2018).

Světlo také hraje důležitou roli pro ptáky, kteří se orientují na magnetickém poli Země, protože kalibrují svůj magnetický kompas v době východu a západu Slunce. Umělé světlo může rušit, pokud zahrnuje určité rozsahy vlnových délek.

Migrace ptáků za tmy je velmi citlivá na noční světelné podmínky. Není proto překvapivé, že umělé osvětlení může mít v noci fatální následky. Osvětlené mrakodrapy, majáky a jasně osvětlené ropné plošiny na moři jsou zvláště nebezpečné. Přitahují ptáky a dezorientují je zejména za špatného počasí. Důvody, proč ptáci migrují v noci, nejsou jasně známy. Může hrát roli bezpečnost před predátory, možnost budovat tukové zásoby během dne, anebo jsou pro ně v noci lepší navigační podmínky (Held a kol., 2013).

Umělé světlo maskuje přirozené světelné podněty, které způsobují, že několik druhů zpěvných ptáků zpívá dříve při východu slunce a v některých případech zase později při západu (Da Silva a kol., 2014).

Ptáci z čeledi Buřňákovitých (*Procellariidae*) patří mezi nejohroženější skupinu ptáků (Rodríguez, 2015). Kromě toho, že buřňáci jsou loveni některými druhy savců, musí se tito mořští ptáci vypořádat i s nově vznikající hrozbou světelného znečištění, které celosvětově roste. Mláďata, která se vylíhnou a poprvé vylétnou z hnízda na moře, jsou přitahována a dezorientována umělými světly. Po usednutí na zem jsou vystavena mnoha hrozbám, které vedou k vysoké úmrtnosti. Nejméně 304 ptačích mláďat bylo nalezeno uvízlých kvůli přitažlivosti k umělým světlům, což smrtelně postihlo 8,5 % z nich. Ptáci byli zachráněni ve střední vzdálenosti 4 833 m od nejbližší kolonie a 30 % až 47 % kolonií bylo vystaveno světlem znečištěným oblastem. I když se zdá být dopad na všechny druhy nízký, měl by se brát v úvahu nárůst světelného znečištění v blízkosti kolonií, aby se tento vznikající zdroj úmrtnosti co nejvíce snížil (Rodríguez, 2015a).

Kos černý (*Turdus merula*), původně plachý lesní obyvatel, stále častěji osídluje vesnice a města od počátku 19. století a nyní je jejich nedílnou součástí. Tito tzv. kosi změnili způsob života mnoha různými způsoby ve srovnání s ostatními druhy, které stále žijí v lese. Počáteční studie ukazují, že městští kosi poblíž umělých světelných zdrojů začínají zpívat brzy ráno nebo dokonce v noci, zatímco kosi, žijící v lese, ještě spí (Klausnitzer, 1989).

Toto bylo také pozorováno u jiných městských ptáků různých druhů, jako jsou červenka obecná (*Erithacus rubecula*), sýkora modřinka (*Cyanistes caeruleus*) a drozd stěhovavý (*Turdus migratorius*) (Partecke, 2009).

Umělé osvětlení by mohlo být částečně odpovědné za rané rozmnožování. Studie z roku 2010 týkající se sýkory modřinky (*Cyanistes caeruleus*) ukazují, že samičky sýkory modřinky, které mají hnízda poblíž pouličních lamp, začínají snášet vejce dříve než samičky, které hnízdí dále od pouličního osvětlení (Kempenaers, 2010). Srovnávací studie na městských a lesních kosech ukázala, že časné období rozmnožování městských kosů lze vysvětlit ve větší míře individuální adaptací na environmentální faktory specifické pro město, než genetickými rozdíly mezi oběma populacemi (Partecke, 2009).

Vědci se snaží zjistit, které typy světelných zdrojů jsou pro ptáky méně nebezpečné, aby se zmírnily tyto ničivé následky. Podle současného stavu výzkumu

je modro - zelené světlo pro stěhovavé ptáky mnohem méně dráždivé, než červené dlouhé vlnové světlo (Poot a kol., 2008).

4. Výsledné zhodnocení

Negativní dopad světelného znečištění na širokou škálu živočichů je významným nezamýšleným důsledkem lidského jednání, které mělo původně dobrou myšlenku: zvýšit bezpečnost, prodloužit den ve snaze zvýšit produktivitu práce a dosáhnout co největšího komfortu. Snaha rozsvítit noc však přinesla do živočišné říše velké problémy, které nejsou na první pohled patrné a objevují se až při důkladném zkoumání.

Problematika negativního vlivu světelného znečištění na živočichy se nedá řešit odděleně, ale je třeba najít komplexní řešení problematiky světelného znečištění. Nežádoucí efekty umělého osvětlení se projevují v několika širokých kategoriích: ve spotřebě energie, ekologii, lidském zdraví, bezpečnosti a v pohledu na noční oblohu. Z toho důvodu je třeba definovat určitý společný rámec – jednotné uchopení problematiky - pro různé obory lidské činnosti. Jde vlastně o vytvoření společného prostoru pro hledání řešení (Stone, 2017).

Z tohoto pohledu byl významným projektem Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky. V závěrečné zprávě byly shromážděny přehledy této problematiky z mnoha různých oborů a v rámci tohoto projektu byly provedeny některé výzkumy poprvé ve světovém měřítku. Tento projekt také umožnil zahájit práci v mnoha oblastech, které jsou ovlivněny světelným znečištěním (Hollan, 2004).

V únoru roku 2017, po lednové schůzce s odborníky z České astronomické společnosti, byla ustavena ministrem životního prostředí Mgr. Brabcem mezirezortní skupina, která provedla souhrnnou analýzu problematiky světelného znečištění a předložila vládě její výsledky. Členy této skupiny jsou kromě zástupců ministerstva životního prostředí zástupci ministerstev průmyslu a obchodu, pro místní rozvoj, vnitra, zdravotnictví a také Svazu měst a obcí ČR, Svazu průmyslu a obchodu ČR a České astronomické společnosti (MŽP, ©2017b).

Z výsledků práce této skupiny vyplynulo, že světelné znečištění má významné negativní dopady na různé oblasti života. Zároveň je podkladem pro další práci, která zahrnuje především hledání účinných nástrojů k omezení světelného

znečištění a zajištění právní ochrany. Zdůrazňuje především potřebu komplexního legislativního řešení dané problematiky. (MŽP, ©2017a).

Na výše uvedený materiál, předložený vládě ČR v roce 2017, navazuje další dokument Řešení problematiky světelného znečištění. Jeho součástí jsou konkrétní návrhy dalších kroků, ve kterých jednotlivé rezorty vidí prostor k nalezení nástrojů k řešení dané problematiky, a také seznam úkolů pro tyto rezorty v rámci jejich kompetencí (MŽP, ©2017c).

Ministerstvo vnitra se zavázalo do března 2018 do Metodického pokynu pro územní samosprávné celky – Úprava místních záležitostí zpracovat informaci, že některé způsoby obtěžování světlem by mohly být posuzovány jako rušení nočního klidu.

Ministerstvo zdravotnictví si dalo za cíl uspořádat formou kampaně v průběhu roku 2018 osvětové akce, které by veřejnost seznamovaly se škodlivými účinky modrého světla a jeho vlivu na cirkadiánní rytmy. Pokud bude právním předpisem tomuto resortu uložena kompetence k řešení světelného znečištění, stanoví podmínky ochrany veřejného zdraví pro příslušný správní orgán, tedy pro krajské hygienické stanice, a definuje jeho pravomoci v dané oblasti.

Ministerstvo pro místní rozvoj při změně veřejného stavebního práva navrhne řešení technických požadavků na stavby.

Ministerstvo dopravy mělo ve spolupráci s Centrem dopravního výzkumu do prosince 2018 vyhodnotit analýzy míst, kde je největší světelná zátěž způsobená dopravní infrastrukturou a navrhnout technická a organizační opatření. Dále mělo ve stejném termínu navrhnout normativní dokument, týkající se projektů dopravní infrastruktury, který by měl obsahovat požadované parametry pro osvětlení.

Svaz průmyslu a obchodu se zavázal průběžně šířit mezi svými členy osvětu v oblasti světelného znečištění.

Úkolem ministerstva průmyslu a obchodu bylo do konce roku 2017 vypracovat seznam norem, které se nějak týkají osvětlování a provést jejich analýzu, zda by se některé daly upravit tak, aby zohledňovaly omezení světelného znečištění. Dále bude průběžně sledovat vývoj v revizích těchto norem a prostřednictvím Ústavu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví dávat připomínky a navrhnout úpravy. Ve spolupráci s ministerstvem životního prostředí byla upravena

výzva dotačního programu EFEKT tak, aby pro žádosti na rok 2019 obsahovala i technické požadavky na instalaci takových svítidel, která omezují světelné znečištění.

Ministerstvo životního prostředí prověřilo do června 2018 možnost vydání metodického pokynu pro autorizované osoby ve smyslu zákona č. 100/2001 Sb. o posuzování vlivů na životní prostředí. Také se zavázalo zadat výzkumný projekt z programu BETA TA ČR, který by řešil vliv světelného znečištění na druhy, společenstva a ekosystémy. Na základě výsledků tohoto projektu prověří do konce roku 2019 možnost rozšíření § 16 písm. j) zákona č. 114/1992 Sb., z národních parků na chráněné krajinné oblasti a zahrnout do tohoto ustanovení také teplotu chromatičnosti s následným zapracováním do příslušného zákona. Tento paragraf po novelizaci z roku 2017 nově obsahuje zákaz umisťovat zdroje světelného znečištění na území národních parků. Do konce června 2018 také prověří možnost využití § 67 zákona č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny jako nástroje pro plošnou ochranu krajiny před vlivy světelného znečištění (MŽP, ©2017c).

V březnu roku 2018 Vláda České republiky dokument Řešení problematiky světelného znečištění, č. j. 192/18, schválila, což umožnilo jednotlivým zúčastněným rezortům začít pracovat na úkolech vedoucích k eliminaci světelného znečištění (MŽP, ©2017a).

Podpora ze strany vlády, ale také různé iniciativy pro ochranu tmy, jako je zřizování oblastí tmavé oblohy nebo práce Odborné skupiny pro tmavé nebe při České astronomické společnosti, které mají velkou zásluhu v oblasti osvěty širší veřejnosti, dávají v posledních letech velkou naději na komplexní, především legislativní, řešení této problematiky.

5. Diskuze

Problém světelného znečištění jsem si poprvé uvědomila až před několika lety, v souvislosti s bydlením v centru Prahy u největší dopravní tepny a v blízkosti mnoha komerčních budov. Při pohledu z okna bylo venku téměř tolik světla jako ve dne. Oblast osvětluje nejen pouliční osvětlení, ale i velké množství světelných reklam, světelných billboardů, osvětlení magistrály, hotelů i fasád domů. Zářivě modrý název jedné z největších pojišťoven byl věrným průvodcem mých nocí a já si začala klást otázku, nakolik je takové množství světla nutné a uvědomila jsem si, jak moc dokáže světlo obtěžovat.

I když jsou dopady světelného znečištění již velmi dobře zmapovány a odborníci z mnoha oborů přinášejí důkazy o jeho rizicích, zdaleka nepatří hledání účinných nástrojů k řešení tohoto problému k prioritám v porovnání s ostatními problémy v oblasti životního prostředí. Zatímco znečišťování ovzduší, vody a půdy nebo nakládání s odpady mají oporu v legislativě a podléhají určitým regulacím, ochrana před světelným znečištěním je stále ještě v plenkách. Myslím si, že nedostatečné ukotvení této problematiky v současné legislativě je typickou ukázkou opomíjení některých principů českého práva životního prostředí, jako je například „*zásada předběžné opatrnosti*“, dle které platí, že „*lze-li se zřetelem ke všem okolnostem předpokládat, že hrozí nebezpečí závažného nebo nevratného poškození životního prostředí, nesmí být pochybnosti o tom, že k takovému poškození skutečně dojde, dostatečným důvodem pro odklad opatření, jež mají poškození zabránit*“ (Tuháček a Jelínková, 2015).

Přestože již došlo k určitému posunu v řešení a v pojetí tohoto problému, stále do určité míry platí, že „*světelnému znečištění se ve srovnání s jinými environmentálními problémy věnuje relativně malá pozornost a vědecky i kulturně zůstává ve tmě*“ (Hölker, 2010).

Vzhledem k široké škále oblastí, do kterých světelné znečištění zasahuje, se ukázalo, že řešení by mělo výsledkem mezioborové diskuse a spolupráce. Cílem snahy o řešení by nemělo být odsouzení nočního osvětlení jako celku, ale spíše omezení a odstranění jeho negativních aspektů, jako jsou umělý jas oblohy, oslnění, světelný přesah a přílišná intenzita (Stone, 2017).

Při studiu mnoha různých zdrojů jsem si teprve skutečně uvědomila, že působení tohoto jevu na různé druhy živočichů je opravdu dalekosáhlé a vzhledem k jejich dlouhodobým důsledkům mohou být dopady fatální a nevratné. Proto jsem přesvědčena, že v této době, kdy se odborníci a politici tématem zabývají, i když k zásadním změnám zatím nedošlo, je podstatnou součástí řešení co nejširší osvěta široké veřejnosti. Změna postoje lidí k pojetí osvětlování a jeho snižování je významná, neboť se v posledních letech často setkáváme spíše s dosavadním trendem svítit co nejvíce. Příkladem může být chatová oblast v těsné blízkosti Národní přírodní rezervace Voděradské bučiny, kde u některých objektů sebemenší pohybový podnět vyvolává rozsvícení světla, jež evokuje přistání intergalaktické mise.

Potěšující je, že v době dokončování mé práce, jsem našla na webových stránkách svetelnezneisteneni.cz informaci, že Technologická agentura České republiky vyhlásila ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí České republiky 3. veřejnou soutěž programu „*Prostředí pro život*“ a mezi výzkumnými tématy se opět nachází výzkum světelného znečištění a jeho vlivu na ekosystémy a lidské zdraví a vývoj technologií pro snižování světelného znečištění (Světelné znečištění ©2020b).

6. Závěr a přínos práce

Téma bakalářské práce jsem si vybrala především proto, že jej považuji za zajímavé a v oblasti vlivu na životní prostředí je toto téma relativně nové. Vliv světelného znečištění na kvalitu pozorování noční oblohy nebo ekonomické aspekty tohoto jevu jsou již poměrně dobře zdokumentované, ale zkoumání vlivů na živočichy je předmětem zkoumání až v posledních desetiletích a myslím, že výsledky jsou obecně, až na úzký okruh odborníků, velice málo známé.

Moje práce sumarizuje velké množství výzkumných studií, především zahraničních, které podrobně prezentují výsledky dopadů světelného znečištění na živočichy, což může být přínosem pro každého, kdo se daným tématem zabývá. Při vyhledávání podkladů pro mou práci jsem měla k dispozici množství zahraničních zdrojů, ale prací v českém jazyce bylo relativně málo, především z oblasti výzkumu. Podpora výzkumu v této oblasti a také zpřístupnění výsledků co nejširšímu okruhu lidí je opravdu potřebné.

7. Přehled literatury a použitých zdrojů

Odborné publikace

Ač, A., Milěš, T., Rychnovský B., 2013: Vybrané kapitoly z ekologie a environmentální vědy. Masarykova univerzita, Brno. ISBN 978-80-210-6434-8 s. 108

Allredge, A. L., King J. M., 1977: Distribution, Abundance, and Substrate Preferences of Demersal Reef Zooplankton at Lizard Island Lagoon, Great Barrier Reef. *Marine Biology*, 41, USA, s. 317-333.

Anokhina, L. L., 2006: Influence of moonlight on the vertical migrations of benthopelagic organisms in the near-shore area of the Black Sea. *Oceanology*, 46 (3), s. 385-395. ISSN 0001-4370

Bennie, J., Davies, T. W., Cruse, D., Gaston, K. J., 2016: Ecological effects of artificial light at night on wild plants. *Journal of Ecology*, 104 (3), s. 611–620.

Bína, P., 2004: Vliv clonění světelného zdroje na hmyz s noční letovou aktivitou cit. In: Hollan, J., 2004: Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky. Masarykova univerzita v Brně, Brno, s. 169.

Buldogh, S., 2007: The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences. *Museum and Institute of Zoology PAS*, 9 (2), s. 527-532.

Briggs, W. R. 2006: Physiology of Plant Responses to Artificial Lighting in Ecological consequences of artificial night lighting. Island Press, Washington, s. 389-411.

Brüning, A., Hölker, F., 2015: Spotlight on fish: Light pollution affects circadian rhythms of European perch but does not cause stress. Science of the Total Environment, 511, s. 516-522.

Buchanan, B. W., 1992: Effects of enhanced lighting on the behavior of nocturnal frogs. Department of Biology, University of Southwestern Louisiana, Lafayette, USA, Lafayette, 45, s. 893-899.

Cinzano, P., Falchi, F., Eldridge, Ch., D., 2001: Stato del cielo notturno e inquinamento luminoso in Italia. Light Pollution Science and Technology Institute, Italy. ISBN 88-88517-00-6 s. 15-16

Da Silva, A., Falchi, F., Eldridge, Ch. D., 2014: Artificial night lighting rather than traffic noise affects the daily timing of dawn and dusk singing in common European songbirds. The official journal of the ISBE International Society for Behavioral Ecology, Germany. s. 9-10.

Dainton, B. H., 1953: The activity of slugs: The induction of activity by changing temperatures. University of Cambridge: Zoological Laboratory. s. 19-20

Davis, S., Mirick, D. K., STEVENS, R. G., 2001: Night shift work, light at night, and risk of breast cancer. Journal of the national cancer institute, 93.20: s. 1557-1562.

DeVries, P. J., 2006: Light Pollution Decimates Insects in the Environment: Essay: The tropical light within. Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Biological Sciences, University of New Orleans, New Orleans, s. 281-304.

Downs, N. C., Beaton, V., Guest, J., Polanski, J., Robinson, S., L., Racey, P., A., 2003: The effects of illuminating the roost entrance on the emergence behaviour of *Pipistrellus pygmaeus*. Elsevier Science, (111), s. 247–252.

Drahoňovská, H., 2004: Vliv světelného znečištění na veřejné zdraví cit. In: Hollan, J., 2004: Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky. Masarykova univerzita v Brně, Brno, s. 116-124.

Dunlap, J. C., 1999: Molecular bases for circadian clocks. *Cell*, 96.2: s. 271-290.

Eisenbeis, G., Eick, K., 2011: Studie zur Anziehung nachtaktiver Insekten an die Straßenbeleuchtung unter Einbeziehung von LEDs. *Natur und Landschaft*, 86.7. s. 298-306.

Eisenbeis, G., Rich, C., Longcore, T., 2006: Artificial night lighting and insects: attraction of insects to streetlamps in a rural setting in Germany. *Ecological consequences of artificial night lighting*, 2: s. 191-198.

Eisenbeis, G., 2006: Artificial night lighting and insects: Attraction of insects to streetlamps in a rural setting in Germany. *Ecological consequences of artificial night lighting*, Island Press, s. 281-304.

Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, Ch. C. M., Eldvidge, Ch., D., Baugh, K., Portnov, B. A., Rybnikova, N. A., Furgoni, R., 2016: The new world atlas of artificial night sky brightness. American Association for the Advancement of Science, New York, 2.

Fuksa, A., 2010: Světlo a biologické hodiny. *Journal Světlo*, s. 56-58.

Gallaway, T., 2010: On light pollution, passive pleasures, and the instrumental value of beauty. *Journal of Economic Issues*, 44.1: s. 71-88.

Gaston, Kevin J., 2013: The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal: Nighttime light pollution. Cambridge Philosophical Society. England: *Biological Reviews*, s. 912-927.

Gregory, W. W., Musick G. J., 1976: Insect management in reduced tillage systems. s, 302-304.

Held, M., Hölker, F., Jessel, B., 2013: Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft: Grundlagen, Folgen, Handlungsansätze, Beispiele guter Praxis. BfN-Skripten 336. ISBN 978-3-89624-071-2 s. 53-69.

Hollan, J., 2004: Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky. Masarykova univerzita v Brně, Brno. s. 20.

Hölker, F., 2010: The Dark Side of Light: A Transdisciplinary Research Agenda for Light Pollution Policy. *Ecology and Society*, 15(4).

Horváth, G., 2009: *Frontiers in Ecology and the Environment*. Ecological society of America, USA, s. 317-325. 2009, DOI: 10.1890/080129

Hudec K., 2004: Ptáci a světelné znečištění cit. In: Hollan, J., 2004: Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky. Masarykova univerzita v Brně, Brno. s. 114.

Chaney, W. R., 2002: Does night lighting harm trees. Department of Forestry and Natural Resources, Purdue University, 3. sv.

Illnerová, H., 1996: Melatonin, jeho tvorba a působení. Chemické listy, 1996, 27.3.

Ioanna, C. C., Guttal, V., Couzin, I. D., 2012: Predatory Fish Select for Coordinated Collective Motion in Virtual Prey. 337. Science.

Jung, K., Kalko E. K. V., 2010: Where forest meets urbanization: foraging plasticity of aerial insectivorous bats in an anthropogenically altered environment. Journal of Mammalogy. University of Ulm, Germany: Institute of Experimental Ecology, s. 144-153. DOI: 10.1644/08-MAMM-A-313R.1

Kempenaers, B., 2010: Artificial Night Lighting Affects Dawn Song, Extra-Pair Siring Success, and Lay Date in Songbirds. Current Biology 20, s. 1735–1739. DOI 10.1016/j.cub.2010.08.028

Klausnitzer, B., 1989: Verstädterung von Tieren, Die neue Brehm-Bücherei 579. A. Ziemsen.

Králíček M., 2014: Motýli a noční světlo. Veronica 2014/1. s. 34-35.

Kuijper, D. P. J., Schut, J., Dulleman, van D., Toorman, H., Goossesns, N., Ouwend, J., Limpens, H., J.G.A., 2008: Experimental evidence of light disturbance along the commuting routes of pond bats (*Myotis dasycneme*). Lutra, s. 37-49.

Kyba C. C. M., Sánchez Miguel de, S., Baugh, K., Jechow, A., Hölker, F., Bennie, J., Eldridge, Ch. D., Gaston, K. J., Guanter, L., 2017: Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Sci. Adv.* 3, s. 1-8.

Lewis, R. D.: Studies on the locomotor activity of the slug *Arion ater* (Linnaeus). I. Humidity, temperature and light reactions. *Malacologia*, 7.2-3: s. 295-306.

Lloyd E. D. (ed.), 1994: Fireflyer Companion: Where are the Lightningbugs? s. 1-12.

Longcore, T., Rich C., 2004: Ecological light pollution. *Ecol Environ*, s. 191-198.

Manfrin, A., 2017: Artificial Light at Night Affects Organism Flux across Ecosystem Boundaries and Drives Community Structure in the Recipient Ecosystem. 5. *frontiers in Environmental Science*, s. 1-10. DOI: 10.3389/fenvs.2017.00061

Mizon, B., 2012: *LightPollution: Responses and Remedies*. 2nd Edition, Springer Science & Business Media, New York, s. 282.

Navarro-Barranco, C., Hugher L. E., 2015: *Marine Pollution Bulletin: Effects of light pollution on the emergent fauna of shallow marine ecosystems: Amphipods as a case study*, 94.: s. 235-240.

Navrátilová, K., 2019: Světelné znečištění a jeho rizika. Česká zemědělská univerzita, Praha, s. 20-24, (bakalářská práce). Vedoucí práce Ing. Lenka Wimmerová, MSc., Ph.D.

Nicholas M., 2001: Light Pollution and Marine Turtle Hatchlings: The Straw that Breaks the Camel's Back? The George Wright Forum, Published by: George Wright Society, Vol. 18, No. 4: s. 77-82.

Park, O., 1940: The Development of a Problem. Ecological Monographs, Wiley on behalf of the Ecological Society of America, Vol. 10, 3: s. 485-536.

Partecke, J., Vanthof, T. J., Gwinners, E., 2005: Underlying physiological control of reproduction in urban and forest-dwelling European blackbirds *Turdus merula*. Journal of Avian Biology, (36): s. 295-305.

Peňáz M., Prokeš M, 2014: Vliv světla na ryby. Veronica 2014/1. s. 28-30.

Perkin, J. S., Gido, K., 2011: Stream Fragmentation Thresholds for a Reproductive Guild of Great Plains Fishes, Fisheries, s. 371-383. DOI: 10.1080/03632415.2011.597666

Petrucha, M., 2011: Vliv světelného znečištění na životní prostředí. Mendelova univerzita v Brně Agronomická fakulta Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky, Brno, s. 12, (bakalářská práce). Vedoucí práce Ing. Tomáš Vítěz, Ph.D.

Polak, T., Korine, C., Yair, S. Holderied, M. W., 2011: Differential effects of artificial lighting on flight and foraging behaviour of two sympatric bat species in a desert. Journal of Zoology, London, (285): s. 21-27.

Poot, H., Ends, B. J., Vries de, H., Donners, M. A. H., Wernand, M. R., Marquenie, J. M., 2008: Green Light for Nocturnally Migrating Birds, Ecology and Society, Vol. 13, No. 2.

Rand, S. A., Bridarolli, M. E., Dries, L., Ryan, M. J., 1997: Light Levels Influence Female Choice in Túngara Frogs: Predation Risk Assessment? American Society of Ichthyologists and Herpetologists, s. 447-450.

Rodríguez A., Rodríguez B., Negro J. J., 2015: GPS tracking for mapping seabird mortality undiced by light pollution. Scientific Reports, 5(10670), s. 1-11. DOI: 10.1038/srep10670

Rodríguez A., 2015a: Artificial lights and seabirds: is light pollution a threat for the threatened Balearic petrels? (156): s. 893-902. DOI 10.1007/s10336-015-1232-3

Rydell, J., 1991: Seasonal use of illuminated areas by foraging nothern bats *Eptesicus nilsoni*. Holarctic Ecology, s. 203-207.

Rydell, J., Eklöf, J., Sánchez-Navarro, S., 2017: Age of enlightenment: long-term effects of outdoor aesthetic lights on bats in churches. Royal Society, s. 2-7.

Saad, A. M., Ismail, S. W., Dahalan F. A., 2017: Metaldehyde toxicity: A brief on three different perspectives. Journal of Civil Engineering, Science and Technology, 9(2), s. 108-112.

Salmon, M., 2003: Artificial night lighting and sea turtles. Florida Atlantic University, USA, s. 163-168.

Samach, A., Gover A., 2001: Photoperiodism: The consistent use of CONSTANS. Current Biology, 11.16: s. 651-654.

Searle, I., Coupland, G., 2004: Induction of flowering by seasonal changes in photoperiod. *The EMBO Journal*, 23.6: s. 1217-1222.

Skene, D. J., Swaab, D. F., 2003: Melatonin rhythmicity: effect of age and Alzheimer's disease. *Experimental gerontology*, 38.1-2: s. 199-206.

Skočovský, K., D., 2004: Chronopsychologie: výzkum rytmicity v lidském chování a prožívání. *Československá psychologie*, 48.1: s. 69-83.

Starý, J., 2013: Světelné znečištění ovzduší. Univerzita Palackého Olomouc, (diplomová práce), vedoucí práce: RNDr. Martin Jurek, Ph. D., s. 52.

Steinbach R., Perkins C., Tompson L., a kol., 2015: *Epidemiol community Health*, 2015, s. 1118-1124. DOI:10.1136/jech-2015-206012

Stone T., 2017: Light Pollution: A Case Study in Framing an Environmental Problem. *Ethics, Policy and Environment*, s. 278-293. DOI: 10.1080/21550085.2017.1374010

Stone, E. L., Jones G., Harris S., 2012: Conserving energy at a cost to biodiversity? Impacts of LED lighting on bats. *Global Change Biology*, 18(8), s. 2458-2465. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2012.02705.x

Strachan, P. H., 1999: Studies on the ecology and behavior of the ghost crab in Northern Cyprus. *Scientia Marina*, 63(1).

Škvareninová J., Tuhárska M., Škvarenina J., Babálová D., Slobodníková L., Slobodník B., Středová H., Mindáš J., 2017: Effects of light pollution on tree

phenology in the urban environment. *Moravian Geographical Reports*, 25(4): 282–290.

Tuháček, M., Jelínková J., 2015: *Právo životního prostředí: praktický průvodce*. Praha: Grada, s. 20. ISBN: 9788024754642

Tuxbury S. M., Salmon M., 2005: Competitive interactions between artificial lighting and natural cues during seafinding by hatchling marine turtles, (121), s. 311-316.

Van Grunsven, R. H. A, Jähnichen D., Grubisic M., Hölker F., 2018: Slugs (Arionidae) benefit from nocturnal artificial illumination. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, 329(8-9), s. 429-433. DOI: 10.1002/jez.2170

Voigt, Ch. C., Lewanzik, D., 2011: Trapped in the darkness of the night: thermal and energetic constraints of daylight flight in bats. *Proc. R. Soc. B*, (278): s. 2311–2317. DOI:10.1098/rspb.2010.2290

Wilderemuth, H., Horvéth G., 2005: Visual deception of a male *Libellula depressa* by the shiny surface of a parked car (Odonata: Libellulidae), *International Journal of Odonatology*, s. 97-105. DOI:10.1080/13887890.2005.9748246

Wise, S., 2007: *Studying the ecological impacts of light pollution on wildlife: Amphibians ad models*. Department of Biology, Utica College, NY USA.

Witherington, B. E., 1997: The problem of photopollution for sea turtles and other nocturnal animals. Chapter 13 in: J. R. Clemmons and R. Buchholz (eds.). *Behavioral Approaches to Conservation in the Wild*, Cambridge University Press, Cambridge, s 303-327.

Witherington, B. E., Martin R. E., 2003: Understanding, assessing, and resolving light-pollution problems on sea turtle nesting beaches. 3rd ed. Rev., Florida Marine Research Institute Technical Report TR-2., s. 73.

Zieger, M.V., a kol., 2009: Eyes and vision in *Arion rufus* and *Deroceras agreste* (Mollusca; Gastropoda; Pulmonata): What role does photoreception play in the orientation of these terrestrial slugs? *Acta Zoologica*, Stockholm, 90: s. 189-204- DOI: 10.1111/j.1463-6395.2008.00369.x

Zisapel, N., 2001: Circadian Rhythm Sleep Disorders: Pathophysiology and Potential Approaches to Management. Department of Neurobiochemistry, Tel Aviv, Israel: Tel Aviv University, 15(4).

Legislativní zdroje

Zákon č. 86/2002 Sb., zákon o ochraně ovzduší, v platném znění.

Zákon č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší, v platném znění.

Zákon č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší, v platném znění.

Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, v platném znění.

Zákon č. 114/92 Sb. o ochraně přírody a krajiny, v platném znění.

Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon, v platném znění.

Zákon č. 89/2012 Sb. občanský zákoník, v platném znění.

Regionální zákon Lombardie 12. března 2000: Naléhavá opatření ve věci úspor energie při užití venkovního osvětlení a boje proti světelnému znečištění. In: Úřední věstník regionu Lombardie, číslo 17.

Internetové zdroje

Army.cz ©2020: O vlnění: Elektromagnetické spektrum: [online]. [cit. 2020-04-14], dostupné z: http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k21.htm.

Astronomický ústav AV ČR ©2018: Světelné znečištění: Problém s přehnaným nočním osvětlováním. [online], [cit. 2020-04-12].

Blogspot.com ©2020: Types of illumination, [online]. [cit. 2020-04-15], dostupné z: https://3.bp.blogspot.com/-yHwhQ3sRGWc/WeSA1eYxovI/AAAAAAAAACB8/UiQmsKqiFZsv_7OYkn5e2V3_0kEPMZaYwCLcBGAs/s1600/types_of_lp.jpeg.

Cloudy Nights ©2019: Your astronomical community, [online], [cit. 2020-04-17], <https://www.cloudynights.com/topic/684612-light-pollution-is-key-bringer-of-insect-apocalypse-quote-the-guardian-newspaper/>.

ČEZ ©2020: Jak funguje Laser: Zdroje světla [online]. [cit. 2020-4-11]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k21.htm>.

Dark Skies Awareness ©2009: Slovene Light Pollution Law,[online], [cit. 2020-04-14], dostupné z: www.darks skiesawareness.org/slovene-law.php.

De Peak, S., The Guardian ©2020: Light pollution is key 'bringer of insect apocalypse), [online], [cit. 2020-04-15], dostupné z: https://www.theguardian.com/environment/2019/nov/22/light-pollution-insect-apocalypse?CMP=Share_iOSApp_Other&fbclid=IwAR3dqoHehmThVQBDCuKLu9k-TN0cqr2XgZqayga2sGms1Fz0sVOoW00ZN2A.

Ducournau, D., nedatováno: Jak funguje vidění. European VitreoRetinal Society a certain philosophy [online]. [cit. 2020-04-13].

Falchi, F., ©2006: Mapa světelného znečištění v Evropě, New York: American Association for the Advancement of Science, [online], [cit. 2020-04-20], dostupné z: advances.sciencemag.org.

Fuksa, A., 2010: Světlo a biologické hodiny, 6, s. 56-58.

Horváth, G., 2009: Frontiers in Ecology and the Environment, Ecological society of America, [online], [cit. 2020-04-15], dostupné z: www.esajournals.onlinelibrary.wiley.com.

International Dark Sky Places (IDA ©2011a): Light pollution. [online]. [cit. 2020-04-16], dostupné z: <https://www.darks sky.org/light-pollution/>.

International Dark Sky Places (IDA, ©2011b): Glare from bright, unshielded lights actually decreases safety (Richardson, J.) [online]. [cit. 2020-04-16], dostupné z: <https://www.darks sky.org/light-pollution/>.

Kondziolka, J., 2010: Slovinské právo o světelném znečištění. Astronomie-Sekce české astronomické společnosti, [online], [cit. 2020-04-12], dostupné z: www.astronomie.cz/2010/01/slovinske-pravo-o-svetelnem-znecisteni.

Kondziolka, J., Slezák, M., 2009: Světelné znečištění - Co na to zákon? [online], [cit. 2020-05-27], dostupné z: <http://www.enviweb.cz/71658>.

Light Pollution Hurts Reptiles in the Environment (Witherington, B. E., Observatory), [online]. [cit. 2020-04-15].

MŽP ©2017a: Informace pro Vládu ČR o problematice světelného znečištění [online]. [cit. 2020-04-12], dostupné z: www.mzp.cz.

MŽP ©2017b: Světelné znečištění by mělo mít své limity. Stát by měl deklarovat svůj zájem na jeho snižování do budoucna, a to ve prospěch veřejného zdraví, živé přírody i šetření energií, [online]. [cit. 2020-05-28], dostupné z: www.mzp.cz.

MŽP ©2017c: Řešení problematiky světelného znečištění [online]. [cit. 2020-05-19], dostupné z: www.mzp.cz.

MŽP ©2018: Vliv světla na organismy: světelné znečištění (Bendová, Z.),[online]. Praha, dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/prezentace_svetelne_znecisteni_seminare/\\$FILE/OPSZP-ZB_Vliv_svetla_na_organismy-20180620.002.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/prezentace_svetelne_znecisteni_seminare/$FILE/OPSZP-ZB_Vliv_svetla_na_organismy-20180620.002.pdf). Prezentace. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy.

Stump J., 2008: Light Pollution Kills Birds in the Environment: Hundreds of dead birds found outside high school. [online], [cit. 2020-04-22],

Světelné znečištění ©2020a: Plýtvání energií, Noční příroda etc. Světelné znečištění [online], [cit. 2020-04-20], dostupné z: <https://svetelneznecisteneni.cz/co-je-svetelne-znecisteneni/svetelne-znecisteneni-v-kostce/>.

Světelné znečištění ©2020b: Vyhlášena 3. veřejná soutěž programu TA ČR/MŽP Prostředí pro život. [online], [cit. 2020-05-20], dostupné z: <https://svetelneznecisteneni.cz/vyhlasena-3-verejna-soutez-programu-ta-cr-mzp-prostredi-pro-zivot/>.

Škvareninová, J., Tuhárska, M., Škvarenina, J., Babálová, D., Slobodníková, L., Slobodník, B., Středová, H., Mind'as, J., 2017: Effects of light pollution on tree phenology in the urban environment, Moravian geographical reports, 25(4): s. 282-290.

The Comission for the Dark Skies Environment ©2015-2018: Wildlife and Light Pollution, [online], [cit. 2020-04-20], dostupné z: https://britastro.org/dark-skies/cfds_environment.php?topic=wildlife.

Wise, S., 2007: Studying the ecological impacts of light pollution on wildlife: Amphibians as models, Department of Biology, Utica College, NY U.S.A, [online], [cit. 2020-04-10].

Zahrada centrum ©2019: Sedm nejčastějších chyb při hubení slimáků a plzáků, [online], [cit. 2020-04-18], dostupné z: <https://www.zahrada-centrum.cz/clanky/427-sedm-nejcastejsich-chyb-pri-hubeni-slimaku-a-plzaku>.

Seznam obrázků

Obr. 1

O vlnění: Elektromagnetické spektrum (Army.cz ©2020).

Obr. 2

Types of illumination (Blogspot.com ©2020).

Obr. 3

Výhled z okna obytného domu v centru Prahy (foto: autorka práce 25. 3. 2020)

Obr. 4

Glare from bright, unshielded lights actually decreases safety (Richardson, J., IDA, ©2011b).

Obr. 5

Mapa světelného znečištění v Evropě (Falchi, F., a kol., New York: American Association for the Advancement of Science ©2006).

Obr. 6

Mapa světelného znečištění v Evropě (Falchi, F., a kol., New York: American Association for the Advancement of Science ©2006).

Obr. 7

Světlo a biologické hodiny (Fuksa, A., Journal Světlo ©2010).

Obr. 8

Effects of light pollution on tree phenology in the urban environment. (Tuhárska, M., Škvareninová J., a kol. 2017).

Obr. 9

Your astronomical community (Cloudy Nights ©2019).

Obr. 10

Frontiers in Ecology and the Environment (Horváth G., Ecological society of America ©2009).

Obr. 11

Light pollution is key 'bringer of insect apocalypse (De Peak, S., The Guardian ©2020).

Obr. 12

Sedm nejčastějších chyb při hubení slimáků a plzáků (Zahrada centrum ©2019).

Obr. 13

Studying the ecological impacts of light pollution on wildlife: Amphibians as models (Wise, S., Department of Biology, Utica College, NY U.S.A ©2007).

Obr. 14

Light Pollution Hurts Reptiles in the Environment (Witherington, B. E., Observatory).

Obr. 15

Age of enlightenment: long-term effects of outdoor aesthetic lights on bats in churches (Rydell, J., Eklöf, J., Sánchez-Navarro, S., Royal Society ©2017).

Obr. 16

Environment: Wildlife and Light Pollution (The Commission for the Dark Skies ©2015-2018).