

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA EKOLOGIE



Vliv světelného znečištění na kvalitu dat ze světelných lapačů

Influence of light pollution on the efficiency of light traps

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Mgr. Tomáš Kadlec, Ph. D.

Bakalant: Florian Annoni

2022

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Florian Annoni

Aplikovaná ekologie

Název práce

Vliv světelného znečištění na kvalitu dat ze světelných lapačů

Název anglicky

Influence of light pollution on the efficiency of light traps

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je

- i) zrekapitulovat základní dosavadní poznatky o vlivu světelného znečištění na hmyz a o metodách odchyty vzorků hmyzu využívající pozitivní fototaxi hmyzu s noční aktivitou;
- ii) vlastním experimentem na vybraných lokalitách v Praze prokázat vliv zdrojů světelného znečištění na úspěšnost odchyty vzorků pomocí světelných lapačů.

Metodika

Teoretická část bakalářská práce bude vypracována formou literární rešerše dostupných literárních zdrojů. Informace budou čerpány především z vědeckých článků z časopisů s impact factorem.

Vlastní experiment bude letní části sezony 2021 probíhat na několika vybraných lokalitách na území hl. m. Prahy. Na každé lokalitě bude vybrán jeden objekt veřejného osvětlení (pouliční lampa), od kterého budou v pravidelných rozestupech exponovány přenosné světelné lapače (4 lapače v gradientu světelného znečištění). Lapače budou na lokalitě instalovány vždy jednu noc od stmívání do rozbřesku. Celkem budou pro každou lokalitu provedeny tři odběry (noci) vzorků. Z odchycených vzorků bude stanovena celková abundance pro všechny základní taxonomické skupiny členovců (po úroveň řádů, resp. podřádů). Pro vybrané skupiny nočních motýlů (tzv. Macrolepidoptera) budou jedinci určováni do úrovně druhu. V následujících analýzách bude modelován vztah závislosti celkové abundance členovců a druhové diverzity nočních motýlů ve vzorcích ze světelných lapačů k vzdálenosti lapače od zdroje světelného znečištění.

Doporučený rozsah práce

cca 30-40 stran

Klíčová slova

světelné znečištění; pozitivní fototaxe; metodologie sběru hmyzu; lákání hmyzu na světlo

Doporučené zdroje informací

- Altaf HS, Moni T, Rita B, Kushboo B (2016): Light trap and insect sampling: An overview. *International Journal of Current Research* 8: 40868-40873.
- Barghini A, De Medeiros BAS (2012): UV radiation as an attractor for insects. *Leukos*, 9: 47- 56.
- Gaston KJ, Visser ME, Holker F (2015): The biological impacts of artificial light at night: the research challenge. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 370: 20140133-20140133.
- Macgregor CJ, Evans DM, Fox R, Pocock MJO (2016): The dark side of street lighting: impacts on moths and evidence for the disruption of nocturnal pollen transport. *Global Change Biology* 23: 697-707.
- Macgregor CJ, Pocock MJO, Fox R, Evans DM (2019): Effects of street lighting technologies on the success and quality of pollination in a nocturnally pollinated plant. *Ecosphere* 10: e02550.
- Poiani S, Dietrich C, Barroso A, Costa-Leonardo A (2014): Effects of residential energy-saving lamps on the attraction of nocturnal insects. *Lighting Research & Technology*, 47: 338-348.
- Sánchez-Bayo F, Wyckhuys KAG (2019): Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232: 8-27.

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FZP

Vedoucí práce

Mgr. Tomáš Kadlec, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie

Elektronicky schváleno dne 7. 3. 2022

prof. Mgr. Bohumil Mandák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 3. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 08. 03. 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Vliv světelného znečištění na kvalitu dat ze světelných lapačů“ vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, 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 vědom, 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

.....

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval především svému vedoucímu Mgr. Tomáši Kadlecovi, Ph.D., obzvláště za pomoc při určování nočního hmyzu v laboratoři a za poskytnuté konzultace a odborné rady. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Martinu Štroblovi za pomoc se zpracováním vzorků hmyzu. Poděkování patří i Barboře Žákové, bez které bych se při zpracovávání práce neobešel.

Abstrakt

Používání světelných lapačů je jednou z nejběžnějších metod k odchytu nočního hmyzu. Jejich efektivita je však ovlivněna řadou faktorů, z nichž jedním je i míra světelného znečištění (SZ). Narušování nočního prostředí umělým světlem je přitom v současnosti jednou z nejrychleji rostoucích změn přírodního prostředí. Cílem této bakalářské práce bylo zrekapitulovat poznatky o vlivech SZ na hmyz a o metodologii odchytu hmyzu s noční aktivitou využívající jejich pozitivní fototaxe. Vlastním terénním experimentem byl následně prokazován vliv veřejného osvětlení na úspěšnost odchytu vzorků pomocí světelných lapačů. Sběr vzorků probíhal v roce 2021 na čtyřech lokalitách na území hlavního města Prahy. Na každé lokalitě byl vybrán jeden objekt veřejného osvětlení (pouliční lampa), od kterého byly v pravidelných rozestupech exponovány čtyři přenosné světelné lapače v gradientu SZ. Odběr vzorků probíhal na každé lokalitě v rámci tří odchytočných nocí od stmívání do rozbřesku. Sledována byla abundance a celková biomasa všech členovců. Pro vybranou skupinu velkých motýlů (tzv. Macrolepidoptera) pak byla sledována i druhová bohatost. V následujících analýzách byl prokazován vliv vzdálenosti od veřejného osvětlení na efektivitu lapačů. Během experimentu bylo odchyceno 1 917 jedinců členovců o celkové biomase 28,256 gramů. Z vybrané skupiny velkých motýlů se podařilo odchytit 463 jedinců z 88 druhů v 7 čeledích. Z výsledků je patrné, že veřejné osvětlení snižovalo efektivitu světelných lapačů, tedy že se zvyšující se vzdáleností bylo odchyceno více jedinců. Efekt vzdálenosti na celkovou biomasu všech členovců a druhovou bohatost velkých motýlů se nepodařilo prokázat. Vliv na výsledky však mohly mít i jiné faktory, jakými jsou například spektrální složení pouličních lamp či typ biotopu. Pro zvýšení efektivitu světelných lapačů je proto vhodné vybírat lokality s co nejnižší mírou SZ v okolí, tedy vzdálené od veřejného osvětlení či jiného zdroje umělého světla.

Klíčová slova:

Světelné znečištění; pozitivní fototaxe; metodologie sběru hmyzu; lákání hmyzu na světlo

Abstract

Light trap sampling is one of the most common methods for catching nocturnal insects. However, their efficiency is affected by several factors, one of which is the level of light pollution (LP). Disruption of the night environment with artificial light is currently one of the fastest growing changes in the natural environment. The aim of this bachelor thesis was to summarize the knowledge about the effects of LP on insects and the methodology of capturing positively phototactic insects with nocturnal activity. The influence of street lighting on the success of collecting samples using light traps was subsequently demonstrated by a field experiment. Sampling took place in 2021 at four locations in the capital city of Prague. One public lighting unit (street lamp) was selected at each location, from which four portable light traps in a LP gradient were exposed at regular intervals. Sampling took place at each location within three capture nights from dusk to dawn. The abundance and total biomass of all arthropods were monitored. For a selected group of large butterflies (so-called Macrolepidoptera), species richness was also monitored. In the following analyzes, the effect of distance from street lighting on the efficiency of traps was demonstrated. In total, arthropod sampling caught 1,917 individuals with a total biomass of 28.256 grams. From the selected group of large butterflies, 463 individuals from 88 species in 7 families were captured. The results show that street lighting reduced the efficiency of light traps, ie that more individuals were captured with increasing distance. The effect of distance on the total biomass of all arthropods and the species richness of Macrolepidoptera has not been demonstrated. However, other factors, such as the spectral composition of street lamps or the type of surrounding habitat, could have an impact on the results. To increase the efficiency of light traps, it is therefore appropriate to select locations with the lowest possible level of LP, ie away from street lighting or other sources of artificial light.

Keywords:

Light pollution; positive phototaxy; insect collection methodology; luring insects to the light

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíle práce.....	3
3	Světlo.....	4
4	Vnímání světla hmyzem.....	5
5	Světelné znečištění.....	7
6	Vliv světelného znečištění na hmyz.....	8
7	Metody odchyty hmyzu pomocí světla.....	10
7.1	Typy světelných lapačů.....	10
7.1.1	Krabicový světelný lapač.....	10
7.1.2	Skinnerův světelný lapač.....	11
7.1.3	Rothamstedský světelný lapač.....	11
7.1.4	Pensylvánský světelný lapač.....	11
7.1.5	Robinsonův světelný lapač.....	11
7.1.6	Heathův světelný lapač.....	12
7.2	Světelné zdroje.....	12
7.2.1	Výbojky.....	13
7.2.2	LED.....	14
7.3	Vnější faktory ovlivňující lov na světlo.....	14
8	Metodika.....	16
8.1	Charakteristika studijních lokalit.....	16
8.1.1	Přírodní park Drahaň–Troja.....	16
8.1.2	Přírodní park Šárka–Lysolaje.....	17
8.1.3	Ďáblický háj.....	18
8.2	Sběr a zpracování vzorků.....	18
8.3	Statistická analýza dat.....	21
9	Výsledky.....	22
10	Diskuse.....	25
11	Závěr.....	27
12	Seznam použité literatury.....	28
13	Přílohy.....	35

1 Úvod

V současné době je pozorován celkový úbytek biologické rozmanitosti týkající se nejen bezobratlých živočichů. Většina studií zabývajících se monitoringem hmyzu naznačuje, že celosvětově dochází k úbytku jejich početnosti, diverzity i celkové biomasy. Ukazuje se, že až 40 % všech skupin hmyzu je dnes ohroženo vymřením (Sánchez-Bayo et Wyckhuys, 2019). Například řád motýlů (Lepidoptera), pro který existuje nejvíce dat, vykazuje od roku 1970 pokles počtu jedinců až o 35 % (Dirzo et al., 2014). Jako nejvýznamnější příčiny se popisují ztráta přirozených habitatů, fragmentace krajiny, klimatické změny, intenzifikace zemědělství a urbanizace (Sánchez-Bayo et Wyckhuys, 2019).

Podobně i zvyšující se míra SZ je významnou hrozbou pro hmyz. V posledních 100 letech jsou umělým světlem narušovány denní, lunární a sezónní cykly přirozeného světla, které řídí chování, fyziologii a metabolismus jedinců, geografické vzorce druhového bohatství i ekosystémové cykly. Jedním z nejvýznamnějších zdrojů SZ je venkovní veřejné osvětlení (Gaston et al., 2015). Vzhledem k důležitosti hmyzu jakožto opylovačů a zároveň jakožto významné součásti potravních sítí terestrických ekosystémů, může mít zvyšující se míra SZ vážné dopady na fungování ekosystémů (Eisenbeis, 2006).

Vzhledem k druhové bohatosti a různorodosti způsobu života hmyzu je pro jeho aktivní ochranu potřeba znát v jakých místech se které druhy a v jakých četnostech vyskytují. Způsob monitoringu musí být určen tak, aby bylo možné zachytit co největší množství druhů a jedinců cílové skupiny. Pro kvantitativní monitoring se proto musely vyvinout různé metody jejich odchyty. Dnes se používají například zemní pasti pro odchyt pozemního hmyzu, Malaiseho pasti pro odchyt létajícího hmyzu či Mörickeho misky, využívající přitažlivosti opylovačů na žlutou barvu. Jednou z nejběžněji používaných metod pro odchyt velké většiny skupin hmyzu s noční aktivitou je použití světelných lapačů, které využívají pozitivní fototaxe hmyzu (Henderson et Southwood, 2016).

Pro úspěšné získání standardizovaných dat z monitoringu je zároveň potřeba myslet na řadu různých vedlejších faktorů, které mohou mít vliv na kvalitu a kvantitu odchyceného vzorku. Na efektivitu světelných lapačů mohou mít vliv mimo jiné

environmentální faktory, typ použitého lapače či míra SZ (Altaf et al., 2016). Poslední zmíněný faktor v minulosti nebyl dostatečně zkoumán, a proto si tato bakalářská práce klade za cíl prokázání jeho vlivu na světelné lapače.

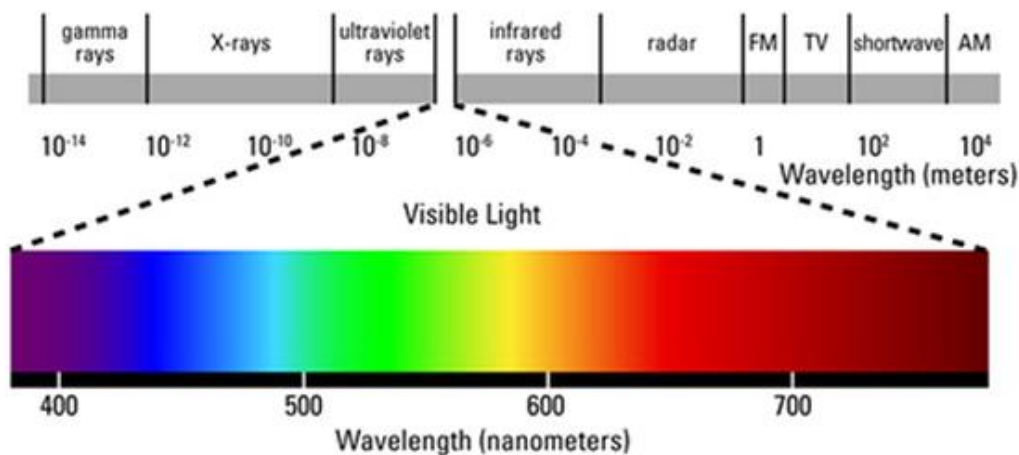
2 Cíle práce

Prvním cílem této bakalářské práce je pomocí literární rešerše zrekapitulovat základní dosavadní poznatky o vlivu SZ na hmyz a o metodách odchyty vzorků využívajících pozitivní fototaxe hmyzu s noční aktivitou. Dalším cílem je pomocí vlastního terénního experimentu na vybraných lokalitách v Praze prokázat vliv zdrojů SZ na úspěšnost odchyty vzorků pomocí světelných lapačů.

3 Světlo

Světlo by se dalo z fyzikálního hlediska definovat jako veškeré elektromagnetické záření od gama záření až po rádiové vlny. Viditelné světlo je potom jen drobná část tohoto záření, které je naše oko schopné zachytit. Přesněji se jedná o vlnové délky kolem 380 až 700 nanometrů, což odpovídá frekvenci od $4,3 \times 10^{14}$ Hz do $7,9 \times 10^{14}$ Hz (Stark, 2021) (viz. obr. 1). Na rozdíl od člověka se u spousty druhů hmyzu, ale i ptáků a ryb, vyvinula schopnost vnímání ultrafialového záření typu UVA, které má vlnovou délku kratší než viditelné světlo. Pohybuje se přibližně mezi 400 a 320 nm. Některé druhy ryb, a motýlů pak mají pigment, který jim umožňuje vidět vlnové délky až 760 nm (Land et Nilsson, 2012).

Již experiment Isaaca Newtona z roku 1665 ukázal, že optický hranol ohýbá viditelné světlo, a že každá barva se láme pod odlišným úhlem v závislosti na vlnové délce. Na jedné straně fialová barva s nejkratší vlnovou délkou a na straně druhé červená s vlnovou délkou nejdelší. Záření o delší vlnové délce se nazývá infračervené, a naopak záření s kratší vlnovou délkou nazýváme ultrafialové. Zároveň si díky tomu uvědomil, že bílé světlo je světlo složené ze všech barev (NASA, 2010).



Obr. 1: Viditelná část elektromagnetického záření (Anonymus, 2022).

Dnes je známo, že světlo má dvojí povahu. Christiaan Huygens v roce 1690 vydal knihu *Traité de la Lumière*, ve které přišel s teorií, dnes známou jako Huygensův princip, která propojuje objevy vědců 17. století a popisuje zde světlo jako vlnění (Shapiro, 1973). Naopak Isaac Newton, ve své knize *Optika* definoval světlo jako

korpuskulární záření neboli proud drobných částic (Newton et al., 2012). Obě teorie pak spojil jeden z nejvýznamnějších vědců 20. století, Albert Einstein (Pais., 1979). Světlo se tedy projevuje zároveň jako vlny i jako částice, přičemž vlnový charakter je významnější u delších vlnových délek a částicový charakter převládá naopak u kratších vlnových délek (Libra et al., 2000).

Život na planetě Zemi by bez světla nemohl existovat. Denní, lunární a sezónní cykly přirozeného světla řídí biologické jevy od metabolismu, fyziologie či chování jedinců až po geografické vzorce druhového bohatství a cykly ekosystémů (Gaston et al., 2015). Vývoj života však po miliony let ovlivňovalo pouze světlo ze Slunce, hvězd a z ohně.

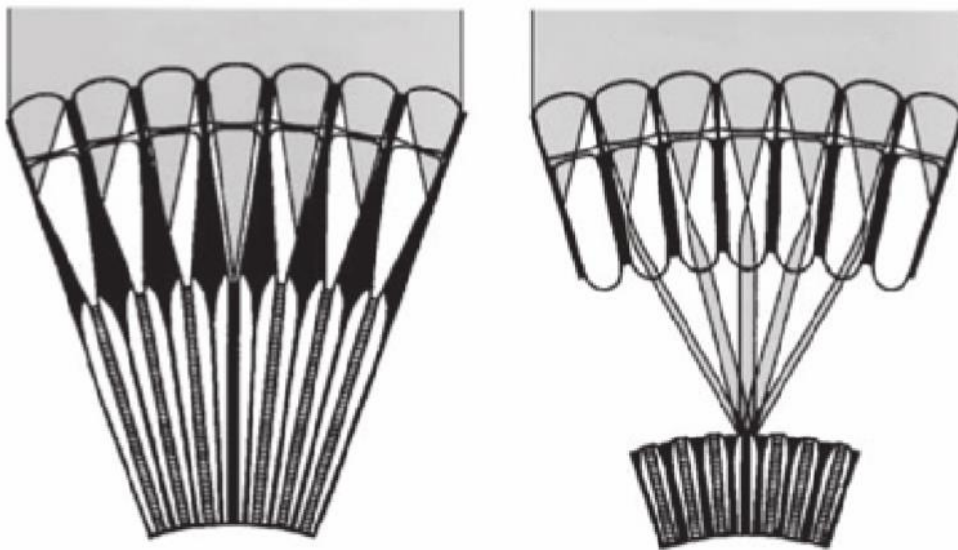
Vše se změnilo po vynálezu elektrického světla, které umožnilo člověku definitivně překonat tmu (Mikeš et al., 2005). V posledních desetiletích jsou cykly přirozeného světla narušovány umělým osvětlením a zdroje tohoto osvětlení jsou v dnešní době brány jako samozřejmost. Veřejné osvětlení, světla automobilů, osvětlení domácností, světelné billboardy a spousta dalších zdrojů umělého světla jsou každodenní součástí života většiny lidí na planetě (Gaston et al., 2015). Narušování nočního prostředí je v současnosti jednou z nejrychleji rostoucích změn přírodního prostředí. Nepříznivé účinky SZ přitom zahrnují živočišnou říši, rostlinnou říši i lidstvo samotné (Cinzano et al., 2001).

4 Vnímání světla hmyzem

Hmyz, na rozdíl od člověka, vnímá světlo pomocí složených očí (*oculi compositi*). Ty jsou tvořeny jednotlivými očky (*omatidii*). Těchto oček může jedno složené oko obsahovat od jednoho až po tisíce. To je určeno především tím, k čemu je zrak využíván. Obraz je tvořen na principu mozaiky a čím více očí, tím je mozaika komplexnější. Vážky (Odonata), které potřebují co nejlepší zrak k lovu, mají mnohonásobně více omatidií než například jeskynní druhy, které zrak využívají minimálně. Hmyz může také vnímat intenzitu světla pomocí tzv. *ocelli*. Ty bývají umístěna většinou ve trojici na temeni hlavy a vyskytují se převážně u létavého hmyzu. Larvy hmyzu s proměnou dokonalou pak vidí pomocí laterálních larválních očí

(*stemmat*), která mají v některých případech strukturu podobnou omatidiu a někdy spíše ocellu (Smrž, 2013).

Stavba složeného oka může být apoziční nebo superpoziční (viz. obr. 2). Apoziční stavba oka se nejčastěji vyskytuje u druhů s denní aktivitou. Jednotlivá omatidia jsou od sebe opticky oddělena stínícím pigmentem a paprsek světla nemůže pronikat do sousedních omatidií. Hlavní výhodou je detekce rychlého pohybu a rozpoznávání obrazu. Nevýhodou je naopak nižší jas obrazu, protože každé očko může přijmout jen malé množství světla a oko je tak méně efektivní při sníženém osvětlení. Superpoziční stavba oka je typičtější u nočních druhů. Jednotlivá omatidia nejsou oddělena pigmentovými buňkami a světlo mezi nimi může pronikat. To umožňuje jasnější, avšak méně detailní vidění. Taková adaptace umožňuje druhům vyhýbat se denním dravcům či získávat odlišné zdroje, jako jsou v noci kvetoucí rostliny (Klowden, 2007).



Obr. 2: Složené oko s apoziční (vlevo) a superpoziční (vpravo) stavbou (Klowden, 2007).

Hmyz vnímá elektromagnetické záření v širokém rozsahu vlnových délek. Hlavní roli zde hrají světločivé pigmenty, jakým je například rhodopsin. Bichromatický hmyz exprimuje dva typy rhodopsinu. Jeden je citlivý na ultrafialové vlnové délky a druhý na zelené. Trichromatický hmyz má navíc pigment, který reaguje na modré vlnové délky. Některé druhy jsou až tetrachromatické a mají navíc pigment, díky kterému jsou schopni vnímat červené spektrum (Poiani et al., 2014).

Vnímání světla hraje významnou roli obzvláště při navigaci, hledání potravy a sexuálních partnerů, a to jak u létavého, tak nelétavého hmyzu. Mnoho druhů využívá pozitivní fototaxe. Jedná se o mechanismus, který přitahuje hmyz ke světlu. Bylo laboratorně dokázáno, že čím intenzivnější zdroj světla je, tím více je jím hmyz přitahován (Verheijen, 1960). Také se ukázala nejvyšší přitažlivost hmyzu na světlo s krátkovlnným zářením, obzvláště na UV záření (Barghini et De Medeiros, 2012).

Otázkou zůstává, proč hmyz létá za světlem. Na tuto otázku zatím neexistuje jasná odpověď. Jedním z často citovaných vysvětlení je, že hmyz, obzvláště noční motýli, využívá Měsíc k navigaci. Když budou udržovat úhel dopadu záření z Měsíce na omatidia, mělo by to zajistit víceméně přímý let. Pokud však světlo pochází z umělého zdroje, začne se jedinec ke zdroji světla přibližovat ve spirálovitém letu, až do světla narazí. Problémem s touto teorií však je, že ne pro všechny druhy platí. Některé druhy světlo přelétnou, někteří letí přímo k němu a někteří se zastaví těsně před ním. Další nedostatečností tohoto modelu je, že motýli jsou aktivní nejvíce během nocí, kdy Měsíc není vidět (McGavin, 2007).

5 Světelné znečištění

Za SZ se považuje jakékoliv světlo pocházející z umělého zdroje, které negativně ovlivňuje přirozené noční prostředí. Je známo, že SZ má negativní vliv na hmyz s noční aktivitou, netopýry, stěhovavé ptáky, plazy či mořské želvy. Rostlinám může způsobit poškození mrazem v důsledku narušení růstových cyklů a opožděnému opadu listů. Podobně u člověka může vystavení se světlu o nevhodné vlnové délce potlačit syntézu melatoninu (někdy nazývaného „hormon spánku“). Z dlouhodobého hlediska by to mohlo znamenat vyšší riziko výskytu rakoviny (Heilig, 2010).

MŽP (2017) definuje několik forem SZ, které se většinou vyskytují pohromadě. Umělý jas oblohy (*sky glow*) vzniká rozptylem světla v atmosféře a nejčastěji se vyskytuje nad městy. Rušivé a omezující oslnění (*glare*) nastává při překročení adaptační schopnosti lidského oka. Dále se může jednat o neúměrnou intenzitu osvětlení objektů a interiérů (*over-illumination*), či o světelný přesah (*light intrusion/trespass*), kterým se rozumí pronikání světla do nevhodných prostor. Nejčastějšími zdroji SZ jsou lampy veřejného osvětlení, světla automobilů, osvětlení

domácností, světelné billboardy, nasvícení sportovišť či architektonických památek, ale existuje i spousta dalších zdrojů umělého světla (Gaston et al., 2015).

I přes jeho negativní vlivy, míra SZ, a obzvláště krátkovlnného modrého světla, celosvětově stále roste. Jen mezi lety 2012 a 2016 rostla v průměru o 2,2 % ročně a jen v několika zemích osvětlení klesalo nebo zůstalo stabilní (Kyba et al., 2017). 80 % světa a více než 99 % USA a Evropy žije pod světlem znečištěným nebem a více než třetina lidstva tak nemá možnost vidět na noční obloze Mléčnou dráhu (Falchi et al., 2016).

6 Vliv světelného znečištění na hmyz

Po velkou většinu geologického času byl světelný režim konzistentní. Představoval faktor, kterému se přizpůsobovaly evoluční a ekologické procesy. Hmyz, podobně jako většina organismů, si vyvinul molekulární cirkadiální hodiny řízené přirozeným střídáním dne a noci. Tyto hodiny hrají klíčovou roli pro metabolismus, růst a chování. Navíc přes 60 % všech bezobratlých živočichů má noční aktivitu. Narušení světelného režimu proto představuje významnou hrozbu pro biologickou rozmanitost, a to nejen této skupiny živočichů (Hölker, 2010).

Již dnes zažíváme vlnu antropogenně řízené ztráty biologické rozmanitosti. Až 67 % druhů bezobratlých sledovaných ve studii Dirza et al. (2014) prokazovalo průměrný pokles početnosti o 45 %. Sánchez-Bayo a Wyckhuys (2019) predikují, že pokud bude úbytek hmyzu pokračovat stejným tempem, zanikne v následujících desetiletích až 40 % všech druhů hmyzu. Hmyz je přitom významnou součástí suchozemských i sladkovodních potravních sítí a zároveň poskytuje důležité ekosystémové služby.

Hmyz může ovlivnit jak bodový zdroj SZ, tak i světlo rozptýlené v atmosféře. Pozitivně fototaktický hmyz, jako jsou noční motýli a brouci (Coleoptera), může jejich přitažlivost ke světlu vést k úhynu vyčerpáním či větší pravděpodobnosti nalezení predátorem. SZ také zvyšuje množství polarizovaného světla, což může způsobovat, že jepice (Ephemeroptera) a jiné vodní druhy, které se řídí polarizovaným světlem, mohou klást vajíčka na jiné než vodní plochy. Dalším problémem je snížení viditelnosti přirozených světelných zdrojů v nočním prostředí. Takovými zdroji jsou

například hvězdy a polarizované světlo hvězd, které využívají chrobákovití (Geotrupidae) k navigaci, podobně jako jiné druhy využívají Měsíc. Dalšími zdroji, které mohou být méně viditelné, jsou bioluminiscenční signály produkované světluškami (Lampyridae) a dalším hmyzem. To může ovlivnit jejich schopnost rozmnožování. SZ může ovlivnit i dobu aktivity různých druhů. Denní opylovači a hmyzožravci jsou aktivní déle do noci, zatímco noční druhy svou aktivitu oddalují. Taková změna může mít v dlouhodobém důsledku kaskádovitý efekt a ovlivnit tak celé potravní sítě. SZ tedy ovlivňuje zejména pohyb, získávání potravy, rozmnožování, predaci a vývoj bezobratlých živočichů (Owens et al., 2019).

Jedním z nejvýznamnějších zdrojů SZ je veřejné osvětlení. V současné době se hledají způsoby, jakými snížit energetickou náročnost, celkovou cenu a zároveň zlepšit viditelnost během noci. Dochází tak k vývoji nových technologií lamp veřejného osvětlení. Příkladem může být osvětlení s možností nastavení různých světelných režimů v průběhu noci, kdy může docházet k jejich ztlumení či úplnému zhasnutí. Tato technologie může být vhodná například pro snížení vlivu SZ na opylující noční motýly (Macgregor et al., 2019). Zároveň se stále častěji přechází k lampám s technologií LED (light-emitting diode), které mají větší podíl krátkovlnného modrého světla. Krátkovlnné světlo však přitahuje více jedinců i druhů, a zároveň se ukázalo, že přitahuje velikostně větší druhy nočních motýlů (Van Langevelde et al., 2001). Lamy tohoto typu tak mohou narušovat rovnováhu interakcí druhů v uměle osvětleném prostředí (Davies et al., 2013). Širokospektrální typy lamp mohou mít vliv také na opylování nočními motýly. Na krátkou vzdálenost může mít lampa negativní dopad, pokud jsou jedinci přitahováni světlem a je tak narušeno běžné navštěvování rostlin k opylení. Naopak na dlouhou vzdálenost může lampa přilákat jedince ze širokého okolí a lokálně tak zvýšit transport pylu, avšak v širokém okolí se tím míra opylení sníží (Macgregor et al., 2016). V ozářeném okolí lamp může také docházet ke snížení úspěšnosti samců světlušek při hledání samic k páření (Ineichen et Rüttimeann, 2012).

7 Metody odchyty hmyzu pomocí světla

Na Zemi žije nespočetné množství druhů hmyzu. Přibližně milion druhů bylo popsáno, odhaduje se však, že jejich celková druhová bohatost se pohybuje okolo pěti až deseti milionů (New, 2009). Tomu i odpovídá různorodost jejich způsobu života. Proto se musely vyvinout různé metody odchyty hmyzu, které se zaměřují na konkrétní skupiny. Pro pozemní bezobratlé, jako jsou mravenci (Formicidae), někteří brouci (hlavně střevlíkovití (Carabidae) a drabčíkovití (Staphylinidae)) nebo pavouci (Araneae), se používají zemní pasti (Császár et al., 2018). Malaiseho pasti se používají hlavně pro odchyt dvoukřídlého (Diptera) a blanokřídlého (Hymenoptera) hmyzu, ale i jiného denního hmyzu, který se přemísťuje vzduchem (Malaise, 1937).

Pro druhy s noční aktivitou platí, že nejefektivnější odchyt probíhá za pomoci světla. Nejčastějšími druhy, kteří se tímto způsobem odchyťávají jsou noční motýli. (Szentkiralyi, 2002). Možná největší problém s daty ze světelných pastí však je, že je velmi obtížné mít jistotu, v jaké oblasti je past účinná. V zalesněném biotopu může být dosah světla poměrně malý, ale ani na otevřených stanovištích nemusí být dosah vysoký. Experimenty se rtuťovými výbojkami ukázaly, že efektivní poloměr lapače je od původně uvažovaných 90 metrů spíše méně než 5 metrů. Jejich využití je tedy spíše pro obecné průzkumné práce k prokázání výskytu či k zjištění relativní abundance. Dá se pomocí nich sledovat zejména kolísání populací v čase a porovnávat různé lokality. Za posledních 50 let bylo vyvinuto mnoho typů světelných lapačů, které mají různé výhody i nevýhody (McGavin, 2007).

7.1 Typy světelných lapačů

7.1.1 Krabicový světelný lapač

Základní dělení světelných pastí je na krabicové a nálevkové typy (Altaf et al., 2016). Nejjednodušším typem je krabicový lapač. Je tvořen z pěti pevných neprůsvitných stěn a jedna boční stěna je tvořena ze dvou skleněných a navzájem se přesahujících desek. Jsou skloněné dovnitř a mezi nimi je úzký otvor. Hmyz přilákaný světlem uvnitř lapače se tak dostane lehce dovnitř, obtížně však ven. Uvnitř krabice pak může být umístěna vylučující omamná látka, která hmyz usmrcuje. Výhodou tohoto typu je jeho

jednoduchost, avšak nedostatkem je obzvláště to, že světlo vrhá pouze jedním směrem. Zároveň musí konstrukce pasti být poměrně velká a smrtící látka se tak rychleji vypařuje a ztrácí účinnost (Novák, 1969).

7.1.2 Skinnerův světelný lapač

Skinnerův lapač je svou konstrukcí podobný krabicovému lapači. Rozdíl je v tom, že skleněné desky jsou umístěny na vrchní stěně, a světelný zdroj se nachází nad těmito deskami. Docílí se tak toho, že je hmyz, na rozdíl od obyčejného krabicového lapače, lákán ze všech stran (ALS, 2004).

7.1.3 Rothamstedský světelný lapač

Tento typ lapače byl poprvé použit na výzkumné stanici Rothamsted. Byl zkonstruován za účelem dlouhodobého monitoringu nočního hmyzu, obzvláště dvoukřídlého hmyzu a nočních motýlů. Lapač se podobá světelnému majáku. Zdroj světla je umístěn směrem dolů mezi skleněné desky, které navádí hmyz nejprve směrem ke světlu, a poté do nádoby s připravenou omamující látkou. Konstrukce je umístěna na čtyřech nohách a nad ní je stříška chránící před deštěm (Williams, 1948).

7.1.4 Pensylvánský světelný lapač

Pensylvánský lapač je specifický tím, že okolo světla jsou umístěny 4 vertikální desky. Do desek hmyz přilákaný světlem narazí a následně spadne do trychtýře umístěném pod deskami, který nasměruje do nádoby s omamující látkou. Lapač se zavěšuje například na větev stromu a shora má stříšku, která ho chrání před deštěm (Frost, 1957).

7.1.5 Robinsonův světelný lapač

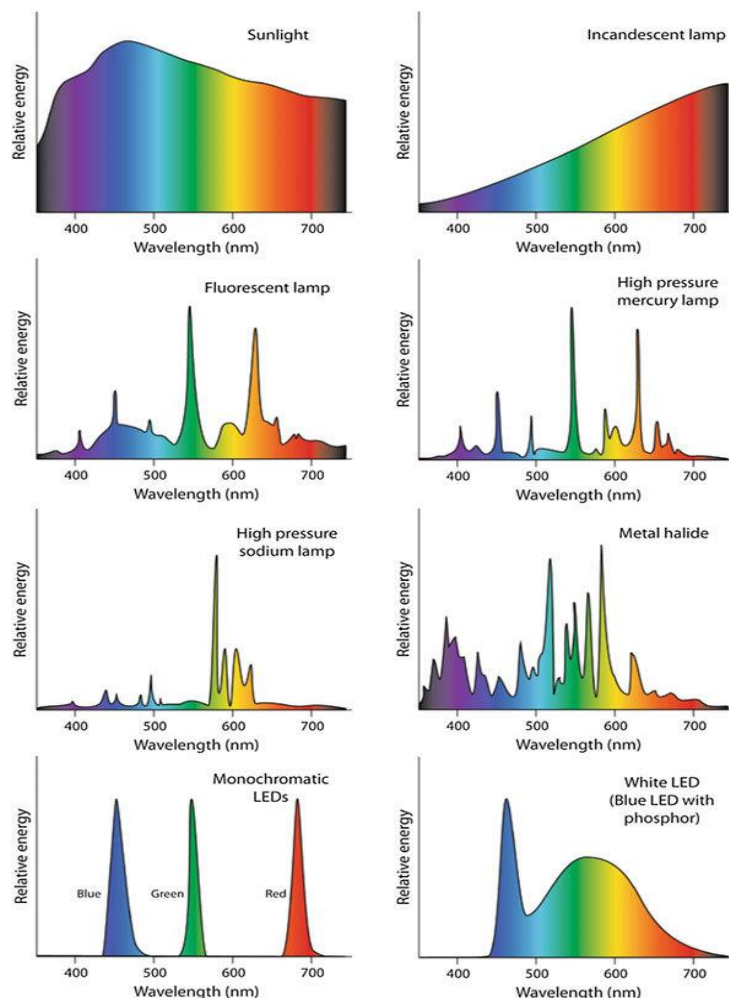
Robinsonův lapač využívá poznatku, že se hmyz přibližuje ke zdroji světla po spirálovité dráze. Ve válcovité sběrné nádobě je umístěno několik paprskovitě uspořádaných vertikálních desek a nad nimi se nachází zdroj světla v úrovni horního okraje válce. Když začne hmyz okolo světla kroužit, postupně se dostane k jedné z desek, narazí do ní a spadne do trychtýře, který ho navede do nádoby s omamující látkou (Novák, 1969).

7.1.6 Heathův světelný lapač

Hlavní výhodou lapače, který v roce 1965 navrhl John Heath, je jeho lehkost a přenositelnost. Funguje na podobném principu jako předchozí lapače. Skládá se ze sběrné nádoby, do které se vkládá omamující látka. Nad nádobou jsou postaveny 4 přepážky tak, aby se vešly do trychtýře směřujícího do nádoby. Mezi přepážkami je vertikálně umístěn zdroj světla. Odtok dešťové vody zde zajišťuje trychtýř umístěný uvnitř sběrné nádoby a zároveň může být nad přepážky umístěna průhledná plastová deska. Celková hmotnost by neměla být větší než 8 kg a byl navržen tak, aby se vešel do běžného batohu na záda (Heath, 1965).

7.2 Světelné zdroje

V minulosti se jako světelný zdroj k lákání hmyzu používal přirozený zdroj světla, jakým je plamen ohně. Nejčastěji se používaly petrolejové, případně acetylenové či lihové lampy (Novák, 1969). Později se začaly využívat elektrické žárovky s wolframovým vláknem. V posledních dekádách však byly žárovky postupně nahrazeny jinými zdroji světla, a to obzvláště takovými, které emitují vysoké procento UV záření (Hardwick, 1968). Světlo s kratšími vlnovými délkami se totiž ukázalo jako nejefektivnější pro sběr hmyzu (Barghini et De Medeiros, 2012). Dnes se tedy k odchytu používají především výbojky, fluorescenční zářivky, halogenidové žárovky či LED diody (Infusino et al., 2017). Každý z těchto typů vyzařuje světlo o různé vlnové délce (viz. obr. 3).



Obr. 3: Srovnání spektrálního složení různých zdrojů světla (Dutta Gupta et Agarwal, 2017).

7.2.1 Výbojky

Výbojky jsou tvořeny skleněnou či křemennou trubicí s elektrodami na koncích. Ta je naplněna určitým plynem nebo parami kovu. Dnes se nejčastěji jedná o rtuťové, sodíkové či halogenidové výbojky. Dostatečné elektrické napětí na elektrody způsobí pohyb volných elektronů od katody k anodě a jejich nárazy budí nebo ionizují další atomy plynu. Při přechodu elektronů je pohlcená energie emitovaná ve formě zářivé energie (Schröder, 1981).

Podle tlaku můžeme výbojky dělit na nízkotlaké a vysokotlaké. Rtuťové nízkotlaké výbojky se nazývají zářivky. Mezi další nejpoužívanější typy patří vysokotlaké rtuťové, nízkotlaké halogenidové a sodíkové (vysokotlaké i nízkotlaké) výbojky. Veřejné osvětlení v roce 2010 bylo tvořeno z 85 % vysokotlakými sodíkovými

výbojkami, z 5 % halogenidovými, ze 4 % rtuťovými výbojkami a ze 6,4 % zářivkami. V posledních letech se však rychle rozšiřuje podíl LED osvětlení (MŽP, 2017).

Jako zdroj světla pro odchyt hmyzu se nejčastěji používají rtuťové výbojky, neboť vyzařují světlo o vlnových délkách 360-700 nm. Méně vhodným zdrojem se ukázaly sodíkové výbojky, které vyzařují menší množství krátkých vlnových délek, které jsou pro hmyz nejatraktivnější (Barghini et De Medeiros, 2012). K odchytu hmyzu se také často používá tzv. *black light*. Jedná se o výbojky, které jsou vybaveny černým filtrem. Ten pohlcuje většinu viditelného, krátkovlnného světla a výbojka tak vyzařuje pouze světlo okolo 365 nm. Efektivita tohoto typu závisí na tom, do jaké míry je hmyz viditelným světlem odpuzován. To může být dáno například tím, o jaký druh se jedná, či v jaké zeměpisné šířce se nachází (Mikkola, 1972).

7.2.2 LED

Light-Emitting Diode (LED), v češtině také elektroluminiscenční dioda, obsahuje P-N přechod, kterým prochází elektrický proud. Volné elektrony z části N přecházejí do části P, při čemž se uvolňuje přebytečná energie, která se následně projevuje jako záření. LED má ve srovnání s tradičními světelnými zdroji několik výhod, jakými jsou například rozmanitost spektrálního složení světla (vlnová délka se může pohybovat od 350 do 700 nm), nižší energetická náročnost, delší životnost, konstantnější svítivost nebo například větší odolnost vůči mechanickému poškození (Infusino et al., 2017).

White et al. (2016) se zaměřili na porovnání efektivity použití rtuťové výbojky s *black light* filtrem a LED diod (se světlem o vlnové délce 395-405 nm) na odchyt nočních motýlů. Byť počet odchycených druhů a jedinců byl významně vyšší u rtuťových výbojek, autoři konstatují, že lapače s páskami LED diod jako zdroj světla mohou, nejen vzhledem ke své pořizovací ceně, být výhodnější.

7.3 Vnější faktory ovlivňující lov na světlo

Efektivitu světelných lapačů mohou ovlivňovat také některé vnější environmentální faktory. Významný vliv může mít například aktuální teplota prostředí, rychlost větru, vlhkost vzduchu, intenzita srážek, oblačnost či světlo z Měsíce (Nowinszky et al., 2012).

Jonason et al. (2014) zjistili, že druhová bohatost a abundance přilákaných nočních motýlů byla vyšší se zvyšující se teplotou prostředí. Naopak vyšší vlhkost vzduchu se ukázala jako faktor s negativním vlivem na efektivitu lapačů. Ve studii se dále nepodařil prokázat vliv srážek a rychlosti větru na efektivitu odchyty.

Podobných výsledků dosáhli i Nowinszky et al. (2012). Jako ideální se ukázala teplota mezi 23 a 30 °C. Naopak vlhkost vzduchu nad 80 % v jarních a letních měsících výrazně snižovala účinnost lapačů. Podařil se také prokázat negativní vliv rychlosti větru. Zároveň srážky (obzvláště vyšší než 5 mm) způsobovaly ztrátu efektivnosti světelných lapačů.

Na efektivnost lapačů může mít vliv i Měsíc, a to v různých aspektech. Například intenzita měsíčního svitu, měsíční fáze, poměr, ve kterém je osvětlen, množství polarizovaného měsíčního světla či doba, po kterou je v noci vidět nad obzorem (Nowinszky et al., 2019). Nejvyšší efektivita lapačů bývá v první a v poslední čtvrti Měsíce, kdy je míra polarizace jeho světla, která zvyšuje aktivitu motýlů, nejvyšší. Během novu jsou lapače efektivní na největší vzdálenost, avšak nižší míra polarizace měsíčního světla snižuje velikost vzorků. Nejmenší vzorky jsou pak odchyťávány při úplňku (Nowinszky et al., 1979).

V souvislosti s Měsícem má na lapače vliv i oblačnost. Jako nejefektivnější se ukazují noci s nízkou oblačností, bez viditelného Měsíce a bez srážek. Při výskytu Měsíce na obloze se však se zvyšující se oblačností efektivita zvyšuje (Nowinszky et al., 2010).

I přes vhodný výběr konkrétní noci, kterým lze eliminovat vliv vnějších faktorů, se může abundance a počet odchycených druhů lišit. Příčiny mohou být čistě fenologické. Během roku se druhová kompozice motýlů výrazně mění. Nejvhodnější dobou pro odchyt se jeví doba od půlky května do začátku září, kdy je možno odchytit nejvíce druhů motýlů (Nowinszky et al., 2012). Různé druhy mají i odlišnou aktivitu během noci. Některé druhy jsou nejaktivnější v první půlce noci, jiné v druhé půlce noci a další pak mohou být aktivní během celé noci. Pro zvýšení efektivity je tedy vhodné pomocí světelných lapačů monitorovat v průběhu celé noci, od západu Slunce do rozbřesku (Lamarre et al., 2015).

8 Metodika

8.1 Charakteristika studijních lokalit

Pro sběr dat byly vybrány čtyři lokality (viz. obr. 4) na území hlavního města Prahy. Jednalo se o cesty osvětlené veřejným osvětlením, kde minimálně z jedné strany nebyl biotop přímo ovlivněn jiným zdrojem umělého světla. U tří lokalit se jednalo o lesní biotopy a u jedné o nelesní biotop.



Obr. 4: Mapa s vyznačenými lokalitami (mapy.cz).

8.1.1 Přírodní park Drahaň–Troja

První lokalita se nacházela v Přírodním parku Drahaň–Troja. Konkrétně šlo o ulici Bohnická (50.1355136N, 14.4078269E) (viz. příloha 1). Vybrané pouliční lampa se nacházela nedaleko přírodní památky (PP) Bohnické údolí. Jednalo se o lesní biotop nacházející se v údolí a SZ mimo veřejné osvětlení zde bylo minimální. Nejbližší potenciální zdroj jiného umělého světla (rodinné domy) se nacházel přibližně 150 metrů od lokality.

Přírodní park Drahaň-Troja se táhne po pravém svahu vltavského údolí v severní části Prahy. Zahrnuje Trojskou kotlinu, včetně Zoologické zahrady Praha a Pražské botanické zahrady, a dále v severní části údolí Bohnického, Čimického a Drahaňského

potoka. Jeho celková rozloha činí 579 ha a byl založen roku 1990. Ze zachovalých území se zde vyskytují skalní stepi společně s xerothermními křovinami, místy se vyskytují zchovalé xerothermní doubravy. Většina území je však uměle zalesněna dubem zimním a letním, často se zastoupením nevhodných dřevin, jakými jsou trnovník akát či smrk ztepilý. V rámci přírodního parku se vyskytuje celkem 11 zvláště chráněných území. Jedná se o PR Podhoří, PP Jabloňka, PP Trojská, PP Velká skála, PP Havránka, PP Salabka, PP skály v zoologické zahradě, PP Bohnické údolí, PP Zámky, PP Čimické údolí, PP Dražanské údolí (Odbor ochrany přírody MHMP, ©2010).

8.1.2 Přírodní park Šárka–Lysolaje

Další dvě lokality byly zvoleny v Přírodním parku Šárka-Lysolaje. První z nich, neznačená cesta propojující ulici Pod Mlýnkem a ulici Natanaelka, byla pracovníčně označena jako lokalita Pod Matějem (50.1120589N, 14.3773278E) (viz. příloha 2) podle kostela sv. Matěje, který stojí pár desítek metrů severně od cesty. Zde se jednalo o lesní stanoviště, kde jiné SZ pocházelo od městské zástavby přibližně 150 metrů od umístěných lapačů.

Jako druhá lokalita v Přírodním parku Šárka–Lysolaje byl zvolen úsek cyklostezky, pracovníčně nazvaný Zlatnice (50.1056478N, 14.3627325E) (viz. příloha 3) podle nedaleké PP Zlatnice. Zde další nejbližší zdroje SZ pocházely z veřejného osvětlení ulice V Šáreckém údolí, vzdálené téměř 100 metrů od lapačů umístěných v lesním biotopu.

Přírodní park Šárka–Lysolaje byl také vyhlášen roku 1990. Celkově se jedná pravděpodobně o jedno z nejzachovalejších míst Prahy. Jedná se o území o rozloze 1005 ha, které se prostírá podél Šáreckého potoka přibližně od vodní nádrže Džbán (nacházející se na severozápadě města) až po Podbabu, kde potok ústí do Vltavy. Ještě v 19. století byla velká část oblasti bezlesá. Na spoustě míst se v minulosti vytvořila vřesoviště a teplomilná keřová a travinná společenstva se vzácnými druhy, jako je křivatec český nebo koniklec luční český. Spousta ploch však časem zarostla a dnes zde nalezneme nejčastěji porosty dubu, břízy bělokoré a jeřábu ptačího. Často nalezneme i nepůvodní dřeviny, jakými jsou smrk ztepilý, modřín opadavý, borovice lesní nebo trnovník akát. Přírodní park je tvořen několika zvláště chráněnými územími.

Jedná se o PR Divoká Šárka, PP Vizerka, PP Jenerálka, PP Zlatnice, PP Nad mlýnem, PP Dolní Šárka a PP Housle (Odbor ochrany přírody MHMP, ©2011).

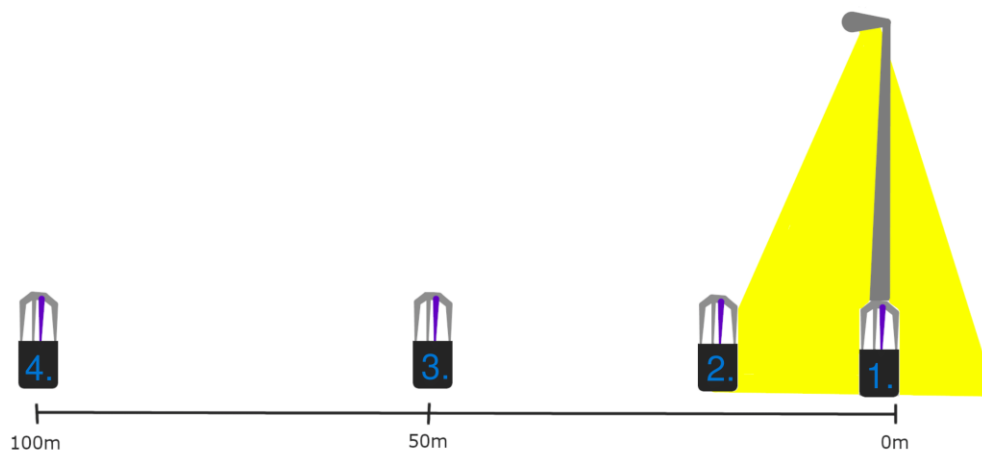
8.1.3 Ďáblický háj

Lokalita Ďáblice (50.1402425N, 14.4768050E) (viz. příloha 4) leží v Ďáblickém háji na ulici Pod Hvězdárnou. Jednalo se o otevřený, nelesní biotop. Vzhledem k vyšší poloze ve vztahu k okolí a otevřenosti lokality byla míra SZ v podobě rozptýleného světla z městské zástavby relativně vyšší. Zástavba se nacházela přibližně 150 metrů od linie lapačů ze dvou stran.

Lesopark Ďáblický háj leží v severní části Prahy na území městských částí Ďáblice a Kobylisy. Jeho celková rozloha činí 62 ha. Porosty Ďáblického háje jsou tvořeny hlavně vysazenými duby zimními, habry obecnými a lipami srdčitými s občasným zastoupením modřínu opadavého či borovice lesní. Na exponovaných a extrémních stanovištích se pak nalézají například kostřava ovčí, vřes obecný či hvozdík kartouzek. V Ďáblickém háji byla vyhlášena PP Ládví jako jedna z nejlépe dochovaných ukázek činnosti druhohorního moře na území České republiky (Rosendorf, 2006).

8.2 Sběr a zpracování vzorků

Sběr vzorků hmyzu byl prováděn v roce 2021 od června do září. Na každé lokalitě byly umístěny 4 světelné lapače do linie kolmo (nebo tam kde to nebylo možné tak po vrstevnici) na osvětlenou cestu. První lapač se nacházel přímo u lampy veřejného osvětlení pod světelným kuzelem takovým způsobem, aby nehrozilo, že by hmyz přilákaný (a případně zabítý) osvětlením spadnul do lapačů a mohlo by tak dojít ke zkreslení dat. Druhý lapač byl umístěn přibližně na hraně světelného kuželu osvětlení a okolního prostředí. Třetí lapač se nacházel 50 metrů a čtvrtý 100 metrů od pouliční lampy směrem do středu biotopu (viz. obr. 5).



Obr. 5: Design umístování lapačů na jednotlivých lokalitách, vytvořeno v programu Gimp verze 2.10.30 (The Gimp Team 2022).

K odchytu byl používán plně automatický světelný lapač kombinující prvky z lapačů Heathova a Robinsonova typu (viz. obr. 6). Lapač sestával z válcovité sběrné nádoby, do které byl svrchu umístěn trychtýř. Do něj byly vertikálně zaklesnuty tři průhledné narážecí desky, mezi kterými se nacházel světelný zdroj sestávající ze dvou 8W UV LED pásů s celkovým světelným tokem 400 lm v rozsahu vlnových délek 400–420 nm. Ten byl napájen přenosným olověným akumulátorem (12 V/7,2 Ah). Jako omamná látka byl použit chloroform umístěný v otevřené lahvičce, do které byl vnořen papírový kapesník, který se chloroformem nasakoval, a ten se tak mohl uvnitř sběrné nádoby lépe rozptýlovat. Odtok případné dešťové vody byl pak zajištěn menším trychtýřem směřujícím do otvoru vytvořeném vespod nádoby.



Obr. 6: Světelný lapač použitý při experimentu.

Celkově byly vzorky odebírány během dvanácti odchyťových nocí, tedy na každé lokalitě byly provedeny odchyty v rámci tří nocí. Mezi odchyty na jednotlivých lokalitách byla časová prodleva minimálně 2 týdny a byla tendence provádět odchyty mimo úplněk či při zatažených, avšak nedeštivých nocích a při co nejslabším větru. Lapače byly umísťovány na lokality těsně před západem Slunce. Zde zůstaly po celou noc a následující den po rozbřesku byly lapače vybírány.

Odchycené vzorky se přesypávaly do papírových sáčků, aby nedocházelo k jejich zapaření. Následně byly sáčky označeny konkrétním kódem (viz. tab. 1), aby nedošlo k záměně, a vloženy do plastové krabičky. Ty bylo potřeba poté vložit do mrazáků, aby bylo možné vzorky dlouhodobě uchovat k pozdější determinaci vzorků v laboratoři. V laboratoři byla nejprve stanovena celková abundance všech základních taxonomických skupin, které byly určovány do úrovně řádů, případně, tam kde to bylo možné, do úrovně podřádů. U vybrané skupiny nočních motýlů (tzv. *Macrolepidoptera*, do kterých se řadí zástupci nadčeledí *Hepialoidea*, *Cossoidea*,

Drepanoidea, Lasiocampoidea, Bombycoidea, Geometroidea a Noctuidea; nomenklatura podle Laštůvky a Lišky (2011)) bylo předpokládáno, že jejich abundance bude nejvyšší. Proto byla tato skupina určována do úrovně druhů. Následně byla určována celková biomasa odchycených členovců včetně velkých motýlů. K tomu bylo potřeba nejprve vysušit jednotlivé vzorky při 80 °C na 12 hodin a poté je zvážit na laboratorní váze s přesností na tisícinu gramu.

Zlatnice	1. lapač	2. lapač	3. lapač	4. lapač	Pod Matějem	1. lapač	2. lapač	3. lapač	4. lapač
1. den (10. 7.)	Z11	Z12	Z13	Z14	1. den (20. 7.)	M11	M12	M13	M14
2. den (2. 8.)	Z21	Z22	Z23	Z24	2. den (13. 8.)	M21	M22	M23	M24
3. den (27. 8.)	Z31	Z32	Z33	Z34	3. den (9. 9.)	M31	M32	M33	M34
Bohnická	1. lapač	2. lapač	3. lapač	4. lapač	Ďáblice	1. lapač	2. lapač	3. lapač	4. lapač
1. den (25. 8.)	B11	B12	B13	B14	1. den (16. 6.)	D11	D12	D13	D14
2. den (8. 9.)	B21	B22	B23	B24	2. den (5. 7.)	D21	D22	D23	D24
3. den (16. 9.)	B31	B32	B33	B34	3. den (27. 7.)	D31	D32	D33	D34

Tab. 1: Kódy jednotlivých vzorků.

8.3 Statistická analýza dat

Pro porovnání rozdílu mezi počtem jedinců velkých motýlů v různě vzdálených lapačích byl využit zobecněný lineární model (*generalized linear model*) s negativně binomickým rozdělením chyb. Podobně byl zjišťován i rozdíl v počtu druhů velkých motýlů v různě vzdálených lapačích a dále rozdíl v počtu jedinců všech odchycených členovců v jednotlivých lapačích. Rozdíl v celkové biomase všech odchycených členovců v různě vzdálených lapačích pak byl zkoumán pomocí zobecněného lineárního modelu s rozdělením chyb podle gamma rozdělení. V modelu jako závislé proměnné vystupovaly četnosti druhů a jedinců a suchá biomasa vzorků (v g), jako vysvětlující pak faktoriální proměnná udávající pozici světelného lapače od konkrétní pouliční lampy. Následně bylo provedeno mnohonásobné porovnání pomocí post-hoc testů mezi jednotlivými lapači pro počet jedinců a druhů velkých motýlů i pro počet jedinců a celkovou biomasu členovců. K tomu bylo využito Tukeyho metody z balíčku multcomp (Hothorn et al., 2008). Všechny modely byly počítány ve statistickém programu RStudio verze 2022.02.0+443 (RStudio Team, 2022).

9 Výsledky

Během celého experimentu bylo odchyceno 1 917 jedinců členovců o celkové biomase 28,256 gramů (viz. tab. 2). Z toho největší zastoupení tvořil řád motýlů, kterých bylo odchyceno 831 jedinců. Ze sledované podskupiny velkých motýlů se podařilo odchytit 463 jedinců z 88 druhů v 7 čeledích (Drepanidae, Erebidae, Geometridae, Noctuidae, Nolidae, Notodontidae). Převážnou většinu tvořily druhy z čeledí Geometridae a Noctuidae. Z ostatních členovců byl nejpočetnější podřád dlouhoroží (Nematocera), kterých se podařilo odchytit 343 jedinců. Dále bylo odchyceno 166 jedinců z podřádu štíhloпасí (Apocrita) a 126 jedinců z řádu chrostíci (Trichoptera). Z ostatních skupin bylo odchyceno méně než 100 jedinců.

Lapač	Lokalita	Pozice	Velcí motýli		Všichni členovci	
			Jedinci	Druhy	Biomasa	Jedinci
Z1	Zlatnice	L1	18	14	1,074	53
D1	Ďáblice	L1	17	10	1,856	135
B1	Bohnická	L1	18	15	0,951	97
M1	PodMatějem	L1	13	13	1,02	59
Z2	Zlatnice	L2	15	13	0,713	64
D2	Ďáblice	L2	7	5	0,435	116
B2	Bohnická	L2	23	14	1,098	80
M2	PodMatějem	L2	25	18	1,558	78
Z3	Zlatnice	L3	76	36	5,576	196
D3	Ďáblice	L3	5	3	0,514	133
B3	Bohnická	L3	30	18	1,523	124
M3	PodMatějem	L3	16	10	0,898	59
Z4	Zlatnice	L4	91	42	3,611	314
D4	Ďáblice	L4	6	5	0,593	149
B4	Bohnická	L4	55	29	2,951	134
M4	PodMatějem	L4	48	22	3,885	126

Tab. 2: Přehled počtu všech jedinců členovců a velkých motýlů, celkové biomasy členovců a druhů velkých motýlů odchycených jednotlivými lapači na různých lokalitách a pozicích.

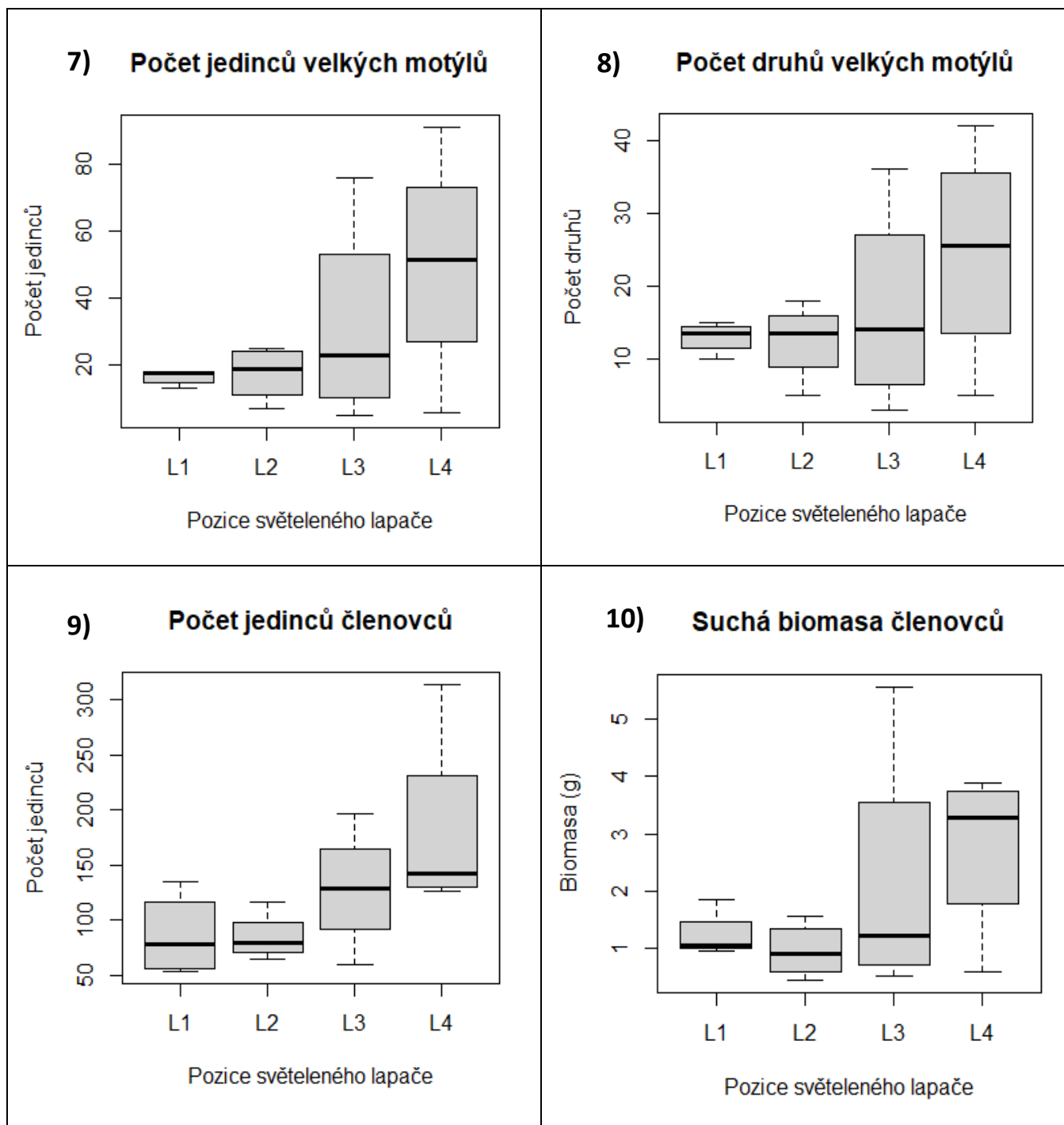
Statistickou analýzou dat se podařilo nalézt signifikantní rozdíl mezi počty jedinců velkých motýlů v různě vzdálených lapačích ($p < 0,05$). Dále se podařilo nalézt signifikantní rozdíl v celkovém počtu členovců v lapačích na různých pozicích ($p < 0,01$). Naopak nebyl nalezen statisticky signifikantní vliv vzdálenosti lapače od lampy na počet druhů velkých motýlů, stejně tak na celkovou biomasu všech

odchycených členovců. Ve výsledcích je však možno pozorovat náznak trendů dat (viz. obr. 8 a 10) a lze tak předpokládat, že navýšení počtu lokalit by vedlo k jejich signifikanci.

Post-hoc porovnání lapačů na jednotlivých pozicích Tukeyho metodou dále prokázalo marginálně signifikantní rozdíl ($p < 0,1$) počtu jedinců velkých motýlů mezi lapači na 1. (nejblíže lampy) a 4. (nejdále od lampy) pozici. U celkového počtu jedinců všech členovců se podařilo prokázat významně průkazný rozdíl ($p < 0,05$) mezi lapači na 1. a 4 pozici a na 2. a 4. pozici (viz. tab. 3).

Velcí motýli	estimate	z	p	Členovci	estimate	z	p
Jedinci				Jedinci			
L1-L2	0,05884	0,125	ns	L1-L2	-0,0176	-0,069	ns
L1-L3	0,65453	1,406	ns	L1-L3	0,3977	1,573	ns
<i>L1-L4</i>	<i>1,10866</i>	<i>2,397</i>	<i><0.1</i>	<i>L1-L4</i>	<i>0,7428</i>	<i>2,952</i>	<i><0.05</i>
L2-L3	0,59569	1,282	ns	L2-L3	0,4153	1,642	ns
L2-L4	1,04982	2,274	ns	<i>L2-L4</i>	<i>0,7604</i>	<i>3,021</i>	<i><0.05</i>
L3-L4	0,45413	0,999	ns	L3-L4	0,3451	1,382	ns
Druhy				Biomasa			
-				-			

Tab. 3: Výsledky post-hoc testů srovnávajících počet odchycených jedinců velkých motýlů a všech členovců mezi lapači na jednotlivých pozicích (L1 – lapač nejblíže u pouliční lampy, L2 – lapač na hraně světelného kuželu a okolního prostředí, L3 – lapač 50 m od pouliční lampy, L4 – lapač 100 m od pouliční lampy).



Obr. 7-10: Grafy zobrazující počet jedinců a druhů velkých motýlů, počet jedinců všech členovců a jejich celkovou biomasu v různých vzdálenostech od zdroje SZ.

10 Diskuse

Vzdálenost světelných lapačů od veřejného osvětlení měla významný vliv na jejich efektivitu. Se vzdáleností lapačů od osvětlení se zvyšoval počet odchycených jedinců všech členovců a také počet jedinců vybrané skupiny velkých motýlů. To bylo pravděpodobně způsobeno vyšší atraktivitou světla z pouličních lamp v jejich okolí pro hmyz, tedy snížením atraktivnosti světla z lapačů umístěných na zemi pod lampami (Macgregor et al., 2016). Dalším možným vysvětlením nižšího počtu odchycených jedinců poblíž pouličních lamp by mohla být i nižší abundance hmyzu v okolí SZ, způsobená jejich vyšší úmrtností v důsledku behaviorálních adaptací predátorů hmyzu, fyzického vyčerpání hmyzu či přímého spálení se o lampu (Eisenbeis, 2006). Některé studie naznačují, že určité druhy nočních motýlů se mohou dokonce vyhýbat oblastem se zvýšeným SZ a mohou být přímo odpuzovány světlem z veřejného osvětlení, nicméně studium tohoto jevu je podstatně obtížnější než studium přitažlivosti k pouličním lampám a výsledky těchto studií nejsou průkazné (Frank, 2006).

Z výsledků je však patrné, že na nelesním stanovišti (lokalita Ďáblice) byl trend opačný a lapač nejbližší pouliční lampě byl nejefektivnější. V lesních biotopech bývá veřejné osvětlení odstíněno okolními stromy v mnohem menší vzdálenost od zdroje a světlo pocházející z pouličních lamp nemusí být vidět z takové dálky, jako je tomu u otevřené krajiny. V nelesních biotopech se tak může silněji projevit tzv. efekt „vysavače“, kdy je hmyz z široké krajiny přitahován směrem ke zdroji umělého světla (Eisenbeis, 2006).

Nasbíraná data naopak neukázala průkazný vliv vzdálenosti lapačů na celkovou biomasu všech členovců. Vyšší biomasa poblíž pouličních lamp mohla být dána vyšším podílem větších motýlů. Větší motýli mívají větší oči a jsou tak senzitivnější na světlo. Mohou být tedy přitahováni světlem z veřejného osvětlení z větší dálky a zároveň mohou být více přitahováni světlem z lapačů se zastoupením nižších vlnových délek (Van Langevelde et al., 2011). V experimentu nebyla zkoumána velikost jedinců a jejich oči a k potvrzení této hypotézy by bylo potřeba dalších výzkumů. V datech však lze pozorovat náznak trendu zvyšující se biomasy se vzdáleností od veřejného osvětlení a zvýšení počtu sledovaných lokalit by pravděpodobně vedlo k jeho signifikanci.

Podobně nebyl prokázán ani negativní vliv veřejného osvětlení na snížení efektivity lapačů pro výzkum druhové bohatosti velkých motýlů. Chování různých druhů nočních motýlů v okolí pouličních lamp se může lišit. Některé mohou být umělým světlem přímo přitahovány, jiné mohou naopak přestat být aktivní v důsledku oslnění a některé druhy mohou být intenzivním světlem odpuzovány (Frank, 2006). Zároveň mohou mít světelné lapače různou efektivitu na odchyt odlišných druhů. Různé druhy reagují na lapače z jiných vzdáleností (Merckx et Slade, 2014) a různý vliv mají i odlišné vlnové délky a intenzita světla z lapačů (Somers-Yeates et al., 2013). Macgregor et al. (2016) se ve své studii zabývali mimo jiné porovnáním druhové bohatosti nočních motýlů na světlem znečištěných a neznečištěných lokalitách. K tomu využívali nejen světelné pasti, ale i nočního procházení transektu a pozorování letu nočních motýlů. Ve světlem znečištěném prostředí zaznamenali téměř o 25 % nižší druhovou bohatost. Lze tedy předpokládat, že i tato studie by vykazovala signifikantní trend při navýšení počtu pozorování.

Výsledky mohly být ovlivněny dalšími proměnnými, jakými jsou výška lampy, orientace a šířka světelného kuželu, míra SZ pocházející z jiných zdrojů v okolí, či intenzita a spektrální složení světla z veřejného osvětlení. Například pouliční lampy se rtuťovými výbojkami, vyzařující bílé světlo s vyšším podílem kratších vlnových délek, lákají významně větší množství nočního hmyzu než lampy s vysokotlakými sodíkovými výbojkami emitující spíše žluté, dlouhovlnné světlo (Barghini et De Medeiros, 2012). V budoucích studiích by proto bylo vhodné uvažovat i o těchto faktorech a obzvláště změřit spektrální složení světla z veřejného osvětlení.

Míra SZ v posledních letech celosvětově výrazně vzrůstá. Narušování přirozených cyklů střídání dne a noci umělým světlem je přitom jedním z nejvýznamnějších faktorů, který stojí za úbytkem hmyzu. Celé ekosystémy, které jsou na hmyz vázány, a v důsledku se jedná i o lidstvo samotné, jsou tak ohroženy. Je proto potřeba přicházet se způsoby, jakými je možné míru SZ snižovat a případně jak snižovat vliv umělého světla na organismy. Vhodným řešením je používání světel o nižších vlnových délkách. V kombinaci se snížením intenzity světel, směřováním světla pouze na potřebná místa a využití moderních technologií, umožňujících cílené rozsvícení například pomocí senzorů pohybu může dopomoci nejen ke snížení dopadů na ekosystémy, ale i k významnému snížení spotřebované energie (Kardel, 2012).

11 Závěr

V této studii bylo zkoumáno, do jaké míry má SZ vliv na efektivitu metody odchyty nočního hmyzu pomocí světelných lapačů. Konkrétně byla pomocí lapačů porovnávána abundance a druhová bohatost velkých motýlů, abundance všech členovců a celková biomasa členovců, včetně velkých motýlů, ve vztahu k vzdálenosti od veřejného osvětlení. Z výsledků terénního experimentu je patrné, že veřejné osvětlení mělo alespoň částečně negativní vliv na odchyt nočního hmyzu světelnými lapači.

Při provádění průzkumu se projevíly různé další faktory, které na efektivitu mohly mít vliv, a které by bylo potřeba měřit pro přesnější výsledky. Především by bylo vhodné měřit spektrální složení veřejného osvětlení a porovnat vliv různých zdrojů světla. Dalším faktorem, který by mohl být předmětem pozdější studie je i rozdílnost efektivitu lapačů na lesních a nelesních stanovištích, která v této studii nebyla dostatečně prozkoumána. Navýšení počtu sledovaných lokalit by pak dopomohlo k lepšímu porozumění vlivu osvětlení na druhovou skladbu velkých motýlů a celkovou biomasu všech členovců.

Používání světelných lapačů je jednou z nejběžnějších metod k odchyty nočního hmyzu. Jejich efektivita je však ovlivněna řadou faktorů, z nichž jedním je i míra SZ. Z výsledků této studie se ukazuje, že při interpretaci dat ze světelných lapačů je důležité zahrnout mimo jiné i míru SZ v jejich okolí. Pro zvýšení efektivitu lapačů během monitoringu diverzity je vhodné vybírat na lokalitách místa s co nejnižší mírou SZ, tedy co nejdále od veřejného osvětlení či jiného zdroje umělého světla. V případech, kdy to není možné, je vhodné začlenit do monitorovací zprávy co nejvíce podrobností o míře místního SZ.

12 Seznam použité literatury

ALS, ©2004: Beginners Guide to Moth Trapping (2nd ed.) (online) [cit. 2022.01.22], dostupné z <https://www.angleps.com/moth_guid.pdf>.

Altaf H. S., Moni T., Rita B. et Kushboo B., 2016: Light Trap and Insect Sampling: An Overview. *International Journal of Current Research* 8 (11), 40868–40873.

Anonymus, 2022: Viditelná část elektromagnetického záření (online) [cit. 2021.12.20], dostupné z <<https://electromagneticspectrumscience.weebly.com/visible-light.html>>.

Barghini A. et De Medeiros B. A. S., 2012: UV radiation as an attractor for insects. *Leukos* 9 (1), 47–56.

Cinzano P., Falchi F. et Elvidge C.D., 2001: The first World Atlas of the artificial sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 328 (3), 689–707.

Császár P., Torma A., Gallé-Szpisjk N., Tölgyesi C., et Gallé R., 2018: Efficiency of pitfall traps with funnels and/or roofs in capturing ground-dwelling arthropods. *European Journal of Entomology* 115 (1), 15–24.

Davies T. W., Bennie J., Inger R., de Ibarra N. H., et Gaston K. J., 2013: Artificial light pollution: are shifting spectral signatures changing the balance of species interactions? *Global Change Biology* 19 (5), 1417–1423.

Dirzo R., Young H. S., Galetti M., Ceballos G., Isaac N. J. B. et Collen B., 2014: Defaunation in the anthropocene. *Science* 345 (6195), 401–406.

Dutta Gupta S. et Agarwal A., 2017: Artificial Lighting System for Plant Growth and Development: Chronological Advancement, Working Principles, and Comparative Assessment. In: Dutta Gupta S. (ed.): *Light Emitting Diodes for Agriculture*. Springer Nature, Singapur: 1–25.

Eisenbeis G., 2006: Artificial night lighting and insects: attraction of insects to streetlamps in a rural setting in Germany. In: Rich C. et Longcore T. (eds.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Island Press, Washington, D. C., 191–198.

Falchi F., Cinzano P., Duriscoe D., Kyba C. C. M., Elvidge C. D., Baugh K., Portnov B. A., Rybnikova N. A. et Furgoni R., 2016: The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances* 2 (6), e1600377.

Frank K. D., 2005: Effects of Artificial Night Lighting on Moths. In: Rich C. et Longcore T. (eds.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Island Press, Washington, D. C., 305-344.

Frost S. W., 1957: The Pennsylvania Insect Light Trap. *Journal of Economic Entomology* 50 (3), 287–292.

Gaston K. J., Visser M. E., et Holker F., 2015: The biological impacts of artificial light at night: the research challenge. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 370 (1667), 20140133.

Hardwick D. F., 1968: A brief review of the principles of light trap design with a description of an efficient trap for collecting noctuid moths. *The Journal of the Lepidopterists' Society* 22 (2), 65–75.

Heath J., 1965: A genuinely portable MV light trap. *Entomologist's Record and Journal of Variation* 77 (11), 236-238.

Heilig P., 2010: Light pollution. *Spektrum Augenheilkd* 24 (5), 267–270.

Henderson P. A. et Southwood T. R. E., 2016: *Ecological Methods* (4th ed.). John Wiley & Sons, Incorporated, Hoboken, 662 s.

Hölker F., Wolter C., Perkin E. K. et Tockner K., 2010: Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology & Evolution* 25 (12), 681–682.

Hothorn T. et Bretz F., Westfall P., 2008: Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biometrical Journal* 50 (3), 346–363.

Ineichen S. et Rüttimann B., 2012: Impact of artificial light on the distribution of the common European glow-worm, *Lampyris noctiluca* (Coleoptera: Lampyridae). *Lampyrid* 2, 31–36.

Infusino M., Brehm G., Di Marco C. et Scalercio S., 2017: Assessing the efficiency of UV LEDs as light sources for macro-moth diversity sampling. *European Journal of Entomology* 114 (114), 25–33.

Jonason D., Franzén M. et Ranius T., 2014: Surveying Moths Using Light Traps: Effects of Weather and Time of Year. *PLoS ONE* 9 (3), e92453.

Kardel W. S., 2012: Rethinking how we light at night: Cutting light pollution for more sustainable nights. *Journal of Green Building* 7 (3), 3–15.

Klowden M. J., 2007: *Physiological Systems in Insects* (2nd ed.). Academic Press, Moscow, 688 s.

Kyba C. C. M., Kuester T., Sánchez de Miguel A., Baugh K., Jechow A., Hölker F., Bennie J., Elvidge C. D., Gaston K. J. et Guanter L., 2017: Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances* 3 (11), 1701528.

Lamarre G. P. A., Mendoza I., Rougerie R., Decaëns T., Hérault B. et Bénéluz F., 2015: Stay Out (Almost) All Night: Contrasting Responses in Flight Activity Among Tropical Moth Assemblages. *Neotropical Entomology* 44 (2), 109–115.

Land M. F. et Nilsson D., 2012: *Animal Eyes* (Oxford Animal Biology Series) (2nd ed.). Oxford University Press, Oxford, 291 s.

Laštůvka Z. et Liška J., 2011: Komentovaný seznam motýlů České republiky (Annotated checklist of moths and butterflies of the Czech Republic (Insecta: Lepidoptera). Biocont Laboratory, Brno, 148 s.

Libra M., Štěrba J. et Bláhová I., 2000: Fyzikální podstata světla. Časopis Světlo 04 (online) [cit. 2021.12.20], dostupné z <<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/fyzikalni-podstata-svetla--16967>>.

Macgregor C. J., Evans D. M., Fox R. et Pocock M. J. O., 2016: The dark side of street lighting: impacts on moths and evidence for the disruption of nocturnal pollen transport. *Global Change Biology* 23 (2), 697–707.

Macgregor C. J., Pocock M. J. O., Fox R. et Evans D. M., 2019: Effects of street lighting technologies on the success and quality of pollination in a nocturnally pollinated plant. *Ecosphere* 10 (1), e02550.

Malaise R., 1937: A new insect trap. *Entomologisk tidskrift* 58, 148-160.

McGavin G. C., 2007: Expedition Field Techniques: Insects and other terrestrial arthropods. *Geography Outdoors: the centre supporting field research, exploration and outdoor learning*, London, 94 s.

Merckx, T. et Slade E. M., 2014: Macro-moth families differ in their attraction to light: implications for light-trap monitoring programmes. *Insect Conservation and Diversity* 7 (5), 453–461.

Mikeš J. et Efmertová M., 2005: Cesta žárovky historií. Časopis světlo 04 (online) [cit. 2022.01.06], dostupné z <<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/cesta-zarovky-historii--16441>>.

Mikkola K., 1972: Behavioural and electrophysiological responses of night-flying insects, especially Lepidoptera, to near-ultraviolet and visible light. *Annales Zoologici Fennici* 9 (4), 225–254.

MŽP, ©2017: Světelné znečištění (online) [cit. 2022.01.08], dostupné z <https://www.mzp.cz/cz/svetelne_znecistení>.

NASA, ©2010: Visible Light (online) [cit. 2021.12.20], dostupné z <http://science.nasa.gov/ems/09_visiblelight>.

New T. R., 2009: Insect Species Conservation (Ecology, Biodiversity and Conservation) (1st ed.). Cambridge University Press, Cambridge, 274 s.

Newton I., Cohen B. I., Einstein A. et Whittaker E., 2012: Opticks: Or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light—based on the fourth edition, London, 1730. Dover Publications, New York, 406 s.

Novák K., 1969: Metody sběru a preparace hmyzu. Academia, Praha, 243 s.

Nowinszky L., Hill L. et Puskás J. [eds.], 2019: Influence of the Little-Studied Sun's and Moon's Characteristics on the Trapping of Night Active Insects in Central Europe, Australia and USA. Savaria University Press, Szombathely, 130 s.

Nowinszky L., P. Janos et Marta L., 2012: Efficiency of light-traps influenced by environmental factors. International Journal of Science and Nature 3 (3), 521–525.

Nowinszky L., Puskás J. et Kúti Z., 2010: Light trapping as a dependent of moonlight and clouds. Applied Ecology and Environmental Research 8 (4), 301–312.

Nowinszky L., Szabó S., Tóth G., Ekk I. et Kiss M., 1979: The effect of the moon phases and of the intensity of polarized moonlight on the light-trap catches. Zeitschrift Für Angewandte Entomologie 88 (1–5), 337–353.

Odbor ochrany přírody MHMP, ©2010: Informační leták č.5 Přírodní park Drahaň–Troja (online) [cit. 2022.03.05], dostupné z <https://portalzp.praha.eu/jnp/cz/priroda_krajina_a_zelen/prirodni_parky/drahan_troj_a_sknihou/prirodni_park_drahan_troja.html>.

Odbor ochrany přírody MHMP, ©2011: Informační leták č.4 Přírodní park Šárka–Lysolaje (online) [cit. 2022.03.05], dostupné z <https://portalzp.praha.eu/jnp/cz/priroda_krajina_a_zelen/prirodni_parky/sarka_lysolaje_sknihou/index.xhtml>.

Owens A. C. S., Cochard P., Durrant J. et Farnworth B., 2019: Light Pollution is a driver of insect declines. *Biological Conservation* 241, 108259.

Pais A., 1979: Einstein and the quantum theory. *Review of Modern Physics* 51 (4), 863.

Poiani S., Dietrich C., Barroso A. et Costa–Leonardo A., 2014: Effects of residential energy-saving lamps on the attraction of nocturnal insects. *Lighting Research & Technology* 47 (3), 338–348.

Rosendorf, P., 2006: Přírodní památka Ládvi a Ďáblický háj (online) [cit.2022.03.06], dostupné z <<http://www.praha-priroda.cz/priloha/5274f45d7cb95/pp-ladvi-web.pdf>>.

RStudio Team, 2022: RStudio: Integrated Development Environment for R, Boston, MA (online) [cit. 2022.03.02], dostupné z <<http://www.rstudio.com/>>.

Sánchez–Bayo F. et Wyckhuys K. A. G., 2019: Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation* 232, 8–27.

Shapiro A. E., 1973: Kinematic optics: A study of the wave theory of light in the seventeenth century. *Archive for History of Exact Sciences* 11 (2–3), 134–266.

Schröder G., 1981: Technická optika. Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 158 s.

Smrž J., 2013: Základy biologie, ekologie a systému bezobratlých živočichů. Karolinum Press, Praha, 192 s.

Somers–Yeates R., Hodgson D., McGregor P. K., Spalding A. et ffrench–Constant R. H., 2013: Shedding light on moths: shorter wavelengths attract noctuids more than geometrids. *Biology Letters* 9 (4), 20130376.

Stark G., 2021: Light. *Encyclopedia Britannica* (online) [cit. 2021.12.20], dostupné z <<https://www.britannica.com/science/light>>.

Szentkiralyi F., 2002: Fifty year long insect survey in Hungary: T. Jermys contribution to light trapping. *Acta zoologica acadamaiae scientarum Huneraicae* 48, 85–105.

The Gimp Team, 2022: The GNU Image Manipulation Program. USA, Boston.

Van Langevelde F., Ettema J. A., Donners M., WallisDeVries M. F. et Groenendijk D., 2011: Effect of spectral composition of artificial light on the attraction of moths. *Biological Conservation* 144 (9), 2274–2281.

Verheijen F., 1960: The mechanisms of the trapping effect of artificial light sources upon animals. *Archives Neerlandaises de Zoologie* 13 (1), 1–107.

White P. J. T., Glover K., Stewart J. et Rice A., 2016: The Technical and Performance Characteristics of a Low–Cost, Simply Constructed, Black Light Moth Trap. *Journal of Insect Science* 16 (1), 25.

Williams C. B., 1948: The Rothamsted light trap. *Proceedings of the Royal Entomological Society of London (A)* 23, 80–85.

13 Přílohy



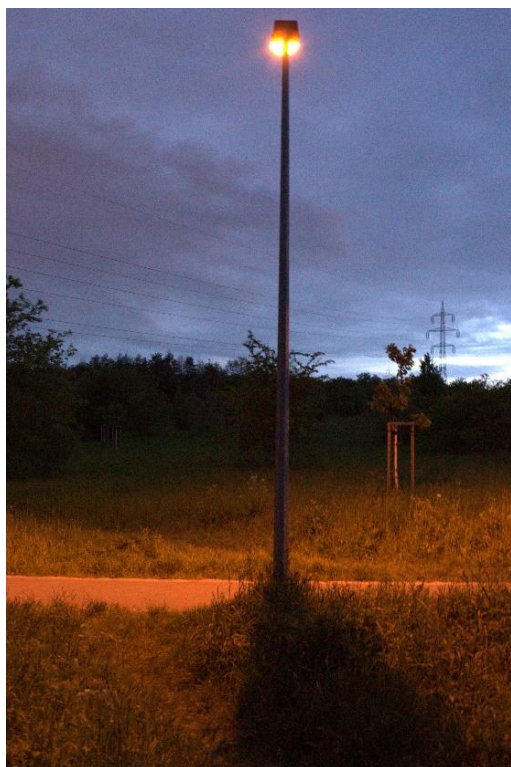
Příloha 1: Lokalita Bohnická.



Příloha 2: Lokalita Pod Matějem.



Příloha 3: Lokalita Zlatnice.



Příloha 4: Lokalita Ďáblice.