

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



**ATRAKTIVITA VLNOVÝCH SPEKTER SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ
PRO HMYZ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

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

Bakalant: Petra Bartošová

2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Petra Bartošová

Aplikovaná ekologie

Název práce

Atraktivita vlnových spekter slunečního záření pro hmyz

Název anglicky

Attractivity of light spectra for insect groups.

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je formou literární rešerše dostupných zdrojů zrekapitulovat základní poznatky o tom, jak hmyz reaguje na jednotlivé spektrální části slunečního záření (formou pozitivní nebo negativní fototaxe), a jak konkrétní spektra a intenzita záření ovlivňuje jeho chování (např. reprodukci, vyhledávání potravy), orientaci v prostoru, vývojový cyklus a další aspekty jejich života. Hmyz je důležitý nejen pro ostatní společenstva vyšších trofických úrovní, ale taktéž i pro člověka. Bohužel společenstva hmyzu neustále ubývají i vlivem přílišného světelného znečištění, a proto cílem práce bude také důkladná diskuse, která poskytne přehled o hmyzích populacích, které jsou tímto stresem ovlivněny.

Metodika

Cíle bakalářské práce budou řešeny standardní metodou literární rešerše základních dostupných literárních zdrojů, zejména odborných článků publikovaných ve vědeckých časopisech (Jimp).

Doporučený rozsah práce

cca 30-40 stran bez příloh

Klíčová slova

světlo; světelné spektrum; světelné znečištění; fyziologie; hmyz; záření; UV záření

Doporučené zdroje informací

- Briscoe AD & Chittka L (2001). The evolution of color vision in insects. *Annual Review of Entomology* 46: 471-510.
- Eisenbeis G (2006). Artificial night lighting and insects: Attraction of insects to streetlamps in a rural setting in Germany. In: Rich C, Longcore T (eds): *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press. p. 281-304.
- Moser JC, Reeve JD, San Bento JM, Della Lucia TMC, Cameron RS & Heck NM (2006). Eye size and behaviour of day- and night-flying leafcutting ant alates. *Journal of Zoology* 264: 69-75.
- Owens ACS, Cochard P, Durrant J, Farnworth B, Perkin EK & Seymoure B (2020). Light pollution is a driver of insect declines. *Biological Conservation* 241: 108259.
- Sanders D, Baker DJ, Cruse D, Bell F, Veen FJF & Gaston KJ (2022). Spectrum of artificial light at night drives impact of a diurnal species in insect good web. *Science of The Total Environment* 831: 154893.
- Van Langevelde F, Ettema JA, Donners M, WallisDeVries MF & Groenendijk D (2011). Effect of spectral composition of artificial light on the attraction of moths. *Biological Conservation* 144: 2274-2281.
-

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Mgr. Tomáš Kadlec, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2023

prof. Mgr. Bohumil Mandák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 15. 03. 2023

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci, na téma: Atraktivita vlnových spekter slunečního záření pro hmyz vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých 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 30.3.2023

.....

Petra Bartošová

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu práce Mgr. Tomášovi Kadlecovi, Ph.D za všechny jeho cenné rady a velkou trpělivost při zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěla moc poděkovat mým rodičům a svému snoubenci Martímu. Prožívali semnou celé studium, neskutečně mě podporovali a měli semnou velkou trpělivost. Rovněž nemůžu zapomenout na zbytek rodiny a kamarády „dobříšáky“. Všichni mi byli velikou oporou. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat Mgr. Přemyslovi Cenklovi, MBA za jeho rady, doporučení a velký optimismus. Díky všem těmto lidem by tato bakalářská práce nejspíš ani nevznikla.

ABSTRAKT

Nacházíme se v 21. století a veškeré technologie jdou neustále kupředu. Přesto, že žijeme v moderní době, měli bychom se více a více zaměřovat i na přírodu kolem nás. Hmyz je součástí našeho života, ale v posledních letech dochází k jeho masivnímu úbytku. Taktéž i světlo je běžnou součástí nejen našeho života, ale i hmyzu. Hmyz má barevné vidění a dokáže vnímat různé vlnové délky světelného spektra a podle toho se chová. To, co je atraktivní pro jednu skupinu hmyzu, zase nemusí být atraktivní pro jinou skupinu a naopak. Každý z nich je jinak citlivý na různé barvy viditelného záření. Naprostá většina hmyzu vnímá světlo pozitivní nebo negativní fototaxí, čili je některý světlem přitahována a jiným zase odpuzována. Během těchto světelných vlivů může docházet k jinému vývoji během larválního stádia, může to mít dopad na změnu chování v hledání potravy, při namlouvání nebo rozmnožování. Některý hmyz je v noci přitahován ke světlu, které je pro něj atraktivní, ale tato atraktivita pro něj může končit smrtí.

Hmyz je orientován podle přirozeného světla (Slunce, Měsíc) a pokud mu toto světlo naruší umělé světlo, může mu tím změnit dráhu letu. Neustálým létáním kolem světelného zdroje se unaví nebo dojde k usmrcení o světelný zdroj. Práce se zabývá druhy elektromagnetického záření, fyziologií oka hmyzu a následně se v největším měřítku věnuje konkrétním skupinám hmyzu, jak reagují na určité vlnové délky. Tedy která část světelného spektra je pro ně nejvíce atraktivní.

Největší atraktivitu nalézá hmyz v oblasti ultrafialového záření, v modré, azurové a zelené části spektra. Nejméně je pak citlivý v dlouhých vlnových délkách, v oblasti žluté, oranžové a červené barvy a v místech infračerveného záření. Hmyz čelí různým hrozbám, jedním z nich je i umělé světlo třeba v podobě nočního osvětlení, kterým je přirozeně přitahován. Proto je potřebné, aby byly prozkoumány skupiny, u kterých není dosud známá citlivost na světlo a najít další vhodná řešení, která zbrzdí úbytek hmyzu a navrátí hmyzí populaci jejich původní podmínky k životu. Jedním z těchto řešení je používání světelných zdrojů co nejméně atraktivních pro většinu skupin hmyzu a pokud možno pouze po nejnnutnější dobu.

Klíčová slova: světlo, světelné spektrum, světelné znečištění, fyziologie, hmyz, záření, UV záření

ABSTRACT

In the 21st century all technology is constantly and quickly moving forward. Despite the fact, that we live in modern times, we would be more and more focused on the nature and environment around us. Insects are an important part of nature and also part of our lives. But in recent years there has been a massive decline and extinction of them. And light is a common part not only of our life, but also part of insects life. Insects have very sensitive color vision and can perceive different wavelengths of the light spectrum and behave accordingly of that. What is attractive to one group may not be attractive to another group of insects and vice versa. Each of them is differently sensitive to different colors of visible radiation. The majority of insects perceive light by positive or negative phototaxis, i.e. they are attracted to some light sources and repelled by others. During these light effects, different development may occur during the larval stage, this may also have an impact on changing behavior in foraging, courtship or reproduction. Some insects are attracted to the light at night, which is attractive to them, but this attractiveness could end their lives.

Insects orientate themselves using the natural light sources (Sun, Moon). If those lights are disturbed by artificial lights, it could change their flight or moving paths. Long flying around the light source is exhausting and dangerous. Then they can die by complete exhaustion or by impact to the light source. This thesis deals with the types of electromagnetic radiation, the physiology of the insect eye, and subsequently devotes to specific groups of insects. How they react to certain wavelengths, and thus which part of the light spectrum is the most attractive to them.

Insects find the greatest attractiveness in ultraviolet radiation of light spectrum, in blue, cyan and green colors. In other hand the insects are less sensitive in long wavelengths, i.e. yellow, orange and red colors and areas of infrared radiation. Insects face various threats, one of them is artificial light, for example in the form of street or night lighting, which naturally attract them. Therefore, it is necessary to investigate groups of insects whose sensitivity to light is not known yet and to find another suitable solutions that will slow down the decline of insects and return their population to original conditions for life. One of these solutions is to use the light sources that are unattractive as possible to most insect groups, and preferably only for as long as necessary.

Keywords: light, lighting spectrum, light pollution, physiology, insect, radiation, UV radiation

OBSAH

1	Úvod	1
2	Cíle práce	3
3	Světlo a sluneční záření.....	4
4	Druhy záření v elektromagnetickém spektru	6
4.1	Rádiové záření	6
4.2	Mikrovlny	6
4.3	Záření infračervené	6
4.4	Záření viditelné	7
4.4.1	Červená barva – 625–750 nm.....	8
4.4.2	Oranžová barva – 590-625 nm	8
4.4.3	Žlutá barva – 565-590 nm	9
4.4.4	Zelená barva – 520-565 nm a azurová barva – 500-520 nm.....	9
4.4.5	Modrá barva – 430-500 nm.....	9
4.4.6	Fialová barva – 380-430 nm	10
4.5	Ultrafialové záření - <380 nm.....	10
4.6	Rentgenové záření	12
4.7	Gama záření.....	12
5	Fyziologie zrakového orgánu a vnímání světla u hmyzu	13
5.1	Charakteristika oka	13
5.2	Jak hmyz vidí v noci?.....	16
6	Atraktivita světla pro hmyz.....	18
7	Diskuze.....	27
8	Závěr.....	32
9	Seznam použitých zdrojů	34
10	Seznam obrázků.....	42

1 Úvod

Dnešní doba se hrdě označuje jako doba člověka. Měla by však být označena i jako éra hmyzu. Kdo jednou podlehl kouzlu hmyzu a nahlédl do jeho pozoruhodného života, zůstává mu většinou doživotně věrný. Krátkost lidského života dává však jen málo možností proniknout tou nekonečnou mnohotvárností a rozmanitostí jejich života. Hmyz je bezesporu skupinou živočichů, která se nám stále ukazuje v novém světle. Určitě si zaslouží naši pozornost (Zahradník, 2007).

Hmyz je jednou z tříd kmene členovců (Zahradník, 2007) a objevil se již před více než 400 miliony let. Představuje nejbohatší a nejrozmanitější taxonomickou skupinou (Jactel et al., 2021). Zdaleka druhově nejbohatším řádem hmyzu s přibližně 2000 popsány taxony, jsou brouci, jejichž počet se bude v budoucnu jistě zvyšovat vzhledem k množství nepopsaných druhů, např. i v tak extrémních podmínkách, jako jsou australské jeskyně (Halse et Pearson, 2014). Hmyz je nezbytný pro život na zemi (Mound, 1993). Taktéž si zaslouží zvláštní pozornost, protože je naším největším konkurentem v boji o zdroje a přenašečem nemocí lidí a hospodářských zvířat, ale je také hlavním regulátorem ekosystémových procesů, které udržují poskytování služeb (Schowalter, 2013; Schowalter, 2016). Je významným zdrojem potravy pro tisíce druhů obratlovců (Samways, 2007). Přesto význam hmyzu pro člověka zatím mnozí z nás stále dostatečně neoceňují. Především jsou to opylovatelé, včely, mouchy a motýli, kteří jsou nepostradatelní, nenahraditelní a nezastupitelní. Zajišťují z velké části opylení hmyzosnubných rostlin a tím nám obstarávají úrodu (Zahradník, 1987; Mound, 1993). Bez jejich neúnavné činnosti by ovocné stromy nerodily a mnohé rostliny by nepřinášely semena (Zahradník, 1987). Blanokřídlý hmyz ničí housenky a slunéčka se živí mšicemi, které škodí kulturním rostlinám. Někteří brouci a mouchy odstraňují výkaly živočichů, mrtvé rostliny a živočichy, které přeměňují v živiny pro vývoj nové generace rostlin. Mnoho živočichů je potravně vázáno na hmyz a v některých oblastech světa se i lidé tradičně živí tučnými a šťavnatými housenkami nebo larvami. Hedvábí nám zajišťují housenky motýlů a barviva do pokrmů získáváme z rozdrcených těl jistých druhů stejnokřídých. Med, včelí vosk nebo jed, to všechno obstarávají včely (Mound, 1993), ale člověk si všimne hmyzu většinou až ve chvíli, kdy jsou pro něj tyto produkty atraktivní anebo pokud mu nějaký hmyz začne působit obtíže, či ho nějak ohrožuje (Zahradník, 1987). Mnoho druhů blanokřídých reguluje v přírodě rozličné škůdce. Zcela mimořádný význam mají drobné chalcidky, jejichž larvy se vyvíjejí jako ektoparaziti nebo endoparaziti hmyzu. Jsou velmi početné, a přestože žijí v naší bezprostřední blízkosti v zahradách, lesích i na polích, málokdy

je spatříme. Padne jim však za oběť nepředstavitelné množství škůdců (Zahradník, 1987).

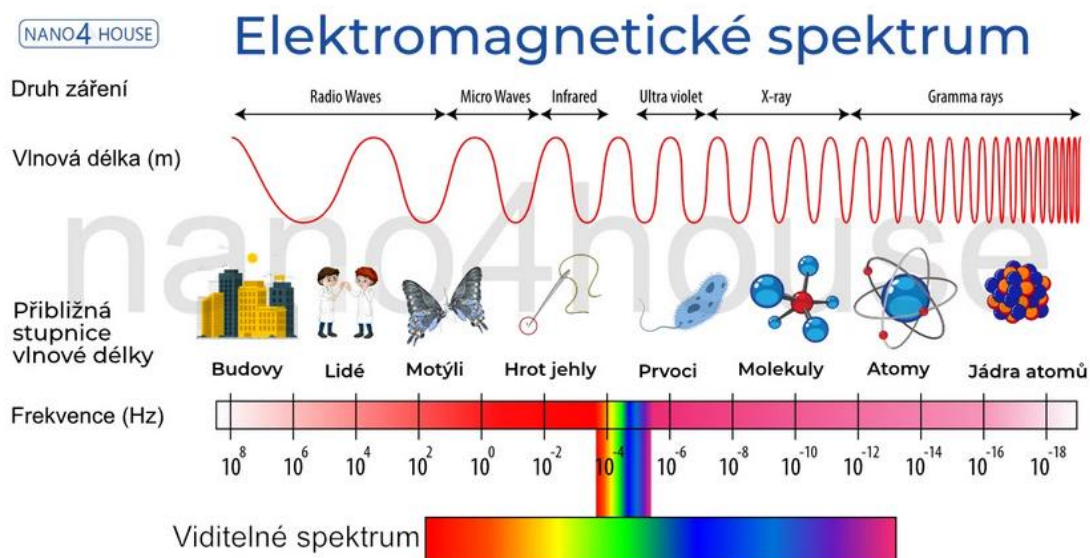
V posledních desetiletích hmyz však výrazně ubývá. Za tímto úbytkem je hned několik faktorů, jako je ztráta stanovišť, nadměrné používání pesticidů, introdukované druhy a změna klimatu (Sánchez-Bayo et Wyckhuys, 2019). Ačkoli je obtížné je kvantifikovat, úbytek diverzity a abundance hmyzu je potvrzen u mnoha ekosystémů. To má za následek ztrátu ekosystémových služeb, jako je opylování rostlin, včetně potravinářských plodin, recyklace organických látek, dodávky zboží, jako je například med, a stabilita potravních řetězců. Proto je naléhavě nutné zastavit nebo alespoň zpomalit úbytek hmyzu (Jactel et al., 2021). Jedním z důvodů úbytku hmyzu může být i světelné znečištění (ALAN). Hmyz reaguje na různé vlnové délky světelného spektra. Některé barvy světla mu mohou způsobovat značné obtíže. Práce se tedy zabývá touto problematikou, atraktivitou vlnového spektra světelného záření pro hmyz.

2 Cíle práce

Cílem bakalářské práce je formou literární rešerše, dle dostupných zdrojů, zrekapitulovat základní poznatky o tom, jak hmyz reaguje na jednotlivé spektrální části slunečního záření (formou pozitivní nebo negativní fototaxe), a jak konkrétní spektra a intenzita záření ovlivňuje jeho chování (např. reprodukci, vyhledávání potravy), orientaci v prostoru, vývojový cyklus a další aspekty jejich života. Hmyz je důležitý nejen pro ostatní společenstva vyšších trofických úrovní, ale taktéž i pro člověka. Bohužel společenstva hmyzu neustále ubývají i vlivem přílišného světelného znečištění, a proto cílem práce bude také důkladná diskuse, která poskytne přehled o hmyzích populacích, které jsou tímto stresem ovlivněny.

3 Světlo a sluneční záření

V polovině 19. století popsal světlo James Clerk Maxwell jako elektromagnetické vlnění, ale fyzici 20. století ukázali, že má také vlastnosti částic. Jeho nosnou částicí světla je foton. Světlo je základem zrakového vjemu a vnímání barev u živočichů (Andor, 2023). Světlo může mít mnoho různých podob, které jsou určeny jeho vlnovou délkou. Jedná se o vzdálenost mezi vrcholem jedné vlny a vrcholem jiné vlny (Brookshire, 2021). Základními vlastnostmi světla jsou intenzita, směr šíření, spektrum frekvencí nebo vlnových délek a polarizace. Jeho rychlost ve vakuu, 299792458 m/s, je jednou ze základních konstant přírody. Stejně jako všechny druhy elektromagnetického záření se i viditelné světlo šíří pomocí bezhmotných elementárních částic zvaných fotony, které představují kvanta elektromagnetického pole a lze je analyzovat jako vlny a částice (Uzan et Leclercq, 2008). To, čemu běžně říkáme světlo, je viditelná část elektromagnetického záření ze slunce a zahrnuje široké spektrum od gama záření přes rentgenové a ultrafialové záření, viditelné světlo, dále infračervené záření, mikrovlny a rádiové vlny (obr. 1) (Wolken, 1995). Viditelné světlo pokrývá část spektra od červeného po fialový konec, s vlnovými délkami od 700 do 400 nanometrů a frekvencemi od $4,3 \times 10^{14}$ do $7,5 \times 10^{14}$ Hz (Uzan et Leclercq, 2008). Záření nižší, než 380 nm se označuje jako ultrafialové (UV) a záření delší než 750 nm se označuje jako infračervené (IR), přičemž ani jedno z těchto záření není lidské oko schopno detekovat (Andor, 2023).



Obr. 1: Spektrum elektromagnetického záření (Nano4house, 2011)

Jednou z hlavních podmínek života na Zemi je energie, zejména energie sluneční. Na slunečním záření stojí téměř celý nám známý ekosystém (kromě sirných a metanových bakterií nebo dalších chemoautotrofních organismů). Sluneční záření dopadá na zemský povrch v různých vlnových délkách a podle nich se dělí na tři základní skupiny - ultrafialové (pod 380 nm), viditelné (380-750 nm) a infračervené (nad 750 nm) (Pecháček et al., 2012). Některé druhy motýlů a blanokřídlých pokrývají zřetelná pásma, která patří k nejširším ze všech živočichů, od <300 nm (tj. v UV oblasti) až po >700 nm (tj. v infračervené oblasti) (Briscoe et Chittka, 2001).

4 Druhy záření v elektromagnetickém spektru

4.1 Rádiové záření

Hranice mezi mikrovlnami a rádiovými vlnami není přesně stanovená a v různých schématech je různá. Rádiové vlny jsou v tomto smyslu všechny elektromagnetické vlny s vlnovou délkou delší než 15 cm, tedy i metrové, dekametrové nebo kilometrové vlny. Zvířetem, které by odpovídalo svou velikostí vlnové délce rádiových vln, je například slon. Podstatná část rádiových vln prochází zemskou atmosférou. V běžném životě se s rádiovými vlnami setkáme například u rozhlasového vysílání nebo GPS navigace. V astronomii v rádiovém oboru září výtrysky z černých děr a jiných kosmických objektů, molekulární a prachová mračna i mnoho dalších zdrojů. Nejdelší vlnovou délku má rádiové záření (Kulhánek et al., 2018). Rádiové záření není pro hmyz ovšem nijak atraktivní.

4.2 Mikrovlny

Za mikrovlny považujeme část spektra s vlnovou délkou od 0,4 mm do 15 cm (frekvencí od 2 GHz do 750 GHz). Hranice mezi infračervenou a mikrovlnnou oblastí, stejně tak jako hranice mezi mikrovlnnou a rádiovou oblastí, není přesně definována a různí autoři používají různé hodnoty. Mikrovlnným vlnovým délkám odpovídá velikost hmyzu jako je mravenec nebo včela. S mikrovlnami se v praxi setkáme při televizním vysílání, u polohovacího systému GPS nebo při ohřevu potravin v mikrovlnné troubě (vlnová délka 12,24 cm). Ve vesmíru září v mikrovlnné oblasti reliktní záření z období konce Velkého třesku (maximum má na vlnové délce 1 mm), plyn a prach v galaxiích, rodící se hvězdy a nejchladnější zákoutí hlubin vesmíru (Kulhánek et al., 2018). Mikrovlny nejsou pro hmyz rovněž nijak atraktivní.

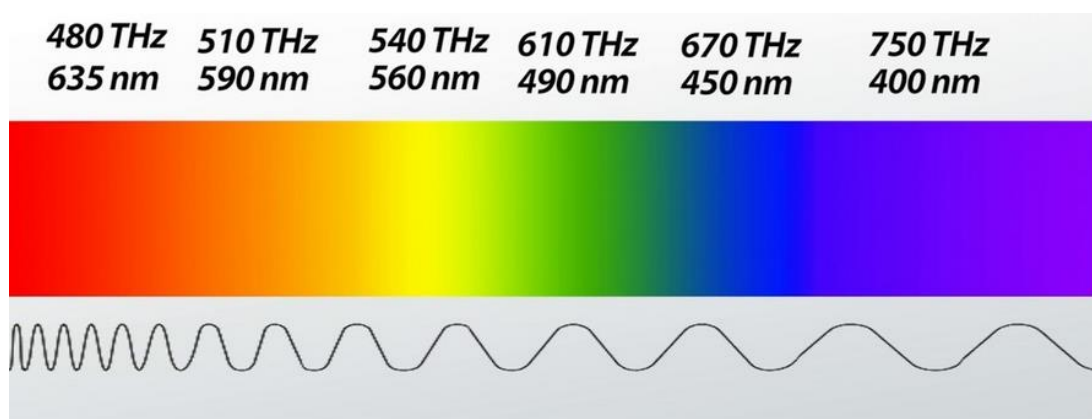
4.3 Záření infračervené

Jeho vlnová délka je více než 750 nm. Infračervené (IR) záření objevil v roce 1800 William Herschel při rozkladu slunečního světla hranolem. Zjistil, že za červenou barvou existuje další záření, které zahřeje teploměr. Infračervené záření má vlnovou délku v rozsahu od 0,75 μm do 400 μm . Typickými útvary s touto velikostí jsou například prvoci. Infračervené záření využíváme v infrazářičích, infralampách, při infraterapii, v dálkových ovladačích, termovizi, v čidlech zabezpečovacích systémů, v dálkových teploměrech a při dálkovém průzkumu Země. Delší vlnové délky těsně za červenou barvou se nazývají infračervené světlo. Infračervené světlo nevidíme,

ale cítíme ho jako teplo (Brookshire, 2021). V astronomii se využívá infračervené záření k výzkumu meziplanetární hmoty, planetárních atmosfér, plynu a prachu v galaxiích, hnědých trpaslíků, červených veleobrů, exoplanet, protoplanetárních disků a mlhovin. Infračervené záření prochází zemskou atmosférou jen částečně, v tzv. oknech (Kulhánek et al., 2018). Toto záření je pro hmyz atraktivní a bude dále rozebráno v kapitole “Atraktivita světla pro hmyz”.

4.4 Záření viditelné

Světlo, které vidíme, se nazývá viditelné světlo. Delší vlnové délky se jeví jako červené. Kratší vlnové délky vypadají fialově. Vlnové délky mezi nimi vyplňují všechny barvy duhy (obr. 2) (Brookshire, 2021).



Obr. 2: Spektrum viditelného světla (LEDmegrow, 2018)

Viditelné světlo však tvoří jen malou část elektromagnetického spektra a tvoří asi 45% dopadajícího záření, přičemž jeho podíl je vyšší při zatažené obloze (může dosáhnout až 60%). V rostlinné fyziologii se používá též pojem fotosynteticky aktivní záření (Arpansa, 2011). Vlnová délka viditelného záření je 380 nm až 750 nm (obr.3). Typickými útvary s rozměry odpovídajícím vlnovým délkám vizuálního záření jsou jednoduché bakterie, například příčný rozměr *Escherichia coli* nebo průměr koků či diplokoků. Viditelné světlo prochází atmosférou (Kulhánek et al., 2018). Viditelné záření je atraktivní pro spoustu skupin hmyzu a bude rozebráno v kapitole “Atraktivita světla pro hmyz”.

Barva	Vlnová délka	Frekvence
červená	~ 625 až 750 nm	~ 480 až 405 THz
oranžová	~ 590 až 625 nm	~ 510 až 480 THz
žlutá	~ 565 až 590 nm	~ 530 až 510 THz
zelená	~ 520 až 565 nm	~ 580 až 530 THz
azurová	~ 500 až 520 nm	~ 600 až 580 THz
modrá	~ 430 až 500 nm	~ 700 až 600 THz
fialová	~ 380 až 430 nm	~ 790 až 700 THz

Obr. 3: Vlnové délky a jejich frekvence (Wikipedie, 2022)

4.4.1 Červená barva – 625–750 nm

Červené světlo je pro hmyz již téměř neviditelné (The healthy journal, 2023). Dlouho se předpokládalo, že hmyz je slepý k červenému a infračervenému světlu. Existují však důkazy, že některé druhy hmyzu infračervené světlo vidí a jsou jím přitahovány, minimálně do vlnové délky 740 nm. Červené nebo infračervené světlo přiláká mnohem méně hmyzu než například světlo kratších vlnových délek (UV záření až zelená barva) (RHA, 2017).

4.4.2 Oranžová barva – 590-625 nm

Přitažlivost světla může vylákat organismy z jejich přirozeného prostředí a narušit normální potravní chování, páření a rozmnožování. Bioluminiscenční taxony, které komunikují prostřednictvím svítících návnad, varovných nebo namlouvacích signálů, mohou mít své signály zastřené umělým osvětlením, pokud není přidané světlo spektrálně vyladěno tak, aby se jeho dopad snížil. Bylo prokázáno, že širokospektrální bílé světlo inhibuje produkci námluvních inzerátů u samců brouků světlušek, avšak dopad různých vlnových délek umělého světla na oba členy námluvního dialogu je z velké části neznámý. Oranžové světlo není příliš atraktivní pro hmyz (The healthy journal, 2023). Oranžová barva je atraktivní pro vážky (Odonata), některé brouky (Coleoptera) a motýly (Lepidoptera) (Van der Kooi et al., 2021).

4.4.3 Žlutá barva – 565-590 nm

Žlutá barva je vnímána například řádem blanokřídlých (Hymenoptera) a řádem motýlů (Lepidoptera). Pro brouky žluté světlo není příliš přitažlivé (The healthy journal, 2023). Žlutá barva dráždí ty buňky složených hmyzích očí, které jsou citlivé na žlutou a zelenou barvu. To vyvolává reakce podněcující snášení vajec, sběr potravy a omezení letové aktivity. Žlutá barva je tedy pro hmyz signálem k usednutí (Mikkola, 1973).

4.4.4 Zelená barva – 520-565 nm a azurová barva – 500-520 nm

Zelená a azurová barva je nejvíce atraktivní barvou pro skupiny blanokřídlí (Hymenoptera), brouci (Coleoptera), polokřídlí (Hemiptera) nebo síťokřídlí (Neuroptera) (Van der Kooi, 2021). Zelená a azurová barva je jednou z nejvíce zajímavých barev pro hmyz. Je to z toho důvodu, že většina druhů hmyzu má v očích fotoreceptory pro zelenou barvu (Wolken, 1995).

4.4.5 Modrá barva – 430-500 nm

Oblast modré a azurové barvy je nejvíce atraktivní pro dvoukřídlé (Diptera) nebo vážky (Odonata). Ve studii Hori et al., (2014) byla posuzována vlnová délka 404-467 nm, kterou byly ozařovány kukly potměníka skladištního (*Tribolium confusum*). Ozáření touto vlnovou délkou způsobilo vyšší mortalitu kukel. Dále byly ozáření vlnovou délkou 532 nm, tedy v oblasti zeleného světla, ale tady výraznější smrtící účinek nenastal. Autoři tedy došli k závěru, že ozařování modrým světlem může usmrcovat hmyz různých řádů. Shibuya et al. (2018) zkoumali vliv modrého světla na vajíčka octomilky obecné (*Drosophila melanogaster*). Smrtící účinek se zvyšoval již při kratších vlnových délkách, kolem 405 nm (fialové světlo). Vlnové délky od 405-466 nm (přechod z fialového do modré oblasti světla) mělo podobné smrtící účinky jako u předchozí vlnové délky. Nejsilnější vliv na mortalitu kukel byl při vlnové délce 466 nm. S růstem kukel mortalita klesala. Autoři předpokládají, že tím, jak se mění morfologie octomilky obecné, mění se s tím i vlnová délka, která jim škodí. Modré světlo by tak mohlo být využíváno při hubení nebo jako ochrana proti škůdcům, avšak za úpravy vlnové délky, aby bylo zacíleno na všechna vývojová stádia.

4.4.6 Fialová barva – 380-430 nm

Fialová je pro hmyz zajímavou barvou, nachází se v těsné blízkosti UV záření, které je pro hmyz velice lákavé a také v blízkosti modré barvy, která je citlivou barvou pro hmyz (Hori et al., 2014).

4.5 Ultrafialové záření - <380 nm

Ultrafialové (UV) záření má vlnovou délku pod 380 nm, což je kratší vlnová délka, než má světlo fialové barvy. Jeho nejkratší vlnové délky zasahují do oblastí rentgenového záření (Reichl et Všetická, 2006-2023). Hmyzí oko ale není schopno vnímat vlnové délky kratší než 300-350 nm (Jánský, 1981). Typickými útvary s rozměry odpovídajícím vlnovým délkám ultrafialového záření jsou viry. Většina lidí ultrafialové světlo nevidí, ale živočichové, jako jsou žáby a mloci, ano (Brookshire, 2021). Ultrafialové záření ničí choroboplodné mikroorganismy, proto se používá jako prevence před plísněmi a jinými chorobami a pro sterilizaci a dezinfekci (Reichl et Všetická, 2006-2023; Zhou et al., 2013). Zdrojem UV záření jsou tělesa zahřátá na vysokou teplotu (Slunce, elektrický oblouk, ...) nebo speciální výbojky naplněné párami rtuti (horské sluníčko). Také atmosféra ultrafialové záření velmi silně pohlcuje. Ve vysokých vrstvách atmosféry UV záření způsobuje ionizaci vzdušného kyslíku, což je příčinou vzniku ozónu. Některé sloučeniny fluoru (tzv. freony), které se dostávají do ovzduší při některých výrobních procesech nebo při používání sprejů, se s ozónem v atmosféře slučují. Tím se atmosféra ve velkých výškách trvale zbavuje ozónu a její schopnost pohlcovat UV záření se snižuje. V atmosféře vznikají ozónové díry, jimiž v některých místech proniká UV záření ve větší míře až k povrchu Země a ohrožuje zdraví lidí (Reichl et Všetická, 2006-2023).

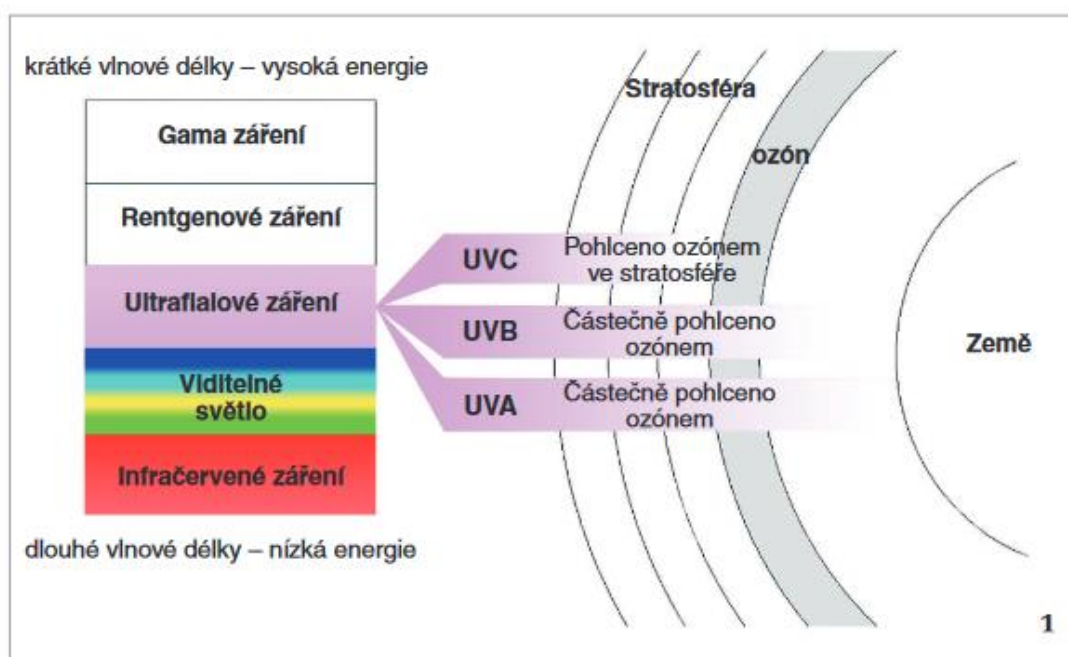
Ultrafialové záření je velice atraktivní pro některé skupiny bezobratlých, jakou jsou například motýli, brouci anebo pavouci. Světlo využívají ve vzájemné komunikaci (Pecháček, 2012). Míra predace motýlů vosami se v blízkosti ultrafialového světla zvýší (Warren, 1990). Obecně platí, že hmyz nejvíce přitahuje UV světlo. Pokud přejdeme na zdroj světla bez UV záření, množství přilákaného hmyzu se sníží téměř na nulu. Tato citlivost na ultrafialové světlo je způsobena tím, že přirozené zdroje světla (Slunce, Měsíc) obsahují více UV záření než předměty, které světlo odrážejí. Tímto způsobem může pomáhat hmyzu např. rozlišovat otevřené prostory od úkrytů (RHA, 2017).

Dále můžeme UV záření dělit na (obr.4):

UVA – vlnová délka UVA záření je 320-380 nm. UVA záření podporuje v rostlinách akumulaci fenolů a zvyšuje antioxidační aktivitu vnitřních koncentrátů. Má vliv na metabolické procesy v rostlinách a barvy, vůně nebo chutě plodů. Ultrafialové (UVA) záření, vede u hmyzu k negativním účinkům, jako je oxidační stres, poškození fotoreceptorů a odumírání buněk (Zhou et al., 2013).

UVB – vlnová délka tohoto záření je 290-320 nm. Mazza et al. (1999) například zjistili, že UVB záření není atraktivní pro třásněnky, ale je pro ně naopak přitažlivé UVA záření. UVB záření u člověka zvyšuje rakovinu kůže, poškození očí, ale i další zdravotní problémy. Toto záření je škodlivé i pro vegetaci, ovlivňuje chemické a biologické procesy (Madronich et al., 1998). UVB je taktéž škodlivé až zhoubné pro živočichy (Zhou et al., 2013).

UVC záření, pokud se v terestriálním záření vyskytuje, proniká jen do povrchové vrstvy, kde je pohlcováno buňkami, v jejichž jádrech je schopno vyvolat mutace chromozomů s následnými změnami v buněčné struktuře a chování buněk, zejména jejich rychlý růst, což může vést, mimo jiné, k tvorbě nádorů (Jirásková et Jirásek, 2002). Taktéž jako UVB záření je i toto záření škodlivé až zhoubné pro faunu i flóru (Zhou et al., 2013).



Obr. 4: Sluneční záření dopadající na zemský povrch v různých vlnových délkách (Pecháček et al., 2012)

4.6 Rentgenové záření

Ještě kratší, než ultrafialové světlo je rentgenové záření, které se v praxi používá např. k zobrazování vnitřku těla. A ještě kratší je gama záření (Brookshire, 2021). Rentgenové záření objevil v roce 1895 německý fyzik W. C. Röntgen (1845-1923) při studiu výbojů v plynech. Zjistil, že při dopadu katodového záření (proud elektronů urychlených elektrickým polem) na kovovou anodu vzniká záření, které proniká i neprůhlednými předměty (Reichl et Všeticka, 2006-2023). Fotony rentgenového záření mají energii v rozmezí 100 eV až 100 000 eV. Typickými útvary s rozměry odpovídajícím vlnovým délkám rentgenového záření jsou atomární obaly. V praxi je známé použití rentgenového záření zejména v lékařském rentgenu (AGA, 2000). Rentgenové záření není hmyz schopen vnímat.

4.7 Gama záření

Gama záření je druh ionizujícího záření. Má ještě kratší vlnovou délku než rentgenové záření. Jeho zdrojem jsou tělesa, v jejichž atomových jádrech probíhají radioaktivní přeměny (Reichl et Všeticka, 2006-2023). Typickými útvary s rozměry odpovídajícími gama záření jsou atomární jádra a jeho části. Vzniká při radioaktivních nebo jiných jaderných dějích, při magnetickém přepojení siločar v atmosférách hvězd, při explozích supernov, v jádrech aktivních galaxií a při splynutí kompaktních objektů (bílých trpaslíků, neutronových hvězd a černých děr). Umělé zdroje záření gama vznikají při štěpení v jaderných reaktorech, fyzikálních experimentech s vysokými energiemi, jaderných explozích a haváriích. energii fotonů měříme v elektronvoltech (eV). Fotony gama jsou nejenergetičtějšími fotony v elektromagnetickém spektru a obvykle mají energii větší než 100 keV (Kulhánek et al., 2018). Jelikož je energie gama záření opravdu vysoká, umožňuje, aby procházela mnoha druhy materiálů, a to včetně lidských tkání. Ke stínění, zpomalení nebo zastavení gama záření se běžně používají vysoce husté materiály jako olovo. Hlavní rozdíl mezi zářením gama a rentgenovým zářením spočívá ve způsobu jeho vzniku. Paprsky gama vznikají při usazování excitovaného jádra radionuklidu poté, co projde radioaktivním rozpadem (Reichl et Všeticka, 2006-2023). Hmyz není schopen vnímat gama záření.

5 Fyziologie zrakového orgánu a vnímání světla u hmyzu

5.1 Charakteristika oka

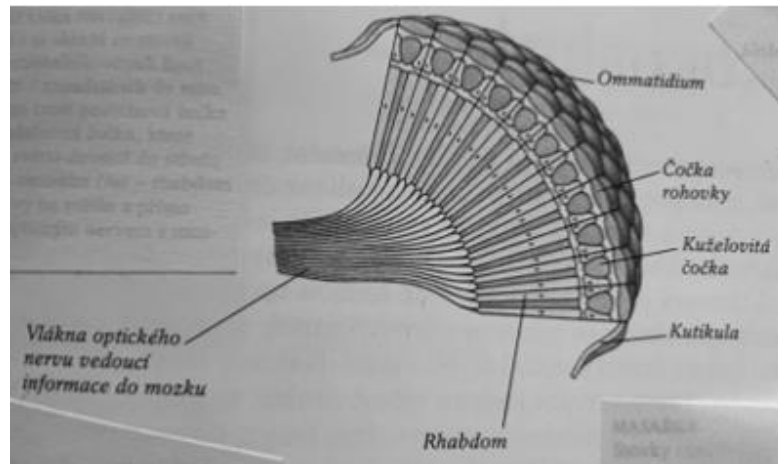
U hmyzu existují tři typy zrakových orgánů. Jsou to ocelli, stemmata a složené (facetové) oči. Mají stejnou strukturu, čočka slouží k zaostření světla, světločivné buňky a axony z fotoreceptních buněk vystupují do optického laloku mozku. Taktéž všechny tři typy očí mají fotoreceptivní buňky, retinuly – dlouhé štíhlé buňky, v oblasti rhabdomeru s mnoha membránovými vrstvami, kde se nachází zrakový pigment. Barevné vidění, rozlišování tvarů a detekce jsou u některých druhů velmi dobře vyvinuty a u některých vůbec. To hraje důležitou roli v jejich chování. Všechny složené oči a ocelli mají plášť na rohovce. Plášť propouští a láme světlo (Nation, 2016). Světlocitlivé receptory hmyzu reagují na vlnovou délku zhruba od 350 nm do 700 nm. Většina druhů hmyzu má v očích receptory pro UV záření a jen některý hmyz dokáže detekovat delší vlnové délky oranžového a červeného světla (Wolken, 1995). Většina druhů dospělců hmyzu má složené oči, a proto vidí obraz rozložený a celkem hrubě uspořádaný (Bellmann, 2006). Kromě toho mají často na čele dvě nebo tři dorzální ocelli, které řídí denní aktivitu (Bellmann, 2006). U většiny brouků jsou vyvinuty oči složené, u jiných skupin jsou vyvinuta jen očka (samci většiny červců). Některý hmyz má mimořádně velké, často i barevné oči (vážky, někteří dvoukřídlí, brouci). U jiných jsou oči velice malé. Velikost očí však nemusí odpovídat úrovni vidění. Někteří velmi malí brouci jsou opatřeni velikýma očima a naopak (Zahradník, 2007).

Ocelli mají stejné vlastnosti jako složené oči, včetně čočky, buněk, sítnice a očního nervu. Můžeme je nalézt u nedospělých druhů hemimetabolního hmyzu a případně i na dospělých jedincích některých druhů. Obraz u ocelli není zaostřen na fotoreceptorové buňky. Ocelli fungují při zjišťování kvality a změny intenzity světla (přítomnost či nepřítomnost) (Nation, 2016).

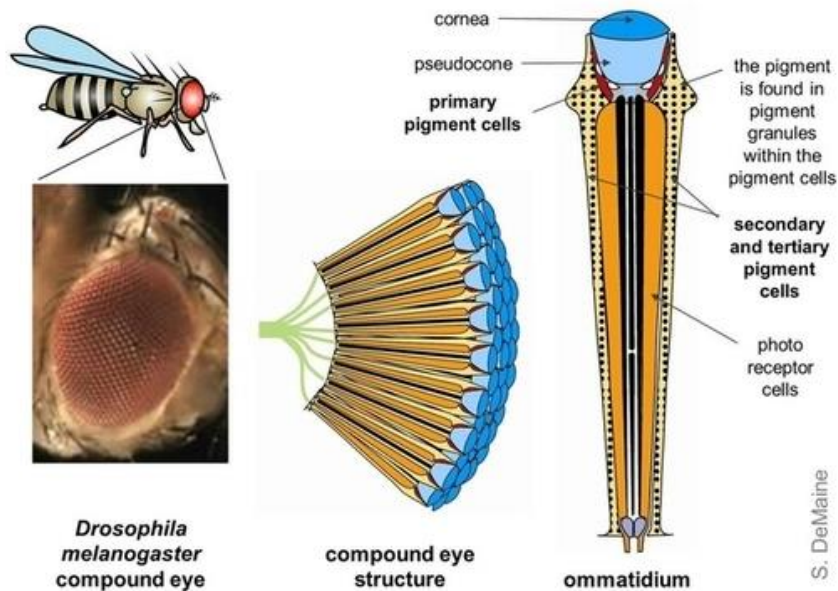
Stemmata jsou zrakové světločivné receptory larev holometabolního hmyzu a liší se počtem a umístěním na hlavě. Jsou velice různorodé - jednoduché pigmentové skrvny, kterých může být i šest a více. Obsahují nervové buňky. Vnitřní krystalinní čočka je sekretovaná třemi specializovanými buňkami a kryje ji vnější kutikulární čočka. Světelný paprsek je jimi regulován a dopadá na rhabdom – centrální fotosenzitivní struktura tvořená retinulovými buňkami. Rhabdom obsahuje mikrovilli, ty obsahují vizuální pigment. Ze všech stemmat se vytvoří obraz, ale jelikož každé

stematum přenáší jinou část obrazu, tak je jejich obraz mozaikový. Celkový obraz je jednoduchý, protože čočky neumí koncentrovat světlo na zrakové buňky (Jánský, 1981). Stemmata jsou typická pro larvy motýlů, které jich mají na každé straně šest. Mohou zaostřit obraz na fotoreceptory, ale jelikož jsou stemmata velmi malá, tak je obraz pravděpodobně rozmazaný a špatně rozlišený (Nation, 2016).

Složené (facetové) oči (obr. 5) mají nymfy hemimetabolního hmyzu (nedospělé kobylky, švábi) a všichni hmyzí dospělci (Mound, 1993; Nation, 2016). Jedná se o nejdokonalejší typ oka. Složené oči se skládají z menšího nebo většího počtu jednotlivých dílků. Mohou jich být desítky, ale i tisíce. Obvykle jsou to šestiúhelníkové facety, ommatidia, zapadající do sebe. Faceta je tvořena průhlednou hmotou a slouží hmyzu jako rohovka, chrání vnitřní část oka a podílí se na koncentraci světla na smyslové buňky. Pod facetou jsou čtyři křišťálové buňky. Ty tvoří ve středu ommatidia křišťálový kužel, který je obalen pigmentovými buňkami a slouží jako čočka (obr. 6). Pigmentové buňky propouští světlo o vhodné intenzitě a pod správným úhlem, tudíž fungují jako clona (Jánský, 1981). Centrální část ommatidia se nazývá rhabdom. Je to orgán citlivý na světlo a je přímo propojený s mozkem (Mound, 1993; Nation, 2016). Rhabdom, společně se zrakovými buňkami, se označuje jako sítnička (retinula). Z báze buněk sítničky vybíhají dostředivá nervová vlákna napojená na zrakový nerv (Jánský, 1981). Každé ommatidium je samostatná jednotka, která vnímá určitou část celku. Součtem těchto dílků vzniká mozaikový obraz. Ommatidia mohou být v celém oku buď stejná nebo se mohou lišit. Vedle druhů s malým počtem ommatidií jsou druhy, například vážky nebo hrobařci, které se vyznačují velice vysokým počtem ommatidií. Složené oči zprostředkovávají ostré a barevné vidění. Dále reagují na pohyb předmětů v mnoha malých facetách. Pro některé druhy je to nejdůležitější funkce. Například rod *Lepisma*, rybenka, má jen 12 ommatidií, zatímco vážky až 10 000 (Mound, 1993; Nation, 2016). Složené oči mohou být okrouhlé, oválné nebo ledvinovité. Jsou někdy ploché nebo vyklenuté (Zahradník, 2007).



Obr. 5: Vnitřní stavba hmyzího oka (Mound, 1993)



Obr. 6: Schéma složeného oka (Arizona, 2020)

Někteří živočichové mají pouze dermální vidění prostřednictvím fotoreceptorů rozptýlených v kutikule. Jedná se o detekci přes povrch jejich těla bez přítomnosti specializovaných orgánů (Nation, 2016).

Barevné vidění se vyskytuje u denního i u nočního hmyzu (Kelber et al., 2002). Hmyz používá informace o barvě v různých behaviorálních kontextech. Barva se používá k vyhodnocování okolního světla, např. pro fototaxi nebo navigaci, nebo k detekci a rozpoznávání objektů. První způsob použití nevyžaduje vysoké prostorové rozlišení a často k němu dobře slouží dichromatický systém, který je

přítomen v mnoha hmyzích očích. Druhé použití je složitější, zahrnuje jak spontánní volby, tak naučené chování, a to pravděpodobně vedlo k vysoké variabilitě systémů barevného vidění u skupin, jako jsou např. motýli (Kelber et Osorio, 2010). Hmyz má většinou dva typy pigmentů, díky kterým vnímá barvy. První z nich je citlivý na UV záření a modré světlo, druhý reaguje na zelené a žluté světlo. Pomocí těchto dvou světločivných pigmentů vnímá většina druhů hmyzu zbarvení zpravidla v modré a zelené oblasti. U včel můžeme nalézt trichromatické vidění, mají tři typy světločivných pigmentů. To znamená, že jsou citliví na modrou, zelenou a UV záření, ale nevidí červenou barvu, tu vidí v odstínech šedé nebo ultrafialové (obr. 7) (Straka, 2003).



Obr. 7: Květy pampelišky. Vlevo je tak, jak ji vidí člověk, vpravo jak její barvy vidí včela (kvmuzy)

5.2 Jak hmyz vidí v noci?

Existuje mnoho druhů hmyzu, které jsou aktivní v noci, např. komáři, můry, cvrčci, stonožky, štěnice nebo švábi. Rádi loví potravu, hledají vodu a hledají potenciální partnery při chladnějších nočních teplotách. Pro některé je bezpečnější počkat na tmu, než se vydají za potravou. V tuto dobu většina ptáků a dalších predátorů (jako je člověk) není venku a je zde méně konkurentů o stejnou potravu (Terro, 2022).

Ukázalo se, že noční hmyz vidí v tlumeném světle úžasně dobře. Oči hmyzu můžeme dále dělit, podle schopnosti vidět za různých světelných podmínek, na fotopická a skotopická.

Fotopické oči se vyskytují u denního hmyzu, který je aktivní během dne. Rhabdom jde od čípku k bazální membráně na proximální hranici oka. Pigment je rozptýlený rovnoměrně ve stínících buňkách a jeho pohyb je velmi malý, případně žádný. Do světlocitlivého pigmentu dopadá světlo shora po průchodu rohovkou a čípkem omatidia, tedy aproxiálně. Obraz je zaostřen na rhabdom nebo rhabdomery buněk sítnice těsně pod úrovní čípku (Nordström a Warrant, 2000).

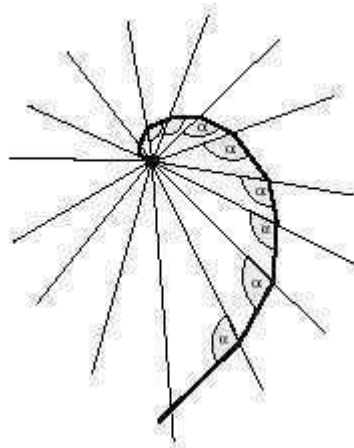
Skotopické oči se vyskytují u nočního a krepuskulárního hmyzu. U skotopických očí je rhabdom kratší než u fotopických očí. Většinou sahá zhruba do třetiny vzdálenosti od bazální membrány k čípku. Zbývající vzdálenost k čípku jsou tenká vlákna buněk sítnice. Ty tvoří krystalický trakt nebo mezi nimi (buňkami a čípkem) může být mezera (Nordström a Warrant, 2000).

Hlavní rozdíl mezi fotopickým a skotopickým okem je v tom, že pigment v buňkách reaguje na intenzitu světla. Při nízké intenzitě světla se pigmenty smršťují do distální části buněk (v blízkosti čípku), a tím umožňují průchod světla ze sousedních ommatidií a dopad na rhabdom pod nimi. Při vystavení jasnému světlu nebo v reakci na vyšší teplotu prostředí se pigmenty rozptýlí po celých stínících buňkách (Nordström a Warrant, 2000). Takovému typu oka říkáme superpoziční oko, protože překrývá obrazy (i když pravděpodobně ne dokonale zaostřené) ze zorného pole několika facet na jedno místo (Kral, 2013).

V posledních letech se zjistilo, že noční hmyz se dokáže vyhýbat překážkám a fixovat je během letu, rozlišovat barvy, detekovat slabé pohyby, naučit se vizuální orientační body a využívat je k navádění (Warrant, 2017). Dokáže se dokonce orientovat podle slabého nebeského polarizačního obrazce, který vytváří Měsíc, a podle souhvězdí hvězd na obloze (Warrant, 2017). Například noční středoamerická včela *Megalopta genalis*, i při nejnižší hladině světla se dokáže velmi dobře orientovat v prostoru, v noci v hustém a spletitém deštném pralese se dokáže bezpečně vrátit do svého hnízda – nenápadného vydlabaného klacku zavěšeného v lesním podrostu (Warrant, 2017).

6 Atraktivita světla pro hmyz

Mnoho skupin hmyzu je přitahováno ke světélům, zvláště dobře známým příkladem jsou noční motýli (Frank, 1988). Hmyz se díky světlu chová různorodě. Jeho typickým chováním je fototaxe (Shimoda et Honda, 2013) - pohyb, který je řízen zdrojem světla. Některé druhy hmyzu mají pozitivní fototaxi jakožto adaptivní chování a jiné jsou vždy fotonegativní (Summers, 1997). Pokud je hmyz přitahován ke zdroji světla, hovoříme o pozitivní fototaxi, pokud ho světlo odpuzuje, jedná se o negativní fototaxi (Nakamura et Yamashita, 1997). Negativní fototaxe může být ale i užitečná, a to při prevenci škodlivého hmyzu, který napadá úrodu ve skleníkách a sýpkách (Reisenman et al., 1998; Kim et al., 2013). Optimální podmínky, které zahrnují účinné vlnové délky, dobu expozice a intenzitu vůči světelnému zdroji, se u jednotlivých druhů hmyzu liší (Kinoshita et Arikawa, 2003; Yang et al., 2003). Behaviorální reakce druhů hmyzu na světlo zahrnují také adaptaci na světlo, cirkadiánní periodicitu, fotoperiodismus a světelnou toxicitu. Noční hmyz se může adaptovat na světelné zdroje; typickým adaptačním chováním je snížená migrace, usazování v blízkosti světelného zdroje a páření (Shimoda et Honda, 2013). Cirkadiánní periodicitu je denní behaviorální reakce, která zahrnuje námluvy, krmení, let a lokomoce (Shimoda et Kiguchi, 1995). Světlušky patří mezi noční hmyz a jejich jedinečný komunikační systém založený na světle je může činit obzvláště zranitelnými vůči umělému osvětlení (Owens et Lewis, 2018). Další taxony, u kterých se takové přitahování projevuje, jsou síťokřídli, brouci, ploštice, chrostíci, tiplice, pakomáři, pestřenky, vosy a kobylky (Eisenbeis et Hassel, 2000). Nejméně je v noci umělým světlem ovlivněno chování denního hmyzu. Pokud ale dojde k jeho vyrušení, může letět směrem k osvětleným plochám nebo UV lampám, které může pokládat za otevřené plochy. Noční hmyz je samozřejmě kvůli světelnému znečištění ovlivněn světlem daleko více. Hmyz se v noci orientuje podle Mléčné dráhy, podle nebeských těles (Měsíc, Slunce). Udržuje konstantní úhel, tedy letí po přímé dráze, pokud ho ale začne ovlivňovat umělý zdroj světla, jeho dráha letu se změní na spirálovitou dráhu směrem ke zdroji světla (obr. 8). Protože kontrasty UV-zelené nebo UV-modré barvy lze použít k rozlišení nebeských a pozemských objektů (Barghini et Souza de Madeiros, 2012).



Obr. 8: Znárodnění dráhy letu – měnící se úhel. (Žďárek, 2003)

Atraktivita viditelného světla pro jednotlivé skupiny hmyzu:

Světlo má vliv na různá vývojová stádia hmyzu, reprodukční schopnosti a jiné projevy chování. Každá skupina hmyzu vnímá jinou vlnovou délku světelného spektra. Níže jsou uvedené skupiny hmyzu a u každého řádu je popsána citlivost jejich fotoreceptorů na konkrétní vlnové délky.

- **jepice (Ephemeroptera)**

Jepice jsou citlivé na UV záření (Meyer-Rochow, 1982) a na oblast zelené barvy (535 nm) (Horridge, et al., 1982).

- **vážky (Odonata)**

U vážek bylo identifikováno až 30 opsinových zrakových genů (Govardovskii et al., 2000). Bylo zjištěno, že jeden opsin je citlivý na UV záření, 8 opsinů citlivých na modrou barvu a až 21 opsinů citlivých na LW – dlouhá vlnová délka (Sharkey, 2017). Motýlicovití (Calopterygidae) jsou citliví na UV záření (365 nm), modrou (480 nm), zelenou (550 nm) a červenou barvu (640 nm), šídélkovití (Coenagrionidae) na UV záření (360-370 nm), modrou barvu (440-450 nm), zelenou (525 a 540 nm) a oranžovou barvu (600 nm). Pro šídlovité (Aeschnidae) je nejvíce atraktivní UV záření (445-470 nm), fialová až rozhraní modré (410-430 nm) a zelená barva (520 nm), pro lesklicovití (Corduliidae) je to UV záření (330 nm), fialová (410 nm), modrá (460 nm), zelená (525 nm) a červená barva (630 nm), pro vážkovité (Libellulidae) UV

záření (340-380 nm), fialová (410-430 nm), modrá (490 nm), přechod z azurové do zelené barvy (520-540 nm) a červená barva (620 nm) (Van der Kooi et al., 2021).

- **rovnokřídlí (Orthoptera)**

Sarančovití (Acrididae) jsou citliví na oblast UV záření (340-360 nm), od modré barvy po azurovou (430-515 nm), cvrčkovití (Gryllidae) vnímají UV záření (330 nm), modré (445 nm) a azurové svělo (515 nm) (Van der Kooi et al., 2021).

- **švábi (Blattodea)**

Švábovití (Blattidae) jsou citliví na UV záření (350 nm) a azurovou barvu (500-510 nm), rusovití (Ectobiidae) na UV záření (365 nm) a modrou barvu (490 nm) (Van der Kooi et al., 2021).

- **kudlanky (Mantodea)**

Pro kudlankovité (Mantidae) je zajímavé jen jedno spektrum, azurová barva, což odpovídá vlnové délce 510-520 nm (Van der Kooi et al., 2021).

- **pisivky (Psocoptera)**

Hori et Oyama (2023) zkoumali smrtící účinky modrého světla na pisivky a ukázalo se, že vajíčka byla usmrcena fialovým světlem, modrým světlem (408-462 nm) a UV zářením (UVA - 378 nm). Nejsilnější smrtící účinek měla vlnová délka 420 nm, tedy fialové světlo. Dospělci umírali při UV záření, fialovém a modrém světle (378-494 nm) (Hori et Oyama, 2023).

- **třásnokřídlí (Thysanoptera)**

Oči u třásněnek mají obvykle jen asi 60-70 ommatidií v každém oku (Döring et Spaethe, 2009; Dixon et al., 1995). Čeleď třásněnkovitých (Thripidae) je citlivá na UV světlo (360 nm), modré světlo (475 nm) a přechod z azurového do zeleného světla (520-535 nm) (Van der Kooi, 2021).

- **polokřídlí (Hemiptera)**

Čeleď znakoplavkovitých (Notonectidae) projevila citlivost v oblasti UV světla (350 nm), dále v oblasti modré (445 nm) a zelené barvy (560 nm). Čeleď klešťankovití (Corixidae) mají citlivost na UV záření, fialovou barvu (405 nm) a zelenou barvu (520 nm). Štěnicovití (Cimicidae) jsou citliví pouze v oblasti

zelené barvy (520 nm). Mšice mají délku těla 2-5 mm a mají průměrně 165 ommatidií (Döring et Spaethe, 2009; Dixon et al., 1995). Mšicovití (Aphididae) nachází atraktivitu v UV záření (330-340 nm), v modré barvě (490 nm) a od azurové po zelenou barvu (515-525 nm). Čeď křískovitých (Cicadellidae) zaujímají citlivost v UV záření (360 nm), v modré barvě (450 nm) a v zelené barvě (530 nm). Klešťánkovití (Corixidae) jsou citliví na UV záření (350 nm), fialovou (405-410 nm) a zelenou barvu (525 nm), štěnicovití (Cimicidae) pouze na rozhraní azurové a zelené barvy (520 nm), mšicovití (Aphididae) reagují na UV záření (330-340 nm), modrou barvu (490 nm) a rozhraní azurové a zelené barvy (520-525 nm). Křískovití (Cicadellidae) jsou citliví na UV záření (355 nm), modrou barvu (450 nm) a zelenou barvu (525 nm) (Van der Kooi, 2021). Světlo v noci (zejména zelené vlnové délky) potlačuje lokomotorickou a čisticí aktivitu u zeleného listonoša čajového, *Empoasca onukii* Matsuda. Tyto modifikace lokomotorické aktivity mohou souviset se změnami potravního chování (Shi et al., 2017).

- **sít'okřídílí (Neuroptera)**

Zlatoočkovití (Chrysopidae) jsou citliví pouze na zelenou barvu (545 nm). Mravkolev (Myrmeleontidae) je citlivý taktéž jen na zelenou barvu (550 nm). Ploskorohovití (Ascalaphidae) vnímají atraktivitu v oblasti UV záření (330-350 nm) a zelené barvy (530 nm). Pakudlankovití (Mantispidae) jsou citliví jen na zelenou barvu (550 nm) (Van der Kooi et al., 2021).

- **brouci (Coleoptera)**

Brouci jsou poměrně dobře prozkoumanou skupinou. Vírníkovití (Gyrinidae) reagují na rozhraní UV záření a fialové barvy (380 nm) a na přechod z azurové po zelenou barvu (520 nm), stěvlíkovití (Carabidae) na UV záření (350-370 nm), od rozhraní fialové po modrou barvu (430-450 nm), od rozhraní modré a azurové po zelenou barvu (500-530 nm) a na oranžovou barvu (620 nm), potápníkovití (Dytiscidae) nalézají atraktivitu v UV záření (375 nm) a zelené barvě (525 nm). Glaphyridae jsou citliví na UV záření (360 nm), rozhraní azurové a zelené barvy (520 nm) a na červenou barvu (630 nm), vrubounovití (Scarabaeidae) na UV záření po fialovou (360-400 nm), dále na modrou (460 nm) a od rozhraní modré a azurové přes zelenou až po začátek žluté barvy (500-565 nm), potemníkovití (Tenebrionidae) jsou citliví od azurové po zelenou barvu (520-550 nm), mandelinkovití (Chrysomelidae) na UV záření (370 nm), modrou barvu (450 nm) a zelenou barvu (530 nm),

nosatcovití (Curculionidae) na UV záření (365 nm), modrou barvu (450 nm), od azurové po zelenou barvu (510-530 nm), dále na vlnovou délku zelené barvy (540 nm) a žluté barvy (570 nm), slunéčkovití (Coccinellidae) na UV záření (360 nm), fialovou barvu (425 nm) a rozhraní azurové a zelené barvy (520 nm), červotočovití (Anobiidae) na UV záření (360 nm) a zelenou barvu (530 nm), krascovití (Buprestidae) na UV záření (340-350 nm), rozhraní fialové a modré barvy (430 nm), zelenou barvu (540 nm) a oranžovou barvu (600 nm). Páteříčkovití (Cantharidae) nalézají atraktivitu v oblasti světelného spektra v UV záření (360 nm), modré (450 nm) a zelené barvě (530 nm), kovaříkovití (Elateridae) v UV záření po fialovou barvu (350-390 nm) a rozhraní azurové po zelenou barvu (520-560 nm) (Van der Kooi et al., 2021). Páry světlušek rodu *Photinus obscurellus* byly vystaveny pěti barvám sestupného osvětlení o dvou intenzitách. Zaznamenávaly se změny v rychlosti a intenzitě záblesků samců a reakce samic. Všechna umělá světla významně potlačila namlouvací aktivitu. Největší vliv mělo jasné jantarové světlo, což naznačuje, že umělé noční osvětlení, které se nejvíce překrývá se spektrem bioluminiscence světlušek, nejvíce naruší jejich námluvy. (Owens et Lewis, 2021). Samci světlušek *A. ficta* jsou citliví na krátké a střední vlnové délky, tedy se můžeme bavit o modré, zelené, žluté a oranžové barvě (<597 nm), ale ne na dlouhé vlnové délky, které nejspíš nedokážou vnímat (Owens et al., 2018). Světluškovití (Lampyridae) jsou citliví na modrou barvu (450-480 nm) a od rozhraní modré přes azurovou po zelenou barvu (500-560 nm), Rhagophthalmidae nalézají atraktivitu v UV záření (360 nm), modré barvě (440-460 nm) a oranžové barvě (600 nm) (Van der Kooi et al., 2021).

- **řásnokřídílí (Strepsiptera)**

Čeled' Xenidae je citlivá na UV záření (350 nm) a zelené světlo (540 nm) (Van der Kooi et al., 2021).

- **srpice (Mecoptera)**

Srpicovití (Panorpidae) jsou citliví na UV záření (350 nm), modrou barvu (450 nm), rozhraní modré a azurové barvy (500 nm) a zelenou barvu (540 nm) (Van der Kooi et al., 2021).

- **dvoukřídlí (Diptera)**

Další poměrně dobře prozkoumanou skupinou jsou dvoukřídlí. U jednotlivých druhů byla zkoumána vlnová délka, při které docházelo k úmrtí. Z výsledků bylo zjištěno, že tato vlnová délka se pro jednotlivé druhy lišila. Můžeme tedy předpokládat, že kratší vlnové délky nejsou vždy tak toxické a že modré světlo je škodlivější, než UV záření (Hori et al. 2014). Komárovití (Culicidae) jsou citliví na UV záření (335-350 nm) a na rozhraní azurové a zelené barvy (515-520 nm) (Van der Kooi et al., 2021). Viditelné modré světlo s krátkou vlnovou délkou je pro komáry smrtelné (Hori et al. 2014). Muchničkovití (Simuliidae) jsou citliví pouze na rozhraní fialového a modrého světla (430 nm). Koutulovití (Psychodidae) na UV záření (340 nm) a rozhraní azurového po zelené světlo (520-545 nm), muchnicovití (Bibionidae) na UV záření (350 nm) a dále na modré přes azurové po zelené světlo (440-540 nm). Čeď Keroplatidae je citlivá pouze na zelené světlo (540 nm), bráněnkovití (Stratiomyidae) na UV záření (330 nm; 350 nm), dále od UV záření přes fialovou a modrou po azurovou barvu (370-505 nm) a na zelenou barvu (535 nm). Bzučivkovití (Calliphoridae) jsou citliví na UV záření (335-360 nm; 355 nm), modrou barvu (360 nm; 380-390 nm) a zelenou barvu (530 nm). Pro kuklicovité (Tachinidae) je atraktivní UV záření (340 nm) a modrá barva (460 nm), pro květilkovité (Anthomyidae) je atraktivní pouze modrá barva (490 nm), pro mouchovité (Muscidae) je to UV záření (335 nm; 355 nm), modrá barva (460 nm; 490 nm) a zelená barva (530 nm). Bodavkovití (Glossinidae) jsou citliví na UV záření (350 nm), modré světlo (450 nm; 490 nm), azurové světlo (500 nm) a rozhraní azurové a zelené barvy (520 nm). Pro stopkoočkovité (Diopsidae) je atraktivní UV záření (360 nm), modrá barva (450 nm; 490 nm) a zelená barva (560 nm) (Van der Kooi et al., 2021). Tariq et al. (2017) studovali účinky modrého světla na kutikulární melanin v larválním stadiu a imunitní reakci v dospělém stadiu vrtule *Bactrocera dorsalis*. Zjistili, že larvy vystavené modrému světlu mají snížený obsah melaninu v exoskeletu a opožděnou metamorfózu než hmyz, který nebyl ovlivněn modrým světlem. V průběhu metamorfózy byla u dospělců, kteří byli vystaveni modrému světlu v larválním stádiu, zjištěna nižší reakce na melanotické zapouzdření a vyšší citlivost k houbě *Beauveria bassiana*. To tedy znamená, že modré světlo zhoršuje imunitu u dospělců *Bactrocera dorsalis*, kteří byli v larválním stádiu vystaveni modrému světlu (Tariq et al., 2017). Tedy vrtulovití (Tephritidae) jsou citliví na modré světlo (490 nm), dále jsou to i zelenuškovití (Chloropidae) (480 nm) a břežnicovití (Ephydriidae)

(480 nm). Octomilkovití (Drosophilidae) nalézají atraktivitu v oblasti UV záření (330-345 nm; 355-370 nm) (Futahashi, 2015; Van der Kooi, 2021), dále v modrém světle (440 nm; 480-490 nm) a od azurového po zelené světlo (515-520 nm) (Van der Kooi, 2021). Modré světlo způsobuje vyšší mortalitu u všech stadií octomilky obecné (Hori et al. 2014). Pestřenky (Syrphidae) jsou citlivé na UV záření (350 nm) a na modré světlo (450-490 nm). Lupicovití (Dolichopodidae) vnímají UV záření (340 nm) a modré světlo (480 nm), ovádovití (Tabanidae) také nalézají atraktivitu v UV záření (360 nm) a modrém světle (440 nm), ale také v rozhraní azurového po zelené světlo (520-530 nm) (Van der Kooi et al., 2021).

- **motýli (Lepidoptera)**

Motýli jsou nejvíce prozkoumaným řádem co se týká vlivu světelného spektra. U motýlů jsou přítomny tři typy ommatidií, se dvěma modrými receptory, dvěma UV receptory nebo jedním modrým a jedním UV receptorem (Arikawa, 2003; Qiu et al., 2002; Wakakuwa et al., 2005).

U nočního motýla, můry zelné (*Mamestra brassicae*), byly samčí larvy vystaveny zelenému světlu. Zjistilo se, že díky tomuto vlivu zeleného světla zahajují kuklení dříve. Navíc se larvy vynořují z kukel dříve než larvy v tmavých podmínkách. Což vede ke zkrácení doby vývoje larev (van Geffen et al., 2014). U čtyř druhů nočních motýlů z čeledí Noctuidae, Geometridae a Erebidae bylo zjištěno, že pokud jsou můry ve tmě, pravděpodobnost krmení je vyšší, než když jsou jedinci ovlivněni červeným, bílým nebo zeleným světlem. Pokud byly ovlivněny těmito barvami, zkrátila se jim doba krmení o 58-82% (van Langevelde et al., 2017). Dále bylo zjištěno, že můry čeledi Noctuidae byly více přitahovány světly s krátkou vlnovou délkou, zatímco můry čeledi Geometridae byly stejně přitahovány světly s krátkou i dlouhou vlnovou délkou (Somers-Yeates et al., 2013). Vysvětlením těchto rozdílů by mohla být variabilita spektrální citlivosti mezi taxony (Briscoe et Chittka, 2001). Nesytkovití (Sesiidae) jsou citliví na UV záření (345 nm), modrou barvu (465 nm) a zelenou barvu (530 nm), kastniovití (Castniidae) na UV záření (360 nm), modrou barvu (460 nm), zelenou barvu (545 nm) a žlutou barvu (580 nm), obalečovití (Tortricidae) na UV záření (340-350 nm), rozhraní fialové a modré barvy (430-480 nm) a rozhraní azurové a zelené barvy (520-530 nm), Erebidae na UV záření až rozhraní fialové barvy (340-380 nm), modrou barvu (450 nm), dále od modré přes azurovou po rozhraní zelené barvy (475-520 nm). Pro můrovité (Noctuidae) je atraktivní UV záření

po fialovou barvu (350-400 nm), modrá barva (465-480 nm) a od azurové po zelenou barvu (515-560 nm), pro martináčovité (Saturniidae) je to UV záření (330-340 nm), modrá barva (460-480 nm) a od azurové po zelenou barvu (520-530 nm), pro lišajovité (Sphingidae) je zajímavá oblast UV záření po rozhraní fialové barvy (345-380 nm), modrá barva (440-460 nm) a od azurové po zelenou barvu (520-525 nm). Dále pro otárkovité (Papilionidae) je to UV záření (360 nm), fialová barva (390-400 nm), modrá barva (440-460 nm), od modré přes azurovou po zelenou barvu (480-550 nm), od rozhraní modré a azurové přes zelenou a žlutou až po oranžovou barvu (500-610 nm) a od zelené přes žlutou a oranžovou po červenou barvu (560-640 nm), pestrobarvcovití (Riodinidae) vnímají vlnovou délku azurové (505 nm) a oranžové barvy (600 nm), modráskovití (Lycaenidae) jsou citliví na UV záření (360 nm), modrou (435 nm), od azurové po zelenou (500-550 nm) a od žluté po oranžovou barvu (575-600 nm). Pro babočkovité (Nymphalidae) je atraktivní hned několik barev, a to UV záření (340-360 nm), od fialové po modrou (390-470 nm), od modré přes azurovou po zelenou (450-540 nm), od zelené přes žlutou po oranžovou (540-600 nm), pak samotná vlnová délka zelené barvy (560 nm), vlnová délka žluté barvy (580 nm) a od rozhraní azurové po zelenou (520-560 nm). Běláskovití (Pieridae) jsou citliví na UV záření (360 nm), od fialové po modrou (420-450 nm), dále jen oblast modré barvy (440-480 nm), od rozhraní azurové přes zelenou až po žlutou (520-580 nm) a od zelené přes žlutou, oranžovou až po červenou barvu (560-660 nm), dále na oranžovou až červenou barvu (620-640 nm) a na vlnovou délku červené barvy (660 nm). Travaříkovité (Crambidae) jsou citliví na UV záření (355 nm), fialovou barvu (415 nm), modrou barvu (480 nm) a zelenou barvu (530 nm). Pro zavíječovité (Pyralidae) je atraktivní UV záření (350 nm), rozhraní fialové a modré barvy (430 nm) a zelená barva (530 nm) (Van der Kooi et al., 2021). Pro zavíječe paprikového (*Plodia interpunctella*) je atraktivní oblast červené barvy, která je využívána jako světelná past ve skleníkách a sýpkách (Park et Lee, 2017). Nicméně dle Kikukawa et al. (2017) jsou třeba udělat další spektrální výzkumy na fotoreceptory u tohoto motýla.

- **blanokřídílí (Hymenoptera)**

Dle Quednau (1958) drobněnky reagují pozitivně fototakticky. Brower et Cline (1984) zase zaznamenali větší přitažlivost k černému světlu (UVA), než k bílému světlu. Jejich citlivost se zvyšuje v oblasti modré, fialové a

ultrafialové a že tyto vlnové délky dále zvyšují citlivost na modrou a fialovou barvu, také má citlivé fotoreceptory na UV záření (Peitsch et al., 1992). Blanokřídlí, stejně jako motýli, mají tři typy ommatidií, se dvěma modrými receptory, dvěma UV receptory nebo jedním modrým a jedním UV receptorem (Arikawa, 2003; Qiu et al., 2002; Wakakuwa et al., 2005). U Hymenoptera je šest receptorů citlivých na zelenou barvu (Wakakuwa et al., 2005). Hedvábnicovití (Colletidae) reagují na UV záření a na oblast zelené barvy (530 nm). Čeleď ploskočelkovití (Halictidae) je citlivá na modré světlo (440 nm) a zelené světlo (520-530 nm). Další je čeleď pískorypkovitých (Andrenidae), tato čeleď zaujímá atraktivitu v UV záření, dále v oblasti modré barvy (435-445 nm). Čeleď včelovitých (Apidae) zaujímá v oblastech světelného spektra část UV záření (330-360 nm), oblast modré barvy (435-445 nm) a azurové po zelenou barvu (515-545 nm). Pro čeleď čalounicovitých (Megachilidae) je atraktivní UV záření (325-365 nm), dále je pro ně velice atraktivní široká oblast od modré, přes azurovou po zelenou barvu (445-560 nm) a přechází ze zelené přes žlutou barvu do oranžové (530-620 nm). Kutilkovití (Crabronidae) jsou citliví na UV záření (350 nm), modrou barvu (435-450 nm) a na konec azurové po zelenou barvu (520-530 nm). Sršňovití (Vespidae) jsou citliví na UV záření (350 nm), modrou barvu (445 nm) a zelenou barvu (530 nm). Mravencovití (Formicidae) vnímají od UV záření po fialovou barvu (335-415 nm), od modré přes azurovou po zelenou barvu (450-560 nm) a od azurové přes zelenou a žlutou po oranžovou (510-620 nm). Lumkovití (Ichneumonidae) a pilořitkovití (Siricidae) jsou citliví pouze na zelenou barvu (525 nm). Polovrtkovití (Xyphydriidae) vnímají atraktivitu v oblasti zelené barvy (560 nm) a oranžové barvy (610 nm). Pilatkovití (Tenthredinidae) jsou citliví na UV záření (330-340 nm), modrou barvu (460 nm), zelenou barvu (540 nm) a oranžovou barvu (605 nm) (Van der Kooi et al., 2021).

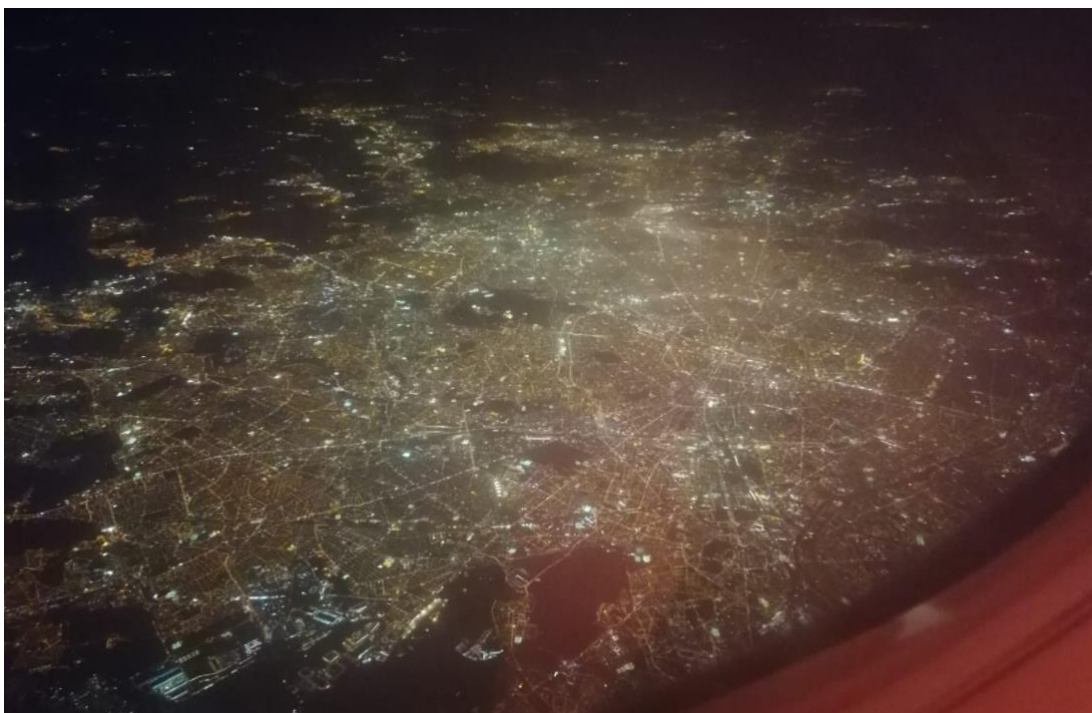
7 Diskuze

U skupin, které jsou popisovány v této bakalářské práci, bylo zjištěno následující. Jepice jsou citlivé na UV záření a zelené světlo. Skupina vážky je nejvíce citlivá na UV záření, následně na modrou a zelenou barvu, z nichž řád šídlovitých sahá do oblasti oranžového světla, šídlovití a lesklicovití do oblasti fialové barvy, lesklicovití ještě sahají do oblasti červeného světla, stejně tak jako i vážkovití. Pro rovnokřídlé a švábi je největší atraktivita v UV záření, modré barvě a azurové barvě. Kudlanky nalézají atraktivitu pouze a jen v jedné části světelného spektra, a tím je oblast azurového světla. Pisivky jsou citlivé na UV záření, fialové a modré světlo. Třásnokřídlí mají zastoupení od UV záření, přes modré a azurové po zelené světlo. U skupiny polokřídlí je nejvíce atraktivních druhů v oblasti zelené barvy, následuje UV záření, modrá barva, azurová a z nejmenší části je zastoupená oblast fialového světla. Síťokřídlí jsou nejvíce citliví v zelené oblasti spektra, výjimkou je zde skupina ploskorohovití, ti zaujímají ještě oblast UV záření. Další dobře probádanou skupinou je skupina brouků. Jejich citlivost je největší na zelené světlo, poté na oblast UV záření, následuje modré světlo, azurové, fialové, oranžové a žluté, výjimkou je u nich čeleď Glaphyridae, která zasahuje až do oblasti červené barvy. Řásnokřídlí jsou citliví jen na UV záření a na zelené světlo. Srpice vnímají nejvíce modrou barvu, následuje UV záření, azurová a zelená barva. Řád dvoukřídlých je nejvíce ovlivněn modrým světlem, poté UV zářením, zeleným světlem, azurovým a nejmenší reakce byla na fialové světlo. Nejvíce prozkoumanou skupinou je jednoznačně řád motýlů. Motýli mají zastoupené široké světelné spektrum, můžeme říci, že nalézají atraktivitu od UV záření až po červenou barvu. Největší atraktivitu mají v oblasti zelené a modré barvy, hned poté následuje UV záření, o něco menší zastoupení je v azurové, fialové, žluté a oranžové barvě a nejmenší citlivost je v červeném světle. Poslední zkoumanou čeledí jsou blanokřídlí. Jejich citlivost je nejvíce na zelené světlo, následně na UV záření a modré světlo, o něco méně jsou pak citliví v oblasti azurové, oranžové, žluté a fialové barvy.

Jako nejvíce prozkoumanou skupinu považuji řád motýlů, která má citlivost zrakových orgánů ve velké části světelného spektra. Řády jako jsou polokřídlí, vážky a brouci, jsou taktéž poměrně dost probádány, ale určitě by se měly prozkoumat mnohem více. Na základě výše uvedených výsledků tedy může tvrdit, že nejvíce atraktivní barvou pro hmyz je UV záření, modrá barva, azurová a zelená barva. Nejméně je pak pro hmyz atraktivní žlutá, oranžová, červená barva a infračervené záření.

Hmyz je díky člověku likvidován různými způsoby, jako je užívání pesticidů, pokles rozmanitosti biotopů, kácení a celkový stav lesů, stav půdy nebo nedostatek vody. Jeden z vlivů úbytku hmyzu, jak už bylo naznačeno, je antropogenní světelné znečištění, které je stále větším celosvětovým problémem (Rich et Longcore, 2006). Ovlivňuje ekologické interakce napříč celou řadou taxonů a má negativní dopad na kritické chování živočichů, včetně hledání potravy, rozmnožování a komunikace (Rich et Longcore, 2004). Hovniválové, *Scarabaeus satyrus* Boheman, využívají k orientaci Mléčnou dráhu; pod hvězdnou oblohou dopravují své kuličky trusu po přímých drahách, ale když Mléčná dráha není vidět, jsou dezorientováni (Dacke et al., 2013), což se stává při světelném znečištění (ALAN) oblohy. Narušující účinky světelného znečištění ve velkém měřítku byly prokázány také u vodního hmyzu, pro který je rozptyl po suchozemské krajině klíčový při kolonizaci obnovených stanovišť (Perkin et al., 2014), a také na výměnu mezi vodními a suchozemskými stanovišti v příbřežních oblastech (Meyer & Sullivan, 2013; Manfrin et al., 2017).

Světelné znečištění (ALAN) je téměř neoddelitelnou součástí krajiny pozměněné člověkem a je potenciálním faktorem, který přispívá k úbytku hmyzu (Camacho et al., 2021). V posledních dvou desetiletích došlo k celosvětovému silnému rozšíření. Střídání světla a tmy v denním nebo sezónním měřítku má zásadní význam pro synchronizaci fyziologických a behaviorálních procesů v prostředí. Narušuje fotoperiodu a s ní související fyziologické procesy, ovlivňuje přežití a reprodukci volně žijících živočichů (Desouhant et al., 2019). Přírozené cykly světla a tmy určují chování a fyziologii živočichů. Umělé noční světlo (ALAN) může narušit cyklus spánku-bdění, a tím výrazně dochází k ovlivnění spánku u volně žijících živočichů, která spí převážně v noci (Aulsebrook et al., 2018). ALAN je nyní považován za hlavní problém pro biologickou rozmanitost a lidské zdraví (Desouhant et al., 2019). Je tedy třeba vyloučit zbytečné užívání osvětlení v některých částech měst a obcí, nadbytečné osvětlení památek, silnic nebo výrobních hal, které produkují světlo díky směnným provozům. Všimli jste si někdy jak moc jsou osvětlené některé komunikace? Každý den jezdím po pražské Jižní spojce a nejde si nevšimnout, kolika nadbytečnými světly je osvětlená. Světla svítí ještě ve chvíli, kdy už je denní světlo. Toto se však netýká jen Prahy. Pozoruji již delší dobu, že v mém rodném městě, ale i v jiných městech, obcích a státech (obr. 9), svítí světla v době, kdy tomu není třeba. Taktéž chodníky a cyklostezky nejsou využívány nepřetržitě 24 hodin denně., stačilo by je osvětlit velmi tlumeným světlem reagujícím na pohyb.



Obr. 9: Světelné znečištění Paříže

Pokud bychom dokázali opatřit umělá světla takovou barvou, která by nebyla pro většinu skupin hmyzu zajímavá, mohlo by to hmyzí populaci výrazně pomoci. Která barva ale není pro hmyz atraktivní? Sice se uvádí, že nejmenší citlivost je v oblasti červené barvy, ale pro některé druhy motýlů je to barva atraktivní (Van der Kooi, 2021). To znamená, že nalézt takové světlo, které nebude lákat žádný hmyz, je zcela nemožné. Vždy bude nějaká oblast světelného spektra, na kterou bude nějaký hmyz citlivý. Mohlo by se zdát, že řešením by mohlo být i oranžové světlo pro venkovní osvětlení, je přínosné taktéž pro lidský organismus a pro hmyz není tolik zajímavé. Přesto například bioluminiscenční hmyz, světlušky, na tuhle barvu reagují. Toto umělé světlo jim potlačuje namlouvací aktivitu a oni tak nejsou schopni se pářit. Světelné znečištění se rychle šíří, a to i kolem chráněných oblastí, čímž negativně ovlivňuje živočichy téměř všude (Macháček, 2021).

Můžeme v noci všechna světla prostě zhasnout? Člověk je tvor pohodlný, sobecký a líný, proto se nikdy nebude chtít světla úplně vzdát. Spousta lidí chodí domů v noci, ať už kvůli práci nebo z jiného důvodu, a tady se můžeme bavit nejen o lhostejnosti, ale i strachu chodit po tmě. Je ale třeba, abychom osvětlovali krajinu uprostřed hluboké noci, kdy valná většina obyvatel spí? Pokud si chceme zachovat ve společnosti hmyz, měli bychom hledat kompromisy. Určitě nejsme schopni přistoupit na úplnou tmu, ale jeden ze způsobů je i určité zmírnění intenzity světla.

Jedním z řešení je také nastavení venkovního osvětlení, které bude svítit pod správným úhlem (obr. 10).



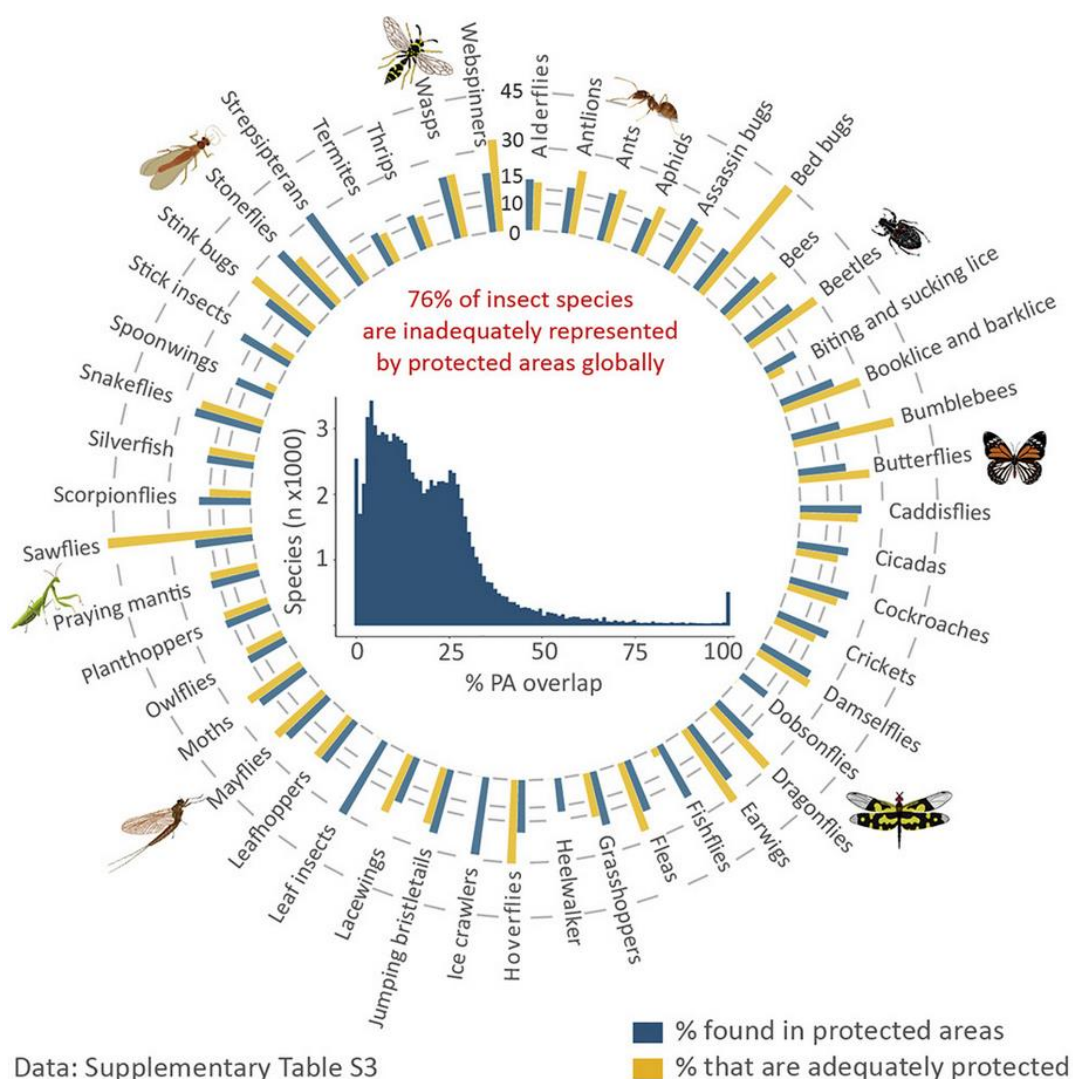
Obr. 10: Venkovní osvětlení (Lumbio, 2020)

Spousta lidí světelný smog nevnímá jako problém a bylo by tedy žádoucí zacílit na skupiny nezasvěcených lidí a začít šířit osvětu. Je zcela zásadní uvědomit si, že i hmyz, který nám není zcela sympatický a přijde nám otravný nebo že je to jen pouhý výmysl přírody, je většinou důležitý a hraje svou úlohu. Spousta lidí si určitě klade otázku, jestli je tato hříčka přírody vůbec důležitá? K čemu nám v přírodě je? Hmyz je důležitý a každý jedinec má v přírodě svou roli a my bychom to neměli podceňovat. I když nemůžeme zpozorovat významnost některých druhů, tak každý jedinec je pro ekosystém potřebný. Mortalita druhů nemusí být současným problémem naší generace, ale měli bychom se zamyslet i nad tím, co bude po nás. Co když hmyz zcela zanikne? Nemusí to být teď, ale pokud se problémem nezačneme intenzivněji zabývat, jednou to problém začne být, a to už navíc může být pozdě. Světelnému znečištění rozhodně není možné úplně zabránit a také mu nemůžeme přičítat veškerou vinu za nadměrný až místy katastrofální úbytek hmyzu. Musím více než souhlasit s Jactel et al. (2021), aby se zavedlo dlouhodobé sledování populací a začaly se řešit příčiny úbytku hmyzu omezením používání syntetických insekticidů, zachovat přirozená stanoviště a znovuobjevení pozitivního vztahu mezi lidmi a hmyzem. Globální rámec pro biologickou rozmanitost po roce 2020 poskytuje vodítko pro vymezení chráněných území, které vyžaduje zohlednění potřeb hmyzu. Mapování významných oblastí biologické rozmanitosti musí být

rozšířeno tak, aby národy zajistily zachycení rozmanitosti hmyzu (Chowdhury, 2023).

Možná se to všechno zdá jako malý krůček, ale pro hmyz to může znamenat velký krok a zároveň to může být krok k dalším cílům a ke vzrůstu této populace.

Jen pro zajímavost, na obr. 11 je znázorněno zastoupení jednotlivých druhů hmyzu v procentech. Modrá barva znázorňuje, kolik jich bylo nalezeno v chráněných oblastech. Žlutá barva ukazuje, jak moc je daný druh chráněn. Bylo zjištěno, že 76% chráněných druhů je celosvětově nedostatečně zastoupeno v chráněných oblastech (Chowdhury, 2023).



Obr. 11: Výskyt a ochrana jednotlivých druhů (%) (Chowdhury, 2023)

8 Závěr

V oblasti barevného vidění hmyzu bylo v posledních desetiletích dosaženo velkého pokroku, nicméně u spousty skupin je stále nedostatek důkazů o spektrální citlivosti a pro některé řády nejsou žádné údaje. Jedná se o řád pošvatek, chvostnatek, šupinušek, škvorů, snovatek, strašilek, drobnělek, crčkovitých a strašilkovců (Van der Kooij, 2021). Většina výzkumu zraku hmyzu se soustředila pouze na několik modelových organismů včetně much, včel medonosných a motýlů. Zvláště málo studovaný je fytofágní hmyz, jako jsou například třásněnky. Už jen kvůli jejich škodám v zemědělství by měl být tento druh více prozkoumáný. Vzhledem ke svým miniaturním očím vykazují třásněnky silné, avšak variabilní reakce specifické pro barvy, ale o fyziologických a ekologických základech jejich vizuálních systémů je známo jen málo (Lopez-Reyes et al., 2022). Souhlasím s Longcore et Rich (2004), že úspěšné zkoumání ekologického světelného znečištění si vyžádá spolupráci s fyziky a inženýry na zlepšení vybavení k měření světelných charakteristik na ekologicky relevantních úrovních a za různorodých terénních podmínek. Vodní ekosystémy rovněž zasluhují zvýšenou pozornost, protože přes ústřední důležitost světla ve sladkovodní a mořské ekologii bylo až dosud umělé osvětlení bráno v úvahu jen omezeně.

Pro další práci by bylo vhodné udělat více výzkumů ohledně atraktivity vlnových spekter pro skupiny, které ještě nebyly zcela probádány a na základě objektivnějších výsledků najít komplexní řešení, které nám sice úpadek hmyzu nezastaví, ale alespoň by mohlo úbytek zbrzdít. Stanovit podrobnou analýzu a udělat si tak komplexní přehled o tom, jak moc jsou ovlivněna další hmyzí společenstva. Navrhnout vhodné podmínky pro rovnováhu mezi populacemi, jako příklad můžeme uvést nasvícení památek pouze do určité hodiny (do půlnoci) anebo jen při významných dnech a událostech, odstínit výrobní haly, snížit osvětlení silnic a chodníků, či úplně vypnout světla v nočních hodinách na místech, která se dotýkají chráněných území nebo jiných území s větším výskytem hmyzu, který je nebo by brzy mohl být ohrožený. Nahrazení atraktivních světel pro hmyz za méně atraktivní. Pokud je třeba svítit, měla by mít světla nastavený správný úhel svícení, který nepřiláká tolik hmyzu. Dále by bylo vhodné vymezit konkrétní území, zjistit jaké druhy se na nich vyskytují, na jaká spektra jsou druhy citlivé a podle výsledků zavést neatraktivní osvětlení. V neposlední řadě je třeba zavést vhodný zákon o používání nočního osvětlení, vydat nařízení a vyhlášky o snížení světelného znečištění a specifikovat, co už je a co ještě není světelné znečištění. Bude velice náročné najít kompromis, která vlnová délka bude nejvíce vhodná pro večerní a noční svícení.

Tam kde použijeme jednu vlnovou délku, abychom ochránily jednu skupinu, tam ublížíme jiné skupině. Pokud by se podařilo nastolit alespoň nějakou úroveň rovnováhy mezi lidstvem a ostatními populacemi, mohli bychom tak hmyz navrátit alespoň z části do podmínek, ve kterých se dříve běžně vyskytoval.

9 Seznam použitých zdrojů

1. Arikawa, K., 2003: Spectral organization of the eye of a butterfly, *Papilio*. *Journal of Comparative Physiology A: Sensory, Neural, and Behavioral Physiology* 189: 791-800.
2. Aulsebrook, A. E., Jones, T. M., Mulder, R. A., Lesku, J. A., 2018: Impacts of artificial light at night on sleep: A review and prospectus. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology* 329: 409-418.
3. Barghini, A. et Souza de Medeiros, B. A., 2012: UV Radiation as an Attractor for Insects. *LEUKOS* 9: 47-56.
4. Briscoe, A. D., Chittka L., 2001: The evolution of color vision in insects. *Annual Review of Entomology* 46: 471–510.
5. Brower, J. H., Cline, L. D., 1984: Response of *Trichogramma pretiosum* and *T. evanescens* to whitelight, blacklight or no-light suction traps. *Florida Entomologist* 76: 262–268.
6. Camacho, L. F., Barragán, G., Espinosa, S., 2021: Local ecological knowledge reveals combined landscape effects of light pollution, habitat loss, and fragmentation on insect populations. *Biological Conservation* 262: 109311.
7. Dacke, M., Baird, E., Byrne, M., Scholtz, CH., Warrant, E. J., 2013: Dung beetles use the milky way for orientation. *Current Biology* 23: 298-300.
8. Desouhant, E., Gomes, E., Mondy, N., Amat, I., 2019: Mechanistic, ecological, and evolutionary consequences of artificial light at night for insects: review and prospective. *Entomologie Experimentalis et Applicata* 167: 37-58.
9. Dixon, A. F. G., Kindlmann, P., Jarošík, V., 1995: Body size distribution in aphids: relative surface area of specific plant structures. *Ecological Entomology* 20: 111-117.
10. Döring, T., Spaethe, J., 2009: Measurements of eye size and acuity in aphids (Hemiptera: Aphididae). *Entomologia Generalis* 32: 77-84.
11. Eisenbeis G., Hassel, F., 2000: Zur Anziehung nachtaktiver Insekten durch Straßenlaternen-eine Studie kommunaler Beleuchtungseinrichtungen in der Agrarlandschaft Rheinhessens (Přitahování nočního hmyzu uličními lampami-studie soustav veřejného osvětlení v polní krajině rýnsko-hessenské). *Natur und Landschaft* 75: 145-156.
12. 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* 2: 191-198.

13. Eisenbeis, G., Eick, K., 2011: Attraction of nocturnal insects to street lights-A study of lighting systems, with consideration of LEDs. *Natur und Landschaft* 86: 298-306.
14. Frank, K. D., 1988: Impact of outdoor lighting on moths: an assessment. *Journal of the Lepidopterists' Society* 42: 63-93.
15. Futahashi, R., Kawahara-Miki, R., Kinoshita, M., Yoshitake, K., Yajima, S., Arikawa K., Fukatsu, T. , 2015: Extraordinary diversity of visual opsin genes in dragonflies. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112: 1247–1256.
16. Goodman, J. L., 1970: The structure and function of the insect dorsal ocellus. *Advances in Insect Physiology* 7: 97-195.
17. Govardovskii, V. I., Fyhrquist, N., Reuter, T., Kuzmin, D. G., Donner, K., 2000: In search of the visual pigment template. *Visual Neuroscience* 17: 509-528.
18. Halse, S. A., Pearson, G. B., 2014: Troglotauna in the vadose zone: comparison of scraping and trapping results and sampling adequacy. *Subterranean Biology* 13: 17-34.
19. Hori, M., Shibuya, K., Sato, M., Saito, Y., 2014: Lethal effects of short-wavelength visible light on insects. *Scientific Reports* 4: 7383.
20. Hori, M., Oyama, N., 2023: Lethal effect of blue light on *Liposcelis bostrychophila* (Psocoptera: Liposcelididae). *Applied Entomology and Zoology (in press)*.
21. Horridge, G. A., Marcelja, L., Jahnke, R., 1982: Light guides in the dorsal eye of the male mayfly. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences* 216: 25–51.
22. Chowdhury, S., Zalucki, M. P., Hanson, J. O., Tiatragul, S., Green, D., Watson, J. E. M., Fuller, R. A., 2023: Three-quarters of insect species are insufficiently represented by protected areas. *One Earth* 6: 139-146.
23. Jactel, H., Imler, J. L., Lambrechts, L., Failloux, A. B., Lebreton, J. D., Maho, Y. L., Duplessy, J. C., Cossart, P., Grandcolas, P., 2021: Insect decline: immediate action is needed. *Comptes Rendus Biologies* 343: 267-293.
24. Kral, K., 2013: Vision in the mantispid: A sit-and-wait and stalking predatory insect. *Physiological Entomology* 38, 1-12.
25. Kelber, A., Balkenius, A., Warrant, E. J., 2002: Scotopic colour vision in nocturnal hawkmoths. *Nature* 419: 922-925.
26. Kelber, A., Osorio, D., 2010: From spectral information to animal colour vision: experiments and concepts. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 277: 1617-1625.

27. Kikukawa, S., Katou, S, Matsuda, T., Miyashita, A., Tsuzuki, T., 2017: Effects of Light Intensity and Wavelength on Diapause in *Plodia interpunctella*. *International Journal of Animal Biology* 3: 2-4.
28. Kim, M. G., Yang, J. Y., Lee, H. S. 2013: Phototactic behavior: repellent effects of cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae), to light-emitting diodes. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry* 56: 331-333.
29. Kinoshita, M., Arikawa, K., 2000: Colour constancy in the swallowtail butterfly *Papilio xuthus*. *Journal of Experimental Biology* 203: 3521-3530.
30. Longcore, T., Rich, C., 2004: Ecological Light Pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2: 191-198.
31. Lopez-Reyes, K., Armstrong, K. F., van Tol, R. W. H. M., Teulon, D. A. J., Bok M. J., 2022: Colour vision in thrips (Thysanoptera). *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 377: 20210282.
32. Madronich, S., McKenzie, R. L., Björn, L. O., Caldwell, M. M., 1998: Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 46: 5-19.
33. Manfrin, A., Singer, G., Larsen, S., Weiß, N., van Grunsven, R. H. A., Weiß, N.-S., Wohlfahrt, S., Monaghan, M. T., Hölker, F., 2017: Artificial light at night affects organism flux across ecosystem boundaries and drives community structure in the recipient ecosystem. *Frontiers in Environmental Science* 5: 1-14.
34. Mazza, C. A., Zavala, J., Scopel, A. L., Ballaré, C. L., 1999: Perception of solar UVB radiation by phytophagous insects: Behavioral responses and ecosystem implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96: 980-985.
35. Meyer, L. A., Sullivan, M. P., 2013: Bright lights, big city: influences of ecological light pollution on reciprocal stream-riparian invertebrate fluxes. *Ecological Applications* 23: 1322-1330.
36. Meyer-Rochow, V. B., 1982: Electrophysiological studies on the insect compound eye. *New Zealand Entomologist* 7: 296-304.
37. Mikkola, K., 1973: Behavioural and electrophysiological responses of night-flying insects, especially Lepidoptera, to near-ultraviolet and visible light. *Annales Zoologici Fennici* 9: 225-254.
38. Nakamura, T., Yamashita, S., 1997: Phototactic behavior of nocturnal and diurnal spiders: negative and positive phototaxes. *Zoological Science (Tokyo)* 14: 199-203.

39. Nordström, P., Warrant, E. J., 2000: Temperature-induced pupil movements in insect superposition eyes. *Journal of Experimental Biology* 203: 685-692.
40. Owens, A. C. S., Lewis, S. M., 2018: The impact of artificial light at night on nocturnal insects: A review and synthesis. *Ecology and Evolution* 8: 11337-11358.
41. Owens, A. C. S., Meyer-Rochow, V.B., Yang, E.C., 2018: Short- and mid-wavelength artificial light influences the flash signals of *Aquatica ficta* fireflies (Coleoptera: Lampyridae). *PLOS ONE* 13: 1-14.
42. Owens, A. C. S., Cochard, P., Durrant, J., Farnworth, B., Perkin, E. K., Seymoure, B., 2020: Light pollution is a driver of insect declines. *Biological Conservation* 241: 108259.
43. Owens, A. C. S., Lewis, S. M., 2021: Narrow-spectrum artificial light silences female fireflies (Coleoptera: Lampyridae). *Insect Conservation and Diversity* 14: 199-210.
44. Park, J. H., Lee, H. S., 2017: Phototactic behavioral response of agricultural insects and stored-product insects to light-emitting diodes (LEDs). *Applied Biological Chemistry* 60: 137-144.
45. Perkin, E.K., Hölker, F., Tockner, K., 2014: The effects of artificial lighting on adult aquatic and terrestrial insects. *Freshwater Biology* 59: 368-377.
46. Qiu, X., Vanhoutte, K. A. J., Stavenga, D. G., Arikawa, K., 2002: Ommatidial heterogeneity in the compound eye of the male small white butterfly, *Pieris rapae crucivora*. *Cell and Tissue Research* 307: 371-379.
47. Quednau, W., 1958: Über einige Orientierungsweisen des Eiparasiten *Trichogramma* (Hym. Chalcididae) auf Grund von Licht-und Schwere-ereizen. *Anzeiger für Schädlingskunde* 31: 83-85.
48. Reisenman, C.E., Lazzari, C.R., Giurfa, M., 1998: Circadian control of photonegative sensitivity in the haematophagous bug *Triatoma infestans*. *Journal of Comparative Physiology A* 183: 533-541.
49. Samways, M. J., 2007: Insect conservation: A Synthetic Management Approach. *Annual Review of Entomology* 52: 465-487.
50. Sánchez-Bayo, F., Wyckhuys, K. A. G., 2019: Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation* 232: 8-27.
51. Sharkey, C. R., Fujimoto, M. S., Lord, N. P., Shin, S., McKenna, D. D., Suvorov, A., Martin, G. J., Bybee, S. M., 2017: Overcoming the loss of blue sensitivity through opsin duplication in the largest animal group, beetles. *Scientific Reports* 7: 1-10.

52. Shi, L., Vasseur, L., Huang, H., Zeng, Z., Hu, G., Liu, X., You, M., Rashed, A., 2017: Adult tea green leafhoppers, *Empoasca onukii* (Matsuda), change behaviors under varying light conditions. *PLOS ONE* 12: 1-17.
53. Shibuya, K., Onodera, S., Hori, M., Singh, A., 2018: Toxic wavelength of blue light changes as insects grow. *PLOS ONE* 13: 1-19.
54. Shimoda, M., Kiguchi, K. 1995: The sweet potato hornworm, *Agrius convolvuli*, as a new experimental insect: behavior of adult moths in a rearing cage. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology* 39: 321-328.
55. Shimoda, M., Honda, K. 2013: Insect reactions to light and its applications to pest management. *Applied Entomology and Zoology* 48: 413-421.
56. Somers-Yeates, R., Hodgson, D., McGregor, P. K., Spalding, A., French-Constant, R. H., 2013: Shedding light on moths: shorter wavelengths attract noctuids more than geometrids. *Biology Letters* 9: 17-20.
57. Straka, J., 2003: Včely a evoluce barev květů. *Vesmír* 82: 507.
58. Summers, Ch. G., 1997: Phototactic behavior of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) crawlers. *Annals of the Entomological Society of America* 90: 372-379.
59. Tariq, K., Noor, M., Hori, M., Ali, A., Hussain, A., Peng, W., Zhang, H., 2017: Blue light-induced immunosuppression in *Bactrocera dorsalis* adults, as a carryover effect of larval exposure. *Bulletin of Entomological Research* 107: 734-741.
60. Van Der Kooij, C. J., Stavenga, D. G., Arikawa, K., Belušič, G., Kelber, A., 2021: Evolution of insect color vision: from spectral sensitivity to visual ecology. *Annual Reviews in Entomology* 66: 435-461.
61. Van Geffen, K.G., Van Grunsven, R. H. A., Van Ruijven, J., Berendse, F., Veenendaal, E. M., 2014: Artificial light at night causes diapause inhibition and sex-specific life history changes in a moth. *Ecology and Evolution* 4: 2082-2089.
62. Van Langevelde F., Van Grunsven R. H. A., Veenendaal E. M., Fijen T. P. M., 2017: Artificial night lightning inhibits feeding in moths. *Biology Letters* 13: 1-4.
63. Wakakuwa, M., Kurasawa, M., Giurfa, M., Arikawa, K., 2005: Spectral heterogeneity of honeybee spectra. *Naturwissenschaften* 92: 464-467.
64. Warren, A. D., 1990: Predation of five species of noctuidae at ultraviolet light by the Western yellowjacket (Hymenoptera: Vespidae). *Journal of Lepidopterists' Society* 44: 1-62.
65. Yang, E. C., Lee, D. W., Wu, W. Y., 2003: Action spectra of phototactic responses of the flea beetle, *Phyllotreta striolata*. *Physiological Entomology* 28: 362-368.

66. Zhou, Li-Jun, Zhu, Zhi-Hui, Liu, Zhen-Xing, Ma, Wei-Hua, Desneux, N., Lei, Chao-Liang, 2013: Identification and Transcriptional Profiling of Differentially Expressed Genes Associated With Response to Uva Radiation in *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae). *Environmental Entomology* 42: 1110-1117.
67. Žďárek J., 2003: S čím evoluce hmyzích instinktů nepočítala. *Časopis Vesmír* 82: 612.

Internetové zdroje:

Andor, 2023: What is Light - An Overview of the Properties of Light (online) [cit.2023.03.15], dostupné z: <<https://andor.oxinst.com/learning/view/article/what-is-light>>.

Arpansa, 2011: Gamma radiation. Australian Government, Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (online) [cit.2023.03.15], dostupné z: <<https://www.arpansa.gov.au/understanding-radiation/what-is-radiation/ionising-radiation/gamma-radiation>>.

Brookshire, B., 2021: Let's learn about light: The light we see is only one form of this electromagnetic radiation (online) [cit.2023.03.15], dostupné z: <<https://www.snexplores.org/article/lets-learn-about-light>>.

Jirásková, M., Jirásek, L., 2002: Záření a jeho působení na organismus (online) [cit.2023.03.15], dostupné z: <<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/zareni-a-jeho-pusobeni-na-organismus--16844>>.

Kulhánek, P., Havlíček, I., Rozehnal, J., Břeň, D., 2018: Spektrum (online) [cit.2023.03.15], dostupné z: <https://www.aldebaran.cz/tabulky/spektrum_rtg.php>.

Macháček A., 2021: Volby jiného druhu (online), dostupné z: <<https://e-republika.cz/article4460-Volby-jineho-druhu>>.

Pecháček P., Stella D., Kleisner K., 2012: Ultrafialový svět bezobratlých (online) [cit.2023.03.15], dostupné z: <<https://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/ultrafialovy-svet-bezobratlych.pdf>>.

Reichl J., Všetická M., 2006-2023: Encyklopedie Fyziky (online) [cit.2023.03.15], dostupné z: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/pdf/531-ultrafialove-zareni>>.

RHA, 2017: Are insects attracted to near infrared light? (online) [cit.2023.03.15], dostupné z: <<https://biology.stackexchange.com/questions/19427/are-insects-attracted-to-near-infrared-light>>.

Schwalter, T.D., 2013: Insects and sustainability of ecosystem services (online) [cit.2023.03.15], dostupné z: <[https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=VvqvPSZ5-ZcC&oi=fnd&pg=PP1&dq=T.D.+Schwalter+Insects+and+sustainabiPosllity+of+eco+system+services+\(2013\)&ots=h3nozLnad0&sig=xRn0esMdwAq1BHOaqhly7aN6R0M&redir_esc=y#v=onepage&q=T.D.%20Schwalter%20Insects%20and%20sustainability%20of%20ecosystem%20services%20\(2013\)&f=false](https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=VvqvPSZ5-ZcC&oi=fnd&pg=PP1&dq=T.D.+Schwalter+Insects+and+sustainabiPosllity+of+eco+system+services+(2013)&ots=h3nozLnad0&sig=xRn0esMdwAq1BHOaqhly7aN6R0M&redir_esc=y#v=onepage&q=T.D.%20Schwalter%20Insects%20and%20sustainability%20of%20ecosystem%20services%20(2013)&f=false)>.

Terro, 2022: Can bugs see in the dark? (online) [cit.2023.03.15], dostupné z: <<https://www.terro.com/articles/can-bugs-see-in-the-dark>>.

The healthy journal, 2023: What colour light can bugs not see? (online) [cit.2023.03.15], dostupné z: <<https://www.thehealthyjournal.com/q-and-a/what-color-light-can-bugs-not-see>>.

Warrant, E., 2017: How do animals see in the dark? Megalopta genalis. United States Geological Survey (online) [cit.2023.03.15], dostupné z: <<https://theconversation.com/how-do-animals-see-in-the-dark-74101>>.

Seznam knižní literatury:

Bellmann, H. Encyklopedie hmyzu, kapesní průvodce přírodou. 1. vyd. Praha: Pavel Dobrovský – BETA a Jiří Ševčík, 2006. p. 256

CIE, 1987: International Lighting Vocabulary Archived 27 February 2010 at the Wayback Machine. Number 17.4. CIE, 4th edition.

Hanzák J., Halík L., Mikulová M., Moucha J., Zahradník J. Světem zvířat V.: Bezobratlí 2. 2. vyd. Praha: Albatros, 1973. p. 456

Jánský L. Fyziologie živočichů a člověka, 1. vyd. Praha: Avicenum, 1981, p. 383

Mound L. A. Hmyz. Přeložil Košťál M. Praha: Fortuna Print, 1993, p. 63

Nation J. L., Sr. Insect Physiology and Biochemistry. CRC Press, Boca Ronton, Florida, 2016, p. 623

Reichholf-Riehm H.: Hmyz a pavoukovci. Přeložili Krampfl F. et Marek J. 534. vyd. Praha: Knižní klub, Ikar, 1997. p. 288

Rich, C., Longcore, T.: Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington, DC: Island Press, 2006. p. 480.

Schowalter, T.D. Insect Ecology: An Ecosystem Approach. 4th Edition, Academic Press, 2016. p. 362

Smith, G. H., 2006: Camera lenses: from box camera to digital. SPIE Press. p. 320.

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

Uzan, J. P., Leclercq, B. The Natural Laws of the Universe: Understanding Fundamental Constants. Translated by Robert Mizon. Springer-Praxis, 2008. p. 135

Wolken, J. J. Light Detectors, Photoreceptors, and Imaging Systems in Nature. 1st Edition, New York: Oxford University Press, 1995. p. 280

Zahradník J. Blanokřídílí. Praha: Artia, 1987. p. 182

Zahradník J. Hmyz. 2. české vyd. Ilustroval Severa František. Praha: Aventinum, 2007. p. 326.

10 Seznam obrázků

Obr. 1: Spektrum elektromagnetického záření (Nano4house, 2011), dostupné z: <https://nano4house.cz/>

Obr. 2: Spektrum viditelného světla (LEDmegrow, 2018), dostupné z: <https://www.ledmegrow.cz/vzdelani--pestovani-je-veda/osvetleni-led-pro-pestitele/>

Obr. 3: Vlnové délky a jejich frekvence (Wikipedie, 2022), dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_spektrum

Obr. 4: Sluneční záření dopadající na zemský povrch v různých vlnových délkách. Pecháček et al., 2012: Ultrafialový svět bezobratlých (online), dostupné z: <https://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/ultrafialovy-svet-bezobratlych.pdf>

Obr. 5: Vnitřní stavba hmyzího oka (Mound, 1993, s. 15)

Obr. 6: Arizona Retina Project, 2020: How Insect Eyes Differ From Ours, dostupné z: <https://azretina.sites.arizona.edu/node/789>

Obr. 7: Květy pampelišky (kvmuz), dostupné z: <http://kvmuz.cz/typ/priroda-karlovarska/jak-to-vidi-hmyz>

Obr. 8: Znázornění dráhy letu – měnící se úhel. (Žďárek, 2003)

Obr. 9: Světelné znečištění Paříže (foto vlastní)

Obr. 10: Lumbio, LED Technology, 2020: Jak přežít pouliční osvětlení ve zdraví (online), dostupné z: <https://www.lumbio.cz/novinky/jak-prezit-poulicni-osvetleni-ve-zdravi>

Obr. 11: Výskyt a ochrana jednotlivých druhů (%). Chowdhury, S., Zalucki, M. P., Hanson, J. O., Tiatragul, S., Green, D., Watson, J. E. M., Fuller, R. A., 2023: Three-quarters of insect species are insufficiently represented by protected areas. One Earth (online), dostupné z:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332222006315>