

Metodika hodnocení vlivů světelného znečištění na volně žijící živočichy a ekosystémy

Konečný uživatel: Ministerstvo životního prostředí

Název projektu: Vliv světelného znečištění na citlivé druhy živočichů, ekosystémy a krajinný ráz

Číslo projektu: TITSMZP012

Řešitel projektu: Česká zemědělská univerzita v Praze

Doba řešení: 1.11.2021 – 31.12.2024

Důvěrnost a dostupnost: veřejný, přístupný

Informace o řešitelském týmu:

Tomáš Kadlec, Tomáš Bartonička, Zdeňka Bendová, František Dřížd'al, Filip Harabiš, Hana Konrádová, Radek Lučan, Lenka Maierová, Aneta Ritz-Radlinská, Petr Zasadil



Program veřejných zakázek v aplikovaném výzkumu a inovacích pro potřeby státní správy BETA2 byl schválen usnesením vlády České republiky č. 278 ze dne 30. 3. 2016 a je zaměřen na podporu aplikovaného výzkumu a inovací pro potřeby orgánů státní správy. Poskytovatelem finančních prostředků je Technologická agentura ČR.

Účel metodiky

Za světelné znečištění (SZ) je považováno uměle vytvořené světlo zvyšující přirozenou úroveň světla ve venkovním prostředí. V obecnějším pojetí lze SZ chápat jako souhrnné označení všech negativních jevů, které s sebou umělé osvětlení přináší. Tato metodika poskytuje výchozí rámec pro hodnocení a minimalizaci vlivu SZ na vybrané aspekty z hlediska ochrany přírody a krajiny, jako složky životního prostředí. Cílem metodiky konkrétně je identifikovat a minimalizovat negativní dopady umělého světla na společenstva živočichů.

Metodika je navržena pro použití v rámci procesů EIA (*Environmental Impact Assessment*) a SEA (*Strategic Environmental Impact Assessment*). Umožňuje hodnotit ve vztahu k řešeným druhům, resp. společenstvům živočichů dopady různých typů staveb generujících světelné znečištění, jako jsou například sportoviště a rekreační areály, průmyslové areály, liniové nebo jiné stavby, veřejné osvětlení atd. Speciální pozornost je věnována šíření světla mimo vlastní areály těchto objektů či vymezené osvětlované oblasti. Navrženou metodiku hodnocení vlivu SZ na živočichy lze využít rovněž jako podpůrný nástroj při uplatňování obecné ochrany ve smyslu § 5 odst. 1 zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, rozhodování v rámci procesu posuzování žádostí o výjimky ze zákazů podle § 56 zákona o ochraně přírody a krajiny a rovněž v rámci vydání Jednotného environmentálního stanoviska podle zákona č. 148/2023 Sb., o jednotném environmentálním stanovisku, ve znění pozdějších předpisů, a to na základě odborně podloženého vyhodnocení, zda daný záměr může mít negativní dopad na zvláště chráněné druhy živočichů. Hodnocení SZ je tedy významnou součástí posuzování vlivů na životní prostředí a přispívá tak k naplnění požadavku na ochranu biotopu těchto druhů a životních projevů.

V praxi může být metodika využita při plánování nové infrastruktury nebo při rekonstrukci stávajících objektů, zahrnujících zmíněná sportoviště a rekreační střediska, průmyslové zóny nebo kupříkladu výstavbu nových obytných čtvrtí. Metodika využívá zón světelného prostředí definovaných normou ČSN 36 0459 – Omezování nežádoucích účinků venkovního osvětlení (s platností od 1. 3. 2023).

Metodika rozlišuje dva základní případy hodnocení SZ:

Stávající osvětlení: V tomto případě se měří současné světelné podmínky v dané lokalitě. Cílem je získat přesný obraz o tom, jaké jsou aktuální úrovně SZ a jak ovlivňují životní prostředí.

Nově vznikající zdroje osvětlení: Zde se hodnotí plánované vlastnosti nových světelných zdrojů. Analýza zahrnuje předpokládané parametry osvětlení, jako jsou intenzita, směr a rozsah šíření světla. Cílem je zajistit, aby nové osvětlení co nejméně narušovalo přírodní prostředí a respektovalo potřeby ochrany přírody.

Seznam použitých zkratk

AVIF – faunistická databáze České společnosti ornitologické

CR, EN, RE – kategorie ohroženosti druhů hodnocených v červených seznamech podle kritérií Mezinárodního svazu ochrany přírody IUCN (CR – kriticky ohrožený / *critically endangered*, EN – ohrožený / *endangered*, RE – regionálně vymřelý / *regionally extinct*)

CHKO – chráněná krajinná oblast

ČESON – Česká společnost pro ochranu netopýrů

ČSN – česká technická norma

EIA – posuzování vlivů a koncepcí na životní prostředí (*Environmental Impact Assessment*)

EVL – evropsky významná lokalita

LED – elektroluminiscenční dioda (*light-emitting diode*)

MP3 – Music Protocol 3

NDOP – Nálezová databáze ochrany přírody spravované Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR

NP – národní park

SEA – strategické posuzování vlivů na životní prostředí (strategická EIA; *Strategic Environmental Impact Assessment*)

SZ – světelné znečištění

UV – ultrafialové záření (*ultraviolet radiation*)

WMA – Windows Media Audio

Obsah

1. Obecná část	6
1.1 Stávající metodologie hodnocení úrovně a vlivu světelného znečištění a její limity	6
1.2 Zásadní legislativní nástroje pro řešení vlivu světelného znečištění v zahraničí	7
1.3 Legislativní nástroje pro řešení vlivu světelného znečištění v České republice.....	8
1.4 Základní terminologie	9
1.5 Interakce světelného znečištění s biologickými systémy	12
2. Speciální část – Taxony citlivé na světelné znečištění (s vazbou na území ČR).....	15
2.1 Modelové skupiny živočichů citlivých na světelné znečištění.....	16
2.2 Kategorizace citlivosti živočichů na světelné znečištění.....	24
2.2.1 Vybrané taxony značně citlivé na světelné znečištění	25
3. Hodnocení vlivu světelného znečištění na živočichy.....	33
3.1 Vstupní data pro hodnocení.....	33
3.1.1 Stanovení kategorie zonace světelného prostředí dle normy ČSN 36 0459.....	33
3.1.2 Parametry venkovních zdrojů umělého světla.....	34
3.1.3 Data o rozšíření živočichů citlivých na světelné znečištění	36
3.2 Stanovení kritických hodnot osvětlení pro jednotlivé zóny světelného prostředí z hlediska citlivosti živočichů	42
3.3 Přehodnocení kritických hodnot světelného prostředí na základě získaných faunistických dat .	44
4. Opatření pro minimalizaci vlivu světelného znečištění	44
5. Závěr.....	50
6. Literatura	51
7. Seznam příloh	60
Příloha 1	61
Příloha 2	63

1. Obecná část

Umělé osvětlení ve venkovním prostředí slouží lidem k zajištění světelných podmínek umožňujících zrakovou orientaci, potřebnou pro bezpečnost dopravy, osob a majetku, pro pracovní a sportovní činnosti nebo zábavu ve večerním či nočním prostředí. Tyto světelné podmínky jsou zajišťovány v rámci vymezené osvětlované oblasti. Umělé světlo, které dopadá mimo osvětlovanou oblast, stejně jako nadměrné osvětlení, je však nežádoucí a negativně ovlivňuje okolní prostředí. Světlo působí na biologické funkce všech živých organismů od jednobuněčných po člověka (Rich & Longcore 2006). Zatímco denní světlo má pozitivní účinky, umělé světlo během noci působí na organismus negativně. Zvýšená úroveň umělého osvětlení v noční době komplikuje synchronizaci biorytmů živých organismů se slunečním cyklem, což negativně ovlivňuje jejich zdraví a fyziologické procesy. Zároveň také narušuje jejich cirkannuální rytmy spojené s reprodukcí, nástupem zimního spánku či načasováním migrace.

1.1 Stávající metodologie hodnocení úrovně a vlivu světelného znečištění a její limity

Metodologie hodnocení úrovně SZ je intenzivně řešena na celosvětové úrovni. V nedávné době byly publikovány práce, které revidují současné dostupné metodiky (Kocifaj et al. 2023, Mander et al. 2023), a které hovoří o monitorování SZ jak z povrchu Země, tak pomocí satelitů. Tyto studie popisují nejrozšířenější technická řešení, definují ale také problémy, které znesnadňují přímou identifikaci konkrétních světelných zdrojů a nepomáhají tedy příliš cílenému řešení na úrovni místních samospráv. Na úrovni EU i v ČR v tuto chvíli běží nové projekty, které vytvářejí pokročilé metodologie pro měření příspěvků jednotlivých světelných zdrojů k celkové osvětlenosti nočního prostředí (např. doc. P. Baxant, VUT Brno, TAČR ID: SS05010159, Výzkum a vývoj v oblasti měření a hodnocení umělého světla v nočním prostředí a jeho vlivu na živé organismy a životní prostředí jako celku).

Vytvoření metodologie pro hodnocení dopadů SZ na živé organismy vyžaduje mezioborový přístup a pečlivé zvážení řady dalších antropogenních vlivů, jako jsou hluk, znečištění ovzduší a vody, které ztěžují izolaci efektu SZ. Vytvoření jednoduché metodologie také komplikuje zásadní vliv SZ na cirkadiánní rytmy a hormonální regulaci, což se projevuje změnami v sezónních fyziologických procesech rostlin i živočichů. Tyto změny mohou být pozorovány až po několika letech.

Vzhledem k dynamické proměně krajiny, ať už v souvislosti s lidskou činností či klimatickými změnami, chybí pro optimální využití metodologie ve venkovním prostředí odpovídající kontrolní podmínky. Jedná se zejména o stabilní oblasti nezasazené lidskou činností, které by navíc odpovídaly rozlohou, nadmořskou výškou a krajinným rozložením. Pouze v takových podmínkách by bylo možné sledovat vliv narůstajícího SZ jako jediné proměnné.

Současný výzkum dopadů SZ je orientován především na kontrolované laboratorní studie, kde lze systematicky analyzovat okamžité a střednědobé dopady světelných instalací určených pro venkovní prostory na jednotlivé reprezentativní organismy. Z těchto studií jednoznačně vyplývá, že světlo v noci představuje významný znečišťující faktor, který zásadně přispívá k antropogenní zátěži přírodního prostředí. Tento fakt je v poslední době reflektován Evropskou komisí, která vytvořila výzkumné programové výzvy zaměřené na výzkum

a management dopadů SZ na mořské i suchozemské živočichy včetně člověka (HORIZON-CL6-2023-BIODIV-01-2; HORIZON-HLTH-2024-ENVHLTH-02).

1.2 Zásadní legislativní nástroje pro řešení vlivu světelného znečištění v zahraničí

Evropa patří mezi oblasti nejvíce postižené světelným znečištěním, i když tento fenomén ovlivňuje všechny kontinenty. Analýza dat z družicových snímků ukazuje, že SZ postihuje 83% světové populace, přičemž v Evropě a USA je to dokonce 99 %. V důsledku toho je například Mléčná dráha neviditelná pro přibližně 60 % obyvatel Evropy (Falchi et al. 2016).

První zákon na světě zaměřený na regulaci SZ byl přijat v roce 1988 v Chile (Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica – ochrana noční oblohy, biodiverzity i lidského zdraví přes omezení toku světla směřujícího vzhůru, nadměrného osvětlení a rušivých světelných spekter, nastavení limitů pro jednotlivé typy osvětlení). Dalšími příklady jsou Jižní Korea, která od roku 2010 uplatňuje „Ordinance on the Prevention and Management of Light Pollution“ (pro urbánní prostředí definuje tzv. zóny řízení světelného prostředí, pro které stanovuje maximální hodnoty osvětlenosti, reguluje provozní režim a časová omezení veřejného osvětlení v nočních hodinách), a Austrálie, která vydala normu „AS 4282-1997 Control of the Obtrusive Effects of Outdoor Lighting“, jež stanovuje kompromis mezi funkcí osvětlení a ochranou životního prostředí, místním úřadům doporučuje, jak realizovat veřejné osvětlení – z hlediska stanovení limitních hodnot pro tok, směřování a intenzitu světla – s minimálním dopadem na zdraví a komfort obyvatel a místní ekosystémy.

V posledních letech se zvyšuje tlak na legislativní úpravu SZ, aby evropské státy byly schopny ochránit své občany a krajinu před jeho negativními dopady. Příkladem progresivních legislativních řešení jsou zákony ve Slovinsku (Uradni list RS, št. 39/06 – uradno prečišćeno besedilo, 49/06 – ZMetD, 66/06 – odl. US in 33/07 – ZPNačrt; zákon o ochraně nočního prostředí z roku 2007 a zákon o omezení SZ z roku 2010 – definuje svítidla šetrná k životnímu prostředí s nulovou tolerancí osvětlení nad horizont, s určitými výjimkami pro architektonické osvětlení, stanovuje také limity pro spotřebu energie veřejného osvětlení, upravuje možnosti osvětlení jednotlivých typů zařízení a budov), Chorvatsku (NN 14/2019 – Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja; zákon o ochraně před světelným znečištěním – z hlediska ochrany lidského zdraví, biodiverzity, ekologie a udržitelného rozvoje stanovuje cíle pro obecné snížení SZ, pro venkovní osvětlení definuje tzv. ekologické osvětlení – 0 % osvětlení nad horizont, teplota chromatičnosti menší než 2700 K – jako jedinou povolenou formu venkovního osvětlení) a Francii (Arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses; zákon č. 2013-619 o ochraně nočního prostředí – stanovuje povinné technické požadavky na venkovní osvětlení, podle typu osvětlení a jeho kontextu zavádí tlumení až úplné zhasnutí osvětlení v nočních hodinách, s přísnějšími limity pro citlivé přírodní lokality a lokality s observatoři, pro architektonické osvětlení zavádí limity intenzity, doby provozu a doporučuje používání tlumeného světla a časovačů).

Tyto právní úpravy patří mezi nejpokročilejší a mohou sloužit jako inspirace pro normotvorbu v České republice. Významné regionální legislativy existují také v Itálii (např. Lombardie – Zákon č. 17/2000; Legge Regionale 27 marzo 2000, n. 17 – Misura urgente in tema di risparmio energetico ad uso di illuminazione esterna e di lotta all'inquinamento luminoso, Emilia-Romagna – Zákon č. 113/2003; Legge Regionale 29 settembre 2003, n. 113

– výrazně omezuje svícení světelných zdrojů nad horizont, definuje technické normy pro osvětlení z hlediska orientace a intenzity světla, typů povolených svítidel, vymezuje zóny zvláštní ochrany – chráněné oblasti, okolí observatoří – s přísněji nastavenými pravidly), Katalánsku (zákon o osvětlení z roku 2001; Llei 6/2001, del 31 de maig, d'ordenació ambiental de l'enllumenat per a la protecció del medi nocturn – požaduje racionálně navržené a provozované osvětlení s minimálním rozptylem světla mimo osvětlovanou plochu, omezuje světlo vstupující do citlivých oblastí, pomocí vhodného nasměrování svítidel, použití teplejších barev nebo vypínání světla v nočních hodinách omezuje nebo přímo zakazuje zbytečnou noční reklamu nebo osvětlení památek pokud není nezbytné) a Spojeném království („Clean Neighbourhoods and Environment Act“ z roku 2005 – pro řešení konkrétních stížností a nepříznivých dopadů rušivého umělého osvětlení umožňuje místním úřadům vyžadovat jeho nápravu nebo odstranění, nespecifikuje konkrétní technické standardy, ale umožňuje individuální posouzení každé konkrétní situace).

V Evropě i v České republice existuje řada iniciativ mimo legislativní rámec, které se zaměřují na řešení nadměrného nočního osvětlení na lokální úrovni, čímž vytvářejí příklady dobré praxe v oblasti ochrany nočního prostředí a technických řešení. Na území Evropy lze tak najít na 17 rezervací a 16 parků s tmavou oblohou, zejména na území Velké Británie (www.darksky.org). V České republice se nachází tři oblasti s tmavou oblohou – Manětínská, Beskydská a Jizerská – k nimž patrně přibude čtvrtá – Podyjská. Tyto oblasti představují vynikající kompromis mezi lidskými potřebami a ochranou nočního prostředí (www.svetelneznecistenici.cz).

1.3 Legislativní nástroje pro řešení vlivu světelného znečištění v České republice

Česká republika byla jednou z prvních zemí, která přijala právní úpravu SZ (obsažena v zákoně č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší), ale svou vůdčí pozici nevyužila, protože novela zákona (č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší) některé části týkající se SZ vypustila. Ačkoliv dílčí aktivity jako jsou doporučení, příručky či dobrovolné a osvětlové aktivity s cílem omezit SZ již probíhají na různých úrovních (státní správa, samospráva, akademická obec i občanské iniciativy), v České republice doposud chybí dostatečně silné institucionální nástroje, které by stanovily jasná pravidla pro maximální přípustnou míru umělého osvětlení.

Vnitrostátní právní úprava SZ je doposud nekoncepční a roztržitá. SZ prokazatelně patří mezi projevy, jež mohou poškozovat životaschopnost jednotlivých populací nebo správnou funkci ekosystémů. **Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny**, ve znění pozdějších předpisů, zakazuje v rámci § 16 odst. 1 umisťovat nekryté zdroje světla na území národních parků. Ve vztahu k ochraně rostlin a živočichů pak zákon obsahuje obecnější úpravu (bez výslovného uvedení vazby na SZ), která zahrnuje jak ochranu druhů, jejich populací a ekosystémů, jichž jsou součástí, jako celku (tzv. obecná ochrana dle § 5 odst. 1 zákona o ochraně přírody a krajiny) před zásahy, které by vedly k jejich zániku, narušení rozmnožovacích schopností atp., tak ochranu jednotlivých jedinců zvláště chráněných druhů rostlin a živočichů (podle § 49 a 50 zákona) před škodlivými zásahy do jejich přirozeného vývoje, před ničením usmrcováním nebo vyrušováním apod. V rámci obecné ochrany jsou podle § 5 odst. 1 zákona orgány ochrany přírody zmocněny omezit rušivé vlivy, které by měly uvedené dopady, stanovením závazných podmínek. V případě zvláště chráněných druhů jsou škodlivé zásahy do přirozeného vývoje (což může být dle nároků jednotlivých druhů a dopadů

osvětlení i rušení světelným znečištěním) přímo zákonem zakázány a činnosti, které by vedly k jejich porušení je možné provádět pouze na základě povolení výjimky z těchto zákazů dle § 56 zákona o ochraně přírody a krajiny. Významným evropským závazkem reflektovaným do zákona o ochraně přírody krajiny je ochrana vybraných druh světelného znečištění prostřednictvím Směrnice Rady 92/43/EHS ze dne 21. května 1992 o ochraně přírodních stanovišť, volně žijících živočichů a planě rostoucích rostlin (směrnice o stanovištích) a Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/147/ES ze dne 30. listopadu 2009 o ochraně volně žijících ptáků (směrnice o ptácích). Z článku 6.3 směrnice o stanovištích plyne povinnost posoudit vlivy na předměty ochrany lokalit soustavy Natura 2000, tuto povinnost česká právní úprava promítá do ustanovení § 45h a § 45i zákona č. 114/1992 Sb.

S ohledem na výše zmíněná ustanovení by vlivy SZ na rostliny, živočichy a ekosystémy měly být posouzeny v rámci procesu EIA¹, pro který byl v roce 2023 aktualizován metodický pokyn právě ve vztahu k SZ, či v rámci SEA. V případě vlivů, které mají dopady na zvláště chráněné druhy (ať již vlivů zjištěných v rámci EIA, či zřejmých z podoby navrhovaných záměrů apod.) je nezbytné se jimi zabývat při vydávání výjimek ze zákazů podle § 56 zákona o ochraně přírody a krajiny nebo stanovení podmínek k omezení rušivé činnosti dle § 5 odst. 1 tohoto zákona. Od března 2023 se podrobněji tématem zabývá česká technická norma ČSN 36 0459 – Omezování nežádoucích účinků venkovního osvětlení, která určuje zóny světelného prostředí a přiřazuje jim maximální hodnoty parametrů. Následně bylo světelné znečištění zahrnuto i do vyhlášky č. 146/2024 Sb., o požadavcích na výstavbu. Od října 2025 je světelné znečištění součástí Rámcových vodítek pro implementaci zásady „významně nepoškozovat“ životní prostředí (DNSH) a prověřování infrastruktury z hlediska klimatického dopadu v EU fondech v ČR.

1.4 Základní terminologie

Světelné znečištění

Česká společnost pro osvětlování (ČSO) Brno, p.s., stanovila v říjnu 2023 následující definici SZ ve znění: Světelné znečištění je uměle vytvořené světlo zvyšující přirozenou úroveň světla ve venkovním prostředí. Tuto definici schválila v lednu 2024 Komise pro životní prostředí Akademie věd ČR a vzali ji na vědomí i zástupci MŽP. V obecnějším pojetí lze SZ chápat jako souhrnné označení všech negativních jevů, které s sebou umělé osvětlení přináší.

Použité termíny v definici mají tento význam:

Světlo: elektromagnetické záření v pásmu 380–780 nm; v souladu s termínem 17-21-013 *light* a 17-21-003 *visible radiation* dle CIE S 017:2020 ILV: *International Lighting Vocabulary*.

Uměle vytvořené světlo: světlo produkované technologiemi a technologickými procesy vytvořenými člověkem, obecně zahrnuje jakékoliv světlo, které vzniklo mimo rámec přirozených procesů ve vesmíru, včetně přírodních procesů na planetě Zemi. Významově odpovídá též termínu “nepřirozené”.

¹ Pro proces EIA byl v září 2023 aktualizován [Metodický pokyn k předcházení a snižování světelného znečištění](#)

Svícení: osvětlení veřejného prostoru pomocí svítidel. Definuje směr svícení vůči ploše, která má být osvětlena.

Boční svícení: asymetrické svícení, při kterém světelný tok dopadá z boku vůči osvětlované ploše. Svítidla jsou při bočním svícení umístěna mimo osu osvětlované plochy. V nesprávném nastavení tak světlo může dopadat i na místa určená k osvětlení.

Přirozená úroveň: hodnoty či rozsah hodnot, které nastávají v přírodním prostředí bez vlivu technologií, technologických procesů a zásahů vytvořených člověkem.

Venkovní prostředí: prostředí vně staveb a zařízení budovaných pro potřeby člověka. Obvykle se vymezuje interiérem, který je stavebně uzavřený nebo je navržen jako uzavíratelný. V případech, kdy se jedná o stavbu, která nemá jednoznačně oddělený vnitřní a vnější prostor např. z hlediska přístupu fauny či flóry, je možné v rámci principu předběžné opatrnosti považovat takový prostor za “venkovní” pro účely související se světelným znečištěním.

Hluboká noc: období největší přirozené tmy během noci v čase mezi koncem astronomického soumraku a začátkem astronomického svítání následujícího dne, kdy je intenzita přirozeného světla minimální a během kterého vrcholí biorytmy nočních organismů. Toto období je charakterizováno maximální aktivitou mnoha nočních druhů, minimálním rušením antropogenním hlukem a světlem a nejvýraznějším kontrastem mezi přirozeným prostředím a účinky umělého nočního osvětlení.

Základní jednotky a veličiny

Jednou ze základních jednotek soustavy SI je kandela (cd), jednotka svítivosti, jež vychází ze standardní fotometrické křivky (V_λ) pro normálního fotometrického pozorovatele.

- *Svítivost* [cd] je světelný tok vyzařovaný bodovým zdrojem v prostorovém úhlu do určitého směru.
- *Světelný tok* [lm = cd.sr] je zářivý tok [W] vyprodukovaný zdrojem vzhledem ke spektrální odezvě lidského oka.
- *Osvětlenost* neboli *intenzita osvětlení* [lx = lm.m⁻²] je světelný tok dopadající na 1 m².
- *Jas* [cd.m⁻²] je měrnou veličinou svítivosti plošného zdroje, jde tedy o světelný tok z vnímané plochy do určitého úhlu.
- *Blue content* [Bc] je podíl spektrální distribuce energie ve vyzařovaném světle v oblasti 380–500 nm. Tento parametr vychází ze současných trendů ze zahraničí, kdy se jednotlivé státy z důvodů zlepšení kvality životního prostředí pro obyvatele a ochrany přírody přiklání k používání světelných zdrojů s velmi nízkým podílem modré složky. Velmi často se pro vyjádření podílu modré složky používá tzv. G-index (Galadí-Enríquez, 2017), z něhož je parametr U500 odvozen. Podobná strategie regulace světelného znečištění je realizována i na území Evropské unie (v rámci tzv. *Green Public Procurement*).

Zóny světelného prostředí

Norma ČSN 36 0459 – Omezování nežádoucích účinků venkovního osvětlení definuje tzv. Zóny světelného prostředí, které nahrazují dříve používané zóny životního

prostředí². Termín zóna světelného prostředí je konkrétnější, srozumitelnější mimo obor světelné techniky a lépe vystihuje účel zón. Z hlediska citlivosti na noční osvětlení se rozlišuje pět zón světelného prostředí: Z0, Z1, Z2, Z3, Z4 tak, aby byla zachována kompatibilita se zónami životního prostředí v ČSN EN 12464-2 (Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 2: Venkovní pracovní prostory) a ČSN EN 12193 (Světlo a osvětlení – Osvětlení sportovišť) i v dokumentu CIE 150:2017 (*Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light, 2nd Edition*)³. Nejcitlivější prostředí a nejprísnější požadavky na omezení nežádoucích účinků venkovního osvětlení jsou v zóně Z0, nejméně přísné požadavky jsou v zóně Z4.

Pro zohlednění antropogenních aspektů se pro účely této normy obce na území České republiky dělí do tří skupin (O1, O2, O3) a definují se chráněné oblasti. Toto členění obcí vychází z právních předpisů (zákon č. 128/2000 Sb., o obcích (obecní zřízení), ve znění pozdějších předpisů).

Z0 – velmi tmavé světelné prostředí

Jedná se o přirozeně velmi tmavou zónu, která se tradičně nachází v nezastavěném území, v přírodně zachovalých územích. Jako chráněné oblasti ve smyslu normy ČSN 36 0459 se považuje území národních parků a jejich ochranných pásem, chráněných krajinných oblastí a dále přírodních parků a oblastí tmavé oblohy. Na základě této normy lze mezi chráněné oblasti v odůvodněných případech řadit i národní přírodní rezervace, přírodní rezervace, národní přírodní památky, přírodní památky a jejich ochranná pásma a lokality soustavy Natura 2000, stanovených v zákoně o ochraně přírody a krajiny. V této světelné zóně není žádoucí přidávat či posilovat světelné zdroje, u existující zvažít jejich nezbytnost, případně navrhnout redukci. Výměny a modifikace světelných zdrojů jsou možné pouze v případech, kdy bude možné použít svítidla se zdroji s nižším Bc, nižším výkonem, vyšší třídou svítivosti nebo se snížením úrovně osvětlení v časových úsecích.

Z1 – tmavé světelné prostředí

Ostatní nezastavěná území a plochy zeleně přírodního charakteru v zastavěném území. Jako plocha zeleně přírodního charakteru se považuje území plochy zeleně, které svým rozsahem, charakterem a skladbou odpovídají přírodě blízkému společenstvu (zpravidla území přírodního nebo přírodě blízkého charakteru, které je v městské struktuře významné svou rozlohou nebo prostorovým uspořádáním). Tato zóna je přirozeně tmavá a často sousedí nebo leží přímo uvnitř zastavěných oblastí.

² Zóny životního prostředí se označují třídami (E0... E4) v souladu s publikací CIE 150:2017, *Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations*, 2nd Edition. Jde o oblast, kde probíhají nebo jsou plánovány konkrétní činnosti, a kde jsou doporučeny zvláštní požadavky na omezení rušivého světla

³ Pro označení zóny životního prostředí v tomto dokumentu je písmeno E nahrazeno písmenem Z (Z0 až Z4), aby nedošlo ke konfliktním situacím se starším značením E1 až E4 uvedeným v ČSN EN 12464-2 a ČSN EN 12193.

Z2 – málo světlé světelné prostředí

Zastavěná území a zastavitelné plochy v obcích O1 a v okrajových a odloučených částech v obcích O2 a O3. Jako okrajová část obce se považují funkční části a provozní areály, nacházející se mimo centra obcí, zpravidla s rozvolněnou nebo volnou zástavbou s nižším zastoupením vybavenosti, které navazují na nezastavěné území. Jako odloučená část obce (spadající do správního území, např. osady, satelitní zástavba nebo komerční, zemědělské a průmyslové areály) se považuje za část zastavěného území obce, která je prostorově oddělena od jádrového území obce.

Z3 – středně světlé světelné prostředí

Celoměstsky významná centra v obcích O2 a lokální centra a kompaktní vnitřní části v obcích O3. Jako kompaktní vnitřní část města se považuje ucelená část města s kompaktní zástavbou, která navazuje na centrum města a je s ním provozně spojena (zejména městská bloková zástavba v centrech měst a kolem významných městských tříd). Zóna nesousedí s nezastavěným územím vně zastavěného území sídel, tzv. volnou krajinou (neplatí pro části nezastavěného území uvnitř sídel).

Z4 – velmi světlé světelné prostředí

Celoměstsky významná centra v obcích O3. Jako celoměstsky významné centrum se považuje zóna města, kumulující všechny městské funkce, ve které jsou významně zastoupeny plochy a prostory veřejného vybavení sloužícího obyvatelům města a ostatních obcí v jeho spádovém území (nejčastěji se jedná o historická jádra měst).

1.5 Interakce světelného znečištění s biologickými systémy

Světelné znečištění zasahuje do širokého spektra fyziologických, behaviorálních i ekologických procesů. Jeho účinky se projevují jak přímým narušením různých typů chování jednotlivých organismů, tak nepřímo změnami v jejich cirkadiánním systému a hormonálních cyklech a vzájemných interakcích a následně i v celkové funkci ekosystémů.

Přímé účinky SZ na živočišná společenstva zahrnují:

- a) **Narušení noční aktivity a chování.** Noční živočichové, přizpůsobení pohybu ve tmě při hledání potravy, komunikaci a vyhýbání se predátorům, jsou zvláště zranitelní vůči SZ. Umělé osvětlení narušuje jejich přirozené chování, vede např. k nižší efektivitě hledání potravy, změněným rituálům páření a změnám v dynamice predátor-kořist (Cabrera-Cruz et al. 2018, Owens et al. 2020). Zvláště citlivé jsou druhy hmyzu, u nichž SZ vyvolává negativní nebo pozitivní fototaxi, což vede k jejich hromadné mortalitě, narušení potravních vazeb a následné změně fungování celých společenstev. Průnik umělého světla okny do interiérů zároveň snižuje kvalitu spánku člověka.
- b) **Vytváření umělých bariér přes migrační cesty a narušení prostorové orientace.** Mnoho druhů se při migraci a územních přesunech spoléhá na nebeské orientační body, jako jsou hvězdy a měsíční světlo. SZ může tyto živočichy dezorientovat, což vede k chybám v navigaci, fragmentaci habitatu a izolaci populace (Cabrera-Cruz et al. 2018). Typickým problémem jsou např. osvětlené mosty nebo dálnice, či výškové budovy,

které vytváří nepřekonatelné bariéry pro mnoho nočních živočichů. Tříští tak jejich populace do málo propojených nebo zcela nepropojených částí, vedou k dezorientaci v noční krajině a často až k úhynu velkého množství jedinců.

Nepřímé důsledky SZ na živočišná společenstva zahrnují:

a) *Narušení cirkadiánního systému a fyziologických funkcí.*

Živočichové i rostliny mají cirkadiánní rytmy, řízené přirozeným cyklem světla a tmy, které regulují produkci hormonů, metabolismus a imunitní funkce. SZ tyto rytmy narušuje, což se odráží ve zdravotní kondici jednotlivce i dynamice celých populací (Gaston et al. 2013, Sanders et al. 2021). Mezi specifické dopady patří např. změny v hormonálních rytmech vedoucí k poruchám reprodukce, nebo k odchylkám v načasování podzimní migrace či zimního spánku a k ohrožení populací citlivých živočichů. U rostlin dochází ke špatné synchronizaci jejich vývojových fází s průběhem počasí a s přirozenou změnou délky světelného dne. SZ také ovlivňuje dobu aktivity živočichů – dochází k prodlužování aktivity denních a zkracování aktivity nočních živočichů, což zhoršuje kvalitu jejich spánku, a celkový zdravotní stav dotčených jedinců (Yadav et al. 2022).

b) *Narušení interakcí živočichů s rostlinami.*

SZ narušuje mimo jiné i důležité fyziologické a vývojové procesy rostlin (např. regulace kvetení, redukce fotosyntetické účinnosti), čímž ovlivňují celkovou funkci ekosystémů. Účinky SZ na rostlinná společenstva nejsou izolované, ale jsou propojené s interakcemi u živočichů. Například narušení opylovací dynamiky kvůli změnám v období kvetení může ovlivnit reprodukční úspěch rostlin a diverzitu společenstev, a to s důsledky pro celý ekosystém (Gaston et al. 2013, Heinen 2021).

Biodiverzita a funkčnost ekosystému

Kumulativní účinky SZ na rostlinná i živočišná společenstva se odrážejí v ekosystémech, ovlivňují biodiverzitu a klíčové ekologické procesy. Narušení interakcí mezi různě citlivými skupinami organismů – například mezi rostlinami a jejich opylovači nebo mezi rostlinami a býložravci – přispívá k mezidruhovým posunům ve složení ekosystémů, včetně zvýhodnění invazních druhů, a ke snížení celkové biodiverzity. To může oslabit odolnost ekosystému a jeho schopnost adaptace. Narušení dynamiky vztahu predátor – kořist a změněné chování při hledání potravy může narušit trofické interakce, potenciálně destabilizovat potravní sítě a měnit tok energie v ekosystémech (shrnutí v Sanders et al. 2021, detailněji pro vybrané skupiny organismů viz Příloha 4).

Kumulativní a synergické vlivy

Světelné znečištění může působit v synergii i s dalšími typy znečištění (např. hlukovým znečištěním) či přímým rušením antropogenního původu. Většina studií ukazuje, že kombinací světelného a hlukového znečištění dochází k výraznějším dopadům na výskyt, početnost a chování modelových druhů na lokalitě. Oba efekty mají negativní dopady i samostatně, ale pokud oba stresory působí současně, jejich účinky se zesilují, a vedou k vyššímu poklesu četností (Mathiapparagam et al. 2024) a změnám v druhové diverzitě (Grunst et al. 2021).

V případě některých druhů se negativní účinky SZ projevují až za působení dalších stresorů v prostředí (Grunst et al. 2021). Synergický efekt SZ s jinými stresovými faktory ovlivňuje také konkrétní jedince, u nichž dochází ke změnám spánkových vzorců, chování, načasování biorytmů apod. (Dominoni et al. 2020, Ritz-Radlinská et al. 2025 aj.). V některých případech ale může světelné znečištění i kompenzovat negativní vlivy hlukového znečištění, např. tím, že posunem aktivity do nočních nebo časně ranních hodin se tyto jedinci alespoň částečně vyhnou dopadům hlukového znečištění. Tento na první pohled pozitivní efekt je ale zpravidla vykoupen mnohem většími dopady na fyziologii zasažených jedinců, vysokou hladinu stresových hormonů apod.

Některé studie poukazují i na interakce s dalšími typy znečištění. Jedinci vystaveni negativním účinkům SZ jsou citlivější vůči toxinům v prostředí a přízemnímu ozónu (Alipour, 2022). V některých případech mohou být migrující jedinci vlivem silného umělého světla přitahováni do míst s vyšší koncentrací toxinů v prostředí nebo v potravních řetězcích (např. přístavy, osvětlené průmyslové areály; La Sorte et al. 2023).

Navíc, většina míst s vyšším podílem SZ je typická také vysokou úrovní urbanizace. Kromě změn mikroklimatických podmínek (např. vyšší teploty uvnitř zástavby) dochází v silně urbanizovaných oblastech také ke ztrátě přirozeného prostředí. Případné SZ v posledních fragmentech přirozených biotopů významně ovlivní možnost citlivých druhů tato stanoviště plnohodnotně využívat. Výrazně vyšší míra přímého rušení v městském prostředí navíc u řady druhů ptáků způsobuje zvýšenou ztrátu plachosti (Nepali et al. 2024, Samia et al. 2017). Za nočních podmínek se vlivem SZ může tato snížená míra plachosti projevovat ještě výrazněji (Weston & Yokochi 2025).

2. Speciální část – Taxony citlivé na světelné znečištění (s vazbou na území ČR)

Na základě asi nejucelenějšího seznamu všech druhů živočichů byl na území České republiky recentně potvrzen výskyt na 34 tisíc druhů bezobratlých a necelých 600 druhů obratlovců (BioLib <http://www.biolib.cz/cz/checklistsspec>). Odhad celkové diverzity živočichů předpokládá výskyt zhruba 40 tisíc druhů. Současný výzkum vlivu jednotlivých světelných spekter a jejich intenzity pracuje především s modelovými druhy, se kterými se relativně snadno manipuluje, nebo o jejich fototaxi existuje bezpočet pozorování, a tudíž byly zvoleny jako vhodné modelové druhy pro studium vlivu SZ (světlušky, noční motýli, letouni, některé druhy ptáků). U dalších skupin (pavouci, ptáci, letouni) lze na základě řady terénních a vlastních pozorování signifikantní vliv SZ předpokládat. Studie zkoumající přesah vlivu SZ napříč trofickými úrovněmi ekosystémů dokládají kaskádový charakter tohoto efektu. Světelné znečištění tak má nepřímou cestou vliv i na další klíčové taxony (např. Knop et al. 2017, Sanders et al. 2015).

Nejčastěji zkoumanou skupinou bezobratlých ve vztahu k SZ jsou členovci (Arthropoda), zejména hmyz (Insecta), pro které vědecké studie prokazují vliv určitého světelného spektra nebo intenzity světla na daný zkoumaný taxon (Owens & Lewis 2018, Owens et al. 2020). Z tohoto důvodu se tato metodika z hlediska bezobratlých zaměřuje na tuto skupinu, resp. na konkrétní řady hmyzu.

U podkmene klepítkatci (Arachnida) existují základní informace o vlivu světla na zástupce pavouků (Araneida; např. Falcón et al. 2020, Willmott et al. 2019), sekáčů (Opiliones; Davies et al. 2012) a některých roztočů (Acari; Radwell & Camp 2009). U většiny skupin se předpokládá negativní vliv SZ, ale u některých skupin pavouků byl pozorován benefit v podobě agregace potravy v blízkosti lamp veřejného osvětlení (Manfrin et al. 2018).

U podkmene korýši (Crustacea) jsou k dispozici informace o negativní fototaxi některých řádů (Isopoda) a dá se předpokládat negativní vliv SZ (Duarte et al. 2019). Podobné reakce na SZ jsou známy i pro zástupce podkmene stonožkovci (Myriapoda) (Spoelstra et al. 2023).

Většina studií se zaměřuje na modelové skupiny podkmene šestinozí (Hexapoda), a to především na třídu hmyz (Insecta). Pro několik řádů lze vyhodnotit nejen vliv umělého světelného zdroje o intenzitě v řádech luxů až desítek luxů, ale často jsou k dispozici i základní informace o vlivu jednotlivých světelných spekter. Zásadní vliv na fototaxi jedinců má UV složka spektra, která způsobuje dezorientaci, a je tak žádoucí právě tato spektra eliminovat (Owens & Lewis 2018). Týká se to především řádu motýli (Lepidoptera; např. Brehm et al. 2021), ale i jiných řádů. Výjimkou tvoří zástupci čeledi světluškovití (Lampyridae), kteří jako jediná skupina hmyzu na území České republiky používají světelnou komunikaci a jsou citliví především na červenou složku spektra (viz Příloha 3, ale také Booth et al. 2004, Owens & Lewis 2021a). Kromě výrazně zhoršené orientace a komunikace jedinců světlušek hraje klíčovou roli změna intenzity predačního tlaku v tmavé fázi dne (Owens & Lewis 2021b).

Podobný efekt lze pozorovat také u obratlovců (Vertebrata). Např. netopýr hvízdavý (*Pipistrellus pipistrellus*) a někteří další zástupci řádu letouni (Chiroptera) mohou profitovat díky agregaci potravy v blízkosti zdrojů SZ. Jiné druhy jako netopýr velký (*Myotis myotis*) se místům s vyšší intenzitou osvětlení vyhýbají a předpokládá se na ně negativní vliv SZ. Celkově je ale vliv SZ na obratlovce především negativní, spojený se změnami distribuce a chování i fyziologickými projevy (změny produkce melatoninu). Variabilita projevů v rámci

jednotlivých spekter světla je pravděpodobně konzistentnější než v případě hmyzu. Negativní vlivy SZ se předpokládají jak v případě ryb (Actinopterygii; např. Brüning et al. 2015), tak i plazů (Reptilia; Perry & Fisher 2008; Příloha 4). V případě obojživelníků (Amphibia) se reakce na SZ mezi studovanými taxony liší, často v návaznosti na jejich ekologické nároky (Dutta 2018). V místech s výskytem SZ lze v některých případech zaznamenat negativní efekty při vyhledávání partnera nebo změny ve výběru vhodného prostředí pro rozmnožování (např. u žab; Dias et al. 2019, Rand et al. 1997, viz ale též Underhill & Höbel 2018). Ovlivněná může být také selekce míst pro lov potravy, či už v pozitivním nebo negativním smyslu (Mazerolle 2004). Osvětlení může také zvýšit detekovatelnost obojživelníků pro predátory či vést k vyššímu riziku kolizí s vozidly (Mazerolle 2004) a ke změnám migračního chování, aktivity a energetické bilance (Dananay & Benard 2018, Touzot et al. 2019, Van Grunsven et al. 2017). V případě imaturních jedinců některých druhů může docházet ke zvýšení aktivity a zpomalení růstu (Dananay & Benard 2018). Ptáci (Aves) a savci (Mammalia, především letouni) jsou z pohledu druhů vyskytujících se v ČR zkoumání častěji. U ptáků se jedná především o vybrané druhy z řádu pěvců (Passeriformes), u kterých existují studie zaměřené jak na behaviorální, tak i fyziologické projevy vlivu SZ. U skupin s noční aktivitou (např. u sov) lze i v městském prostředí doložit preference míst s menší mírou SZ (Orlando & Chamberlain 2022). U dalších taxonů (např. tetřevovití, chrástali aj.) lze výrazný negativní vliv SZ s ohledem na jejich životní prostředí předpokládat. U savců je pozornost zaměřena především na již zmíněný řád letounů (Chiroptera), kde se i vzhledem k noční aktivitě předpokládá řada negativních projevů ovlivňující prostorovou aktivitu i další behaviorální projevy jednotlivých druhů. U několika dalších skupin savců (např. šelem) jsou k dispozici informace dokládající především změny časoprostorových aktivit v oblastech se SZ.

2.1 Modelové skupiny živočichů citlivých na světelné znečištění

Na základě dosavadních poznatků o reakci jednotlivých taxonů na SZ, potažmo na změnu světelných podmínek v jejich životním prostředí, lze pro potřeby hodnocení vlivu SZ uvažovat prozatím pouze o užším výčtu modelových skupin. Jedná se o některé řády hmyzu a vybrané čeledi a vybrané konkrétní druhy ptáků a letounů. I přesto je tento výběr založen na často dílčích poznatcích o konkrétních vlivech umělého světla na jednotlivé jedince. Pro velkou část taxonů jsou známy pouze rušivé efekty vlivem světla a míra fototaktické reakce jedinců, u hmyzu v podstatě jen u dospělců. Jen velmi málo je doposud známo o dopadech na individuální vývoj, fyziologické procesy a projevy chování. Při výběru a hodnocení vlivu SZ na jednotlivé taxony se tak nelze vyhnout určité extrapolaci (přenesení) získaných poznatků na další příbuzné skupiny (v případě hmyzu dokonce na velké množství jednotlivých taxonů). V rámci vybraných modelových skupin jsou zastoupené skupiny jak druhově značně početné, nebo řada konkrétních druhů patří mezi ochránářsky významné taxony. Navíc, vybrané modelové skupiny živočichů lze řadit mezi takzvané deštníkové skupiny, jež reprezentují v podstatě všechny typy přírodních i antropogenních stanovišť, které se na území ČR nachází. Zařazení těchto skupin tak poskytuje dostatečnou míru objektivitu vlastního ohodnocení vlivu SZ na celá společenstva živočichů, včetně těch, které nejsou do modelových skupin zařazené.

Hmyz (Insecta)

Řada skupin hmyzu patří mezi živočichy s výraznou variabilitou způsobů vnímání světelných podmínek i širokým zastoupením fotopigmentů ve vlastních zrakových orgánech (Menzel 1979, Van Der Kooi et al. 2021). To vše stojí za jejich značnou citlivostí na světelné podněty. Pro naprostou většinu skupin hmyzu je typický trichromatický systém fotopigmentů, citlivých na ultrafialovou, modrou a zelenou část spektra (Van Der Kooi et al. 2021). U některých skupin byl nalezen i systém fotorecepce v červené oblasti a další výzkumy dokazují, že tato citlivost bude zastoupena u mnohem vyššího počtu taxonů. Rozsah citlivosti na kvalitativní vlastnosti světla (zastoupení záření s různými vlnovými délkami) je tedy u hmyzu značně široký, převážně s výraznou citlivostí na UV a modrou oblast (do 460 nm; Van Der Kooi et al. 2021). Vysokou míru reakce dospělců na světlo lze pozorovat i v případě parametru intenzity záření umělého světla. Výraznou (zejména pozitivní) fototaktickou reakci vykazují již při velmi malé míře intenzity záření (v řádech desetin luxu; např. Bird & Parker 2014, Chen et al. 2016, Eccard et al. 2018, McLay et al. 2017, Murata et al. 2018), s vyšší mírou intenzity se míra fototaxe značně zvyšuje. Z dosavadních poznatků je patrné, že i nízká míra osvětlení (v řádech jednotek luxů) může alespoň u některých skupin negativně ovlivnit individuální vývoj jedinců (Merckx et al. 2023a). V případě hmyzu lze tedy již velmi slabé světlo, zejména s vyšším zastoupením krátkých vlnových délek, považovat za značně negativní efekt v jejich životním prostředí.

Na základě dostupných dat o fototaktické reakci dospělců (pohybem ve směru k světelnému zdroji) na světelné zdroje s různými kvalitativními vlastnostmi (zastoupení různých vlnových délek) lze převážnou část řádů hmyzu rozdělit do tří skupin (viz Příloha 3):

i) skupiny s výraznou preferencí světelných zdrojů s vysokým zastoupením krátkých vlnových délek v oblasti UV a modré části záření (do 460 nm) – do této skupiny patří zejména motýli (Lepidoptera), síťokřídli (Neuroptera), chrostíci (Trichoptera) nebo některé skupiny brouků (Coleoptera; např. čeledi Cantharidae, Dytiscidae nebo Elateridae)

ii) skupiny s vyšší diverzitou preferovaných vlnových délek, s citlivostí zejména na UV a modrou složku světla, ale i na složku zelenou a žlutou (do 560 nm) – řada skupin brouků (Coleoptera; např. čeledi Carabidae, Curculionidae, Chrysomelidae, Scarabaeidae), dvoukřídli (Diptera; zejména zástupci podřádu Nematocera), jepice (Ephemeroptera), polokřídli (Hemiptera; zejména podřád Heteroptera), blanokřídli (zejména zástupci parazitických skupin z podřádu Apocrita), pisivky (Psocoptera)

iii) skupiny bez výrazné preference světelných zdrojů se zastoupením kratších vlnových délek nebo skupiny s preferencí delších vlnových délek v oblasti jantarové až červené barvy (přibližně > 590 nm) – švábi (Blattodea), škvoři (Dermaptera), rovnokřídli (Orthoptera), z brouků především skupina světlušek (Lampyridae) nebo některé skupiny nosatcovitých (Curculionidae)

V případě hmyzu lze obecně předpokládat gradaci negativních efektů se zvyšujícím se podílem SZ v prostředí. Navíc, společně se vzrůstajícím podílem SZ se v daném prostředí prosazují i další projevy spojené s nárůstem urbanizace (např. ztráta přirozených biotopů vlivem zástavby, změna charakteru vegetace a tím i trofických vazeb, změna mikroklimatických podmínek; Merckx et al. 2023b).

Rozdělení území České republiky do zón světelného prostředí dle normy ČSN 36 0459 ve své podstatě vyjadřuje obecný gradient reakce hmyzu na zvyšující se podíl SZ v prostředí. Zejména ve vyšších zónách světelného prostředí (viz kap. 1.4.) lze předpokládat nižší podíl značně citlivých taxonů hmyzu vůči SZ, a zároveň lze předpokládat vyšší míru synergie SZ s dalšími efekty spojenými s vyšší mírou urbanizace. V případě populací hmyzu vyskytujících se v tmavém prostředí (zóny Z0 a Z1) lze očekávat nižší adaptaci na efekty spojené s přítomností SZ (Merckx et al. 2023a). Vnesení zdrojů SZ do prostředí s jeho nízkou zátěží může kaskádovitě ovlivnit i vztahy napříč jednotlivými trofickými úrovněmi společenstev (např. ve vztazích rostliny-opylující hmyz, Knop et al. 2017) nebo dokonce vést k celkové změně struktury společenstva (Davies et al. 2012). Jakákoli přítomnost zdrojů SZ tedy může mít pro místní populace větší negativní dopady než pro populace vyskytující se ve vyšších kategoriích zonace světelného prostředí. Zejména v zónách 3 a 4, tedy v místech s vysokým podílem SZ již lze předpokládat výrazný úbytek jak diverzity, tak i četnosti jednotlivých populací hmyzu.

Letouni (Chiroptera)

Jak netopýrovití čeledi Vespertilionidae zastoupené 25 druhy, tak vrápencovití (Rhinolophidae) s 2 druhy, mají soumravnou a noční aktivitu. Všechny druhy bez rozdílu se v průběhu letové aktivity vyhýbají intenzivně osvětleným plochám, obecně platí negativní vliv umělého osvětlení na místa, kde letouni pijí a na okolí vchodů vletových otvorů do úkrytů, a to jak letních, tak zimních (Azam et al. 2018).

S ohledem na noční aktivitu letounů jejich oči obsahují vysoký podíl tyčinek citlivých na nízké úrovně osvětlení. Ve srovnání s lidským okem, kde hustota tyčinek dosahuje maximálně okolo 150 000 na mm², mají netopýři ve své relativně malé sítnici podstatně vyšší koncentraci – odhadem 300 000 až 800 000 tyčinek na mm² (Suthers & Wallis 1970, Müller et al. 2009). Tato adaptace jim umožňuje vidět i za extrémně slabého světla. Negativně vnímají již velmi nízké úrovně osvětlení pod 1 lux (Suthers & Wallis 1970). Některé druhy totiž dovedou vnímat světlo při úrovních 0,001–0,01 lux.

Přestože v sítnici netopýrů výrazně převažují tyčinky, až 2 % fotoreceptorů tvoří čípky, které jsou zodpovědné za vnímání barev (Zhao et al. 2009). Všechny dosud zkoumané druhy netopýrů mají funkční gen LWS (long-wavelength sensitive opsin), který je nejcitlivější na delší vlnové délky – tedy světlo v červené až oranžové oblasti spektra. Tyto vlnové délky pronikají lépe za šera a jejich detekce je tedy výhodná při noční aktivitě.

Naopak ne všichni netopýři jsou schopni rozeznat modrou či fialovou barvu. Například u vrápence velkého (*Rhinolophus ferrumequinum*) došlo k degeneraci nebo ztrátě funkce genu SWS1 (short-wavelength sensitive opsin 1), který je zodpovědný za vnímání světla v modrofialové oblasti spektra. Tito letouni tak zřejmě nejsou schopni rozlišovat krátké vlnové délky světla (Sadier et al. 2018). Většina druhů je citlivá na viditelné světlo v podobném rozsahu jako lidé, tedy přibližně od 400 do 700 nanometrů. Zrak netopýrů ale není příliš ostrý a barvy vnímají omezeně (Eklof & Jones 2014).

Zajímavostí je, že některé druhy netopýrů jsou schopné vnímat také ultrafialové (UV) světlo, tedy vlnové délky pod 400 nanometrů, které jsou pro člověka neviditelné. Tato schopnost byla prokázána u několika druhů, zejména u tropických netopýrů z čeledi listonosovití (Phyllostomidae), a souvisí s přítomností UV-citlivého opsinu v sítnici (Zhao et al.

2009). UV vidění může netopýrům sloužit například k orientaci pomocí odraženého měsíčního světla, rozpoznávání specifických znaků na rostlinách, nebo vnímání pachových značek jiných netopýrů, které odrážejí UV záření (Winter et al. 2003). U evropských druhů však schopnost vnímání UV světla nebyla zdokumentována.

S ohledem na aktivitu mimo úkryty je nutné brát v potaz, že vůči umělým zdrojům světla jsou letouni značně citliví a napříč druhovou diverzitou tolerují pouze velmi nízké intenzity SZ (Rowse et al. 2018). Současně neexistuje jednoznačná evidence, která by dokazovala, že by využívali osvětlené plochy k lovecké aktivitě, proto je nutné osvětlení letových koridorů i okolí úkrytů minimalizovat, resp. omezit tak, aby měli vždy k dispozici zcela tmavé prostory, kudy se mohou přesouvat mezi svými úkryty (včetně zimních) a lovišti, resp. místy reprodukce.

Z hlediska zón světelného prostředí definovaných normou ČSN 36 0459 lze **pro letouny pro každou zónu definovat míru rizik** odpovídajících danému charakteru SZ (viz kap. 1.4.):

Z0 – Tyto plochy jsou klíčové pro úkryty i loviště druhů letounů, kteří jsou negativně ovlivňováni světlem a SZ je zde velmi nežádoucí. V ČR se jedná především o druhy spadající do rodů *Myotis*, *Plecotus*, *Barbastella* a *Rhinolophus* (Bolliger et al. 2020).

Z1 – Městská i vesnická zástavba poskytuje úkryty řadě synantropních druhů, zejména druhů z rodu *Pipistrellus* – netopýr hvízdavý (*P. pipistrellus*), netopýr nejmenší (*P. pygmaeus*), sekundárně i n. parkový (*P. nathusii*) a nově také n. jižní (*P. kuhlii*). Do této skupiny patří i rod *Nyctalus*, ze kterého sem ovšem můžeme zařadit pouze druh netopýr rezavý (*Nyctalus noctula*). Úkryty v budovách využívá i netopýr Saviův (*Hypsugo savii*), n. pestrý (*Vespertilio murinus*), netopýři rodu *Eptesicus* a netopýr dlouhouchý (*Plecotus austriacus*). S výjimkou netopýra jižního, netopýrů rodu *Eptesicus* a netopýra dlouhouchého, všechny tyto druhy osidlují i dutiny ve stromech městské zeleně právě v zóně Z1 případně Z2. Tyto druhy jsou vůči SZ více tolerantní, některé práce dokonce uvádí lov a přelety v blízkosti zdrojů SZ (Laforge et al. 2019). Současně však u těchto druhů nepřevažují studie, jasně dokládající toleranci světelným znečištěním zasažených ploch. Z pohledu barevného spektra kopírují tyto letouni sílu efektu vlnových délek na aktivitu hmyzu, a tedy je nejvyšší aktivita soustředěna kolem světelných zdrojů, které lákají více hmyzu. Z toho důvodu nelze zvyšovat SZ ve světelné zóně kategorie Z1.

Z2 a Z3 – V málo až středně osvětlených oblastech se mohou vyskytovat budovy, které poskytují letounům úkryty, zejména výše uvedeným synantropním druhům. U takových objektů by neměly být osvětleny výletové otvory ale ani koridory, kterými se letouni přesouvají k vodním zdrojům a na loviště. Ty leží obvykle v málo osvětlených nebo tmavých zónách Z1 a Z0. V těchto zónách se pravidelně setkáváme s úkryty rodů *Pipistrellus*, *Vespertilio*, *Hypsugo*, *Nyctalus* (s výjimkou druhů *N. leisleri* a *N. lasiopterus*) a *Eptesicus*. Z pohledu jejich ochrany je nutné minimalizovat osvětlení v okolí budov, které využívají jako úkryty, ale také letových koridorů, typicky tvořených stromořadími, živými ploty, vodními toky a podobnými liniemi, které spojují sídlo a okolní krajinu (loviště). Jako loviště slouží členité plochy zeleně v rámci sídla, např. parky, zahrady a hřbitovy. Specifikem postsocialistických států, tedy i ČR, je výskyt letounů ve šterbinových úkrytech panelákových sídlišť. Ty jsou poslední desetiletí využívány na místo původních stromových a skalních dutin a šterbin. Přestože se jedná o tradičně osvětlené budovy, netopýři zde volí neosvětlené strany domů a taktéž přímo neloví

v osvětleném prostoru. S ohledem na tuto skutečnost a obvyklou přítomnost stínící městské zeleně spadají sídliště pod středně osvětlené zóny Z3.

Z4 – Úroveň SZ v této kategorii je již neslučitelná s výskytem letounů. Ti v takových oblastech tradičně nemají úkryty ani zde neloví. Výjimkou mohou být velmi specifické koridory, například vodoteče, kde linie břehového porostu vytváří tunel, kterým se letouni mohou přemisťovat na vhodnější stanoviště. Obdobnou alternativou jsou i zastíněná stanoviště, která lokálně nemusí odpovídat SZ v zóně Z4. Ta mohou být sporadicky využívána některými jedinci k lovu. Obecně však platí, že letouni v této zóně nenachází všechny potřebné zdroje (úkryt, potravu a přeletové koridory) nezasažené vysokým SZ.

Ptáci (Aves)

Zrak je pro ptáky nejdůležitějším smyslem, na který se spoléhají při hledání potravy, výběru partnera a při včasném odhalení možného predátora. Ptáci mají pentachromatické vidění – vnímají pět barev, včetně oblasti UV záření. Jejich vidění se pohybuje ve vlnové délce 320–680 nm. Většina ptačích druhů dokáže vnímat světlo v rozsahu stejných vlnových délek jako lidské oko (Greenwood et al. 2002). Ptačí oko je navíc vybaveno odlišným typem sítnicového čípku, který reaguje na vlnové délky UV záření. Umělé osvětlení může být proto pro ptačí oko nevhodné a může omezit funkčnost zrakového orgánu (Senzaki et al. 2020).

Vliv umělého světla, včetně různých vlnových délek, na fyziologii ptáků a produkci různých hormonů byl nejvíce studován u hospodářsky významných druhů ptáků – jako je kur domácí, kachna domácí, krůta domácí či křepelka japonská aj., kde má nastavení fotoperiody a světelného spektra velké ekonomické dopady při produkci těchto zvířat v zemědělských velkochovech (Bobadilla-Mendez et al. 2016, Coelho et al. 2021, Pan et al. 2014). Další studie pak byly prováděny u druhů držených v laboratorních podmínkách, jako např. holub domácí (Petruso et al. 2007) anebo i u modelových volně žijících druhů (např. vrabec polní), ale opět v laboratorních podmínkách (Kernbach et al. 2020, Trivedi et al. 2014). Ve vědecké literatuře pak v podstatě neexistují studie, které by pracovaly s volně žijícími jedinci. I přesto se z dostupných zdrojů dá říci, že SZ významně ovlivňuje fyziologické procesy u ptáků, vede ke zvýšené produkci stresových hormonů, narušení spánku a v konečném důsledku i k poruchám imunity, změnám střevní mikroflóry apod (De Jong et al. 2017, Kempenaers et al. 2010, Raap et al. 2018). Některé druhy ptáků se dokážou s těmito negativními jevy lépe vyrovnat, jde zejména o druhy osídlující prostředí lidských sídel. Naopak citlivější druhy se místům se SZ cíleně vyhýbají, což může vést k omezení množství vhodných lokalit pro jejich výskyt (De Jong et al. 2016, Injaian et al. 2020).

Vliv SZ byl dosud nejvíce studován u populací ptáků žijících v městském prostředí, často ve srovnání městských a mimoměstských populací stejného druhu. Tyto studie ukázaly, že umělé osvětlení během noci může ovlivnit mnoho aspektů ptačího života, jde zejména o:

- i) **změny v denní aktivitě**, které se projevují např. časnější vokalizací u pěvců na lokalitách se SZ, ale i rozšířením denní doby pro sběr potravy apod. V některých případech toto může kompenzovat i jiné negativní faktory (např. vyšší míru hlukového znečištění), které se projevují na stejných lokalitách, a umožnit např.

zvýšenou aktivitu v časech, kdy je vliv hluku z dopravy nižší. Na druhou stranu toto vede ke zkrácení doby spánku, spojené s nižší produkcí melatoninu a dalším vesměs nežádoucím změnám v organismu spojených se zhoršením fitness daného jedince a v extrémním případě může vést až k vyčerpání organismu (Kempenaers et al. 2010, Russ et al. 2015, Yadav et al. 2022).

- ii) **změny v sezónní aktivitě**, spočívající např. v časnějším hnízdění, načasování migrace apod. Z dostupných podkladů nelze vyhodnotit nakolik jsou tyto změny pro dané druhy/jedince výhodné nebo nebezpečné, ale dá se předpokládat, že jsou opět spojeny s negativními fyziologickými a hormonálními změnami v organismu (La Sorte et al. 2017, Smith et al. 2021).
- iii) **výběr stanovišť** – u ptáků se v rámci tohoto efektu vyskytuje poměrně vysoká plasticita reakcí na SZ, u nejcitlivějších druhů dochází k opuštění stanovišť se SZ, jiné druhy jsou schopné, do určité úrovně (druhově specifické) SZ tolerovat. Šíření světla v prostoru však není rovnoměrné a je prokázáno, že např. i tak významně synantropní druhy jako je sýkora koňadra si vyhledávají místa pro nocování v místech s nižším SZ (De Jong et al. 2016). Pravděpodobně nejcitlivější na SZ jsou druhy v době hnízdění a své hnízdo si umísťují na místa, kde je úroveň SZ nižší. Z tohoto pohledu jsou i ostrůvky s nižší úrovní SZ např. v městských oblastech velmi důležité a mohou poskytnout potřebné útočiště i pro zdánlivě euryekní druhy ptáků. V těchto případech je rizikové např. permanentní celonoční osvětlení v rozsáhlejších plochách městské zeleně anebo i osvětlení historických budov, které pro hnízdění využívají některé druhy ptáků. Případně je možné noční osvětlení maximálně lokalizovat na ulice a chodníky s minimálním přesahem do okolní zeleně.
- iv) **migraci** – je známo, že některé druhy mění své migrační cesty tak, aby se vyhnuly velkým městským aglomeracím a dalším místům s vysokou úrovní SZ, stejně tak většina táhnoucích druhů preferuje jako místa odpočinku při tahu (tahové zastávky) místa s nižší úrovní SZ (Korpach et al. 2022). Změny migračních tras mohou vést k většímu vyčerpání táhnoucích ptáků, což může vést ke zvýšení jejich mortality či predace. SZ zároveň způsobuje dezorientaci táhnoucích ptáků a narušení jejich navigačních systémů – sluneční, hvězdný či magnetický kompas (např. Adams et al. 2021). Zajímavé je zjištění, že červené světlo narušuje magnetickou orientaci – ptáci ztratili schopnost správně se orientovat podle magnetického pole (Wiltschko et al. 1999). Zdroje umělého osvětlení také vedou k oslnění migrujících jedinců anebo mohou táhnoucí jedince i přímo přitahovat (atrahovat) a tím způsobovat vyšší mortalitu při migraci. Největší dezorientaci a atrakci táhnoucích ptáků způsobuje bílé a červené světlo (Poot et al. 2008), naopak nejmenší přitažlivost a minimální dezorientaci způsobovalo zelené a zejm. modré světlo.
- v) **změny v mezidruhových vztazích** – v důsledku SZ zejm. dochází ke zvýšení rizika predace, a to jak vlivem zlepšení světelných podmínek pro lov v nočních hodinách, tak i zlepšení efektivity lovu v případě unavených, oslabených či dezorientovaných jedinců (Seymoure et al. 2023). V době hnízdění se to projevuje jak vyšší predací

dospělých ptáků (např. Nankoo et al. 2019), tak vyšší predací hnízd na místech ovlivněných SZ (Nuñez et al. 2021, Wang et al. 2021, Adams et al. 2024 aj.). Dle Welbers et al. (2017) může být predace hnízd i dospělců vyšší i v důsledku dlouhodobé únavy rodičů žijících v prostředí ovlivněném SZ, což snižuje jejich schopnost bránit hnízdo proti případným predátorům. Zvláště významně se projevuje zvýšená predace na místech ovlivněných SZ v době migrace. Většina ptačích druhů táhne v noci, aby se vyhnuly zvýšenému riziku predace, v místech se SZ pak mohou někteří predátoři lovit celou noc a způsobovat významné ztráty táhnoucích ptáků (např. Buij & Gschweng 2017). Osvětlená místa jsou také některými migrujícími ptáky (např. bahňáky) vyhledávána jako migrační zastávky, protože umožňují prodloužit čas sběru potravy, zároveň ale takováto místa přitahují četné predátory a v konečném důsledku tak působí jako ekologická past (Santos et al. 2010, Horton et al. 2023 aj.). SZ ovlivňuje i další mezidruhové vztahy, např. parazitismus – u jedinců žijících dlouhodobě v prostředí ovlivněném SZ dochází vlivem změn ve fyziologii i ke snížení odolnosti vůči parazitům (např. Hutton et al. 2024).

- vi) **zvýšení rizika střetu s různými antropogenními strukturami** (skleněné stěny, budovy, vrtule VTE) – SZ vede k většímu oslnění ptáků a ke zvýšení rizika střetu (Korner et al. 2022), což často vede k úmrtí daného jedince. Studována byla i rizika střetu s větrnými elektrárnami, kdy zejména bílé světlo přitahuje protahující ptáky a zvyšuje riziko střetu a následného poranění nebo úhynu. Mnohem lépe v tomto ohledu působí červené a zelené světlo, které je ideálně přerušované (blikající), zde je pak se riziko střetu minimalizuje (Day et al. 2017, Lao et al. 2020).

Světelné znečištění má vliv i na celkovou bohatost (diverzitu) ptačích společenstev. Bylo zjištěno, že taxonomická druhová bohatost u ptáků lineárně klesá s přibývajícím mírou SZ a nejnižší hodnoty druhové bohatosti byly pozorovány při maximálních intenzitách umělého osvětlení. Také fylogenetická diverzita klesala pod vlivem SZ a dokonce i minimální množství umělého světla radikálně snížilo tuto míru biodiverzity. To ukazuje jak na to, že některé citlivější druhy s přibývajícím úrovní SZ z lokality mizí, u jiných pravděpodobně dochází ke snížení jejich početnosti, čímž v konečném důsledku také dojde k ochuzení ptačích společenstev (Kosicki 2021). Dokonce i druhy adaptované na městské prostředí preferují pro hnízdění a výskyt v městské zástavbě spíše místa s nižší expozicí SZ (Orlando & Chamberlain 2022, Wang et al. 2021).

Pokud jde o světelné spektrum, jako nejproblematictější se ve většině studií uvádí chladné bílé osvětlení. Teplé bílé osvětlení může u některých druhů ptáků minimalizovat narušení spánku v porovnání s chladným bílým osvětlením, které zvyšuje hladinu glukokortikoidů (Aulsebrook et al. 2020). Jedinci vystavení chladnému bílému světlu vykazují vyšší míru noční aktivity, avšak následně nemají tendenci snížit denní aktivitu (Alaasam et al. 2018). Použití nočního osvětlení s teplými barvami by mohlo pomoci snížit energetické výdaje u volně žijících ptáků. Odlišně působí různé barvy při migraci, kdy zejména modré a bílé světlo často způsobuje dezorientaci migrujících jedinců, naopak při vystavení dlouhodobnému světlu jsou ptáci schopni dále sledovat správný směr migrace (Rebke et al. 2019, Zhao et al. 2020).

Z hlediska charakteru světelných podmínek v jednotlivých zónách světelného prostředí (definovaných normou ČSN 36 0459, viz kap. 1.4.) lze pro ptáky obecně předpokládat nárůst negativních efektů se zvyšujícím se podílem SZ v prostředí. Navíc, společně se vzrůstajícím podílem SZ se v daném prostředí prosazují i další projevy spojené s nárůstem urbanizace (např. zejm. nárůst hlukového znečištění, ztráta přirozených biotopů, změna charakteru vegetace, úbytek hmyzu a dalších potravních zdrojů). Zejména ve vyšších zónách světelného prostředí lze tedy předpokládat vyšší míru synergie těchto efektů, kdy je obtížné definovat efekty jednotlivých vlivů. Toto ale platí i opačně, pokud se podaří snížit vliv ostatních negativních faktorů či podpořit pozitivní opatření (např. v podobě nárůstu podílu zelených ploch v městském prostředí), může být negativní dopad SZ alespoň částečně eliminován (Guo et al. 2025).

Druhy, u kterých lze předpokládat největší citlivost na SZ, jsou svým výskytem vázány na zónu **Z0** – ať už jde o lesní biotopy (např. tetřev hlušec, tetřevka obecná, jeřábek lesní, sluka lesní, lelek lesní, skřivan lesní, puštík bělavý, kulíšek nejmenší, sýc rousný aj.), nelesní stanoviště, zejm. extenzívně obdělávané trvalé travní porosty nebo sukcesní plochy ponechané samovolnému vývoji (např. chřástal polní, křepelka polní, bekasina otavní aj.) anebo vodní a mokřadní stanoviště (např. dlouhokřídlí, bukač velký, bukáček malý, chřástal kropenatý, chřástal malý aj.). Tato zóna je pro uvedené druhy klíčová z hlediska jejich výskytu, instalace nových zdrojů SZ je proto nežádoucí, naopak by měla být snaha o eliminaci stávajících zdrojů s nižšími emisemi světelného záření. V případech, kde je to možné, by měla být použita červená svítidla, nejlépe s přerušovaným světlem (např. výstražná světla nebo orientační osvětlení).

Zóna **Z1** zahrnuje zejména běžnou krajinu mimo zvláště chráněná území a soustavu NATURA 2000 a vegetaci s přírodním charakterem v zastavěném území. Tyto oblasti jsou důležité pro řadu druhů ptáků, u kterých nejsou dostatečně znalosti o vlivu SZ, může jít například o ořešníka kropenatého, holuba doupňáka, ůhýka obecného, koroptev polní, chřástala polního aj. a proto by nemělo docházet ke zvýšení stávající zátěže SZ.

Z2 a Z3 – Málo až středně osvětlené zóny v zastavěných územích, kde se mohou vyskytovat budovy poskytující ptákům vhodná hnízdní stanoviště. V těchto zónách se běžně vyskytují synantropní druhy přizpůsobené městskému prostředí, ze vzácnějších druhů jde jak o druhy využívající k hnízdění vhodné budovy, jako jsou nejčastěji historické budovy, kostely, ale i venkovská stavení či zemědělské areály, jako je např. kavka obecná, sýček obecný, sova pálená, rorýs obecný aj., tak druhy starých sadů a extenzívních zahrad na okrajích sídel, jako je např. krutihlav obecný, žluna zelená, žluna šedá, rehek zahradní aj. a nebo různé typy městské zeleně, jako je např. kalous ušatý, krahujec obecný a řada dalších, relativně běžných druhů ptáků. Z pohledu jejich ochrany by bylo vhodné zajistit co možná nejvhodnější typy osvětlení, které minimalizují nadměrné rušivé SZ. To má podle četných studií vliv na posun načasování reprodukce (Kempnaers et al. 2010, De Jong et al. 2015), změny cirkadiálních rytmů (Aulsebrook & Connelly et al. 2020, Yadav et al. 2022), posuny v načasování vokalizace (Kempnaers et al. 2010, Da Silva et al. 2014) či hledání potravy (Russ et al. 2015). Omezení SZ se týká zejména potenciálních hnízdišť a jejich blízkého okolí, ať už jde o historické budovy, kostely zemědělské areály, staré sady, zahrady nebo větší městské parky. V této zóně je také potřeba dbát na eliminaci větších osvětlených skleněných ploch, které mohou být významným faktorem zvyšujícím mortalitu zde hnízdících ptáků.

Z4 – Zóny měst s velmi světlým světelným prostředím jsou obývány celou řadou ptačích druhů, které byly schopné úspěšně přizpůsobit městským podmínkám. Přestože jde o druhy, které se na městské prostředí adaptovaly a dokáží tolerovat negativní dopady SZ, včetně synergických vlivů např. s hlukovým znečištěním, neznamená to, že by nedocházelo k fyziologickým změnám, změnám cirkadiálních rytmtů, načasování reprodukce a dalším, vesměs negativním dopadům SZ na jedince obývající tyto lokality. Některé z těchto druhů mohou využívat SZ ke zvýšení účinnosti svého predančního chování, jako např. sokol stěhovavý (Nankoo et al. 2019) nebo např. k eliminaci negativních vlivů např. hlukového znečištění (posun v načasování vokalizace u synantropních druhů pěvců).

2.2 Kategorizace citlivosti živočichů na světelné znečištění

Obecně lze na základě reakce na umělé světlo (či už přímo z hlediska vlastní fototaxe, nebo na základě vlivu na chování, bionomii, ekologii nebo fyziologii) a se zohledněním současného stavu poznání, rozdělit živočichy na čtyři základní kategorie podle citlivosti na SZ (Příloha 3):

Značně vysoká citlivost na SZ – jedinci vykazují výrazně negativní reakce (dány např. výraznou fototaktickou reakcí, negativně ovlivněným vývojovým cyklem, poruchami v načasování diapauzy, výraznou změnou ve vzorcích chování, negativním vlivem na cirkadiální rytmy) na SZ, často již v nízkých hodnotách intenzity záření. Tyto reakce jsou dostatečně podloženy výsledky z odborných studií, či už v přirozeném nebo laboratorním prostředí, nebo jsou podloženy dostatečným počtem terénních pozorování.

Mírná citlivost na SZ – z dosavadních poznatků lze pozorovat negativní efekty na jedince v případě silnějších světelných zdrojů, případně lze u těchto taxonů na základě pilotních studií předpokládat negativní efekty i u zdrojů slabších. U těchto taxonů lze předpokládat, v případě dalších studií, i vyšší míru citlivosti na SZ.

Pozitivní reakce – mírné až značně výrazné projevy ve spojení se SZ, ovšem spíše s pozitivním dopadem na konkrétní jedince. Může se také jednat o krátkodobou sekundární reakci vyplývající z určité míry adaptace na prostředí, v němž je SZ průvodním jevem. Příkladem mohou být např. některé druhy pavouků, dravého hmyzu, netopýrů nebo ptáků aktivně lovících hmyz v okolí světelných zdrojů. Na základě současných poznatků nelze ale tyto efekty klasifikovat jako jevy s dlouhodobým profilem. Prozatím nejsou známe poznatky o – zejména dlouhodobých – vlivech umělého světla v tomto prostředí na fyziologické procesy, životaschopnost nebo fitness konkrétních jedinců.

Citlivost na SZ nelze vyhodnotit – k objektivnímu ohodnocení citlivosti taxonu vůči SZ není dostatečné množství dat. Případné trendy reakcí lze v některých případech na základě dostupných informací pouze předpokládat (např. jejich absencí v Z3 a Z4 zónách). Není vyloučené, že do této kategorie spadá i řada taxonů s velmi výraznou negativní reakcí na SZ, a na základě novějších poznatků budou zařazené do vyšších kategorií citlivosti.

2.2.1 Vybrané taxony značně citlivé na světelné znečištění

Pro potřebu hodnocení vlivu SZ na živočichy je nutné při výběru konkrétních skupin balancovat zejména s výrazně vysokou diverzitou živočichů (a s tím související problematikou determinace jednotlivých taxonů), ale zejména se stupněm dosavadního poznání o vlivech SZ na tyto taxony. Z toho důvodu lze uvažovat pouze o taxonech objektivně vykazujících výrazné negativní projevy vůči SZ (z kategorie *značně vysoká citlivost* na SZ). V některých případech se jedná o taxony determinačně náročné, s méně detailními informacemi o jejich distribuci na území republiky. I přesto lze tyto taxony hodnotit alespoň na základě aktuálních abundancí jedinců nebo výskytu ochránářsky nebo regionálně významných druhů. V rámci seznamů taxonů citlivých na SZ se nelze zaměřit pouze na druhy řazené mezi ochránářsky významné (druhy katalogizované v Červených seznamech ČR, v seznamu zvláště chráněných živočichů nebo jiných nadnárodně významných seznamech a úmluvách), a to z důvodu často fragmentárních a velmi ojedinělých nálezů na území ČR. Naopak, řada relativně běžných druhů, ale s výraznou vazbou na konkrétní i mizející biotopy prozatím nepatří mezi taxony ohrožené, vykazuje výraznou míru citlivosti vůči SZ, tudíž může být v případě vlastního hodnocení na konkrétních dotčených lokalitách mnohem lépe detekovatelná než taxony s ojedinělými nálezy výskytu.

Celkem bylo pro potřebu hodnocení vlivu SZ na živočichy podle této metodiky vybráno 48 taxonů hmyzu (na úrovních řádů nebo nižších taxonomických úrovní), 28 druhů ptáků a 7 druhů netopýrů. Tyto taxony jsou podrobněji popsány v textu níže této kapitoly.

Hmyz

Ze třídy hmyzu je pro hodnocení vlivu SZ vybráno devět řádů, v rámci nich pouze některé nižší taxonomické jednotky. Dospělci těchto taxonů citelně negativně reagují již na přítomnost velmi slabého osvětlení v řádu desetin luxu. Nejčastějším projevem této reakce je jejich míra pozitivní fototaxe, kdy se často dostavují ke světelným zdrojům ve velmi vysokých četnostech. Řada z těchto skupin plní v ekosystémech důležité ekosystémové služby, a **ve většině z nich jsou významně zastoupené ochránářsky významné taxony, je možné je dohledat v aktuálním Červeném seznamu bezobratlých České republiky nebo náleží ke zvláště chráněným druhům živočichů podle přílohy č. 3 vyhlášky č. 395/1992 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o ochraně přírody a krajiny.**

Konkrétně se jedná o řády (Příloha 2):

Brouci (Coleoptera) – konkrétně celkem 19 čeledí, z nichž dospělci osmi čeledí výrazně preferují světelné zdroje se zastoupením krátkých vlnových délek, u deseti dalších čeledí dospělci reagují výraznou pozitivní fototaxí na širší rozsah vlnových délek, a jediná čeleď – světluškovití (Lampyridae) – vykazuje silnou preferenci vůči světlu se zastoupením dlouhých vlnových délek až do červeného spektra (560–660 nm, viz Příloha 3). Zároveň světlušky představují jedinou skupinu brouků na území České republiky, u které dospělci komunikují pomocí světelných signálů (Bocáková 2009). Řada zástupců z těchto čeledí náleží mezi důležité predátory, jež ve svém prostředí sehrávají důležité ekosystémové služby např. v podobě predace škůdců nebo semen plevelů (Gutierrez-Arellano & Mulligan 2018, Kromp 1999, Obrycki et al. 2009).

Blanokřídlí (Hymenoptera) – konkrétně zástupci nadčeledi Ichneumonoidea (lumci a lumčici), podřádu Apocrita (štíhlopasi). Jedná se o významné skupiny parazitoidů, uplatňujících se i v biologické regulaci škůdců (Salim et al. 2016). Dospělci mají často soumravní i noční aktivitu, a výrazně reagují na světlo s krátkými vlnovými délkami, případně i na světlo v oblasti zelené až žluté barvy (do 560 nm, viz Příloha 3). Řadí se mezi determinálně značně obtížné skupiny hmyzu. Pro hodnocení vlivu SZ jsou pro tuto skupinu klíčové parametry celkových abundancí dospělců, případně výskyt regionálně nebo hospodářsky významných druhů.

Dvoukřídlí (Diptera) – konkrétně zástupci podřádu Nematocera (dlouhoroží). Jedná se o velmi diverzifikovanou, a zároveň převážně obtížně determinovatelnou skupinu hmyzu. Pro hodnocení vlivu SZ jsou pro tuto skupinu klíčové parametry celkových abundancí dospělců, případně výskyt regionálně nebo hospodářsky významných druhů. Zastupují významnou součást potravních vazeb v ekosystémech pro vyšší trofické úrovně (Holland et al. 2006, Vaughan 1997). Dospělci často ve velkém množství přilétají ke světelným zdrojům, zejména s podílem krátkých vlnových délek v oblasti UV a modré části spektra (do 460 nm; Allan et al. 1987, Wakefield et al. 2018).

Chrostíci (Trichoptera) – skupina s vazbou na vodní prostředí, řada druhů patří mezi jeho významné bioindikátory (Vitecek et al. 2021). Dospělci velmi často ve velkých množstvích přilétávají na světelné zdroje, především se zastoupením krátkých vlnových délek v UV a modré oblasti spektra (do 460 nm; Diken & Boyaci 2008, Larrison et al. 2020; Příloha 3). Jedná se však o determinálně velmi náročnou skupinu. Pro hodnocení vlivu SZ jsou pro tuto skupinu klíčové parametry celkových abundancí dospělců, případně výskyt ochranný nebo regionálně významných druhů.

Jepice (Ephemeroptera) – druhově ne příliš početný řád hmyzu, s vazbou na vodní prostředí. Řada druhů má významné bioindikační vlastnosti (Vitecek et al. 2021). Dospělci velmi často přilétávají na světelné zdroje se zastoupením především kratších vlnových délek v UV a modré části spektra (Egri et al. 2017, Mészáros et al. 2021). Výrazně ale reagují i na spektra v oblasti zelené až žluté barvy (do 560 nm; Egri et al. 2017).

Motýli (Lepidoptera) – konkrétně celkem 22 čeledí, z nichž dospělci 17 z nich výrazně preferují světelné zdroje se zastoupením krátkých vlnových délek, u pěti dalších dospělci reagují výraznou pozitivní fototaxi na širší rozsah vlnových délek (viz Příloha 3, obecně k motýlům např. Brehm et al. 2021). Řada zástupců z těchto skupin náleží mezi důležité opylovače kvetoucích rostlin v noční fázi dne (Buxton et al. 2022, Hahn & Brühl 2016). Na rozdíl od opylovačů s denní aktivitou noční motýli opylují mnohem pestřejší škálu kvetoucích rostlin (Knop et al. 2017).

Polokřídlí (Hemiptera) – konkrétně zástupci podřádu Heteroptera (ploštice). Značně diverzifikovaná skupina hmyzu, s významným podílem predátorů, jež se v rámci ekosystémových služeb podílí na biologické regulaci škůdců (Perdikis et al. 2011). Dospělci výrazně reagují na poměrně široké spektrum vyzařovaného světla, od krátkých vlnových délek v oblasti UV a modré barvy, až po delší – zelené až žluté (do 560 nm) (Leskey et al. 2015, Reisenman & Lazzari 2006).

Rovnokřídlí (Orthoptera) – druhově nepočetný řád hmyzu, je důležitou součástí potravních řetězců v rámci lučních ekosystémů, ať už v podobě široce generalizovaných herbivorů, potravních zdrojů pro vyšší trofické úrovně, nebo samotných predátorů ostatních skupin členovců (Sperber et al. 2021). Dospělci zejména podřádu kobylek (Ensifera) mají často noční aktivitu, kdy vzájemně komunikují pomocí stridulace. Ta může být vlivem SZ narušována (Levy et al. 2021). Často se dostávají ke světelným zdrojům s poměrně širokým zastoupením vlnových délek – pozitivně reagují jak na krátké vlnové délky v oblasti UV a modré části spektra, jakož i výrazně na barvu zelenou až žlutou (do 560 nm) (Herzmann & Labhart 1989).

Sít'okřídlí (Neuroptera) – druhově méně početný řád hmyzu, ale s významným zastoupením predátorů ostatních skupin členovců (Stelzl & Devetak 1999). Řada druhů se podílí v rámci ekosystémových služeb na biologické regulaci škůdců (McEwen et al. 2001). Dospělci velmi často, někdy i ve vysokých četnostech přilétávají na světelné zdroje s podílem krátkých vlnových délek v oblasti UV a modré části spektra (do 460 nm; Příloha 3).

Letouni

Pro potřebu hodnocení vlivu SZ na netopýry bylo vybráno 7 druhů, k nimž se v odborné literatuře vyskytují relevantní informace a současně patří mezi relativně běžné druhy. **Všichni zástupci letounů (Chiroptera) žijící na území ČR patří ke zvláště chráněným druhům živočichů, a to jako silně nebo kriticky ohrožený druh podle přílohy č. 3 vyhlášky č. 395/1992 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o ochraně přírody a krajiny.** Z vybraných druhů je pouze netopýr brvitý kriticky ohroženým druhem a současně je předmětným druhem soustavy NATURA 2000 a vztahuje se na něj směrnice o stanovištích. Ostatní druhy spadají do kategorie silně ohrožený druh.

Netopýr hvízdavý (*Pipistrellus pipistrellus*) – druh méně citlivý na SZ na lovištích. Loviště, zejména vodní plochy a okraje porostů, opouští při krátkodobém osvětlení. Při dlouhodobém osvětlení, kdy je atrahován hmyz, může takové plochy využívat jako loviště (Azam et al. 2018). Je citlivý na osvětlení přeletových koridorů, které vyžaduje udržet tmavé. Osvětlení vletových otvorů do úkrytů vede k jejich opuštění.

Netopýr nejmenší (*Pipistrellus pygmaeus*) – druh méně citlivý na SZ na lovištích. Loviště, podobná jako n. hvízdavý, opouští při krátkodobém osvětlení. Při dlouhodobém osvětlení, kdy je na ně atrahován hmyz, může takové plochy využívat jako loviště. Je citlivý na osvětlení přeletových koridorů, které vyžaduje udržet tmavé. Osvětlení vletových otvorů do úkrytů vede k jejich opuštění.

Netopýr parkový (*Pipistrellus nathusii*) – druh méně citlivý na SZ na lovištích. Loviště, zejména vodní plochy a okraje porostů, opouští při krátkodobém osvětlení. Při dlouhodobém osvětlení, kdy je atrahován hmyz, může takové plochy využívat jako loviště. Je méně citlivý (ve srovnání s dvěma předchozími druhy) na osvětlení přeletových koridorů, na nichž mohou být sporadická osvětlená stanoviště např. pouličním osvětlením. Osvětlení vletových otvorů do úkrytů vede k jejich opuštění.

Netopýr jižní (*Pipistrellus kuhlii*) – z uvedených druhů rodu *Pipistrellus* je nejméně citlivý na SZ. Při dlouhodobém osvětlení, kdy je k němu atrahován hmyz, takové plochy preferuje jako

loviště. Snese ojedinělé osvětlení přeletových koridorů např. formou pouličního osvětlení. Osvětlení vletových otvorů do úkrytů vede k jejich opuštění.

Netopýři rodu *Myotis* jsou obecně na SZ velmi citliví a vyhýbají se osvětleným oblastem, jelikož je vnímají jako rizikové z hlediska vyšší predace (Rydell et al. 1996). Vyhýbají se i lokalitách s velmi nízkým SZ (Lacoeuilhe et al. 2014).

Netopýr brvitý (*Myotis emarginatus*) – druh velmi citlivý na SZ lovišť a přeletových koridorů. Nesnese dlouhodobé ani krátkodobé osvětlení těchto stanovišť. Osvětlení vletových otvorů do úkrytů vede k jejich opuštění.

Netopýr řasnatý (*Myotis nattereri*) – druh velmi citlivý na SZ lovišť a přeletových koridorů. Nesnese dlouhodobé ani krátkodobé osvětlení těchto stanovišť. Osvětlení vletových otvorů do úkrytů vede k jejich opuštění.

Netopýr vodní (*Myotis daubentonii*) – druh velmi citlivý na SZ lovišť. Nesnese dlouhodobé ani krátkodobé osvětlení těchto stanovišť. Loviště opouští již při krátkodobém osvětlení, na déle osvětlení vodní plochy a jejich okolí jež jsou jeho hlavními lovišti se již nevrací. Je méně citlivý (ve srovnání s dvěma předchozími druhy) na osvětlení přeletových koridorů, na nichž mohou být sporadická osvětlená stanoviště např. pouličním osvětlením. Osvětlení vletových otvorů do úkrytů vede k jejich opuštění.

Ptáci

Z třídy ptáků bylo vybráno 28 modelových druhů, u kterých je možné předpokládat vliv SZ. I když pro naprostou většinu druhů chybí relevantní vědecké studie, je možné na negativní vliv SZ usuzovat podle jejich citlivosti na antropogenní rušivé faktory, výskytu v oblastech s nižší úrovní SZ, trendů početnosti apod. V řadě případů se jedná o druhy, které stojí na vrcholu potravních řetězců a dopad SZ může odrážet vliv na jiné skupiny, zejm. bezobratlé anebo celkové změny v ekosystémech. **Jako modelové druhy byly vybírány zejména takové, které jsou zařazeny na aktuálním Červeném seznamu ptáků České republiky, patří ke zvláště chráněným druhům živočichů podle přílohy č. 3 vyhlášky č. 395/1992 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o ochraně přírody a krajiny a druhy uvedené v Příloze 1 směrnice o ptácích.** Zároveň bylo sledováno pokrytí různých typů prostředí od lesních ekosystémů, přes otevřenou krajinu, mokřadní biotopy až po prostředí lidských sídel.

Je však nutné zdůraznit, že negativní vliv SZ se týká většiny ptačích druhů, kdy způsobuje především fyziologické a hormonální změny, se kterými se některé druhy dokáží vyrovnat lépe, jiné méně úspěšně, ale asi v žádném případě nezpůsobují změny pozitivní pro daného jedince.

Modelové druhy ptáků byly rozděleny do čtyřech skupin podle převažujících biotopových nároků:

A) Druhy lesních ekosystémů:

Tetřev hlušec (*Tetrao urogallus*) – ve střední Evropě jde o kriticky ohrožený druh vzácně se vyskytující v oblastech s velmi nízkou úrovní SZ. O negativním vlivu SZ na tento druh svědčí řada nepřímých důkazů (vyhýbání se místům s vyšší úrovní SZ, vyšší hladiny stresových

hormonů v trusu na lokalitách s vyšší antropogenní zátěží apod.). Tento druh je citlivý na jakékoliv formy rušení, tedy i SZ, jak v průběhu období hnízdění a vyvádění mláďat (duben–červenec), tak ve zvýšené míře i v zimním období (listopad–březen), kdy veškeré antropogenní rušení významně snižuje přežívání jedinců a zvyšuje mortalitu.

Tetřívěk obecný (*Lyrurus tetrix*) – vzhledem k tomu, že jde o druh velmi citlivý na antropogenní rušení, je zde předpoklad i jeho velké citlivosti na SZ. Citlivosti tohoto druhu na SZ nasvědčuje především jeho výskyt na lokalitách s nízkou úrovní SZ a mizení z míst, kde se úroveň SZ v minulosti zvýšila. Stejně jako u předchozího druhu je nutné zohlednit velkou citlivost k jakémukoliv rušení jak v průběhu hnízdního, tak i zimního období. Zejména v zimním období pak může zvýšená úroveň SZ vést i ke zvýšené predaci.

Jeřábek lesní (*Tetrastes bonasia*) – ohrožený druh, který se u nás vzácně vyskytuje zejm. v rozsáhlejších lesních oblastech, a to především na místech s nízkou úrovní SZ. Je citlivý na antropogenní vlivy, a proto byl zařazen mezi druhy, u nichž se předpokládá negativní vliv SZ. U tohoto druhu lze předpokládat i zvýšené riziko predace na lokalitách se zvýšenou úrovní SZ. Vzhledem k tomu, že jde o stálý druh, týká se riziko nejen hnízdního období, ale i zimování, kdy je na jakékoliv rušení velmi citlivý.

Lelek lesní (*Caprimulgus europaeus*) – jde o specializovaný druh s noční aktivitou, jehož hlavní složkou potravy jsou noční motýli a další velké druhy létajícího hmyzu, což je samo o sobě skupina, která je světelným znečištěním výrazně ovlivněna. Jde zároveň o druh ubývající ve většině svého areálu. V ČR obývá především oblasti s nízkou úrovní SZ, což svědčí o jeho citlivosti. Přítomnost SZ v prostředí má výrazně negativní vliv na jeho distribuci (Sierro & Erhardt 2019).

Sluka lesní (*Scolopax rusticola*) – jde o druh s večerní a noční aktivitou, obývající především rozsáhlejší lesní celky s malým antropogenním zatížením. Citlivost na SZ ukazují nově získaná, zatím nepublikovaná, data, kdy byl druh zaznamenán především na místech s velmi malou úrovní SZ a místům s vyšší úrovní SZ se vyhýbal. Vzhledem k tomu, že jde o tažný druh, je citlivý na SZ především v období návratu na hnízdiště a hnízdění, včetně vyvádění mláďat (březen–červenec).

Sýc rousný (*Aegolius funereus*) – druh vyskytující se převážně v rozsáhlejších zalesněných oblastech v horských a podhorských polohách, přičemž hnízdí vesměs na místech s nižší úrovní SZ. Zároveň jde o druh s noční aktivitou, zvláště citlivý na SZ. Vzhledem k tomu, že jde o stálý druh, obývající své teritorium celoročně, je u něho důležité zohlednit SZ po dobu celého roku, přičemž nejcitlivější na jakékoliv rušení je v období toku, hnízdění a pak zimování. SZ zároveň obecně snižuje loveckou úspěšnost sov při lovu hlodavců, což bylo prokázáno u jiných druhů sov, ale poznatek je zobecnitelný na všechny sovy, včetně sýce rousného, pro kterého jsou hlodavci hlavní složkou potravy (Sordello et al. 2025).

Kulíšek nejmenší (*Glaucidium passerinum*) – druh vyskytující se převážně v rozsáhlejších zalesněných oblastech horských a podhorských poloh, přičemž hnízdí vesměs na místech s nižší úrovní SZ. Vzhledem ke své noční aktivitě je citlivý na SZ a to celoročně, nejvíce ale v období toku, hnízdění a vyvádění mláďat a pak v průběhu zimy, kdy musí přežít energeticky náročné období. Své teritorium obývá celoročně.

Výr velký (*Bubo bubo*) – druh spíše nižších až středních poloh s významnou noční aktivitou. Je citlivý na SZ zejm. v místech hnízdění, jsou např. známy případy, kdy opustil hnízdo kvůli častému rušení, včetně SZ. Pro hnízdění často používá lomy, včetně lomů, které jsou stále v provozu, zde je pak pravděpodobnost rušení prostřednictvím SZ vyšší (uvádí se, že je na SZ citlivější než na hlukové znečištění). Ale k rušení může dojít i ve starých lomech, využívaných např. pro rekreační aktivity (nasezení skalních stěn apod.), či na skalních stěnách jako takových. SZ také zvyšuje riziko predace mláďat na hnízdech. SZ též ovlivňuje jeho lovecké chování, spíše se vyhýbá místům s vyšší úrovní SZ. své teritorium obývá celoročně.

Puštík bělavý (*Strix uralensis*) – druh vyskytující se převážně v rozsáhlejších zalesněných oblastech v horských a podhorských polohách (zejm. staré bučiny) a jen na několika lokalitách v ČR, s velmi nízkou úrovní SZ. Stejně jako jiné druhy sov je citlivý na SZ, zejm. v období toku, hnízdění a vyvádění mláďat. Vzhledem k tomu, že celoročně obývá stejné teritorium, je pak dalším rizikovým obdobím zima, kdy je vzhledem k nedostatku potravy a velkým energetickým výdajům citlivý na jakékoliv rušení.

Datlík tříprstý (*Picoides tridactylus*) – jde o druh citlivý na antropogenní rušení, který ke svému hnízdění vyhledává především rozsáhlejší lesní celky (zejm. staré smrčiny v nadmořských výškách nad 700 m). Mezi druhy citlivé na SZ je zařazen především z důvodu, že vyhledává lokality s malou úrovní SZ, na místech s vyšší úrovní SZ se v podstatě nevyskytuje. Své teritorium obývá celoročně.

Strakapoud bělohřbetý (*Dendrocopos leucotos*) – jde o druh citlivý na antropogenní rušení, který ke svému hnízdění vyhledává především rozsáhlejší lesní celky (zejm. staré bučiny a smíšené horské lesy), zejm. v oblastech s nízkou úrovní SZ. jde o druh obecně citlivý na změny biotopu a antropogenní rušení. Je zařazen mezi druhy citlivé na SZ. Své teritorium obývá celoročně.

Holub doupňák (*Columba oenas*) – jde o druh citlivý na antropogenní rušení a změny biotopu, který ke svému hnízdění vyhledává především rozsáhlejší lesní celky (zejm. staré bučiny). Je zařazen mezi druhy, u kterých se předpokládá citlivost na SZ, a to zejména v hnízdním období (březen–červenec).

Ořešník kropenatý (*Nucifraga caryocatactes*) – jde o druh velmi citlivý na antropogenní rušení včetně SZ, který ke svému hnízdění vyhledává především rozsáhlejší lesní celky, zejm. smrčiny ve středních a vyšších polohách. Vyskytuje se téměř výhradně v místech s nízkou úrovní SZ. Je zařazen mezi druhy, u kterých se předpokládá citlivost na SZ. Velmi plachý je zejména v hnízdním a předhnízním období (únor–červenec), citlivý na SZ je ale i v zimním období (svá teritoria obývá zpravidla celoročně).

Skřivan lesní (*Lullula arborea*) – druh obývajících především řídké lesy, jejich okraje, ale i pestrá krajina s roztroušenou zelení a sukcesní plochy. Vzhledem k jeho mizení z míst s vyššími hodnotami SZ, večerní aktivitě a poklesu početnosti v posledních desetiletích, je SZ považováno za rizikový faktor pro tento druh.

B) Druhy otevřené krajiny

Chřástal polní (*Crex crex*) – druh obývající především extenzivně obhospodařované louky, převážně v horských a podhorských oblastech. Jde o druh s převážně večerní a noční aktivitou, citlivý na antropogenní rušení a změny biotopů, včetně SZ. Obecně se tento druh vyskytuje zejména v oblastech s nižší úrovní SZ. Z nepublikovaných dat vyplývá, že v některých případech mizí z lokalit, kde se v předchozím období zvýšila úroveň SZ (ale i dalších forem antropogenního rušení), např. výstavbou nových rekreačních objektů. Jde o tažný druh, který se na hnízdišti zdržuje od dubna do srpna.

Křepelka polní (*Coturnix coturnix*) – jde o druh s významnou večerní a noční aktivitou obývající především rozsáhlejší extenzivně obhospodařované louky a neprodukční a sukcesní plochy v zemědělské krajině. Její výskyt je vázán převážně na lokality s nižší úrovní SZ. Je tažná na hnízdištích se zdržuje od dubna do září.

Bekasina otavní (*Gallinago gallinago*) – stejně jako předchozí druh má večerní aktivitu a je velmi citlivá na antropogenní rušení a změny biotopu. Jde o druh v uplynulých desetiletích silně ubývající, a nárůst SZ je považován za jednu z příčin ubývání druhu. Je tažná, na hnízdištích se zdržuje od března do září. Vzhledem k její nápadné večerní aktivitě může světelné znečištění způsobovat i vyšší predaci tohoto druhu.

Krutihlav obecný (*Jynx torquilla*) – jde o druh obývající především otevřenou krajinu se starými stromy a extenzivními trávníky, které mu slouží ke sběru potravy. Typickým biotopem jsou pak např. staré sady, aleje se starými stromy apod. Jeho citlivost na vliv SZ vychází především ze skutečnosti, že ke svému hnízdění si v krajině vybírá především lokality s nižší úrovní SZ. Je citlivý na antropogenní rušení a změny biotopů. Vliv SZ na tento druh může být dán i přes potravní řetězec (vliv SZ na hmyz a ekosystémy obecně). Jde o tažný druh, na hnízdišti se zdržuje od dubna do září.

C) Vodní a mokřadní druhy:

Bukač velký (*Botaurus stellaris*) – jde o vzácný druh skrytě žijící v rozsáhlejších litorálních porostech, jehož početnost se ve druhé polovině 20. století významně snížila. Vyznačuje se významnou noční aktivitou a zároveň jde o druh citlivý na antropogenní rušení a změny biotopů. Vyhledává spíše lokality s nižší úrovní SZ a je považován za druh citlivý na SZ. Jde o převážně tažný druh, který se na hnízdištích zdržuje od března do října.

Bukáček malý (*Ixobrychus minutus*) – jde o vzácný druh skrytě žijící v rozsáhlejších litorálních porostech, jehož početnost se ve druhé polovině 20. století významně snížila. Vyznačuje se významnou noční aktivitou a zároveň jde o druh citlivý na antropogenní rušení a změny biotopů. Vyhledává spíše lokality s nižší úrovní SZ a je považován za druh citlivý na SZ. Jde o převážně tažný druh, který se na hnízdištích zdržuje od dubna do září.

Kvakoš noční (*Nycticorax nycticorax*) – druh s významnou noční aktivitou, citlivý na antropogenní rušení a změny biotopů. Citlivý na SZ je především na hnízdištích (hnízdí zpravidla koloniálně na rybníčních ostrůvcích). Vzhledem k tomu, že za soumraku a v noci vylétá z kolonií na lov potravy, může být na místech s vyšším SZ vystaven vyšší predaci či oslnění světlem. Jde o tažný druh, na hnízdištích se zdržuje od dubna do září.

Chřástal kropenatý (*Porzana porzana*) – druh u nás spíše vzácně obývajícím mokřadní biotopy. Jde o druh s večerní a noční aktivitou, u kterého je předpoklad vyšší citlivosti na SZ. Tomu nasvědčuje i skutečnost, že obývá především lokality s nižší úrovní SZ. Jde o tažný druh, na hnízdištích se zdržuje od dubna do září.

Chřástal malý (*Porzana parva*) – druh u nás spíše vzácně obývajícím mokřadní biotopy. Jde o druh s večerní a noční aktivitou, u kterého je předpoklad vyšší citlivosti na SZ. Tomu nasvědčuje i skutečnost, že obývá především lokality s nižší úrovní SZ. Jde o tažný druh, na hnízdištích se zdržuje od dubna do září.

Jeřáb popelavý (*Grus grus*) – jde o druh, jehož početnost se u nás sice v posledních desetiletích zvyšuje, přesto je považován za druh citlivý na antropogenní rušení. Svá hnízdiště umísťuje především na lokality s nižší úrovní SZ, proto je považován za druh citlivý na SZ. Jde o tažný druh, který se ale u nás zdržuje od února do listopadu. Rušení SZ může narušovat i jeho tahové a předtahové chování, zejm. pokud jde o shromaždiště a tahové zastávky.

D) Synantropní druhy:

Sova pálená (*Tyto alba*) – synantropní a v posledních desetiletích silně ubývajícím druh, citlivý na rušení a změny biotopů. SZ je problematické zejména v místech hnízdění (zejm. zemědělské a sakrální objekty), hnízdo by nemělo být vystaveno umělému osvětlení, jak z důvodu rušení, tak potenciální predace hnízd. SZ zároveň snižuje loveckou úspěšnost sov při lovu hlodavců, což bylo prokázáno u jiných druhů sov, ale poznatek je zobecnitelný na všechny sovy, včetně sovy pálené, pro kterou jsou hlodavci hlavní složkou potravy (Sordello et al. 2025), je tedy potřeba dbát i na to, aby byl v okolí hnízda dostatek lovišť s nízkou úrovní SZ. Vzhledem k tomu, že jde o stálý druh, obývajícím své teritorium celoročně, je u něho důležité zohlednit SZ po dobu celého roku, přičemž nejcitlivější na jakékoliv rušení je v období toku, hnízdění a pak zimování.

Sýček obecný (*Athene noctua*) – synantropní a v posledních desetiletích silně ubývajícím druh citlivý na rušení a změny biotopů. SZ je problematické zejména v místech hnízdění (zejm. zemědělské a sakrální objekty), hnízdo by mělo být chráněno před umělým osvětlením, jak z důvodu rušení, tak potenciální predace hnízd. SZ zároveň snižuje loveckou úspěšnost sov při lovu hlodavců, což bylo prokázáno u jiných druhů sov, ale poznatek je zobecnitelný na všechny sovy, včetně sýčka obecného, pro kterou jsou hlodavci hlavní složkou potravy (Sordello et al. 2025), je tedy potřeba dbát i na to, aby byl v okolí hnízda dostatek lovišť s nízkou úrovní SZ. Vzhledem k tomu, že jde o stálý druh, obývajícím své teritorium celoročně, je u něho důležité zohlednit SZ po dobu celého roku, přičemž nejcitlivější na jakékoliv rušení je v období toku, hnízdění a pak zimování.

Kavka obecná (*Coloeus monedula*) – dnes především synantropní druh, hnízdícím především koloniálním způsobem. Vzhledem k obývanému biotopu se nepředpokládá citlivost ke SZ, jistá opatrnost by však měla platit v místech hnízdění, kterými mohou být i půdy památkových objektů či sakrální stavby.

Rorýs obecný (*Apus apus*) – jde o druh obývajícím především prostředí lidských sídel. I když existují studie, které dokazují pozitivní vliv SZ ve městech na prodloužení času pro sběr potravy (Amichai & Kronfeld-Schor 2019, Dougherty et al. 2024), na hnízdištích tohoto druhu působí

SZ spíše negativně, což může souviset např. s vyšší mírou predace nebo žadoněním mláďat o potravu během noci a tím nucení rodičů do shánění potravy do nočních hodin. Doporučením tedy je omezit vliv SZ na místech, kde se vyskytují kolonie nebo významnější hnízdiště tohoto druhu (vyšší budovy, někdy i památkově chráněné).

3. Hodnocení vlivu světelného znečištění na živočichy

Pro potřebu hodnocení vlivu SZ na živočichy lze využít normou ČSN 36 0459 stanovené rozčlenění do pěti zón světelného prostředí (Z0–Z4; viz kapitola 1.4). Toto dělení reflektuje jak gradient SZ, tak současně zastoupení cenných a zachovalých přírodních a přírodě blízkých stanovišť v krajině, společně s potřebami a distribucí lidské populace. Tato norma dále reflektuje a zachovává rozdělení obcí na základě zákona č. 128/2000 Sb., o obcích (obecní zřízení), ve znění pozdějších předpisů do tří kategorií: O1 – obec bez statusu, O2 – město a městys, O3 – hlavní město a statutární město.

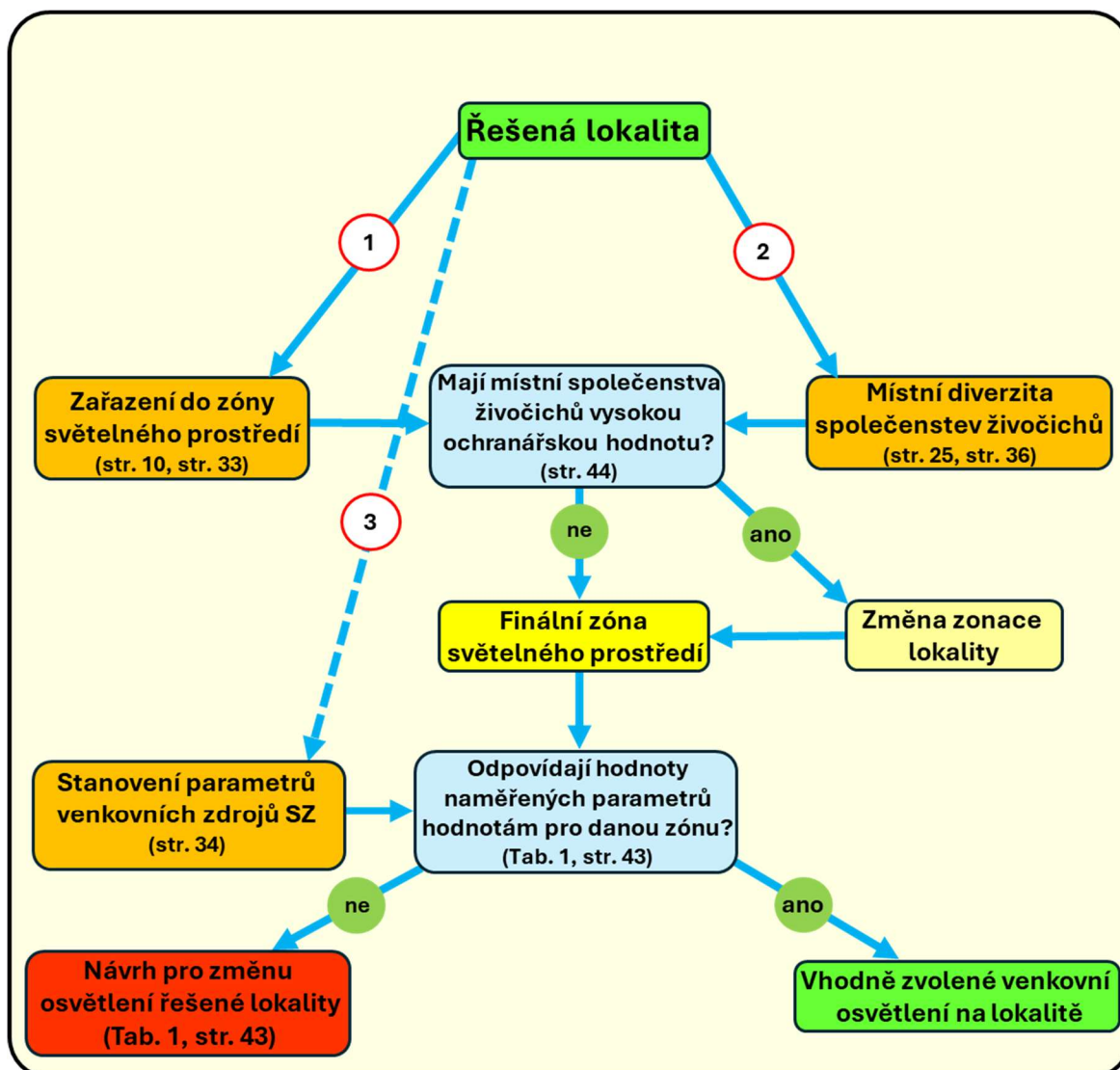
Jednotlivé zóny světelného prostředí se kromě gradientu distribuce umělého světla, mohou také výrazně lišit i v zastoupení dalších antropogenních vlivů, mezi které patří např. hlukové znečištění nebo míra urbanizace (podíl zastavěných ploch). Tyto efekty mohou působit ve spojitosti se SZ synergicky, čímž lze předpokládat silnější dopad na přírodní společenstva. Použitá zonace také ve velké míře odpovídá gradientu rozložení diverzity živočichů a společenstev na území ČR, přičemž lze očekávat nejnížší diverzitu v zónách 3 a 4. Toto rozložení ale není striktní a nesmí vést automaticky k podhodnocování zón vyšších kategorií.

3.1 Vstupní data pro hodnocení

Do hodnotícího procesu o vlivu SZ na živočichy vstupují tři soubory dat: i) příslušnost aktuálně řešeného místa k jednotlivým zónám světelného prostředí, ii) vlastnosti stávajícího nebo plánovaného venkovního zdroje umělého světla, a iii) rozšíření nebo zastoupení taxonů živočichů značně citlivých na SZ v hodnocené oblasti (Obr. 1).

3.1.1 Stanovení kategorie zonace světelného prostředí dle normy ČSN 36 0459

Pro účely posouzení vlivů na živočichy citlivé na SZ je nejprve nezbytné vyhodnotit charakter území ve vztahu k zonaci světelného prostředí, a to individuálně ve vztahu ke každé řešené lokalitě. Je nezbytné postupovat dle definic zón dle normy ČSN 36 0459 (viz také kapitola 1.4). V případě nezastavěné krajiny hraje významnou roli pozice řešené lokality v rámci národních parků a jejich ochranných pásem, chráněných krajinných oblastí, přírodních parků a oblastí tmavé oblohy (zóna Z0), maloplošných chráněných území nebo v lokalitách soustavy Natura 2000 (Z0 nebo Z1). U obcí je sledováno jejich řazení do jedné ze tří kategorií podle zákona č. 128/2000 Sb. – zda se jedná o obce kategorie O1 – obec bez statusu (zóna Z2), O2 – město a městys (Z2 nebo Z3) nebo O3 – hlavní město a statutární město (Z3 nebo Z4). Dále je sledován charakter kompaktnosti zástavby v místě řešení nebo pozice místa řešení v rámci obce (centrální vs. okrajové části). Zdroji těchto dat mohou být volně dostupné mapové podklady (např. portál mapy.cz) nebo dané zákony o obcích (zákon č. 128/2000 Sb.) nebo o ochraně přírody a krajiny (zákon č. 114/1992 Sb.).



Obr. 1 - Diagram zobrazující posloupnost kroků během procesu hodnocení vlivu světelného znečištění na společenstva živočichů. Do procesu hodnocení vstupují pro řešenou lokalitu tři soubory dat: 1) zařazení řešené lokality do zóny světelného znečištění, 2) data o diverzitě vybraných skupin živočichů a 3) parametry záření zdrojů venkovního osvětlení, plánované nebo realizované na řešené lokalitě. Odkazy na stránkování a přílohy odkazují na příslušné části vlastního textu metodiky hodnocení.

3.1.2 Parametry venkovních zdrojů umělého světla

V rámci hodnocení konkrétních zdrojů umělého světla se hodnotí dva parametry: i) zastoupení krátkých vlnových délek ve vyzařovaném světle a ii) jeho maximální osvětlenost za hranicemi cíleně osvětlované oblasti. Tyto parametry byly vybrány na základě vědeckých poznatků publikovaných v odborných studiích (Příloha 4), podle kterých lze popsat klíčovou roli umělého světla na změnu chování a životních procesů živočichů a jejich interakcí s dalšími složkami ekosystému v prostředí zasaženém SZ. Naprostá většina citlivých skupin živočichů silně reaguje zejména na světlo s krátkými vlnovými délkami (typicky UV nebo modré světlo), s negativními projevy už za nízkých hodnot intenzity záření (viz např. rekapitulace dostupných znalostí k citlivým skupinám živočichů v Příloze 3).

i) zastoupení krátkých vlnových délek ve spektrálním složení vyzařovaného světla (U500)

Přítomnost světla zejména krátkých vlnových délek v nočním prostředí může vyvolat nepřírozené procesy a ovlivnit chování u živočichů citlivých na SZ. Předmětná je zejména spektrální distribuce energie (SPD, *spectral power distribution*) v oblasti 380–500 nm, tzv. „modré světlo“. Parametr U500 vyjadřuje poměr vyzařovaného světla v rozmezí vlnových délek 380–500 nm vůči celkovému vyzařovanému světlu, tj. v rozmezí vlnových délek 380 nm až 780 nm (ČSO 2024).

Parametr U500 lze určit například v aplikaci LUOXtech (dostupné online na luoxtech.app) na základě informací o spektrálním složení světla dodaných výrobcem, případně měřením kalibrovaným spektrometrem či spektroradiometrem.

ii) osvětlenost za hranicemi cíleně osvětlované oblasti $E_{v,max}$

Světelnou překážku pro živočichy citlivé na SZ může vytvářet i bodové překročení limitů, ačkoli průměrná osvětlenost hodnocené plochy není nadměrně zvýšena. Proto se pro účely ochrany přírody posuzuje maximální (bodová) osvětlenost ($E_{v,max}$), posuzovaná na svislé hodnotící ploše, která je umístěna v maximální vzdálenosti 2 m za hranicí osvětlované oblasti. Hranicemi cíleně osvětlované oblasti mohou být například rovina plotu kolem areálu, hranice komunikace, hranice pozemku apod. V případě, že je dané místo nedostupné pro měření (např. vodní hladina, strom atp.), měří se k této hranici nejbližší místo ve směru k posuzovanému zdroji světla.

Výška hodnotící plochy odpovídá výšce svítidla nebo svislé osvětlované oblasti, minimálně však 5 m. Hodnocená plocha je rozdělena do dvou výškových pásem

- v1 0 až 5 m nad terénem (ze které se vyjadřuje Osvětlenost v1; v případě, že je svítidlo umístěno v nižší výšce než 5 m nad terénem, posuzuje se Osvětlenost v1 na celé svislé osvětlované oblasti vysoké 5 m)
- v2 od 5 m nad terénem až do výšky svítidla, případně výšky svislé osvětlované oblasti (ze které se vyjadřuje Osvětlenost v2).

Měření se provádí síti kontrolních bodů podle vzorce:

$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10} d} \text{ (viz také normu ČSN EN 12464-2)}$$

Kde:

- p maximální velikost buňky sítě (m);
- d délka hodnocené plochy mezi dvěma světelnými místy (m).

POZNÁMKA Vzorec byl odvozen za předpokladu, že $\log p$ je úměrné $\log d$, kde:

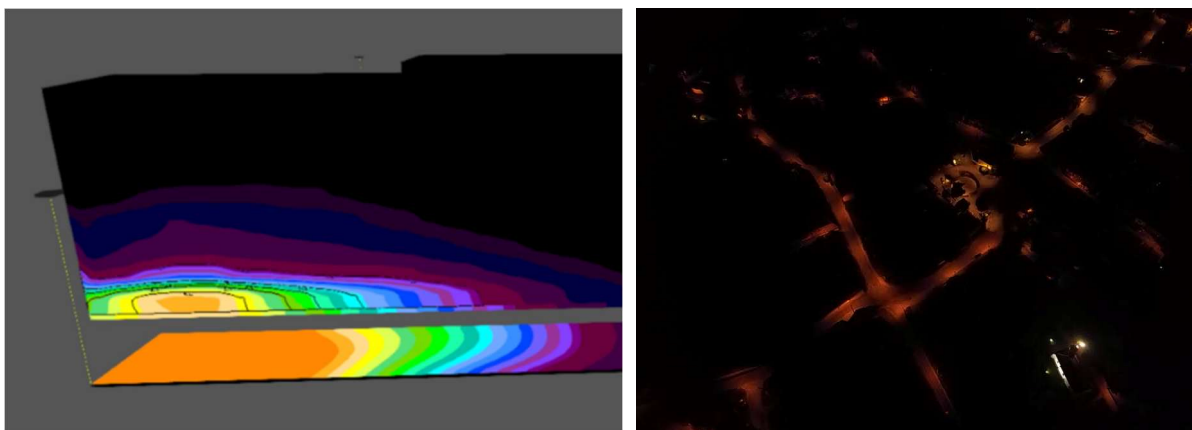
- $p = 1$ m pro $d = 10$ m;
- $p = 5$ m pro $d = 100$ m.

Maximální svislá osvětlenost ($E_{v,max}$) se počítá a měří dle postupů pro posuzování osvětlování svislých oblastí, stanovených v EN 13201-3 – Osvětlení pozemních komunikací – Část 3: Výpočet a EN 13201-4 – Osvětlení pozemních komunikací – Část 4: Metody měření. Hodnoty

v místě maximální osvětlenosti nesmí přesahovat limity uvedené v Tabulce 1 (viz níže v kapitole 3.2).

V případě nově plánovaných zdrojů umělého světla lze použít software pro návrh světelných zdrojů (Dialux Evo, Relux apod) s parametry uvedenými v projektové dokumentaci produktu. V případě pochybností a u soustav, kde nejsou technické parametry svítidel známe, lze hodnocení provádět měřením. K měření lze využít jasový analyzátor nebo standardní, v praxi užívané kalibrované luxmetry s potřebnou mírou přesnosti. Hodnotící protokol nebo protokol měření musí obsahovat definované hranice osvětlované oblasti, umístění hodnotící roviny a sít' bodů navrženou dle ČSN EN 12464-2.

Kritéria odbornosti hodnotitele: Data může sbírat i jiná osoba než hodnotitel odpovídající za hodnotící proces, pokud je obeznámena s postupy hodnocení dle příslušných norem a vybavena přístroji s potřebnou mírou přesnosti.



Obr. 2 – Příklad výpočtu osvětlenosti $E_{v,max}$ na svislé hodnotící rovině (vlevo). Příklad osvětlení komunikace s optimálním spektrálním složením (nízký U500) a minimálním přesahem mimo osvětlovanou oblast (vpravo).

3.1.3 Data o rozšíření živočichů citlivých na světelné znečištění

Při hodnocení vlivu SZ na živočichy se vychází z dat o rozšíření taxonů značně citlivých na SZ (viz kapitola 2.2., Příloha 3). Tato data lze získat jednak z dostupných zdrojů dat, nebo zejména vlastním terénním inventarizačním průzkumem. Explicitně lze postupovat u dalších taxonů s ohledem na aktuální úroveň odborného poznání.

Zdroje dat

Národní a specializované databáze. Jedná se především o data uvedena v Nálezové databázi ochrany přírody (NDOP) spravované Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR. Dále se může jednat o data uvedena v taxonomicky specializovaných databázích garantovaných odbornými institucemi, jako je např. Databáze mapování motýlů České republiky spravovaná Entomologickým oddělením AV ČR, databáze AVIF spravovaná Českou společností ornitologickou nebo databáze ČESON spravovaná Českou společností pro ochranu netopýrů. Ve speciálních případech se může jednat i o soukromé nálezové databáze jednotlivých odborníků – specialistů na dané taxonomické skupiny nebo regionálních sběratelů hmyzu.

Literární zdroje. Publikované literární zdroje v národních nebo regionálních (např. muzejních) periodikách, ve kterých jednotlivé příspěvky podléhají odbornému recenznímu řízení. Případně se může jednat i o data z distribučních atlasů nebo studentských závěrečných prací.

Zprávy z inventarizačních průzkumů a odborných projektů. Nepublikované závěrečné zprávy nebo jejich přílohy z odborných inventarizačních prací nebo projektů zaměřených na sledování stavu populací a společenstev daných taxonomických skupin. Tyto zprávy je možné získat např. z relevantních odborů jednotlivých krajských úřadů nebo magistrátů.

Internetové zdroje. Specializované web stránky nebo platformy, jež se věnují mapování výskytu jednotlivých taxonů, často se zapojením dat od široké veřejnosti. Mezi nejznámější patří asi platforma iNaturalist, kde jednotlivé nálezy podléhají několika stupňové validaci.

Muzejní a soukromé sbírky. V případě hmyzu mohou zdroje dat tvořit i novější entomologické sbírky a dokladové exempláře deponované v národním nebo regionálních muzeích. V neposlední řadě se může jednat i o sbírky vedené jednotlivými soukromými sběrateli, kteří se často věnují diverzitě konkrétních regionů.

V případě použití jakýchkoliv dat z těchto zdrojů se nelze vyhnout určité míře nejistoty (zejména z pohledu správnosti determinace nebo lokalizace nálezů). Je proto potřebné, aby do hodnocení vstupovala data pouze odborně validována. V případě že nejsou data validována, je nutné, aby jejich validaci / revizi provedl nestranný odborník – specialista na danou taxonomickou skupinu, pokud jim není hodnotitel sám.

Ze všech uvedených zdrojů lze čerpat pouze data správně a dostatečně lokalizována tak, aby bylo možné stanovit přesnost nálezů s přesností na 1/16 síťového pole standardního mapovacího čtverce (čtvercová síť prokládaná územím ČR metodou KFME, *Kartierung der Flora Mitteleuropas*). V případech, že hodnocená lokalita se nachází na rozhraní těchto 1/16 čtverců, je možné použít i data ze sousedících čtverců. Pro hodnocení lze přebírat pouze nálezy recentní, ne starší než 10 let.

Vlastní terénní inventarizační průzkum

Data o výskytu jednotlivých skupin na řešené lokalitě je potřebné doplnit i o data získaná vlastním průzkumem (data z výše uvedených zdrojů jsou často značně nedostatečná nebo neaktuální pro objektivní ohodnocení). Terénní data z vlastního inventarizačního průzkumu tvoří primární zdroj informací o výskytu jednotlivých taxonů v řešených oblastech.

Hmyz

Primární metodou sběru dat o vybraných skupinách hmyzu (Příloha 2) je lákání dospělců na světelné zdroje. Pro tyto potřeby se použijí *plně automatické přenosné světelné lapače*. Světelný lapač pozůstává z odběrné nádoby, ze které je zabezpečen odvod dešťové vody. Na odběrnou nádobu je nasazen sběrný trychtýř, který zamezuje úniku hmyzu. Na odběrné nádobě se sběrným trychtýřem je nasazena konstrukce tří desek z transparentního plastu, do nichž naráží přilákání jedinci. Mezi deskami se nachází vlastní zdroj emitovaného světla, ke kterému je hmyz lákán. Uvnitř odběrné nádoby je menší nádoba, ze které se odpařuje látka (chloroform) usmrcující hmyz. Rozměry celkové konstrukce lapačů se mohou lišit, důraz je ale kladen na použitý zdroj světla. Světelný zdroj tvoří soustava dvou nebo tří LED pásek nebo

LED napojených ve dvou nebo třech řadách za sebou. Jednotlivé LED emitují záření v rozsahu vlnových délek nejatraktivnějších pro naprostou většinu řešených skupin hmyzu (UV a modrá část spektra), a to alespoň v hodnotách do 420 nm. Celkový výkon soustavy LED nepřesáhne 30 W. Napájení světelných zdrojů je pomocí přenosných akumulátorů.

Hmyz bude monitorován v kruhové oblasti s poloměrem 500 m a se středem v místě řešeného plánovaného / stávajícího bodového umělého osvětlení. V případě vícero zdrojů světla se uvažuje o ploše v polygonu s rozměry 500 m od okrajových zdrojů světla v soustavě. V rámci této plochy bude důraz kladen na zastoupení přírodních a přírodě blízkých typů stanovišť a jejich variabilitu. Mezi tato stanoviště se neřadí plochy intenzivně obhospodařované orné půdy nebo plochy s výrazně hustou zástavbou. Maximální počet lapačů, který bude na uvažované ploše exponován, je 10. Jejich celkový počet odpovídá celkovému zastoupení těchto stanovišť v monitorovaném území (jeden lapač odpovídá 10 % rozlohy oblasti tvořené těmito stanovišti). Zastoupení lapačů v jednotlivých typech stanovišť bude dále odpovídat proporčnímu zastoupení stanovišť na ploše (např. pokud bude v oblasti 20 % lesů, 50 % travin a 30 % mokřadů, budou 2 lapače umístěné v lesích, 5 v travinách a 3 v mokřadech). Sběr dat nebude probíhat během noci v období úplňku, s výskytem trvalých srážek a nočními teplotami pod dlouhodobým průměrem pro danou oblast.

Ve sledované oblasti budou konkrétní pozice lapačů vybírány v době první návštěvy. Tato místa budou stejná pro každou návštěvu. Celkově bude realizováno sedm návštěv v období od dubna do října, s frekvencí jedné návštěvy (noci) měsíčně. Během každé návštěvy budou všechny lapače na daných bodech exponovány od setmění do rozbřesku následujícího dne. V případech, kdy nelze odchycené vzorky zpracovat ihned po odběru, budou z lapačů co nejdříve vyjmuty do papírových sáčků, bude u nich uveden datum a místo odběru a budou uskladněny v mrazících zařízeních do doby dalšího zpracování. Z nasbíraných vzorků budou následně vyjmuty cílové skupiny hmyzu (Příloha 2). Pro všechny skupiny bude z každého vzorku stanovena četnost odchycených jedinců, a kromě determinačně náročných skupin (viz kapitola 2.3) i seznam druhů. V případě determinačně náročných skupin je možné sledovat aspoň výskyt výrazných, ochrannářsky nebo regionálně významných druhů. Taxonům determinovaným do druhové úrovně bude stanoven stupeň ohrožení podle aktuálního Červeného seznamu bezobratlých ČR, platného seznamu zvláště chráněných živočichů a příloh směrnice o stanovištích. Výstupem inventarizačního průzkumu budou celkové četnosti jedinců jednotlivých taxonů ze všech lapačů z dané oblasti, v případě skupin determinovaných do druhové úrovně četnosti konkrétních druhů, s jejich statusem ohroženosti (viz nahoře).

Metodu lákání hmyzu na světelné zdroje nelze efektivně realizovat v oblastech silně zasažených světelným znečištěním (především v zónách Z3 a Z4). V těchto oblastech bude potřebné realizovat sběr dat jinou metodou (viz níže), nebo lapače situovat do více zastíněných fragmentů zeleně.

Pro specifickou skupinu světlušek (čeleď Lampyridae) je vhodné v lapačích použít světla emitující záření v oblasti červené barvy (vlnové délky v rozsahu 600–660 nm), která je pro dospělce atraktivní. Alternativně lze jejich výskyt sledovat pomocí *metody nočních pochůzek*, kdy se na vhodných stanovištích (lesní a lesostepní okraje, křovinaté okraje lesů, řídké světlé lesy) provede v období od 20.6. do 10.7. hodinová pochůzka v čase od setmění do půlnoci. Během pochůzky se stanovena oblast pomalu prochází, a počítají se všechny pozorované jedince obou pohlaví (relativní četnosti). V případě nepotvrzení výskytu světlušek je potřebné provést další kontrolní návštěvu o pár dnů později.

Mezi další doplňkové metody sběru dat o hmyzu, jimiž lze průzkum monitorované oblasti doplnit, patří:

i) *individuální sběr během noční pochůzky* – během jedné noci v časovém rozsahu od setmění do rozbřesku bude sledovaná oblast pomalu procházena, a za pomoci svítilny (čelové lampy, ruční lampy) budou dohledáváni a sbíráni v noci aktivní jedinci řešených skupin hmyzu. Důraz je kladen na procházení kompletní škály biotopů, jež se v dotčené oblasti nachází. Doba v rámci noční pochůzky strávená na jednom typu biotopu je stanovena proporčně podle zastoupení všech biotopů v řešené oblasti. Během pochůzek (s frekvencí jedné návštěvy od května do září) je hmyz dohledáván na různých typech povrchů (obnažená půda, exponované skály, zdi budov, borka stromů, na plodnicích hub, keřích, mrtvém dřevu, travinách a bylinách apod.). Během pochůzky mohou být monitorovány i skupiny hmyzu vydávající akustické signály (např. zástupci skupiny Orthoptera).

ii) *odchyt do zemních pastí s noční expozicí* – pro epigeické skupiny nočního hmyzu, zejména střevlíkovité brouky, lze využít metodu zemních pastí. Zemní past tvoří plastová nádoba o objemu 0,5 l a průměru 95 mm, jež je instalována v půdním povrchu tak, aby horní okraj nádoby byl na úrovni povrchu. V pasti je do 1/3 nalita fixační tekutina (roztok octu, propylenglykol, 3 % roztok formaldehydu, roztok kuchyňské soli apod.). Cílem monitoringu je zachytit co nejvyšší diverzitu sledovaných skupin, proto je možné použít v pastech i návnady. Zemní pasti budou v monitorované oblasti rozmístěny od setmění do rozbřesku, s frekvencí jedné noci měsíčně od dubna do září. Celkem je vhodné v monitorované oblasti instalovat 50 zemních pastí, jejichž proporční zastoupení v různých biotopech odpovídá proporčnímu zastoupení biotopů v monitorované oblasti.

iii) *smýkání vegetace v nočním období* – v období od května do září je možné v období stmívání až rozbřesku provádět smýkání travino-bylinné vegetace a dřevin do výšky 3 m. Smýkání je prováděno za pomoci smýkací sítě na hmyz, pomocí které se vegetace smýká v pohybech kopírujících vzor ležatý 8. Pomocí těchto smyků je sbírán hmyz s noční aktivitou vyskytující se na vegetaci. V monitorované oblasti je stanoveno 10 transektů o délce 50 m, podél kterých zpracovatel posouzení pomalu prochází, a na kterých uskuteční vždy 50 smyků. Transekty jsou smýkány s frekvencí jedné noci měsíčně v období května až září a jsou proporčně rozmístěny mezi biotopy podle jejich proporčního zastoupení v monitorované oblasti.

iv) *dohledávání vývojových stadií* – ve specifických případech, kdy jsou dospělci na konkrétních stanovištích méně nápadní a častí, jsou v monitorované oblasti dohledávána vývojová stadia (např. dohledávání larválních hnízd některých zástupců motýlů čeledi Lasiocampidae, hledání specifických požerků a stop na rostlinné vegetaci v případě xylofágních skupin brouků nebo některých skupin motýlů atd.). Tato metoda předpokládá předešlé zkušenosti se sběrem podobných dat (řada taxonů je specificky vázaná na konkrétní biotop, jednotlivá stadia se vyskytují v určitém období apod.).

v) *sběr vodních larev* – v případě skupin s vazbou na vodní prostředí (Ephemeroptera, Trichoptera) je vhodné ve vodních biotopech hledat larvální stadia, pro která existuje relevantní determinační literatura. Samotný sběr larev probíhá za pomoci vodní sítky o rozměru 20×20 cm a velikosti oka 0,5–1 mm v dvou termínech v období březen–červen metodou 10

standardizovaných smyků (osmiček). Semikvantitativní vzorkování by mělo proporčně zastupovat všechna zastoupená mikrostanoviště.

Kritéria odbornosti hodnotitele: Hodnotitel, případně jiná osoba s potřebnými odbornými znalostmi a vysokoškolským vzděláním v zoologickém, zejména entomologicky zaměřeném oboru (systematická entomologie, ekologie hmyzu, ochránářská biologie se zaměřením na hmyz), aktivně publikuje nebo vykazuje činnost spojenou s průzkumem hmyzu, především hmyzu s noční aktivitou, disponuje potřebným materiálovým vybavením pro sběr vzorků hmyzu (především dostatečným počtem přenosných světelných lapačů se světelnými zdroji s uvedenými vlastnostmi) a má potřebné metodologické zkušenosti s danou metodikou sběru hmyzu. Determinaci nebo revizi jednotlivých vzorků, především taxonů determinačně obtížných, provede odborník-specialista na danou skupinu, pokud jím není hodnotitel sám.

Ptáci

Jako hlavní doporučenou metodou je hlasový monitoring ptáků, který se provede pomocí *nahrávacích zařízení*. Ta jsou rovnoměrně rozmístěna v terénu ve vzdálenosti 300–500 m od sebe s ohledem na charakter biotopů. Pro zjištění celého druhového spektra ptačího společenstva je doporučeno nahrávat 3x za hnízdní sezónu, a to vždy jednou v měsíci březnu (toto období je vhodné pro zaznamenání zejm. sov a šplhavců), dubnu (zaznamenání časněji hnízdících druhů pěvců a dalších skupin) a květnu (pro zaznamenání dálkových migrantů, kteří začínají hnízdit později). Nahrávání by mělo probíhat za vhodného počasí – nejlepší je jasné počasí bez větru (max. rychlost větru 5 m/s), beze srážek ev. pouze s mírným deštěm. Po nahrávání zpravidla stačí pouze jedna noc + následující ráno, pokud se v průběhu noci zhorší podmínky (zejm. s ohledem na počasí), je potřeba přidat další noc/ráno.

Z pořízených nahrávek se vyhodnocuje zejm. časový úsek 1 hodina před a po západu slunce a pak jedna hodina před východem a 2–3 hodiny po východu slunce. V tomto období je aktivní naprostá většina ptačích druhů. U březnové nahrávky se doporučuje kontrolovat nahrávku za celou noc, zejm. s ohledem na hlasovou aktivitu sov.

Pro nahrávání lze podle mnoha zkušeností použít jak specializovaná nahrávací zařízení např. firmy Wildlife Accoustic, ale naprosto dostatečné jsou i běžně dostupné diktafony výrobců OLYMPUS, SONY, PHILIPS apod.

Pro analýzu nahrávek je možné použít programovou sadu AMSRrv, která je v ČR nabízena zdarma a šířena elektronicky. Garantem jejího vývoje je Česká společnost ornitologická a je používána i státními institucemi např. pro monitoring Ptačích oblastí (AOPK ČR, Správy NP atd.). Kromě této programové sady je možné použít i další programové produkty dostupné jak komerčně, tak v některých případech i zdarma v základní verzi, např. Avisoft, Raven aj.

Nahrávky, zpravidla pořízené ve formátech MP3 nebo WMA se převedou na spektrogram a poté analyzují jak poslechem, tak vizuálně. Pro potvrzení daného druhu zpravidla stačí jeden záznam potvrzující jeho výskyt na dané lokalitě. Pokud chceme sledovat např. posuny jeho aktivity např. s ohledem na SZ, je potřeba zaznamenávat hlasovou aktivitu v jednotlivých časových intervalech, zpravidla v rozmezí 5 minut.

Jako další doplňkové metody je možné použít:

- i) *Sledování výskytu ptáků pomocí standardních sčítacích metod*: bodové, liniové nebo mapovací – s ohledem na velikost lokality, charakter biotopů a cílové druhy ptáků.
- ii) *Sledování výskytu vybraných druhů ptáků pomocí hlasové provokace*: tato metoda je vhodná např. pro sovy, šplhavce a další druhy, jejichž přítomnost chceme cíleně prokázat, např. v případě že se dá jejich výskyt v dané oblasti předpokládat, např. na základě hnízdního mapování nebo záznamů ve faunistických databázích NDOP, Avif aj.
- iii) *Sledování letové aktivity*: metoda vhodná pro sledování druhů jako je rorýs obecný, vlaštovka obecná, jiřička obecná či břehule říční. Používá se také k prokázání přítomnosti dravců, čápa černého či bílého a dalších druhů.
- iv) *Metody zaměřené na zjišťování konkrétních druhů ptáků*, jejichž výskyt je možné v dané oblasti předpokládat, např. pobytové značky (trus) tetřevovitých apod.

Kritéria odbornosti hodnotitele: Hodnotitel, případně jiná osoba s potřebnými odbornými znalostmi a vysokoškolským vzděláním magisterského nebo doktorského stupně studia se zaměřením na zoologii nebo ekologii ptáků a své znalosti této skupiny zpravidla prokázal obhajobou diplomové nebo disertační práce příslušného zaměření. Aktivně publikuje nebo vykazuje expertní činnost zaměřenou na ornitologické průzkumy. Důležitým předpokladem je schopnost akustické ev. vizuální determinace ptačích druhů, s ohledem na použité metody.

Letouni

Jednou z nejplošněji použitelných metod poskytující současně dostatečně robustní dataset je *bat detektoring* (akustický monitoring) s použitím *manuálních nebo automatických detektorů* a poloautomatického identifikačního software k určování druhů. Před vlastním terénním monitoringem na hodnocené lokalitě je nezbytné provést literární rešerši dle faunistických atlasů (Anděra & Hanák 2007, Hanák & Anděra 2005, 2006) a dále doplněním z Nálezové databáze ochrany přírody a databáze ČESON.

Předchozí monitoring ukázal, že se letová aktivita netopýrů může měnit velmi rychle, změny o 50 % mezi po sobě jdoucími nocemi nejsou výjimkou. Z toho důvodu je třeba k pravidelnému monitoringu letové aktivity využít automatické detektory se záznamem většího počtu nocí po sobě. Z důvodu optimalizace doby analýzy lze každou noc zaznamenávat letovou aktivitu pouze 4 hodiny po západu slunce, kdy je letová aktivita nejvyšší. Pro monitorování aktivity letounů a ověření loveckého/přeletového významu stanovišť lze doporučit zařízení Song Meter SM3BAT, SM4BAT, SM mini (WA, *Wildlife Acoustics*, USA) ale také méně nákladné detektory AudioMoth (AM, *Open acoustic device*). Na druhou stranu v posledních letech je vývoj automaticky dlouhodobě pracujících detektorů velmi dynamický a každoročně jsou na trhu nové modely. Využít lze i podobná zařízení od jiných firem např. D500X (*Pettersson Elektronik AB*, Švédsko). Výhoda těchto zařízení je automatická detekce echolokačních signálů netopýrů v real time režimu včetně kontinuálního záznamu nahrávek na velkokapacitní SD karty o velikosti 64 nebo 128 GB. V WA detektorech lze použít až čtyři paměťové karty. Některé modely od WA jsou vybaveny také dvěma ultrazvukovými mikrofony, kdy každý z nich může být orientován opačným směrem. Osa umístění mikrofónů pak koresponduje se směrem předpokládaného koridoru. Dostatečná vzdálenost mezi mikrofony (obvykle 3 m) zaručuje správnou interpretaci směru letícího netopýra. Některé detektory, již

ochranu před vlivy počasí mají (WA), k jiným je třeba ochranné plastové boxy zakoupit samostatně (AM). Detektory lze umisťovat na stromy do výšky cca 5–6 m nad zem.

K analýze akustických dat lze využít různé programy, např. Bat-SoundPro (*Pettersson Elektronik AB*, Uppsala, Švédsko), Song Scope (*Wildlife Acoustics*, USA), Adobe Audition (*Adobe Systems CC*); pouze poslední dva umožňují práci s celými 2 GB soubory. Je však možno využít i speciální poloautomatický identifikační software SonoChiro (*Biotope*, Francie) nebo Kaleidoscope Pro (*Wildlife Acoustics*, USA).

Během analýzy nahrávek je vhodné u každého druhu zaznamenávat počet pozitivních sekvencí za danou část noci a následně sekvence sečíst za celé monitorované období pro stanovení relativních rozdílů mezi druhy za různá období (např. gravidity a laktace) souhrnně. Pozitivní sekvence značí přeletovou nebo loveckou echolokační sekvenci čili sérii signálů charakterizující přibližování jedince k detektoru a jeho následné vzdalování od přístroje, přičemž je determinace založena na nejzřetelnější části sekvence. Přesná determinace nahrávek není pro účely monitoringu vlivu SZ nezbytná (obvykle stačí do rodů), a proto akusticky obtížně odlišitelné druhy netopýrů (*sibling species*) lze ponechat jako dvojice druhů (např. Bartoníčka et al. 2019). I poloautomatická analýza a identifikace nahrávek dvěma výše uvedenými programy, nebo obdobnými programy, které se v brzké budoucnosti do ČR rozšíří, není triviální a je nutné, aby ji prováděla kvalifikovaná osoba, která má s podobnými analýzami dostatečné zkušenosti.

Kritéria odbornosti hodnotitele: Osoba s dosaženým magisterským nebo vyšším VŠ vzděláním, které získala na základě obhajoby diplomové či doktorské práce využívající k získání primárních dat stejných nebo obdobných metod NEBO osoba schválená odbornou institucí (univerzitní pracoviště nebo jiná odborná instituce zabývající se výzkumem letounů) nebo organizací (ČESON) zabývající se výzkumem letounů, jako způsobilá ke sběru dat a provádění hodnocení vlivu SZ na populace letounů.

3.2 Stanovení kritických hodnot osvětlení pro jednotlivé zóny světelného prostředí z hlediska citlivosti živočichů

Jednotlivé zóny světelného prostředí definované podle normy ČSN 36 0459 reflektují obecný gradient distribuce živočichů (zejména taxonů značně citlivých vůči SZ) a jejich reakcí vůči zvyšující se míře SZ v prostředí. Pro jednotlivé zóny světelného prostředí je tedy s ohledem na nároky značně citlivých taxonů nutné upřesnit nastavení maximálních hodnot parametrů světelného prostředí.

Z hlediska citlivosti cílových skupin živočichů na SZ lze pro jednotlivé zóny definovat kritické (maximální) hodnoty, které musí zdroje venkovního osvětlení splňovat jak v případě plánovaných instalací, tak i při hodnocení vlivu již stávajících osvětlovacích systémů (viz Tab. 1 níže). Jednotlivé kritické (maximální) hodnoty jsou nastaveny pro maximální využití moderních technologických možností tak, aby byl v maximální míře i) omezen negativní vliv světla na místní společenstva živočichů, ale ii) současně umožňoval přiměřené využití daného území. Maximální hodnoty pro zóny Z0 a Z1 s výskytem cenných společenstev citlivých skupin živočichů reflektují dosavadní poznatky o vlivech sledovaných parametrů na tato společenstva. Ve vyšších zónách je předpoklad vyššího využití území, proto kritické hodnoty těchto parametrů postupně rostou (ale v mezích zabraňujících výraznější negativní vlivy SZ na místní společenstva). Světelné zdroje, jejichž hodnoty jsou nižší než stanovené kritické hodnoty pro

danou zónu, lze vždy realizovat. Jednotlivé limitní hodnoty parametrů jsou nastavené tak, aby i v případě lokalit s nízkou prozkoumaností živočišných společenstev nedocházelo k výraznému narušení případných populací druhů zvláště citlivých na SZ.

Tab. 1 – Kritické hodnoty vybraných parametrů světelných zdrojů podle jednotlivých zón světelného prostředí. Pro podrobnější popis parametrů viz kapitolu 3.1.2.

Zóna světelného prostředí	U 500 ^a	Osvětlenost v1 $E_{v,max} (lx)$ ^c	Osvětlenost v2 $E_{v,max} (lx)$ ^c	Třída svítivosti (G*) ^e
Z0 ^b	< 1 %	≤ 5	≤ 0,5	= G*6
Z1 ^b	< 1 % (< 2 % ^f)	≤ 5	≤ 0,5	≥ G*4
Z2 ^d	< 5 % (< 7 % ^f)	≤ 7	≤ 2	≥ G*3
Z3	< 7 % (< 11 % ^f)	≤ 10	≤ 5	x
Z4	< 10 % (< 11 % ^f)	≤ 10	≤ 5	x

Vysvětlivky:

^a Podíl spektrální distribuce energie ve vyzařovaném světle v oblasti 380–500 nm z celkové distribuce energie vyzařovaného světla (podle ČSO Brno) v noci (22:00–6:00).

^b V dané zóně není vhodné instalovat nové venkovní světelné zdroje. Jejich instalace by měla být realizována pouze v opodstatněných a odůvodněných případech. Pokud nebude vyžadováno trvalé osvětlení se stejnou intenzitou, je vhodné přistoupit k některým formám adaptivního osvětlení (spínání světel pohybovými senzory, snižování intenzity během hluboké noci).

^c Osvětlenost v1 vyjadřuje maximální (bodovou) osvětlenost na svislé hodnotící ploše do výšky 5 m. Osvětlenost v2 vyjadřuje maximální (bodovou) osvětlenost na svislé hodnotící ploše od 5 m nad terénem až do výšky svítidla, případně výšky svislé osvětlované oblasti. Osvětlenost $E_{v,max} (lx)$ nad v2 je < 0,1 lx.

^d V dané zóně je vhodné preferovat adaptivní formy osvětlení (spínání světel pohybovými senzory, snižování intenzity, případně i chromatičnosti během hluboké noci). Trvalé osvětlení se stejnou intenzitou je vhodné realizovat pouze v případech naprosto nezbytných.

^e Provozní třída svítivosti G* určuje míru clonění silničních svítidel v jejich pracovní poloze. Provozní třída svítivosti se určuje podle maximálních hodnot poměrných svítivosti (cd/klm) v úhlech nad 70°, 80° a 90°. Používá se pro omezení světla vyzařovaného do nežádoucích směrů. Bližší informace k provozní třídě svítivosti jsou uvedeny v ČSN EN 13201-2.

^f Hodnoty pro instalace realizované v přechodném období (do 2030). Pro tento časový horizont jsou předpokládány změny spojené s plánovanou aktualizací normy ČSN 36 0459, reflektující vývoj technologických možností osvětlovací techniky.

Při nových instalacích by v jednotlivých zónách neměly být používány zdroje umělého osvětlení nesplňující tato kritéria. Pokud stávající zdroje umělého světla daná kritéria nesplňují, je nutné provést jejich výměnu za vhodné alternativy.

Žádoucí jsou rovněž technologie, které se zaměřují na minimalizaci biologické odezvy a udávají informaci například o melanopickém indexu mDER.

Snížení světla vyzařovaného do směrů, kde není potřeba nebo kde je nežádoucí, se mj. provádí využitím adaptivního osvětlení, tj. například snížením úrovně osvětlení a zastoupení krátkých vlnových délek ve spektru v časových úsecích během hluboké noci.

3.3 Přehodnocení kritických hodnot světelného prostředí na základě získaných faunistických dat

Navržená maximální kritéria světelných podmínek pro jednotlivé zóny by neměla být bez náležitého zdůvodnění překračována. V případě, kdy na základě získaných biologických dat lze místní společenstva řešených skupin živočichů kategorizovat jako značně významná pro dané zóny světelného prostředí, by měla být vyžadována přísnější kritéria, než jsou uvedena pro řešenou zónu v kap. 3.2. Potřebné je samozřejmě posuzovat i samotnou nezbytnost osvětlení a možnosti jeho omezení či vyloučení (mj. s ohledem na zákonné požadavky jako je posouzení neexistence jiného uspokojivého řešení v případě ovlivnění zvláště chráněných druhů nebo předmětů ochrany lokalit soustavy Natura 2000).

Za značně významná společenstva lze považovat společenstva typická vysokým zastoupením ochranně významných druhů (jejich diverzitou, nebo abundancí konkrétních druhů). Zejména se jedná o zastoupení druhů v kategoriích ohroženosti RE, CR, EN stanovených dle kritérií Mezinárodního svazu ochrany přírody (IUCN) a uváděných v aktuálních Červených seznamech živočichů ČR, dále pak o druhy v kategorii kriticky a silně ohrožený v seznamu zvláště chráněných živočichů a druhy chráněné na úrovni EU podle směrnice o ptácích a směrnice o stanovištích. Dále se jedná o populace druhů s výrazným regionálním významem (zejména početné populace jednotlivých druhů ve srovnání s jejich distribucí na regionální škále, případně výskyt druhů s vazbou na unikátní ohrožené stanoviště nebo biotop).

Stanovení kvalitativních i kvantitativních hodnot pro společenstva řešených skupin živočichů je nezbytné nastavit s ohledem na zastoupení značně citlivých taxonů vůči SZ. V každém případě je nutné ohodnotit specifický stav místních populací živočichů zvlášť, i na základě celkového významu stanovišť v alespoň regionálním kontextu. Z toho důvodu je důraz kladen na zkušenosti hodnotitele s řešenými skupinami na území ČR. V případě, že hodnotitel tyto zkušenosti nemá, je potřebné aktuální kontext biologických dat konzultovat s odborníky – specialisty na danou taxonomickou skupinu. V mnoha případech se bude jednat o specialisty, jež se podíleli na sběru dat nebo jejich determinaci, ale není to nezbytné.

Aktuální absence nebo relativně nízké abundance indikačně významných skupin živočichů v získaných biologických datech nikdy nesmí vést ke stanovení méně kritických hodnot pro řešenou zónu.

4. Opatření pro minimalizaci vlivu světelného znečištění

Míra světelného znečištění v České republice dosahuje v některých regionech značně vysoké úrovně. V těchto oblastech jsou společenstva živočichů vystavena vysokým rizikům spojeným se SZ. Živočichové se ve svém přirozeném prostředí, které je však osvětleno umělým světlem, často potýkají s jeho negativními důsledky v podobě změny přirozeného chování, fyziologických procesů a cirkadiálních rytmů, narušení migrace, snížení propustnosti krajiny nebo až fatální dopady na vývojové cykly a životaschopnost populací. Umělé osvětlení má také negativní vliv na funkčnost a propojení trofických vazeb v ekosystémech, například prostřednictvím změn v potravních nebo opylovačských sítích. Tyto skutečnosti zdůrazňují potřebu vývoje vhodných metodických postupů, které umožní efektivní hodnocení lokálních dopadů SZ na jednotlivá společenstva. Tato nutnost vyplývá i ze samotného zákona o ochraně

přírody a krajiny. Zákon v části o obecné ochraně rostlin a živočichů uvádí (§5 odst. 1), že „všechny druhy rostlin a živočichů jsou chráněny před zničením, poškozováním, sběrem či odchytém, který vede nebo by mohl vést k ohrožení těchto druhů na bytí nebo k jejich degeneraci, k narušení rozmnožovacích schopností druhů, zániku populace druhů nebo zničení ekosystému, jehož jsou součástí. Při porušení těchto podmínek je orgán ochrany přírody oprávněn rušivou činností omezit stanovením závazných podmínek.“ Jak již bylo řečeno, SZ prokazatelně patří mezi projevy, jež mohou poškozovat životaschopnost jednotlivých populací nebo správnou funkci ekosystémů. Tato nutnost nevyplývá pouze z obecné ochrany, ale dotýká se i zvláště chráněných druhů (§ 50 odst. 2 „je zakázáno škodlivě zasahovat do přirozeného vývoje zvláště chráněných živočichů, zejména je chytat, chovat v zajetí, rušit, zraňovat nebo usmrčovati...“). Řada těchto taxonů patří mezi živočichy značně citlivé na SZ. Částečné řešení těchto negativních projevů přináší i norma ČSN 36 0459, ze které vychází i toto metodické doporučení.

Metodické principy vždy vycházejí z předpokladu, že stejně jako u jiných forem znečištění, i u SZ je nejúčinnějším, a tudíž i nejefektivnějším opatřením žádné znečištění nevytvářet. V zásadě lze aplikovat mitigační hierarchii, zahrnující (1) předcházení vzniku, (2) zmírnění vlivů a (3) kompenzaci vlivů. Obecně platí, že kromě dodržení kritických hodnot definovaných v kapitole 3.2 by měl každý zřizovatel i jedinec dodržovat obecná opatření pro minimalizaci SZ. Obecná opatření pro minimalizaci a případnou redukci vlivu SZ na cílové organismy vychází z pěti principů stanovených iniciativou *DarkSky* a *Illuminating Engineering Society*. Tyto principy a opatření lze aplikovat i v rámci praktické ochrany přírody, případně jejich zohledněním v souhrnech doporučených opatření pro ptačí oblasti a evropsky významné lokality nebo plánech péče pro jednotlivá zvláště chráněná území, ale lze se jimi řídit i v případech řešení potíží spojených se SZ ve volné krajině.

1. Účelnost – vychází z předpokladu, že každý světelný zdroj by měl mít svůj jasný účel. Je nezbytné vždy zvažovat skutečnost, jak světlo ovlivní danou oblast včetně volně žijících živočichů a jejich stanovišť.

2. Cílenost – přímé světlo by mělo dopadat jen na cílovou plochu, nemělo by se šířit nebo odrážet dál, než je potřeba. Toho je možné docílit za pomoci použití stínidel a přesným zaměřením paprsku světla na místo určení. Zde je potřeba zdůraznit, že podobný ne-li větší význam jako venkovní zdroje světla mohou mít i vnitřní zdroje osvětlení. Nemělo by v žádném případě docházet ke svícení do horního poloprostoru.

3. Co nejnížší intenzita – světlo by nemělo být jasnější, než je nutné. Používat by se měla světla s požadovanou úrovní osvětlení (dle kritérií pro jednotlivé zóny světelného prostředí, viz Tab. 1). Zřetel by měl být věnován i na podmínky povrchu, protože některé povrchy mohou odrážet na noční oblohu více světla, než bylo zamýšleno.

4. (Samo)ovladatelnost osvětlení – světlo by mělo být používáno pouze v případě potřeby. Doporučuje se proto využít ovládací prvky, jako jsou časovače nebo detektory pohybu, zajišťující, že světlo bude k dispozici, jen když je potřeba. Ztlumí se nebo úplně vypne, když není potřeba.

5. Preference teplých barev – kde je to možné, měla by být použita světla v teplejších barvách, s minimálním podílem vlnových délek < 500 nm (dle údajů k jednotlivým světelným zdrojům od výrobců v produktových listech nebo naměřených pomocí spektrometrických přístrojů). Omezení množství světla s kratší vlnovou délkou (modro-fialové) na nejmenší potřebné množství výrazně sníží efekt světla zejména pro některé skupiny hmyzu.

Box 1 – Přehled konfliktních situací a možných řešení nápravy, kdy nevhodně zvolené zdroje osvětlení mohou mít negativní dopad na společenstva živočichů.

*** - opatření pro zmírnění dopadů SZ aplikované ve všech případech**

Konfliktní situace	Doporučení pro zmírnění negativního projevu SZ
Přílišné osvětlení a nasvícení historických památek a fasád budov	V případě budov s výskytem živočichů citlivých na SZ vyloučit noční nasvícení (alespoň v kritickou část roku), a to i v rámci blízkého okolí. Používat pouze světla s minimálním podílem UV a modré složky (< 500 nm). Neosvětlovat fasády budov alespoň v období hluboké noci.
Osvětlení liniových staveb (cyklostezek, silnic, železnic)	Použít pouze světelné zdroje s minimálním podílem UV a modré složky (< 500 nm). Pomocí bočního svícení zamezit šíření světla mimo osvětlovanou část liniové stavby. Na méně frekventovaných místech použít adaptivní formy osvětlení (spínání pomocí pohybových čidel).
Osvětlení značně vysokých staveb (výškové obytné a průmyslové stavby)	Používat pouze světelné zdroje s užším a méně intenzivním paprskem světla, případně použít vhodné boční stínění světla. Používat pouze zdroje s minimálním podílem modrého a UV spektra (< 500 nm). Zejména v případech, kdy osvětlované objekty sousedí s přírodě blízkými stanovišti je nutné zabezpečit bočné stínění svítidel tak, aby byla osvětlována pouze plocha k tomu určena.
Osvětlení vodních ploch	V případě cenných stanovišť zcela vyloučit jakékoliv zdroje SZ sousedící s vodní plochou. U ostatních vodních ploch je potřebné pomocí bočního stínění svítidel zamezit přesah světla nad vodní hladinu. Použité světelné zdroje by neměly obsahovat světlo v oblasti UV a modrého spektra (< 500 nm). Na nejčinnějších biotopech a v jejich nejbližším okolí zcela vyloučit jakékoliv zdroje SZ.
Značné přesvětlení objektů v obecně tmavých oblastech	V místech realizací nesvítit v době hluboké noci, případně použít adaptivní formy osvětlení (spínání osvětlení pomocí pohybových čidel) nebo zdroje světla s nízkým podílem UV a modrého spektra (< 500 nm). Na nejčinnějších biotopech a v jejich nejbližším okolí zcela vyloučit jakékoliv zdroje SZ.

Tyto obecné principy vychází z reálně pozorovaných situací, kdy umělé světlo negativně ovlivňuje mimo jiné i společenstva živočichů. V praxi se tak lze setkat s řadou konfliktních

případů, kdy má SZ až příliš negativní efekt (Box 1). Pro případné zmírnění dopadů SZ v těchto situacích je potřebné dodržovat doporučení pro osvětlení pro jednotlivé zóny světelného prostředí (Tab. 1).

Z hlediska řešených modelových taxonů živočichů se můžeme nejčastěji setkat s těmito příklady nevhodně zvoleného osvětlení:

Letouni

Osvětlení historických památek a budov. V praxi jsou běžně osvětlovány budovy s cílem upozornit na historicky nebo stavebně významné objekty. Řada druhů letounů patří k synantropním druhům, a právě tyto objekty jsou jimi využívány jako úkryty. Může jít o prostory na půdách, ve střeších nebo také ve sklepích. Řada takových úkrytů je pravidelně monitorována Českou společností pro ochranu netopýrů, která současně vede u některých objektů evidenci výletových otvorů a koridorů, kterými letouni vylétují a vracejí se do svých úkrytů. Zejména u EVL na půdách budov jsou takové otvory označeny cedulkami. Předcházet negativnímu vlivu na SZ na kolonii lze tím, že nebudou osvětleny vletové otvory a příletové koridory k budovám. U některých lokalit, jako jsou např. hradní zříceniny se nemusí jednat o triviální řešení. Některé sklepy jsou využívány menšími skupinami letounů, kteří přiletují až těsně před hibernačním obdobím a skrývají se ve šterbinách stěn. Snadno uniknou pozornosti. Takové úkryty využívá např. netopýr dlouhouchý (*Plecotus austriacus*), který je jediným evropským druhem s významně negativním trendem. Osvětlení objektů lze také limitovat s ohledem na část roku, kdy je budova letouny využívána – letní kolonie v reprodukčním období (květen–srpen), zimoviště v zimě (prosinec–březen).

Osvětlení průmyslových a skladových areálů. Pokud se průmyslový areál nachází v blízkosti větších lesních porostů nebo výrazné liniové vegetace, je nutné zabránit šíření světla mimo osvětlovaná území. Je tedy třeba osvětlovat pouze plochu areálu. V opačném případě bude světlem, které se šíří na porostní hranu narušen a přerušen přeletový koridor nebo loviště druhů letounů, kteří jsou velmi citliví i na prahové hodnoty SZ (Lacoeuilhe et al. 2014, Mariton et al. 2022). Řešením je důsledné přesné směřování světla, například volbou vhodných optických systému nebo instalací systémových stínících clon do svítidel tak, aby byla skutečně osvětlována pouze zájmová plocha a okrajová zóna nezasáhla porostní hranu, která je letouny často využívána k přeletům.

Osvětlování cyklostezek a jiných liniových staveb. Je obecně nežádoucí, jelikož velmi často tvoří přeletové koridory mezi lovišti a úkryty. Pokud je nezbytné některé části cyklostezek přeci jen osvětlit, je vhodné dbát důsledného stínění v místech, kde jsou lemovány vzrostlým stromovým porostem. V místech, kde přímo prochází lesními porosty je vhodné se osvětlení zcela vyhnout. (např. Blake et al. 1994).

Osvětlování lovišť nad vodními plochami. Vodní prvky jsou pro řadu druhů letounů významným zdrojem potravy, jelikož se nad nimi a v těsné blízkosti zdržuje množství hmyzu. Přímé osvětlení vodních ploch vede ke snížení lovecké aktivity letounů (vlastní výsledky). Řada druhů nicméně nevyužívá pouze standardní vodní plochy typu větších nebo menších nádrží. Může se

jednat i o jezírka v zámeckých parcích, kašny v městských parcích nebo mokřadní stanoviště na okraji zástavby. Právě taková stanoviště jsou významnými lovišti a zdroji vody pro řadu druhů letounů, kteří se jinak u vodních těles nezdržují. Takové lokality by neměly být osvětlovány vůbec.

Ptáci

Osvětlení fasád budov a dalších staveb. Řada výškově dominantních budov, reklamních ploch nebo log společností, včetně slabších nouzových světel (Korner et al. 2022) může u letících ptáků způsobit zmatení nebo působit jako atraktanty, jež vedou ke kolizím a úmrtím jedinců. Řada druhů synantropních ptáků, jako rorýsy, vlaštovky, sokol, poštolka nebo některé druhy sov využívají tyto budovy i pro hnízdění. Nepřirozené, často značně intenzivní světlo může vést k vyššímu úhynu hnízdících jedinců vlivem kolizí, případně může ovlivňovat vzorce jejich přirozeného chování. Mezi nejúčinnější opatření patří celkové vypnutí světelných zdrojů alespoň v případě staveb, u kterých prokazatelně dochází k výraznějším kolizím letících jedinců nebo které jsou pravidelně využívány pro hnízdění.

Zavádění zdrojů SZ v obecně tmavých oblastech. V České republice se vyskytuje řada míst s velmi nízkým zastoupením SZ. Častokrát se jedná o oblasti chráněných území, s velmi řídkým lidským osídlením. V těchto územích se přirozeně vyskytují některé druhy ptáků citlivé na jakékoliv nepřirozené rušení. Příkladem mohou být druhy jako tetřev hlušec, tetřevka obecná, jeřábek lesní, lelek lesní, kulíšek nejmenší nebo sýc rousný. Často se jedná o turisticky atraktivní regiony, kde ale i jednotlivé zdroje SZ mohou působit značně rušivě a vést až k vymizení těchto druhů z jednotlivých lokalit (Sierro & Erhardt 2019). Z turistických aktivit lze zmínit např. lyžařská střediska, ve kterých jsou v zimním období používané značně silné zdroje SZ při osvětlování sjezdových tratí. Ty mohou vést k vyšší mortalitě těchto druhů v zimním období, během kterého jsou značně citlivé na jakékoliv zdroje rušení. Pro tyto oblasti je nutné zvolit maximální možné restriktivní omezení, kdy v nejcennějších biotopech a jejich okolí (rozsáhlé lesní celky, vřesoviště, lesní mokřady, rašeliniště, podmačené louky, rozsáhlé litorální porosty) se doporučuje zcela vyloučit jakékoliv zdroje SZ. V místech případných realizací mimo tyto cenné biotopy je vhodné co nejméně omezit osvětlení v době po soumraku, využívat adaptivní formy osvětlení nebo světelné zdroje s nízkým podílem modrého světla.

Osvětlení tahových zastávek a shromaždišť migrujících ptáků. Řada ptáků migruje během noci, kdy výrazně osvětlené objekty mohou pro migrující jedince narušovat jejich orientaci, což často vede k zvýšeným úhynům při kolizích s těmito stavbami. Nejkritičtějšími stavbami jsou výškové obytné či průmyslové, a komunikační stavby (majáky) s výrazně silnými zdroji světel. U těchto staveb se doporučuje využívat světelné zdroje s užším a méně intenzivním paprskem (Jones & Francis 2003), s minimálním podílem krátkovlnného modrého spektra (Zhao et al. 2020). V případě tahových zastávek může orientaci před odletem zhoršovat také intenzivní liniové osvětlení blízkých silnic (Rodríguez et al. 2017). Kromě omezení modré složky ve světlech a snížení intenzity se také v těchto případech doporučuje precizní směřování

světleného toku na osvětlovanou oblast a tlumení neužitečného světla mimo ni například pomocí vhodně zvolené optiky svítidel nebo doplnění svítidel systémovými clonícími prvky. *Osvětlení výškových staveb (stožáry, komíny, vysílače, větrné elektrárny, elektrické vedení aj.).* Výstražné osvětlení těchto staveb ptáky zpravidla přitahuje a jejich negativní efekt se tím významně zvyšuje. Riziko je nejvýznamnější pro migrující ptáky (v době jarní a podzimní migrace), kdy světelné znečištění může narušovat orientaci, přitahovat táhnoucí ptáky apod. (May et al. 2015), zejména při nepříznivých povětrnostních podmínkách, kdy výstražná světla na stožárech větrných elektráren považují táhnoucí ptáci za potenciální místa k odpočinku, přičemž často následuje kolize s lopatkami větrné turbíny (Desholm & Kahlert 2005). Při osvětlení se jeví jako naprosto nevyhovující červené světlo, které v noci ptáky silně přitahuje a významně zvyšuje riziko kolizí (Desholm & Kahlert 2005, Gauthreaux & Belser 2006, Wiltshko et al. 2010). Mnohem vhodnější je zelené, ev. žluté až oranžové světlo, a to v podobě blikajícího/přerušovaného světla s co možno nejnížší intenzitou (Gauthreaux & Belser 2006), směřovaného dolů nebo maximálně horizontálně (Longcore & Rich 2004), případně jeho vypnutí v citlivém období migrace. Z dalších možných opatření lze zmínit radarově řízené systémy ADLS (Aircraft Detection Lighting System) nebo optické senzory, aktivující osvětlení vysokých staveb pouze v případě, že se v blízkosti nachází letadlo (May et al. 2015), případně umístování UV-reflexních prvků na tyto stavby (Dwyer et al. 2019).

Hmyz

Použití venkovního osvětlení nevhodného spektrálního složení a intenzity. Převážná většina skupin hmyzu vykazuje značnou pozitivní fototaxi vůči zdrojům SZ. Tato atraktivita narůstá s vyšším podílem krátkovlnného záření a vyšší intenzitou (Brehm et al. 2021). Tento efekt byl popsán jako efekt vysavače, kdy je hmyz doslova vytahován z blízkých biotopů, což může vést až k signifikantnímu ovlivnění populací (Eisenbeis 2006). Z těchto důvodů se v nejcennějších oblastech (chráněná území, místa se značnou stanovištní diverzitou) výrazně doporučuje zcela omezit noční svícení. V případech, kde je to možné, je vhodné zavádět adaptivní formy osvětlení a s minimálním podílem modré složky. Intenzita světla by měla být minimální nutná pro dané konkrétní situace.

Nevhodný přesah světelného záření mimo osvětlovanou oblast. V případě komunikací a staveb často dochází k použití světelných zdrojů s výrazně širokým kuželem vyzařovaného světla, které dalece přesahuje vlastní potřebnou osvětlovanou oblast. V řadě případů tak toto nechtěné SZ proniká i do přírodě cenných stanovišť, jako jsou např. stepní trávníky, podmáčené louky nebo lesní porosty. Hmyz je tak ovlivněn nejenom přílišnou atrakcí ke zdrojům tohoto SZ z okolí, ale také změnami způsobenými narušením jejich cirkadiálního rytmu a životního cyklu vlivem netypických světelných podmínek na místech vývoje mimo vlastní osvětlovaný areál. Vhodným opatřením, kromě správně zvoleného spektrálního složení a intenzity světla, je použití vhodných asymetricky vyzařujících svítidel, případně instalací systémových clonících prvků do svítidel tak, aby byl výrazně eliminován nechtěný přesah světla do okolí.

Osvětlení komunikací a mostů v blízkosti vodních toků a ploch. Podél vodních ploch a toků často prochází osvětlené cyklostezky / chodníky, které pokračují přes osvětlený most na druhý břeh řeky. Světelný kužel osvětlení cyklostezky i mostu bohužel zasahuje i na vodní hladinu.

Osvětlení může vést k dezorientaci některých skupin vodního hmyzu (např. jepice), které se orientují pomocí polarizovaného světla. V důsledku toho může dojít k situaci, kdy samice během kladení chybně vyhodnocují kvalitu prostředí a kladou vajíčka i na asfaltové plochy a odvodňovací strouhy, které jsou zcela nevhodné pro další vývoj. V rámci nápravných opatření lze tento efekt zmírnit tím, že: 1) Osvětlení cíleně osvětluje pouze cílovou komunikaci. 2) Je zvoleno osvětlení neobsahující vlnové délky, na které jsou tyto skupiny citlivé. 3) Experimentálně bylo prokázáno, že některé skupiny vodního hmyzu lze cíleně navigovat na cílové části toku s pomocí LED osvětlení (Egri et al. 2017).

5. Závěr

Světelné znečištění představuje jeden z nejrychleji se šířících typů environmentálního znečištění na globální úrovni, přičemž v posledních dekádách dochází k jeho výraznému nárůstu jak v intenzitě, tak v prostorovém rozsahu. Aktuální vědecké poznatky potvrzují, že SZ má významný a mnohostranný vliv na jednotlivé druhy i celá společenstva živočichů a zásadně ovlivňuje jejich chování, fyziologii, reprodukční úspěšnost, migrační strategie i mezidruhové interakce.

Předkládaná metodika shrnuje současný stav poznání o vlivu SZ na živočichy, se zaměřením na modelové skupiny citlivých taxonů. Zároveň poskytuje strukturovaný a prakticky aplikovatelný rámec pro hodnocení těchto vlivů v prostředí České republiky. Na základě platné normy ČSN 36 0459 lze každou lokalitu na území ČR zařadit do jedné z pěti zón světelného prostředí, které odpovídají obecným změnám distribuce živočichů podél gradientu nárůstu SZ v prostředí. Pro jednotlivé zóny světelného prostředí jsou tak v této metodice definovány kritické (maximální) hodnoty klíčových parametrů světelných zdrojů, jejichž dodržení představuje základní předpoklad minimalizace rušivých vlivů SZ na živou přírodu, především společenstva živočichů.

Metodika umožňuje také individuální posouzení konkrétní lokality z hlediska výskytu cenných společenstev živočichů, zejména s ohledem na výskyt značně citlivých taxonů. V těchto případech je možné — a z hlediska ochrany biodiverzity i žádoucí — uplatnit přísnější parametry osvětlení odpovídající citlivější zóně světelného prostředí. Tímto způsobem metodika poskytuje flexibilní nástroj pro zachování nebo zlepšení podmínek pro výskyt citlivých druhů. Při hodnocení stávajícího nebo plánovaného osvětlovacího zařízení je kromě jeho možných negativních dopadů na okolní biotopy a společenstva živočichů nutné posuzovat také jeho účelnost, a navrhnout opatření ke zmírnění negativních vlivů.

6. Literatura

- Adams CA, Fernández-Juricic E, Bayne EM & St. Clair CC (2021). Effects of artificial light on bird movement and distribution: a systematic map. *Environmental Evidence* 10: 37.
- Adams CA, St. Clair CC, Knight EC & Bayne EM (2024). Behaviour and landscape contexts determine the effects of artificial light on two crepuscular bird species. *Landscape Ecology* 39: 1–15.
- Alaasam VJ, Duncan R, Casagrande S, Davies S, Sidher A, Seymoure B, Shen Y, Zhang Y & Ouyang JQ (2018). Light at night disrupts nocturnal rest and elevates glucocorticoids at cool color temperatures. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology* 329: 465–472.
- Alipour A (2022). Anthropogenic stressors in urban environments: Interactive effects of artificial light, noise, ozone, and black carbon on birds. Ph.D. dissertation, Lund University, Sweden.
- Allan SA, Day JF & Edman JD (1987). Visual ecology of biting flies. *Annual Review of Entomology* 32: 297–316.
- Amichai E & Kronfeld-Schor N (2019). Artificial light at night promotes activity throughout the night in nesting common swifts (*Apus apus*). *Scientific reports* 9: 1–8.
- Anděra M & Hanák V (2007). Atlas rozšíření savců v České republice. Předběžná verze. V. Letouni (Chiroptera) – část 3. Netopýrovití (Vespertilionidae – rody *Eptesicus*, *Hypsugo*, *Nyctalus*, *Pipistrellus*, *Vespertilio*). Národní muzeum, Praha.
- Aulsebrook AE, Connelly F, Johnsson RD, Jones TM, Mulder RA, Hall ML, Vyssotski AL & Lesku JA (2020a). White and amber light at night disrupt sleep physiology in birds. *Current Biology* 30: 3657–3663.
- Aulsebrook AE, Lesku JA, Mulder RA, Goymann W, Vyssotski AL & Jones TM (2020b). Streetlights Disrupt Night-Time Sleep in Urban Black Swans. *Frontiers in Ecology and Evolution* 8: 131.
- Azam C, le Viol I, Bas Y, Zissis G, Vernet A, Julien JF & Kerbiriou C (2018). Evidence for distance and illuminance thresholds in the effects of artificial lighting on bat activity. *Landscape and Urban Planning* 175: 123–135.
- Bartonička T, Miketová N & Hulva P (2019). High-throughput bioacoustic monitoring and phenology of the greater noctule bat (*Nyctalus lasiopterus*) compared to other migratory species. *Acta Chiropterologica* 21(1): 75–85.
- Bird S & Parker J (2014). Low levels of light pollution may block the ability of male glow-worms (*Lampyrus noctiluca* L.): to locate females. *Journal of Insect Conservation* 18: 737–743.
- Blake D, Hutson AM, Racey PA, Rydell J & Speakman JR (1994). Use of lamplit roads by foraging bats in southern England. *Journal of Zoology* 234: 453–462.
- Bobadilla-Mendez MF, Rojas-Granados CP, Andrade EF, Retes PL, Ferreira LG, Alvarenga RR, Rodriguez-Gil JE, Fassani EJ & Zangeronimo MG (2016). Effect of different light sources

- on reproductive anatomy and physiology of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Animal Reproduction Science* 168: 50–56.
- Bocáková M (2009). Bioluminescence u brouků a její evoluce. *Živa* 5/2009: 226–227.
- Bolliger J, Hennet T, Wermelinger B, Bösch R, Pazur R, Blum S, Haller J & Obrist MK (2020). Effects of traffic-regulated street lighting on nocturnal insect abundance and bat activity. *Basic and Applied Ecology* 47: 44–56.
- Booth D, Stewart AJA & Osorio D (2004). Colour vision in the glow-worm *Lampyris noctiluca* (L): (Coleoptera: Lampyridae): evidence for a green-blue chromatic mechanism. *Journal of Experimental Biology* 207: 2373–2378.
- Brehm G, Niermann J, Jaimes Nino LM, Enseling D, Jüstel T, Axmacher JC, Warrant E & Fiedler K (2021). Moths are strongly attracted to ultraviolet and blue radiation *Insect Conservation and Diversity* 14: 188–198.
- Brüning A, Hölker F, Franke S, Preuer T & Kloas W (2015). Spotlight on fish: Light pollution affects circadian rhythms of European perch but does not cause stress. *Science of The Total Environment* 511: 516–522.
- Buij R & Gschweng M (2017). Nocturnal hunting by Eleonora's falcons *Falco eleonora* on their breeding and non-breeding grounds. *Acta Ornithologica* 52: 35–49.
- Buxton MN, Gaskett AC, Lord JM & Pattemore DE (2022). A global review demonstrating the importance of nocturnal pollinators for crop plants. *Journal of Applied Ecology* 59: 2890–2901.
- Cabrera-Cruz SA, Smolinsky JA & Buler JJ (2018). Light pollution is greatest within migration passage areas for nocturnally-migrating birds around the world. *Scientific Reports* 8: 3261.
- Chen F, Shi J & Keena M (2016). Evaluation of the effects of light intensity and time interval after the start of scotophase on the female flight propensity of Asian Gypsy Moth (Lepidoptera: Erebiidae). *Environmental Entomology* 45: 404–409.
- Coelho LM, Alves Leão AP, Bernardes LF, Alves VV, Martins BG, Peixoto JV, Pereira LJ, Fassani ÉJ, Alvarenga RR & Zangeronimo MG (2021). Reproductive aspects of Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*) hatched from eggs incubated under different light colors. *Theriogenology* 170: 67–76.
- ČSO Brno (2024). Blue content quantification by the U500 method. Česká společnost pro osvětlování Brno (online (31. 10, 2024): https://brno.cso.lighting/wp-content/uploads/2024/09/CSO-B_WhitePaperU500_9.2024_Fin1ENG.pdf
- Da Silva A, Samplonius JM, Schlicht E, Valcu M & Kempenaers B (2014). Artificial night lighting rather than traffic noise affects the daily timing of dawn and dusk singing in common European songbirds. *Behavioral Ecology* 25: 1037–1047.
- Davies TW, Bennie J & Gaston KJ (2012). Street lighting changes the composition of invertebrate communities. *Biology Letters* 8: 764–767.
- Day RH, Prichard AK, Rose JR, Streever B & Swem T (2017). Effects of a hazing-light system on migration and collision avoidance of eiders at an artificial oil-production Island, Arctic Alaska. *Arctic* 70: 13–24.

- De Jong M, Caro SP, Gienapp P, Spoelstra K & Visser ME (2017). Early Birds by Light at Night: Effects of Light Color and Intensity on Daily Activity Patterns in Blue Tits. *Journal of Biological Rhythms* 32: 323–333.
- De Jong M, Ouyang JQ, Da Silva A, van Grunsven RH, Kempenaers B, Visser ME & Spoelstra K (2015). Effects of nocturnal illumination on life-history decisions and fitness in two wild songbird species. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 370: 20140128.
- De Jong M, Ouyang JQ, van Grunsven RHA, Visser ME & Spoelstra K (2016). Do wild great tits avoid exposure to light at night? *PLoS ONE* 11: e0157357.
- Desholm M & Kahlert J (2005). Avian collision risk at an offshore wind farm. *Biology Letters* 1: 296–298.
- Dias KS, Dosso ES, Hall AS, Schuch AP & Tozetti AM (2019). Ecological light pollution affects anuran calling season, daily calling period, and sensitivity to light in natural Brazilian wetlands. *The Science of Nature* 106: 46.
- Diken G & Boyacı YO (2008). Light-trapping of caddisflies (Insecta: Trichoptera) from Eğirdir Lake in the southern Turkey. *Turkey Journal of Fisheries* 2: 653–661.
- Dominoni DM, de Jong M, Bellingham M, O'Shaughnessy P, van Oers K & Wikelski M (2020). Synergistic effects of artificial light at night and anthropogenic noise on activity patterns of great tits (*Parus major*). *Environmental Pollution* 259: 113895.
- Dougherty E, Parzer HF & Morton ER (2024). Artificial light at night affects the timing of roosting by Chimney Swifts. *Ibis* 166(2).
- Duarte C, Quintanilla-Ahumada D, Anguita C, Manríquez K & Quijón PA (2019). Artificial light pollution at night (ALAN): disrupts the distribution and circadian rhythm of a sandy beach isopod. *Environmental Pollution* 248: 565–573.
- Dwyer JF, Gerber BD, Petersen SL, Booms TL, Harness RE & Pandey M (2019). Near-ultraviolet light reduced Sandhill Crane collisions with a power line by 98%. *The Condor* 121: duz008.
- Eccard J, Scheffler I & Franke S (2018). Off-grid: solar powered LED illumination impacts epigeal arthropods. *Insect Conservation and Diversity* 11: 600–607.
- Egri Á, Száz D, Farkas A, Pereszlenyi Á, Horváth G & Kriska G (2017). Method to improve the survival of night-swarmer mayflies near bridges in areas of distracting light pollution. *Royal Society Open Science* 4: 171166.
- 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) Washington, DC, pp. 281–304.
- Eklof J & Jones G (2014). Vision in echolocating bats. In: *Advances in the Study of Behavior* 46: 55–97.
- Falchi F, Cinzano P, Duriscoe D, Kyba CC, Elvidge CD, Baugh K, Portnov BA, Rybnikova NA & Furgoni R (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances* 2: e1600377.

- Falcón J, Torriglia A, Attia D, Viénot F, Gronfier C, Behar-Cohen F, Martinsons C & Hicks D (2020). Exposure to Artificial Light at Night and the Consequences for Flora, Fauna, and Ecosystems. *Frontiers in Neuroscience* 14: 1–39.
- Galadí-Enríquez D (2017) Beyond CCT: The spectral index system as a tool for the objective, quantitative characterization of lamps. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 206: 399–408.
- Gaston KJ, Bennie J, Davies TW & Hopkins J (2013). The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal. *Biological Reviews* 88: 912–927.
- Gauthreaux SA & Belser CG (2006). Effects of artificial night lighting on migrating birds. In: Rich C & Longcore T (Eds.), *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Island Press, Washington, DC: 67–93.
- Guo M, Tao Z, Qu C & Tan L (2025). Long-term coupling coordination between bird diversity and artificial light at night: spatiotemporal dynamics and drivers in Shanghai. *Sustainability* 17: 7670.
- Greenwood VJ, Smith EL, Cuthill IC, Bennett ATD, Goldsmith AR & Griffiths R (2002). Do European starlings prefer light environments containing UV? *Animal Behaviour* 64: 923–928.
- Grunst ML, Rotenberry JT, Grunst AS, Tuttle EM, Safran RJ, Hubbard JK, Diniz P & Bentz AB (2021). Combined effects of light and noise pollution on avian abundance, richness, and community composition across spatial scales. *Proceedings of the Royal Society B* 288: 20201762.
- Gutierrez-Arellano C & Mulligan M (2018). A review of regulation ecosystem services and disservices from faunal populations and potential impacts of agriculturalisation on their provision, globally. *Nature Conservation* 30: 1–39.
- Hahn M & Brühl CA (2016). The secret pollinators: an overview of moth pollination with a focus on Europe and North America. *Arthropod-Plant Interactions* 10: 21–28.
- Hanák V & Anděra M (2005). Atlas rozšíření savců v České republice. Předběžná verze. V. Letouni (Chiroptera) – část 1. Vrápencovití (Rhinolophidae), netopýrovití (Vespertilionidae – *Barbastella barbastellus*, *Plecotus auritus*, *Plecotus austriacus*). Národní muzeum, Praha, 118 stran.
- Hanák V & Anděra M (2006). Atlas rozšíření savců v České republice. Předběžná verze. V. Letouni (Chiroptera) – část 2. Netopýrovití (Vespertilionidae – rod *Myotis*). Národní muzeum, Praha, 185 stran.
- Heinen R (2021). A spotlight on the phytobiome: Plant-mediated interactions in an illuminated world. *Basic and Applied Ecology* 57: 146–158.
- Herzmann D & Labhart T (1989). Spectral sensitivity and absolute threshold of polarization vision in crickets: A behavioral study. *Journal of Comparative Physiology* 165: 315–319.
- Holland JM, Hutchison MAS, Smith B & Aebischer NJ (2006). A review of invertebrates and seed-bearing plants as food for farmland birds in Europe. *Annals of Applied Biology* 148: 49–71.

- Horton KG, Nilsson C, Van Doren BM, La Sorte FA, Sheldon D, Farnsworth A & Kelly JF (2023). Artificial light at night is a top predictor of bird migration stopover density. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 120: e2300610120.
- Hutton P, Lendvai ÁZ, Németh J & McGraw KJ (2024). Urban house finches are more resistant to the effects of artificial light at night. *Science of The Total Environment* 946: 174525.
- Injaian AS, Francis CD, Ouyang JQ, Dominoni DM, Donald JW, Fuxjager MJ, Goymann W, Hau M, Husak JF, Johnson MA, Kircher BK, Knapp R, Martin LB, Miller ET, Schoenle LA, Williams TD & Vitousek MN (2020). Baseline and stress-induced corticosterone levels across birds and reptiles do not reflect urbanization levels. *Conservation Physiology* 8: 1–18.
- Jones J & Francis CM (2003). The effects of light characteristics on avian mortality at lighthouses. *Journal of Avian Biology* 34: 328–333.
- Kempenaers B, Borgström P, Loës P, Schlicht E & Valcu M (2010). Artificial night lighting affects dawn song, extra-pair siring success, and lay date in songbirds. *Current Biology* 20: 1735–1739.
- Kernbach ME, Cassone VM, Unnasch TR & Martin LB (2020). Broad-spectrum light pollution suppresses melatonin and increases West Nile virus-induced mortality in House Sparrows (*Passer domesticus*). *The Condor* 122: duaa018.
- Knop E, Zoller L, Ryser R, Gerpe C, Hörler M & Fontaine C (2017). Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature* 548: 206–209.
- Kocifaj M, Wallner S & Barentine JC (2023). Measuring and monitoring light pollution Current approaches and challenges. *Science* 380: 1121–1124.
- Kosicki JZ (2021). The impact of artificial light at night on taxonomic, functional and phylogenetic bird species communities in a large geographical range: A modelling approach. *Science of the Total Environment* 780: 146434.
- Korner P, von Maravic I & Haupt H (2022). Birds and the “Post Tower” in Bonn: a case study of light pollution. *Journal of Ornithology* 163: 827–841.
- Korpach AM, Garroway CJ, Mills AM, von Zuben V, Davy CM & Fraser KC (2022). Urbanization and artificial light at night reduce the functional connectivity of migratory aerial habitat. *Ecography* 2022: e05581.
- Kromp B (1999). Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74: 187–228.
- La Sorte FA, Horton KG, Johnston A, Fink D & Auer T (2017). Seasonal associations with urban light pollution for nocturnally migrating bird populations. *Global Change Biology* 23: 4609–4619.
- La Sorte FA, Lepczyk CA & Aronson MFJ (2023). Light pollution enhances ground-level exposure to airborne toxic chemicals for nocturnally migrating passerines. *Global Change Biology* 29: 57–68.

- Lacoeuilhe A, Machon N, Julien JF, Le Bocq A & Kerbiriou C (2014). The influence of low intensities of light pollution on bat communities in a semi-natural context. *PloS ONE* 10: e103042.
- Laforge A, Pauwels J, Faure B, Bas Y, Kerbiriou C, Fonderflick J, & Besnard A (2019). Reducing light pollution improves connectivity for bats in urban landscapes. *Landscape Ecology* 34: 793–809.
- Lao S, Robertson BA, Anderson AW, Blair RB, Eckles JW, Turner RJ & Loss SR (2020). The influence of artificial night at night and polarized light on bird-building collisions. *Biological Conservation*, 241: 108358.
- Larsson M, Göthberg A & Milberg P (2020). Night, light and flight: light attraction in Trichoptera. *Insect Conservation and Diversity* 13: 296–302.
- Leskey TC, Lee D-H, Glenn DM & Morrison WR (2015). Behavioral Responses of the Invasive *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae) to Light-Based Stimuli in the Laboratory and Field. *Journal of Insect Behavior* 28: 674–692.
- Levy K, Wegrzyn Y, Efronny R, Barnea A & Ayali A (2021). Lifelong exposure to artificial light at night impacts stridulation and locomotion activity patterns in the cricket *Gryllus bimaculatus*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 2288: 20211626.
- Longcore T & Rich C (2004). Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2: 191–198.
- Mander S, Alam F, Lovreglio R & Ooi M (2023). How to measure light pollution – A systematic review of methods and applications. *Sustainable Cities and Society* 92: 104465.
- Manfrin A, Lehmann D, van Grunsven RHA, Larsen S, Syväranta J, Wharton G, Voigt CC, Monaghan MT & Hölker F (2018). Dietary changes in predators and scavengers in a nocturnally illuminated riparian ecosystem. *Oikos* 127: 960–969.
- Mariton L, Kerbiriou C, Bas Y, Zanda B & Le Viol I (2022). Even low light pollution levels affect the spatial distribution and timing of activity of a "light tolerant" bat species. *Environmental Pollution* 305: 119267.
- Mathiapparanam KJ, Mulder RA & Hale R (2024). Anthropogenic double jeopardy: Urban noise and artificial light at night interact synergistically to influence abundance. *Environmental Pollution* 363: 125078.
- May R, Reitan O, Bevanger K, Lorentsen S-H & Nygård T (2015). Mitigating wind-turbine induced avian mortality: sensory, aerodynamic and cognitive constraints and options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42: 170–181.
- McEwen PK, New TRR & Whittington A (2001). *Lacewings in the crop environment*. UK: Cambridge University Press.
- McLay LK, Green MP & Jones TM (2017). Chronic Exposure to Dim Artificial Light at Night Decreases Fecundity and Adult Survival in *Drosophila Melanogaster*. *Journal of Insect Physiology* 100: 15–20.
- Menzel R (1979). Spectral sensitivity and color vision in invertebrates. In: Autrum H (ed.) *Comparative physiology and evolution of vision in invertebrates*, Springer Berlin, Heidelberg. pp. 503–580.

- Merckx T, Nielsen ME, Kankaanpää T, Kadlec T, Yazdanian M, Kivelä SM (2023a). Dim light pollution prevents diapause induction in urban and rural moths. *Journal of Applied Ecology* 60: 1022–1031.
- Merckx T, Nielsen ME, Kankaanpää T, Kadlec T, Yazdanian M, Kivelä SM (2023b). Continent-wide parallel urban evolution of increased heat tolerance in a common moth. *Evolutionary Applications* 17: e13636.
- Mészáros Á, Kriska G & Egri Á (2021). Spectral optimization of beacon lights for the protection of night-swarming mayflies. *Insect Conservation and Diversity* 14: 225–234.
- Murata M, Hariyama T, Yamahama Y, Toyama M & Ohta I (2018). Effects of the range of light wavelengths on the phototactic behaviour and biological traits in the melon thrips, *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera Thripidae). *Ethology Ecology & Evolution* 30: 101–113.
- Müller B, Glösmann M, Peichl L, Knop GC, Hagemann C & Ammermüller J (2009). Bat eyes have ultraviolet-sensitive cone photoreceptors. *PLoS ONE* 4: e6390.
- Nankoo S, Raymond S & Galvez-Cloutier R (2019). The impact of the Jacques Cartier bridge illumination on the food chain: from insects to predators. *Community Ecology* 20: 172–180.
- Nepali A, Katuwal HB, Kc S, Regmi S & Sharma HP (2024). Flight initiation distance and bird tolerance to humans in rural and urban habitats. *Royal Society Open Science* 11: 240332.
- Núñez JD, Bas CC, Pérez García M, Ocampo EH, Ribeiro PD & Luppi TA (2021). Artificial light at night may increase the predation pressure in a salt marsh keystone species. *Marine Environmental Research* 167: 105285.
- Obrycki JJ, Harwood JD, Kring TJ & O'Neil RJ (2009). Aphidophagy by Coccinellidae: Application of biological control in agroecosystems. *Biological Control* 51: 244–254.
- Orlando G & Chamberlain D (2022). Tawny Owl *Strix aluco* distribution in the urban landscape: the effect of habitat, noise and light pollution. *Acta Ornithologica* 57: 167–179.
- Owens ACS & Lewis SM (2018). The impact of artificial light at night on nocturnal insects: A review and synthesis. *Ecology and Evolution* 8: 11337–11358.
- Owens ACS & Lewis SM (2021a). Narrow-spectrum artificial light silences female fireflies (Coleoptera: Lampyridae). *Insect Conservation and Diversity* 14: 199–210.
- Owens ACS & Lewis SM (2021b). Effects of artificial light on growth, development, and dispersal of two North American fireflies (Coleoptera: Lampyridae). *Journal of Insect Physiology* 130: 104200.
- 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.
- Pan J, Yang Y, Yang B & Yu Y (2014). Artificial polychromatic light affects growth and physiology in chicks. *PLoS ONE* 9: e113595.
- Perdikis D, Fantinou A & Lykouressis D (2011). Enhancing pest control in annual crops by conservation of predatory Heteroptera. *Biological Control* 59: 13–21.
- Perry G & Fisher RN (2008). Night lights and reptiles: observed and potential effects. In Rich

- C & Longcore T (eds.) *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press, Washington.
- Petruso EJ, Fuchs T & Bingman VP (2007). Time-space learning in homing pigeons (*Columba livia*): Orientation to an artificial light source. *Animal Cognition* 10: 181–188.
- Poot H, Ens BJ, de Vries H, Donners MAH, Wernand MR & Marquenie JM (2008). Green light for nocturnally migrating birds. *Ecology and Society* 13.
- Raap T, Pinxten R & Eens M (2018). Artificial light at night causes an unexpected increase in oxalate in developing male songbirds. *Conservation Physiology* 6: 1–7.
- Radwell AJ & Camp NB (2009). Comparing chemiluminescent and LED light for trapping water mites and aquatic insects. *Southeastern Naturalist* 8: 733–738.
- Rebke M, Dierschke V, Weiner CN, Aumüller R, Hill K & Hill R (2019). Attraction of nocturnally migrating birds to artificial light: The influence of colour, intensity and blinking mode under different cloud cover conditions. *Biological Conservation* 233: 220–227.
- Reisenman CE & Lazzari C (2006). Spectral sensitivity of the photonegative reaction of the blood-sucking bug *Triatoma infestans* (Heteroptera: Reduviidae). *Journal of Comparative Physiology A* 192: 39–44.
- Rich C & Longcore T (2006). *Ecological consequences of artificial night lighting*. Washington, Island Press.
- Ritz-Radlinská A, Barták V, Kadlec T, Říhová L & Zasadil P (2025). Synergistic effect of light and noise pollution on dawn and dusk singing behavior of urban European blackbird: Changes during nesting season. *Applied Animal Behaviour Science* 266: 106486.
- Rodríguez A, Dann P & Chiaradia A (2017). Reducing light-induced mortality of seabirds: High pressure sodium lights decrease the fatal attraction of shearwaters. *Journal for Nature Conservation* 39: 68–72.
- Rowse EG, Harris S & Jones G (2018). Effects of dimming light-emitting diode street lights on light-opportunistic and light-averse bats in suburban habitats. *Royal Society open Science* 5: 180205.
- Russ A, Rüger A & Klenke R (2015). Nutze die nacht: Amseln (*Turdus merula*) verlängern ihre nahrungssuche unter künstlichem nachlicht. *Journal of Ornithology* 156: 123–131.
- Rydell J, Entwistle A & Racey PA (1996). Timing of foraging flights of three species of bats in relation to insect activity and predation risk. *Oikos* 76: 243–252.
- Sadier A, Davies KTJ, Yohe LR, Yun K, Donat P et al. (2018). Multifunctionality of opsin proteins in the eye and brain of bats. *PNAS* 115: 12304–12309.
- Salim M, Gökçe A, Naqqash MN & Bakhsh A (2016). An overview of biological control of economically important lepidopteron pests with parasitoids. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 4: 354–362.
- Samia DSM, Blumstein DT, Díaz M, Grim T, Ibáñez-Álamo JD, Jokimäki J, Tätté K, Markó G, Tryjanowski P, & Møller AP (2017). Rural-urban differences in escape behavior of European birds across a latitudinal gradient. *Frontiers in Ecology and Evolution*: 5.
- Sanders D, Frago E, Kehoe R. Patterson C & Gaston KJ (2021) A meta-analysis of biological impacts of artificial light at night. *Nature Ecology and Evolution* 5: 74–81.

- Sanders D, Kehoe R, Tiley K, Bennie J, Cruse D, Davies TW, Frank van Veen FJ & Gaston KJ (2015). Artificial nighttime light changes aphid-parasitoid population dynamics. *Scientific Reports* 5: 15232.
- Santos CD, Miranda AC, Granadeiro JP, Lourenço PM, Saraiva S & Palmeirim JM (2010). Effects of artificial illumination on the nocturnal foraging of waders. *Acta Oecologica* 36: 166–172.
- Senzaki M, Barber JR, Phillips JN, Carter NH, Cooper CB, Ditmer MA, Fristrup KM, McClure CJW, Mennitt DJ, Tyrrell LP, Vukomanovic J, Wilson AA & Francis CD (2020). Sensory pollutants alter bird phenology and fitness across a continent. *Nature* 587: 605–609.
- Seymoure B, Dell A, Hölker F & Kalinkat G (2023). A framework for untangling the consequences of artificial light at night on species interactions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B – Biological Sciences* 378: 20220356.
- Sierro A & Erhardt A (2019). Light pollution hampers recolonization of revitalised European Nightjar habitats in the Valais (Swiss Alps). *Journal of Ornithology* 160: 749–761.
- Smith RA, Gagné M & Fraser KC (2021). Pre-migration artificial light at night advances the spring migration timing of a trans-hemispheric migratory songbird. *Environmental Pollution* 269: 116136.
- Sordello R, Coulon A & Reyjol Y (2025). A narrative review of the impact of anthropogenic light and noise on owls. *Ibis* [Early View].
- Sperber CF, Zefa E, de Oliveira EC, de Campos LD, Bolfarini MP, Fianco M. et al. (2021). Measuring orthoptera diversity. In: J.C. Santos & G.W. Fernandes (Eds.) *Measuring arthropod biodiversity*. Cham: Springer, pp. 257–287.
- Spoelstra K, Teurlinx S, Courbois M, Hopkins ZM, Visser ME, Jones TM & Hopkins GR (2023). Long-term exposure to experimental light affects the ground-dwelling invertebrate community, independent of light spectra. *Philosophical Transactions of the Royal Society B – Biological Sciences* 378: 20220364.
- Stelzl M & Devetak D (1999). Neuroptera in agricultural ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74: 305–321.
- Suthers RA & Wallis NE (1970). Optics of the eye of echolocating bats. *Vision Research* 10: 1165–1173.
- Trivedi AK, Rani S & Kumar V (2014). Circadian adaptation to seasons: Effects on activity behavior in subtropical House Sparrow, *Passer domesticus*. *Biological Rhythm Research* 45(3): 465–475.
- Van Der Kooi CJ, Stavenga DG, 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.
- Vaughan N (1997). The diets of British bats (Chiroptera). *Mammal Review* 27: 77–94.
- Vitecek S, Johnson RK & Poikane S (2021). Assessing the ecological status of European rivers and lakes using benthic invertebrate communities: A practical catalogue of metrics and methods. *Water* 13: 346.

- Wakefield A, Broyles M, Stone EL, Harris S & Jones G (2018). Quantifying the attractiveness of broad-spectrum street lights to aerial nocturnal insects. *Journal of Applied Ecology* 55: 714–722.
- Wang J-S, Tuanmu M-N & Hung C-M (2021). Effects of artificial light at night on the nest-site selection, reproductive success and behavior of a synanthropic bird. *Environmental Pollution* 288: 117805.
- Welbers AAMH, van Dis NE, Kolvoort AM & Dominoni DM (2017). Artificial light at night reduces daily energy expenditure in breeding great tits (*Parus major*). *Frontiers in Ecology and Evolution* 5: 55.
- Weston MA & Yokochi K (2025). Avian escape and prevailing light levels. *Birds* 6: 47.
- Willmott NJ, Henneken J, Elgar MA & Jones TM (2019). Guiding lights: Foraging responses of juvenile nocturnal orb-web spiders to the presence of artificial light at night. *Ethology* 125: 289–297.
- Wiltschko R, Stapput K, Thalau P & Wiltschko W (2010). Directional orientation of birds by the magnetic field under different light conditions. *Journal of the Royal Society Interface* 7: 163–177.
- Wiltschko W, Munro U, Ford H & Wiltschko R (1999). Red light disrupts magnetic orientation of migratory birds. *Nature* 364: 525–527.
- Winter Y, López J & Von Helversen O (2003). Ultraviolet vision in a bat. *Nature* 425: 612–614.
- Yadav A, Kumar R, Tiwari J, Vaish V, Malik S & Rani S (2022). Effect of artificial light at night on sleep and metabolism in weaver birds. *Environmental Science and Pollution Research* 29: 80422–80435.
- Zhao H, Rossiter SJ, Teeling EC, Li C, Cotton JA & Zhang S (2009). The evolution of color vision in nocturnal mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106: 8980–8985.
- Zhao X, Zhang M, Che X & Zou F (2020). Blue light attracts nocturnally migrating birds. *Condor* 122: 1–12.

Další odkazy na publikované odborné práce o vlivech umělého světla a světelného znečištění na živočichy, rostliny a ekosystémy lze najít v elektronických přílohách 3 (Seznam druhů citlivých na SZ) a 4 (Literární rešerše).

7. Seznam příloh

Příloha 1 – Přehled stávajících zákonů, vyhlášek a technických norem alespoň částečně řešících problematiku světelného znečištění v České republice.

Příloha 2 – Seznam taxonů hmyzu vybraných pro hodnocení vlivu světelného znečištění.

Příloha 3 – Seznam živočichů citlivých na SZ (elektronická příloha).

Příloha 4 – Literární rešerše odborných prací zaměřených na vliv světelného znečištění na živočichy a ekosystémy (elektronická příloha).

Příloha 1 – Přehled stávajících zákonů, vyhlášek a technických norem alespoň částečně řešících problematiku světelného znečištění v České republice.

Zákon / Vyhláška / Norma	Poznámka
Zákon č. 89/2012 Sb., občanský zákoník, ve znění pozdějších předpisů	Obtěžování světlem (sousedské spory) řadí mezi rušivé prvky. Zakazuje vlastníkovu pozemku přivádět světlo na pozemek jiného vlastníka (ale ponechána vysoká míra pro posouzení soudem).
Zákon č. 251/2016 Sb., o některých přestupcích, ve znění pozdějších předpisů	SZ může být posouzeno jako přestupek v případě ohrožování a rušení nočního klidu (krátkodobě i dlouhodobě).
Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů^a	Problematika ochrany přírody a krajiny na území národních parků před škodlivými vlivy SZ (§ 16 odst. 1 písm. j „ <i>zakaz umístovat světelné zdroje mimo uzavřené objekty, které směřují světelný tok nad vodorovnou rovinu procházející středem světelného zdroje.</i> “). Částečné uplatnění i v druhové ochraně (§ 50 odst. 2 „ <i>je zakázáno škodlivě zasahovat do přirozeného vývoje zvláště chráněných živočichů, zejména je chytat, chovat v zajetí, rušit, zraňovat nebo usmrcovat...</i> “).
Zákon 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí), ve znění pozdějších předpisů	U zákonem stanovených záměrů by mělo být provedeno hodnocení vlivu na životní prostředí, a to jako součást hodnocení vlivů a dopadů na ekosystémy, faunu a flóru Metodickým pokynem MŽP jsou doporučené detailnější podmínky k posuzování vlivu záměru z hlediska SZ (č. j.: MZP/2020/710/2387).
Zákon č. 283/2021 Sb., Stavební zákon, ve znění pozdějších předpisů^b	Navrhovaná stavba musí být navržena a provedena tak, aby neměla nepřijatelný negativní vliv na kvalitu životního prostředí nebo na klima (§ 148 odst. 1 písm. d „ <i>emisi nebezpečného záření a světla</i> “). Zároveň stavba musí být navržena tak, aby nezpůsobila (§ 148 odst. 2 písm. a) „ <i>nadměrný úhyn rostlin a zranění nebo úhyn živočichů nebo ničení jejich biotopů...</i> “.
Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů	Pro tzv. průjezdné úseky dálnic a silnic stanovuje, že jejich součástmi ani příslušenstvím nejsou mimo jiné veřejné osvětlení a světelná signalizační zařízení sloužící k řízení provozu.
Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů 104/1997 Sb., provádějící zákon o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů	Vyhláška upřesňuje podmínky pro stávající a nové osvětlení komunikací, kdy doplňování stávajícího nebo stavba nového elektrického osvětlení komunikace vyžaduje pouze ohlášení speciálnímu stavebnímu úřadu.
Zákon č. 128/2000 Sb., o obcích (obecní zřízení), ve znění pozdějších předpisů	Zákon umožňuje regulaci činností způsobujících SZ (světelné reklamy, efekty apod.) formou obecně závazné vyhlášky na základě ustanovení § 10 písm. a) či c).
Technická norma ČSN 36 0459 – Omezování nežádoucích účinků venkovního osvětlení^c	Norma jasně definuje pravidla nejen pro veřejné osvětlení, ale i pro soukromou sféru, např. venkovní sportoviště, architektonické osvětlení nebo reklamní plochy. Cílem je snížení obtěžování nadměrným světlem a jeho vlivu na přírodu, ale také snaha o proměnu uvažování projektantů o využívání světla v noci.

^a V současné době jsou však pro úpravu světelného znečištění zcela zásadní práce na novele zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů. Aktuálně je již ukončené připomínkové řízení k návrhu, který se snaží prosadit úpravu § 5 zabývajícího se obecnou ochranou rostlin a živočichů.

Pokud by došlo k přijetí této novely tak jak je navržena, znamenalo by to zezávaznění technické normy ČSN 36 0459 Omezování nežádoucích účinků venkovního osvětlení, a to přímo výslovně zákonem.

^b V dílu 6 § 332a tento zákon stanoví: „Do doby vydání prováděcích právních předpisů podle § 152 tohoto zákona, nejpozději však do 1. července 2027, se postupuje podle prováděcích právních předpisů k provedení § 194 zákona č. 183/2006 Sb., ve znění účinném ke dni předcházejícímu jejich zrušení tímto zákonem. Části prováděcích právních předpisů podle věty první, které jsou v rozporu s tímto zákonem, se nepoužijí.“

^c Norma byla vydána 1. února 2023 a 1. března téhož roku vstoupila v platnost. Dokument zatím není právně závazný, již nyní však funguje jako vodítko například pro obce při rekonstrukci veřejného osvětlení. V usnesení vlády č. 192/18 se Ministerstvo pro místní rozvoj zavázalo problém světelného znečištění řešit během rekodifikace stavebního práva, a proto by měla být norma zohledněna v návrhu vyhlášky k novele stavebního zákona (viz také poznámku b výše).

Příloha 2 – Seznam taxonů hmyzu vybraných pro hodnocení vlivu SZ. Sloupec preference spekter poukazuje na preference dospělců (míru pozitivní fototaxe) vůči světlu různého spektrálního složení: A – skupiny s výraznou preferencí světelných zdrojů s vysokým zastoupením krátkých vlnových délek, v oblasti UV a modré části záření (do 460 nm), B – skupiny s vyšší diverzitou preferovaných vlnových délek, s citlivostí zejména na UV a modrou složku světla, ale i na složku zelenou a žlutou (do 560 nm), C – skupiny bez výrazné preference světelných zdrojů se zastoupením kratších vlnových délek nebo skupiny s preferencí delších vlnových délek v oblasti jantarové až červené barvy (přibližně > 590 nm).

Řád / Podřád	Čeleď Nadčeleď	Preference spekter	Řád	Čeleď	Preference spekter
Coleoptera	Anthicidae	B	Lepidoptera	Blastobasidae	A
Coleoptera	Cantharidae	A	Lepidoptera	Coleophoridae	A
Coleoptera	Carabidae	B	Lepidoptera	Cossidae	B
Coleoptera	Cerambycidae	A	Lepidoptera	Crambidae	A
Coleoptera	Coccinellidae	A	Lepidoptera	Drepanidae	A
Coleoptera	Curculionidae	B	Lepidoptera	Erebidae	A
Coleoptera	Dytiscidae	A	Lepidoptera	Gelechiidae	A
Coleoptera	Elateridae	A	Lepidoptera	Geometridae	B
Coleoptera	Heteroceridae	A	Lepidoptera	Gracillariidae	A
Coleoptera	Hydrophilidae	A	Lepidoptera	Hepialidae	B
Coleoptera	Chrysomelidae	B	Lepidoptera	Lasiocampidae	B
Coleoptera	Lampyridae	C	Lepidoptera	Limacodidae	A
Coleoptera	Nitidulidae	B	Lepidoptera	Noctuidae	A
Coleoptera	Ochodaeidae	B	Lepidoptera	Notodontidae	A
Coleoptera	Ptinidae	B	Lepidoptera	Plutellidae	A
Coleoptera	Scarabaeidae	B	Lepidoptera	Pterophoridae	A
Coleoptera	Scirtidae	B	Lepidoptera	Pyalidae	A
Coleoptera	Staphylinidae	A	Lepidoptera	Saturniidae	A
Coleoptera	Tenebrionidae	B	Lepidoptera	Sphingidae	A
Diptera / Nematocera		A	Lepidoptera	Tortricidae	B
Ephemeroptera		B	Lepidoptera	Yponomeutidae	A
Hemiptera / Heteroptera		B	Neuroptera		A
Hymenoptera	Ichneumonoidea	B	Orthoptera		B
Lepidoptera	Argyresthiidae	A	Trichoptera		A