

**Text k výstupu Nmap - Mapa (soubor map) ohrožení
citlivých druhů živočichů a jejich biotopů světelným
znečištěním v České republice**

Expozice vybraných druhů a skupin živočichů ke světelnému znečištění

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

Autoři: Vojtěch Barták, (bartakv@fzp.czu.cz), David Moravec (dmoravec@fzp.czu.cz), Tomáš Kadlec (lepidopter@seznam.cz), Petr Zasadil (zasadil@fzp.czu.cz)

Další informace o projektu:

V rámci projektu bude zpracováno celkem sedm výstupů/výsledků:

Nmap - Mapa (soubor map) ohrožení citlivých druhů živočichů a jejich biotopů světelným znečištěním v České republice

Nmet - Metodika hodnocení vlivů světelného znečištění na volně žijící živočichy a ekosystémy
O - Seznam druhů živočichů citlivých na světelné znečištění

Vsouhrn - Vliv světelného znečištění na krajinný ráz resp. jeho hodnoty

O - Literární rešerše na téma vliv světelného znečištění na živočichy a ekosystémy

O - Terénní sběr dat světelného znečištění

Nmap - Mapa území ochrany krajinného rázu před světelným znečištěním



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.

Použité zkratky

ALAN (Artificial Light at Night) – Umělé osvětlení v nočním prostředí.

NDOP Nálezová databáze ochrany přírody evidující výskyt druhů rostlin a živočichů, spravovaná Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR.

VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) – Senzor na družicích poskytující globální měření nočního osvětlení.

nW/sr/cm² (nanowatt na centimetr čtvereční na steradián) – jednotky, ve kterých poskytuje data senzor VIIRS

DOS (Dark Object Subtraction) – Metoda pro korekci satelitních snímků od vlivů atmosféry.

GPS (Global Positioning System) – Globální polohový systém umožňující určování přesné polohy na povrchu Země.

Úvod

Umělé osvětlení v nočním prostředí (Artificial Light at Night, ALAN) je významným environmentálním faktorem ovlivňujícím ekosystémy, lidské zdraví a kvalitu noční oblohy (Sanders 2018, Widmer 2022). Studie zaměřené na jeho analýzu často využívají data z družicových senzorů, které umožňují dlouhodobé sledování změn v intenzitě a rozložení nočního světla na Zemi.

Cílem analýzy bylo posoudit stupeň expozice jednotlivých druhů/čeledí světelnému znečištění. V analýze byly pozorovány výskyty živočichů zaznamenaných v nálezové databázi NDOP v letech 2013 – 2023 s intenzitou nočního světla pro každý nález. Z těchto porovnání byly následně identifikovány skupiny živočichů, které se odlišují z hlediska expozice jejich nálezů ke světelným podmínkám v daných místech a časech.

Metodika

Data

Pro analýzu byla využita data ze senzoru VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), který poskytuje globální měření nočního osvětlení s vysokou citlivostí. Tento senzor je umístěn na družicích Suomi-NPP a JPSS, které kontinuálně monitorují povrch Země od roku 2012. Díky tomu lze sledovat dlouhodobé trendy a změny v intenzitě umělého osvětlení v různých regionech (Rybníková 2021).

Výhodou senzoru VIIRS je jeho téměř globální a dlouhodobé pozorování. Zároveň se jedná o volně dostupný zdroj dat o světelném znečištění. Nevýhodou pak může být jeho citlivost k ovlivnění aktuálními atmosférickými podmínkami (Widmer 2022). Tento problém zde byl redukován za využití měsíčních mozaik a aplikací metody DOS (viz níže). Za další nevýhodu je považováno nízké prostorové rozlišení s úhlovým rozlišením 0.004°, což v našich podmínkách znamená, že jedno měření (jeden pixel) odpovídá ploše zhruba 460 × 300 m.

Pro účely tohoto projektu se pozorování věnuje velmi tmavým oblastem bez výrazné lidské aktivity, a tudíž s minimem nočního světla. Jindy nevýznamný šum zde způsobuje v poměru k signálu významné ovlivnění, které může zcela zastínit měření a znemožnit následné

analýzy. Pro odstranění tohoto šumu byla použita korekční metoda Dark Object Subtraction (DOS), která vychází z předpokladu, že v každém snímku existují oblasti s nulovým nebo velmi nízkým světelným signálem (Ding 2018). Tato metoda identifikuje nejnižší hodnoty v histogramu obrazu a odečte je od všech ostatních pixelů, čímž se eliminuje zkreslení způsobené šumem (konkrétně se jedná často o vliv záření atmosféry, či nedokonalého odstranění oblačných pixelů) a tím zlepšuje přesnost měření nočního osvětlení.

Následující text popisuje metodiku zpracování těchto dat, včetně aplikace korekčních metod a analýzy výsledků.

K analýze byla využita korigovaná data korekcí DOS senzoru VIIRS. Zdrojem aktuálních satelitních snímků (2012–2023) byla data ze senzorů VIIRS Day/Night umístěných na dvou satelitech Suomi-NPP a JPSS. Data byla stažena ve formě měsíčních a ročních mozaik ze stránek Earth Observation Group (EOG) - Colorado School of Mines (<https://eogdata.mines.edu/products/vnl/>) (Elvidge 2013). Tyto rastry byly následně kalibrovány DOS metodou, kde z každého rastru je vyčtena hodnota 1. percentilu histogramu. První percentil byl vyhodnocen jako optimální v jiné části tohoto projektu. Tato hodnota je následně odečtena od všech ostatních pixelů daného rastru.

Zpracování satelitních dat ALAN a dosažené výsledky.

Nálezová data vybraných skupin živočichů byla získána od Agentury ochrany přírody a krajiny ČR z Nálezové databáze ochrany přírody (NDOP) z rozmezí let 2013 – 2023 (Tab. 1.). Kvalita dat NDOP se může značně lišit v závislosti na zdroji a metodě sběru dat. NDOP zahrnuje data od různých přispěvatelů – od odborníků, vědeckých institucí, přes nevládní organizace až po dobrovolníky. Záznamy se tak mohou lišit z hlediska přesnosti lokalizace (GPS souřadnice mohou být přesné či orientační). Dále se mohou lišit metodou sběru dat (může být systematická či se může jednat o náhodné pozorování) a v neposlední řadě mohou pocházet od pozorovatelů s odlišnou odborností a zkušenostmi.

S ohledem na výše uvedené je nezbytné provést dodatečnou filtraci za účelem zvýšení kvality dat a snížení zkreslení vzniklých při jejich sběru. Pro další analýzy byly proto použity pouze nálezy s přesností lepší (=nižší) než 500 m (= 1. filtr). Tato filtrace způsobila výraznější redukci dat na 33 % pouze ve skupině koček, která je však reprezentována pouze jednou čeledí (Felidae).

Další filtrace dat proběhla za účelem snížení prostorové autokorelace (= 2. filtr) nálezů. Tento krok je důležitý pro zajištění statistické nezávislosti nálezů v analýze. V případě prostorových dat, jako jsou záznamy v NDOP, může docházet k situaci, kdy prostorově blízká pozorování nesou podobnou či shodnou informaci (tzv. prostorová autokorelace) a jejich použitím tak dochází k tzv. pseudoreplikaci, tj. k použití stejné informace několikrát. Ignorování prostorové závislosti v datech typicky vede k přeceňování statistické významnosti ve statistických testech a analýzách. Z toho důvodu byly ponechány pouze nálezy druhů splňující podmínku unikátní kombinace jednoho druhu + roku + pixelu. Velikost pixelu (cca 500 m) vychází ze zpracovaných rastrů rozlišení světelného znečištění. Tento 2. filtr zajistil další redukci počtu nálezů většiny skupin. Fakticky došlo pouze k odstranění

“duplicitních” pozorování z exponovaných lokalit (dobrá přístupnost či oblíbenost) a tedy i zvýšení kvality vstupních dat, které tak věrohodněji popisují realitu, a nikoliv preferenci jednotlivých pozorovatelů.

skupina	čeledi	počet nálezů v NDOP	1. filtr	%	2. filtr	%
ptáci	Accipitridae, Acrocephalidae, Alaudidae, Alcedinidae, Anatidae, Ardeidae, Caprimulgidae, Ciconiidae, Cinclidae, Columbidae, Corvidae, Cuculidae, Emberizidae, Falconidae, Fringillidae, Gruidae, Hirundinidae, Charadriidae, Laniidae, Laridae, Locustellidae, Meropidae, Motacillidae, Oriolidae, Paridae, Passeridae, Phasianidae, Picidae, Podicipedidae, Prunellidae, Rallidae, Regulidae, Remizidae, Scolopacidae, Strigidae, Turdidae, Tytonidae, Upupidae	1 755 676	1 519 715	87	913 572	52
hmyz	Brahmaeidae, Cossidae, Crambidae, Drepanidae, Endromidae, Erebiidae, Geometridae, Hepialidae, Lasiocampidae, Limacodidae, Muscicapidae, Noctuidae, Nolidae, Notodontidae, Pyralidae, Saturniidae, Sphingidae	280 380	261 145	93	191 515	68
netopýři	Rhinolophidae, Vespertilionidae	36 613	36 160	99	26 696	73
kočky	Felidae	7 671	2 528	33	2 119	28
ježci	Erinaceidae	2 339	2 303	98	1 981	85
Σ		2 082 679	1 821 837	87	1 135 883	55

Tab. 1. Základní charakteristika náleзовých dat z NDOP podle skupin. Aplikace redukce filtrací podle přesnosti nálezu do 1 km (1. filtr) a další redukce prostorové autokorelace (2. filtr).

Analýza dat

Analyzovány byly následující skupiny živočišných druhů: ptáci, vybraní savci (netopýři, ježci a kočkovité šelmy) a hmyz. První dvě skupiny byly analyzovány na úrovni jednotlivých druhů. U hmyzu, vzhledem k velkému množství druhů, byla analýza provedena na úrovni jednotlivých čeledí. Dále byly z důvodu reprezentativnosti výsledků analyzovány pouze druhy/čeledi, u nichž bylo k dispozici alespoň 50 záznamů.

Nejprve byla každému výskytu na základě jeho geografických souřadnic přiřazena hodnota světelného znečištění (ALAN, viz Data) odpovídající dané poloze a času. Jelikož měsíční kompozity hodnot světelného znečištění mohou být zatíženy nahodilým vlivem oblačnosti, byly použity i kompozity roční. Jelikož se výsledky při použití měsíčních, resp. ročních kompozitů prakticky nelišily (zde neprezentováno), jsou prezentovány pouze výsledky založené na kompozitech měsíčních.

Pro každý druh/čeleď byly sumarizovány hodnoty světelného znečištění v místech a časech jeho výskytů, a to pomocí průměru, mediánu a 1. a 3. kvartilu. Dále byly pro každý druh/čeleď spočítány procenta výskytů s hodnotou světelného znečištění nad danou prahovou hodnotou.

Prahové hodnoty byly tři: hodnota 2 nW/sr/cm², která odpovídá minimální úrovni nočního světla, jaká již může mít na organismy vliv (Wildmer 2022); hodnota 5 nW/sr/cm², odpovídající zhruba světelnosti lidských sídel pozorovaných v použitých datech ALAN; a nakonec hodnota 20 nW/sr/cm², reprezentující velmi výrazné zdroje světla pozorované v použitých datech ALAN. Uvedené sumarizace umožňují vytipování skupin druhů, vyskytujících se buď v extrémně tmavých, nebo naopak světelných podmínkách.

Výsledky

Ptáci

Z hlediska průměrných hodnot světelného znečištění výrazně vybočovaly druhy strakapoud jižní, chocholouš obecný a sokol stěhovavý, které se vyskytovaly ve výrazně světlejších podmínkách oproti jiným druhům (obr. 1). U sokola stěhovavého je navíc výrazný rozdíl mezi mediánem a průměrem hodnot světelného znečištění, což naznačuje, že za vysoký průměr jsou odpovědné extrémní odlehle hodnoty.

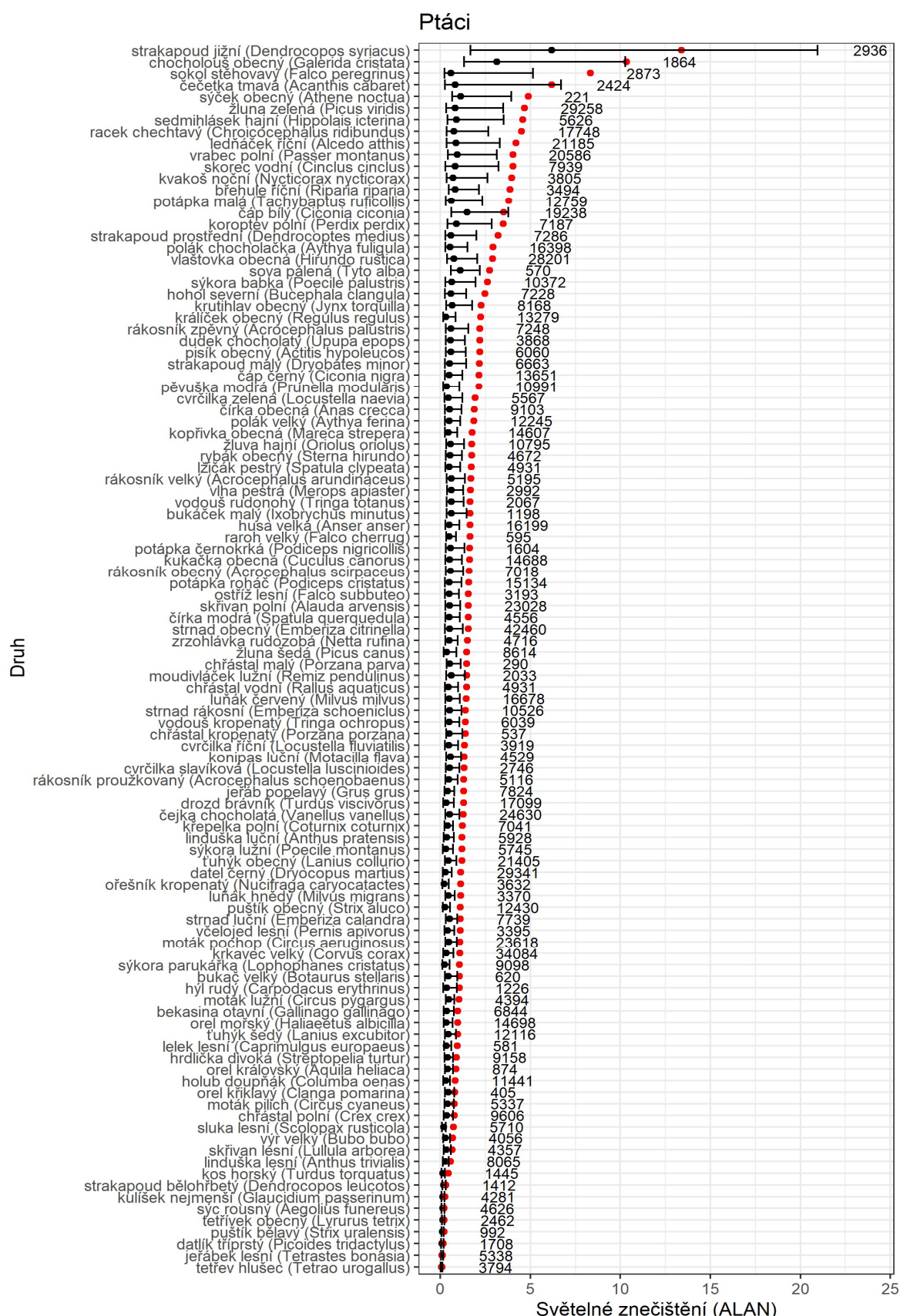
Z hlediska podílů výskytů v místech s hodnotou ALAN větší než 2 nW/sr/cm² (tedy místa s potenciálním vlivem na organismy), je na obr. č. 2 patrná skupina ptáků, vyžadujících výrazně tmavé podmínky. Jsou to zejména tetřev hlušec, jeřábek lesní, pušтік bělavý, datlík tříprstý, strakapoud bělohřbetý, sýc rousný, tetřívka obecná, kulíšek nejmenší a kos horský. U prvních pěti zmíněných druhů nebyl zaznamenán jediný případ výskytu v podmínkách ALAN více než 20 nW/sr/cm² (obr. 4) a jen minimum výskytů s hodnotou ALAN 5 nW/sr/cm² (obr. 3). Naopak druhy strakapoud jižní a chocholouš obecný vykazovaly více než polovinu výskytů v místech s hodnotou ALAN větší než 2 nW/sr/cm² (obr. 2), spolu se sokolem stěhovavým a čečetkou tmavou byli ve více než čtvrtině případů pozorováni v místech s hodnotou ALAN větší než 5 nW/sr/cm² (obr. 3) a ve více než 10 % záznamů v oblasti s velmi vysokou hodnotou ALAN (20 nW/sr/cm² a více; obr. 4). Ostatní druhy se pohybovaly někde mezi těmito extrémy.

Sokol stěhovavý se u nás vyskytuje jednak v oblastech, kde je velmi malá úroveň světelného znečištění (České Švýcarsko, Broumovsko, Jeseníky, Šumava apod.), kde hnízdí zpravidla na skalách, ve skalních městech apod. Druhým typem prostředí jsou městské aglomerace, průmyslové areály apod., zde je naopak úroveň světelného znečištění vysoká (Šťastný et al. 2021). Právě taková situace může indikovat druh potenciálně světelným znečištěním ohrožený, spíše ale ukazuje na jeho plasticitu a schopnost se prostředí s vysokou úrovní světelného znečištění přizpůsobit (Kettel et al. 2016). Podobné chování bylo pozorováno i u dalších druhů. Strakapoud jižní, je druh často obývajícím okraje lidských sídel, zahrady, sady či městské parky, vyšší úroveň světelného znečištění je tedy schopen zcela jistě tolerovat. Chocholouš obecný, který u nás obýval především zemědělskou krajinu, se v posledních dekádách minulého století přesouval na okraje měst, kde našel vhodnější hnízdní podmínky (Šťastný et al. 2021). Zde výsledky ukazují na jeho schopnost obývat stanoviště s vyšší úrovní světelného znečištění. Zajímavý je případ čečetky tmavé, která u nás hnízdí především v horských oblastech s nízkou úrovní ALAN (Šťastný et al. 2021). Dá se ale předpokládat, že většina záznamů v NDOP budou spíše záznamy ze zimního období, kdy se více zdržuje v nižších polohách, včetně okrajů měst. Minimálně v tomto období je k vyšším hodnotám ALAN pravděpodobně tolerantní. U všech těchto druhů nejsou známy

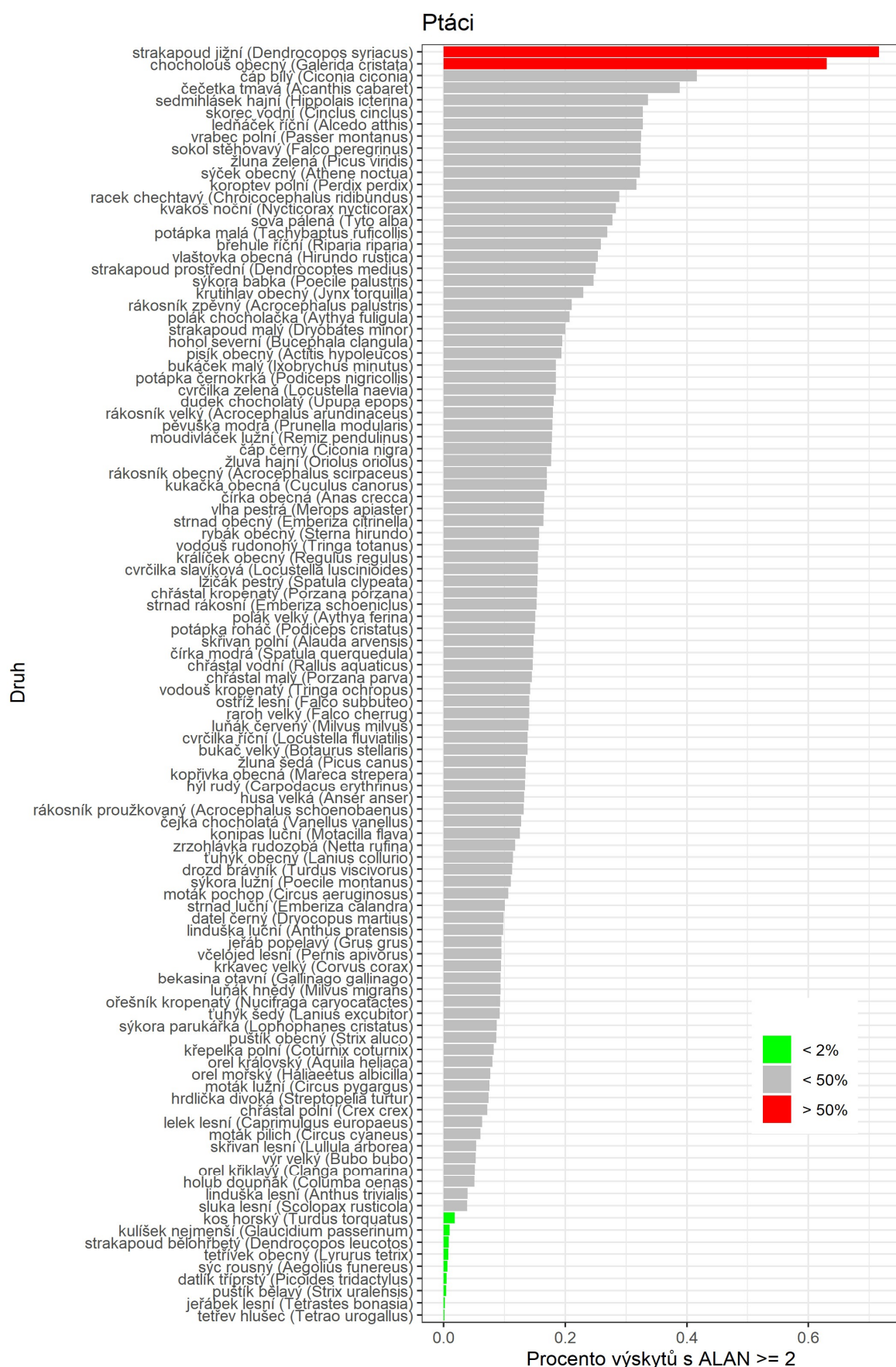
žádné publikované zdroje, které by ukazovaly na negativní vliv ALAN na jejich organismus. Pro detailní analýzu vlivu ALAN na tyto druhy by bylo potřeba rozdělit alespoň hnízdní a mimohnízdí záznamy, popř. podrobněji analyzovat rozdílný vliv ALAN v průběhu celého roku.

Druhy, u nichž byla zjištěna vazba na lokality s nízkou úrovní ALAN, jsou převážně ty, které se vyskytují v horských oblastech s přirozeně nižší hladinou nočního osvětlení. U některých je tato vazba dána především nadmořskou výškou, například u datlíka tříprstého, který obývá horské smrčiny nad 700 m n. m., strakapouda bělohřbetého žijícího v rozsáhlejších starých horských bučinách nebo kosa horského preferujícího otevřenou krajinu či okraje lesů ve vyšších nadmořských výškách. Tyto druhy se navíc v České republice vyskytují jen ostrůvkovitě v několika málo oblastech s vhodnou strukturou stanovišť (Šťastný et al. 2021). Vliv na tyto druhy by musel být analyzován na lokální či regionální škále. Podobné závěry lze odvodit i u puštíka bělavého. Jedná se o druh, který se na našem území vyskytuje vzácně, a to pouze ve dvou oblastech – Beskydy a Šumava (Šťastný et al. 2021; v obou lokalitách je pozorována nízká úroveň světelného znečištění).

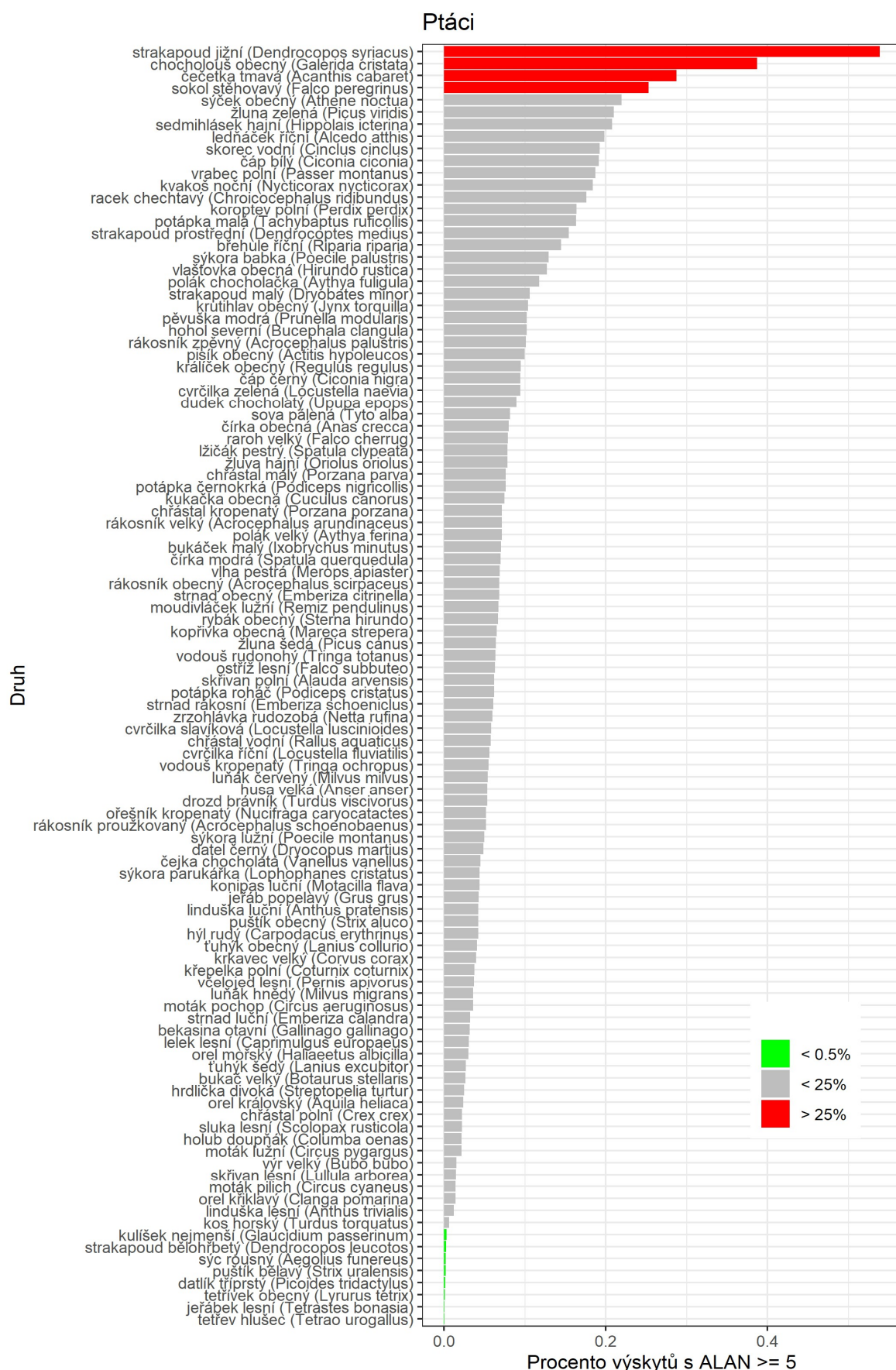
Druhy jako tetřev hlušec, tetřívka obecná a jeřábek lesní se dnes vyskytují v České republice pouze ostrůvkovitě a poměrně vzácně, přičemž jejich výskyt je zpravidla omezen na oblasti s nízkou hladinou světelného znečištění. V minulosti však byly tyto druhy rozšířeny podstatně širším areálem, avšak během 20. století došlo k jejich výraznému úbytku, který lze pozorovat i v celé střední Evropě (Šťastný et al. 2021). Vzhledem k jejich citlivosti na antropogenní rušení je pravděpodobné, že nárůst ALAN byl jedním z faktorů přispívajících k tomuto poklesu. Nasvědčuje tomu i skutečnost, že jejich současné rozšíření je vázáno právě na oblasti s minimálním světelným znečištěním (Šťastný et al. 2021). Kulíšek nejmenší a sýc rousný jsou typické druhy rozsáhlejších lesních oblastí ve středních a vyšších nadmořských výškách. Na rozdíl od předchozích druhů jejich početnost ve druhé polovině 20. století narůstala a postupně obsazovali nové lokality (Šťastný et al. 2021). Jejich preference oblastí s nízkou úrovní ALAN pravděpodobně souvisí především s jejich biotopovými nároky.



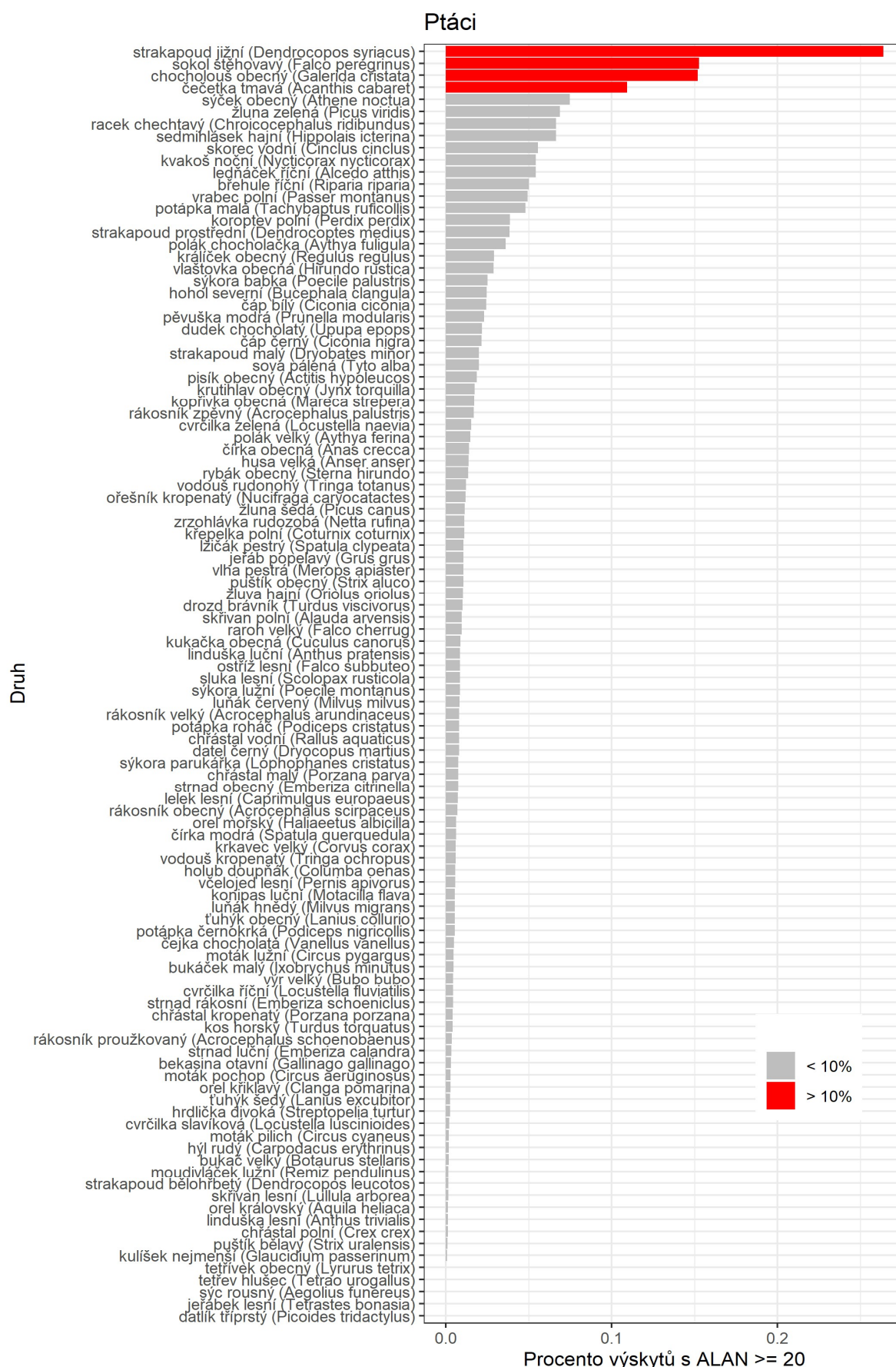
Obr. 1. Rozdělení hodnot světelného znečištění v místech výskytu jednotlivých druhů ptáků. Černé body jsou mediány, červené body jsou průměry. Černé čáry ukazují rozpětí mezi prvním a třetím kvantilem. Číselné hodnoty jsou počty záznamů jednotlivých druhů.



Obr. 2. Procento výskytu druhů ptáků s hodnotou světelného znečištění (ALAN) vyšší než 2 nW/sr/cm².



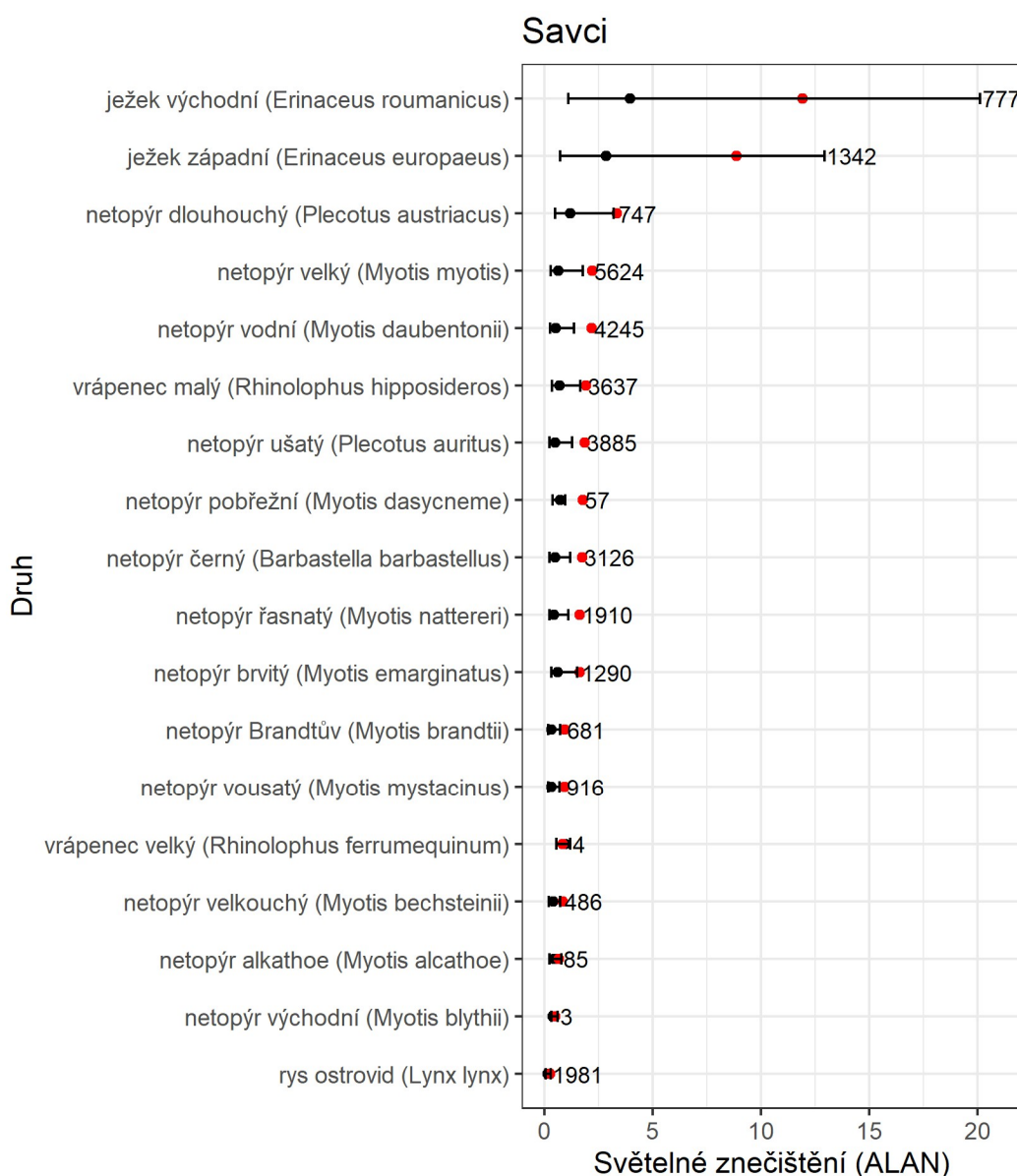
Obr. 3. Procento výskytu druhů ptáků s hodnotou světelného znečištění (ALAN) vyšší než 5 nW/sr/cm².



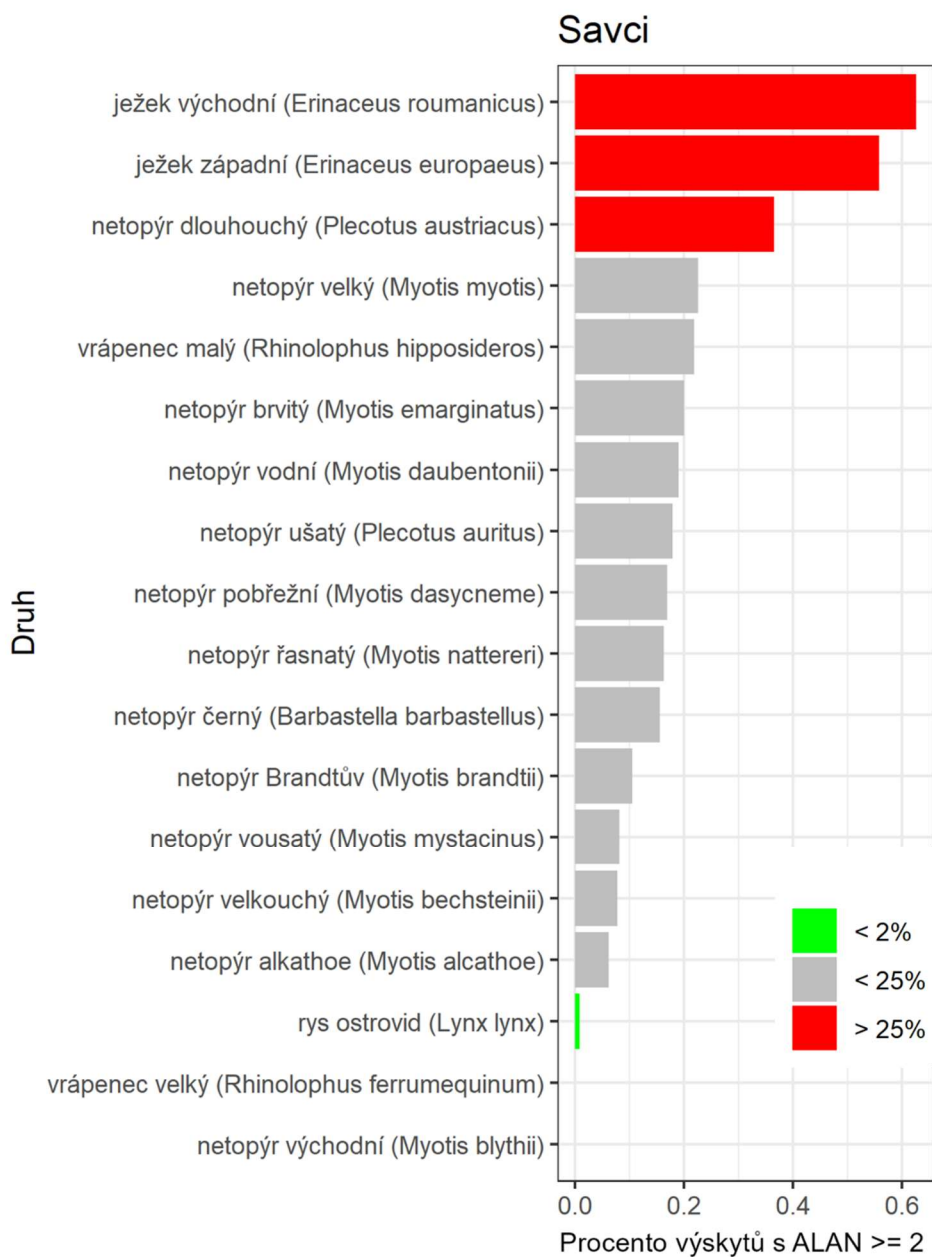
Obr. 4. Procento výskytu druhů ptáků s hodnotou světelného znečištění (ALAN) vyšší než 20 nW/sr/cm2.

Savci (netopýři, ježci, rys)

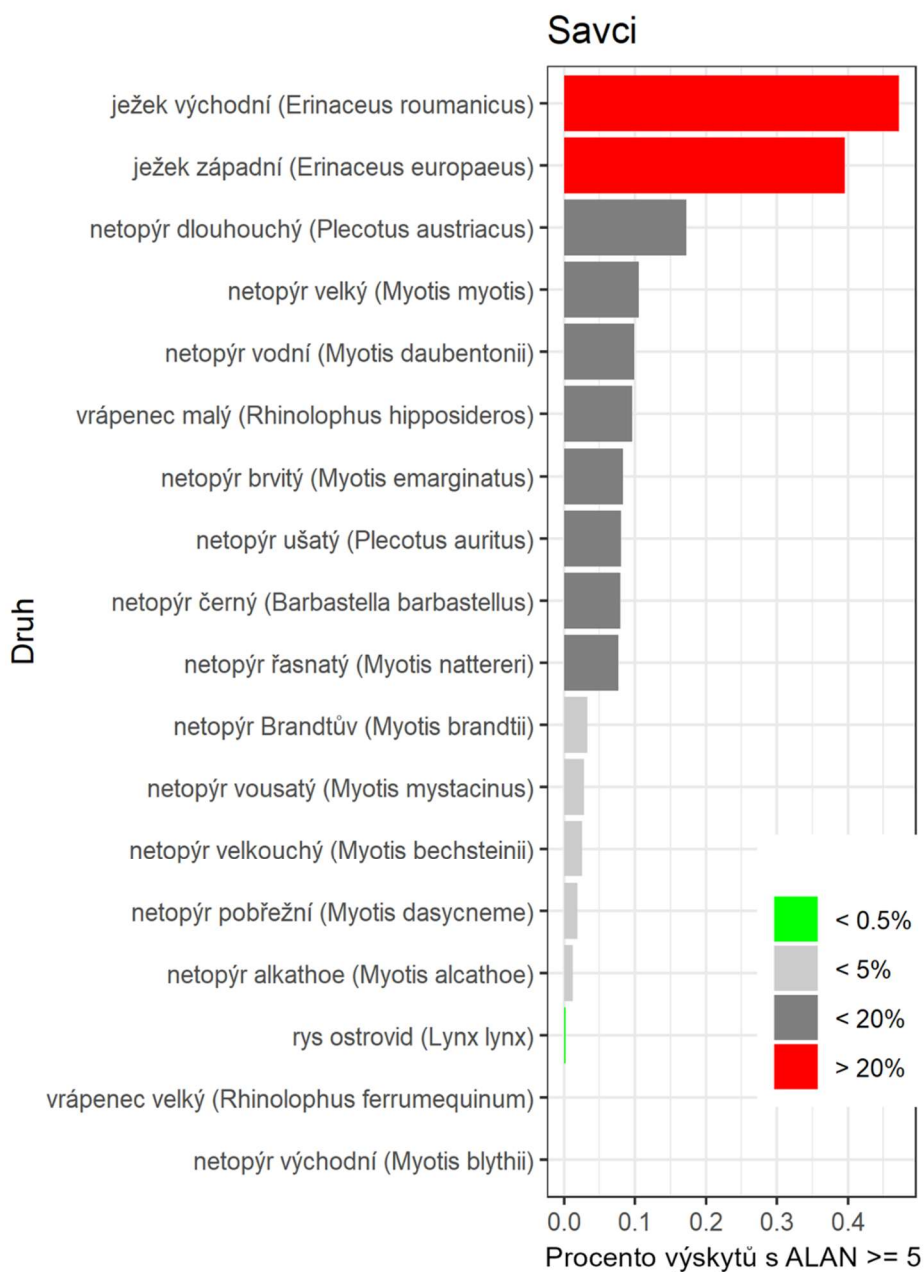
U sledovaných skupin savců byl pozorován značný rozdíl zejména mezi oběma druhy ježků, kteří preferovali výrazně světlejší lokality (průměrné hodnoty ALAN cca 10 až 15 nW/sr/cm², obr. 5) a mezi netopýry, průměrná hodnota ALAN v lokalitě nepřesahovala 4. Nejsilnější preferenci tmavých míst pak vykazoval rys ostrovid, s průměrnou hodnotou ALAN 0.24 nW/sr/cm² (hodnota prakticky neodlišitelná od úrovně šumu v datech). Rys vyhledává spíše klidné oblasti, s velmi malým podílem zástavby (Anděra 2025), s čímž také souvisí velmi nízká úroveň ALAN v oblastech jeho výskytu. V oblastech s mírně zvýšeným světelným znečištěním (ALAN nad 2 nW/sr/cm², obr. 6) byla zaznamenána přítomnost více než čtvrtiny případů ježka východního, ježka západního a netopýra dlouhouchého. Při úrovni znečištění 5 nW/sr/cm² (obr. 7) a 20 nW/sr/cm² (obr. 8) však zmíněný netopýr dlouhouchý již zvýšený výskyt nevykazoval. To může odpovídat jeho výskytu v oblastech zahrad či na okrajích sídel, kde nachází úkryty v budovách (Anděra, Gaisler 2012), více osvětlené části obcí nejsou nevyužívány. V případě ježků se však bude patrně jednat o důsledek metodologie sběru dat, jelikož oba druhy jsou schopné přežívat i ve výrazně zastavěných oblastech (Turner et al. 2021), kde v noci mohou být častěji pozorováni nežli případě tmavých přírodních stanovišť. U vrápence velkého a netopýra východního nebyl naopak zaznamenán jediný případ výskytu s hodnotou ALAN větší než 2 nW/sr/cm² (obr. 6). U těchto dvou druhů ale vzhledem k velmi malému počtu nálezů nelze tyto trendy zatím objektivně považovat za relevantní.



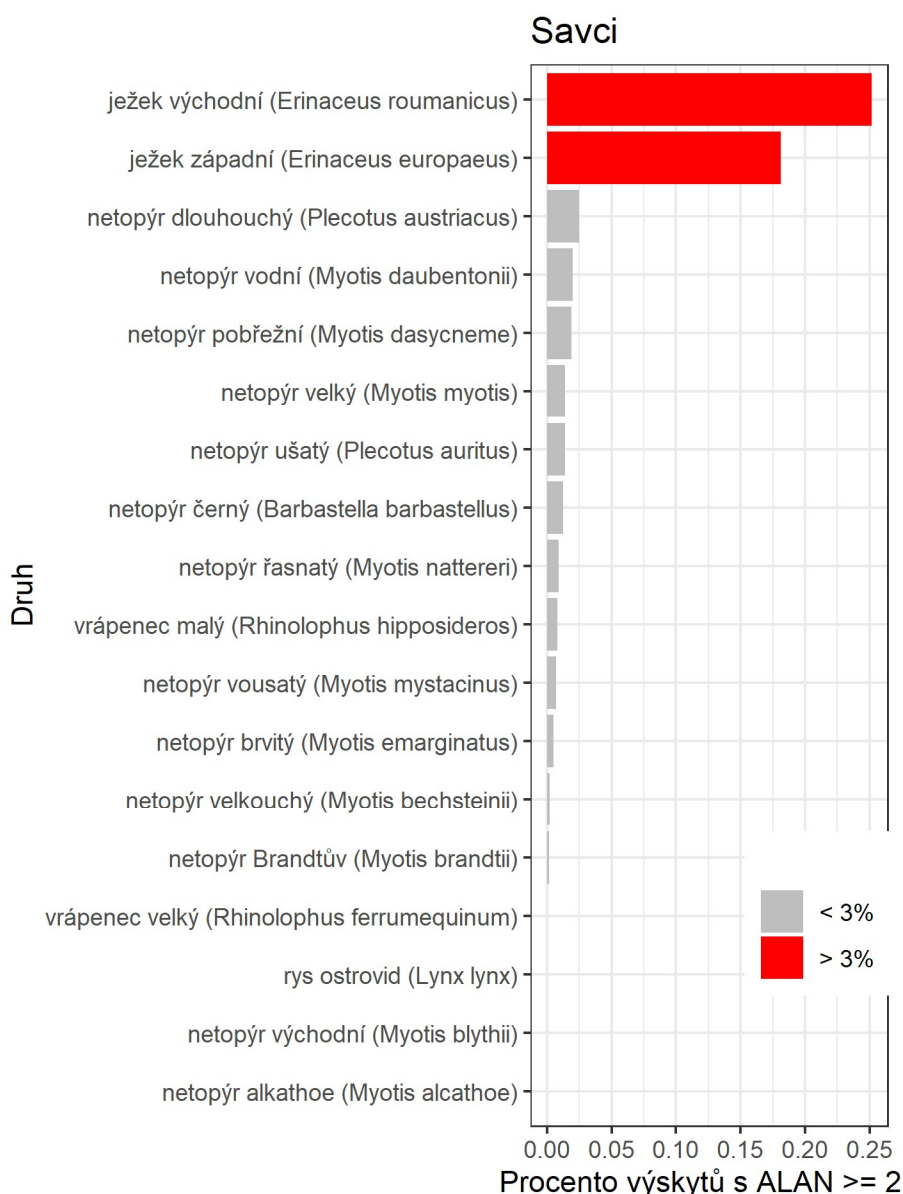
Obr. 5. Rozdělení hodnot světelného znečištění v místech výskytu jednotlivých druhů savců. Černé body jsou mediány, červené body jsou průměry. Černé čáry ukazují rozpětí mezi prvním a třetím kvantilem. Číselné hodnoty jsou počty záznamů jednotlivých druhů.



Obr. 6. Procento výskytu jednotlivých druhů savců s hodnotou světelného znečištění (ALAN) vyšší než 2 nW/sr/cm².



Obr. 7. Procento výskytu jednotlivých druhů savců s hodnotou světelného znečištění (ALAN) vyšší než 5 nW/sr/cm².

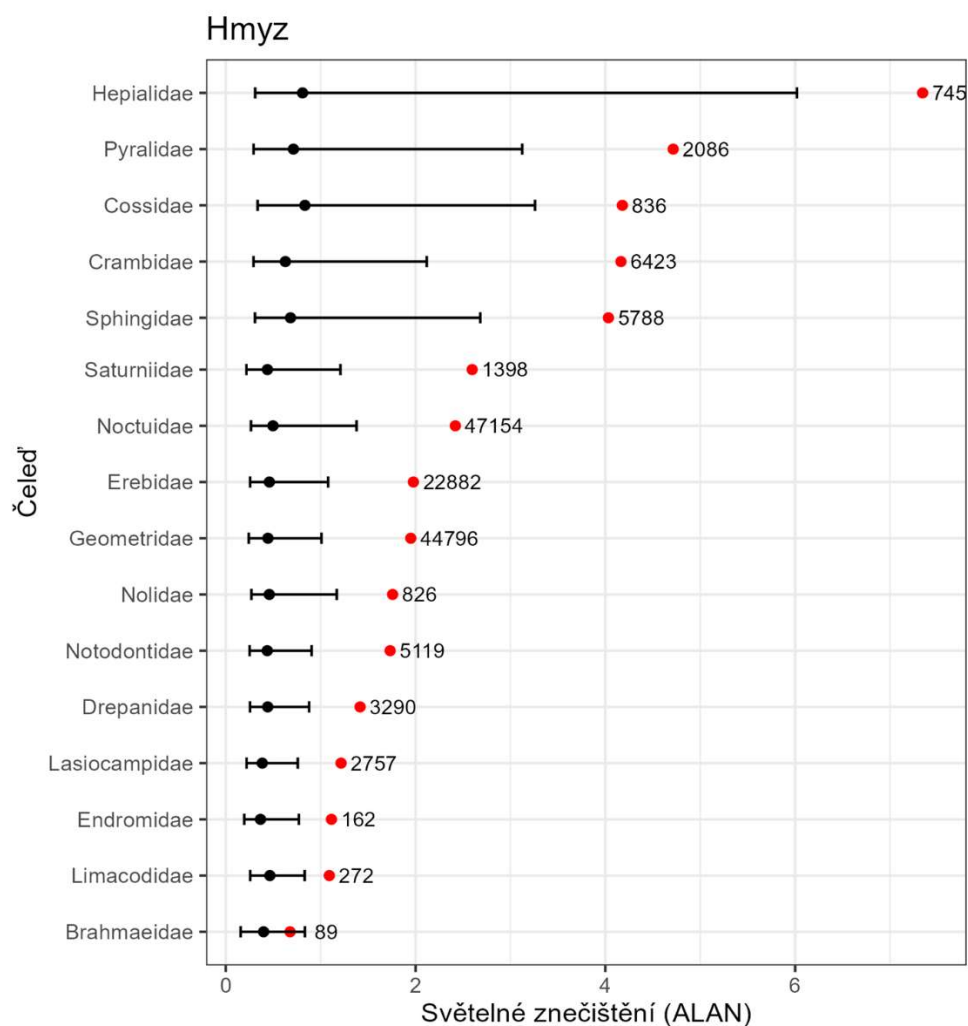


Obr. 8. Procento výskytů jednotlivých druhů savců s hodnotou světelného znečištění (ALAN) vyšší než 20 nW/sr/cm².

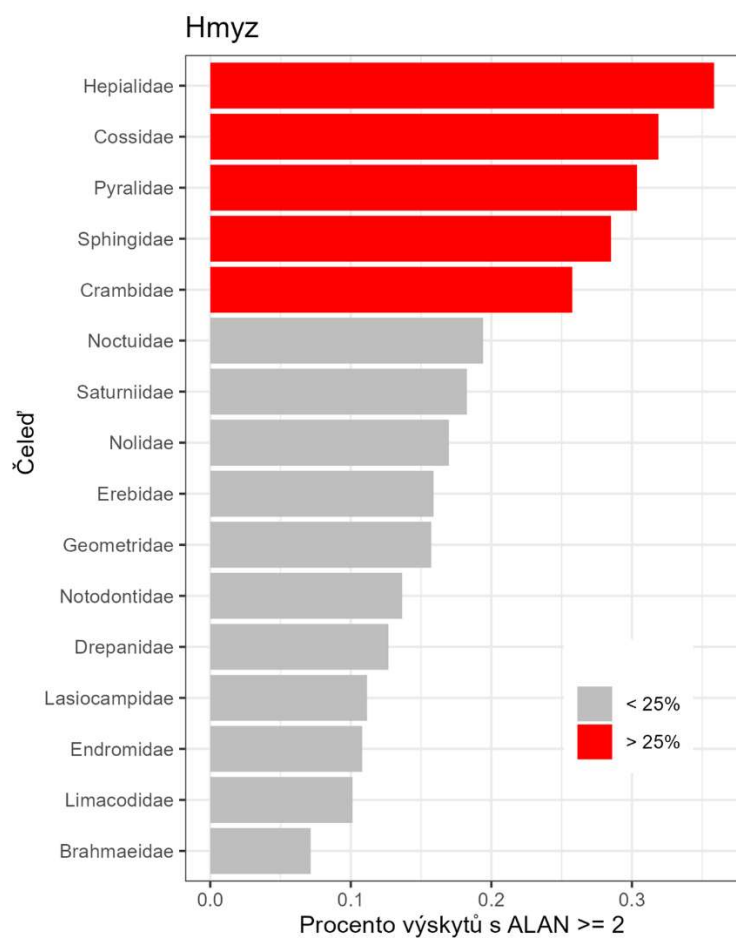
Hmyz

Obecně lze říci, že výskyt sledovaných čeledí hmyzu je vázán na výrazně méně světelně znečištěné podmínky v porovnání s výskyty ostatních sledovaných skupin. Průměrné hodnoty ALAN u žádné čeledi nepřekročily 8 nW/sr/cm² (obr. 9). Tato skutečnost může být způsobena obecně metodickým omezením sběru dat o hmyzu s noční aktivitou, kdy světelné zdroje používané pro monitoring těchto skupin jsou v oblastech s vyšším podílem ALAN neefektivní (Annoni 2022). Za pozornost nicméně stojí výrazně vyšší hodnoty průměrů ve srovnání s hodnotami mediánů, kdy u všech čeledí byl průměr vyšší než hodnota 3. kvartilu (obr. 9). To může opět značit občasnou expozici relativně vysokému světelnému znečištění u druhů, které jsou jinak vázány na výrazně tmavší podmínky. Může to však zároveň být ovlivněno mezidruhovou variabilitou v rámci jednotlivých čeledí. Mezi jednotlivými čeleděmi nebyly tak výrazné rozdíly jako mezi druhy u ostatních skupin, nicméně čeleď Hepialidae vykazovala

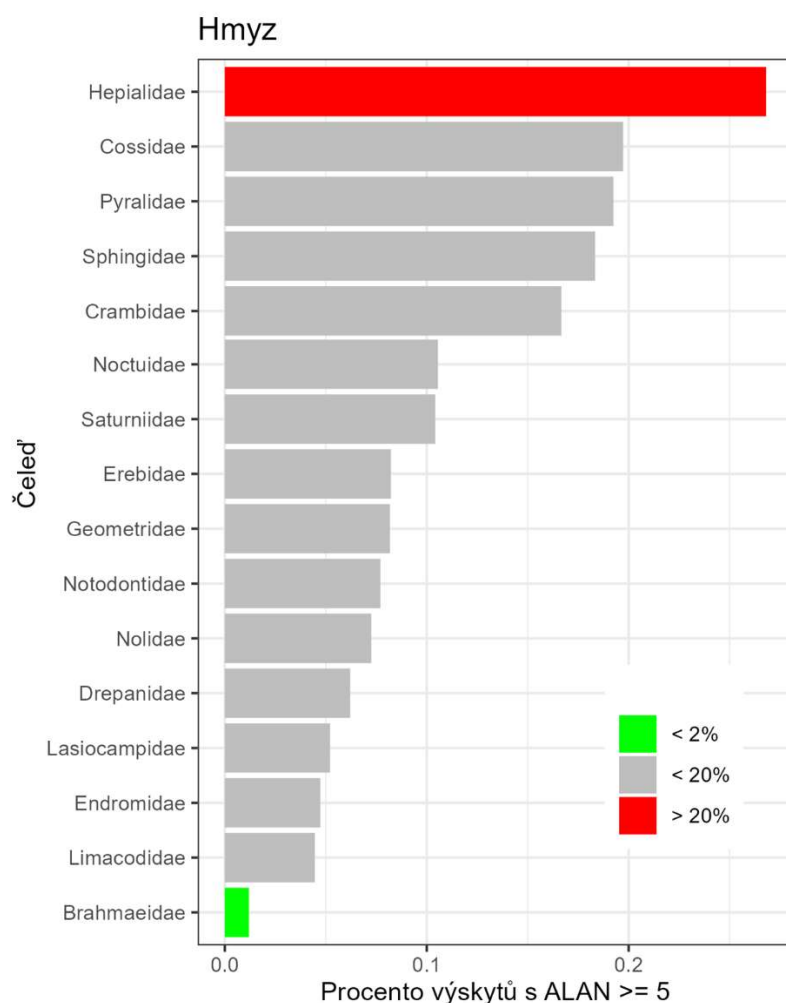
relativně nejvyšší expozici světelnému znečištění, a naopak čeleď *Brahmaeidae* nejnižší (obr. 9 až 12). Jak v případě čeledi *Hepialidae*, tak i dalších, jež vykazují vyšší expozice vůči ALAN (*Crambidae*, *Pyralidae*) lze najít několik značně rozšířených druhů s vazbou na urbanizované oblasti (vývoj v půdě zahrad nebo až synantropně žijící škůdci v domácnostech; Macek et al. 2007, Šumpich et al. 2022). Lze tedy předpokládat, že u těchto skupin jsou tyto výrazné expozice spojené s častým nálezem (a tedy i hlášením jejich výskytu) těchto druhů v oblastech s vyšším podílem ALAN. Obdobně další skupina – čeleď *Sphingidae* – obsahuje několik značně mobilních druhů, jež častokrát navštěvují rezidentské oblasti a jiné urbanizované části sídel z důvodu přítomnosti v noci kvetoucích rostlin, které dospělci přijímají jako zdroj nektaru (Macek et al. 2007). Jedná se o velké a nápadné druhy, což často vede k vyššímu hlášení výskytu v urbanizovaných oblastech. Naproti tomu čeleď *Brahmaeidae* byla zachycena především v oblastech značně tmavých. Toto pravděpodobně souvisí s jejím recentním výskytem. Na území republiky se vyskytují pouze dva druhy rodu *Lemonia*, které jsou vázané na původnější travnatá stanoviště (Macek et al. 2007). Ty jsou v podstatě mimo oblasti s výrazným podílem urbanizace a dalších zdrojů ALAN, zejména v chráněných územích. Lze tedy předpokládat, že trend jejich reakce na ALAN je v současné době dán zejména distribucí jejich vhodných biotopů. Nicméně všechny zkoumané skupiny výrazně reagují na zdroje ALAN (Kadlec et al. 2024), tudíž i ty, jež mají vyšší afinitu k oblastem s vyšším podílem ALAN budou tímto pravděpodobně negativně ovlivněny.



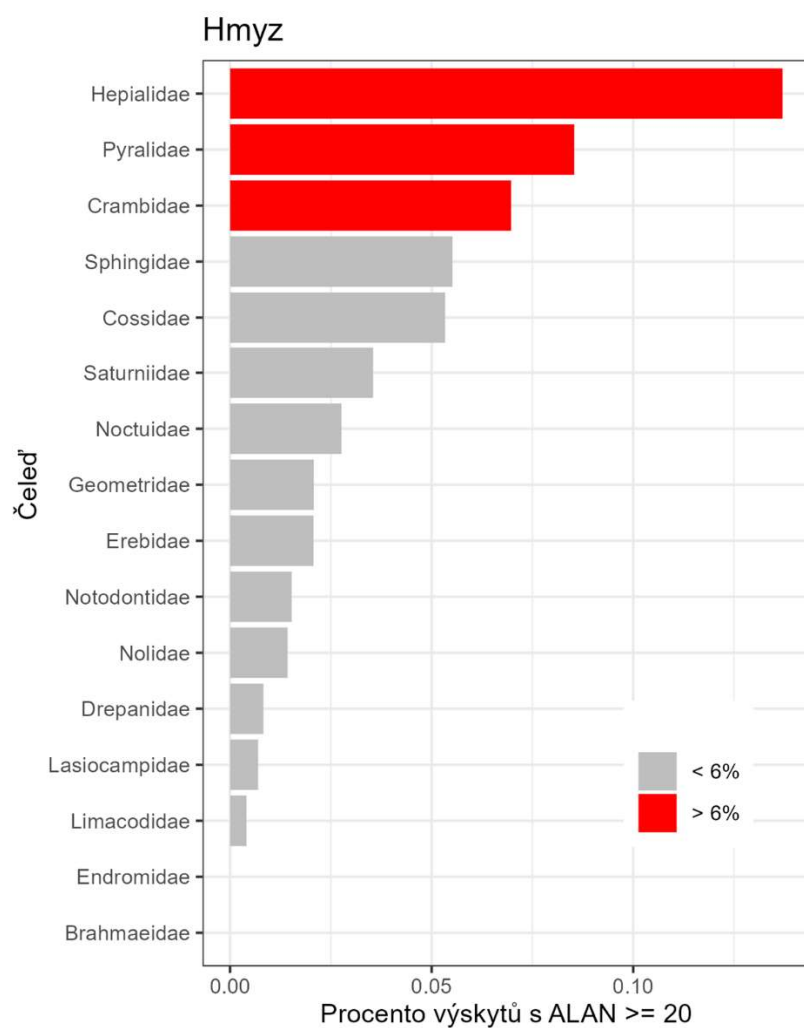
Obr. 9. Rozdělení hodnot světelného znečištění v místech výskytu jednotlivých čeledí hmyzu. Černé body jsou mediány, červené body jsou průměry. Černé čáry ukazují rozpětí mezi prvním a třetím kvantilem. Číselné hodnoty jsou počty záznamů jednotlivých druhů.



Obr. 10. Procento výskytu jednotlivých čeledí hmyzu s hodnotou světelného znečištění (ALAN) vyšší než 2 nW/sr/cm².



Obr. 11. Procento výskytu jednotlivých čeledí hmyzu s hodnotou světelného znečištění (ALAN) vyšší než 5 nW/sr/cm².



Obr. 12. Procento výskytu jednotlivých čeledí hmyzu s hodnotou světelného znečištění (ALAN) vyšší než 20 nW/sr/cm².

Diskuse a závěr

Interpretaci uvedených výsledků je třeba provádět s určitou opatrností. Korelace výskytu některého druhu s úrovní světelného znečištění v dané lokalitě nemusí nutně znamenat přímou spojitost těchto jevů (Owens 2018, Camacho 2021). Je velice pravděpodobné, že druhy vykazující výraznější preferenci světlých míst jsou synantropní, adaptované na blízkost člověka a tím i na zvýšenou úroveň ALAN. Světelné podmínky samotné tak s tímto mohou, ale nemusí souviset. Za pozornost stojí druhy, které se většinou vyskytují spíše v oblastech tmavé oblohy, přesto je u nich zaznamenán občasný výskyt ve výrazně znečištěných podmínkách (např. výše zmíněný sokol stěhovavý). Obzvlášť výrazný se tento jev zdá být u hmyzu, kde byly mezi mediány hodnot světelného znečištění výrazně menší rozdíly než mezi jejich průměry (obr. 9). To v praxi znamená, že jednotlivé čeledi se lišily spíše v tom, jak často či jak extrémně byly vystavovány extrémním hodnotám světelného znečištění než v tom, v jakých světelných podmínkách typicky žijí. V podobných případech ojedinělých extrémních hodnot je nicméně vždy třeba ověřit, zda se nejedná o chybná měření či interpolace světelného znečištění, případně o chybnou geolokaci záznamu výskytu druhu. Dále je možné předpokládat, že druhy, u nichž se vyšší hodnoty světelného znečištění prakticky nevyskytují (např. tetřev hlušec, rys ostrovid, či mýry z čeledi *Brahmaeidae*), jsou na tyto podmínky adaptovány a mohou tedy být v případě zvýšení světelného znečištění v oblastech jejich výskytu ohroženy.

Předloženou analýzu je třeba považovat za orientační, vedoucí pouze k odhadu potenciálně ohrožených druhů světelným znečištěním. Ty je pak třeba podrobit podrobnější analýze, která (v závislosti na dostupných datech) může zahrnovat komplexnější zhodnocení jejich habitatových nároků, případně zhodnocení míry rizika na konkrétních lokalitách jejich výskytu.

Mapový výstup

Pro doplnění výše prezentovaných dat byly vytvořeny interaktivní mapy ve formátu HTML zobrazující veškeré zkoumané druhy, včetně detailnějšího zaměření pouze na zkoumaný hmyz, savce a ptáky. Z důvodu výše zmíněných limitů dat pořízených z nálezové databáze AOPK, byly agregovány nálezy do jemných botanických čtverců. Tento krok byl nutný vzhledem k licenčním požadavkům databáze, které zakazují možnost extrakce přesné polohy jednotlivých nálezů. Součástí mapy je mediánový kompozit zdrojů nočních světél za rok 2023. Tento výstup slouží k orientační kontrole polohy nálezu jednotlivých druhů ve vztahu k intenzitě nočních světél. K mapě je přiložen skript ve formátu R markdown, který byl využit pro tvorbu map.

Zdroje

- Anděra, M. (2025): Mapa rozšíření *Lynx lynx* v České republice. In: Zicha O. (ed.) BioLib: Biological Library. Citováno 08.04.2025. Dostupné na: <https://www.biolib.cz/cz/taxonmap/id61/>
- Anděra, M., & Gaisler J. (2012) Savci České republiky - popis, rozšíření, ekologie, ochrana. Nakladatelství Academia, Praha.
- Annoni, F. (2022) Vliv světelného znečištění na kvalitu dat ze světelných lapačů. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Camacho, L., Barragán, G., & Espinosa, S. (2021). Local ecological knowledge reveals combined landscape effects of light pollution, habitat loss, and fragmentation on insect populations. *Biological Conservation*.
- Ding, H., Shi, J., Wang, Y., & Wei, L. (2015, December). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric correction of Landsat 8. In *MIPPR 2015: Remote Sensing Image Processing, Geographic Information Systems, and Other Applications* (Vol. 9815, pp. 128-135). Spie.
- Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Zhizhin, M., & Hsu, F. C. (2013). Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights. *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network*, 35(0), 62.
- Kadlec, T., Bartonička, T., Dvořák, T., Harabiš, F., Josková, A., Lučan, R., Ritz-Radlinská, A., & Zasadil, P. (2024). Seznam živočichů citlivých na světelné znečištění. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha.
- Kettel, E.F., Gentle, L.K., & Yarnell, R.W. (2016). Evidence of an Urban Peregrine Falcon (*Falco peregrinus*) Feeding Young at Night. *Journal of Raptor Research* 50: 321–323.
- Macek, J., Dvořák, J., Traxler, L., & Červenka, V. (2007). Motýli a housenky střední Evropy. Noční motýli I. Academia, Praha.
- Owens, A. C., & Lewis, S. M. (2018). The impact of artificial light at night on nocturnal insects: a review and synthesis. *Ecology and evolution*, 8(22), 11337-11358.
- Rybníková, N. A., & Portnov, B. A. (2021). Outdoor light and breast cancer incidence: A comparative analysis of DMSP and VIIRS-DNB satellite data. In *Remote Sensing of Night-time Light* (pp. 98-107). Routledge.
- Sanders, D., & Gaston, K. (2018). How ecological communities respond to artificial light at night. *Journal of Experimental Zoology. Part A, Ecological and Integrative Physiology*, 329, 394 - 400.

Šťastný, K., Bejček, V., Telenský, T., & Mikuláš, I. (2021). Atlas hnízdního rozšíření ptáků v České republice 2014 – 2017. Aventinum s.r.o., Praha.

Šumpich, J., Liška, J., Laštůvka, Z., & Laštůvka, A. (2022). Motýli a housenky střední Evropy VI. Drobní motýli II. Academia, Praha.

Turner, J., Freeman, R., & Carbone, C. (2021). Using citizen science to understand and map habitat suitability for a synurbic mammal in an urban landscape: the hedgehog *Erinaceus europaeus*. *Mammal Review* 52: 291–303 .

Widmer, K., Beloconi, A., Marnane, I., Vounatsou, P., (2022). Review and Assessment of Available Information on Light Pollution in Europe (Eionet Report – ETC HE 2022/8), ISBN 978-82-93970-08-8, ETC HE c/o NILU, Kjeller, Norway.