

téma: „**Ekotoxikologické riziko environmentálních polutantů pro netopýry**“

Úvod

Netopýři jako bioindikátory prostředí (vliv na zdraví, přežívání atd.)

Typy znečištění

- 1. Těžké kovy**
- 2. Persistentní organické polutanty**
- 3. Světelné znečištění**

Závěr

Úvod

Netopýři jsou jedinými savci se schopností aktivního letu. To jim umožnilo osídlit všechny kontinenty kromě Antarktidy a se svými cca 1400 druhy představují druhý nejpočetnější řád savců. V současné době se Letouni (*Chiroptera*) dělí na dva podřády *Yinpterochiroptera* a *Yangochiroptera*, přičemž do první skupiny náleží zejména kaloni (čeleď *Pteropodidae*) a vrápenci (čeleď *Rhinolophidae*), zatímco druhá zahrnuje „klasické netopýry“ (opět více čeledí, např. *Vespertilionidae*). Nejmenší letoun a zároveň nejmenší savec na světě (dle velikosti těla) je netopýrek thajský (*Craseonycteris thonglongyai*), vážící asi 2g, s délkou těla 3 cm a rozpětím křídel 13 cm. Naopak největším letounem vážícím až 1,5 kg je kaloň indický (*Pteropus giganteus*) s rozpětím křídel až 1,5 m (Altringham et al 2005). V České republice pak žije 29 druhů netopýrů (27 druhů čeledi *Vespertilionidae* a 2 čeledi *Rhinolophidae*). Naším nejmenším zástupcem je *Pipistrellus pygmaeus* vážící asi 3 g, s rozpětím křídel 20 cm a největší je *Nyctalus lasiopterus* vážící kolem 50 g s rozpětím křídel až 50 cm.

Netopýři jako bioindikátory prostředí

Mnoho fyziologických a etologických charakteristik dělá z netopýrů dokonalé organismy pro sledování kontaminantů v životním prostředí. Netopýři jsou typickými K-stratégy a ve srovnání se stejně velkými savci jsou extrémně dlouhověcí. Průměrná délka života většiny z nich je 5 až 6 let, avšak nejstarší označení jedinci se dožili více než 37 let (Gaisler et al 2003). Dalším rysem je také nízká reprodukční rychlost. Drtivá většina druhů rodí jediné mládě, které samice kojí až 5 týdnů (Obr 1). Úmrtnost tohoročních mláďat je velmi vysoká až 80%, přičemž se samci i samice zapojují do rozmnožování většinou až ve druhém roce života (Altringham et al 2005). Netopýři se tak stávají náchylnějšími k negativním účinkům škodlivých látek v prostředí, a to i prostřednictvím bioakumulace. Pokles v početnosti populace se projeví v krátkém časovém horizontu, ale má dlouhodobé dopady.



Obr 1 Samice netopýra rezavého (*Nyctalus noctula*) je jedním z mála druhů netopýrů, kteří mohou mít ve vrhu více než jedno mládě (J. Pikula).

Díky energeticky vysoce náročnému letu musí netopýři zkonsumovat relativně velké množství potravy, s čímž souvisí i vysoká rychlost metabolismu. Jedinec může za noc zkonsumovat množství potravy, které odpovídá až 100 % váhy jeho těla (Kurta et al 1989). Netopýři navíc hrají v ekosystémech velmi důležitou a často podceňovanou roli. Jsou mezi nimi opylovači významných kulturních plodin (např. banánovník, pepřovník), plodožravé druhy roznášejí semena a insektivorní druhy jsou jedinými predátory nočního hmyzu. Některé odhady uvádí, že díky masovému vymírání netopýrů z důvodu syndromu bílého nosu (onemocnění způsobené plísní *Pseudogymnoascus destructans*) v USA musí zemědělci vynaložit ročně téměř 23 miliard USD na prostředky k hubení škůdců, které by netopýři ulovili (Boyles et al 2011). Některé druhy se specializují na lov členovců, jako jsou škorpioni, jiní loví malé obratlovce, mezi něž patří ryby, obojživelníci, žáby, hadi, ptáci, myši, dokonce i jiné netopýry. Tři druhy jsou sanquivorní. Jako vrcholoví predátoři, opylovači a rozptylovači semen jsou netopýři obzvláště citliví z hlediska bioakumulace škodlivin a také na změny stanoviště, jejich fragmentaci nebo změny ve využívání půdy.

Netopýři využívají nejrůznější typy úkrytů, jako jsou jeskyně, štoly, dutiny stromů, ale také lidské stavby. Zvláště v poslední době dochází ke stále častějšímu střetávání člověka s netopýry. Důvodem je narušování stanovišť a ztráta přirozených úkrytů např. odlesňováním krajiny za účelem získání zemědělské půdy či prostor pro výstavbu lidských sídel. Netopýři pak hledají náhradní úkryt ve štěrbinách panelových domů, pod parapety oken, střešních atikách

a púdách či sklepení nejrůznějších budov. Vazba na tyto úkryty může být velmi dlouhodobá. Zvířata se díky své skvělé orientaci a prostorové paměti mohou vracet na stejné místo i desítky let. Netopýři tak koexistují s lidmi v městské, průmyslové a zemědělské krajině, čímž se potenciálně vystavují zvýšené úrovni znečištění. Synantropizace umožnila netopýřům rozšířit se do regionů, kde jsou vhodné přírodní úkryty omezené, ale také zvýšila hrozbu kontaminace chemickými polutanty prostřednictvím blízkosti lidských aktivit (Russo Jones 2015).

Nicméně, všechny druhy netopýřů na celém světě jsou chráněny prostřednictvím mezinárodních dohod. V rámci EU je to Dohoda o ochraně populací evropských netopýřů (EUROBATS), Úmluva o ochraně stěhovavých druhů volně žijících živočichů (Bonnská úmluva) a Úmluva o ochraně evropské fauny, flóry a přírodních stanovišť (Bernská úmluva), které jsou také součástí naší legislativy. V české republice upravuje ochranu zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny a prováděcí vyhláška č. 395/92 Sb., v aktuálním znění, kde jsou všichni netopýři zařazeni do kategorie kriticky nebo silně ohrožený druh. Právní ochraně podléhají nejen samotná zvířata, ale také netopýří stanoviště, - a to jak přirozená, tak umělá. Pro jakoukoliv manipulaci s netopýřem nebo zásah na jejich stanovišti je proto třeba získat výjimku ze zákona od orgánů ochrany přírody. Přestože jsou netopýři skvělými bioindikátory, přísná celosvětová ochrana ovšem brání jejich použití ve standardizovaných programech monitorování kontaminantů životního prostředí, jako jsou programy prováděné u lovné zvěře (<http://www.forumochranyprirody.cz/ochrana-netopyru-legislativa>).

Typy znečištění

V zákoně o životním prostředí je znečištění definováno jako: "Vnášení takových fyzikálních, chemických nebo biologických činitelů do životního prostředí v důsledku lidské činnosti, které jsou svou podstatou nebo množstvím cizorodé pro dané prostředí." Přestože lidé žijí na Zemi desítky tisíc let, teprve během posledních dvou století dramatické změny ve využívání přírodních zdrojů a energie s následnými změnami v ekosystémech vedly k exponenciálnímu růstu lidské populace. Jeden z nejvýznamnějších vlivů člověka na přírodní procesy a živé organismy začal s nárůstem těžby, rafinace a zpracování fosilních paliv pro petrochemický průmysl na počátku 20. století. V životním prostředí je nyní přítomno mnoho různých typů kontaminantů, od syntetických chemikálií, přes světelné znečištění (které by se bez lidského zásahu v životním prostředí nevyskytovaly) až po zvýšené hladiny stopových kovů, které jsou nezbytné pro život. Ty lze klasifikovat podle různých kritérií, včetně původu, účinku, vlastností nebo rozložitelnosti. U netopýřů byly zkoumány škodlivé vlivy tří hlavních kontaminantů – těžké kovy, persistentní organické polutanty a světelné znečištění.

1. Těžké kovy

Těžké kovy jsou definovány jako „prvky se specifickou hustotou vyšší než 5 g/cm³“. Pro volně žijící živočichy představuje největší riziko 11 prvků: arsen, kadmium, kobalt, chrom, měď, rtuť, mangan, nikl, olovo, cín a thalium. Těžší kovy, jako je olovo, rtuť, arsen a kadmium, patří mezi nejnebezpečnější; nicméně i lehké kovy jako hliník a selen mohou být ve vyšších koncentracích pro živé organismy toxické. Některé těžké kovy jsou však nezbytné pro řadu normálních funkcí u zvířat (např. stopové dávky manganu, niklu, kobaltu, mědi, železa a zinku). Těžké kovy se přirozeně vyskytují v životním prostředí, a proto vždy existuje přirozená koncentrace pozadí v půdách, horninách, sedimentech, vodě a v živých organismech (tzv. referenční hodnota, hodnota pozadí), přičemž tato koncentrace se velmi liší. Antropogenní znečištění má za následek vyšší koncentrace těžkých kovů ve srovnání s normálními hodnotami pozadí. K jejich emisím do životního prostředí dochází prostřednictvím celé řady procesů a cest, včetně znečištění ovzduší spalováním, automobilovou dopravou, těžbou a zpracováním surovin. Ke znečištění povrchových vod dochází odtokem a úniky během skladování a přepravy. Těžké kovy se dostávají do půdy a následně do podzemních vod, hmyzu a plodin. Dalším zdrojem těžkých kovů je zřejmě komunální a průmyslový odpad a také fosilní paliva (Zukal et al 2015).

Výskyt některého z těžkých kovů byl doposud studován u 65 druhů netopýrů (Zukal et al 2015). První článek na toto téma byl publikován v roce 1970 (Zook et al., 1970) a popisuje otravu olovem u tří australských kaloňů (*Pteropus poliocephalus*). Všichni netopýři uhynuli a zdrojem otravy byla barva na bázi olova ze stěn netopýří klece. Petit a Altenbach 1973 navrhli analýzu stratigraficky datovaných guánových ložisek, jež by poskytla chronologický záznam výskytu těžkých kovů v potravním řetězci tadaridy brazilské (*Tadarida brasiliensis*) na daném území. Zjistili korelaci mezi množstvím rtuti v guánu a množstvím mědi vyprodukované místní hutí. U netopýra hnědého (*Eptesicus fuscus*) byla koncentrace arsenu a rtuti v guánu zvýšená v úkrytech, které se nacházely nejbližší místům využívaným ve vojenství a průmyslu (Zukal et al 2015). Podobné trendy se ukazují z analýz trusu na letních koloniích *Myotis myotis* v České republice. I zde nacházíme zvýšené množství těžkých kovů v trusu jedinců, jejichž úkryty se nacházejí v blízkosti průmyslových měst (vlastní nepublikované výsledky). Výhoda analýz z guána tkví v možnosti neinvazivního odběru vzorků. Bohužel vrstvy guána mohou být kontaminovány jinými zdroji těžkých kovů (prach, půda) a výsledky dalších studií jsou nepříliš konzistentní.

Těžké kovy se často hromadí v tuku, proto jsou jako matrice pro analýzu často využívána játra, ledviny nebo celé tělo (kadaver), přičemž těžké kovy se v různých cílových orgánech akumulují

odlišně. Arsen se například hromadí v játrech, ledvinách a mozku, zatímco kadmium v ledvinách a játrech. Olovo v kostech, játrech a ledvinách a rtuť v srsti a játrech. Koncentrace jednotlivých prvků proto není možné porovnávat mezi orgány, byla však prokázána korelace koncentrací v těchto tkáních. Z dostupných prací vyplývá, že koncentrace těžkých kovů se liší mezi druhy, pohlavím, věkem, rokem sběru i lokalitou, přičemž nebyl pozorován jasný vzor. U kaloňů (živících se nektarem nebo plody) byly zjištěny vyšší hodnoty mědi, kadmia, palladia, chromu a zinku oproti hmyzožravým druhům netopýrů. Je tedy pravděpodobné, že způsob, kterým se tyto prvky dostávají do těla kaloňů je primárně přes znečištěné ovzduší a kontakt s listy při sběru potravy, zatímco u hmyzožravých netopýrů prostřednictvím potravního řetězce. U hmyzožravých netopýrů byly prokázány vyšší koncentrace těžkých kovů v guánu oproti tkáním. Je to zřejmě způsobeno přítomností nestrávených zbytků v potravě (trus) a nižší biologickou dostupností těžkých kovů ze strávené potravy (tkáně) (Hsu et al., 2006).

V České republice studovali zatížení jater, svaloviny a ledvin těžkými kovy prostřednictvím methalothioneinů Pikula et al 2010 u 11 druhů netopýrů (*Myotis myotis*, *Myotis daubentonii*, *Myotis brandtii*, *Myotis nattereri*, *Myotis emarginatus*, *Myotis mystacinus*, *Pipistrellus pipistrellus*, *Pipistrellus nathusii*, *Pipistrellus pygmaeus*, *Nyctallus noctula*, *Eptesicus serotinus*). Methalothioneiny (MT) jsou proteiny se schopností vázat dvojmocné kovy a tím detoxikovat organismus. Bylo zjištěno, že druhy lovcí nad akvatickými biotopy mají vyšší hladiny MT, avšak nižší hladiny kadmia než druhy lovcí v terestrických biotopech. U druhů *Myotis myotis* a *Pipistrellus pipistrellus* měla vyšší hladiny MT a zinku mláďata oproti dospělým jedincům. Koncentrace olova byla dvakrát vyšší u samic *Myotis myotis* než u samců. Podobný rozdíl mezi pohlavím byl zjištěn v koncentraci zinku v ledvinách u *Pipistrellus pipistrellus*.

Neexistuje však žádná studie, která by hodnotila práh toxicity jednotlivých těžkých kovů u netopýrů. Obecně však lze říct, že škodlivé vlivy těžkých kovů zahrnují změny rychlosti růstu, hormonální změny, poškození imunitního, nervového či oběhového systému. U savců (kromě netopýrů) je prokázána také karcinogenita. Pro netopýry může být nebezpečný přenos lipofilních kontaminantů do mléka, nebo zvýšené zpracování tukových zásob během probouzení z hibernace.

2. Persistentní organické polutanty

Persistentní organické polutanty jsou organické sloučeniny v drtivé většině antropogenního původu, které odolávají degradaci a dlouhodobě se udržují v prostředí. Navíc mohou být těkavé, což umožňuje jejich transport na velké vzdálenosti od původního zdroje. Dostanou se tak

do prostředí i tam, kde nebyly vyrobeny ani použity. Persistentní organické polutanty jsou toxické, chemicky stabilní a koncentrují se v organismech díky své rozpustnosti v lipidech. Rozlišují se tři hlavní skupiny: 1) organochlorové pesticidy (např. DDT, lindan), 2) průmyslové chemikálie (např. PCB), 3) vedlejší produkty (např. dioxin). V roce 2001 byla podepsána Stockholmská úmluva o persistentních organických polutantech, jejímž cílem je eliminace vybraných persistentních organických látek. V České republice vstoupila v platnost v roce 2004. (https://cs.wikipedia.org/wiki/Stockholmsk%C3%A1_úmluva). U netopýrů byly studovány zejména vlivy organochlorových pesticidů.

3. Organochlorové pesticidy

Sloučeniny tvořené uhlíkem, vodíkem a chlorem byly zavedeny ve 40 letech 20. století k plošnému hubení zemědělských škůdců a vektorů zoonóz způsobujících tyfus, malárii, leishmaniózu, či nemoc dengue. Po objevení vysoké toxicity organochlorových sloučenin byly v 70. až 80. letech téměř výlučně zakázány, avšak jejich rezidua ve sněhu, vodě, půdě a živých organismech přetrvávají celosvětově dodnes. Nejznámějšími pesticidy jsou dichlordifenyl-trichlorethan neboli DDT a jeho odvozeniny, cyklodieny jako je aldrin a dieldrin a hexachlorocyklohexan a jeho izomery jako je lindan. Proces vstupu do organismu netopýrů se odehrává přes kontaminovanou potravu, vodu, vzduch a dermálním kontaktem.

První studie na toto téma publikoval Benton již v roce 1951. Po aplikaci DDT k hubení kůrovce byl otráven netopýr rudohnědý (*Lasiurus borealis*). Jedinec byl nalezen na zádech ve stavu silného třesu a nebyl schopen letět. Následně během hodiny uhynul. Do roku 2020 bylo publikováno celkem 74 prací týkajících se této problematiky, z nich 61 hodnotila rezidua DDT (Torquetti et al 2021). Vzhledem k tomu, že netopýři často využívají půdy domů jako své úkryty, mohou se setkat také s nepříznivými vlivy lindanu, což je prostředek využívaný k ochraně dřeva. Swanepoel et al 1999 zkoumali účinky subletálních dávek lindanu na hmotnost netopýra hvízdavého (*Pipistrellus pipistrellus*). Lindan zvýšil rychlost metabolismu a příjem potravy, což je problematické zejména u jedinců s nižší hmotností. Tento energetický stresor může mít důsledky pro krátkodobé přežití, neschopnost nahromadit dostatek tukových zásob na zimování nebo ovlivnit reprodukční úspěch. Díky rozpustnosti v lipidech jsou obecně nacházeny vyšší koncentrace organochlorových pesticidů u hmyzožravých druhů netopýrů oproti frugivorním druhům (Senthilkumar et al.2001). Dosud není známá žádná studie zabývající se touto problematikou u hematofágních a karnivorních druhů netopýrů. Organochlorové pesticidy působí obecně na centrální nervový systém buď zpomalením uzavírání sodíkových kanálů nebo ruší účinky kyseliny gabaaminomáselné, která blokuje

přenos nervového vzruchu. V obou případech dochází k prodloužení doby vzrušivosti. Neurotoxické účinky organochlorových pesticidů mohou zhoršit echolokační schopnosti jedince a tím prodloužit proces hledání potravy, změnit časování nočních aktivit a učinit jedince náchylnějším k predaci. Dále byly prokázány patologické nálezy na játrech, narušení endokrinního systému a imunosuprese organismu (Oliveira 2021, Torquetti et al 2021).

Polychlorované bifenyly

Polychlorované bifenyly (PCB) jsou látky používané masově ve 30. letech 20. století jako aditiva v barvách a lacích a v hydraulických zařízeních. Byly náplní do transformátorů a kondenzátorů. V 60. letech byla zjištěna jejich odolnost vůči rozkladu, toxicita a hromadění v tukách. Akutní toxicita je nižší než dlouhodobého vystavení nízkým dávkám.

V USA u netopýra hnědavého (*Myotis lucifugus*) bylo studováno množství PCB v tukové tkáni jedinců se syndromem bílého nosu a jedinců, kteří toto onemocnění nevykazovali. Nebyly zjištěny významné rozdíly, avšak zatížení kontaminanty se akumuluje, a i subletální koncentrace mohou být přispívajícím faktorem prostřednictvím následné imunosuprese a narušení endokrinního systému zvláště v období vyčerpávání tukových zásob během hibernace (Kannan et al 2010).

4. Světelné znečištění

Evropští netopýři se živí hmyzem, který je znám pozitivní fototaxí k umělému osvětlení. Některé druhy můr (čeleď *Noctuidae*) jsou vybaveny tympanálními orgány, které jsou schopny zachytit echolokační signály netopýrů a účinně se bránit ulovení změnou směru letu, sklopením křídel a střemhlavým letem nebo vysláním protisignálu, který lovícího netopýra zmate. Osvětlení toto obranné chování můr mění a způsobuje agregaci kořisti dostupné pro netopýry. Koevoluční závody ve zbrojení tak mohou být narušeny. Netopýři jsou přilákáni vysokou abundancí potravy, avšak tento benefit zvyšuje riziko predace (Minnaar et al 2015).

Negativní účinky umělého osvětlení na výběr letových tras experimentálně prokázali Stone et al 2009 u vrápence malého (*Rhinolophus hipposideros*). Podél letových koridorů na loviště vrápenců nainstalovali sodíková světla, která napodobují intenzitu a světelná spektra pouličního osvětlení. Aktivita netopýrů dramaticky klesla, bez známek habituace. Také se výrazně zpozdil přilet na lovecký biotop. Většina prací se shoduje, že reakce na nadměrné osvětlení je u netopýrů druhově specifická a odráží rozdíly v morfologii křídla, resp. rychlost a způsob letu. Tzv. vzdušní lovci (druhy jako *Nyctalus noctula*, *Eptesicus serotinus*) využívají zvýšenou abundanci potravy kolem pouličních lamp, zatímco tzv. lovci v listoví (*Plecotus auritus*,

Rhinolophus hipposideros, rod *Myotis*) vykazují ke světlu značnou afinitu (Rowse et al 2016, Schoeman 2016, Laforge et al 2019).

Závěr

Zachování křehkého vztahu spojujícího živé organismy a jejich prostředí je důležité z hlediska druhové diverzity. Netopýři přinášejí do prostředí mnoho pozitivních faktorů, ale sami jsou vystaveni stresorům, které mohou ovlivnit jejich fyziologické i behaviorální funkce a potřeby. Ke studiu ekotoxikologických rizik environmentálních polutantů na netopýry je nutné přistupovat multidisciplinárně spojením nejrůznějších chemických, matematických a biologických oborů. Vzorky určené k hodnocení zátěže by pokud možno měly být získávány neletálními způsoby (např. trus, srst), nebo by k analýzám měly být využity nalezené kadavery, či jinak nevyužitelné zbytky tkání z jiných výzkumů (např. výzkum vztekliny, syndromu bílého nosu). Kvůli dosud nepotvrzeným obavám z přenosu koronaviřů, získali netopýři celosvětově mocného nepřítele – člověka.

Citace:

Altringham, J. D., Senior, P., Ruckstuhl, K. E., & Neuhaus, P. (2005). Social systems and ecology of bats. Sexual segregation in vertebrates (KE Ruckstuhl and P. Neuhaus, eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 280-302.

Benton, A. H. (1951). Effects on wildlife of DDT used for control of Dutch elm disease. *The Journal of Wildlife Management*, 15(1), 20-27.

Boyles, J. G., Cryan, P. M., McCracken, G. F., & Kunz, T. H. (2011). Economic importance of bats in agriculture. *Science*, 332(6025), 41-42.

Gaisler, J., Hanák, V., Hanzal, V., & Jarský, V. (2003). Výsledky kroužkování netopýřů v České republice a na Slovensku, 1948-2000. *Vespertilio*, 58, 3-61.

Hsu, M. J., Selvaraj, K., & Agoramoorthy, G. (2006). Taiwan's industrial heavy metal pollution threatens terrestrial biota. *Environmental pollution*, 143(2), 327-334.

Kannan, K., Yun, S. H., Rudd, R. J., & Behr, M. (2010). High concentrations of persistent organic pollutants including PCBs, DDT, PBDEs and PFOS in little brown bats with white-nose syndrome in New York, USA. *Chemosphere*, 80(6), 613-618.

Kurta, A., Bell, G. P., Nagy, K. A., & Kunz, T. H. (1989). Energetics of Pregnancy and Lactation in Freeranging Little Brown Bats (*Myotis lucifugus*). *Physiological Zoology*, 62(3), 804–818. <http://www.jstor.org/stable/30157928>

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(4), 793-809.

Minnaar, C., Boyles, J. G., Minnaar, I. A., Sole, C. L., & McKechnie, A. E. (2015). Stacking the odds: light pollution may shift the balance in an ancient predator–prey arms race. *Journal of applied ecology*, 52(2), 522-531.

Oliveira, J. M., Destro, A. L. F., Freitas, M. B., & Oliveira, L. L. (2021). How do pesticides affect bats?—A brief review of recent publications. *Brazilian Journal of Biology*, 81(2), 499-507.

Petit, M. G., & Altenbach, J. S. (1973). A chronological record of environmental chemicals from analysis of stratified vertebrate excretion deposited in a sheltered environment. *Environmental Research*, 6(3), 339-343.

Pikula, J., Zukal, J., Adam, V., Bandouchova, H., Beklova, M., Hajkova, P., ... & Valentikova, L. (2010). Heavy metals and metallothionein in vespertilionid bats foraging over aquatic habitats in the Czech Republic. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 29(3), 501-506.

Rowse, E. G., Lewanzik, D., Stone, E. L., Harris, S., & Jones, G. (2016). Dark matters: the effects of artificial lighting on bats. In *Bats in the Anthropocene: Conservation of bats in a changing world* (pp. 187-213). Springer, Cham.

Russo, D., & Jones, G. (2015). Bats as bioindicators. *Mammalian Biology*, 80(3), 157-246.

Schoeman, M. C. (2016). Light pollution at stadiums favors urban exploiter bats. *Animal Conservation*, 19(2), 120-130.

Senthilkumar, K., Kannan, K., Subramanian, A., & Tanabe, S. (2001). Accumulation of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in sediments, aquatic organisms, birds, bird eggs and bat collected from South India. *Environmental Science and Pollution Research*, 8(1), 35-47.

Stone, E. L., Jones, G., & Harris, S. (2009). Street lighting disturbs commuting bats. *Current biology*, 19(13), 1123-1127.

Swanepoel, R. E., Racey, P. A., Shore, R. F., & Speakman, J. R. (1999). Energetic effects of sublethal exposure to lindane on pipistrelle bats (*Pipistrellus pipistrellus*). *Environmental Pollution*, 104(2), 169-177.

Torquetti, C. G., Guimarães, A. T. B., & Soto-Blanco, B. (2021). Exposure to pesticides in bats. *Science of the Total Environment*, 755, 142509.

Zook, B. C., Sauer, R. M., & Garner, F. M. (1970). Lead poisoning in Australian fruit bats (*Pteropus poliocephalus*). *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 157, 691-694.

Zukal, J., Pikula, J., & Bandouchova, H. (2015). Bats as bioindicators of heavy metal pollution: history and prospect. *Mammalian Biology*, 80(3), 220-227.

