



Mitigační opatření pro snížení mortality ptáků a netopýrů na větrných a solárních elektrárnách

Cristina Amador López, Marie Bostlová, Václav Hlaváč, Jitka Uhlíková,
Marie Hovorková

Praha 2025

Obsah

SHRNUTÍ	5
METODIKA	8
SLOVNÍK POJMŮ	10
1. Vliv větrných elektráren	15
1.1. Přímá mortalita.....	15
1.1.1. Kvantifikace míry mortality vlivem kolizí.....	16
1.2. Ztráta habitatu a fragmentace prostředí	21
1.3. Rušení a změny v chování	23
1.4. Atrakční efekt VTE pro netopýry	24
2. Opatření ke snížení negativního vlivu VTE	24
2.1. Strategický výběr lokality	24
2.2.1. Hodnocení rizik	25
2.2.2. Makro-umístění: Vyloučené zóny a ochranné zóny	25
2.2.3. Mikro-umístění	26
2.2. Mitigační opatření během výstavby	27
2.3. Omezení provozu	27
2.3.1. Opatření pro ochranu netopýrů	27
2.3.2. Opatření pro ochranu ptáků.....	29
2.4. Konstrukční úpravy	31
2.4.1. Vizuální zviditelnění	31
2.5 Akustické odpuzovače	32
2.6 Podpůrná opatření	33
2.6.1. Úprava biotopů.....	33
2.7 Světelné zviditelnění turbín	33
2.8 Opatření s neprokázanou účinností	34
2.8.1. Vizuální odpuzovače pro netopýry.....	34
2.8.2. Elektromagnetické odpuzovače.....	35
2.8.3. Omezení provozu.....	35
Solární energetika	36
1. Vliv solárních elektráren	36
1.1 Ztráta a přeměna stanovišť	36
1.2 Přímá mortalita	37
1.2.1 Odhadovaná mortalita	37
1.2.2 Nejvíce postižené druhy	37

1.3 Další vlivy	39
2. Opatření pro snížení negativního vlivu solárních elektráren.....	39
2.1 Strategický výběr lokality.....	39
2.2. Mitigační opatření během výstavby.....	39
2.3 Úpravy konstrukce panelů	40
2.4 Další mitigační opatření.....	40
2.4.1 Oplocení šetrné k volně žijícím živočichům.....	40
2.4.2 Management stanovišť	40
2.4.3 Monitoring	41
Mezery v dosavadních znalostech.....	42
CITOVANÉ ZDROJE.....	44

SHRNUTÍ

Tato studie poskytuje přehled informací o opatřeních pro snížení mortality především ptáků a netopýrů v areálech větrných a solárních elektráren. Presentované poznatky získané z odborné literatury, vědeckých článků, mezinárodních metodik a případových studií zejména z evropských zemí, které jsou z hlediska environmentálních podmínek a vyskytujících se druhů srovnatelné s Českou republikou. Mimo tento rámec jsou zahrnuty také poznatky ze Spojených států amerických, zejména v oblasti dopadů solárních elektráren, kde je k dispozici širší množství empirických dat, a to s upozorněním na odlišnosti v podmínkách prostředí a druhovém složení fauny.

VĚTRNÁ ENERGETIKA

V případě větrných elektráren představuje z hlediska ochrany přírody významný problém úhyn volně žijících živočichů, zejména ptáků a netopýrů. K němu dochází jednak v důsledku přímých srážek s rotujícími částmi turbíny, u netopýrů pak rovněž v důsledku tzv. barotraumatů, tj. poškození tkání, které je způsobené náhlými změnami tlaku vzduchu v okolí rotoru.

Vedle přímé mortality ptáků a netopýrů mohou větrné elektrárny ovlivňovat také další skupiny živočichů. Výstavba turbín, přístupových komunikací a související infrastruktury může způsobovat fragmentaci prostředí, narušení migrační prostupnosti krajiny i ztrátu či omezení vhodných biotopů. Tyto vlivy mohou být významné mj. u druhů využívajících rozsáhlá území nebo migrujících na delší vzdálenosti, například u velkých šelem. Významnou roli může hrát také efekt rušení během výstavby i provozu elektráren, vedoucí k vyhýbání se lokalitám nebo změnám prostorového chování živočichů. Tato problematika však nebyla předmětem předmětné studie, která je primárně zaměřena na mortalitu ptáků a netopýrů a možnosti její mitigace.

Evropské studie dokumentují mortalitu ptáků v rozmezí 0,4 až 13 ptáků na megawatt ročně. Nejvyššímu riziku srážek jsou vystaveni ptáci plachtící vysoko na obloze, především dravci. Mezi nejrizikovější skupiny patří orli, luňáci a motáči. U dravých ptáků představuje vysoká míra mortality v důsledku srážky s turbínou závažný problém i kvůli tomu, že se jedná často o ohrožené druhy s nízkou reprodukcí.

Mortalita netopýrů v okolí větrných elektráren dosáhla v celé střední Evropě významu na populační úrovni. V některých regionech došlo za dvě desetiletí k poklesu populace citlivých druhů netopýrů o více než padesát procent. Mezi rizikové druhy patří *Nyctalus noctula*, *N. leisleri*, druhy rodu *Pipistrellus*, *Vespertilio murinus*, *Eptesicus nilssonii*, *E. serotinus* a *Myotis myotis*. Tyto druhy tvoří sedmdesát pět až osmdesát procent mortality, přičemž devadesát procent mortality se odehrává během migrace a páření v období od začátku července do začátku října.

Níže jsou uvedena hlavní opatření ke zmírňování negativních dopadů větrných elektráren na rizikové druhy:

1. **Výběr lokality** před zahájením výstavby tvoří základ pro všechna následná opatření ke zmírnění dopadů. Cílem by mělo být vyhnout se citlivým oblastem, známým migračním koridorům a hnízdním oblastem citlivých druhů. Strategický výběr lokality výstavby může snížit riziko kolizí o několik řádů ve srovnání s nevhodně umístěnými zařízeními a zároveň také pomáhá předejít dalším výdajům na zavádění mitigačních opatření, která by byla nutná při nevhodném umístění.

2. Pokud výstavba elektrárny ohrožuje některé volně žijící živočichy, mohou se zavádět tzv. **mitigační opatření** pro snížení rizika jejich zranění či úmrtí.

2.1. Pro snížení mortality netopýrů se jako nejúčinnější opatření jeví omezení provozu při menších rychlostech větru tzv. cut-in-speed (tzn. že turbíny se spouští až při vyšší rychlosti větru, kdy klesá aktivita netopýrů) nebo se zavádějí sezónní odstávky (např. vypnutí turbín v migračním období netopýrů). Efektivně nastavené omezení provozu snižuje míru mortality o 60 až 85 %. Ekonomické ztráty se odhadují na 0,5 až 3 % roční výroby energie. K sofistikovanějším přístupům patří využívání prediktivních automatických algoritmů zahrnujících teplotu, rychlost větru a údaje o počasí v reálném čase tak, aby k omezení provozu docházelo pouze v případech, kdy jsou podmínky pro vysokou aktivitu netopýrů. Dalším mitigačním opatřením pro tuto skupinu jsou akustické odpuzovače. Dle dosavadních studií ale vykazují proměnlivou účinnost, která bude záviset na druhovém spektru netopýrů a konkrétních podmínkách. Toto opatření tak není považováno za plnohodnotnou alternativu k omezení provozu turbín.

2.2. V případě ptáků se používají kamerové systémy, které využívají umělou inteligenci k identifikaci blížících se ptáků a spouští automatické vypnutí turbín během 35 až 43 sekund. Terénní studie dokládají snížení mortality orlů skalních, orlů mořských a supů o 50 až 85 % v zařízeních, která tyto systémy používají. Detekční technologie však čelí významným omezením. Menší, rychleji létající druhy nemusí být detekovány v dostatečné vzdálenosti pro účinnou reakci. Detekční systémy fungují tak nejlépe u velkých dravců v oblastech se známým vysokým rizikem kolizí, ale neměly by být považovány za univerzální řešení. Dalším mitigačním opatřením pro ptáky může být použití vizuálně zviditelňujících prostředků, jako je např. natírání listů rotoru. Studií zaměřených na toto opatření není mnoho a mají různorodé výsledky. V norském Smøla snížilo natření jednoho listu rotoru černou barvou mortalitu ptáků o 70 %, pravděpodobně díky zlepšení viditelnosti listu rotoru. Zkoušky v Nizozemí však žádný účinek nezjistily, pravděpodobně kvůli optickým rozdílům v pozadí rotoru (barva oblohy) nebo odlišné druhové skladbě. V jižní Africe snížily listy rotoru s červenými pruhy mortalitu dravců až o 86 %.

SOLÁRNÍ ENERGETIKA

Řada dostupných údajů o druhově specifické mortality v areálech solárních zařízení pochází z USA, zejména z velkých elektráren v pouštích v Kalifornii a jihozápadních státech. Tato zjištění tak nemusí být přímo přenositelná na evropské podmínky kvůli zásadním rozdílům v krajinném kontextu (poušť a zemědělská krajina), charakteristikách zařízení (velké solární parky a menší instalace), klimatu a především ve složení druhů. Dále, v USA vedle fotovoltaických elektráren (FVE) existují i koncentrační solární elektrárny (CSP), které fungují na odlišném principu (využívají soustředění slunečního záření pomocí zrcadel). Zjištěné dopady proto nelze bez specifikace technologie přenášet na podmínky v ČR, kde jsou realizovány téměř výhradně fotovoltaické instalace. Rozdíly vyplývají jak z odlišné technologie, tak z krajinného kontextu, klimatu a druhového složení.

U solárních zařízení se při účinném zmírňování dopadů klade důraz především na **vhodný výběr lokality**. Upřednostňovat by se měla výstavba na degradovaných pozemcích, tzv. brownfieldech, před realizací na přírodně cenných stanovištích. Možným řešením mohou být také agrovoltaické systémy, které kombinují zemědělské využití (např. pastvu) se solární energetikou. Její reálný dopad je však závislý na konkrétním způsobu provozu a lokalitě a vyžaduje další výzkum.

Riziko pro živočichy může představovat **samotný povrch panelů**. Jejich lesk a odraz polarizovaného světla může ptákům i některému hmyzu připomínat vodní hladinu, na kterou se snaží přistát. U hmyzu může tento jev vést k jeho hromadění na panelech, vyčerpání a v některých případech i úhynu, například v důsledku přehřátí na rozpáleném povrchu. Pro snížení těchto rizik mohou být na panely aplikovány antireflexní povlaky, které omezují

odrazivost a tím i tento „vodní efekt“. Tato opatření jsou slibná, jejich účinnost je však zatím třeba dále ověřit.

Studie z území ČR

V době tvorby tohoto dokumentu nebyly k dispozici žádné publikované studie zabývající se úhynem živočichů na větrných elektrárnách či fotovoltaických elektrárnách v ČR.

METODIKA

Tato studie shrnuje recenzovanou vědeckou literaturu, šedou literaturu a poznatky z konzultací s odborníky s cílem poskytnout podklady pro snížení mortality netopýrů a ptáků na VTE a FVE. Vzhledem k absenci publikovaných českých studií o úhynu volně žijících živočichů na větrných farmách i fotovoltaických elektrárnách, se metodika zabývá zejména studiemi a poznatky ze zahraničí.

Recenzované vědecké zdroje

Odborné publikace byly systematicky vyhledávány ve vědeckých databázích a na webovém vyhledávači Google Scholar. Zahrnuty byly publikace z let 2000 – 2025, přičemž prioritu měly poslední dvě desetiletí, kdy se rozvoj obnovitelných zdrojů energie zrychlil a bylo možné získat spolehlivé údaje o účinnosti použitých mitigačních opatření. Publikace byly vyhledávány pomocí kombinace klíčových slov souvisejících s infrastrukturou (větrná turbína, solární panel, fotovoltaika), popisy dopadu elektráren na biodiverzitu (mortalita ptáků/netopýrů, kolize, zmírňování dopadů) a funkčními taxonomickými skupinami (dravci, plachtící ptáci, netopýři atd.).

Prioritizován byl výzkum uskutečněný v zemích střední a severní Evropy, zejména z Německa, Polska, Rakouska, Slovenska a Skandinávie, aby byla zajištěna rámcová relevance pro české podmínky z hlediska druhového složení a typu krajiny. Cenná data pro tento dokument potom poskytly především odborné publikace z Německa vzhledem ke konzistentnímu využívání výzkumných metod a dlouhodobě probíhajícímu monitoringu. Informace o vhodných mitigačních opatřeních pro zmírnění dopadu elektráren na dravce a netopýry byly čerpány především z prací pocházejících ze Španělska. Publikace původem ze Severní Ameriky byly selektivně použity tam, kde bylo možné přenést poznatky o využívání detekčních technologií, algoritmů zajišťujících efektivní omezení provozu a o vlivech odráženého polarizovaného slunečního světla ze solárních elektráren na živočichy.

Konzultace s odborníky

Konzultace s odborníky na obnovitelné zdroje energie a volně žijící živočichy ze Švédska, Nizozemska, Irska, České republiky, Španělska a jižní Afriky poskytly cenné informace o nezveřejněných výsledcích monitoringů, technických zprávách, které nejsou indexovány v akademických databázích a dále rady k implementaci opatření z praxe. Oslovení odborníci provádějí dlouhodobé monitorovací studie, patří mezi ně environmentální konzultanti připravující posouzení dopadů elektráren na životní prostředí a vývojáři technologií implementující detekční a odpuzující systémy v komerčních větrných elektrárnách.

Šedá literatura

Použitá šedá literatura, tedy neformálně publikované studie jako jsou technické zprávy, monitorovací studie a vládní dokumenty, byla před začleněním do tohoto dokumentu podrobena hodnocení z hlediska důvěryhodnosti a metodické adekvátnosti. Zprávy vypracované renomovanými organizacemi zabývajícími se ochranou přírody jako jsou IUCN, BirdLife International a WWF byly zařazeny na základě důvěryhodnosti těchto organizací a vzhledem k vědecké přesnosti jejich publikací, které procházejí procesem recenzního řízení.

Jazyk a překlad

Většina použitých zdrojů byla v angličtině. Doplňkové publikace byly ve španělském jazyce. Studie psané v němčině, švédštině, češtině a dalších středoevropských jazycích byly začleněny pomocí překladových nástrojů umělé inteligence (notebooklm.google.com;

claude.ai). Tato zpráva byla původně napsána v angličtině. Dokument byl přeložen a upraven do češtiny pracovníky AOPK ČR (Marie Bostlová, Václav Hlaváč, Marie Hovorková, Jitka Uhlíková).

Frekvence aktualizace

Vzhledem k rychlému technologickému rozvoji zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie a k pokračujícímu výzkumu v této oblasti by tyto podklady měly být každé 2–3 roky přezkoumány a aktualizovány, aby zahrnovaly nové poznatky.

SLOVNÍK POJMŮ

- **Aposematické zbarvení**

Nápadné výstražné zbarvení živočichů (typicky kombinace černé a červené, žluté nebo bílé), které predátorům signalizuje toxicitu nebo jiný obranný mechanismus.

- **BACI (Before-After-Control-Impact)**

Monitorovací design, který porovnává míru mortality před a po zavedení mitigačního opatření či jiném zásahu (např. uvedení elektrárny do provozu) ve srovnání s kontrolními vzorky. Díky tomu lze spolehlivěji rozlišit, co způsobila hodnocená změna (zásah), a co jsou jen přirozené výkyvy v čase nebo prostoru.

- **Barotrauma**

Poškození vnitřních tkání způsobené rychlými změnami tlaku vzduchu v blízkosti rotujících listů rotoru turbíny.

- **Bariérový efekt**

Popisuje, jak překážka v krajině omezuje přirozený pohyb živočichů a migrace populací, což má pro ně negativní důsledky (energetická náročnost, úhyn, nemožnost migrace).

- **Biomimetické vzory**

Technologické přístupy, které napodobují biologické jevy a procesy. Příkladem může být využití varovných signálů a přírodních vzorů za účelem odpuzení či naopak nalákání zvířat tak, aby se minimalizovalo riziko kolizí s elektrárnami.

- **Buffer – ochranná zóna**

Minimální vzdálenost umístění elektráren od klíčových prvků ochrany přírody, která je stanovena předpisy.

- **Collision Risk Modeling (CRM) – Modelování rizika kolizí**

Matematické modely odhadující pravděpodobnost kolize živočicha s elektrárnou na základě analýzy letového chování a schopnosti vyhýbání se živočicha, případně dle specifikace turbíny. Využívá se v rámci omezení provozu elektrárny ve snaze eliminovat pravděpodobnost kolizí.

- **CSP – Concentrated Solar Power (Koncentrovaná solární energie)**

Solární termické technologie využívající zrcadla nebo čočky ke koncentraci slunečního záření na přijímač. Generuje teploty dosahující až 800°C k výrobě páry, která umožňuje následnou produkci elektřiny. Na rozdíl od fotovoltaických systémů vytvářejí CSP zařízení zóny s vysokou intenzitou záření, které mohou způsobit přímou mortalitu ptáků spálením. Také mohou přitahovat a následně usmrcovat hmyz.

- **Cut-in speed – Spouštěcí rychlost**

Minimální rychlost větru, při které začne rotor větrné turbíny rotovat a vyrábět elektřinu. Pro mitigační účely může být tento práh dočasně zvýšen, což zabrání spuštění turbíny za podmínek vysokého rizika kolizí.

- **Curtailment – omezení nebo úplné zastavení provozu elektrárny**

Dočasné snížení nebo úplné zastavení provozu větrné turbíny (nebo jiné elektrárny) ke snížení rizika zranění volně žijících živočichů.

- **Echolokace**

Způsob orientace živočichů v prostředí pomocí zvukových vln, které se odráží od okolí. Využívají ho např. netopýři, kterým slouží k navigaci a detekci kořisti pomocí ultrazvukových vln.

- **EIA – Environmental Impact Assessment (Posouzení vlivů na životní prostředí)**

Posouzení projektu před zhotovením, hodnotí se potenciální environmentální dopady konkrétního navrhovaného záměru na životní prostředí ještě před schválením výstavby.

- **Feathering – nastavení úhlu listů rotoru**

Proces otáčení části listů rotoru větrné turbíny kolem jejich podélné osy za účelem změny úhlu vůči směru větru. Úplné natočení listů rotoru čelní hranou proti větru, minimalizuje aerodynamický odpor a zastaví rotaci. Natáčení listů rotoru se používá jak při odstavení turbín (např. při údržbě nebo snižování rizika kolizí s živočichy), tak při ochraně turbíny za silného větru.

- **Funkční ztráta habitatu**

Degradace habitatu (příčemž prostředí nemusí být plošně zničeno) do takové míry, že přestává být vhodný pro výskyt volně žijících živočichů. V případě výstavby elektrárny se jedná zejména o vyhýbání se pobytu v prostředí v důsledku hluku a jiného rušení.

- **Hub – Náboj**

Centrální komponenta větrné turbíny, která spojuje listy rotoru s hlavním hřídelem. Přenáší mechanickou energii z rotujících listů rotoru do gondoly (strojovny), kde se mění na elektřinu.

- **IBA (Important Bird Area) – Významné ptačí území**

Lokality identifikované organizací BirdLife International jako klíčové pro ochranu ptáků. Zpravidla se jedná o velká hnízdiště dotčených druhů či významné migrační koridory. Na těchto územích by neměla být podporována výstavba elektráren.

- **IWT – Industrial Wind Turbines (Průmyslové větrné turbíny)**

Velkokapacitní větrné turbíny určené pro komerční výrobu elektřiny. Typicky mají průměr rotoru 80–160 metrů a výšku náboje 80–200 metrů.

- **Efekt jezera / efekt polarizace (z FV elektráren)**

Optický jev, při kterém hladké, tmavé a lesklé povrchy (např. fotovoltaické panely) odráží polarizované světlo obdobně, jako k tomu dochází u velké vodní hladiny. Vlivem toho pak mohou elektrárny přitahovat vodní hmyz či ptáky, kteří následně mohou narážet do panelů nebo jejich konstrukcí.

- **Efektivita vyhledávání kadáverů (searcher efficiency)**

Procento kadáverů v oblasti, které pracovník (nebo pes) při monitoringu skutečně najde. Stanovuje se pomocí testů, kdy jsou kadávery uměle předem umístěny na známé pozice. Získaná hodnota se používá ke korekci odhadů skutečné mortality.

- **Fototaxe**

Fototaxe je označení pro pohybovou reakci organismu v závislosti na světle. Může být pozitivní, kdy organismus jde za světlem nebo negativní, kdy se naopak stahuje dále od světelných podnětů.

- **Kumulativní dopady**

Označují úhrnné účinky více jednotlivých jevů na populace volně žijících živočichů v čase a prostoru. Zatímco dopad jednotlivých faktorů nemusí představovat pro živočichy významné

riziko, jejich kombinace může mít větší negativní dopad než pouhý součet jednotlivých působících jevů.

- **Macro-siting - Makro-umístění**

Strategický výběr lokality pro umístění elektrárny na krajinné/regionální úrovni, jehož cílem je vyloučení vysoce rizikových oblastí a eliminace negativních dopadů výstavby na volně žijící živočichy.

- **Mapování citlivosti**

Geografická specifikace vysoce rizikových zón, kde by neměla být podporována výstavba elektráren. Mapování probíhá na základě distribuce a chování druhů.

- **Micro-siting - Mikro-umístění**

Selektivní umístění jednotlivých turbín větrných elektráren v rámci areálu dané větrné farmy za účelem minimalizace rizika kolizí s volně žijícími živočichy.

- **Migrační koridor/úzké místo (bottleneck)**

Trasy využívané velkým počtem migrujících ptáků, vyšší riziko kolizí s případnými elektrárnami. Výstavba elektráren by měla být umístěna mimo migrační koridory, aby se zamezilo vysoké mortalitě druhů.

- **Mitigační hierarchie**

Hierarchie, která stanovuje priority pro řešení dopadů výstavby elektráren na biodiverzitu. Jako první je snaha vyhnout se negativním vlivům na biodiverzitu skrze umístění stavby na málo biologicky cenná území. Pokud se však nelze negativním vlivům zcela vyhnout je důležité veškeré negativní vlivy minimalizovat mitigačními opatřeními. Pokud jsou i přes použitá mitigační opatření negativní vlivy veliké, mohou být nařízena kompenzační opatření, jako je například výstavba náhradních biotopů, která pomáhají kompenzovat dopady na biodiverzitu.

- **Motion smear (rozmazání pohybem)**

Vizuální jev, při kterém se rychle se pohybující listy rotoru jeví jako průhledné rozmazané plochy, což snižuje jejich viditelnost pro ptáky a zvyšuje riziko kolizí.

- **Nacelle – Gondola (strojovna)**

Zařízení na vrcholu věže turbíny obsahující generátor a mechanické komponenty. Nese důležité komponenty elektrárny jako je např. generátor pro výrobu elektřiny.

- **Netopýři lovící ve volném prostoru**

Druhy netopýřů, kteří jsou přizpůsobení k lovu ve volném vzdušném prostoru ve výškách překrývajících se s pohybem rotorů turbín.

- **Netopýři sbírající kořist z povrchu**

Druhy netopýřů, kteří svou kořist sbírají z povrchu vegetace.

- **Odstranění kadáverů mrchožrouty**

Rychlost, s jakou jsou kadávery odstraňovány mrchožrouty (ptáky, savci, hmyzem) z monitorované oblasti. Odstraňování kadáverů může zkreslovat data o mortalitě létajících obratlovců v areálu elektráren. Z toho důvodu se pro zpřesnění monitoringu mortality kadávery uměle umísťují na známé pozice a sleduje se, po jakou dobu jsou detekovatelné.

- **Plachtící ptáci**

Druhy využívající termiku a vzestupné proudy pro energeticky efektivní let (dravci, čápi, jeřábi).

- **PV – photovoltaic (FVE fotovoltaika)**

Solární technologie, která přímo přeměňuje slunečné záření na elektřinu pomocí polovodičových materiálů (typicky křemík).

- **Repowering**

Modernizace elektráren pro větší produktivitu.

- **RSZ – Rotor Swept Zone (Zóna opsaná rotorem)**

Kruhová oblast opsaná rotujícími listy rotoru, kde je riziko kolize živočichů s větrnou elektrárnou nejvyšší.

- **SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)**

Systém dohledu a sběru dat pro automatizovanou správu turbín. Na základě aktuálních meteorologických podmínek mění aktivitu turbín tak, aby minimalizovala mortalita volně žijících živočichů.

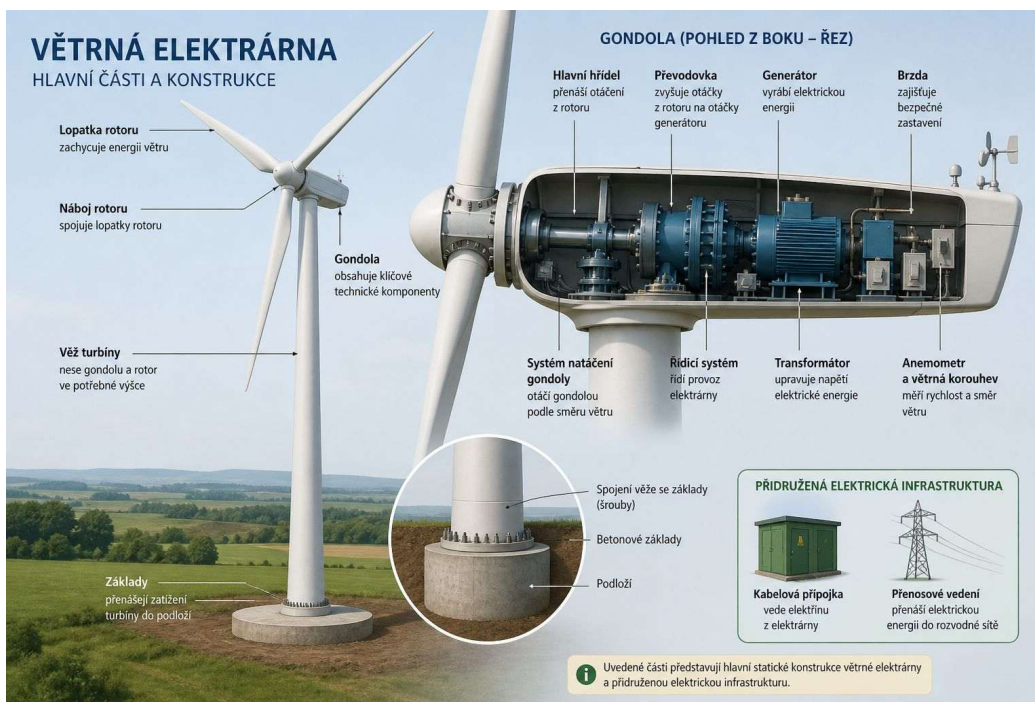
- **Shutdown-on-demand (SDOD) – Odstavení na vyžádání**

Provozní režim, při kterém je turbína zastavena okamžitě po detekci přítomnosti cílových chráněných druhů nebo rizikového chování volně žijících živočichů v okolí elektráren. Detekce je prováděna např. prostřednictvím radaru, termokamery nebo vizuálního pozorování.

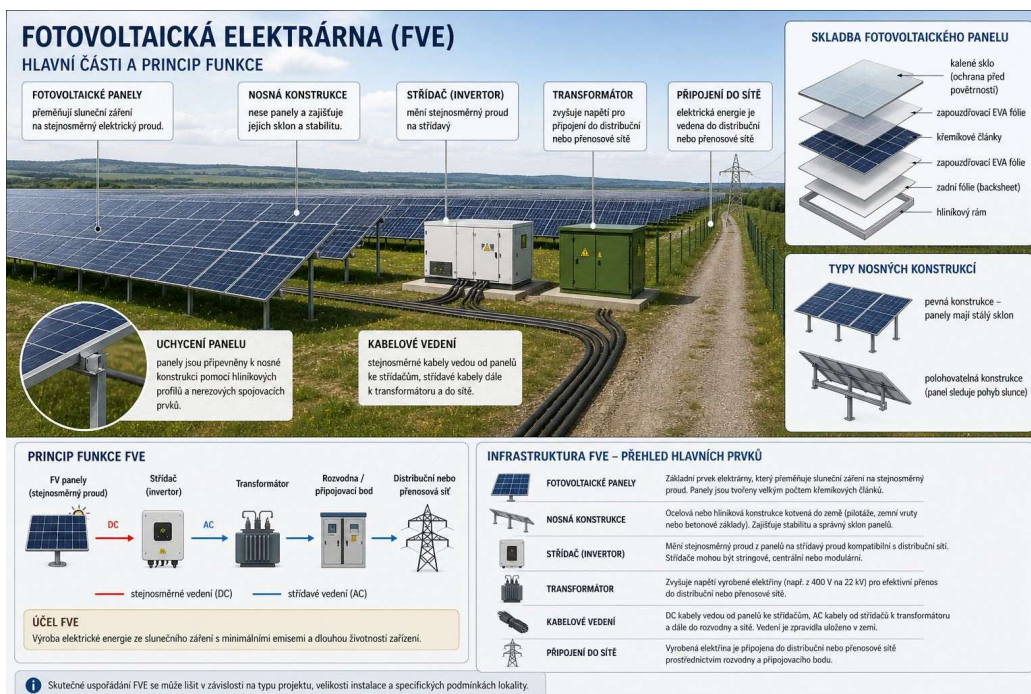
- **Smart curtailment - Inteligentní odstavování**

Adaptivní řízení odstavování turbín na základě kombinace aktuálních environmentálních podmínek (vítr, teplota, den/noc) a detekce cílových druhů prostřednictvím senzorů nebo rizikových modelů. Cílem je minimalizovat mortalitu volně žijících živočichů s co nejmenší ztrátou výroby energie.

Obr: Schématické zobrazení prvků VTE a FVE



Zdroj: vlastní zpracování (vygenerováno pomocí nástroje OpenAI, ChatGPT)



Zdroj: vlastní zpracování (vygenerováno pomocí nástroje OpenAI, ChatGPT)

Úvod

Rozvoj větrné energetiky je považován za zásadní strategii pro boj proti klimatické změně prostřednictvím snižování emisí skleníkových plynů a spotřeby fosilních paliv. Větrná energetika je jedním z perspektivních obnovitelných zdrojů energie. Využívání větrných elektráren se celosvětově rychle rozšiřuje napříč všemi kontinenty, zejména pak v Asii, Evropě a USA (Dai et al. 2015; Estellés-Domingo a López-López 2025; Katzner et al. 2025).

Ačkoli je větrná energie obecně považována za jednu z ekologicky nejšetrnějších možností získávání elektřiny, vzrůstající počet větrných elektráren na pevnině i na moři představuje potenciální konflikt s ochranou volně žijících živočichů (Saidur et al. 2011; Gartman et al. 2016a; Ferrer et al. 2022). Hlavní negativní dopady větrných elektráren na biodiverzitu zahrnují přímou mortalitu létajících obratlovců, zejména ptáků a netopýrů. K úhynu dochází jednak v důsledku přímých srážek s rotujícími částmi turbíny, u netopýrů pak rovněž v důsledku tzv. barotraumaty, tj. poškození tkání způsobené náhlými změnami tlaku vzduchu v okolí rotoru. Druhý negativní dopad je spojen s vlastní výstavbou včetně infrastruktury v okolí elektráren, která může vést k degradaci či destrukci původního habitatu. Aby získávání větrné energie bylo udržitelné a v souladu s cíli ochrany biodiverzity, je nezbytné pečlivé strategické plánování s využitím následující mitigační hierarchie: předcházet – omezovat – kompenzovat (*avoid – reduce – compensate*) (Garcia-Rosa a Tande 2023; Katzner et al. 2025). Prvním krokem ke snížení negativního dopadu zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie na biodiverzitu je umístit zařízení na území s nízkou ochrannářskou hodnotou. Pokud se však umístěním zařízení nelze negativním vlivům zcela vyhnout, je důležité je minimalizovat použitím mitigačních opatření. V případech, kdy i přes použitá mitigační opatření negativní vlivy přetrvávají, mohou být stanovena kompenzační opatření, například vytvoření nových lokalit s minimálně stejnými kvalitativními i kvantitativními parametry jako lokality negativně ovlivněné výstavbou VTE.

1. Vliv větrných elektráren

Výstavba a provoz větrných elektráren mohou mít různorodé negativní vlivy na přítomné druhy a stanoviště. Jedná o zábor či zhoršení kvality biotopu, fragmentaci prostředí a návazně populací, vliv na chování a populační dynamiku živočichů a o přímou mortalitu (Atienza et al. 2014; Garcia-Rosa a Tande 2023). Největší vliv z hlediska mortality mají VTE na ptáky a netopýry, u kterých hrozí zranění či úhyn v důsledku přímé srážky s turbínou či jinou její částí. V případě netopýrů je navíc rizikem úhyn z důvodu tzv. barotraumaty.

1.1. Přímá mortalita

Ptáci

Nejčastějším důvodem úhynu ptáků v areálu větrných elektráren je **střet s pohybujícím se listem rotoru** (Dai et al. 2015). Riziko kolize je vyšší u ptáků, kteří plachtí ve stejné výšce, jako se točí listy rotoru. To dělají zejména velcí dravci (např. orli a supi) a velcí ptáci s širokými křídly (např. čápi a jeřábi) (Hunt 2002; Barrios a Rodríguez 2004).

Přestože je velká pozornost ohledně mortality v důsledku kolize věnována dravcům, drobní pěvci představují většinu usmrcených ptáků. Dále jsou více ohroženy druhy, které zůstávají v oblasti po delší dobu, ať už kvůli hnízdění, přezimování nebo odpočinku oproti ptákům, kteří pouze migrují krajinou (Erickson et al. 2014; Rydell et al. 2017; Bennun et al. 2021).

Kolize jsou ovlivněny místně specifickými faktory např. umístěním turbín na horských hřebenech nebo strmých svazích, kde představují pro ptáky vyšší riziko (Singh et al. 2016) designem a rozmístěním turbín (četnost, pravidelnost atd.), počasím např. špatná viditelnost nebo mlhavé noci a specifickým chováním živočichů jako je potravní chování, námluvy nebo teritoriální boje (Percival 2005; May 2015; Grünkorn 2016). I proto je klíčové důkladné plánování výstavby nových elektráren tak, aby se kolizím co nejméně předcházelo.

Kolize však mohou nastat i se statickými částmi elektráren či přidruženou infrastrukturou. Statické konstrukce zahrnují věže turbín, gondoly a přidružená elektrická nebo přenosová vedení (Marsh 2007; González et al. 2016). Kolize s věžemi turbín byly téměř výlučně pozorovány u nízko létajících ptáků hnízdících na zemi, jako jsou bělokur horský, tetřev obecný a tetřev hlušec (Zeiler a Grünschachner-Berger 2009; Stokke et al. 2020). Byly zaznamenány kolize s věžemi turbín, i když byly listy rotoru nehybné (Zeiler and Grünschachner-Berger 2009; Stokke et al. 2020; Lentini et al. 2025).

Netopýři

V případě netopýřů nebylo dlouhou dobu známo, jestli jsou úhyny způsobeny barotraumatem (vnitřní zranění/krvácení způsobené prudkou změnou tlaku v blízkosti elektráren) nebo přímým nárazem do listu rotoru (Kunz et al. 2007). Studie z roku 2012 (Rollins et al. 2012) ukázala pomocí pitev, že většina úmrtí (73 %) v areálu větrných elektráren byla způsobena přímým nárazem vzhledem k vysokému podílu fyzických zranění, zatímco pouze 6 % případů vykazovalo zranění v důsledku barotraumatu. Pozdější výzkum z roku 2020 rovněž potvrdil nízký počet úhynů v důsledku barotraumatu. Lawson et al. (2020) ukázal pomocí modelů simulujících proudění vzduchu v blízkosti turbín, že tlakové změny, kterým netopýři čelí, jsou mnohonásobně menší než ty způsobující zranění u podobně velkých savců. Studie z Rumunska (Măntoiu et al. 2020) potom rovněž uvádí vyšší míru mortality způsobenou přímým nárazem (34 úhynů) oproti 15 případům úmrtí vlivem barotraumatu.

Netopýři jsou tedy usmrceni převážně v důsledku přímé srážky s pohyblivým se listem rotoru. Současná data ukazují, že 90–95 % mortality je způsobeno zraněním způsobeným nárazem do listu rotoru, zatímco úhyn způsobený barotraumatem představuje 10 % až 5 % (Lawson et al. 2020). Neexistují důkazy o tom, že by netopýři byli usmrcováni nepohyblivými se komponentami turbíny (Rydell et al. 2010; Hein a Schirmacher 2016).

U netopýřů je tak podobně jako u ptáků nejzávažnějším a nejčastějším problémem úhyn v důsledku přímé kolize s listy rotoru. Srážky s větrnou elektrárnou podle posledních výzkumů představují jednu z hlavních příčin mortality netopýřů po celém světě (Frick et al. 2020).

Tyto poznatky jsou důležité pro efektivní plánování mitigačních opatření, která se musí zaměřit na snižování pravděpodobnosti střetu netopýřů s rotujícími listy rotoru. Jako účinné opatření se jeví úprava provozu VTE tzv. „cut-in speed“, tedy cílené odstavení provozu elektráren během období vysoké aktivity netopýřů.

1.1.1. Kvantifikace míry mortality vlivem kolizí

1.1.1.1. Jednotky míry mortality

Mortalita ptáků a netopýřů s větrnými elektrárnami se uvádí pomocí dvou základních měřítek: počet úmrtí na turbínu za rok (ptáci/turbína/rok) a počet úmrtí na megawatt za rok (ptáci/MW/rok). Mortalita vyjádřená na megawatt (MW) je obecně považována za standardizovanější měřítko než mortalita na turbínu, protože kapacita turbín (výkon) se značně liší (od 0,5 MW do více než 5 MW) (Atienza et al. 2014; Garcia-Rosa a Tande 2023; Lentini et al. 2025). Evropské studie uvádějí převážně míry na turbínu, zatímco severoamerické a jiné

mezinárodní studie častěji používají míry na MW. V tomto dokumentu jsou údaje o mortalitě uvedeny tak, jak byly publikovány ve zdrojových studiích, bez převodu jednotek.

1.1.1.2. Vliv použité metodiky na odhady míry mortality

Uvádění míry mortality ve studiích vykazují značnou variabilitu, která je způsobena jak rozdíly v použité metodice, tak biologickou rozmanitostí studovaných lokalit a dalšími faktory. Významnou variabilitu v uváděných mírách kolizí a mortality lze vysvětlit následovně:

- Míra odstraňování kadáverů mrchožrouty: pravděpodobnost nálezu usmrčených zvířat je ovlivněna tím, jak rychle jsou odnášena predátory. Rychlost odstraňování usmrčených zvířat mrchožrouty představuje několik hodin až po týdny v závislosti na místní aktivitě těchto živočichů a klimatických podmínkách. Důležitý vliv může hrát i způsob obhospodařování a údržby pozemků (orba, sklizeň plodin atd.).
- Efektivita monitoringu: kadávery malých ptáků bývají často obtížně dohledatelné a nalézáno proto bývá 9–65 % usmrčených jedinců. Při využití cvičených psů se podíl nalezených kadáverů zvyšuje na 69–96 % bez ohledu na typ vegetace (Lentini et al. 2025). Pro nepřístupný terén se v poslední době jeví účinné také používání dronů s termovizí. Zvýšení účinnosti použitých metod nálezu kadáverů částečně vysvětluje vyšší míru mortality uváděnou v novějších studiích.
- Metodika vyhledávání: velikost kontrolované plochy, frekvence kontrol a zkušenost monitorovatele mohou výrazně ovlivňovat výsledek monitoringu.

1.1.1.3. Odhadovaná míra mortality

Ptáci

Globální mortalita ptáků v areálech větrných elektráren se značně liší v závislosti na lokalitě, charakteristikách turbín a metodice použité pro odhad míry mortality. Zveřejněné celosvětové odhady vykazují značné rozdíly.

- **Míra na turbínu:** Odhady úhynu ptáků se pohybují od méně než jednoho až po 21 ptáků/turbínu/rok. Nejvyšší publikovaná míra 21 úmrtí/turbína/rok pochází z Belgie (Dai et al. 2015; Lentini et al. 2025).
- **Míra na megawatt (MW):** Odhady se pohybují od 0,4 do 13 ptáků/MW/rok.
V USA se mortalita pohybovala od 1 do 4,5 ptáků na MW za rok, s průměrem 2,3 ptáků/MW/rok (Bennun et al. 2021; Katzner et al. 2025).
V jižní Africe byla zaznamenána mortalita 2 ptáků/MW/rok (Perold et al. 2020).
Odhadovaná roční mortalita v Japonsku je 0,4–2 ptáků /MW/rok (Lentini et al. 2025).
V Mexiku se mortalita pohybovala v rozmezí 9–13 ptáků /MW/rok (Lentini et al., 2025)

Mortalita ptáků na **evropských** větrných farmách je velmi variabilní a je ovlivněna lokalitou, druhovou rozmanitostí a zavedenými mitigačními opatřeními (Rydell et al. 2017; Garcia-Rosa a Tande 2023):

- **Španělsko** vykazuje jednu z nejvyšší míry mortality na světě, zejména v jižních oblastech a podél hlavních migračních tras ptáků (Farfán et al. 2023).
Nejvyšší zaznamenaná mortalita ve Španělsku dosáhla hodnoty 64,26 ptáků/turbínu/rok na větrné farmě El Perdón v Navarře (Atienza et al. 2014).
Studie sledující 20 vybudovaných větrných farem v jižním Španělsku uvádí průměrnou míru mortality 1,33 ptáka/turbínu/rok pro všechny druhy ptáků (Dai et al. 2015; Ferrer et al. 2022).

- **Belgie:** Odhad 4–23 ptáků/turbínu/rok (Drewitt a Langston 2006). Většina zaznamenaných úhynů se týká mořských ptáků.
- **Německo:** Německý výzkumný projekt „PROGRESS“ (Grünkorn et al. 2016) odhadl roční míru kolizí na turbínu pro jednotlivé běžné druhy ptáků. Vzhledem k tomu, že se jedná o odhady pro jednotlivé druhy, jsou tyto hodnoty výrazně nižší než obecný průměr 5–10 ptáků/turbína/rok:
 Káně lesní (*Buteo buteo*): 0,433 jedinců/turbína/rok.
 Luňák červený (*Milvus milvus*): 0,130 jedinců/turbína/rok.
 Orel mořský (*Haliaeetus albicilla*): 0,035 jedinců/turbína/rok.
 Čejka chocholatá (*Vanellus vanellus*): 0,597 jedinců/turbína/rok.

Tab. 1: Mortalita ptáků v areálech větrných elektráren na turbínu/rok v Evropě

Země	Mortalita (ptáci/turbínu/rok)	Zdroj
Švédsko	~5–10	(Rydell et al. 2017)
Nizozemsko	~28	(Krijgsveld et al. 2009)
Belgie	~21 (průměr; rozmezí ~2–43)	(Everaert 2014)
UK	~6	(Drewitt and Langston 2006)
Německo	~3–8	(Grünkorn et al. 2016)
Španělsko	1.33–64.3	(Atienza et al. 2014; Ferrer et al. 2022)

Netopýři

Mortalita netopýřů se výrazně liší v závislosti na geografické poloze a konkrétním prostředí. Celkový kumulativní počet kolizí je populačně významný.

Odhadované roční ztráty netopýřů usmrčených větrnými turbínami činí přibližně 30 000 netopýřů ve Velké Británii, přibližně 50 000 netopýřů v Kanadě, více než 200 000 netopýřů v Německu a více než 500 000 netopýřů v USA (Bennun et al. 2021). Metaanalýza pro severozápadní Evropu uvádí rozmezí specifická pro dané stanoviště, s maximem 20 netopýřů na turbínu za rok (Rydell et al. 2010). Tyto údaje kontrastují s 26–41 netopýři ve Španělsku a 30 netopýři v Rumunsku na turbínu za rok, což naznačuje, že v lokalitách ležících podél migračních tras může být mortalita až o řád vyšší než na běžných lokalitách v podmínkách mírného klimatického pásma Evropy.

Tab. 2: Mortalita netopýřů v areálech větrných elektráren na turbínu/rok

Země	Mortalita (netopýřů/turbínu/rok)
Severní Amerika	12 (Voigt et al. 2022).
Německo	14 (Voigt et al. 2022).
Severozápadní Evropa	
-pole, louky	0–3
-pestrá zemědělská krajina	2–5
-lesy, kopce	5–20 (Rydell et al. 2010)
Švédsko	10-12 (Rydell et al. 2010)
Francie	14 (Merlet et al. 2025)
Španělsko	26-41 (Sánchez-Navarro et al. 2023)

1.1.1.4. Nejvíce ovlivněné druhy

Ptáci

(a) Citlivé evropské druhy

Literatura o větrné energetice konzistentně zdůrazňuje vysokou zranitelnost dravců a ptáků plachtících vysoko na obloze. Vysoká míra mortality představuje u dravců závažný problém vzhledem tomu, že se často jedná o ohrožené druhy s malými a pomalu se množícími populacemi. Zvýšená mortalita, tak pro ně může mít negativní populační dopad.

Mezi nejvíce ohrožené evropské druhy patří:

- **Orel mořský** (*Haliaeetus albicilla*): Studie z Norska (Smøla), Švédska, Finska a Německa uvádí zranitelnost orlů vlivem přímých srážek s listy rotoru turbín, ale i vlivem rušení, které vede ke snížené reprodukční úspěšnosti až k opuštění lokality (Heuck et al. 2019; May et al. 2020).
- **Luňák červený** (*Milvus milvus*): V Německu je považován za nejzranitelnější druh. Syntéza dat z období po výstavbě 69 zařízení v severovýchodním Německu odhadla, že přibližně 3 % hnízdící populace ročně zahyne v důsledku kolizí (Gartman et al. 2016a; Bose et al. 2020).
- **Moták lužní** (*Circus pygargus*): Kolizí s listy rotorů turbín je ohrožen, zejména pokud jsou větrné elektrárny postaveny v klíčových hnízdních oblastech. Ojedinelé kolize jsou potom hlášeny z celé Evropy (Hernández-Pliego et al. 2015; Schaub et al. 2020).
- **Poštołka obecná** (*Falco tinnunculus*) a **poštołka jižní** (*Falco naumanni*): Obě poštolky patří mezi nejzranitelnější ve Španělsku a Německu (Ferrer et al. 2022). Riziko kolize je u nich výrazně zvýšeno v důsledku jejich chování při lovu (při vyhledávání kořisti se vznášá ve vzduchu a pozici udržuje rychlým třepotáním křídel).
- **Čáp bílý** (*Ciconia ciconia*): Přesto, že se jedná o jednoho z nejzranitelnějších plachtících ptáků v Evropě, data o míře mortality nejsou pro střední Evropu k dispozici. Modely ze Švýcarska ukazují, že druh je mírně ohrožen zvýšenou mortalitou, která dosahuje 1 % (Schippers et al. 2020).
- **Káně lesní** (*Buteo buteo*): Studie z Německa uvádí odhadovanou mortalitu pro severní Německo 7 800–8 500 jedinců za rok což představuje 7 % z místní hnízdící populace (Grünkorn 2016).
- **Jeřábi** (*Grus grus*): Jeřábi jsou druhy s vysokým zatížením křídel a špatnou manévrovatelností, což je vystavuje vyššímu riziku kolize (Bennun et al. 2021).

(b) Mortalita vlivem kolizí u dalších druhů ptáků

Dravci sice představují skupinu, které je věnována největší pozornost, ovlivněny jsou ale i ostatní ptáci:

- **Drobní pěvci**: Rizikem kolize jsou rovněž významně ovlivněni, ve studiích bývají ale nedostatečně monitorováni vzhledem k tomu, že se jejich kadávery obtížně hledají a bývají rychle odnášeny predátory. V rozsáhlé studii z Cádizu ve Španělsku bylo od roku 2008 do roku 2020 zaznamenáno celkem 1 352 mrtvých pěvců. Po přepočtu představovala míra mortality 0,386 pěvců na turbínu za rok (Ferrer et al. 2022). Malí pěvci představovali 62,5 % ze všech 4 975 úmrtí zaznamenaných v rámci 35 studií u průmyslových větrných elektráren (Parisé a Walker 2017).

- **Velcí vodní ptáci/ptáci hnízdící na zemi:** Druhy s vysokým zatížením křídel a nízkou manévrovatelností jsou vysoce ohroženy kolizemi s turbínami nebo přenosovým vedením.
- **Tetřevovití (*Tetraoninae*):** Pro tetřevovité představuje největší riziko ztráta habitatu a následné rušení, které vede ke snížení reprodukční úspěšnosti a může vést k opuštění teritoria. Dokumentace přímé mortality tetřevovitých ptáků v areálech větrných elektráren je nedostatečná, obecně však lze tyto ptáky považovat za zranitelné vůči kolizím s elektrárnami (May et al. 2020; Zeiler a Grünschachner-Berger, 2009).

Netopýři

Nejohroženější jsou druhy netopýřů, kteří loví v otevřeném prostoru (Thaxter et al. 2017; Gaultier et al. 2020). Tito netopýři jsou tomuto způsobu lovu morfologicky a fyziologicky přizpůsobeni, mají dlouhá a úzká křídla a orientují se pomocí nízkofrekvenční echolokace. Obvykle létají ve výškách, které se překrývají s pohybovou zónou listů rotoru větrných elektráren (Rydell et al. 2010; Voigt et al. 2024). Mortalita těchto druhů dosahuje až 98 % celkové mortality netopýřů vlivem větrných elektráren (Rydell et al. 2010).

(a) Meteorologické podmínky

Mortalita netopýřů způsobená střetem s větrnými elektrárnami je závislá na roční době a návazně biologii netopýřů. Zvýšenou míru mortality v Evropě lze pozorovat v průběhu července, kdy dochází k osamostatňování mláďat, a pak během října, kdy dochází k hromadným migracím na zimoviště. Srpen pak představuje měsíc s nejvyšší mírou mortality ve všech evropských studiích, od Španělska po Švédsko. Menší míru mortality (cca 10 % celkové roční mortality) lze pozorovat v dubnu až červnu během jarní migrace a rozmnožování (Rydell et al. 2010; Amorim 2012; Salguero et al. 2023).

Meteorologické faktory přispívající k vysoké mortalitě netopýřů v areálech větrných elektráren jsou stejné v rámci celé Evropy. Nejrizikovějšími faktory jsou nízké rychlosti větru (<5–6,5 m/s), kdy jsou netopýři aktivní a turbíny větrných elektráren stále rotují; rozmezí nočních teplot 10–15 °C je příznivé pro aktivitu hmyzu a tím pádem i netopýřů; absence srážek a nízká až mírná relativní vlhkost, které rovněž vedou ke zvýšené aktivitě netopýřů. Vzhledem k noční aktivitě dochází k většině kolizí po setmění, zejména první 4 hodiny po západu Slunce, kdy netopýři věnují shánění potravy nejvíce úsilí (Rydell et al. 2010).

(b) Rizikové druhy v Evropě

Jak již bylo výše uvedeno, nejohroženější jsou druhy netopýřů, kteří loví v otevřeném prostoru a pohybují se tak ve výškách, které se překrývají se zónou pohybu listů rotoru. Celkově se jedná o 20 druhů evropských netopýřů, u kterých byla prokázána mortalita vlivem kolize s větrnými elektrárnami a dalších 21 druhů netopýřů je považováno za potenciálně zranitelné (Rodrigues et al. 2008).

Nejohroženější druhy netopýřů sdílejí následující funkční vlastnosti: mají dlouhá, úzká křídla adaptovaná pro rychlý let, loví ve volném prostoru ve výškách 5–150 m, které se překrývají se zónou pohybu listů rotoru (typicky 100–200 m u moderních turbín), dálkově migrují na vzdálenost stovek nebo tisíců kilometrů. Lesní druhy s pomalým letem (netopýři ušatí, vrápenec) se díky své odlišné ekologii kolizím většinou vyhýbají (Rydell et al. 2010; Salguero et al. 2023).

- Rod ***Pipistrellus*** dominuje ve statistikách mortality, která u něj představuje přibližně 70 % ve Španělsku a přes 50 % ve většině evropských studií (Salguero et al. 2023). Netopýř hvězdatý (*P. pipistrellus*) je nejvíce postiženým druhem ve střední a západní Evropě.

Četnost mortalit odráží fakt, že se jedná o nejhojnější druh netopýra v Evropě a zároveň se pohybuje ve výškách, kde je riziko kolize s turbínou větrné elektrárny největší (Richardson et al. 2021). Netopýr parkový (*P. nathusii*) bývá nejvíce zranitelný zejména během dálkových migrací, kdy vykazuje vysokou mortalitu. Nejvyšší míru mortalit lze pozorovat na pobřeží Baltského a Severního moře (Mäntöiu et al. 2020). Izotopové analýzy potvrzují, že jedinci usmrcení ve Francii, Německu a Rumunsku pocházejí z populací v severovýchodní Evropě umístěných stovky nebo tisíce kilometrů daleko (Merlet et al. 2025).

- Rod ***Nyctalus*** představuje druhou nejvíce zranitelnou skupinu. U netopýra rezavého (*N. noctula*) představuje mortalita v některých databázích až 28 % úmrtí ze všech druhů netopýrů. Ve Francii došlo mezi lety 2006–2023 k poklesu početnosti populace tohoto druhu o 53 %, přičemž velký podíl má pravděpodobně mortalita v areálu větrných elektráren (Salguero et al. 2023; Merlet et al. 2025). Netopýr stromový (*N. leisleri*) je zranitelný obzvláště v Portugalsku, Španělsku, Francii a Chorvatsku, kde se podle distribučních modelů překrývá 41 % biotopů vhodných pro tento druh s areály větrných elektráren (Arnett et al. 2016). Genetické analýzy usmrcených netopýrů rodu *Nyctalus* ukazují, že z 28–30 % se jedná o migrující jedince, přičemž 82 % z nich byly samice (Merlet et al. 2025). U zdrojových populací tak dochází k vážnému narušení poměru pohlaví, které může mít pro dané populace významný dopad.
- Netopýři rodu ***Eptesicus***, především netopýr večerní (*E. serotinus*) a *E. isabellinus* se rovněž pravidelně objevují v databázích mortality netopýrů po celé Evropě (Rydell et al. 2010; Sánchez-Navarro et al. 2023). Netopýr severní (*E. nilssonii*) je nejvíce postiženým druhem ve Skandinávii a okolí Baltského moře (Rydell et al. 2010).
- Netopýr pestrý (***Vespertilio murinus***) je napříč Evropou považován za druh s vysokým rizikem kolizí s větrnými elektrárnami. Data z Německa sahající do prosince 2009 uvádí 47 mrtvých netopýrů pestrých v areálech větrných elektráren (Rydell et al. 2010).

U netopýrů rodu ***Myotis*** představují navzdory jejich širokému rozšíření v rámci Evropy úmrtí způsobená kolizí s větrnou elektrárnou pouze 2 % ze všech zaznamenaných dat. Mortalita je u nich nízká pravděpodobně díky tomu, že většinou nelétají do výšek větších 20 m, takže se pohybují mimo zónu pohybu listů rotoru. Mezi rizikové druhy v rámci rodu *Myotis* náleží netopýr velký (*Myotis myotis*). Netopýři ušatí (***Plecotus*** spp.), vrápenci (***Rhinolophus*** spp.) a netopýři rodu ***Barbastella*** spp. také vykazují minimální mortalitu nejspíše díky pohybu v nízkých výškách (Rydell et al. 2010).

1.2. Ztráta habitatu a fragmentace prostředí

Ptáci

Výstavba větrných elektráren může mít i nepřímý vliv na volně žijící živočichy z důvodu záboru biotopů nově vybudovanými infrastrukturami. U některých citlivých druhů může přítomnost elektráren snižovat efektivní využitelnou plochu habitatu, může vést ke snížení reprodukční úspěšnosti nebo vede k úplnému opuštění habitatu (Kahler et al. 2004; Smallwood a Thelander 2008; Dai et al. 2015). Tyto negativní dopady nastávají během všech fází projektu, včetně plánování, výstavby, provozu a vyřazení z provozu (Katzner et al. 2025).

Výstavba větrných turbín, přístupových cest a přidružených zařízení (jako jsou rozvodny a elektrická vedení) vede ke změně, fragmentaci nebo úplnému zániku původního habitatu (Dai et al. 2015; Bennun et al. 2021). Území, na kterém probíhá výstavba elektrárny, ztrácí na své přírodní hodnotě. Více dotčené jsou habitaty s vysokou biodiverzitou a málo rozvinutou dosavadní infrastrukturou. Řada živočichů, kteří habitat dříve využívali, ho opouští vlivem rušení během prací (jako je výkop základů, zemní práce a instalace nezbytné infrastruktury).

Ačkoli samotné turbíny a jejich přístupové cesty zabírají pouze 2–5 % z celkové plochy areálu, ostatní zařízení (včetně infrastruktury, sběrných rozvodů a sítí s kabeláží) rozšiřuje oblast dotčenou výstavbou (Drewitt a Langston 2006) a přispívá k podstatné ztrátě přírodních habitatů. Ve Španělsku se například odhaduje, že se s každou novou větrnou elektrárnou zároveň vybuduje přibližně 10 kilometrů nových cest, což snižuje prostupnost a kvalitu okolní krajiny pro volně žijící živočichy (Atienza et al. 2014).

Instalace turbín je spojena se změnou využití území, což často vede k silné degradaci území v oblastech s vysokou biodiverzitou a malou dosavadní infrastrukturou. Výstavba elektráren v takovýchto oblastech může vést ke ztrátě a degradaci přírodně cenných a nenahraditelných habitatů (Marques et al. 2020; Katzner et al. 2025). Během výstavby dochází ke stržení či poškození povrchové vegetace a odkrytá půda je více náchylná k erozi větrem i deštěm. Zásahy během výstavby mají negativní vliv i na půdní organismy. Použití těžké techniky utužuje půdu, při čemž může docházet ke kolapsu por a rozdrčení drobných živočichů žijících v půdě. Pro nelétavé živočichy je tím pádem tato fáze výstavby nejničivější (Lovich a Ennen 2013). Klasická větrná turbína o výkonu 3–5 MW na pevnině vyžaduje trvalý základ o rozloze 380–640 m², přičemž hlavní jeřábové plochy přidávají dalších 1 200 m² (30 m × 40 m) na turbínu, které zůstávají po celou dobu provozní životnosti (Guan 2022).

Větrné farmy představují pro pohyb ptáků fyzické bariéry a ovlivňují jak jejich tahové cesty, tak i v menším měřítku každodenní pohyb mezi místy, kde hledají potravu a odpočívají. Pro stěhovavé ptáky znamená výstavba větrných farem ztrátu funkčního prostředí (Marques et al. 2020), ptáci musí během migrace měnit svou trasu, aby se překážkám vyhnuli, což je nutí k delším letům a větším energetickým výdajům (Drewitt a Langston 2006; Lentini et al. 2025).

Netopýři

Historicky se rozvoj větrných elektráren koncentroval v otevřené a polo-otevřené krajině, kde byly příznivé větrné podmínky, existující infrastruktura a povolování probíhalo často přímo bez větších námitek. V dnešní době je však se vzrůstajícím tlakem na využívání obnovitelných zdrojů nátlak na výstavbu větrných elektráren v zalesněných a často ochránářsky cenných územích s velkou biodiverzitou. Takové záměry se pak mohou dostávat do konfliktu s ochranou přírody.

Odlesnění prováděné za účelem instalace turbín vede k trvalé přeměně 0,36 ha lesa na každý instalovaný megawatt, přičemž dalších 1,14 ha je přeměněno při následné výstavbě infrastruktury. Při výstavbě turbíny s výkonem 2,5 megawattu se tak vykácí 3,68 hektaru lesa (Voigt et al. 2024). Výstavba v tomto případě negativně ovlivní především lesní netopýry v důsledku ztráty habitatů vhodných ke shánění potravy a úkrytu.

Dopad na netopýry však přesahuje samotný areál větrných farem. Francouzská studie monitorující aktivitu netopýrů v oblasti 29 větrných farem ukazuje negativní dopad na jejich aktivitu až do okruhu jednoho kilometru kolem větrné farmy. Netopýři sbírající kořist z povrchu vykazovali snížení aktivity o 53,8 % a aktivita rychle létajících druhů klesla o 19,6 % (Barré et al. 2018).

Areály větrných elektráren mohou pro netopýry představovat významné bariéry a narušovat konektivitu krajiny. Studie z Itálie uvádí, že 54 % existujících větrných elektráren stojí v přirozených migračních trasách netopýrů a z plánovaných projektů na výstavbu by k další fragmentaci přispělo 72 % z nich (Roscioni et al. 2014). Mezi nejzávažnější nepřímé dopady tak patří ztráta vhodných habitatů a narušení migračních tras na úrovni států. V Německu se za posledních 17 let odhaduje zmenšení populací netopýra rezavého (*Nyctalus noctula*) vlivem nepřímých negativních dopadů větrných elektráren až o 53 % (Merlet et al. 2025).

Bariérový efekt demonstruje německá studie (Roeleke et al. 2016), která pomocí GPS sledování ukázala, že samci netopýrů rezavých (*N. noctula*) se cíleně vyhýbají areálům větrných elektráren. Studie sice dokazuje, že netopýři jsou schopni se překážkám efektivně vyhýbat, delší trasa však pro ně znamená vyšší energetické náklady. Ty se následně negativně projevují sníženou reprodukční úspěšností a zhoršenou schopností vytvořit si zásoby pro hibernaci, což může vést k větší mortalitě během zimního období.

1.3. Rušení a změny v chování

Ptáci

Rušení a vyhýbavé chování: Opuštění habitatu po výstavbě větrné elektrárny se liší podle druhu a konkrétní lokality. Studie například ukázaly, že dravci se mohou vyhýbat hnízdění v okruhu 500 metrů od areálů větrných elektráren (Pearce-Higgins et al. 2009).

1. V Portugalsku vedla instalace větrných turbín k tomu, že luňáci hnědí (*Milvus migrans*) opustili 3 až 14 % svého dříve využívaného prostředí (Marques et al. 2020).
2. Studie zabývající se orly mořskými (*Haliaeetus albicilla*) na větrné farmě Smøla v Norsku ukázaly, že přítomnost turbín způsobila opuštění oblasti větrné farmy, což následně snížilo jejich úspěšnost rozmnožování (Dahl et al. 2012; May et al. 2013).
3. U velkých vodních ptáků, jako jsou labuť, husy a jeřábi, byla zaznamenána nízká míra kolizí, pravděpodobně díky jejich silnému vyhýbavému chování (Rydell et al. 2017). Bylo zaznamenáno, že jeřábi se během migrace cíleně vyhýbají větrným farmám do vzdálenosti okolo 5 km (Tolvanen et al. 2023).
4. U lučních pěvců může hluk větrných turbín (který často obsahuje nízké frekvence podobné hluku dopravy) přímo rušit akustickou komunikaci důležitou pro jejich existenci. Červenka obecná (*Erithacus rubecula*) například v přítomnosti hluku z větrných elektráren přestává obhajovat svoje území (Zwart et al. 2016).

Netopýři

Vyhýbání se areálům větrných elektráren bylo pozorováno u řady druhů netopýrů a to jak v otevřené zemědělské krajině (Barré et al. 2018; Leroux et al. 2022), tak v zalesněných oblastech (Ellerbrok et al. 2022; Gaultier et al. 2023).

Snížený výskyt netopýrů v areálech větrných elektráren nelze vysvětlovat pouze zvýšenou mírou mortality. Vyhýbavé chování bylo zaznamenáno i u druhů s nízkým rizikem kolize, jako jsou např. netopýři žijící v lesích a má tedy zřejmě významnější vliv na aktivitu, než míra mortality a úbytek populací (Ellerbrok et al. 2022). V německých lesích se druhy rodu *Myotis* a netopýři ušatí (*Plecotus auritus*) vyhýbali turbínám ve vzdálenosti nejméně 450 metrů, přičemž jejich aktivita klesla o 77 %, když turbíny pracovaly při vysokých rychlostech větru (Ellerbrok et al. 2022). Studie z boreálních lesů ve Finsku zjistily, že netopýři rodu *Myotis* si udrželi normální úroveň aktivity, pouze pokud se pohybovali ve vzdálenosti větší 800 metrů od turbín (Gaultier et al. 2023).

Je pravděpodobné, že vyhýbavé chování netopýrů zapříčiňuje hluk způsobený provozem elektrárny. Bylo totiž pozorováno, že lesní druhy netopýrů se větrným elektrárnám vyhýbali, pouze pokud byly elektrárny v provozu při relativně vysokých rychlostech větru (Ellerbrok et al. 2024). Provozní hluk turbín (pod 2 000 Hz) nemůže přehlušit či rušit echolokační volání netopýrů (20 000–120 000 Hz) kvůli rozdílným frekvencím zvuku. Provoz elektráren spíše narušuje schopnost zaznamenávání zvuků vydávaných kořistí jako je např. mávání křídel, lezení nebo zpracovávání potravy. Takové činnosti vydávají frekvence v rozsahu 100 - 3000

Hz, což je v přímém překryvu se zvukem turbín (Guest et al. 2022). Snížená úspěšnost při lovu kořisti tak může vést k opuštění habitatu.

Další rušivý vliv mohou způsobovat světelné výstražné signály, které musí mít každá elektrárna kvůli bezpečnosti leteckého provozu. Reakce na světelné signály se liší podle druhu netopýrů. Některé druhy, jako např. rod *Myotis* se světlu vyhýbají na vzdálenosti až 50 metrů i při nízkých intenzitách světla (pod 1 lux) a vyhýbavé chování dané oblasti přetrvává dokonce i po zhasnutí světla. Vrápenec malý (*Rhinolophus hipposideros*) vykazuje také extrémně vysokou citlivost na osvětlení. Používání LED osvětlení narušuje migrační trasy netopýrů a může vést i k tomu, že přestanou využívat oblasti, kde by jinak lovili potravu. Citlivé druhy netopýrů se mohou světelným zdrojům vyhýbat až do vzdáleností 600–1000 metrů.

1.4. Atrakční efekt VTE pro netopýry

Jiné druhy netopýrů mohou výstražná světla větrných elektráren naopak přitahovat. Laboratorní studie ukázaly, že migrující druhy netopýrů jsou přitahovány ke specifickým vlnovým délkám světla, především k zelené (520 nm) a červené (631 nm), fototaxe naopak nebyla prokázána v případě teple bílého světla. Netopýři jsou přitahováni nezávisle na dostupnosti potravy, aktivita netopýrů vzrostla v přítomnosti zeleného i červeného světla o 50–75 % i přes neschopnost detekovat pomocí echolokace hmyz (Voigt et al. 2017, 2018).

I když existují důkazy o tom, že netopýři mohou být ke světlu přitahováni kvůli zvýšené přítomnosti hmyzu a tím pádem i potravní nabídce (Foo et al., 2017), většina mortality migrujících netopýrů (75–80 %) bývá zaviněna čistě fototaxí. (Guest et al. 2022).

Druhy netopýrů využívající úkryty ve stromech se mohou v blízkosti větrných elektráren pohybovat v důsledku záměny stožáru za kmen vzrostlého stromu. V okolí turbíny může docházet k podobnému proudění vzduchu jako kolem stromů, vzhledem k čemuž může dojít k záměně, zejména při nízkých rychlostech větru, kdy se listy rotoru pohybují pomalu. V důsledku toho se netopýři přibližují k turbínám a hledají zde úkryty, partnery k rozmnožování nebo potravu. V takovém případě lze pozorovat kroužení jedinců okolo turbíny, střemhlavé lety a prohlížení věže a gondoly zblízka (Cryan et al. 2014; Hein a Schirmacher 2016).

2. Opatření ke snížení negativního vlivu VTE

Žádné konkrétní mitigační opatření není účinné univerzálně. Optimální ochrana biodiverzity vyžaduje kombinaci opatření, která bude specifická pro danou lokalitu. Základem správného stanovení mitigačních opatření je znalost dané lokality. Na základě biologických průzkumů před zahájením výstavby projektu se specifikuje přírodní významnost oblasti, výskyt chráněných druhů a stanoví se rizika navrhovaného opatření. Poznatky jsou shrnuty v závěrečném stanovisku, kde je mimo jiné uvedeno, zda je záměr na dané lokalitě vhodný. Obecně se pracuje s principem mitigační hierarchie, kdy klíčovým prvním krokem prevence negativních dopadů výstavby projektu na biodiverzitu je vhodný výběr stanoviště pro realizaci projektu tak, aby se vyhnul místům cenným z pohledu ochrany přírody. Následně se stanovují konkrétní opatření pro minimalizaci nebo kompenzaci negativních vlivů.

2.1. Strategický výběr lokality

Výběr lokality je klíčový pro minimalizaci negativních dopadů výstavby větrných elektráren na přírodu. Během plánovací fáze se stanovují rizikové oblasti z pohledu ochrany přírody, kde se výstavba elektráren nepodporuje. Často to jsou lokality poblíž významných hnízdišť ptáků a lokality s výskytem chráněných a zranitelných druhů. Opakem rizikových zón jsou tzv. Go-To zóny, kde je výstavba elektráren naopak povolena a podporována. Jedná se o první krok tzv. mitigační hierarchie nazývané „(avoid) vyhnutí se“. Vyhnutím se všem oblastem, kde lze

předpokládat konflikt s ohroženými a chráněnými druhy, lze předejít následným škodám a konfliktům po výstavbě elektrárny. Strategické územní plánování snižuje nejen mortalitu volně žijících živočichů, ale pomáhá také předejít dalším výdajům na zavádění mitigačních opatření, která by byla nutná při nevhodném umístění a přispívá k dlouhodobé udržitelnosti rozvoje větrné energetiky (Bennun et al. 2021; Katzner et al. 2025).

2.2.1. Hodnocení rizik

Komplexní hodnocení rizik je základem efektivního výběru lokality. Tento proces vyžaduje víceleté výchozí průzkumy ke stanovení přítomnosti, abundance a chování ptáků a netopýrů v navrhovaných lokalitách větrných elektráren. Průzkumy před výstavbou by ideálně měly trvat minimálně dva roky, aby zohlednily meziroční variabilitu ve výskytu druhů a migračních vzorcích (Parisé a Walker 2017). Metodika průzkumů musí zahrnovat ornitologické průzkumy během reprodukčního období, monitoring migrace pomocí radaru, vizuální pozorování v klíčových obdobích migrace a monitoring aktivity netopýrů pomocí akustických detektorů napříč sezónami. Tato data umožňují následné modelování rizika kolizí (CRM), které matematicky odhadne pravděpodobnost kolize na základě rozložení letové výšky, míry vyhýbání se konkrétních druhů a specifikaci turbín (Thaxter et al. 2017).

2.2.2. Makro-umístění: Vyloučené zóny a ochranné zóny

Makro-umístění je proces hodnocení geografických oblastí za účelem výběru lokalit pro realizaci projektu tak, aby dopady na biologickou rozmanitost byly co nejmenší. Tento proces by měl být řízen nástroji, jako je posuzování vlivů koncepcí (SEA). Díky důkladnému posouzení lze identifikovat a vyloučit ekologicky vysoce rizikové zóny (Gartman et al. 2016a).

Cílem makro-umístění je vyhnout se oblastem, kde by větrná infrastruktura mohla mít významný negativní dopad na volně žijící živočichy, nebo by vedla ke ztrátě cenného habitatu. Jedná se o levnou a nejúčinnější strategii pro zmírnění nepříznivých dopadů rozvoje větrné energie na biologickou rozmanitost, zejména pokud jde o ptáky a netopýry (Drewitt a Langston 2006).

(a) Oblasti, kterým se vyhnout

Mezinárodní studie jednoznačně ukazují, že vyhýbání se zvláště chráněným oblastem, včetně lokalit Natura 2000 a významným ptačím oblastem (IBA), zabrání 80–95 % konfliktů (Gartman et al. 2016a). Mezi konkrétní vyloučené oblasti by měly patřit:

- **Migrační koridory a tzv. „úzká hrdla“:** Větrné elektrárny by měly být plánovány mimo hlavní migrační koridory a místa s vysokou četností výskytu citlivých druhů (Barrios a Rodríguez 2004; Smallwood a Thelander 2008; De Lucas et al. 2008).
- **Hlavní hnízdiště:** Výstavba musí být umístěna mimo hlavní hnízdiště ohrožených druhů, což se ukazuje jako nejlevnější a nejúčinnější mechanismus předcházení kolizí pro druhy jako např. moták lužní (Schaub et al. 2020).
- **Topografie:** Umístění elektráren by se mělo vyhýbat hřebenům hor a oblastem orografického zdvihu, což jsou ovšem často nejefektivnější oblasti z hlediska produktivity elektřiny. Tyto topografické prvky přitahují plachtící dravce, protože odklánějí vzduch nahoru a vytvářejí vzestupné proudy, které ptáci využívají při letu. (Santos et al. 2022).
- **Významná stanoviště:** U netopýrů i ptáků je třeba se vyhnout klíčovým prvkům, jako jsou hlavní potravní habitaty, hnízdní habitaty či místa využívaná k odpočinku. Zejména se jedná o mokřady, vodní plochy a vodní toky. Vyloučit je potřeba také velká říční údolí využívaná stěhovavými netopýry (Gartman et al. 2016a).

(b) Ochranná zóna

Termín „ochranná zóna“ popisuje minimální bezpečnou vzdálenost, kterou musí turbíny mít od klíčových prvků a zdrojů stanovišť, jako jsou hlavní potravní habitaty nebo hnízdní habitaty. Ochranné zóny se liší v závislosti na dané skupině dotčených druhů, stavu ochrany dotčených populací, rozměrech turbín a místních topografických prvcích, které ovlivňují vzorce letu. Obecně doporučované ochranné zóny jsou shrnuty v Tabulce 3:

Tab. 3: Doporučené minimální vzdálenosti ochranných zón od klíčových prvků pro zranitelné druhy a skupiny živočichů. ¹(Reusch et al. 2023);²(Voigt et al. 2024);³(Barré et al. 2018);^{4,5,6}(Balotari-Chiebao et al. 2016; Bose et al. 2020b; Salomon et al. 2020);⁷(Rydell et al. 2017).

Druh/skupina	Klíčové prvky	Doporučená vzdálenost
Netopýři	Důležitá stanoviště (lesy, remízky, vodní plochy)	Minimálně 500 m daleko ^(1,2)
	Velké kolonie netopýřů (jeskyně)	Více jak 5km ⁽²⁾
	Lesy/migrační koridory	Žádné výstavby ⁽²⁾
Netopýři sbírající potravu z povrchu a rychle létající netopýři	remízky	Minimálně 1km ⁽³⁾
Orli a velcí dravci	Hnízdiště a shromaždiště	1-3 km ^(4,5,6)
Luňák červený	Hnízdiště	Minimálně 1 km ⁽⁶⁾
Orel mořský	Hnízdiště	Minimálně 2 km ⁽⁴⁾
Sokol stěhovavý	Oblast hledání potravy/hnízdění	2 - 4 km ⁽⁷⁾

2.2.3. Mikro-umístění

Významný vliv na riziko případných kolizí má i přesné rozmístění jednotlivých turbín v rámci hranic větrné farmy. Tzv. mikro-umístění zahrnuje optimální rozložení turbín tak, aby se minimalizovalo riziko kolize volně žijících živočichů a zároveň byla zachována účinnost výroby energie. Tento proces vyžaduje podrobnou znalost místní topografie, charakteristiku biotopů a specifických pohybových vzorců druhů v rámci oblasti výstavby.

(a) Rozložení a uspořádání turbín

- Koridory a uspořádání: Turbíny by měly být uspořádány do skupin tak, aby mezi nimi vznikly koridory, které odpovídají hlavním letovým trajektoriím. Mělo by se předejít lokalizaci turbín kolmo k předpokládaným letovým drahám (Drewitt a Langston 2006; Bennun et al. 2021).

Schaub et al. (2020) sledoval riziko kolize s větrnými turbínami u motáků lužních (*Circus pygargus*) pomocí GPS s vysokým rozlišením. Získané výsledky ukázaly, že motáci sice měnili trasu letu takovým způsobem, aby se vyhnuli větrným farmám, i přesto ale byli vystaveni zvýšenému riziku kolize při hustém uspořádání turbín. Studie dále zdůraznila, že optimalizace uspořádání turbín může riziko kolizí značně snížit, ale ne zcela eliminovat pro druhy, které v oblasti areálu větrné farmy vyhledávají a loví potravu.

- Minimalizace infrastruktury: Celková stopa rozvoje větrné energetiky by měla být snížena např. umístěním turbín blízko sebe (Drewitt a Langston 2006). Pro volně žijící živočichy je snazší dostat se přes větrnou farmu s jednou řadou turbín než farmy s několika po sobě jdoucími řadami turbín. Když jsou turbíny umístěny velmi blízko u sebe, je riziko pro živočichy pohybující se mezi nimi větší (Refoyo Román, Olmedo Salinas a Muñoz Araújo, 2020).

Cílem opatření by mělo být co nejvíce snížit atraktivitu areálu větrných elektráren pro dravce, kteří mají tendenci využívat vysoko postavená místa jako místa k usedání. Rozvodny a

údržbářské budovy by měly být navrženy a umístěny tak, aby se minimalizovala možnost jejich využití dravci jako místa k odpočinku. Dravci se mohou ve výjimečných případech usadit přímo na věžích turbín. Pokud však pro ně přilehlá infrastruktura nabízí atraktivnější místo, může docházet k prodloužení doby strávené v blízkosti turbín a tím pádem i ke zvýšenému riziku kolize.

(b) Velikost turbíny – repowering

Spojitosť mezi velikostí větrných turbín a počtem kolizí je složitá. Přestože větší turbíny způsobují úhyn více jednotlivých zvířat (vykazují vyšší absolutní mortalita) při přepočtu na jednotku vyprodukované energie (megawatt) je celková mortalita nižší než u malých turbín (Rydell et al. 2017).

- **V případě ptáků klesá mortalita na MW s většími turbínami:** Menší počet velkých turbín použitý na výrobu stejného množství energie jako větší počet menších turbín vede k nižší mortalitě ptáků. Díky tomu může repowering (modernizace elektráren pro větší produktivitu, zpravidla nahrazení starších méně výkonných turbín většími modernějšími modely) snížit míru mortality ptáků a je tím pádem žádoucí jak z energetického hlediska, tak z hlediska ochrany přírody (Gartman et al. 2016a).
- **V případě netopýrů je situace opačná nebo nevede ke změně mortality:** Při použití větších turbín zůstává mortalita netopýrů na MW stejná nebo mírně stoupá. Je to způsobeno tím, že tyto věže (v Evropě nyní až 200 m) dosahují výšky, ve které se migrující netopýři pohybují. Gartman et al. (2016a, b) uvádí téměř 14násobný nárůst mortality netopýrů po instalaci nových vysokých turbín, zatímco mortalita ptáků poklesla.

2.2. Mitigační opatření během výstavby

Nejúčinnější strategií ke zmírnění dopadů výstavby je její vhodné naplánování. Provozovatelé by měli načasovat stavební činnosti tak, aby se nepřekrývaly s obdobími, kdy jsou volně žijící živočichové zranitelní – zejména období rozmnožování ptáků (březen–srpen), období rozmnožování netopýrů, období migrace ptáků a netopýrů a období rozmnožování obojživelníků (březen–červen) (Bennun et al. 2021).

Aby byla zavedená opatření z tohoto hlediska účinná, je nutné provést v oblasti plánované výstavby ekologický průzkum, který poskytne informace o vyskytujících se druzích, na základě čehož je potom možné vytipovat kritická období, v průběhu kterých by neměly probíhat stavební práce. Dále je nezbytná úzká spolupráce mezi stavebními manažery, inženýry a odborníky na životní prostředí, která umožní naplánovat práce tak, aby se minimalizovaly negativní dopady na volně žijící živočichy (Bennun et al. 2021).

2.3. Omezení provozu

2.3.1. Opatření pro ochranu netopýrů

Cílené omezení provozu zastavením otáčení listů rotoru turbín za účelem snížení rizika kolizí s volně žijícími živočichy, je nejčastěji studovaným a prokazatelně **nejúčinnějším** mitigačním opatřením v ochraně netopýrů (Voigt et al. 2024). Hlavním principem je omezení provozu turbín za podmínek spojených se zvýšenou aktivitou netopýrů. Používají se dva základní mechanické přístupy:

(a) Feathering – nastavení úhlu listů rotoru

Když podmínky prostředí klesnou pod rizikové prahové hodnoty, listy rotoru se nakloní paralelně se směrem větru, aby generovaly minimální točivý moment a otáčely se velmi

pomalou. Turbíny jsou tak mechanicky připravené k rychlému opětovnému spuštění a zároveň se opatřením snižuje mortalita netopýrů. Studie ukazují, že samotné nastavení listů rotoru může snížit mortalita netopýrů přibližně o jednu třetinu při zanedbatelné ztrátě vyrobené elektřiny (Behr et al. 2017).

(b) Cut-in-speed

Cut-in-speed představuje minimální rychlost větru, při které se turbíny dávají do pohybu a začínají vyrábět energii. Standardní spouštěcí rychlosti se obvykle pohybují v rozmezí 3–4 m/s. Vrchol aktivity netopýrů nastává převážně při rychlosti nižší než 6 m/s. Zvýšením cut-in-speed rychlosti na 4–6 m/s se zabrání provozu turbín za větrných podmínek, kdy jsou netopýři neaktivnější. Empirické důkazy z celé Evropy a Severní Ameriky ukazují, že zvýšení spouštěcí rychlosti o 1,5–3,0 m/s nad normální provozní parametry může vést k 50 % nebo většímu snížení mortality netopýrů (Lentini et al. 2025).

V Evropě se způsob omezení provozu elektráren odvíjí od sledování celé řady rizikových parametrů prostředí. Omezení se vždy aktivuje v podmínkách, kdy lze očekávat vysokou aktivitu citlivých druhů. Mezi sledované parametry patří:

- **Rychlost větru** (měřená ve výšce gondoly): Omezení se aktivuje, když rychlost větru klesne pod 5,0–6,0 m/s, tedy když se zvyšuje aktivita netopýrů.
- **Teplota**: Omezení se aktivuje, když teplota překročí 10 °C (netopýři jsou v chladných podmínkách neaktivní, i kvůli menší aktivitě hmyzu).
- **Roční období**: V Evropě se v podmínkách mírného pásma omezení uplatňuje od dubna do října, což odpovídá období, kdy jsou netopýři aktivní (probouzení z hibernace až podzimní shromažďování a přesun na zimoviště).
- **Denní období**: Omezení se aktivuje 30 minut před západem Slunce a funguje až do východu Slunce, kdy netopýři létají. Přes den se omezení provozu zacílené na ochranu netopýrů vypíná.
- **Srážky**: Omezení se pozastavuje během deště, protože netopýři se letu v dešti vyhýbají.

V Chorvatsku se omezením provozu turbín (výška turbíny 85 m; list rotoru 51 m) podařilo dosáhnout snížení mortality netopýrů o 78 %. Omezení se aktivovala každou noc od západu do východu Slunce v období od poloviny července do října, vždy když rychlost větru klesla pod 5,0–6,5 m/s. Studie dále ukázala, že netopýři aktivovali převážně při teplotách nad 11 °C (98 % aktivity), v dešti jejich aktivita ustávala (97,5 % aktivity při počasí bez srážek) (Rnjak et al. 2023).

(c) Výroba energie a ekonomické dopady

Protokol o plošném omezení výroby energie z důvodu ochrany netopýrů prostřednictvím změny cut-in-speed ze 3 m/s na 5–6 m/s (tzv. Blanket curtailment protocol) obvykle způsobuje 1–4 % roční ztráty ve výrobě energie (AEP), přičemž většina studií uvádí spodní hranici tohoto rozmezí (Voigt et al. 2024). Stejně výsledky ukázala i simulace zkoumající dopady různých strategií mitigačních opatření na roční výrobu energie v USA – zvýšení cut-in-speed na 6,0 m/s od července do října by vedlo ke snížení roční výroby energie jen o 1,3 % (Maclaurin et al. 2022).

(d) Inteligentní a adaptivní algoritmy pro plánování omezení

Inteligentní omezení provozu pomocí technologií umožňuje ušetřit 50–100 % energetických ztrát ve srovnání s plošnými přístupy omezení provozu elektráren, přičemž míra mortality není zvýšena a může dojít i k jejímu snížení (Rabie et al. 2022).

- Mezi inteligentní systémy omezení provozu v **USA** patří **platforma TIMR** (Turbine Integrated Mortality Reduction) popsaná v práci Hayes et al. (2019). Pomocí akustické detekce v reálném čase v kombinaci s prahovými hodnotami rychlosti větru 8,0 m/s dosáhl systém TIMR 84,5% snížení mortality u vybraných druhů (74–91 % u 5 druhů). Roční ztráta vyrobené energie nepřesahovala 3,2 % a dosáhla snížení doby omezení výkonu o 48 % (výška náboje 80 m; průměr rotoru 82 m) oproti standardnímu omezení provozu (Rabie et al. 2022).
- V **Evropě** byly vyvinuty některé algoritmy se stejným účelem, jako například **Chirotech®** (www.biotope.fr) a **ProBat** (www.probat.org). ProBat (Německo) integruje meteorologická data v reálném čase s prediktivními algoritmy, aby se průběžně určovala nutnost omezení provozu. Chytré systémy umožňují provozovatelům najít rovnováhu mezi výrobou energie a ochranou přírody prostřednictvím jasně definovaných a stálých pravidel.
- Společnost **Dopplium** (www.dopplium.com) v **Nizozemsku a Dánsku** testuje alternativní metodu detekce netopýrů s využitím drobných radarových zařízení. Ta detekují přítomnost netopýrů v okruhu přibližně 100 metrů od turbín bez ohledu na jejich echolokační volání. Systém by tak měl na rozdíl od akustických systémů, které závisí na echolokačním volání netopýrů, detekovat i zvířata, která létají tiše. V současné době se testuje účinnost systému ve spolupráci s energetickými společnostmi.

2.3.2. Opatření pro ochranu ptáků

Opatření pro omezení mortality ptáků se zásadně liší od opatření pro netopýry z důvodu jejich odlišné ekologie a vzorců chování. Na rozdíl od netopýrů nelze u ptáků jednoznačně předpovědět, jak se budou chovat v závislosti na době a meteorologických podmínkách. Riziko kolize s turbínou se u nich navíc liší v závislosti na druhu (Rydell et al. 2017).

Opatření k omezení mortality ptáků se zaměřují především na ochranu velkých, zranitelných druhů, jako jsou dravci a plachtící ptáci. Tyto druhy jsou často vystaveny riziku kolize, protože létají ve výškách prolínajících se s zónou opsanou rotorem a mohou mít sníženou manévrovatelnost (Santos et al. 2022).

V současné době se k omezení rizika kolizí používají dva hlavní provozní přístupy: **sezónní omezení provozu a odstavení na vyžádání (SDOD)**:

- **Sezónní omezení provozu** se aplikuje během období, kdy je zvýšené riziko kolizí především v období jarní a podzimní migrace. Další rizikové období je během rozmnožování, kdy dravci soustřeďují loveckou činnost v blízkosti větrných farem.
- Naopak **odstavení na vyžádání (SDOD)** představuje mitigační strategii, kdy se turbíny okamžitě zastaví po detekci přítomnosti prioritních druhů v kolizní zóně. Systémy SDOD se spoléhají buď na vyškolené zaměstnance pracující přímo v areálech větrných elektráren, nebo na automatizované detekční technologie využívající radar, kamery, umělou inteligenci, akustické senzory nebo jejich kombinace.

(a) Údaje o účinnosti a snížení mortality

Nejrozsáhlejší důkazy o účinnosti poskytují španělské studie. Na větrných farmách v regionu Tarifa (výška náboje 90–106 m; průměr rotoru 56–90 m) bylo dosaženo pomocí využití SDOD s lidskými pozorovateli snížení mortality supů bělohavých (*Gyps fulvus*) o 65 %, mortality, přičemž roční ztráta energie činila pouze 0,07 % (průměrné omezení výkonu na turbínu za rok 6 hodin a 20 minut) (De Lucas et al. 2012). Následná studie sumarizovala data z 269 turbín ve 20 větrných farmách (výška náboje 60–84 m; průměr rotoru 54–88 m) se zjištěným snížením mortality velkých plachtících ptáků (čápi, dravci) o 60 % se ztrátou energie 0,51 % (Ferrer et al. 2022).

(b) Detekční technologie

- **Systémy založené na kamerách s umělou inteligencí** představují nejvyspělejší detekční technologii. **IdentiFlight®** (Boulder Imaging, USA) využívá 8 širokoúhlých kamer a 1 stereokameru s vysokým rozlišením a pokrytím 360°. Kamery jsou schopné detekovat létající objekty ve vzdálenosti až 1 km. Neuronová síť systému zpracovává více než 200 obrazových atributů a během 5 sekund dokáže vyhodnotit a určit více než 100 druhů s 98 % přesností. Terénní studie na větrných farmách ve Wyomingu (výška náboje 80 m; průměr rotoru 82,5–101 m) ukazuje 6 % míru falešně negativních výsledků (9 ze 149 orlů nebylo detekováno) a 28 % míru falešně pozitivních výsledků (287 z 1 013 pozorování bylo nesprávně klasifikováno jako orli). Přesnost detekce je přibližně 6–7krát vyšší než u lidských pozorovatelů (McClure et al. 2021). IdentiFlight poskytuje nejrozsáhlejší provozní datový soubor, i když současné systémy fungují pouze ve dne. V praxi se používá více než 520 instalací po celém světě (k roku 2025).

Provozovatelé mohou naprogramovat úroveň odstavení od jednotlivých turbín přes skupiny až po celé větrné farmy. Systémy se přímo integrují do sítí **SCADA** (Supervisory Control and Data Acquisition) pro automatické omezení bez lidského zásahu. Doba odezvy od detekce do bezpečného průletu je v průměru **35–43 sekund**: 5 sekund od detekce do klasifikace (IdentiFlight), následovaných 30–38 sekundami pro zpomalení turbíny na bezpečnou rychlost rotoru ≤ 2 –3 otáčky za minutu.

Asi největší nedostatek těchto chytrých systémů je **vysoká míra negativně pozitivních hlášení**. Například systém IdentiFlight vykazuje 28 % míru falešných poplachů, která se promítá do zbytečných odstavení a snižování provozní účinnosti. Neustálé vylepšování neuronové sítě AI postupně snižuje počet chybných klasifikací. Provozní cíle se zaměřují na $\leq 1\%$ ztráty výroby energie ze systémů SDOD, což je podstatně méně než u plošných omezení.

- **DTBird®** (Liquen Consultoría Ambiental, Španělsko) nabízí modulární konfigurace s HD 360° kamerami pro denní světlo a volitelným termovizním snímáním pro noční provoz. Řada FALCO (F4, F6, F8) se přizpůsobuje různým průměrům rotorů a zahrnuje moduly pro detekci, kontrolu kolizí, prevenci kolizí (akustické odpuzovače) a ověřování kontroly zastavení. Společnost DTBird, která působí od roku 2009 s více než 500 jednotkami ve více než 110 větrných farmách v 16 zemích, představuje nejrozsáhlejší evropský systém. Norské validační studie dokumentovaly 86–96% úspěšnost detekce cílových druhů, což poskytuje důkaz technické způsobilosti úrovně B (May et al. 2012).
- **Radarové systémy** doplňují kamery pro hromadnou detekci a noční provoz. **Robin Radar MAX®** (Nizozemsko) poskytuje 3D radar schopný současně sledovat tisíce ptáků, detekovat drobné pěvce na vzdálenost 2–3 km a husy na vzdálenost 5–6 km. Dalšími radarovými systémy jsou **MERLIN®** (DeTect Inc., USA) a systém **MUSE** (DHI, Dánsko).

(c) Účinnost u jednotlivých druhů

Dravci (orli, luňáci, káňata, supi) vykazují nejvyšší pokles míry mortality při omezení provozu elektráren. A to především díky předvídatelnému chování a větším rozměrům těla, které umožňují snadnou detekci jedinců z bezpečné vzdálenosti. Např. míra mortality orla skalního po zavedení omezení provozu klesla o 63–85 % (Huso a Dalthorp 2023) a supa bělohlavého o 65–93 % (Španělsko) (de Lucas et al. 2012; Ferrer et al. 2022).

Velcí plachtící ptáci, včetně čápů a jeřábů, jsou dobře detekovatelní během hromadné migrace pomocí radaru, přičemž souhrnné studie ze Španělska a Portugalska ukazují 60% snížení míry mortality (Tomé et al. 2017; Ferrer et al. 2022).

Použití je limitované u **menších, rychleji létajících druhů** (motáci, sokoli, pěvci), u nichž nemusí být doba odezvy od detekce (35–43 s) dostatečná.

Souhrn publikovaných článků z let 2015–2025 ukazuje, že omezení provozu je vyspělou a nákladově efektivní strategií zmírňování dopadů, která dosahuje 50–85% snížení mortality prioritních druhů při malých ztrátách vyrobené energie (1–3 %).

2.4. Konstrukční úpravy

2.4.1. Vizualní zviditelnění

Používání vizuálních prvků a opatření ke zvýšení viditelnosti větrných elektráren se řadí mezi minimalizační techniky zaměřené na zviditelnění turbín pro létající živočichy ve snaze předejít kolizím. Mezi nejpoužívanější metody patří:

(a) *Natírání listů rotoru*

Jako nejúčinnější vizuální prvek se podle terénních studií prokázalo **natírání listů rotoru**. Inspirací byly laboratorní studie, zejména studie týkající se poštolky pestré (*Falco sparverius*), které předpokládaly, že natření jednoho ze tří listů rotoru černou barvou by mohlo pomoci snížit rozostření rychle se pohybujících listů rotoru a doporučily otestovat použití této metody v terénu (Hodos 2003).

První terénní experiment s použitím přístupu Before-After-Control-Impact (BACI) ve větrné **elektrárně Smøla v Norsku** prokázal významné snížení roční mortality řady ptáků při natření listu rotoru o více než 70 % ve srovnání s nenatřenými kontrolními listy (výška náboje 70 m; průměr rotoru 80 m). Při pokusu byly srovnávány čtyři natřené listy rotoru se čtyřmi kontrolními, účinnost opatření byla následující: 100 % u orlů mořských (6 úmrtí před natřením, 0 po natření) a 70–87 % u ostatních dravců (May et al. 2020).

Natření listů rotoru pomáhá k jejich zviditelnění – rychle se pohybující objekty vnímají ptáci jako průhledné skvrny. Natěr vytváří na obloze tmavé pruhy, které dokážou ptáci zaregistrovat, což jim umožňuje vyhnout se lopatkám rotoru.

Následná studie BACI v areálu větrné elektrárny Eemshaven v **Nizozemsku však nezjistila žádný statisticky významný vliv** nabarvených listů rotoru na mortalita ptáků (včetně pěvců, racků a bahňáků). Možným vysvětlením tohoto rozporu je, že v tomto areálu nebyly černě natřené listy rotoru dostatečně kontrastní vůči pozadí (Kleyheeg-Hartman et al. 2025).

Čtyřletý terénní pokus v **jižní Africe** zkoumal účinnost vzoru **dvou širokých červených pruhů na jednom listu rotoru** (průměr 100 m). Vzor byl testován na čtyřech turbínách v druhově bohatém prostředí. Červená barva byla použita kvůli regulačním omezením leteckých úřadů. Vzory pak vycházely ze dvou laboratorních experimentů (Mclsaac 2001; Hodos 2003). Použitý vzor vedl k významnému poklesu mortality všech ptáků, v průměru o 80 %, přičemž u dravců byla předpokládaná mortalita snížena o 87 % (Simmons 2025).

Další studie potom zkoušely testovat složitější vzory s využitím biomimetiky. Nedávné laboratorní experimenty testovaly účinnost výstražných vzorů kombinujících červenou, černou a žlutou barvu na sýkoře koňadře (*Parus major*). Z testovaných vzorů: bílá, černá, červené pruhy, biomimetický vzor kombinující červenou, černou a žlutou napodobující aposematické zbarvení, se ptáci nejméně přibližovali k tomu napodobujícímu aposematické zbarvení. V případech, kdy se ke vzoru přiblížili, trvala reakce nejdéle ve srovnání s ostatními vzory. Výsledky ukazují, že využívání výstražných vzorů inspirovaných aposematickým zbarvením, kterému se mají ptáci tendenci vyhýbat, může zvýšit účinnost mitigačního opatření (Hancock et al. 2025).

(b) *Nátěr celé konstrukce*

Natření spodních 10 metrů věže větrných turbín u elektrárny ve Smøla snížilo počet kolizí bělokura rousného (*Lagopus lagopus*) o 48 %. Natření spodní části konstrukce pomáhá zvýšit viditelnost elektráren pro nízko létající druhy zejména tam, kde bílá/šedá základna věže obvykle splývá s okolní sněhovou pokrývkou a ptáci ji mohou lehce přehlédnout (Stokke et al. 2020).

Podle německého výzkumu pomáhá zabránit kolizím **natření báze věže sytě zelenou barvou**, která směrem nahoru postupně bledne. Předpokládá se, že to má význam pro hnízdící ptáky, kteří při vzletu nemusí ve své blízkosti nenatřenou šedou/bílou věž zaznamenat jako překážku (Gartman et al. 2016a).

2.5 Akustické odpuzovače

Využití akustických odpuzovačů se podle studií jeví jako účinná metoda, většina prací však jejich účinky testuje v laboratoři a není dostatek dat o jejich využití v praxi (Thady et al. 2022).

Systém **DTBird** používaný ve střední Evropě propojuje akustické odpuzovače s kamerou, která dokáže určit druh blížícího se ptáka, akustický odpuzovač následně vysílá druhově specifické varovné volání v rozmezí 4–8 kHz. Tyto frekvence jsou optimalizovány pro ptačí sluch, aby byly slyšitelné i ve větru. V současnosti však **chybí recenzované studie**, které by poskytovaly **informace o účinnosti těchto opatření** z hlediska míry snížení mortality.

Netopýři mají přirozenou tendenci vyhýbat se hluku, ať už pochází z přírodních (vysokofrekvenční zvuky proudící vody nebo hmyzu) nebo antropogenních zdrojů (hluk z dopravy). Hluky a šумы v okolí totiž mohou narušit schopnost netopýřů používat echolokaci k orientaci nebo detekci kořisti nebo pro ně představují rušivý element, kterému se netopýři vyhýbají (Gilmour et al. 2020).

K narušení echolokace netopýřů a vytvoření rušivého prostředí se používají ultrazvukové odpuzovače umístěné přímo na gondole, které vysílají frekvence 20–120 kHz při 120 dB (Weaver et al. 2020). Účinnost odpuzovačů se však výrazně liší podle druhu přítomných netopýřů a lokality.

Výzkum z větrné farmy Los Vientos v Texasu v USA uvádí snížení celkového počtu úhynu netopýřů o 50 % díky použití akustických odpuzovačů, u tadaridy guánové (*Tadarida brasiliensis*) byla mortalita snížena o 54 %, zatímco u netopýra šedého (*Lasiurus cinereus*) dokonce o 78 % (Weaver 2019). Studie z Illinois ukazuje nižší efektivitu, používání akustických odpuzovačů vedlo v letech 2014–2015 ke snížení míry mortality netopýřů o 29–32 % (Romano et al. 2019).

Některé výzkumy však naopak ukazují nárůst mortality určitých druhů netopýřů po instalaci ultrazvukových odpuzovačů na větrných elektrárnách. Výzkum z Ohia z roku 2025 ukázal, že se po instalaci odpuzovače zdvojnásobila míra mortalita netopýřů rudohnědých (Clerc et al. 2025). Jedná se o druh s vysokofrekvenčním voláním, který na větrných farmách v USA vykazuje nejvyšší míru mortality ze všech druhů netopýřů. Nárůst míry mortality může být způsoben dezorientací netopýřů nebo tím, že ultrazvukové odpuzovače lákají hmyz, který se netopýr následně snaží ulovit.

Používání akustických odpuzovačů může mít další negativní ekologické dopady. Netopýři mohou vytlačovat z oblastí, kde hledají potravu, odpočívají nebo z jejich migračních tras. Tyto změny mohou vést ke ztrátě jejich přirozeného prostředí, bariérovým efektům a omezenému přístupu k důležitým zdrojům. Akustické signály mohou navíc vyvolávat stresové reakce podobné těm, které způsobuje antropogenní hluk (Gilmour et al. 2020).

2.6 Podpůrná opatření

2.6.1. Úprava biotopů

Myšlenka úpravy biotopů je jednoduchá: omezit pro cílové druhy potravní nabídku a atraktivitu areálu větrných farem, aby se minimalizoval čas, který stráví v dosahu rotorů, čímž se sníží riziko kolize a následného úhynu.

(a) Lokální úprava biotopu

- **Snížení početnosti hlodavců** může být účinné pro snížení aktivity dravců v oblastech s větrnými elektrárnami (Garcia-Rosa a Tande 2023). Mezi konkrétní opatření spadá pravidelná seč vegetace v areálu, odstraňování nor a pravidelná správa přilehlé infrastruktury.

Rozorání půdy v oblasti kolem základny nejproblematičtějších turbín snížilo mortalita poštolky jižní o 75–100 %. Pokus probíhal na třech místech ve Španělsku a průměrné snížení mortality dosahovalo 86 %. (Pescador et al. 2019).

Toto opatření však vede i k vytlačení necílových ptáků z oblasti a může negativně ovlivňovat ostatní živočichy. Navíc se cílové druhy mohou v areálu elektráren nadále vyskytovat, pokud není terén upraven zásadním způsobem.

- V případě **netopýrů** je potřeba udržovat ochrannou zónu o šířce 50–100 m mezi okraji lesa a turbínami tak, aby se zamezilo vzniku úkrytů v rizikové blízkosti turbín. V okruhu 200 m je doporučováno odstranění všech stromů, které mohou být netopýry využívány (velké stromy s dutinami). Součástí péče o areál větrné elektrárny by měla být údržba remízků, živých plotů a dalších lineárních prvků, které by fungovaly jako koridory mezi jednotlivými habitaty a snižovaly riziko kolize živočichů s elektrárnou (Roeleke et al. 2016; Richardson et al. 2021).

(b) Zlepšení prostředí mimo areál elektrárny

- Vytvoření habitatů nebo zlepšení podmínek prostředí mimo větrné farmy může motivovat živočichy k přesunu do bezpečnějších oblastí. Mezi zdokumentované příklady takových opatření patří management pastvin, který podporuje výskyt kořisti a tím i aktivitu dravců mimo oblasti elektráren; vytváření mokřadů pro vodní ptactvo v lokalitách vzdálených od větrných farem; a instalace umělých hnízdních plošin nebo budek pro dravce a netopýry v oblastech mimo riziko kolize.
- Dravci preferují oblasti s vyšším výskytem kořisti. Ve Španělsku orli skalní (*Aquila chrysaetos*) preferovali oblasti s obnovenými populacemi divokých králíků (Paula et al. 2011). Provozovatelé větrných elektráren by měli zajistit, aby kořist byla hojnější v přilehlých oblastech než v blízkosti turbín. V opačném případě se může mortalita dravců v blízkosti elektráren zvýšit (Rasran et al. 2008).

Výběr lokality a územní plánování, prováděné prostřednictvím komplexního posouzení rizik, vhodných ochranných zón, strategického mikrosituování a aktivní údržby stanovišť, mohou snížit negativní dopad větrných farem na ptáky a netopýry o 60–80 %. Tento přístup založený na prevenci je nejen nejúčinnější strategií zmírňování dopadů, ale také ekonomicky nejvýhodnější, protože eliminuje potřebu nákladných mitigačních opatření. Avšak ani optimálně umístěné větrné farmy zcela neodstraní negativní dopady na volně žijící živočichy a nutnost zavedení dalších opatření k jejich minimalizaci.

2.7 Světelné zviditelnění turbín

Turbíny musí být z důvodu bezpečnosti letového provozu opatřeny signálními světly. Obvykle se jedná o blikající červená nebo bílá světla, ta však mohou nechtěně přilákat noční migrující ptáky, což potenciálně zvyšuje riziko kolize. Vliv osvětlení elektráren na volně žijící živočichy je druhově specifický a výsledky studií zabývajících se touto tematikou nejsou jednotné, což ztěžuje doporučení vhodných mitigačních opatření.

Ptáci migrující v noci reagují rozdílně na vlnovou délku signálních světel: desorientují a přitahují je červená (54 %) a bílá (60–81 %) světla zatímco minimální je vliv modrých (4–5 %) a zelených (12–27 %) světel (Poot et al. 2008). Věže, které používají pouze blikající světla, způsobují výrazně méně úmrtí ptáků než ty, které kombinují stálá a blikající světla. Na základě těchto pozorování se obecně doporučuje používat blikající bezpečnostní světla a upřednostňovat používání záření s kratší vlnovou délkou, aby se snížilo riziko kolizí (Gehring et al. 2009).

Reakce **netopýrů** na světelné označení elektráren je značně komplikovanější než u ptáků. Migrující netopýři vykazují fototaxi směrem ke specifickým vlnovým délkám, zejména červenému a zelenému světlu. Naopak směrem k teplému bílému světlu je fototaxe spíše slabá, i když se toto chování může lišit v závislosti na druhu a oblasti (Voigt et al. 2017, 2018). Studie srovnávající míry mortality u osvětlených a neosvětlených turbín v rámci jednoho areálu nezjistily žádný jasný nárůst mortality netopýrů u osvětlených turbín (Arnett et al. 2008). Tyto výsledky však mohou být zavádějící, protože signální světla mohou působit jako atraktanty a přitahovat netopýry k větrným farmám v prostorovém měřítku odpovídajícím jejich vizuální rozlišovací schopnosti a navigačním mechanismům. Tím mohou modifikovat jejich letové chování, například způsobovat dezorientované, nepravidelné či cirkulární letové trajektorie v bezprostřední blízkosti turbín.

Vzhledem k těmto nejasným výsledkům a druhově specifickým reakcím nelze jednoznačně doporučit obecná opatření. Pro snížení dopadů na ptáky se obecně jeví jako vhodnější použití blikající světla a vlnové délky kratší než červená světla. Aby bylo možné formulovat opatření vhodná ke snížení mortality jak ptáků, tak netopýrů však bude nutné pokračovat ve výzkumu jejich chování.

2.8 Opatření s neprokázanou účinností

Zatímco některá opatření ke zmírnění dopadů se ukázala jako účinná, řada navrhovaných technologií zůstává nedostatečně prozkoumaná, vykazuje nekonzistentní výsledky nebo je kontraproduktivní:

2.8.1. Vizuální odpuzovače pro netopýry

Terénní studie ukazují, že použití UV světla k odpuzení nevede k žádnému snížení mortality u ptáků ani u netopýrů. Recentní studie naznačují, že netopýry mohou dokonce přitahovat.

Rozsáhlá terénní studie nezjistila žádný statisticky významný rozdíl mezi aktivitou netopýrů v přítomnosti turbín s UV osvětlením a turbín bez něj (Cryan et al. 2021). Laboratorní experimenty potom ukazují, že se netopýři (konkrétně netopýr šedý (*Lasiurus cinereus*) a *Lasionycteris noctivagans*) při průletu bludištěm s dvěma možnými východy dvakrát častěji přibližovali k východu, na jehož konci byly bílé a vysoce reflexní listy rotoru odrážející okolní světlo než k východu s tmavými listy rotoru. Výsledky studie tak ukazují, že reflexe světla z turbín může působit jako senzorická past: netopýři jsou vizuálně přitahováni ke světlému povrchu, který mohou interpretovat jako otevřenou oblohu a čím víc se přibližují, tím větší plochu jejich zorného pole list rotoru zabírá (Jonasson et al. 2025). Studie z Wyomingu neprokázala, že by natírání turbín barvou odrážející UV záření vedlo ke snížení mortality ptáků (Young et al. 2003).

2.8.2. Elektromagnetické odpuzovače

Používání elektromagnetických odpuzovačů (EMF) zůstává zcela v teoretické rovině. Jejich účinnost nebyla u provozovaných větrných turbín prokázána. Počáteční slibný výzkum z let 2007–2009 nevedl za posledních 16 let k žádnému komerčnímu vývoji.

Nicholls a Racey (2007) ze Skotska zdokumentovali sníženou aktivitu netopýrů v okruhu 200 m od velkých radarů letového provozu a meteorologických radarů, kde je síla EMF >2 v/m. Autoři však výslovně uvedli, že opatření „má malý praktický význam pro prevenci kolizí netopýrů s listy rotoru turbín“. V závěru studie dále uvedli, že „V současné době neexistují žádné úspěšné pokusy o přímé zmírnění kolizí netopýrů s větrnými turbínami“. Následné testy s přenosnými radarovými systémy zjistily, že alespoň nějaký účinek vykazovaly pouze antény s pevným paprskem ve vzdálenosti 30 m. Rotující antény neměly na aktivitu netopýrů žádný významný vliv.

Dále zůstává nevyřešena základní technická překážka: aby byly odpuzovače efektivní vyžadovaly by vícesměrné signály EMF pokrývající celou oblast rotoru, což by spotřebovalo značné množství energie a činilo tak používání větrných elektráren ve výsledku neekologické. Tato technologie proto zůstává stále ve fázi koncepce.

2.8.3. Omezení provozu

Sezónní plošné omezení provozu se ukázalo jako neúčinné pro snížení mortality ptáků (Smallwood a Bell 2020).

Výzkum efektivnosti tohoto opatření ke snížení mortality orla skalního (*Aquila chrysaetos*) ve Wyomingu, při kterém bylo použito 24 kamerových systémů (IdentiFlight) v designu BACI s 44 turbínami (výška náboje 80 m; listy rotoru 50,5 m) sice ukázal snížení mortality o 82 % (McClure et al. 2021), Huso a Dalthorp (2023) však poukázali na chyby v použitých statistických metodách. Po opětovném vyhodnocení dat jim vyšla mortality nižší o 50 %, přičemž intervaly spolehlivosti byly v rozmezí -159 % až 89 %, což značí, že získané výsledky nelze brát jako důkaz vhodnosti opatření.

Shrnutí problematiky větrných elektráren

Účinná mitigace dopadů větrných elektráren na ptáky a netopýry vyžaduje kombinaci více přístupů, odvíjející se od konkrétního místa. Nejlevnějšími a nejefektivnějšími opatřeními jsou vhodný výběr stanovišť k výstavbě větrných elektráren mimo biologicky a ochranně cenná území a vytvoření dostatečně velké ochranné zóny. Strategické rozmístění turbín v rámci areálu větrné farmy potom může také výrazně přispět ke snížení mortality volně žijících živočichů. Tato opatření by měla být vždy prioritizována již ve fázi plánování výstavby. V případech, kdy není možné vybrat místo pro výstavbu může být jedním z doplňkových opatření aplikace výstražných vzorů na listy rotoru; přičemž ale účinnost tohoto opatření nelze na základě dosavadních studií generalizovat. U netopýrů se jako efektivní mitigační opatření ukázalo omezení provozu turbín v době vysoké aktivity netopýrů. Velké dravce pak dokáží efektivně chránit chytré systémy pro odstavení větrných elektráren založených na detekci výskytu zranitelných druhů pomocí kamer. Tato opatření jsou však finančně nákladná a měla by tak být použita pouze v oblastech s vysokým rizikem kolizí velkých dravců.

Úvod

Využívání fotovoltaických elektráren je opatřením ke snížení uhlíkových emisí. V současnosti jsou využívány především pozemní fotovoltaické elektrárny, které významným způsobem pozměňují krajinu. Vliv přeměny krajiny spojený s instalací solárních elektráren však není celosvětově dostatečně zkoumán. Pokud nebudou při výstavbách solárních elektráren zohledněny dopady na životní prostředí, hrozí, že tento rozvoj bude ohrožovat místní ekosystémy a způsobí pro přírodu nevratné škody. Mezi potenciální negativní dopady solárních elektráren patří zabírání půdy, ztráta biotopů, jejich fragmentace, znečištění a přímé usmrcování volně žijících živočichů.

Problematiku je tak nutné intenzivně zkoumat, aby se plně pochopily dopady vlivu solárních elektráren na volně žijící živočichy a mohla být zavedena vhodná mitigační opatření. Solární parky lze strategicky navrhovat a spravovat tak, aby se minimalizovaly škodlivé dopady na životní prostředí.

1. Vliv solárních elektráren

Cílem této kapitoly je podat obecný přehled o problematice využívání solárních elektráren, nikoli detailní rozbor jednotlivých technologií. S ohledem na aktuální rozvoj nejrůznějších forem fotovoltaiky (panely na střechách domů a průmyslových objektů, na okrajích dopravní infrastruktury, solární parky na zemědělské půdě, agrofotovoltaika, panely na vodních plochách atd.) existuje velmi široká škála dopadů, kterou je teprve nutné odborně zhodnotit. Problematice dopadů solárních elektráren se navíc věnuje ve srovnání s větrnými elektrárnami podstatně menší pozornost, zvláště pro Evropu existuje jen velmi málo studií zaměřených na tuto problematiku. Z toho důvodu vychází tento dokument také z vědeckých prací původem ze Severní Ameriky, které dávají alespoň přehled o spektru možných dopadů. Je nutné si uvědomit, že poznatky získané z těchto prací nemusí být přenositelné pro podmínky panující v České republice.

Solární energetická zařízení mohou způsobovat přímou **mortalitu volně žijících živočichů**. Jejich dopad se ale dramaticky liší v závislosti na technologii, umístění a dalších podmínkách. Výroba solární energie zahrnuje dvě hlavní technologie: systémy **koncentrované sluneční energie (CSP)** a **solární fotovoltaiku (PV)**. CSP využívá zrcadla k soustředění slunečního záření na centrální přijímače, čímž vytváří intenzivní teplo, které pohání turbíny. Fotovoltaické panely (PV) přeměňují sluneční záření přímo na elektřinu pomocí polovodičových článků. Riziko kolize se pro živočichy mezi těmito dvěma technologiemi zásadně liší. Zařízení CSP představují podstatně vyšší riziko mortality pro ptáky a netopýry kvůli koncentrovanému slunečnímu toku kolem věží, zatímco fotovoltaické systémy představují z hlediska míry kolizí nižší riziko. Vzhledem k tomu, že fotovoltaické systémy nyní dominují v odvětví evropské solární energetiky a jejich instalace se rychle rozšiřuje po celém světě, bude se tato zpráva zaměřovat pouze na tento typ solární energie.

1.1 Ztráta a přeměna stanovišť

Při instalaci fotovoltaických zařízení dochází přímo k záboru a přeměně stanovišť v důsledku úprav terénu, odstraňování vegetačního pokryvu a budováním umělé infrastruktury. Pozemní fotovoltaické instalace vyžadují 3,2–4 hektary na megawatt. Splnění solárních cílů EU do roku 2030 by tím pádem vyžadovalo zastavení přibližně 3 % evropských otevřených stanovišť (164 789 km²) (Beatty et al. 2017). Ve Velké Británii bylo 95 % solárních farem instalováno na původně zemědělskou půdu (Kiesecker et al. 2024).

Instalace panelů způsobuje dramatické změny mikroklimatu stanoviště (Li et al. 2025):

- Snížení teploty půdy o 4–5 °C v létě (zvýšení o 1,7 °C v zimě)
- Pod panely je sníženo množství dopadajícího světla o 43–95 %
- Déšť dopadající na panely stéká a koncentruje se na jejich okrajích.
- Změna vlhkosti a rychlosti větru

Instalace solárních zařízení zároveň vede k fragmentaci krajiny. Přibližně 57 % instalovaných zařízení je oploceno, což vytváří pro pohyb řady volně žijících živočichů v krajině neprostupnou bariéru. Analýzy na úrovni krajiny ukazují, že středně velké instalace fotovoltaiky způsobují neúměrně vysokou fragmentaci habitatů kvůli jejich nepravidelnému rozmístění. Kumulativní vliv více dílčích instalací však zůstává často v hodnoceních vlivu fotovoltaik na životní prostředí nezjištěn, protože se většinou zabývají jednotlivými instalacemi (Lafitte et al. 2022; Gómez-Catasús et al. 2024).

1.2 Přímá mortalita

Odrážení polarizovaného světla představuje hlavní mechanismus, kvůli kterému dochází v blízkosti solárních panelů k úhynům volně žijících živočichů. Ptáci a hmyz adaptovaní k životu v blízkosti vody využívají polarizované světlo k orientaci při hledání vodních ploch (Gómez-Catasús et al. 2024). V případě vodních ploch je stupeň polarizace 30–70 %. Povrch fotovoltaických panelů však může polarizované světlo odrážet s takovou intenzitou, která převyšuje stupeň polarizace u vodních ploch (může se blížit 100 %) a silně tak přitahovat živočichy, kterým se jeví jako vodní hladina (Horváth et al. 2010; Fleming 2025).

Záměna fotovoltaik s vodní hladinou představuje riziko především pro vodní ptáky, kteří nedokáží vzlétnout ze země a potřebují tak přistát na vodní hladině jako např. potápky a potáplice (Smallwood 2022).

1.2.1 Odhadovaná mortalita

Dopady využívání solárních fotovoltaických zařízení na volně žijící živočichy jsou různorodé od zaboru stanovišť, fragmentace prostředí, změny potravní nabídky stanoviště a přímé mortality v důsledku kolizí s panely, které mohou být zaměňovány za vodní hladinu (tzv. „efekt jezera“).

V pouštích Severní Ameriky představuje míra mortality v důsledku kolize s fotovoltaikou 1,82–2,49 ptáků na MW ročně. Nejvíce jsou ohroženi vodní ptáci, kteří zamění lesknoucí se povrch fotovoltaik s vodní hladinou odrážející sluneční záření, tzv. „efekt jezera“ (Kosciuch et al. 2021). Pokud se berou v úvahu i důsledky přeměny biotopů při výstavbě (terénní úpravy, čištění pozemku), může být celkový úbytek ptáků dvakrát vyšší než mortalita v důsledku kolizí, přičemž podle studií z Kalifornie lze až 53 % mortality odůvodnit ničením biotopů (Smallwood 2022). Tyto poznatky však nejsou dost dobře přenositelné do podmínek střední Evropy, kde se problematika týká především zemědělských ploch, vzhledem k rozdílným druhům a podmínkám stanovišť.

Na základě extrapolace údajů z amerických studií se odhaduje, že v blízkosti solárních zařízení každoročně uhynie po celém světě 17,3 milionu ptáků (Fleming 2025).

1.2.2 Nejvíce postižené druhy

Je potřeba zdůraznit, že většina dostupných údajů o mortality ptáků v blízkosti solárních zařízení pochází z USA, zejména z rozsáhlých elektráren instalovaných v pouštích v Kalifornii a jihozápadních státech. Získané poznatky z těchto oblastí tak nemusí být přímo přenositelná do podmínek střední Evropy kvůli zásadním rozdílům v krajinném kontextu (poušť a

zemědělská krajina), charakteristikách zařízení (velké solární parky a menší instalace), klimatu a především v druhovém složení.

Vodní ptáci

Fotovoltaické elektrárny mají vliv především vodní ptáky, kteří jsou přitahováni polarizovaným světlem. Data o mortalitě ptáků jsou dostupná především z USA, pro Evropu jsou velmi omezená.

Hlavním mechanismem, kvůli kterému dochází k úhynu ptáků v blízkosti solárních elektráren mortality je tzv. „efekt jezera“, při kterém ptáci zamění tmavý povrch fotovoltaiky odrážející polarizované světlo za vodní hladinu. Většina údajů o mortalitě tak zahrnuje vodní ptáky (Horváth et al. 2010). V blízkosti amerických solárních elektráren byla nejvyšší mortalita zjištěna u potápivých a brodivých ptáků, zejména u potápky černokrké (*Podiceps nigricollis*, 64 % zjištěných případů), lysky americké (*Fulica americana*) a potápnice lední (*Gavia immer*). U volavky stříbřité (*Egretta garzetta*) a volavky bílé (*Ardea alba*) byly dokonce pozorovány pokusy napít se z povrchu panelů (Kosciuch et al. 2020). V podmínkách Evropy lze předpokládat zranitelnost u podobných druhů ptáků vzhledem k jejich ekologii a orientaci pomocí polarizovaného světla.

Míra mortality vodních ptáků je zvýšená, pokud se v blízkosti solárních elektráren nachází vodní tělesa jako rybníky, jezera nebo mokřady (Kosciuch et al. 2020).

Terestrickí ptáci

Z terestrických ptáků byla v USA (konkrétně jižní Kalifornie) zaznamenána největší mortalita u hrdličky karolinské (*Zenaida macroura*), lesňáčka žlutokorunkatého (*Setophaga coronata*) a lesňáčka žlutého (*Setophaga petechia*) (Conkling et al. 2022). Tyto druhy se živí semeny a hmyzem, do panelů tak pravděpodobně naráží, když hledají potravu a létají nízko.

Polská studie vlivu fotovoltaik na ptáky naopak zjistila u malých instalací (< 5,3 ha) v zemědělské krajině pozitivní vliv na biodiverzitu drobných pěvců, především strnad luční (*Emberiza calandra*) a bramborníček hnědý (*Saxicola rubetra*) se v blízkosti fotovoltaik vyskytovali ve zvýšeném počtu. Skřivan polní (*Alauda arvensis*) se naopak oblastem se solárními panely vyhýbal (Golawski et al. 2025).

Netopýři

Netopýři jsou v Evropě výstavbou fotovoltaických zařízení ovlivňováni na úrovni populací. Britská studie zabývající se vlivem pozemních fotovoltaických instalací na aktivitu netopýřů zjistila negativní vliv u šesti druhů netopýřů z osmi, pravděpodobně v důsledku fragmentace prostředí. Nejvíce byl ovlivněn netopýř hvízdavý (*Pipistrellus pipistrellus*) a netopýři rodu *Nyctalus* (Tinsley et al. 2023). Studie z Maďarska potom ukázala sníženou aktivitu a výskytu ochranně cenných druhů netopýřů (rod *Myotis*, netopýř černý (*Barbastella barbastellus*)), zatímco u druhů netopýřů vyskytujících se v zemědělské krajině se míra aktivity nezměnila (Szabadi et al. 2023).

Hmyz

Povrch fotovoltaických panelů může odrážet polarizované světlo s takovou intenzitou, kterou hmyz vyhodnotí jako vodní hladinu. Solární panely polarizují odražené světlo téměř úplně (stupeň polarizace se blíží 100 %) a výrazně tak převyšují typické odrazy polarizace od přirozených vodních ploch (stupeň polarizace 30–70 %). Hmyz, který klade vajíčka do vody a orientuje se podle odraženého polarizovaného světla, tak může být k fotovoltaikám přitahován a klást na ně. Při určitém natočení může být hmyz přitahován dokonce 10–26krát více

v porovnání s vodní plochou (Diehl et al. 2024). Nejvíce ovlivněny jsou jepice (*Ephemeroptera*), chrostíci (*Trichoptera*), lupice (*Dolichopodidae*) a ovádi (*Tabanidae*). Přitahovány potom dále mohou být i vážky (*Odonata*), pakomáři (*Chironomidae*), řada vodních brouků (*Coleoptera*) a skrytorozí (*Nepomorpha*). Toto chování následně vede k reprodukčnímu selhání a může negativně ovlivňovat početnost populací a v nejhorším scénáři vést až k jejich kolapsu (Horváth et al. 2010).

Fotovoltaika tak mohou působit jako ekologická past a mít negativní kaskádovitý efekt. Zvýšená přítomnost hmyzu může v důsledku přitahovat hmyzožravé ptáky jako je konipas bílý (*Motacilla alba*), konipas luční (*Motacilla flava*) nebo sýkora koňadra (*Parus major*), kterým při lovu hrozí kolize s fotovoltaikou. Pro zjištění rizikovosti pro hmyzožravé ptáky je nutný další výzkum.

1.3 Další vlivy

Vliv na biodiverzitu: Studie vlivu fotovoltaik na ptáky z Polska zjistila v případě malých instalací (<5,3 ha) v zemědělské krajině pozitivní vliv na biodiverzitu drobných pěvců, především strnad luční (*Emberiza calandra*) a bramborníček hnědý (*Saxicola rubetra*), jejichž počty v Evropě klesají, se v blízkosti fotovoltaik vyskytovali ve zvýšeném počtu. Skřivan polní (*Alauda arvensis*) se naopak oblastem se solárními panely vyhýbal (Golawski et al. 2025). Podobný pozitivní vliv přítomnosti fotovoltaik na biodiverzitu zjistil i Jarčuška et al. (2024). Valera et al. (2024) však práce kritizoval z důvodu krátké doby pozorování vlivu fotovoltaik na biodiverzitu, která nemusí ukazovat skutečný vliv, ale pouze krátkodobý trend.

Důsledky pro opylovače: V důsledku změny mikroklimatu pod instalovanými fotovoltaikami může dojít k posunu kvetení rostlin až o několik měsíců a tím pádem i k narušení synchronizace mezi dobou aktivity opylovačů a dobou kvetení rostlin (Lafitte et al. 2022).

2. Opatření pro snížení negativního vlivu solárních elektráren

Mitigační opatření mají za cíl snížit rizika, která představuje infrastruktura a provoz solárních zařízení pro volně žijící živočichy. Účinnost jednotlivých opatření se ale liší v závislosti na tom, jaké jsou příčiny mortality dotčených druhů.

2.1 Strategický výběr lokality

Strategický výběr lokality představuje nejúčinnější opatření, které může významným způsobem zabránit negativním dopadům na volně žijící živočichy a představuje zároveň i jedno z nejlevnějších opatření. Výběr vhodné lokality pro výstavbu solární elektrárny v průběhu fáze plánování je kritický i z toho hlediska, že se od něj odvíjí nutnost uplatňování dalších mitigačních opatření po celou dobu životnosti zařízení.

Směrnice IUCN doporučují vyhýbat se chráněným oblastem, územím významné biologické rozmanitosti (Key Biodiversity Areas), migračním koridorům a polopřirozeným travnatým plochám (Bennun et al. 2021). Výstavba by měla být směřována do oblastí již silněji ovlivněných člověkem jako jsou degradované a intenzivně obhospodařované zemědělské plochy a brownfieldy. Výstavba fotovoltaických elektráren na degradovaných stanovištích může hrát za určitých podmínek roli v posilování biodiverzity (Visser et al. 2019).

2.2. Mitigační opatření během výstavby

Omezení termínu výstavby: Pro eliminaci negativních dopadů stavby je klíčové důsledné naplánování přípravy staveniště a hlavní výstavby mimo období rozmnožování ptáků (březen–srpen), období rozmnožování obojživelníků (březen–červen) a období hibernace plazů (listopad–únor), což eliminuje negativní dopady na jejich populace a ničení jejich hnízd.

Opatření vyžaduje pouze flexibilitu při plánování bez dodatečných nákladů a projekty ve Velké Británii prokazují zotavení společenstev během 1–3 let v kombinaci s rychlou obnovou vegetace (Bennun et al., 2021).

Fázová výstavba: Rozdělení výstavby do jednotlivých menších fází zaručí, že v areálu budou živočichům k dispozici klidové zóny, do kterých se mohou přesunout.

2.3 Úpravy konstrukce panelů

Aplikace antireflexních vrstev představuje jediné technicky ověřené řešení pro snížení polarizace. Laboratorní studie prokázaly, že snižují polarizaci až o 12 % (Száz et al. 2016). Komerční panely stále častěji využívají antireflexní vrstvy, které snižují míru odlesků a pomáhají zvyšovat propustnost světla a tím i celkovou účinnost fotovoltaického modulu. Opatření je tak výhodné i z ekonomického hlediska. V době tvorby tohoto dokumenty však nejsou k dispozici žádné studie, které by porovnávaly dopad tohoto ošetření na míru mortality živočichů.

Začlenění **bílé mřížky z nepolarizujícího materiálu** na povrch solárních panelů vedlo ke snížení jejich přitažlivosti pro vodní hmyz o 80–95 %, přičemž toto opatření bylo účinné pro více taxonů (jepice, chrostíci, komáři). Solární aktivní plocha se tímto opatřením snížila jen o 2–3 %. Účinná tloušťka linie mřížky je 1–5 mm, přičemž maximálního účinku bylo dosaženo, když nepolarizující povrch pokrýval 2–6 % plochy panelu. Účinnost opatření potvrdily terénní studie z Evropy i Severní Ameriky (Black a Robertson 2020). V době tvorby tohoto dokumenty však nejsou k dispozici žádné větší studie, které by testovaly účinnost opatření u velkokapacitních solárních elektráren.

2.4 Další mitigační opatření

2.4.1 Oplocení šetrné k volně žijícím živočichům

Oplocení je nezbytné pro zabezpečení areálu, ale neprůchozí konstrukce mohou vytvářet bariéry, případně uvěznit živočichy, kterým se podaří proniknout do areálu. Ohrožení jsou zejména velcí ptáci, kteří dávají přednost běhu před létáním (jako je např.: kukačka kohoutí (*Geococcyx californianus*)). Oplocení areálu solární elektrárny by mělo být upraveno tak, aby se minimalizoval bariérový efekt pro malé a středně velké suchozemské živočichy (Fleming 2025).

Využití oplocení umožňující lepší průchodnost pro volně žijící živočichy bylo úspěšně testováno v Nevadě. Cíleně vytvořené otvory (např. 25 cm široké a 18 cm vysoké) umožnily průchod želvám, hadům a liškám (Fleming 2025).

2.4.2 Management stanovišť

Vhodnou péčí o areály fotovoltaických elektráren lze vytvořit stanoviště, která podporují biodiverzitu a výskyt cílových druhů. Zároveň je nezbytné, aby management stanovišť nezvyšoval riziko přímé mortality živočichů. Některé prvky areálu fotovoltaických elektráren mohou působit jako atraktivní stanoviště, **avšak současně představovat rizikové prostředí** (např. v důsledku kolizí nebo nevhodných mikrohabitatových podmínek). Management by proto měl usilovat o omezení atraktivity takových prvků pro rizikové skupiny organismů.

Příkladem stanoviště podporujícího biodiverzitu může být **založení květnatých luk** a ponechání vysoké vegetace v areálu fotovoltaických elektráren namísto použití běžných travních směsí, které vedlo významným způsobem ke zvýšení početnosti opylovačů, přičemž pozitivní vliv sahal až 1 km za hranice elektrárny (Blaydes et al. 2022).

Dalším příkladem možného managementu stanoviště může být tzv. **agrovoltaika**, tedy kombinace využívání pozemku k produkci solární energie a zemědělskou výrobu. Studie

z Německa, která modelovala dopad různých opatření pro zlepšení stanovišť v areálu solárních elektráren jako např. integraci zatravněných oblastí, remízků a stromů, kombinaci pěstování jednoletých plodin a hortikultury na ekosystémové služby (opylování, zadržování vody v krajině, snížení eroze, sekvestrace uhlíku) zjistila významný pozitivní dopad těchto opatření (Ludzuweit et al. 2025).

Zakládání remízků pomáhá zvyšovat konektivitu krajiny pro živočichy a zároveň poskytuje ptákům místo na hnízdění. Při zakládání je vhodné vysazovat původní dřeviny. Vhodné je ponechat okraje areálu elektrárny zarůst vysokou vegetací (optimální šířka 4 metry), která představuje vhodné prostředí pro ptáky hnízdící na zemi. Mezi další prvky podporující biodiverzitu patří vytváření vodních ploch pro obojživelníky (často v kombinaci s odvodňovacími požadavky) a úkrytů pro plazy (Montag et al. 2016).

Pastva ovčí představuje další vhodné opatření podporující biodiverzitu. Je však nezbytné pečlivé načasování zásahů a stanovení přiměřené intenzity pastvy. Načasování pastvy by se mělo odvíjet od biologie cílových druhů na lokalitě – doba pastvy se bude lišit podle toho, jestli jsou cílovými druhy rostliny nebo hmyz.

2.4.3 Monitoring

Vzhledem k nedostatečné prozkoumanosti problematiky vlivu solárních elektráren na prostředí a volně žijící živočichy je k posouzení účinnosti mitigačních opatření nezbytné pokračovat v monitoringu. Sběr dat by měl být komplexní a metodicky standardizovaný (např. zahrnovat BACI studie nebo analýzy dopadů), aby bylo možné spolehlivě vyhodnocovat efektivitu a dopad implementovaných zásahů. Na základě monitoringu lze stanovit vhodný management zaměřený na dlouhodobé udržení životaschopných populací prioritních druhů volně žijících živočichů. Potřeba monitoringu je zvláště naléhavá vzhledem k přetrvávajícím mezerám ve znalostech o specifických dopadech a rozdílným výsledkům v jednotlivých geografických regionech.

Mezery v dosavadních znalostech

Zdroje informací pro tento dokument představují především studie z různých částí Evropy, v rámci České republiky však většinou podobné studie chybí. U problematiky vlivu solárních elektráren na stanoviště a živočichy byly použity i americké studie vzhledem k tomu, že toto téma není v rámci Evropy dostatečně zkoumáno.

V případě problematiky vlivu větrných elektráren na mortalitu živočichů (především ptáků a netopýrů) neexistují v době tvorby tohoto dokumentu žádné studie pro Českou republiku. Uváděné dopady a vhodná mitigační opatření tím pádem vychází z dat ze studií z Evropy a nemusí tím pádem přesně odpovídat situaci v českém prostředí.

Další limitaci představuje fakt, že většina citovaných prací zkoumá vliv jednotlivých zařízení izolovaně. S rostoucí hustotou větrných farem ve střední Evropě se ovšem negativní dopady jednotlivých zařízení jako je bariérový efekt, zábor biotopů nebo riziko kolizí mohou sčítat a ve výsledku ovlivňovat živočichy na úrovni populací. Potenciální kumulativní dopady však nelze jednoduše z těchto prací odhadnout.

Většina studií věnujících se účinnosti mitigačních opatření je hodnotila u turbín s výškou 80–120 m a průměrem rotoru 80–100 m. Moderní větrné elektrárny, které mají být v České republice instalované, jsou ovšem větší s výškou náboje 150–200 m. Riziko míry kolize živočichů s těmito elektrárnami, účinnost detekčních systémů nebo cíleného omezení provozu se mohou u těchto novějších modelů lišit.

Přestože mezinárodní studie ukazují, že cílené omezení provozu představuje účinné a vhodné opatření ke snížení mortality ptáků a netopýrů v areálu větrných elektráren, algoritmy vyvinuté v Německu nebo v USA by bylo nutné upravit, aby odpovídaly podmínkám panujícím v České republice. Odlišné druhové složení, chování a doba migrace živočichů a meteorologické podmínky mohou způsobit, že bez kalibrací nebudou algoritmy fungovat optimálně. Podobně bude nutné otestovat i účinnost detekčních systémů jako IdentiFlight a DTBird protože jejich schopnost rozpoznat druhy závisí na velikosti a chování ptáků a na charakteru krajiny.

Účinnost natírání listů rotoru různými vzory bude rovněž nutné otestovat, protože účinnost opatření se liší podle použitého vzoru a podmínek prostředí. V Norsku například mortalita ptáků výrazně snížilo natření listu rotoru černou barvou, ale v Nizozemsku nemělo stejné opatření žádný účinek, pravděpodobně kvůli nedostatečnému kontrastu vůči pozadí, vzhledem k umístění elektrárny.

Výzkum vlivu využívání solární energetiky na životní prostředí výrazně zaostává za výzkumem vlivu využívání větrné energetiky na celosvětové úrovni. Mechanismus „efektu jezera“ je dobře zdokumentován, ale chybí kvantitativní údaje o tom, jak se atraktivita pro hmyz mění v závislosti na úhlu panelů, typu povrchové úpravy a okolní krajině. Dlouhodobé studie o vlivu hospodaření v areálech fotovoltaických elektráren na biodiverzitu prakticky neexistují, navzdory rozšířeným doporučením pro výsadbu druhově bohatých regionálních směsí a implementaci pastvy. Ještě zásadnější je neznalost kumulativních dopadů v krajinném měřítku – zda více malých solárních zařízení způsobuje větší fragmentaci než menší počet velkých zařízení.

Standardizace metodiky monitoringu představuje další kritickou mezeru, která se týká jak větrných, tak solárních zařízení. Odhady mortality živočichů se značně liší v závislosti na intenzitě vyhledávání, velikosti monitorované plochy, způsobu výpočtu uhynulých jedinců odstraněných predátory a předpokladech o tom, jak dlouho lze kadávery na lokalitě nalézt. Tyto nesrovnalosti komplikují a znesnadňují porovnávání výsledků napříč studiemi.

CITOVANÉ ZDROJE

- Amorim, F. 2012. Factors Influencing Bat Activity and Mortality at a Wind Farm in the Mediterranean Region. *Acta Chiropterologica*. 14(2):439. DOI: 10.3161/150811012X661756.
- Andrew, A.C., Higgins, C.W., Smallman, M.A., Graham, M. & Ates, S. 2021. Herbage Yield, Lamb Growth and Foraging Behavior in Agrivoltaic Production System. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 5. DOI: 10.3389/fsufs.2021.659175.
- Arnett, E.B., Brown, W.K., Erickson, W.P., Fiedler, J.K., Hamilton, B.L., Henry, T.H., Jain, A., Johnson, G.D., et al. 2008. Patterns of Bat Fatalities at Wind Energy Facilities in North America. *The Journal of Wildlife Management*. 72(1):61–78. DOI: 10.2193/2007-221.
- Atienza, J.C., Martín Fierro, I., Infante, O., Valls, J. & Domínguez, J. 2014. *Guidelines for Assessing the Impact of Wind Farms on Birds and Bats*. Report by SEO/BirdLife. Report for BirdLife International.
- Arnett, E.; Baerwald, E.; Mathews, F.; Rodrigues, L.; Rodríguez-Durán, A.; Rydell, J.; Villegas-Patraca, R.; Voigt, C. (2016). Impacts of Wind Energy Development on Bats: A Global Perspective In *Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World* (pp. 295-323). Springer.
- AVIF.(2025).AVIF. [https://avif.birds.cz/search/items?filter=%7B"minRarityLevel":30,"dateNDays":365%7D](https://avif.birds.cz/search/items?filter=%7B%22minRarityLevel%22%3A30%2C%22dateNDays%22%3A365%7D)
- Balotari-Chiebao, F., Brommer, J.E., Niinimäki, T. & Laaksonen, T. 2016. Proximity to wind-power plants reduces the breeding success of the white-tailed eagle. *Animal Conservation*. 19(3):265–272. DOI: 10.1111/acv.12238.
- Barré, K., Le Viol, I., Bas, Y., Julliard, R. & Kerbiriou, C. 2018. Estimating habitat loss due to wind turbine avoidance by bats: Implications for European siting guidance. *Biological Conservation*. 226:205–214. DOI: 10.1016/j.biocon.2018.07.011.
- Barrios, L. & Rodríguez, A. 2004. Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines: Bird mortality at wind power plants. *Journal of Applied Ecology*. 41(1):72–81. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2004.00876.x.
- Beatty, B., Macknick, J., McCall, J., Braus, G. & Buckner, D. 2017. Native Vegetation Performance under a Solar PV Array at the National Wind Technology Center. (NREL/TP--1900-66218, 1357887). DOI: 10.2172/1357887.
- Behr, O., Brinkmann, R., Hochradel, K., Mages, J., Korner-Nievergelt, F., Niermann, I., Reich, M., Simon, R., et al. 2017. Mitigating Bat Mortality with Turbine-Specific Curtailment Algorithms: A Model Based Approach. In *Wind Energy and Wildlife Interactions: Presentations from the CWW2015 Conference*. J. Köppel, Ed. Cham: Springer International Publishing. 135–160. DOI: 10.1007/978-3-319-51272-3_8.
- Bennun, L., Van Bochove, J., Ng, C., Fletcher, C., Wilson, D., Phair, N. & Carbone, G. 2021. Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development: guidelines for project developers. IUCN, International Union for Conservation of Nature. DOI: 10.2305/IUCN.CH.2021.04.en.

- Black, T.V. & Robertson, B.A. 2020. How to disguise evolutionary traps created by solar panels. *Journal of Insect Conservation*. 24(2):241–247. DOI: 10.1007/s10841-019-00191-5.
- Blaydes, H., Potts, S.G., Whyatt, J.D. & Armstrong, A. 2021. Opportunities to enhance pollinator biodiversity in solar parks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 145:111065. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111065.
- Blaydes, H., Gardner, E., Whyatt, J.D., Potts, S.G. & Armstrong, A. 2022. Solar park management and design to boost bumble bee populations. *Environmental Research Letters*. 17(4):044002. DOI: 10.1088/1748-9326/ac5840.
- Boonman, M. 2018. Mitigation measures for bats in offshore wind farms Evaluation and improvement of curtailment strategies.
- Bose, A., Dürr, T., Klenke, R.A. & Henle, K. 2020a. Assessing the spatial distribution of avian collision risks at wind turbine structures in Brandenburg, Germany. *Conservation Science and Practice*. 2(6):e199. DOI: 10.1111/csp2.199.
- Bose, A., Dürr, T., Klenke, R.A. & Henle, K. 2020b. Predicting strike susceptibility and collision patterns of the common buzzard at wind turbine structures in the federal state of Brandenburg, Germany. *PLOS ONE*. 15(1):e0227698. DOI: 10.1371/journal.pone.0227698.
- Clerc, J., Huso, M., Schirmacher, M., Whitby, M. & Hein, C. 2025. Ultrasonic deterrents provide no additional benefit over curtailment in reducing bat fatalities at an Ohio wind energy facility. *PLOS ONE*. 20(5):e0318451. DOI: 10.1371/journal.pone.0318451.
- Conkling, T.J., McClure, C.J.W., Cuadros, S., Loss, S.R. & Katzner, T.E. 2022. Limited rigor in studies of raptor mortality and mitigation at wind power facilities. *Biological Conservation*. 275:109707. DOI: 10.1016/j.biocon.2022.109707.
- Costanzo, G., Brindley, G. & Tardieu, P. 2025. Wind energy in europe: 2024 statistics and the outlook for 2025-2030. *Wind Europe*, Brussels, Belgium.
- Cryan, Paul.M., Gorresen, P.M., Hein, C.D., Schirmacher, M.R., Diehl, R.H., Huso, M.M., Hayman, D.T.S., Fricker, P.D., et al. 2014. Behavior of bats at wind turbines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 111(42):15126–15131. DOI: 10.1073/pnas.1406672111.
- Cryan, P.M., Gorresen, P.M., Straw, B.R., Thao, S. (Simon) & DeGeorge, E. 2021. Influencing Activity of Bats by Dimly Lighting Wind Turbine Surfaces with Ultraviolet Light. *Animals: an Open Access Journal from MDPI*. 12(1):9. DOI: 10.3390/ani12010009.
- Dahl, E.L., Bevanger, K., Nygård, T., Røskaft, E. & Stokke, B.G. 2012. Reduced breeding success in white-tailed eagles at Smøla windfarm, western Norway, is caused by mortality and displacement. *Biological Conservation*. 145(1):79–85. DOI: 10.1016/j.biocon.2011.10.012.
- Dai, K., Bergot, A., Liang, C., Xiang, W.-N. & Huang, Z. 2015. Environmental issues associated with wind energy – A review. *Renewable Energy*. 75:911–921. DOI: 10.1016/j.renene.2014.10.074.
- De Lucas, M., Janss, G.F.E., Whitfield, D.P. & Ferrer, M. 2008. Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. *Journal of Applied Ecology*. 45(6):1695–1703. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2008.01549.x.

- Diehl, R., Robertson, B. & Kosiuch, K. 2024. Investigating the “Lake Effect” Influence on Avian Behavior From California’s Utility-Scale Photovoltaic Solar Facilities. California Energy Commission. (CEC-500-2024-055).
- Drewitt, A.L. & Langston, R.H.W. 2006. Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis*. 148(s1):29–42. DOI: 10.1111/j.1474-919X.2006.00516.x.
- Ellerbrok, J.S., Delius, A., Peter, F., Farwig, N. & Voigt, C.C. 2022. Activity of forest specialist bats decreases towards wind turbines at forest sites. *Journal of Applied Ecology*. 59(10):2497–2506. DOI: 10.1111/1365-2664.14249.
- Ellerbrok, J.S., Farwig, N., Peter, F. & Voigt, C.C. 2024. Forest bat activity declines with increasing wind speed in proximity of operating wind turbines. *Global Ecology and Conservation*. 49:e02782. DOI: 10.1016/j.gecco.2023.e02782.
- Erickson, W.P., Wolfe, M.M., Bay, K.J., Johnson, D.H. & Gehring, J.L. 2014. A Comprehensive Analysis of Small-Passerine Fatalities from Collision with Turbines at Wind Energy Facilities. *PLOS ONE*. 9(9):e107491. DOI: 10.1371/journal.pone.0107491.
- Estellés-Domingo, I. & López-López, P. 2025. Effects of wind farms on raptors: A systematic review of the current knowledge and the potential solutions to mitigate negative impacts. *Animal Conservation*. 28(3):334–352. DOI: 10.1111/acv.12988.
- Everaert, J. 2014. Collision risk and micro-avoidance rates of birds with wind turbines in Flanders. *Bird Study*. 61(2):220–230. DOI: 10.1080/00063657.2014.894492.
- Farfán, M.Á., Díaz-Ruiz, F., Duarte, J., Martín-Taboada, A. & Muñoz, A.-R. 2023. Wind farms and Griffon Vultures: Evidence that under certain conditions history is not-always turbulent. *Global Ecology and Conservation*. 48:e02728. DOI: 10.1016/j.gecco.2023.e02728.
- Ferrer, M., Alloing, A., Baumbush, R. & Morandini, V. 2022. Significant decline of Griffon Vulture collision mortality in wind farms during 13-year of a selective turbine stopping protocol. *Global Ecology and Conservation*. 38:e02203. DOI: 10.1016/j.gecco.2022.e02203.
- Fleming, P.A. 2025. All that glitters – Review of solar facility impacts on fauna. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 224:115995. DOI: 10.1016/j.rser.2025.115995.
- Foo, C.F., Bennett, V.J., Hale, A.M., Korstian, J.M., Schildt, A.J. & Williams, D.A. 2017. Increasing evidence that bats actively forage at wind turbines. *PeerJ*. 5:e3985. DOI: 10.7717/peerj.3985.
- Frick, W.F., Kingston, T. & Flanders, J. 2020. A review of the major threats and challenges to global bat conservation. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1469(1):5–25. DOI: 10.1111/nyas.14045.
- Garcia-Rosa, P.B. & Tande, J.O.G. 2023. Mitigation measures for preventing collision of birds with wind turbines. *Journal of Physics: Conference Series*. 2626(1):012072. DOI: 10.1088/1742-6596/2626/1/012072.
- Gartman, V., Bulling, L., Dahmen, M., Geißler, G. & Köppel, J. 2016a. Mitigation Measures for Wildlife in Wind Energy Development, Consolidating the State of Knowledge — Part 1:

Planning and Siting, Construction. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*. 18(03):1650013. DOI: 10.1142/S1464333216500137.

Gartman, V., Bulling, L., Dahmen, M., Geißler, G. & Köppel, J. 2016b. Mitigation Measures for Wildlife in Wind Energy Development, Consolidating the State of Knowledge — Part 2: Operation, Decommissioning. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*. 18(03):1650014. DOI: 10.1142/S1464333216500149.

Gaultier, S.P., Blomberg, A.S., Ijäs, A., Vasko, V., Vesterinen, E.J., Brommer, J.E. & Lilley, T.M. 2020. Bats and Wind Farms: The Role and Importance of the Baltic Sea Countries in the European Context of Power Transition and Biodiversity Conservation. *Environmental Science & Technology*. 54(17):10385–10398. DOI: 10.1021/acs.est.0c00070.

Gaultier, S.P., Lilley, T.M., Vesterinen, E.J. & Brommer, J.E. 2023. The presence of wind turbines repels bats in boreal forests. *Landscape and Urban Planning*. 231:104636. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2022.104636.

Gehring, J., Kerlinger, P. & Manville II, A.M. 2009. Communication towers, lights, and birds: successful methods of reducing the frequency of avian collisions. *Ecological Applications*. 19(2):505–514. DOI: 10.1890/07-1708.1.

Gilmour, L.R.V., Holderied, M.W., Pickering, S.P.C. & Jones, G. 2020. Comparing acoustic and radar deterrence methods as mitigation measures to reduce human-bat impacts and conservation conflicts. *PLOS ONE*. 15(2):e0228668. DOI: 10.1371/journal.pone.0228668.

Golawski, A., Mitrus, C. & Jankowiak, Ł. 2025. Increased bird diversity around small-scale solar energy plants in agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 379:109361. DOI: 10.1016/j.agee.2024.109361.

Gómez-Catasús, J., Morales, M.B., Giralt, D., del Portillo, D.G., Manzano-Rubio, R., Solé-Bujalance, L., Sardà-Palomera, F., Traba, J., et al. 2024. Solar photovoltaic energy development and biodiversity conservation: Current knowledge and research gaps. *Conservation Letters*. 17(4):e13025. DOI: 10.1111/conl.13025.

González, M.A., García-Tejero, S., Wengert, E. & Fuertes, B. 2016. Severe decline in Cantabrian Capercaillie *Tetrao urogallus cantabricus* habitat use after construction of a wind farm. *Bird Conservation International*. 26(2):256–261. DOI: 10.1017/S0959270914000471.

Grünkorn, T., Blew, J., Coppack, T., Krüger, O., Nehls, G., Potiek, A., Reichenbach, M., von Rönn, J., Timmermann, H., Weitekamp, S. 2016. Ermittlung der Kollisionsraten von (Greif-)Vögeln und Schaffung planungsbezogener Grundlagen für die Prognose und Bewertung des Kollisionsrisikos durch Windenergieanlagen (PROGRESS). Schlussbericht zum durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des 6. Energieforschungsprogrammes der Bundesregierung geförderten Verbundvorhaben PROGRESS, FKZ 0325300AD

Guan, J. 2022. Landscape Visual Impact Evaluation for Onshore Wind Farm: A Case Study. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 11(12):594. DOI: 10.3390/ijgi11120594.

Guest, E.E., Stamps, B.F., Durish, N.D., Hale, A.M., Hein, C.D., Morton, B.P., Weaver, S.P. & Fritts, S.R. 2022. An Updated Review of Hypotheses Regarding Bat Attraction to Wind

Turbines. *Animals: an Open Access Journal from MDPI*. 12(3):343. DOI: 10.3390/ani12030343.

Guidelines for consideration of bats in wind farm projects. 2008. Bonn: UNEP/EUROBATS.

Hamed, T.A. & Alshare, A. 2022. Environmental Impact of Solar and Wind energy- A Review. [*Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*]. [10]([2]):[1]-[23].

Hancock, G.R.A., Lehtonen, H., Brown, T., Ejjite, A., Nokelainen, O., Mappes, J. & Winters, S. 2025. Biologically inspired warning patterns deter birds from wind turbines. *BioRxiv [preprint]*, DOI: 10.1101/2025.04.14.648692.

Hein, C. & Schirmacher, M. 2016. Impact of Wind Energy on Bats: a Summary of our Current Knowledge. *Human–Wildlife Interactions*. 10(1). DOI: <https://doi.org/10.26077/x7ew-6349>.

Hernández-Pliego, J., de Lucas, M., Muñoz, A.-R. & Ferrer, M. 2015. Effects of wind farms on Montagu's harrier (*Circus pygargus*) in southern Spain. *Biological Conservation*. 191:452–458. DOI: 10.1016/j.biocon.2015.07.040.

Heuck, C., Herrmann, C., Levers, C., Leitão, P.J., Krone, O., Brandl, R. & Albrecht, J. 2019. Wind turbines in high quality habitat cause disproportionate increases in collision mortality of the white-tailed eagle. *Biological Conservation*. 236:44–51. DOI: 10.1016/j.biocon.2019.05.018.

Hodos, W. 2003. Minimization of Motion Smear: Reducing Avian Collisions with Wind Turbines. *Wind Turbines*.

Horváth, G., Blahó, M., Egri, A., Kriska, G., Seres, I. & Robertson, B. 2010. Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. *Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology*. 24(6):1644–1653. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2010.01518.x.

Hunt, G. 2002. Golden Eagles in a Perilous Landscape: Predicting the Effects of Mitigation for Wind Turbine Blade Strike Mortality.

Huso, M. & Dalthorp, D. 2023. Reanalysis indicates little evidence of reduction in eagle mortality rate by automated curtailment of wind turbines. *Journal of Applied Ecology*. 60(10):2282–2288. DOI: 10.1111/1365-2664.14196.

IRENA. 2024. Renewable power generation costs in 2023. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.

IRENA. 2025. Renewable energy statistics 2025, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Jarčuška, B., Gálffyová, M., Schnürmacher, R., Baláž, M., Mišík, M., Repel, M., Fulín, M., Kerestúr, D., et al. 2024. Solar parks can enhance bird diversity in agricultural landscape. *Journal of Environmental Management*. 351:119902. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.119902.

- Jonasson, K.A., Corcoran, A.J., Dempsey, L., Weller, T.J. & Clerc, J. 2025. Bats flying through a Y-maze are visually attracted to wind turbine surfaces. *Biology Letters*. 21(8):20250242. DOI: 10.1098/rsbl.2025.0242.
- Kahler, J., Petersen, I.K., Fox, A.D., Desholm, M. & Clausager, I. 2004. Investigations of birds during construction and operation of Nysted offshore wind farm at Rødsand. NERI report.
- Katzner, T.E., Nelson, D.M., Marques, A.T., Voigt, C.C., Lambertucci, S.A., Rebolo, N., Bernard, E., Diehl, R., et al. 2025. Impacts of onshore wind energy production on biodiversity. *Nature Reviews Biodiversity*. 1(9):567–580. DOI: 10.1038/s44358-025-00078-1.
- Kiesecker, J.M., Evans, J.S., Oakleaf, J.R., Dropuljić, K.Z., Vejnović, I., Rosslowe, C., Cremona, E., Bhattacharjee, A.L., et al. 2024. Land use and Europe's renewable energy transition: identifying low-conflict areas for wind and solar development. *Frontiers in Environmental Science*. 12. DOI: 10.3389/fenvs.2024.1355508.
- Kleyheeg-Hartman, J.C., Jeninga, S.K., Kappers, E.F. & Klop, E. 2025. Onderzoek 'zwarte wiek' Eemshaven; [online] <https://waardenburg.eco/en-gb/project/research-the-effects-of-black-rotor-blade?>
- Kosciuch, K., Riser-Espinoza, D., Geringer, M. & Erickson, W. 2020. A summary of bird mortality at photovoltaic utility scale solar facilities in the Southwestern U.S. *PLOS ONE*. 15(4):e0232034. DOI: 10.1371/journal.pone.0232034.
- Kosciuch, K., Riser-Espinoza, D., Moqtaderi, C. & Erickson, W. 2021. Aquatic Habitat Bird Occurrences at Photovoltaic Solar Energy Development in Southern California, USA. *Diversity*. 13(11):524. DOI: 10.3390/d13110524.
- Krijgsveld, K.L., Akershoek, K., Schenk, F., Dijk, F. & Dirksen, S. 2009. Collision Risk of Birds with Modern Large Wind Turbines. *Ardea*. 97(3):357–366. DOI: 10.5253/078.097.0311.
- Kunz, T.H., Arnett, E.B., Erickson, W.P., Hoar, A.R., Johnson, G.D., Larkin, R.P., Strickland, M.D., Thresher, R.W., et al. 2007. Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 5(6):315–324. DOI: 10.1890/1540-9295(2007)5%5B315:EIOWED%5D2.0.CO;2.
- Lafitte, A., Sordello, R., de Crespín de Billy, V., Froidevaux, J., Gourdain, P., Kerbiriou, C., Langridge, J., Marx, G., et al. 2022. What evidence exists regarding the effects of photovoltaic panels on biodiversity? A critical systematic map protocol. *Environmental Evidence*. 11(1):36. DOI: 10.1186/s13750-022-00291-x.
- Lawson, M., Jenne, D., Thresher, R., Houck, D., Wimsatt, J. & Straw, B. 2020. An investigation into the potential for wind turbines to cause barotrauma in bats. *PLoS ONE*. 15(12):e0242485. DOI: 10.1371/journal.pone.0242485.
- Lentini, P.E., Lumsden, L.F. & van Harten, E.M. 2025. Assessment, mitigation and monitoring of onshore wind turbine collision impacts on wildlife.
- Leroux, C., Kerbiriou, C., Le Viol, I., Valet, N. & Barré, K. 2022. Distance to hedgerows drives local repulsion and attraction of wind turbines on bats: Implications for spatial siting. *Journal of Applied Ecology*. 59(8):2142–2153. DOI: 10.1111/1365-2664.14227.

- Li, Y., Armstrong, A., Simmons, C., Krasner, N.Z. & Hernandez, R.R. 2025. Ecological impacts of single-axis photovoltaic solar energy with periodic mowing on microclimate and vegetation. *Frontiers in Sustainability*. 6. DOI: 10.3389/frsus.2025.1497256.
- Lovich, J.E. & Ennen, J.R. 2013. Assessing the state of knowledge of utility-scale wind energy development and operation on non-volant terrestrial and marine wildlife. *Applied Energy*. 103:52–60. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.10.001.
- de Lucas, M., Ferrer, M., Bechard, M.J. & Muñoz, A.R. 2012. Griffon vulture mortality at wind farms in southern Spain: Distribution of fatalities and active mitigation measures. *Biological Conservation*. 147(1):184–189. DOI: 10.1016/j.biocon.2011.12.029.
- Ludzuweit, A., Paterson, J., Wydra, K., Pump, C., Müller, K. & Miller, Y. 2025. Enhancing ecosystem services and biodiversity in agrivoltaics through habitat-enhancing strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 212:115380. DOI: 10.1016/j.rser.2025.115380.
- Maclaurin, G., Hein, C., Williams, T., Roberts, O., Lantz, E., Buster, G. & Lopez, A. 2022. National-scale impacts on wind energy production under curtailment scenarios to reduce bat fatalities. *Wind Energy*. 25(9):1514–1529. DOI: 10.1002/we.2741.
- Măntoiu, D.Ș., Kravchenko, K., Lehnert, L.S., Vlaschenko, A., Moldovan, O.T., Mirea, I.C., Stanciu, R.C., Zaharia, R., et al. 2020. Wildlife and infrastructure: impact of wind turbines on bats in the Black Sea coast region. *European Journal of Wildlife Research*. 66(3):44. DOI: 10.1007/s10344-020-01378-x.
- Marques, A.T., Santos, C.D., Hanssen, F., Muñoz, A.-R., Onrubia, A., Wikelski, M., Moreira, F., Palmeirim, J.M., et al. 2020. Wind turbines cause functional habitat loss for migratory soaring birds. *Journal of Animal Ecology*. 89(1):93–103. DOI: 10.1111/1365-2656.12961.
- Marsh, G. 2007. WTS: the avian dilemma. *Renewable Energy Focus*. 8(4):42–45. DOI: 10.1016/S1471-0846(07)70106-3.
- May, R.F. 2015. A unifying framework for the underlying mechanisms of avian avoidance of wind turbines. *Biological Conservation*. 190:179–187. DOI: 10.1016/j.biocon.2015.06.004.
- May, R., Hamre, O., Vang, R. & Nygaard, T. 2012. Evaluation of the DTBird video-system at the Smøla wind-power plant. Detection capabilities for capturing near-turbine avian behaviour. (July, 1). Available: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/22031226> [2025, November 07].
- May, R., Nygård, T., Dahl, E.L. & Bevanger, K. 2013. Habitat utilization in white-tailed eagles (*Haliaeetus albicilla*) and the displacement impact of the Smøla wind-power plant. *Wildlife Society Bulletin*. 37(1):75–83. DOI: 10.1002/wsb.264.
- May, R., Nygård, T., Falkdalen, U., Åström, J., Hamre, Ø. & Stokke, B.G. 2020. Paint it black: Efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities. *Ecology and Evolution*. 10(16):8927–8935. DOI: 10.1002/ece3.6592.
- McClure, C.J.W., Rolek, B.W., Dunn, L., McCabe, J.D., Martinson, L. & Katzner, T. 2021. Eagle fatalities are reduced by automated curtailment of wind turbines. *Journal of Applied Ecology*. 58(3):446–452. DOI: 10.1111/1365-2664.13831.

- Mclsaac, H.P. 2001. Raptor acuity and wind turbine blade conspicuity. *IV*:59–87.
- Merlet, M., Soto, D.X., Arthur, L. & Voigt, C.C. 2025. The trans-european catchment area of common noctule bats killed by wind turbines in France. *Scientific Reports*. 15(1):1383. DOI: 10.1038/s41598-025-85636-5.
- Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2024. Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu. Praha. Dostupné z: <https://mpo.gov.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/vnitrostatni-plan-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu--285293/>
- Montag, H., Parker, G. & Clarkson, T. 2016. The effects of solar farms on local biodiversity: a comparative study. *Clarkson and Woods and Wychwood Biodiversity*. 46 pp.
- Nicholls, B. & Racey, P.A. 2007. Bats Avoid Radar Installations: Could Electromagnetic Fields Deter Bats from Colliding with Wind Turbines? *PLOS ONE*. 2(3):e297. DOI: 10.1371/journal.pone.0000297.
- Parisé, J. & Walker, T.R. 2017. Industrial wind turbine post-construction bird and bat monitoring: A policy framework for Canada. *Journal of Environmental Management*. 201:252–259. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.06.052.
- Paula, A., Santos, J., Cordeiro, A., Costa, H.M., Mascarenhas, M. & Reis, C. 2011. Managing habitat for prey recovery - an off-site mitigation tool for wind farms' impacts on top avian predators. (July, 1). Available: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/1024014> [2025, November 06].
- Pearce-Higgins, J.W., Stephen, L., Langston, R.H.W., Bainbridge, I.P. & Bullman, R. 2009. The distribution of breeding birds around upland wind farms. *Journal of Applied Ecology*. 46(6):1323–1331. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2009.01715.x.
- Percival, S. 2005. Birds and windfarms. *Br. Birds*. 98:194–204.
- Perold, V., Ralston-Paton, S. & Ryan, P. 2020. On a collision course? The large diversity of birds killed by wind turbines in South Africa. *Ostrich*. 91(3):228–239. DOI: 10.2989/00306525.2020.1770889.
- Pescador, M., Gómez Ramírez, J.I. & Peris, S.J. 2019. Effectiveness of a mitigation measure for the lesser kestrel (*Falco naumanni*) in wind farms in Spain. *Journal of Environmental Management*. 231:919–925. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.10.094.
- Poot, H., Ens, B.J., de Vries, H., Donners, M.A.H., Wernand, M.R. & Marquenie, J.M. 2008. Green Light for Nocturnally Migrating Birds. *Ecology and Society*. 13(2). Available: <https://www.jstor.org/stable/26267982> [2025, November 08].
- Rabie, P.A., Welch-Acosta, B., Nasman, K., Schumacher, S., Schueller, S. & Gruver, J. 2022. Efficacy and cost of acoustic-informed and wind speed-only turbine curtailment to reduce bat fatalities at a wind energy facility in Wisconsin. *PLOS ONE*. 17(4):e0266500. DOI: 10.1371/journal.pone.0266500.
- Rasran, L., Dürr, T. & Hötter, H. 2008. Analysis of collision victims in Germany. *Birds of prey and wind farms: An analysis of problems and possible solutions*. 26–30.

- Refoyo Román, P., Olmedo Salinas, C. & Muñoz Araújo, B. 2020. Assessing the effect of wind farms in fauna with a mathematical model. *Scientific Reports*. 10:14785. DOI: 10.1038/s41598-020-71758-5.
- Reusch, C., Paul, A.A., Fritze, M., Kramer-Schadt, S. & Voigt, C.C. 2023. Wind energy production in forests conflicts with tree-roosting bats. *Current Biology*. 33(4):737-743.e3. DOI: 10.1016/j.cub.2022.12.050.
- Richardson, S.M., Lintott, P.R., Hosken, D.J., Economou, T. & Mathews, F. 2021. Peaks in bat activity at turbines and the implications for mitigating the impact of wind energy developments on bats. *Scientific Reports*. 11(1):3636. DOI: 10.1038/s41598-021-82014-9.
- Rnjak, D., Janeš, M., Križan, J. & Antičić, O. 2023. Reducing bat mortality at wind farms using site-specific mitigation measures: a case study in the Mediterranean region, Croatia. *Mammalia*. 87(3):259–270. DOI: 10.1515/mammalia-2022-0100.
- Rodrigues, L., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Goodwin, J., & Harbusch, C. (2008). *Guidelines for consideration of bats in wind farm projects*. EUROBATs Publication Series No. 3. UNEP/EUROBATs Secretariat, Bonn, Germany.
- Roeleke, M., Blohm, T., Kramer-Schadt, S., Yovel, Y. & Voigt, C.C. 2016. Habitat use of bats in relation to wind turbines revealed by GPS tracking. *Scientific Reports*. 6(1):28961. DOI: 10.1038/srep28961.
- Rollins, K.E., Meyerholz, D.K., Johnson, G.D., Capparella, A.P. & Loew, S.S. 2012. A forensic investigation into the etiology of bat mortality at a wind farm: barotrauma or traumatic injury? *Veterinary Pathology*. 49(2):362–371. DOI: 10.1177/0300985812436745.
- Romano, W.B., Skalski, J.R., Townsend, R.L., Kinzie, K.W., Coppinger, K.D. & Miller, M.F. 2019. Evaluation of an acoustic deterrent to reduce bat mortalities at an Illinois wind farm. *Wildlife Society Bulletin*. 43(4):608–618. DOI: 10.1002/wsb.1025.
- Roscioni, F., Rebelo, H., Russo, D., Carranza, M.L., Di Febbraro, M. & Loy, A. 2014. A modelling approach to infer the effects of wind farms on landscape connectivity for bats. *Landscape Ecology*. 29(5):891–903. DOI: 10.1007/s10980-014-0030-2.
- Rydell, J., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Green, M., Rodrigues, L. & Hedenström, A. 2010. Bat Mortality at Wind Turbines in Northwestern Europe. *Acta Chiropterologica*. 12(2):261–274. DOI: 10.3161/150811010X537846.
- Rydell, J., Ottvall, R., Petterson, S. & Green, M. 2017. Vindkraftens påverkan på fåglar och fladdermöss: uppdaterad syntesrapport 2017. Uppdaterad syntesrapport 2017 edn. Stockholm : Eskilstuna: Naturvårdsverket ; Energimyndigheten.
- Saidur, R., Rahim, N.A., Islam, M.R. & Solangi, K.H. 2011. Environmental impact of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15(5):2423–2430. DOI: 10.1016/j.rser.2011.02.024.
- Salguero, M. del M., De la Cruz, A., Muñoz, A.-R. & Muñoz Arroyo, G. 2023. Bat mortality in wind farms of southern Europe: temporal patterns and implications in the current context of climate change. *Biodiversity and Conservation*. 32(12):3953–3971. DOI: 10.1007/s10531-023-02674-z.

- Salomon, H., Drechsler, M. & Reutter, F. 2020. Minimum distances for wind turbines: A robustness analysis of policies for a sustainable wind power deployment. *Energy Policy*. 140:111431. DOI: 10.1016/j.enpol.2020.111431.
- Sánchez-Navarro, S., Gálvez-Ruiz, D., Rydell, J. & Ibáñez, C. 2023. High Bat Fatality Rates Estimated at Wind Farms in Southern Spain. *Acta Chiropterologica*. 25(1):125–134. DOI: 10.3161/15081109ACC2023.25.1.007.
- Santos, C.D., Ramesh, H., Ferraz, R., Franco, A.M.A. & Wikelski, M. 2022. Factors influencing wind turbine avoidance behaviour of a migrating soaring bird. *Scientific Reports*. 12(1):6441. DOI: 10.1038/s41598-022-10295-9.
- Schaub, T., Klaassen, R.H.G., Bouten, W., Schlaich, A.E. & Koks, B.J. 2020. Collision risk of Montagu's Harriers *Circus pygargus* with wind turbines derived from high-resolution GPS tracking. *Ibis*. 162(2):520–534. DOI: 10.1111/ibi.12788.
- Schippers, P., Buij, R., Schotman, A., Verboom, J., van der Jeugd, H. & Jongejans, E. 2020. Mortality limits used in wind energy impact assessment underestimate impacts of wind farms on bird populations. *Ecology and Evolution*. 10(13):6274–6287. DOI: 10.1002/ece3.6360.
- Schmidt, J.H. & Klokner, M. 2014. Health Effects Related to Wind Turbine Noise Exposure: A Systematic Review. *PLoS ONE*. 9(12):e114183. DOI: 10.1371/journal.pone.0114183.
- Simmons, R. 2025. An introduction to Blade patterning and the (new) guidelines for South African Wind farms.
- Singh, N.J., Moss, E., Hipkiss, T., Ecke, F., Dettki, H., Sandström, P., Bloom, P., Kidd, J., et al. 2016. Habitat selection by adult Golden Eagles *Aquila chrysaetos* during the breeding season and implications for wind farm establishment. *Bird Study*. 63(2):233–240. DOI: 10.1080/00063657.2016.1183110.
- Smallwood, K.S. 2022. Utility-scale solar impacts to volant wildlife. *The Journal of Wildlife Management*. 86(4):e22216. DOI: 10.1002/jwmg.22216.
- Smallwood, K.S. & Bell, D.A. 2020. Effects of Wind Turbine Curtailment on Bird and Bat Fatalities. *The Journal of Wildlife Management*. 84(4):685–696. DOI: 10.1002/jwmg.21844.
- Smallwood, K.S. & Thelander, C. 2008. Bird Mortality in the Altamont Pass Wind Resource Area, California. *The Journal of Wildlife Management*. 72(1):215–223. DOI: 10.2193/2007-032.
- SolarPower Europe. 2024. European Market Outlook for Solar Power 2024-2028.
- Stokke, B.G., Nygård, T., Falkdalen, U., Pedersen, H.C. & May, R. 2020. Effect of tower base painting on willow ptarmigan collision rates with wind turbines. *Ecology and Evolution*. 10(12):5670–5679. DOI: 10.1002/ece3.6307.
- Szabadi, K.L., Kurali, A., Rahman, N.A.A., Froidevaux, J.S.P., Tinsley, E., Jones, G., Görföl, T., Estók, P., et al. 2023. The use of solar farms by bats in mosaic landscapes: Implications for conservation. *Global Ecology and Conservation*. 44:e02481. DOI: 10.1016/j.gecco.2023.e02481.

- Száz, D., Mihályi, D., Farkas, A., Egri, Á., Barta, A., Kriska, G., Robertson, B. & Horváth, G. 2016. Polarized light pollution of matte solar panels: anti-reflective photovoltaics reduce polarized light pollution but benefit only some aquatic insects. *Journal of Insect Conservation*. 20(4):663–675. DOI: 10.1007/s10841-016-9897-3.
- Thady, R.G., Emerson, L.C. & Swaddle, J.P. 2022. Evaluating acoustic signals to reduce avian collision risk. *PeerJ*. 10:e13313. DOI: 10.7717/peerj.13313.
- Thaxter, C.B., Buchanan, G.M., Carr, J., Butchart, S.H.M., Newbold, T., Green, R.E., Tobias, J.A., Foden, W.B., et al. 2017. Bird and bat species' global vulnerability to collision mortality at wind farms revealed through a trait-based assessment. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 284(1862):20170829. DOI: 10.1098/rspb.2017.0829.
- Tinsley, E., Froidevaux, J.S.P., Zsebők, S., Szabadi, K.L. & Jones, G. 2023. Renewable energies and biodiversity: Impact of ground-mounted solar photovoltaic sites on bat activity. *Journal of Applied Ecology*. 60(9):1752–1762. DOI: 10.1111/1365-2664.14474.
- Tolvanen, A., Routavaara, H., Jokikokko, M. & Rana, P. 2023. How far are birds, bats, and terrestrial mammals displaced from onshore wind power development? – A systematic review. *Biological Conservation*. 288:110382. DOI: 10.1016/j.biocon.2023.110382.
- Tomé, R., Canário, F., Leitão, A.H., Pires, N. & Repas, M. 2017. Radar Assisted Shutdown on Demand Ensures Zero Soaring Bird Mortality at a Wind Farm Located in a Migratory Flyway. In *Wind Energy and Wildlife Interactions: Presentations from the CWW2015 Conference*. J. Köppel, Ed. Cham: Springer International Publishing. 119–133. DOI: 10.1007/978-3-319-51272-3_7.
- Valera F, Šálek M, Bolonio L & Václav R. 2024. Comment on "Solar parks can enhance bird diversity in agricultural landscape" by Jarčuška et al. *J Environ Manage*. 2024 Aug;366:121781. doi: 10.1016/j.jenvman.2024.121781. Epub 2024 Jul 8.
- Visser, E., Perold, V., Ralston-Paton, S., Cardenal, A.C. & Ryan, P.G. 2019. Assessing the impacts of a utility-scale photovoltaic solar energy facility on birds in the Northern Cape, South Africa. *Renewable Energy*. 133:1285–1294. DOI: 10.1016/j.renene.2018.08.106.
- Voigt, C.C., Roeleke, M., Marggraf, L., Pētersons, G. & Voigt-Heucke, S.L. 2017. Migratory bats respond to artificial green light with positive phototaxis. *PLOS ONE*. 12(5):e0177748. DOI: 10.1371/journal.pone.0177748.
- Voigt, C.C., Rehnig, K., Lindecke, O. & Pētersons, G. 2018. Migratory bats are attracted by red light but not by warm-white light: Implications for the protection of nocturnal migrants. *Ecology and Evolution*. 8(18):9353–9361. DOI: 10.1002/ece3.4400.
- Voigt, C.C., Kaiser, K., Look, S., Scharnweber, K. & Scholz, C. 2022. Wind turbines without curtailment produce large numbers of bat fatalities throughout their lifetime: A call against ignorance and neglect. *Global Ecology and Conservation*. 37:e02149. DOI: 10.1016/j.gecco.2022.e02149.
- Voigt, C.C., Bernard, E., Huang, J.C.-C., Frick, W.F., Kerbiriou, C., MacEwan, K., Mathews, F., Rodríguez-Durán, A., et al. 2024. Toward solving the global green–green dilemma between wind energy production and bat conservation. *BioScience*. 74(4):240–252. DOI: 10.1093/biosci/biae023.

Weaver, S. 2019. Understanding Wind Energy Impacts on Bats and Testing Reduction Strategies in South Texas. (August). Available: <https://hdl.handle.net/10877/8463> [2025, November 08].

Weaver, S.P., Hein, C.D., Simpson, T.R., Evans, J.W. & Castro-Arellano, I. 2020. Ultrasonic acoustic deterrents significantly reduce bat fatalities at wind turbines. *Global Ecology and Conservation*. 24:e01099. DOI: 10.1016/j.gecco.2020.e01099.

Young, D.P., Jr., Erickson, W.P., Strickland, M.D., Good, R.E. & Sernka, K.J. 2003. Comparison of Avian Responses to UV-Light-Reflective Paint on Wind Turbines: Subcontract Report, July 1999--December 2000. (NREL/SR-500-32840, 15003047). DOI: 10.2172/15003047.

Zeiler, H.P. & Grünsachner-Berger, V. 2009. Impact of wind power plants on black grouse, *Lyrurus tetrix* in Alpine regions. *Folia Zoologica*. 58(2):173.

Zwart, M.C., Dunn, J.C., McGowan, P.J.K. & Whittingham, M.J. 2016. Wind farm noise suppresses territorial defense behavior in a songbird. *Behavioral Ecology*. 27(1):101–108. DOI: 10.1093/beheco/arv128.