

# Utjecaji vjetroelektrana na ptice i šišmiše

---

Rešetar, Lucija

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:120626>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-15**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Lucija Rešetar

# Utjecaji vjetroelektrana na ptice i šišmiše

Završni rad

Pregledao:



Zagreb, 2023.

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Lucija Rešetar

**Impacts of wind turbines on birds and bats**

Bachelor thesis

Zagreb, 2023.

Ovaj završni rad je izrađen u sklopu studijskog programa Znanosti o okolišu na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod mentorstvom prof. dr. sc. Perice Mustafića.

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Završni rad

## Utjecaji vjetroelektrana na ptice i šišmiše

Lucija Rešetar

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Vjetroelektrane kao primjer dobivanja energije iz obnovljivih izvora predstavljaju alternativu trenutno korištenim fosilnim gorivima i budućnost energetike u čiji se napredak svakodnevno ulaže. Nedostatak vjetroelektrana jesu njihovi negativni utjecaji na okoliš i bioraznolikost, posebno na ptice i šišmiše, koji direktnim i indirektnim utjecajima vjetroelektrana stradavaju i gube na brojnosti populacija. Direktni utjecaji podrazumijevaju smrtonosne sudare s propelerima turbina vjetroelektrana, dok indirektni čine gubitak staništa i premještanje populacija sa staništa na kojem je vjetroelektrana postavljena. Kako bi se spriječio gubitak brojnosti populacija ptica i šišmiša, kao i njihovo izumiranje, potrebno je primijeniti potrebne mjere ublažavanja ovih negativnih utjecaja vjetroelektrana. Za to je potrebno poznavati ekologiju i ponašanje tih vrsta te provesti istraživanja kojima bi se utvrdilo koja metoda ublažavanja je najprihvatljivija. Međutim, proveden je nedovoljan broj takvih istraživanja i daljnji rad na ublažavanju štetnih učinaka je potreban, iako već postoje neke mjere ublažavanja koje su u primjeni.

Ključne riječi: vjetroelektrane , ublažavanje utjecaja, populacija, stanište  
(16 stranica, 2 slike, 1 tablica, 10 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski jezik)  
Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Mentor: prof. dr. sc. Perica Mustafić

# BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Bachelor thesis

## Impacts of wind turbines on birds and bats

Lucija Rešetar

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

As an example of generating energy from renewable resources, wind turbines pose an alternative to currently used fossil fuels and represent future of energetics which is constantly being invested into. Drawbacks of gaining energy through wind turbines are its negative impacts on the environment and biodiversity, especially in regard to birds and bats, whose population numbers decrease due to direct or indirect impact of wind turbines. Direct impacts would mean fatalities caused by collision during flight, whilst habitat loss and population relocation fall under indirect impacts. Mitigation measures for these negative impacts need to be undertaken so that decrease in population numbers, as well as extinction of bird and bat species would be prevented. In order to do so, it is needed to understand the ecology and behavior of these species and do research, so that an appropriate mitigation method can be chosen. However, not enough research has been done yet and there is more work to do on in the future, even though there are some mitigation methods which are already in use.

Keywords: wind turbines, mitigation measures, population, habitat  
(16 pages, 2 figures, 1 table, 10 references, original in: Croatian language)  
Thesis is deposited in Central Biological Library.

Mentor: prof. dr. sc. Perica Mustafić

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Vjetroelektrane.....	2
2.1. Općenito.....	2
2.2. Princip rada.....	3
3. Utjecaj vjetroelektrana na ptice.....	3
3.1. Ekologija ptica.....	3
3.2. Direktni utjecaji.....	4
3.2.1. Sudari s propelerima vjetroturbina.....	4
3.3. Indirektni utjecaji.....	6
3.3.1. Predstavljanje barijere i premještanje populacija.....	6
3.3.2. Gubitak staništa.....	6
4. Utjecaj vjetroelektrana na šišmiše.....	7
4.1. Ekologija šišmiša.....	7
4.2. Direktni utjecaji.....	7
4.2.1. Sudari s propelerima vjetroturbina.....	7
4.2.2. Barotrauma.....	8
4.3. Indirektni utjecaji.....	9
4.3.1. Gubitak staništa.....	9
5. Ublažavanje utjecaja vjetroelektrana na ptice i šišmiše.....	10
5.1. Ublažavanje utjecaja na ptice.....	10
5.1.1. Mjere koje potiču zaobilazak odvrćaju jedinke od vjetroelektrana.....	10
5.1.2. Zastrušivanje jedinki.....	12
5.1.3. Obustavljanje rada vjetroturbina.....	12
5.1.4. Izgradnja manjih vjetroturbina.....	13
5.2. Ublažavanje utjecaja na šišmiše.....	13
6. Zaključak.....	14
7. Literatura.....	14
8. Životopis.....	15

## 1. Uvod

Ljudi koriste energiju vjetra u razne svrhe već tisućama godina – od iskorištavanja vjetra za pokretanje brodova na Bliskom istoku prije otprilike 5 000 godina, preko vjetrenjača, mlinova i crpki pa sve do vjetroelektrana najnovijeg doba koje generiraju električnu energiju iz energije vjetra zahvaljujući tehnološkim postignućima i saznanjima o razvoju novih materijala te o aerodinamici (de Lucas i sur. 2007).

Napredak tehnologije kroz vrijeme omogućio nam je nove izvore energije koji su manje štetni za okoliš u usporedbi s fosilnim gorivima (zemnim plinom, ugljenom i naftom) u vidu zagađenja i ispuštanja stakleničkih plinova – što s trenutnim trendovima u okvirima globalnih sporazuma, ali i europskih regulativa koje se primjenjuju i na samu Hrvatsku – postaju sve atraktivniji. Upravo vjetroelektrane pružaju alternativu fosilnim gorivima i oblik su obnovljivih izvora energije u koje se svakodnevno sve više ulaže, jer i sama potražnja za energijom raste.

Međutim, raste i svijest o preopterećenosti planeta prekomjernim iskorištavanjem resursa, onečišćenjem, degradacijom i fragmentacijom staništa te gubitkom bioraznolikosti. Vjetroelektrane ne zaobilaze navedene probleme i iako su njihova izgradnja i korištenje za generaciju električne energije primjer dobrog smjera s ciljem prelaska na niskougljično društvo, treba se uzeti u obzir cjelokupna slika o tome kako utječu na okoliš.

Izgradnja vjetroelektrana može imati potencijalne negativne utjecaje na faunu staništa na kojemu se grade, posebice na ptice i šišmiše, koje se ugrožava prilikom rada vjetroelektrane. Zato je bitno poznavati utjecaje vjetroelektrane na navedene skupine te primijeniti odgovarajuće mjere ublažavanja, kako bi se negativni utjecaji na navedene skupine minimizirali i kako bi se spriječilo daljnje ugrožavanje tih vrsta.



## 2. Vjetroelektrane

### 2.1. Općenito

Vjetroelektrana energetska je postrojenje kojim se pretvorbom kinetičke energije vjetra dobiva električna energija uz pomoć jedne ili više vjetroturbina s električnim generatorima (vjetroelektrana. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=64999> (pristupljeno 11. 6. 2023.)). Optimalna pozicija za postavljanje vjetroelektrane je lokacija gdje je strujanje vjetra što stalnije, sa što manjim vjerojatnostima za olujne udare vjetra i bez turbulencija. Idealna brzina vjetra u prosjeku trebala bi iznositi 4,5 m/s, jer se vjetroagregati koji se upotrebljavaju uključuju uglavnom prilikom brzine strujanja vjetra koja iznosi između 2,5 i 4,5 m/s (Lovrić i Lovrić 2013).

Generalno područja za postavljanje vjetroelektrana možemo svrstati u dvije kategorije, a to su kopnene ili *onshore* te priobalne, tj. *offshore*. Kopnene lokacije za izgradnju vjetroelektrana nalaze se uglavnom pri vrhovima brda ili padina jer vjetar prelazeći preko uzvisine dobiva na ubrzanju i njegova energija se tada najbolje iskorištava. Priobalne lokacije nalaze se ili na obali ili na moru i kada su smještene na obali, udaljene su do 3 km od mora, a ukoliko su na moru, udaljenost od obale iznosi do 10 km (vjetroelektrana. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=64999> (pristupljeno 28. 6. 2023.)). Razlog odabira ovakvih lokacija je različito zagrijavanje kopna i mora, što uzrokuje razliku u temperaturi i naposljetku razliku u tlakovima na tom području te tako dolazi do strujanj zraka, odnosno stvaranjem vjetrova koji se iskorištavaju vjetroelektranama (vjetroelektrana. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=64999> (pristupljeno 28. 6. 2023.)).

## 2.2. Princip rada

Osnovu vjetroelektrane danas čine vjetrena turbina s horizontalnom osovinom te se sastoji od rotora s lopaticama napravljenih od čelika ili kompozitnih materijala, koje su ugrađene u glavinu s vratilom gdje je smještena gondola s generatorom i ostalom opremom, koja je okretnim ležajem pričvršćena na vrhu nosivog stupa vjetroelektrane. Generatori koji se koriste mogu biti istosmjerni ili izmjenični. Izmjenični se koriste u vjetroelektranama koje su spojene u elektroenergetski sustav, a istosmjerni uglavnom u samostalnim vjetroelektranama (vjetroelektrana. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=64999> (pristupljeno 11. 6. 2023.)).

Okretanje rotora i gondole najčešće se postiže uz pomoć elektromotora, ali cijeli rad vjetroelektrane se zaustavlja aktivacijom sustava kočenja ukoliko brzina vjetra premaši 20-30 m/s. Kočenje se ostvaruje zakretanjem lopatica, skretanjem rotora s pravca strujanja vjetra te mehaničkim kočnicama na vratilu i zračnim kočnicama na lopaticama (vjetroelektrana. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=64999> (pristupljeno 11. 6. 2023.)).

Zbog nepredvidljivosti, oscilacija snage i promjenjivosti vjetra, stabilni i kontinuirani rad vjetroelektrana je onemogućen. Stoga je dobivenu energiju potrebno akumulirati ili dopuniti iz nekih drugih elektroenergetskih sustava kako bi se mogla iskoristiti.

## 3. Utjecaj vjetroelektrana na ptice

### 3.1. Ekologija ptica

Ptice su specifične po svojoj evolucijskoj prilagodbi na sposobnost leta razvojem perja, krila, šupljih kostiju, zračnih vrećica i drugih obilježja koja ih čine prepoznatljivom skupinom životinja. Za razmnožavanje i rasprostranjivanje, ali i svakodnevni život potreban im je let. Leteći se hrane, ali i sele migracijskim svjetskim putovima prilikom sezonskih promjena vremenskih uvjeta na području njihova gniježđenja. Upravo zbog tako specifične ekološke niše koju zauzimaju, vjetroelektrane predstavljaju problem koji ptice može ugroziti višestrukim negativnim utjecajima.

## 3.2. Direktni utjecaji

### 3.2.1. Sudari s propelerima vjetroturbina

Smrtonosni sudari ptica s lopaticama vjetroturbina prilikom rada vjetroelektrane direktni su i najčešći negativni utjecaji vjetroelektrana s kojim se ugrožavaju populacije ptica, posebno već ugroženih vrsta, čije se šanse za razmnožavanje i šanse opstanak na ovaj način ozbiljno urušavaju. Tako primjerice prosječan broj smrtnih slučajeva godišnje u Sjedinjenim Američkim Državama varira od 200 000 do više od 500 000 prema različitim provedenim studijama, kao što je navedeno u Tablici 1. Opasnost od sudara ovisi o faktorima poput vidljivosti, klime i lokacije na kojoj je vjetroelektrana izgrađena, ali i vrsti same vjetroturbine te dobu godine i vrsti ptice (Kotrošan i sur. 2011).

**Tablica 1.** Godišnji brojevi smrtnih slučajeva kao posljedica sudara ptica s vjetroturbinama u SAD-u (izvor: Merriman J. (2021): How Many Birds Are Killed by Wind Turbines?, [How Many Birds Are Killed by Wind Turbines? | ABC \(abcbirds.org\)](#) (pristupljeno 11.6.2023.))

Studija	Godina objave studije	Prosječan broj smrtnih slučajeva godišnje u SAD-u	Raspon od minimalnog do maksimalnog broja smrtnih slučajeva godišnje u SAD-u
Loss i dr.	2013.	234 000	140 000 – 328 000
Smallwood	2013.	573 000	467 000 – 679 000
Erickson i dr.	2014.	291 000	214 000 – 368 000

Najosjetljivije vrste predstavljaju fizički velike vrste, koje imaju dugo vrijeme postizanje spolne zrelosti te manji broj potomaka, sporije su i teže manevriraju u letu (Kotrošan i sur. 2011). To su vrste poput grabljivica, lešinara, tetrijeba, ali i morskih ptica poput albatrosa. Primjer smrtonosnog sudara bjeloglavog supa (*Gyps fulvus*) u Španjolskoj prikazan je na Slici 1. Važno je za naglasiti

da su jedinke istih vrsta također na različit način izložene opasnosti – jedinke u periodu podizanja mladih u potrazi za hranom češće su podvrgnute smrtonosnim sudarima (Kotrošan i sur. 2011).



**Slika 1.** Stradali bjeloglavi sup (*Gyps fulvus*) kao posljedica sudara s turbinom vjetroelektrane u Španjolskoj (slika: Jorge Garzon), izvor: Kotrošan D., Trbojević S., Šimić E. (2011): Vjetroelektrane i ptice, Sarajevo

Također, važni faktori koji uzrokuju češće sudare jesu dnevno vrijeme preleta (vjetroelektrane se teže primijete ukoliko ptice prelijeću u zoru i sumrak zbog slabije vidljivosti u to doba dana), ali i godišnje vrijeme preleta (više ptica strada u proljeće i jesen, kada je doba selidbe te su brojevi preleta veći pa su i šanse za sudare proporcionalno veće) (Kotrošan i sur. 2011).

*Bottleneck* područja, tj. područja takozvanog *uskog grla*, koja čine migracijske putove zbog njihovog povoljnog položaja, također su lokaliteti gdje su sudari učestaliji. To su lokacije poput klanaca, riječnih kanjona i prolaza između planina ili usjeka između mora i kopna (Kotrošan i sur. 2011).

### 3.3. Indirektni utjecaji

#### 3.3.1. Predstavljanje barijere i premještanje populacija

Ukoliko se vjetroelektrana postavi na područje od značaja za život ptica, može doći do premještanja populacije s tog lokaliteta. Na primjer, vjetroelektrana može presijecati migracijske letne putove i ptice su tada primorane pronalaziti druge rute kako bi zaobišle vjetroelektranu. Samim time utroše i više energije nego što bi to bilo da nema te barijere na njihovim uobičajenim putovima. Nadalje, buka i vibracije koje vjetroelektrana proizvodi također su faktor ometanja i selidbe populacije ptica s tog lokaliteta (Kotrošan i sur. 2011). Dakle, postavljanjem vjetroelektrana na mjestima koja predstavljaju mjesto hranjenja i odmora za određene vrste ptica u preletu stvara se barijera, što rezultira premještanjem populacije s tog područja.

#### 3.3.2. Gubitak staništa

Izgradnja vjetroelektrane podrazumijeva gubitak staništa na kojem je postavljena i iako se direktno radi o manjim gubiticima koji ne bi trebali imati veći utjecaj na ptice, bitan je dugoročni kumulativni utjecaj, što se očituje u utjecaju na geologiju tla, izmjenju područja koja predstavljaju hranilišta pticama, letne putove i mjesta odmora te gniježđenja ptica. Dakle, na taj način se također indirektno dugoročno ugrožava ornitofauna određenog lokaliteta. Tresetišta i pjeskovite obale primjer su osjetljivih geoloških podloga podložnim eroziji i degradaciji te samim time utječu na izmjenju hidrogeoloških karakteristika određenog područja. Ukoliko se na takvim lokacijama neplanski izgradi vjetroelektrana, ugrožava se cijeli ekosustav tog područja.

Priobalne vjetroelektrane izgrađene u moru negativno utječu na morske vrste ptica jer fizički zauzimaju prostor nad kojim se one hrane, što opet predstavlja gubitak staništa, u ovom slučaju morskog.

## 4. Utjecaj vjetroelektrana na šišmiše

### 4.1. Ekologija šišmiša

Šišmiši pripadaju razredu sisavaca i jedini su predstavnici sisavaca sa sposobnošću leta, a prema broju vrsta (više od 1 400 vrsta) drugi su red sisavaca po veličini (Bat Conservation International 2023). Rasprostranjeni su kozmopolitski i migriraju u potrazi za hranom poput ptica. Bitna su stavka ekosustava jer se hrane kukcima, oprašuju biljke hraneći se plodovima te rasprostranjuju sjemenke. Aktivni su noću, kada lete u potrazi za hranom. Od prosinca do veljače hiberniraju te tada nisu aktivni.

Zanimljivo svojstvo koje posjeduju šišmiši jest sposobnost eholokacije, što je mogućnost detektiranja udaljenosti od određenog predmeta i pozicioniranja u prostoru uz pomoć odbijanja ultrazvučnih valova (koje šišmiši proizvode) od tih predmeta. Na taj način usmjeravaju svoj let i uspijevaju loviti noću, a aktivni su od sumraka do zore.

### 4.2. Direktni utjecaji

#### 4.2.1. Sudari s propelerima vjetroturbina

Direktan negativni utjecaj vjetroelektrana na populacije šišmiša jest isti kao i u ptica, a to je opasnost od sudara šišmiša u letu s propelerima vjetroelektrane. Broj smrtnih stradanja prilikom sudara u šišmiša još uvijek nije dovoljno istražen, ali prema provedenim istraživanjima u nekim slučajevima smrtnost je veća nego u ptica (Puzen, pers. comm.). Tako znanstvenici na području Sjedinjenih Američkih Država pretpostavljaju godišnju smrtnost šišmiša od stotine tisuća jedinki. Sudari šišmiša s vjetroelektranama redoviti su i u Hrvatskoj, a na Slici 2. prikazan je jedan stradali primorski šišmiš (*Hypsugo savii*) na otoku Pagu.

Pri niskim brzinama strujanja vjetra, aktivnost insekata – a time i šišmiša koji se njima hrane – odvija se na višim nadmorskim visinama, čime se također povećava rizik od kolizije s vjetroelektranama.

Nije sigurno iz kojeg razloga je brojnost sudara šišmiša i vjetroelektrana velika, ali pretpostavlja se da šišmiši zabunom vjetroelektranu vide kao mjesto parenja ili skloništa te da ih u lovu privlači brojnost insekata koji se okupljaju oko osvjetljenja. Moguće i da jednostavno istražuju strukturu što im se našla na putu. Svakako, daljnja istraživanja uzroka sudara su potrebna: bitno je proučiti obrasce ponašanja i hranjenja, migracijske putove, utjecaj osvjetljenja i slično.



**Slika 2.** Primorski šišmiš (*Hypsugo savii*) stradao uslijed sudara s propelerom vjetroelektrane na otoku Pagu u Hrvatskoj (slika: Ana Jančar), izvor: Kotrošan D., Trbojević S., Šimić E. (2011): Vjetroelektrane i ptice, Sarajevo

#### 4.2.2. Barotrauma

Još jedan od utjecaja vjetroelektrana koja uzrokuje smrtnost šišmiša jest barotrauma. Naime, strujanjem vjetra na lopaticama vjetroturbine dolazi do opadanja tlaka iza njih i to u rasponu od 5 do 10 kPa (kilopaskala), što uzrokuje naglo širenje i pucanje krvnih žila šišmiša u toj zoni niskog

tlaka (David Biello, 2008). Ekologinja Erin Baerwald navodi da se smrtnost jedinki šišmiša eksponencijalno povećava s porastom visine vjetroturbine (David Biello, 2008), ali još uvijek nema objavljenih radova kojima bi se izračunima prikazali podatci o promjenama u tlaku kojima su šišmiši izloženi (Lawson i sur., 2020). Na temelju računalnih simulacija dinamike fluida i uspoređivanja s postojećim rezultatima barotraume u sisavaca slične veličine, a s ciljem procjenjivanja promjena u tlaku kojima su šišmiši izloženi u blizini vjetroelektrane, Lawson i sur. (2020) zaključili su da je magnituda nižih tlakova kojima su šišmiši izloženi u blizini vjetroturbina oko 8 puta manja od tlaka koji uzrokuje smrtnost u štakora, koji je najmanji sisavac za kojeg postoje podatci. S druge strane, magnituda visokih tlakova pod čijim su utjecajem šišmiši, 80 je puta manja od tlaka koji uzrokuje smrtnost u 50% miševa (Lawson i sur., 2020). Nadalje, Lawson i sur. (2020) navode da bi šišmiši trebali letjeti vrlo specifičnom putanjom kako bi dospjeli u područje tlakova koji bi uzrokovali barotraumu, a da pritom ne budu pogođeni lopaticama vjetroelektrane. Dakle, barotrauma nije odgovorna za broj smrtnih slučajeva jedinki šišmiša koliko su odgovorni direktni sudari s vjetroelektranama.

### 4.3. Indirektni utjecaji

#### 4.3.1. Gubitak staništa

Izgradnjom vjetroelektrana utječe se indirektno na populacije šišmiša tog područja gubitkom staništa na kojemu se hrane i koje koriste za sklonište. Nisu same vjetroelektrane problem već i faza konstrukcije njenih temelja, pristupnih cesti prilikom instalacije i slično. Sve navedeno degradira prostor na kojem šišmiši obitavaju, a s obzirom da su široko rasprostranjeni i prisutni praktički svugdje, negativni utjecaj na staništa nezaobilazan je problem u vidu šišmiša (Rodrigues i sur. 2015).

Gubitak staništa koje koriste za hranjenje za vrijeme izgradnje vjetroelektrane tokom ljeta ima relativno mali do osrednji učinak, ovisno o lokaciji vjetroelektrane i vrsti jedinki šišmiša koje su prisutne na području odabrane lokacije izgradnje, a tokom sezone migracije utjecaj je malen. (Rodrigues i sur. 2015)



Što se tiče gubitka lokacija korištenih kao skloništa tokom izgradnje vjetroelektrane, utjecaj na populacije šišmiša je za vrijeme ljeta visok, ali također ovisno o lokaciji i prisutnim vrstama, dok je za vrijeme migracije utjecaj visok neovisno o navedenom (Rodrigues i sur. 2015)

## 5. Ublažavanje utjecaja vjetroelektrana na ptice i šišmiše

### 5.1. Ublažavanje utjecaja na ptice

Do smrtonosnih sudara ptica s propelerima vjetroelektrana može doći praktički u svakom trenutku, neovisno o lokaciji, ali ipak je navedeni problem češći na određenim lokalitetima na kojima su vjetroelektrane instalirane, što pak ovisi o višestrukim faktorima koje je bitno proučiti prije same izgradnje.

Kako bi se minimizirao negativan utjecaj vjetroturbina na ptice, problemu se mora pristupiti holistički. Potrebno je poznavati ekologiju i ponašanje ptica potencijalno ugroženih od negativnih utjecaja instaliranih vjetroelektrana na nekom području, kao i njihovu aerodinamiku. Važno je razumjeti kako ptice za let koriste zračne struje koje su prisutne odabranom području izgradnje – dakle, bitno je istražiti i dinamiku atmosfere na tom lokalitetu.

Postoje višebrojne mjere ublažavanja koje na različite načine pristupaju problemu:

- mjere koje potiču zaobilazak i odvrćaju jedinke od vjetroelektrana
- zastrašivanje jedinki
- obustavljanje rada vjetroturbina
- izgradnja manjih vjetroturbina

#### 5.1.1. Mjere koje potiču zaobilazak odvrćaju jedinke od vjetroelektrana

Ovim mjerama jedinke se pokušava različitim metodama odvratiti od približavanja vjetroelektranama s ciljem prevencije sudara koji rezultiraju smrtnim slučajevima. Navedeno se može postići minimiziranjem faktora koji privlače ptice. Jedan od primjera je upravljanje područjem ekosustava na kojem je vjetroelektrana izgrađena, mijenjanjem vegetacije koja predstavlja stanište plijenu pticama grabljivicama, za koje postoji najveći rizik od sudara s

vjetroelektranama. Stručnjaci predlažu izmjenu staništa u vidu vegetacije u okrugu od 50 metara od vjetroelektrane. Ukoliko se navedeno odradi uspješno, smanjit će se količina plijena, a samim time i grabljivicama koje na tom području love i, finalno, manje će jedinki ptica smrtno stradati. Nakupine kamenja prilikom izgradnje također privlače potencijalni plijen koji se tamo može nastaniti, stoga je bitno ukloniti stjenovite mase, kao i stoku ukoliko se ispaša odvija u blizini jer sve navedeno privlači grabljivice. Konkretni primjer dobre prakse jest istraživanje u Njemačkoj kojim su se s ciljem zaštite crvene lunje (*Milvus milvus*) poljoprivredne aktivnosti poput košnje, odgodile do sredine srpnja na u okolini postavljene vjetroelektrane, kao i izbjegavanje sadnje usjeva tlu na tom području (Gartman i sur. 2016).

Osvjetljenje je jedan od načina na koji se utjecaji vjetroelektrana na ornitofaunu mogu ublažiti. Njime se može jedinku dezorijentirati i odvratiti od smjera leta koji vodi prema vjetroturbini i propelerima. Međutim, još nije u potpunosti razjašnjen utjecaj različitih tipova osvjetljenja koja se mogu koristiti. Prema nekim istraživanjima, crvena svijetla koja su stalna privlače ptice na migraciji, dok bljeskajuća ne, ali još istraživanja je potrebno. Bitno je napomenuti da svijetla na vjetroturbinama nisu standardizirana i stoga je na nacionalnoj razini potrebno utvrditi regulaciju u vidu zrakoplovstva, kako svijetla ne bi ometala let aviona. Također, potrebno je postaviti što manje osvjetljenih točaka i minimalnog intenziteta (Gartman i sur. 2016).

Još jedna od mogućih mjera koja odvraća jedinke od vjetroelektrana je upravljanjem staništima kroz kompenzacijske uvjete, odnosno nadomještanjem izgubljenog staništa gdje je izgrađena vjetroelektrana na neko drugo područje. Okolno stanište se može i obogatiti na druge načine te tako potaknuti ptice da usmjere letni put ondje. To se može napraviti povećanjem količine plijena na tim područjima, ali i većim brojem jezera u okolini, no dalje od vjetroelektrane. Preporučuje se i sadnja usjeva koje privlače određene ciljane vrste koje se hrane na takvim staništima, ali bitno je legislativno usuglasiti navedeno ukoliko se radi o privatnim posjedima. Moguće je i poželjno graditi i hranilišta podalje od vjetroelektrane, što se pokazalo korisnim za lešinare poput bjeloglavog supa (*Gyps fulvus*). Preporučuje se izgradnja umjetnih platformi za gniježđenje za grabljivice poput surog orla (*Aquila chrysaetos*) i bukoča (*Pandion haliaetus*) jer se mogu lako izgraditi i monitoring nije zahtjevan (Gartman i sur. 2016).

### 5.1.2. Zastrășivanje jedinki

Zastrășivanje ptica s ciljem njihovog udaljavanja od vjetroturbina, a time i potencijalnih smrtonosnih sudara jedna je od metoda ublažavanja utjecaja vjetroelektrana na ornitofaunu, a može se implementirati na više načina: akustičnim uređajima, elektromagnetskim poljima ili vizualnim pomagalicama (Gartman i sur. 2016). Važno je prilagoditi navedene mjere specifično određenim vrstama kako bi bile najučinkovitije i kako ne bi nanosile štetu istim.

Akustično zastrășivanje je tehnika koja pokazuje učinkovite rezultate na pticama, ali uglavnom u kratkim intervalima, a primjeri koji se koriste u navedenom mogu biti pirotehnička pomagala i pucnjevi. Umjetni alarmni zovovi ptica također su dobro rješenje, ali ono je vezano specifično za određenu vrstu ptice i postoji mogućnost od primamljivanja drugih vrsta koje takav zov mami. S druge strane, neuspješni pa čak i štetni mogu biti ultrazvučni valovi i zvukovi generalno visokog intenziteta te se stoga toj metodi ne pribjegava. Elektromagnetska polja i valovi jedan su od prijedloga kojim bi se ptice usmjerilo na let dalje od rada vjetroelektrane. Prednosti takvog pristupa su te da ono može raditi i danju i noću, vremenski uvjeti poput magle i oblaka ne ometaju rad i slično. Međutim, nedostatak je taj da postoje rizici od negativnih utjecaja na zdravlje ptica, ali i ljudi (Gartman i sur. 2016).

Vizualno zastrășivanje se može primijeniti kroz rotirajuću i bljeskajuću svijetlost koja se emitira s vjetroelektrane, kao i objekte koji se presijavaju pa djeluju na taj način na jedinku. Bitno je za naglasiti da se još uvijek premali broj znanstvenih istraživanja bavilo ovom temom i nisu poznati svi utjecaji ovog načina zastrășivanja ptica, a ove metode mogu biti i kontraproduktivne jer je moguće jedinku zaslijepiti i dezorijentirati te na taj način nanijeti štetu (Gartman i sur. 2016).

### 5.1.3. Obustavljanje rada vjetroturbina

Privremenim obustavljanjem rada vjetroturbina kada se u blizini nalazi vrsta koja je u riziku od sudara s turbinama predstavlja jedan od načina pristupa problemu ublažavanja utjecaja vjetroelektrana na ptice. Jedinka u letu može se detektirati uz pomoć raznih pomagala poput radara. Također, rad vjetroelektrane može se potpuno obustaviti u periodima kada su ptice zastupljenije u okolini, kao na primjer tokom sezonske migracije.

Utjecaji obustave rada za priobalne, tj. *offshore* vjetroelektrane nisu još dovoljno istraženi. Međutim, primjena ove mjere ublažavanja utjecaja kopnenih, *onshore* elektrana pokazuje dobre rezultate – selektivno zaustavljanje rada vjetroelektrana na nekoliko mjeseci može smanjiti stopu smrtnosti za više od 50%. Istraživanje je za lešinare pokazalo da se učinkovitom pokazuje obustava rada vjetroelektrane od 2 sata nakon zore do 2 sata prije sumraka, s gubitkom u energetskej proizvodnji od svega 0,07% (Gartman i sur. 2016).

#### 5.1.4. Izgradnja manjih vjetroturbina

Prije otprilike 10 godina vjetroturbine koje su se gradile bile su manje od današnjih, a njihovo povećanje donosi i veće generiranje energije, ali i smanjuje rizik od sudara grabljivica. Naime, što je turbina veća, okretanje je sporije jer je za potrebno više energije pa je samim time i vjerojatnost sudara manja i vjetroelektrana je sigurnija za grabljivice u letu (Gartman i sur. 2016).

Nažalost, za pjevice – koje su fizički manje ptice – koje migriraju noću postoji veća opasnost od sudara ukoliko su vjetroturbine veće, kao i za šišmiše.

#### 5.2. Ublažavanje utjecaja na šišmiše

Jedno od pitanja koje se nameće kao mogući problem koji uzrokuje veću smrtnost šišmiša jest osvjetljenje vjetroelektrana koje vjerojatno privlači kukce kojima se šišmiši hrane. Navedeno je opovrgnuto višestrukim istraživanjima jer se stopa smrtnosti od sudara s vjetroturbinama pokazala otprilike jednakom i na vjetroelektranama koje nisu osvjetljene, međutim savjetuje se da se postavljanje osvjetljenje izbjegava.

Ultrazvučna akustična pomagala, kao i elektromagnetska polja, nisu potvrđeno uspješna u ublažavanju utjecaja. Ultrazvučni valovi mogu djelovati na način da odbiju šišmiše od približavanja vjetroelektrana, ali dopiru samo do određene udaljenosti, što je ograničavajući faktor u primjeni ove metode. Elektromagnetska polja pak mogu negativno djelovati na reprodukciju i razvoj jedinki, kao i na ponašanje šišmiša, ali i insekata (Gartman i sur. 2016).

Pokretanje vjetroturbina pri većim brzinama strujanja vjetra pokazalo se kao možda najuspješnija metoda ublažavanja negativnih utjecaja. Kontroliranjem pri kojoj brzini strujanja vjetra se turbina

počinje okretati, broj smrtonosnih sudara može se značajno smanjiti, što potvrđuju i brojne studije. Primjerice, ukoliko se vjetroturbine programiraju na aktivaciju pri brzinama većim brzinama vjetra (otprilike 1,5-3,0 m/s s obzirom na standard), smrtnost se može smanjiti za 50% (Gartman i sur. 2016).

U rad vjetroelektrane mogli bi se implementirati i algoritmi usmjereni na aktivnost šišmiša, ali i eholokacijski detektori kojima bi se rad vjetroelektrane mogao ciljano obustaviti kada je šišmiš detektiran u blizini (Gartman i sur. 2016).

Danas su u uporabi brojni programi i sustavi kao što su Batcorder, Anabat SD1 detektor, ProBat i slično, koji se koriste u svrhu implementacije ublažavanja negativnih utjecaja na šišmiše na vjetroelektranama (Gartman i sur. 2016).

## 6. Zaključak

S globalnim porastom osviještenosti o zagađenju planete sagorijevanjem fosilnih goriva, porastao je i interes javnosti i investitora za obnovljive izvore energije. Energija vjetra pokazuje se kao dobra alternativa, ali rad vjetroelektrana negativno utječe na okoliš, a posebno na bioraznolikost vrsta poput ptica i šišmiša, koje su pod najvećim rizikom stradavanja od negativnih utjecaja vjetroelektrana.

Sva biološko-znanstvena, klimatološka i inženjerska saznanja potrebno je implementirati u plan izgradnje vjetroelektrane kako bi se utjecaj na ptice i šišmiše uistinu ublažio. Nažalost, brojni pristupi kojima bi se smanjili utjecaji još uvijek nisu potvrđeni kao efikasni ili rezultati nisu zadovoljavajući. Provedeno je premalo istraživanja koja se bave tom problematikom i potreban je daljnji rad, a ovo poznato treba implementirati i usavršavati.

## 7. Literatura

vjetroelektrana. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=64999> (pristupljeno 28. 6. 2023.)

Lovrić M., Lovrić D. (2013): Obnovljivi izvori energije u Hrvatskoj: prednosti i nedostaci

de Lucas, M.; Janss, G.; Ferrer, M. (2007): Birds and Wind Farms: Risk Assessment and Mitigation, Madrid: Quercus/Libreria Linneo

Bats & Wind Energy – Bat Conservation International (2023), [Bats & Wind Energy - Bat Conservation International](#) (pristupljeno 11.6.2023.)

Merriman J. (2021): How Many Birds Are Killed by Wind Turbines?, [How Many Birds Are Killed by Wind Turbines? | ABC \(abcbirds.org\)](#) (pristupljeno 11.6.2023.)

Gartman V., Bulling L., Dahmen M., Geißler G., Köppel J. (2016): Mitigation Measures for Wildlife in Wind Energy Development, Consolidating the State of Knowledge—Part 2: Operation, Decommissioning

Rodrigues, L. Bach, M.-J. Doubourg-Savage, B. Karapandža, D. Kovač, T. Kervyn, J. Dekker, A. Kepel, P. Bach, J. Collins, C. Harbusch, K. Park, B. Micevski, J. Minderman (2015): Guidelines for consideration of bat sin wind farm projects – Revision 2014. EUROBATS Publication Series No. 6 (English version). ZNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany, 133 pp.

Kotrošan D., Trbojević S., Šimić E. (2011): Vjetroelektrane i ptice, Sarajevo

Biello, D. (2008): On a Wing and Low Air: The Surprising Way Wind Turbines Kill Bats , [On a Wing and Low Air: The Surprising Way Wind Turbines Kill Bats - Scientific American](#) (pristupljeno 26.6.2023.)

Lawson, M., Jenne, D., Thresher, R., Houck, D., Wimsatt, Jeffrey, Straw, B. (2020): An investigation into the potential for wind turbines to cause barotrauma in bats, PLoS ONE 15(12): e0242485. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242485> (pristupljeno 26.6.2023.)

## 8. Životopis

Zovem se Lucija Rešetar. Rođena sam u Zagrebu 5. ožujka 2000., gdje i živim. Pohađala sam Osnovnu školu Petra Zrinskog u Zagrebu, a zatim Prirodoslovnu školu Vladimira Preloga, gimnazijski smjer. Od sedme godine trenirala sam jahanje, natjecala se na dresurnim turnirima u sklopu Konjičkog kluba Breza i osvojila titulu viceprvakinje Hrvatske za Pony jahače te prvakinje Grada Zagreba za Pony jahače. S devetnaest godina upisala sam preddiplomski smjer Znanosti o

okolišu na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Uključila sam se u rad brojnih udruga: Forum za održivi razvoj Zeleni prozor (gdje sam danas potpredsjednica), Udruga studenata biologije – BIUS (gdje sam vodila Sekciju za održivi razvoj 2 godine te se uključila kao aktivni član u Sekciju za ptice), Udruga BIOM (gdje sam obavljala stručnu praksu u sklopu fakulteta i gdje danas aktivno volontiram).