

2152

NINA Rapport

En vurdering av mulige fuglekollisjonsreducerende tiltak i Smøla vindpark

Roel May, Torgeir Nygård & Bård G. Stokke



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er NINAs ordinære rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på engelsk, som NINA Report.

NINA Temahefte

Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. Heftene har vanligvis en populærvitenskapelig form med vekt på illustrasjoner. NINA Temahefte kan også utgis på engelsk, som NINA Special Report.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler og i populærfaglige bøker og tidsskrifter.

En vurdering av mulige fuglekollisjonsreduserende tiltak i Smøla vindpark

Roel May
Torgeir Nygård
Bård G. Stokke

May, R., Nygård, T. & Stokke, B.G. 2022. En vurdering av mulige fuglekollisjonsreducerende tiltak i Smøla vindpark. NINA Rapport 2152. Norsk institutt for naturforskning.

Trondheim, juni 2022

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-4945-4

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Arne Follestad

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningsjef Svein-Håkon Lorentsen (sign.)

OPPDRAKSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Smøla Vind 2 AS

OPPDRAKSGIVERS REFERANSE

4500370490

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Harald Kristoffersen og Bjørn luell

FORSIDEBILDE

Søkshunden Harry ved en vindturbin med malt turbinblad på Smøla, Møre & Romsdal. Foto: Lars Magne Roksvåg©

NØKKEWORD

- Møre og Romsdal fylke, Smøla kommune
- Fugl
- Havørn, *Haliaeetus albicilla*
- Lirype, *Lagopus lagopus*
- Smøla vindpark
- Vindturbin
- Kollisjon
- Tiltak

KEY WORDS

- Møre & Romsdal county, Smøla municipality
- Bird
- White-tailed eagle, *Haliaeetus albicilla*
- Willow grouse, *Lagopus lagopus*
- Smøla wind farm
- Wind turbine
- Collision
- Mitigation

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor
Postboks 5685 Torgarden
7485 Trondheim
Tlf: 73 80 14 00

NINA Oslo
Sognsveien 68
0855 Oslo
Tlf: 73 80 14 00

NINA Tromsø
Postboks 6606 Langnes
9296 Tromsø
Tlf: 77 75 04 00

NINA Lillehammer
Vormstuguvegen 40
2624 Lillehammer
Tlf: 73 80 14 00

NINA Bergen
Thormøhlens gate 55
5006 Bergen
Tlf: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

May, R., Nygård, T. & Stokke, B.G. 2022. En vurdering av mulige fuglekollisjonsreducerende tiltak i Smøla vindpark. NINA Rapport 2152. Norsk institutt for naturforskning.

Smøla vindpark ble satt i drift i 2002, og regelmessige søk etter fugler som har kollidert med turbinene har avdekket at spesielt lirype og havørn er utsatt for kollisjoner. Lirype ser primært ut til å kollidere med selve turbintårnene, mens havørn kolliderer med turbinbladene. I forbindelse med forlengelse av anleggskonsesjonen for Smøla vindpark har NVE satt som vilkår at Smøla Vind 2 AS skal legge fram forslag til avbøtende tiltak for å redusere omfanget av kollisjoner mellom fugl og vindturbiner i vindkraftverket. Denne rapporten er ment å danne grunnlaget for et slikt forslag.

Det gis en kortfattet oppsummering av hovedutfordringene knyttet til fuglekollisjoner i Smøla vindpark, med fokus på arts-, tids-, steds- og turbinspesifikke faktorer som kan påvirke kollisjonsrisikoen. For havørn består de fleste kollisjoner av voksne individer tidlig i hekkesesongen. Dette er ikke overraskende siden dette er en periode med spesielt høy flygeaktivitet. Både for havørn og lirype er det tilsynelatende noen turbiner som medfører større kollisjonsrisiko enn andre (såkalte kollisjons-hotspots), men disse er ikke sammenfallende for de to artene.

Det gis en oversikt over mulige kollisjonsreducerende tiltak etterfulgt av en anbefaling rundt hvilke tiltak som anses å være mest hensiktsmessige for Smøla vindpark. Tidligere forsøk med kollisjonsreducerende tiltak på Smøla har vist en meget lovende effekt av maling av turbinblad (havørn og fugler generelt) og -tårn (lirype). Det anbefales å videreføre disse tiltakene ved å male «problemturbiner» som forårsaker spesielt høy kollisjonsrisiko. For havørn kan det i tillegg vurderes å fjerne skogholt med sitkagran nær vindkraftanlegget. Disse benyttes som rasteplasser og kan medføre forhøyet kollisjonsrisiko. Midlertidig nedstenging av turbiner er et annet tiltak som kan gjennomføres ved bruk av IdentiFlight-teknologi. For lirype kan man vurdere å bedre habitatkvaliteten i områder utenfor vindkraftanlegget som et kompensierende tiltak. Det er inkludert kostnadsestimater for de ulike tiltakene.

En evaluering av tiltakenes effektivitet må i første rekke baseres på søk etter død fugl (effekt av maling og fjerning av sitkagran), linjetransektorer (habitatkvalitet for ryer) og IdentiFlight (unnvikelsesatferd hos havørn etter maling) for å sammenligne før- og etter-situasjonen.

Roel May (roel.may@nina.no), NINA Avdeling for terrestrisk økologi, Pb 5685 Torgarden, 7485 Trondheim.

Torgeir Nygård (torgeir.nygard@nina.no), NINA Avdeling for terrestrisk økologi, Pb 5685 Torgarden, 7485 Trondheim.

Bård G. Stokke (bard.stokke@nina.no), NINA Avdeling for terrestrisk økologi, Pb 5685 Torgarden, 7485 Trondheim.

Abstract

May, R., Nygård, T. & Stokke, B.G. 2022. An assessment of possible mitigation measures for reducing the risk of bird turbine collisions at the Smøla wind farm, Central Norway. NINA Report 2152. Norwegian Institute for Nature Research.

Smøla wind farm has been operational since 2002. Regular searches for avian collision victims have disclosed that willow grouse and white-tailed sea eagles are especially prone to collide. Grouse primarily appears to collide with the turbine towers, while the sea eagles collide with the turbine blades. In connection with the extension of the operational license for Smøla wind farm, NVE has set as a condition that Smøla Vind 2 AS shall submit a proposal for mitigating measures to reduce the extent of collisions between birds and wind turbines in the wind power plant. The present report is intended to form the basis of such a proposal.

A brief summary is given of the main challenges associated with bird collisions in the Smøla wind farm, with a focus on species, time, place and turbine-specific factors that can affect the risk of collision. For sea eagles, most collisions involve adult individuals during the early breeding season. This is not surprising since this is a period of particularly high flight activity. For both sea eagles and grouse, there are apparently some turbines that carry a greater risk of collision than others (so-called collision hot-spots), but these do not coincide for the two species.

An overview of possible collision reduction measures is given, followed by a recommendation on which measures are considered to be most appropriate for Smøla wind farm. Previous experiments with collision reduction measures at Smøla have shown a very promising effect of painting turbine blades (sea eagles and birds in general) and towers (grouse). It is recommended to extend these measures by painting "problem turbines" which cause a particularly high risk of collision. For sea eagles, it can also be considered to remove forest patches with sitka spruce near the wind power plant. These are used as resting areas and can lead to an increased risk of collision. Temporary shutdown of turbines is another measure that can be implemented using IdentiFlight technology. For grouse, one can consider improving the habitat quality in areas outside the wind farm as a compensatory measure. Cost estimates for the various measures are included.

An evaluation of the effectiveness of the measures must primarily be based on searches for dead birds (effect of painting and removal of sitka spruce), line transects (habitat quality for grouse) and IdentiFlight (avoidance behavior in sea eagles after painting) to compare the before and after situation.

Roel May (roel.may@nina.no), NINA Department of Terrestrial Ecology, Pb 5685 Torgarden, NO-7485 Trondheim, Norway.

Torgeir Nygård (torgeir.nygard@nina.no), NINA Department of Terrestrial Ecology, Pb 5685 Torgarden, NO-7485 Trondheim, Norway.

Bård G. Stokke (bard.stokke@nina.no), NINA Department of Terrestrial Ecology, Pb 5685 Torgarden, NO-7485 Trondheim, Norway.

Innhold

| | |
|---|-----------|
| Sammendrag | 3 |
| Abstract | 4 |
| Innhold | 5 |
| Forord | 6 |
| 1 Innledning | 7 |
| 2 Fugl og vindkraft | 8 |
| 2.1 Fugl og vindkraft - hovedutfordringer | 8 |
| 2.2 Utfordringer knyttet til kollisjonsrisiko i Smøla vindpark..... | 8 |
| 3 Oversikt over mulige kollisjonsreducerende tiltak | 17 |
| 3.1 Tiltakshierarkiet..... | 17 |
| 3.2 Kollisjonsreducerende tiltak | 18 |
| 3.3 Robusthet av og erfaring med tiltakene..... | 19 |
| 4 Anbefalinger og evaluering av tiltak | 26 |
| 4.1 Utvalg av aktuelle tiltak | 26 |
| 4.1.1 Havørn..... | 26 |
| 4.1.2 Lirype..... | 28 |
| 4.2 Evaluering av tiltak | 29 |
| 5 Referanser | 30 |

Forord

Smøla vindpark ble satt i drift i 2002, og ferdigstilt i 2005. I perioden 2005-mai 2022 er det funnet 575 individer av 40 fuglearter som antas å ha kollidert med turbinblader i vindkraftverket. Det er gjennomført en rekke forskningsprosjekter i anlegget, og ett av disse (INTACT) har omhandlet ulike kollisjonsreducerende tiltak. I forbindelse med forlengelse av anleggskonsesjonen har NVE satt som vilkår at Smøla Vind 2 AS skal legge fram forslag til avbøtende tiltak for å redusere omfanget av kollisjoner mellom fugl og vindturbiner i vindkraftverket. Denne rapporten skal danne grunnlaget for et slikt forslag. Prosjektet er i sin helhet finansiert av Smøla Vind 2 AS, og gjennomført av Norsk institutt for naturforskning (NINA) i tett samarbeid med Harald Kristoffersen og Bjørn Iuell (Statkraft AS). Vi har også fått innspill fra Andreas Rokstad og Magnus Snøtun (Statkraft AS). Vi ønsker å takke for et godt samarbeid.

Trondheim, juni 2022

Bård G. Stokke, prosjektleder

1 Innledning

I forbindelse med forlengelse av anleggskonsesjonen for Smøla vindpark fra 01.01.2026 til 01.09.2035, har NVE pålagt Smøla Vind 2 AS følgende konsesjonsvilkår (NVE 2022):

«Konsesjonær skal legge fram et forslag for NVE til avbøtende tiltak som kan gjennomføres for å redusere omfanget av kollisjoner mellom fugl og vindturbiner i Smøla vindkraftverk. Forslaget skal inneholde en redegjørelse om avbøtende tiltak som kan bidra til å redusere omfanget av kollisjoner, samt en beskrivelse av kostnadene forbundet med de ulike tiltakene. NVE skal godkjenne tiltakene før de gjennomføres. Frist for å sende inn forslaget er 31.06.2022».

Videre utdypes det i NVE (2022) sin vurdering at: *«...Smøla er et viktig område for fugl og det foreligger ny kunnskap om reduksjon av kollisjonsfaren for havørn og smølalirype. Hensynet til fugl i området, særlig havørn og smølalirype, er etter NVEs vurdering en sterk samfunnsmessig interesse».*

I denne rapporten gis en kort oppsummering av kunnskap om potensielle effekter av vindkraftverk for fugl, med fokus på kollisjonsrisiko. Videre gis det en oversikt over mulige kollisjonsreduerende tiltak, og en nærmere beskrivelse av de tiltak som anses som mest relevante for Smøla vindpark. Dette inkluderer også teknologi og kostnadsestimater ved implementering av disse tiltakene. På bakgrunn av dette gis det anbefalinger for tiltaksregimer og oppfølging/evaluering av disse.

2 Fugl og vindkraft

2.1 Fugl og vindkraft - hovedutfordringer

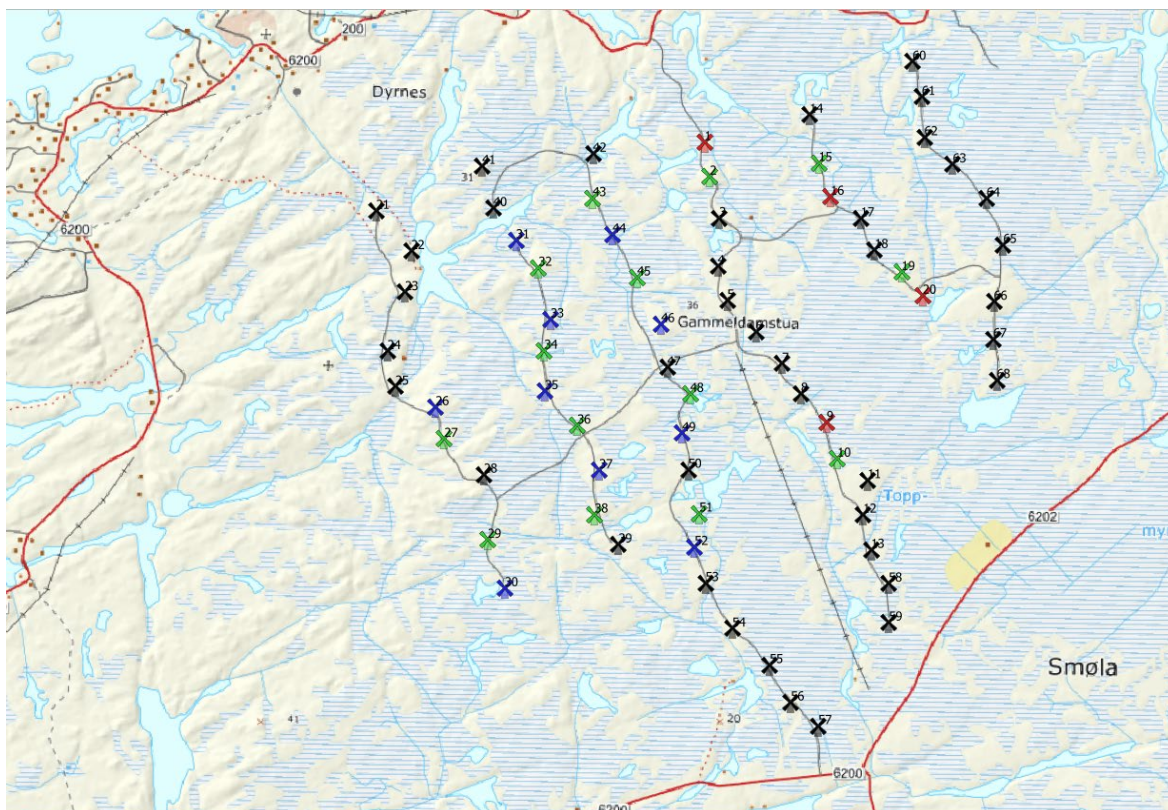
Vindkraftverk kan påvirke fuglelivet på flere ulike måter. Den mest innlysende effekten er kollisjoner med turbinstrukturer, og dette resulterer ofte i umiddelbar død eller dødelig skade. I tillegg kan vindkraftverk virke som barrierer som påvirker fuglenes flygeatferd og bruk av området (unnvikelse). Slike anlegg vil, på linje med annen industri og infrastruktur, også kunne medføre forringelse eller tap av habitater for en del arter (Langston m.fl. 2006; Bevanger m.fl. 2016; Stokke m.fl. 2017). Det aller meste av kunnskapen vi har om problematikk knyttet til fugl og vindkraft i Norge har sin bakgrunn i mangeårige studier fra vindkraftverket på Smøla (Bevanger m.fl. 2016). I det følgende setter vi fokus på kollisjonsrisiko, siden det er dette som vil være mest relevant i forhold til både tidligere forskning på Smøla og NVE sine konsesjonsvilkår. Det har etter hvert blitt publisert en rekke studier som har vist at fugler kan kollidere med vindturbiner (for eksempel Marques m.fl. 2014), og det er også gjort estimater på hvor mange individer som dør på grunn av dette. I 2013 ble det for eksempel beregnet at ca. 234 000 individer kolliderer med vindturbiner hvert år i USA alene (Loss m.fl. 2013). Kollisjonsrisikoen kan påvirkes av en rekke faktorer, som grovt sett kan inndeles i arts-, steds-, tids- og turbinspesifikke faktorer (Marques m.fl. 2014; May m.fl. 2015).

2.2 Utfordringer knyttet til kollisjonsrisiko i Smøla vindpark

Smøla vindpark består av 68 vindturbiner som er plassert på den nordvestlige delen av Smøla i Møre og Romsdal (**figur 1**). Vindkraftverket ble bygget i to trinn fram til 2005, og var da Europas største landbaserte vindkraftverk (Follestad m.fl. 2007; Bevanger m.fl. 2010; May m.fl. 2013). I forbindelse med forskningsprosjektene BirdWind (2006-2011) og INTACT (2013-2017), ble det blant annet foretatt søk etter døde fugler i Smøla vindpark (Bevanger m.fl. 2016; May m.fl. 2020; Stokke m.fl. 2020b). Slike søk har blitt gjennomført i regi av Statkraft også før og etter disse prosjektene, og i perioden 2005–mai 2022 er det blitt funnet 575 individer av 40 fuglearter samt én nordflaggermus (*Eptesicus nilssonii*), som antas å ha kollidert med turbinblader eller -tårn i vindkraftverket. Konflikten mellom vindkraft og fugl på Smøla er, som andre steder i verden, sterkt arts-, steds- og årstidsspesifikk (se også Bevanger m.fl. 2016). Funnmaterialet viser at det på Smøla er to arter som er spesielt utsatt for kollisjoner. Dette er lirype (*Lagopus lagopus*) og havørn (*Haliaeetus albicilla*), med henholdsvis 242 og 127 individer. Det er viktig å bemerke at liryper i hovedsak ser ut til å kollidere med turbintårnene, mens havørner kolliderer med turbinbladene (May m.fl. 2020; Stokke m.fl. 2020b). I tillegg til disse artene er det funnet 10 eller flere individer av artene grågås (*Anser anser*, 10), enkeltbekkasin (*Gallinago gallinago*, 27), heilo (*Pluvialis apricaria*, 13), gråhegre (*Ardea cinerea*, 11), kråke (*Corvus cornix*, 28) og heipiplerke (*Anthus pratensis*, 13). Tre av disse, enkeltbekkasin, heilo og heipiplerke, foretar fluktspill i hekkeperioden, og er derfor trolig spesielt utsatt for å kollidere med turbinbladene. Det foregår et betydelig fugletrekk over Smøla vår og høst, men disse passeringene skjer i hovedsak i en høyde som tilsier lav kollisjonsrisiko (Bevanger m.fl. 2010; May 2012). Det er derfor de ovenfornevnte stedegne og stasjonære artene virker å være mest utsatt for kollisjoner med vindturbinene i Smøla vindpark. Av de 44 artene som er funnet og antatt drept av turbinene på Smøla er det, ifølge den norske rødlista av 2021 (Stokke m.fl. 2021b), 10 rødlistede arter: I kategorien sterkt truet (EN): havhest (*Fulmarus glacialis*, 1) og krykkje (*Rissa tridactyla*, 1). I kategorien sårbar (VU): skjeand (*Spatula clypeata*, 1), fiskemåke (*Larus canus*, 4), gråmåke (*Larus argentatus*, 3)

og jaktfalk (*Falco rusticolus*, 1). I kategorien nær truet (NT): tjeld (*Haematopus ostralegus*, 2), heilo (13), rødstilk (*Tringa totanus*, 2) og stær (*Sturnus vulgaris*, 2).

På grunn av høy kollisjonsdødelighet hos spesielt lirype og havørn, ble INTACT-prosjektet igangsatt for å teste ut forskjellige kollisjonsreducerende tiltak. Tiltakene inkluderte kontrastmaling av rotorblad og tårnbase (figur 1; May m.fl. 2020; Stokke m.fl. 2020b), (ultra) fiolett lys som skremsel/varsling (May m.fl. 2017b), og eventuelle tilpasninger i turbindrift (for eksempel oppstartshastighet og nedstengning). Spesielt eksperimentene med kontrastmaling var svært lovende, og resulterte i en nedgang i kollisjonsraten hos fugler på ca. 70 % ved turbiner med svartmalt rotorblad, og en nedgang på ca. 50 % hos lirype ved svartmalt tårnbase i forhold til kontrollturbinene. (Ultra)fiolett lys hadde begrenset effekt på unnvikelse hos fugl.



Figur 1. Smøla vindpark. Vindkraftverket består av 68 turbiner, hvorav ti har svartmalt tårnbase (blå), fire har svartmalt rotorblad (rød), samt fjorten kontrollturbiner (grønn) som var en del av INTACT-eksperimentene (tiltak siden 2013).

Aldersfordelingen blant drepte havørner er så langt 59,1 % voksne (adulte, ≥ 5 år), 30,4 % unge voksne (subadulte, 2-4 år) og 10,4 % ungfugler (juvenile, 0-1 år). Kjønnfordelingen blant drepte adulte er 32 hunner og 30 hanner, for subadulte 14 hunner og 14 hanner, og for juvenile 2 hunner og 5 hanner. Hekkeperioden (vår og forsommer) er den perioden hvor det er funnet klart flest døde havørner i vindkraftanlegget (Bevanger m.fl. 2010; Stokke m.fl. 2020a, 2021a), noe som kan forklares med spesielt mye flygeaktivitet i forbindelse med kurtiseatferd og jaging av inntrengere på denne tiden av året (Bevanger m.fl. 2016). I tillegg er det vist at hekkesuksessen til havørnpar på en distanse på mindre enn 500 m fra turbinene ble betydelig redusert etter utbygging sammenlignet med førsituasjonen. Hovedårsaken til dette var at territorier i nærheten av

vindkraftverket ble forlatt etter at vindkraftverket ble bygget (Dahl m.fl. 2012). Videre er det vist at havørnene ikke viser noen form for fluktunnvikelse av selve turbinene gjennom lavere flygeaktivitet i disse områdene sammenlignet med områder lenger unna. Dette bidrar til at risikoen for kollisjoner ikke reduseres over tid (Dahl m.fl. 2013). Innenfor en 5 km radius rundt vindkraftverket har havørnbestanden gått ned i antall (Dahl 2014). I perioden 2020–2022 blir det gjennomført en inventering av havørnterritoriene på Smøla for å fremskaffe et oppdatert kunnskapsgrunnlag om bestandens tilstand (Stokke m.fl. 2020a, 2021a).

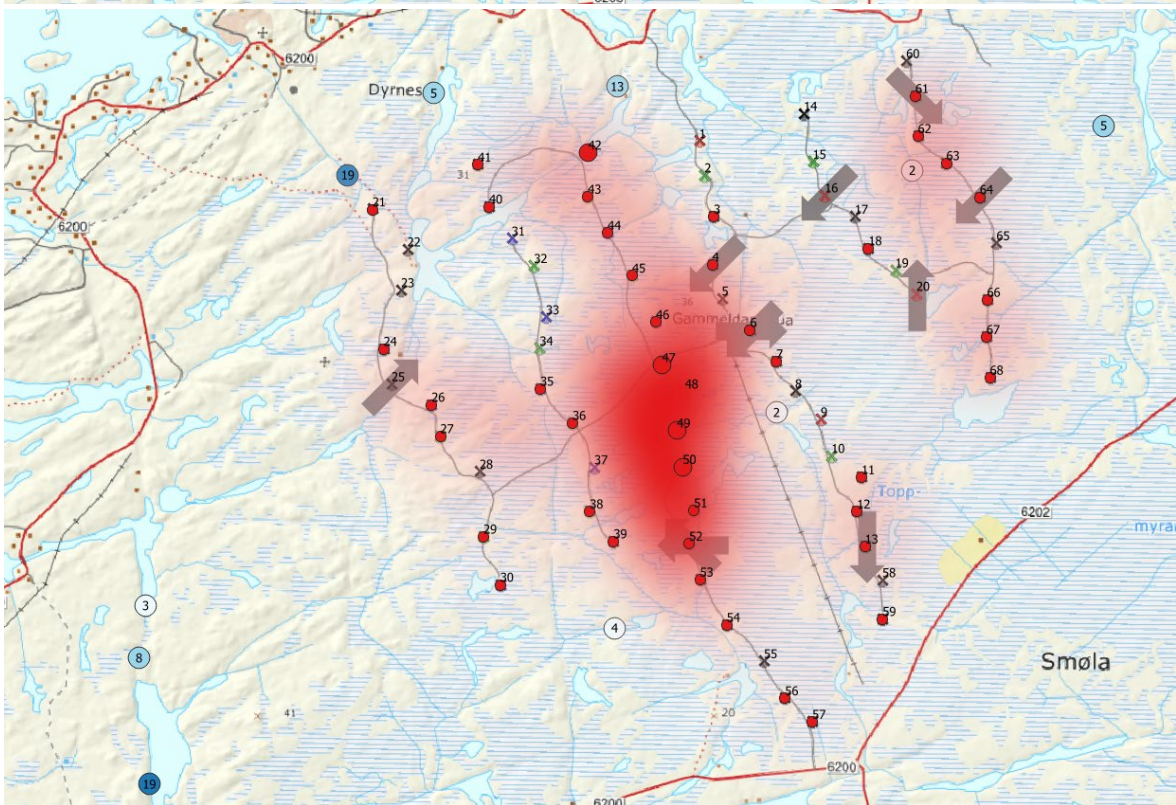
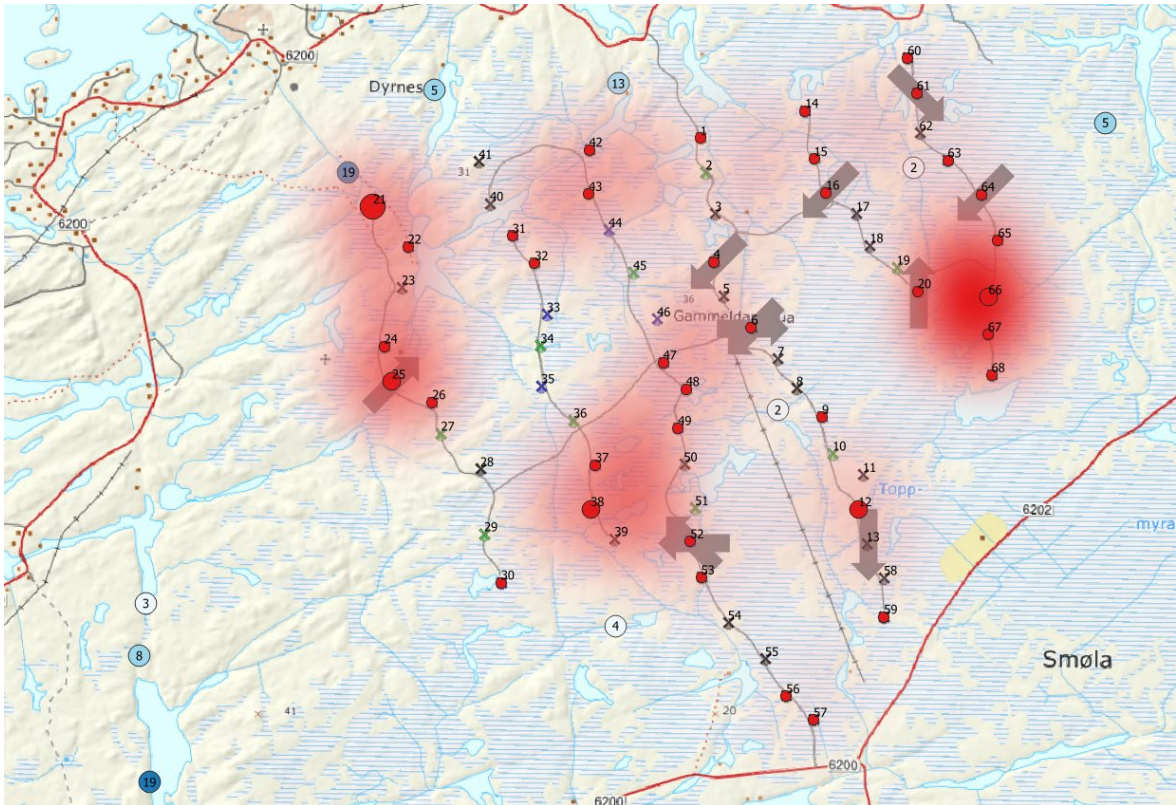
Liryper og andre hønsefugler har relativt dårlig syn og manøvreringsevne, og er kjent for å kollidere med ulike typer av lufthindringer. De er gjerne også spesielt aktive i perioder med dårlig lys (skumring og grålysning), og flyr ofte lavt over terrenget. Dette gjør at de står i spesielt stor fare for å kollidere med turbintårn på Smøla. De grå turbintårnene kan være vanskelig å se for liryper fordi de går i ett med bakgrunnen, spesielt ved dårlig vær eller tidlig/sent på dagen (se Bevanger m.fl. 2016; Stokke m.fl. 2020b). Liryper på Smøla har, selv om kyllingproduksjonen er bra, en lavere overlevelse enn bestander på fastlandet (<30 %; Bevanger m.fl. 2010). Dette kan skyldes både en høy predasjonsrate forårsaket av jaktfalk og kollisjoner med vindturbiner, eller en kombinasjon av dette (Pedersen 2017).

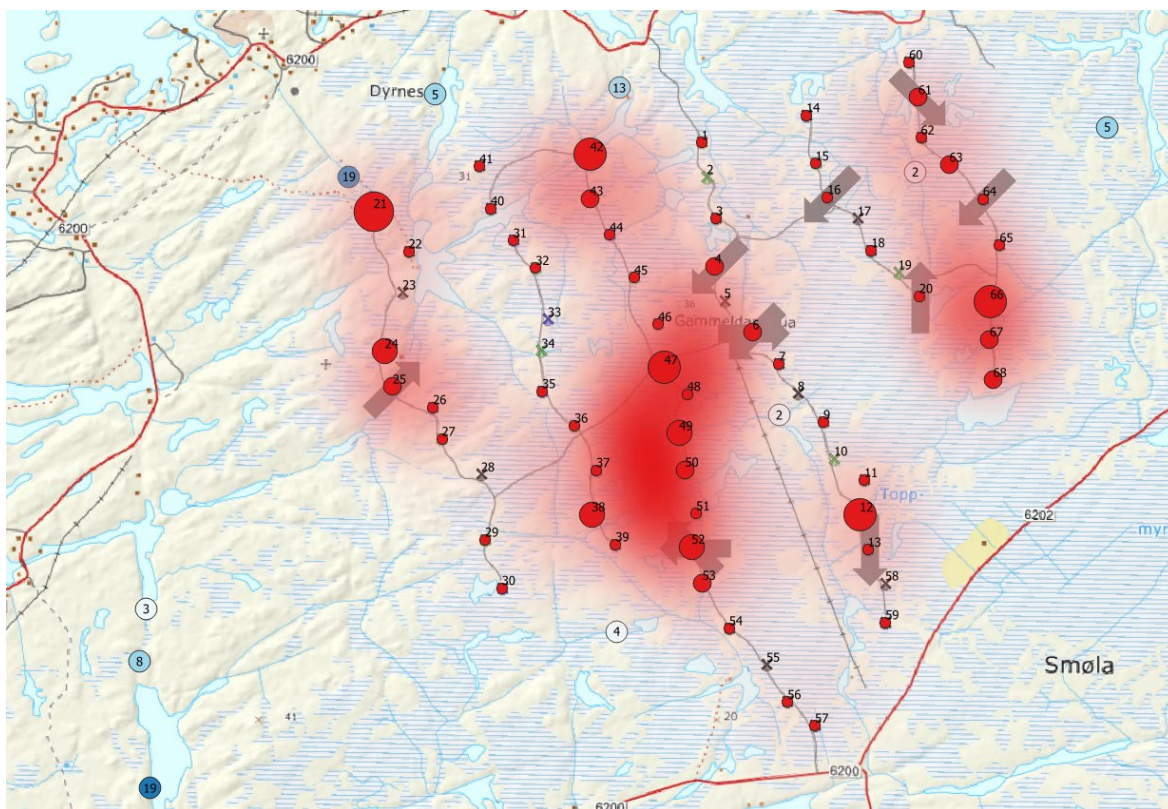
Den romlige fordelingen av funn av døde havørner og liryper framkommer fra henholdsvis **figur 2** og **figur 3**. For begge artene er det funnet døde individer i stort sett hele vindkraftanlegget, men ved 13 turbiner er det aldri funnet døde individer av havørn, og tilsvarende 8 for lirype. På den andre side er det også tydelig at noen turbiner tar livet av uforholdsmessig mange individer (for eksempel turbin 21 for havørn og turbin 20 for lirype). I det siste tiåret har, sammenlignet med det foregående tiåret, den romlige fordelingen av kollisjonene endret seg (**figur 4**). For eksempel har det for havørn oppstått en 'hotspot' for kollisjoner midt i vindkraftverket som ikke var der tidligere (**figur 2**). Dette har sannsynligvis ingen sammenheng med endring i hekkeutbredelse, siden den synes å være relativt lik i de to periodene (Espen Lie Dahl, pers. komm.). For lirype har konsentrasjonen av kollisjonene flyttet seg fra 40-rekka til turbinene rundt turbin 20 (**figur 3**). Antall kollisjons ofre er også ulikt fordelt mellom ytre og indre turbiner (**tabell 1**). Mens det er en høyere dødelighet ved ytre turbiner for havørn (totalt sett og i det første tiåret), er dødeligheten hos lirype høyere ved indre turbiner. Denne testen antar at sannsynligheten for å oppdage døde fugler er lik ved indre og ytre turbiner. I en tidligere analyse ble det påvist en høyere havørndødelighet ved turbiner i enden av rekkene og i mer ulendt terreng, spesielt for ungfugl (Dahl m.fl. 2015). For voksne havørner var dødeligheten lavere ved turbiner innenfor 500 m til nærmeste reirplass, og med økende reirtetthet og kortere avstand til hvileplasser (Dahl m.fl. 2015).

Tabell 1. Fordeling av kollisjonsofre hos havørn og lirype ved indre versus ytre turbiner i Smøla vindpark. Tall i parentes angir forventet antall. Chi2 testen angir sannsynlighet for at forventet og reelt antall kollisjonsofre er likt fordelt mellom indre (2-10, 15-20, 31-38, 40, 43-51) og ytre (1, 11-14, 21-30, 39, 41-42, 52-68) turbiner.

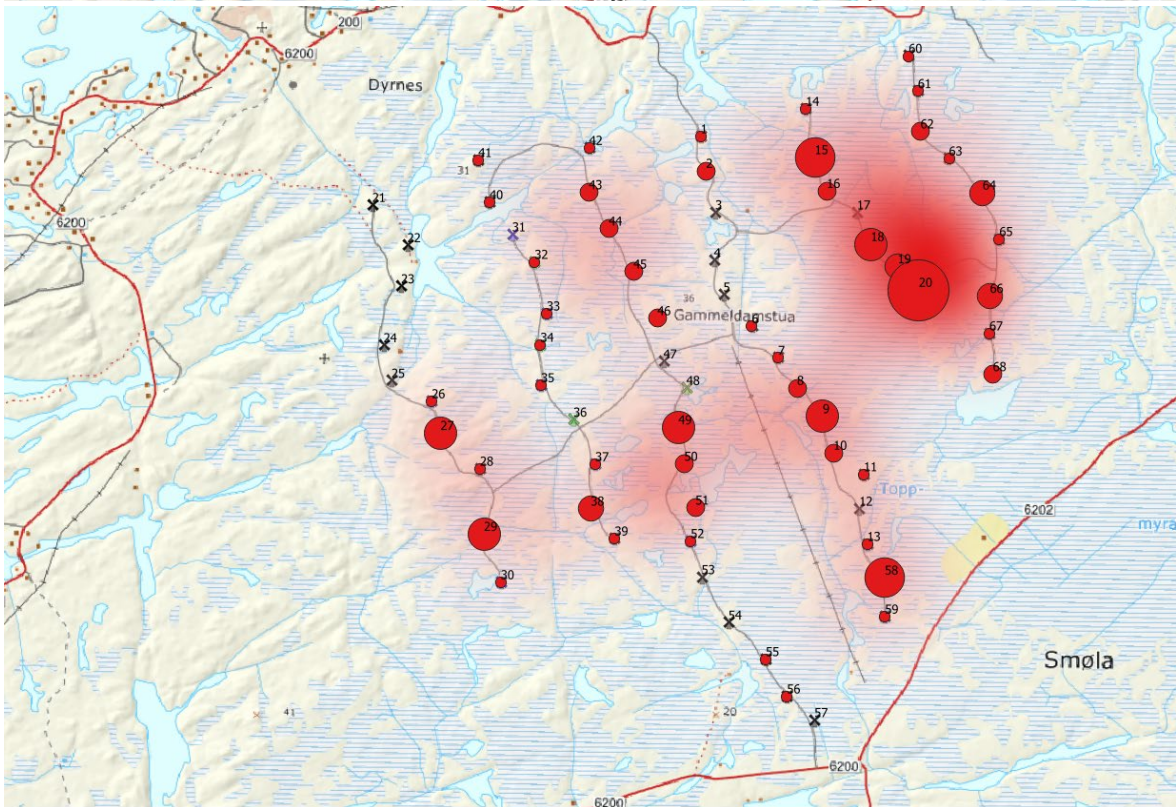
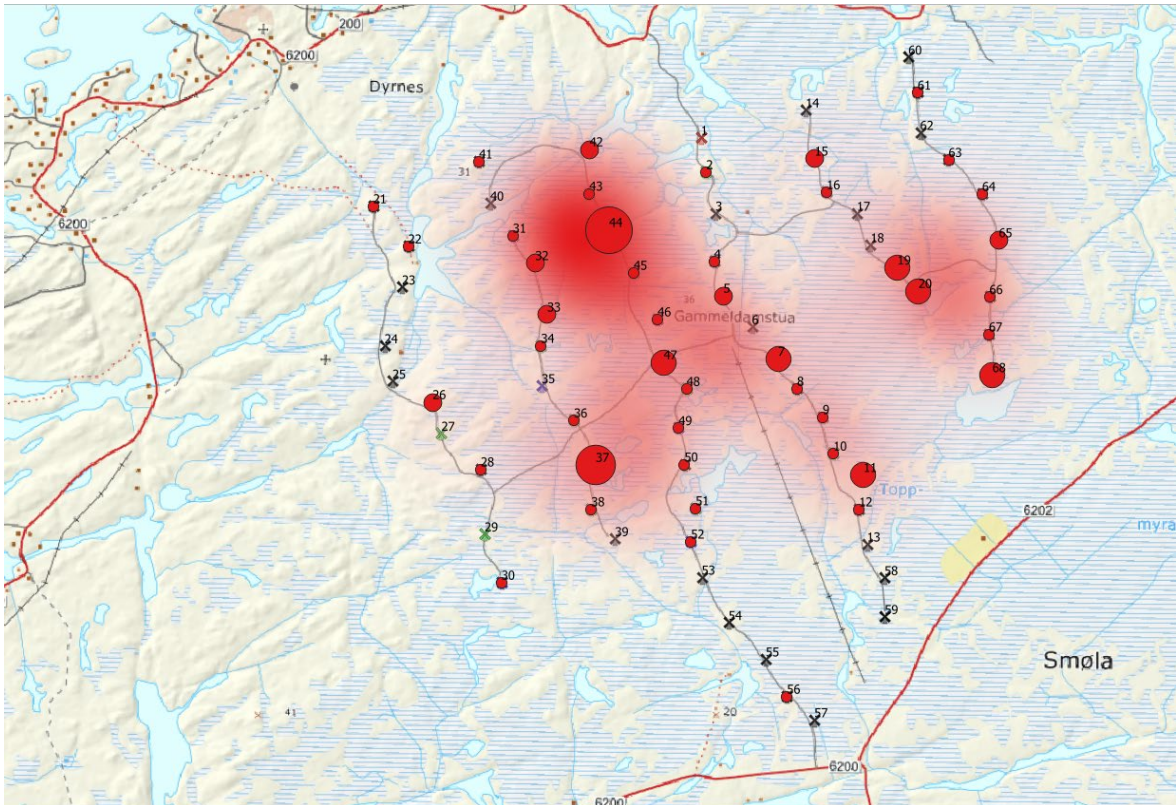
| Turbiner | | Havørn | | |
|----------------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|
| Type | Antall | 2005-2013 | 2014-2022 | 2005-2022 |
| <i>Indre</i> | 33 | 21 (28) | 28 (32) | 49 (60) |
| <i>Ytre</i> | 35 | 37 (30) | 37 (33) | 74 (63) |
| <i>Totalt</i> | 68 | 58 | 65 | 123 |
| <i>Chi2 test (P-verdi)</i> | | 0.066 | 0.321 | 0.047 |

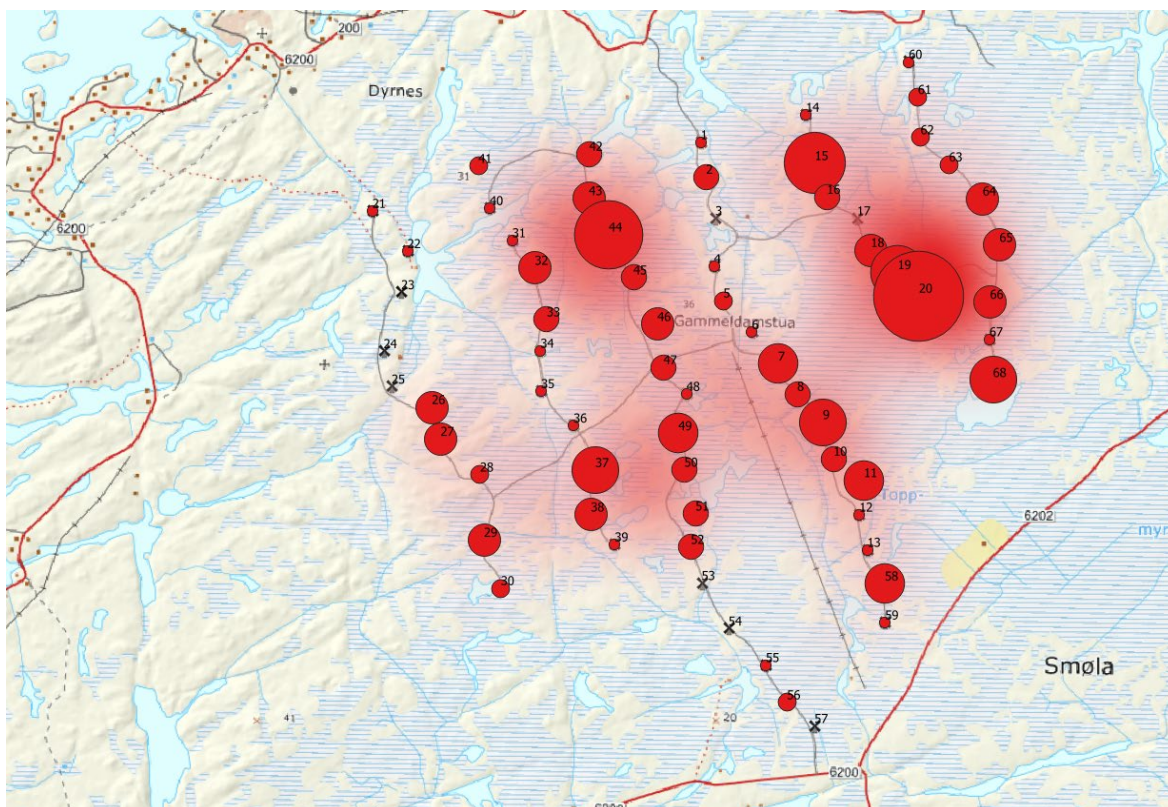
| Turbiner | | Lirype | | |
|-----------------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|
| Type | Antall | 2005-2013 | 2014-2022 | 2005-2022 |
| <i>Indre</i> | 33 | 62 (47) | 79 (67) | 141 (114) |
| <i>Ytre</i> | 35 | 34 (49) | 59 (71) | 93 (120) |
| <i>Totalt</i> | 68 | 96 | 138 | 234 |
| <i>Chi2 test (P-verdi):</i> | | 0.002 | 0.041 | 0.000 |



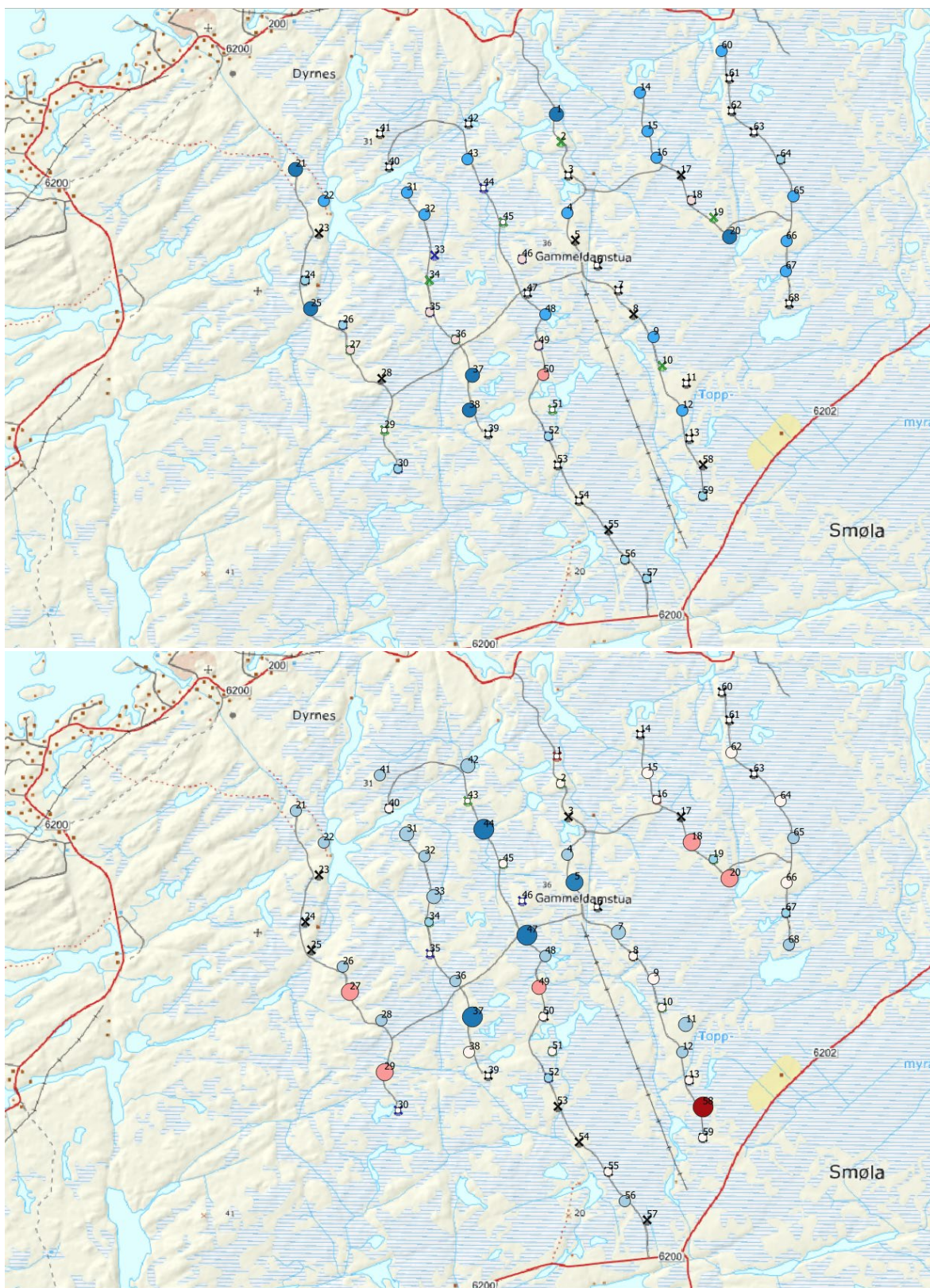


Figur 2. Fordeling av havørnkollisjoner i Smøla vindpark (turbিন্নumre 1-68) i tiåret før (2005-2013; øverst) og etter (2014-2022; midten) malingseksperimentene, samt totalt sett (2005-2022; nederst). Størrelsen på sirkelene angir antall kollisjoner. Røde, skyggelagte områder viser et 'hotspots heatmap' av områdene med flest kollisjoner (innenfor en radius av 1 km). Hvite, lyseblå og blå sirkler indikerer plassering av hvileplasser hvor mørkere farge indikerer høyere antall GPS-merkede individer som har benyttet disse (antall i sirkelene angir antall, etter Dahl m.fl. 2015). Pilene indikerer retning til reirplassene av kjente individer som har kollidert.





Figur 3. Fordeling av lirypekollisjoner i Smøla vindpark (turbinnumre 1-68) i tiåret før (2005-2013; øverst) og etter (2014-2022; midten) malingseksperimentene, og totalt sett (2005-2022; nederst). Størrelsen på sirklene angir antall kollisjoner. Røde, skyggelagte områder viser et 'hotspots heatmap' av områdene med flest kollisjoner (innenfor en radius av 1 km).

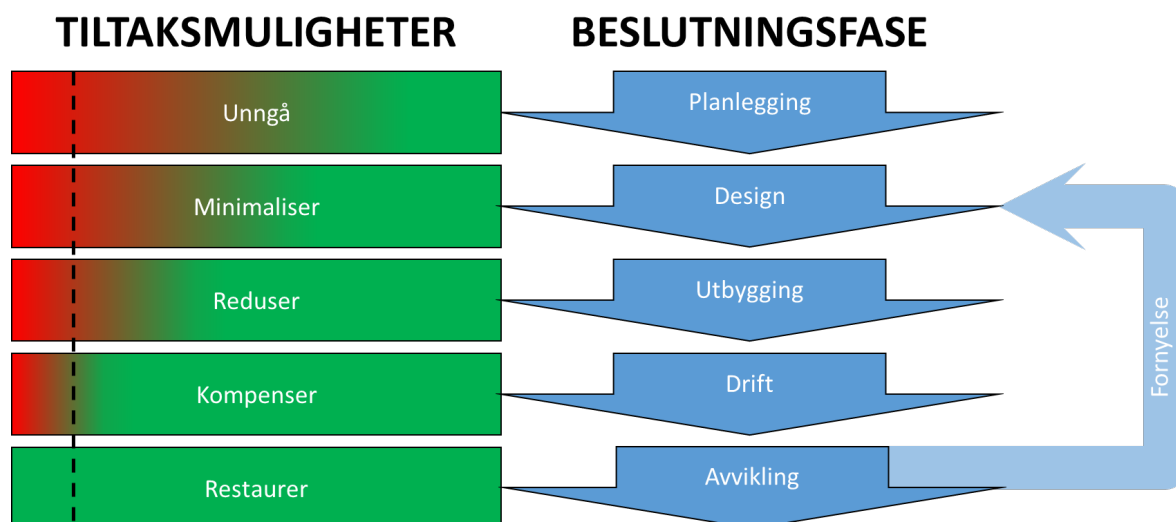


Figur 4. Endring i antall kollisjoner i Smøla vindpark (turbিন্নumre 1-68) i perioden 2005-2013 og 2014-2022 for havørn (øverst) og liryte (nederst). Størrelsen på sirkelene viser endring i antall, og farge indikerer stabil (hvit), nedgang (blå) eller oppgang (rød) fra det første til det andre tiåret. Mørkere rød/blå farge angir større endring i antall enn lysere rød/blå farge.

3 Oversikt over mulige kollisjonsreduserende tiltak

3.1 Tiltakshierarkiet

Vindkraft kan, avhengig av eksponering og sannsynlighet for påvirkning og sårbarhet hos en art, ha konsekvenser for levedyktighet på bestandsnivå (Dahl 2014; May m.fl. 2018). Et mål om lavest mulige miljø- og samfunnskostnader per kWh fra vindkraft er avhengig av en planleggingsprosess som tilrettelegger for implementering av avbøtende tiltak gjennom vindkraftverkets livsløp (May 2017). I praksis er steget fra å dokumentere omfanget av påvirkningen forårsaket av konstruksjon og drift av et vindkraftverk til vellykkede avbøtende tiltak gjerne svært langt (Marshall 2001). Dette gjelder ikke minst der det kreves god kunnskap om lokale forhold og artenes økologi, samt å forstå hvorfor kollisjoner oppstår under bestemte forutsetninger. Dette krever at stedsspesifikk kunnskap er tilgjengelig fra før- og etterundersøkelser. Utvikling av effektive og praktiske tiltak for å redusere turbinindusert dødelighet ved vindkraftverk bør følge «tiltakshierarkiet» (figur 5; oversatt fra May 2017). De prioriterte tiltak kan knyttes til livsløpet av et vindkraftverk og tilhørende beslutningsmomenter: planlegging, design, utbygging, drift og avvikling, eller fornyelse (Gartman m.fl. 2016a, 2016b; May 2017). Å unngå områder med høy risiko for kollisjoner vil ha størst positiv effekt. Etter at et planområde er definert i planleggingsfasen kan potensielle påvirkninger minimeres ytterligere gjennom utforming av vindkraftverket, typevalg og plassering av turbinene. Det er gjerne hensiktsmessig å implementere tiltak i utbyggingsfasen, slik at disse er operasjonelle ved oppstart av driftsfasen. I selve driftsfasen vil det kun gjenstå muligheter for kompensere tiltak, dersom man ikke anvender en adaptiv tilnærming og tilpasser tiltak etter hvilke påvirkninger som oppstår (Hanna m.fl. 2016). Sistnevnte var tilfelle på Smøla, hvor man etter utbygging fant at havørn og lirype var spesielt utsatt for å kollidere med turbinene. Dette utløste både forskning og uttesting av mulige tiltak (May 2019).



Figur 5. Tiltakshierarkiet (etter May 2017).

3.2 Kollisjonsreducerende tiltak

Kollisjonsreducerende tiltak er delt opp i de følgende gruppene (Marques m.fl. 2014; May m.fl. 2015; Gartman m.fl. 2016b):

- Turbin-spesifikke tiltak
 - Plassering og utforming
 - Driftsendringer
- Fugl-spesifikke tiltak
 - Tilpasse synlighet
 - Aktiv varsling
- Kompenserende tiltak
 - Forbedre habitat og øke bestander
 - Redusere andre påvirkningsfaktorer

Etter tiltakshierarkiet er det å foretrekke å unngå risiko for kollisjoner. Dette tilsier at områder som er ansett å være viktige habitater for sårbare arter bør skjermes fra vindkraftutvikling. Deretter bør utforming av vindkraftverket inklusive finskala plassering av turbiner ta hensyn til artenes bruk av området. For eksempel er det kjent at seilende arter som havørn er tiltrukket av områder med oppdrift (Hanssen m.fl. 2020). Vertikalt oppgående luftstrømmer kan oppstå gjennom termisk oppvarming av bakken eller luft som blir presset oppover av topografien. Dersom turbiner er plassert på slike steder vil kollisjonsrisikoen gjerne øke (Santos m.fl. 2017). I driftsfasen kan det også anvendes operasjonelle tiltak som kan resultere i et visst tap av energiproduksjon, hvor omfanget avhenger av hvor ofte disse tiltakene må igangsettes for å unngå fuglekollisjoner. Midlertidig nedstenging av turbiner eller tilpasninger i turbindrift (f.eks. oppstartshastighet, bremsing eller 'feathering') kan enten igangsettes basert på detekterte fugler i nærområdet, eller basert på generelle beslutningsregler (Gartman m.fl. 2016b).

Som et alternativ til turbin-spesifikke tilpasninger, finnes det også tiltak som retter seg spesifikt mot fuglene. Fugle-spesifikke tiltak omhandler gjerne fremkalling av atferdsrespons som reduserer risikoen for at fuglene kolliderer. Dette krever enten at turbiner blir mer synlige for fuglene, eller et aktivt system som identifiserer risikofulle bevegelser og igangsetter et sterk visuelt eller akustisk signal for enten å varsle fugl om turbinen eller skremme dem bort fra den. Muligheter for å øke synlighet til turbinene og gjøre fuglene mer oppmerksomme på deres tilstedeværelse i området inkluderer blant annet maling av rotorblader (May m.fl. 2020), maling av tårnbasen (Stokke m.fl. 2020b), eller montering av strukturer på bakken (Martin 2011). Mens sistnevnte ikke er testet ut, har effekten av begge de andre mulighetene blitt undersøkt i Smøla vindpark. Maling av ett av tre rotorblader resulterte i en nedgang i kollisjonsraten på 70 % for fugl generelt, mens malte tårnbaser reduserte kollisjonsraten til liryte med 50 %. Et alternativ til slike passive tiltak kan være å anvende systemer som aktivt detekterer og sporer fugler i flukt i nærheten av turbinene. Slike systemer er ofte basert på radar- eller kamerateknologi (dagslys og/eller termisk, Dirksen 2017). Fugler detektert med et slikt system kan utløse enten et visuelt eller akustisk signal for å framskaffe en endring i fluktreningen i fuglen. Avhengig av hvor ofte et slik signal utløses, og hvor spesifikt det er for målarten(e), kan dette resultere i risiko for tilvenning over tid. Dette krever at man har god kunnskap om artenes fysiologi og sanseøkologi (May m.fl. 2015). Det må påpekes at slike varslingsystemer også kan påvirke mennesker i nærområdet (lys- og lydforurensing).

I tilfeller der direkte tiltak for å redusere kollisjoner med turbiner ikke er gjennomførbare, kan det vurderes kompensierende tiltak. Disse kan enten fokusere på styrking av bestanden, eller på reduksjon av andre negative påvirkningsfaktorer. Dette kan både utføres ved vindkraftverket ('on-site') eller i andre områder hvor arten er til stede ('off-site') (May 2017). Eksempler på tiltak er fjerning eller øking av mattilgang (Smallwood m.fl. 2009; Martin m.fl. 2012), tilpasninger i habitatkvalitet (Smallwood & Thelander 2004; Walker m.fl. 2005), eller tilpasninger knyttet til tilhørende infrastruktur som for eksempel kraftlinjer gjennom å redusere elektroklusjonsrisiko (Cole & Dahl 2013). Mens disse tiltakene ofte er mindre spesifikt rettet mot en bestemt art, påvirker et vindkraftverk ofte flere arter samtidig. Derfor kan slike kompensierende tiltak bidra til en generell avbøtende effekt på fuglelivet (Arnett & May 2016).

Kollisjonsrisikoen i et gitt vindkraftverk er som tidligere nevnt ofte arts-, steds-, årstids- og turbin-spesifikke. Det er imidlertid også blitt identifisert risikofaktorer som øker kollisjonsraten ved landbaserte vindkraftverk generelt og globalt. Thaxter m.fl. (2017) fant i en metaanalyse at kollisjonsraten er høyere for trekkende arter, arter med stor aksjonsradius, i mer åpne og kystnære habitater, og avhengig av turbinkapasitet (MW). Vindkraftverk med færre og større turbiner resulterer gjerne i lavere kollisjonsrater enn mange små turbiner. I Norge er sjøfugler og rovfugler generelt mest utsatt for å bli påvirket av landbaserte vindkraftverk (May m.fl. 2021). Hvilke tiltak som vil være mest effektive vil dermed avhenge av artenes fysiologi og økologi. May m.fl. (2015) evaluerte ulike kollisjonsreducerende tiltak ut fra dette. **Tabell 2** gjengir resultatene fra denne evalueringen, men med en oppdatering etter dagens kunnskap og med angivelse av de tiltak som anses å være mest effektive og aktuelle for å redusere kollisjonsrisikoen for havørn og lirype på Smøla. I forbindelse med dette er både evalueringen, samt robusthet, erfaringer (f.eks. om tiltaket er blitt uttestet, implementert, osv.), og type teknologi tatt med i betraktningen.

For havørna, som bruker luftrommet hyppig, er det mulig å benytte både passive og aktive varslingstiltak (visuell merking, visuell eller akustisk varsling) samt driftsendringer av turbinene (oppstartshastighet eller nedstengning). Lirypa derimot, tilbringer mesteparten av tiden på bakken, og flyr raskt og rett fram over kortere avstander. Siden de tilbringer lite tid i luftrommet, vil aktive deteksjonssystemer ikke fungere for denne arten. Siden de fleste rypene antas å kolliderer med tårnet og ikke turbinbladene, vil heller ikke driftsendringer fungere. Det som gjenstår som eneste tiltak er dermed passiv merking. Ved siden av disse tiltakene, som kan bidra direkte til å redusere kollisjonsrisikoen, kan det for begge artene også iverksettes tiltak som indirekte kan bidra, slik som habitattilpasninger (fjerning av hvileplasser i nærheten av vindparken, og forbedring av hekkehabitat utenfor vindparken).

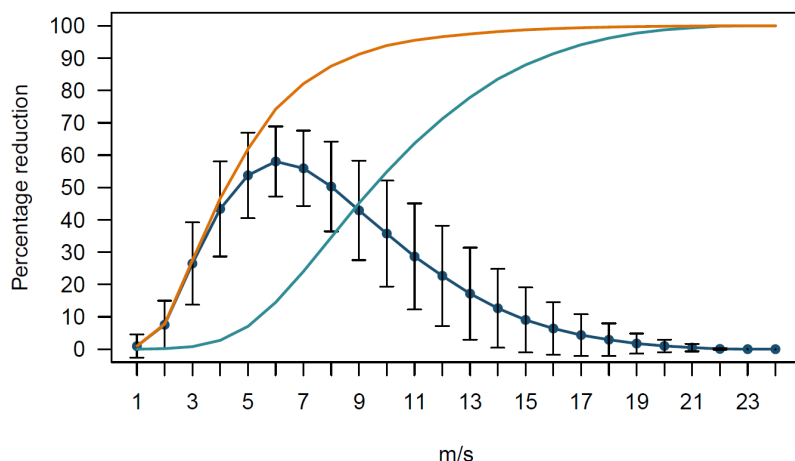
3.3 Robusthet av og erfaring med tiltakene

Det finnes en god del teknologiske systemer på markedet for å detektere fugler. Disse er oftest basert på enten radar- eller kamerateknologi (**tabell 3**). Systemer basert på radarteknologi vil kunne registrere fugler i et relativt stort område. Siden deteksjon er avhengig av størrelsen til fuglene, kan de fleste spurvefugler kun spores innenfor ca. 0,5-1 km, mens for eksempel større rovfugler kan spores over 1,5-2 km avstand (May m.fl. 2017a). En radar er derimot blind i en sone rundt selve turbinstrukturen. Bortsett fra *AscendXYZ*, registrerer alle systemer fugler både i det horisontale og vertikale planet; enten som '2,5D' (horisontale og vertikale data analyseres separat) eller full 3D. De fleste tilgjengelige radarsystemer, bortsett fra *BirdScan* og *AscendXYZ*, muliggjør automatisk nedstengning av spesifikke turbiner via SCADA oppkobling. *Accipiter* sitt radarsystem muliggjør også akustisk varsling. Både *Accipiter* og *MUSE* kan integreres med et

kamerasystem for å identifisere arter sporet av radaren. Siden havørna er til stede året rundt, og bruker vindkraftverket aktivt, ville dette sannsynligvis resultere i mange midlertidige nedstengninger; ikke minst der dette baseres på aktivitetsnivået, og ikke nærflygende enkeltfugler. Det kan heller ikke differensieres mellom arter (f.eks. havørn versus svartbak). Radarsystemer anses dermed som mindre egnet som hjelpemiddel til å redusere kollisjonsrisikoen for havørn på Smøla.

Systemer som er basert på kameraer har i prinsipp en mindre rekkevidde enn radarer, men er ikke nødvendigvis «blinde» nær turbinene slik radarene er (avhengig av kvaliteten til deteksjonsprogramvaren). Systemene er utstyrt enten med dagslys eller termiske- / IRkameraer, eller begge deler. Ni av de kamerabaserte systemene muliggjør kun deteksjon og eventuell sporing av fugler, men inkluderer ikke en tiltaksmodul. Seks systemer inkluderer en tiltaksmodul, enten i form av en oppkobling til SCADA for midlertidig nedstengning og/eller visuell eller akustisk varsling. Det finnes per i dag lite publisert kunnskap hvorvidt visuell eller akustisk varsling resulterer i tilvenning hos fuglene og dermed redusert effektivitet av tiltaket. Fem av disse systemene må monteres på hver enkelt turbin som skal overvåkes; noe som gjør dem dyrere i bruk siden hver 'problem'-turbin trenger hver sin utstyrspakke. Kun *IdentiFlight* dekker flere turbiner samtidig. Systemet er plassert på en egen 7-10 m høy mast og overvåker et område på 1 km med dagslyskameraer (McClure m.fl. 2021a). *IdentiFlight* er blitt utviklet spesifikt til å detektere og spore større fugler som ørn. Dette muliggjør at én utstyrspakke kan bidra til reduksjon av kollisjonsrisiko i et bestemt 'hotspot'-område, som for eksempel midt i vindkraftverket på Smøla (**figur 2**).

Som et alternativ til aktive deteksjonssystemer, kan midlertidig nedstengning også baseres på beslutningsregler. På Smøla er det blitt utført analyser basert på eksisterende radardata. Analysen viste at fugleaktivitet i nærheten av turbinene (og dermed kollisjonsrisiko) minket med økende vindhastighet (**figur 6**), med et optimum ved en vindhastighet på 6 m/s. Når oppstartshastighet av turbinene ville skje ved 6 m/s, ville dette redusere kollisjonsrisiko med ca. 75 % mot et produksjonstap på ca. 15 %. Siden vi fra tidligere forskning har funnet at kollisjonsrisikoen hos havørn er størst vår og høst (May m.fl. 2010, 2011, 2020), er det mulig å øke oppstartshastigheten i disse to årstidene, spesielt på solrike dager med lite vind. Dette vil kunne redusere produksjonstapet ytterligere uten å øke kollisjonsrisikoen. Tiltaket er midlertidig ikke testet på Smøla, og kan kreve ytterligere tilpasninger for å oppnå en optimal balanse.



Figur 6. Forholdet mellom proporsjonal kraftproduksjon (lyseblå) og reduksjon i kollisjonsrisiko (oransje) kan brukes som et mål for å tilpasse oppstartshastighet (mørkeblå, inklusiv usikkerhetsnivåer) i Smøla vindpark. Størst kollisjonsreduksjon per kraftproduksjon oppnås ved en oppstartshastighet på 6 m/s.

Som alternativ til aktive deteksjonsbaserte varslingsystemer, kan individer også varsles 'passivt' ved å merke enten rotorbladene (**figur 7**, havørn, May m.fl. 2020) eller tårnbasen (**figur 7**, lirype, Stokke m.fl. 2020b). Disse to tiltakene er blitt testet på Smøla med godt resultat, som beskrevet over, og virker svært lovende og kostnadseffektive. Tiltakene har imidlertid ikke blitt utprøvd andre steder enda, men et lignende eksperiment er startet opp i Nederland.

Som indirekte tiltak kan tilpasninger med hensyn til habitat potensielt bidra til å endre områdebruk til fuglene, og dermed minke kollisjonsrisikoen. Dette inkluderer fjerning av hvileplasser for havørn i nærheten av turbinene. Disse kjennetegnes av mindre skogholt bestående hovedsakelig av sitkagran (*Picea sitchensis*), som er en uønsket art i Norge. Å fjerne disse er et enkelt tiltak som kan bidra til å redusere områdebruk i nærheten av noen av turbinene på nordsiden av vindkraftverket (turbin 21, 41, 42 og 1). Med hensyn til lirype, kan det være mulig å øke habitatkvaliteten til hekkebestanden utenfor vindkraftverket, for eksempel ved foreskrevet brenning av vegetasjon eller annen skjøtsel. Om forbedret habitatkvalitet vil kunne kompensere for økt dødelighet inne i vindkraftverket er usikkert, ikke minst siden Smøla-bestanden trolig påvirkes mye av predasjonstrykk fra jaktfalk (Bevanger m.fl. 2010; Pedersen 2017). Hvorvidt skjøtsel kan realiseres er også avhengig av grunneierforhold og deres villighet til å tillate dette tiltaket.

En reduksjon av elektrokusjonsdødelighet ved kraftlinjene i tilknytning til vindkraftverket kan trolig bidra til å kompensere for turbinkollisjonsdødeligheten. Muligheten til å anvende dette tiltaket er blitt analysert av Cole & Dahl (2013). Havørn er blitt registrert som elektrokusjonsoffer på Smøla ved visse stolpedesign. Likevel ville det kreve tilpasninger ved mange stolper innenfor et større (regionalt) område. Hvorvidt dette dermed ville avbøte på problemet lokalt på Smøla er usikkert. I tillegg ville det kreve samarbeid med energiselskaper for å iverksette elektrokusjonsreduserende tiltak.



Figur 7. Vindturbiner med svartmalt rotorblad (venstre) og turbinbase (front) i Smøla vindpark.
Foto: Roel May©.

Tabell 2. Oversikt over mulige tiltak for å redusere kollisjonsrisiko (etter May m.fl. 2015), inklusivt teknologiberedskapsnivå (TRL) og mulige aktuelle tiltak for Smøla vindpark. Tall angitt i rødt er tilpasset fra originaltabellen basert på nyere kunnskap.

| Mulige tiltak | Kriterium I: Stressor | Kriterium II: Eksponering | Kriterium III: Respons | Kriterium IV: Tilvenning | Kriterium V: Spesifisitet | Kriterium VI: Implementering | Totalskår | TRL | Mulige tiltak Smøla |
|--|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------|---------|------------------------------------|
| TURBIN-SPESIFIKK | | | | | | | | | |
| Vindkraftverkets utforming | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1,33 | Høy | |
| Repowering / større og færre turbiner | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1,83 | Middels | |
| Fjerning av utvalgte turbiner | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2,00 | Lav | |
| Flytting av utvalgte turbiner | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1,67 | Lav | |
| Endring (oppstarts)hastighet | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2,67 | Høy | steds-spesifikk operasjonell drift |
| Midlertidig nedstenging | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2,67 | Høy | radar- og kamerateknologi |
| FUGL-SPESIFIKK | | | | | | | | | |
| SYN | | | | | | | | | |
| Merking/maling | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2,33 | Middels | maling av tårnbaser |
| Synlighet: minke bevegelsessmøring | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2,33 | Middels | maling av rotorblader |
| Ultrafiolett farging | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2,17 | Lav | |
| Reflektorer | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2,50 | Lav | |
| Minimal turbinbelysning | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1,67 | Middels | |
| Turbinbelysning | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2,33 | Lav | |
| Visuell varsling | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1,83 | Middels | |
| Laser | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2,67 | Lav | |
| HØRSEL | | | | | | | | | |
| Akustisk skremming | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1,67 | Lav | |
| Akustisk varsling | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2,33 | Høy | radar- og kamerateknologi |
| ANDRE SANSER | | | | | | | | | |
| Elektromagnetisme | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1,50 | Lav | |
| Lukt | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2,17 | Lav | |
| HABITATTILPASNINGER | | | | | | | | | |
| INNENFOR OMRÅDET | | | | | | | | | |
| Habitattkvalitet (reduksjon) | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1,67 | Høy | |
| Mattliggang (reduksjon) | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1,50 | Middels | |
| Hekkehabitat (fjerning) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2,00 | Høy | |
| Hvileplasser (fjerning) | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2,33 | Høy | vegetasjonskjøtsel |
| UTENFOR OMRÅDET | | | | | | | | | |
| Habitattkvalitet (forbedring) | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2,00 | Høy | |
| Mattliggang (økning) | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2,33 | Høy | |
| Hekkehabitat (etablering) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2,00 | Høy | vegetasjonskjøtsel |
| Hvileplasser (etablering) | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2,33 | Middels | |
| ANDRE TILTAK | | | | | | | | | |
| Kompenserende tiltak | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2,17 | Middels | tilpasninger- kraftledning |
| Finansiering forskning | | | | | | | | | |
| Overvåking kollisjoner | | | | | | | | | |
| NB tallene angitt i rødt er endret fra den opprinnelige tabellen (May m.fl. 2015) i henhold til nåværende kunnskap | | | | | | | | | |

Tabell 3. Oversikt over teknologier som mulige kollisjonsreducerende tiltak, inklusive forventet egnethet i Smøla vindpark.

| Tiltaksteknologi | Produsent | Beskrivelse | Deteksjon | Sporing | Rekkevidde | 3D | TRL | Muligheter/begrensninger Smøla | Kompensasjon | Visuell forvarsling | Visuell akustisk varsling | Selektiv nedstenging | Egnethet |
|-------------------------|-----------------------------------|--|-----------|---------|---------------|--------|-----|--|--------------|---------------------|---------------------------|----------------------|----------|
| Hi-tech | | | | | | | | | | | | | |
| 3D MAX Radar | Robin Radar Systems (NL) | 3D fugleradar | X | X | opp til 15 km | Ja | 9 | kontinuerlig overvåking av fugleaktivitet i området kan resultere i mange nedstengninger og dermed tap av produksjon | | | | X | Lav |
| MERLIN Radar System | DeTect (USA) | horisontal og vertikal fugleradar | X | X | opp til 12 km | Ja/Nei | 9 | kontinuerlig overvåking av fugleaktivitet i området kan resultere i mange nedstengninger og dermed tap av produksjon | | | | X | Lav |
| AscendXYZ Avian Radar | AscendXYZ (DK) | horisontal fugleradar (ingen flygnehøyde) | X | X | opp til 7 km | Nei | 9 | kontinuerlig overvåking av fugleaktivitet i området kan resultere i mange nedstengninger og dermed tap av produksjon | | | | | Lav |
| Birdtrack | STRIX (PT) | horisontal og vertikal fugleradar | X | X | opp til 12 km | Ja/Nei | 9 | kontinuerlig overvåking av fugleaktivitet i området kan resultere i mange nedstengninger og dermed tap av produksjon | | | | X | Lav |
| BirdScan | Swiss BirdRadar Solution (CH) | roterende vertikalradar | X | (X) | opp til 2 km | Ja | 9 | har vært koblet opp mot VARS; kan registrere 'wing beat frequency'; mest egnet til høydeprofiler | | | | | Lav |
| Bird & Bat Radar System | Accipiter Radar Technologies (CA) | 2D og 3D radar, opsjon: med kamera | X | X | | Ja | 9 | kontinuerlig overvåking av fugleaktivitet i området kan resultere i mange nedstengninger og dermed tap av produksjon | | | X | X | Lav |
| MUSE | DHI (DK) | multi-sensorsystem med horisontal og vertikal radar (med kamera) | X | X | | Ja/Nei | 9 | kontinuerlig overvåking av fugleaktivitet i området kan resultere i mange nedstengninger og dermed tap av produksjon; har vært koblet opp mot TADS | | | | X | Lav |
| TADS | DHI (DK) | tårn-baserte kameraer; både dagslys og termisk | X | (X) | opp til 1 km | Ja/Nei | 9 | kan kobles til radar; mange falske positive; dekker flere turbiner | | | | | Lav |
| VARS | IFAÖ (DE) | tårn- og hub-baserte kameraer | X | | | Nei | 9 | inkluderer ikke tiltaksmodul; enkelt-turbin system gjør det dyrere | | | | | Lav |
| ACAMS | BRI / HIDEf (USA) | to dagslys og near-ir kameraer | X | X | opp til 500 m | Ja | 7 | inkluderer ikke tiltaksmodul; enkelt-turbin tiltak gjør det dyrere | | | | | Lav |
| WTSU WABC | Oregon State University (USA) | multi-sensor system med accelerometers, kontakt mics, akustiske mics, dagslys og ir-kameraer | | | | | 4 | ikke-ferdig utviklet system; enkelt-turbin tiltak gjør det dyrere; kombinasjon med lyd inkluderer ikke tiltaksmodul | | | | | Lav |
| ATOM | Normandeau Associates (USA) | multi-sensor system av IR kamera, akustikk og ultrasound | X | (X) | opp til 200 m | Nei | 9 | inkluderer ikke tiltaksmodul; enkelt-turbin tiltak gjør det dyrere; kombinasjon med lyd muliggjør artsbestemmelse | | | | | Lav |
| WT-Bird | TNO (NL) | rotorbladsensorer; tårn-basert IR kameraer | X | | | Nei | 9 | inkluderer ikke tiltaksmodul; enkelt-turbin system gjør det dyrere; kan registrere kollisjoner | | | | | Lav |
| Spoor | Spoor (NO) | deteksjon basert på (standard) CCTV kameraer | X | (X) | | Nei | 6 | inkluderer ikke tiltaksmodul; kun i dagslys; kun høyde og retning av fugler; ikke ferdig utviklet eller testet; standard CCTV gjør den billigere | | | | | Lav |

| Tiltaksteknologi | Produsent | Beskrivelse | Deteksjon | Sporing | Rekkevidde | 3D | TRL | Muligheter / begrensninger Smøla | Kompensasjon | Visuell forvansling | Akustisk forvansling | Selektiv nedstenging | Egnethet |
|---|----------------------------------|--|-----------|---------|---------------|-----|-----|--|--------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------|
| Hi-tech | | | | | | | | | | | | | |
| B-finder | B-finder (PL) | tårn-basert 360° termisk og dagslys video | X | X | opp til 100 m | Nei | 9 | inkluderer ikke tiltaksmodul; enkelt-turbin tiltak gjør det dyrt | | | | | Lav |
| ThermalTracker-3D | NREL (USA) | stereo termiske kameraer | X | X | | Ja | 7 | inkluderer ikke tiltaksmodul; ikke ferdig utviklet eller testet | | | | | Lav |
| Identiflight | Identiflight International (USA) | 8 dagslys høy-oppløsning stereo kameraer på en mast | X | X | opp til 1 km | Ja | 9 | nedstenging til større arter; tap av produksjon; flere systemer kreves for å dekke vindkraftverkets området; kun i dagslys; 1 unit = \$150,000 + \$25,000/yr | | | X | | Høy |
| BCAS Wind | Volacom (BG) | panoramisk termisk kamera, to enheter per turbin gir 360° dekning | X | X | opp til 1 km | | 9 | enkelt-turbintiltak gjør det dyrt; mulig tilvenning | | X | | | Lav |
| SafeWind | Biodiv-Wind SAS (FR) | video-deteksjonkamera, IR sensorer, høyttalere | X | X | opp til 1 km | Ja | 9 | enkelt-turbintiltak gjør det dyrt; tap av produksjon; mulig tilvenning | | X | | X | Middels |
| nwbird | nvisionist (GR) | dagslys og nattkameraer | X | X | opp til 1 km | Nei | 9 | enkelt-turbintiltak gjør det dyrt; tap av produksjon; mulig tilvenning | | | X | X | Middels |
| DTBird | Liquen (ES) | tårn-baserte dagslys kameraer 360°, mulighet for termiske kameraer | X | X | opp til 600 m | Ja | 9 | enkelt-turbintiltak gjør det dyrt; tap av produksjon; mulig tilvenning | | | X | X | Middels |
| Bioseco | Bioseco (PL) | 4-6 tårn-baserte kameraer, muligheter for sentralisert system | X | X | opp til 500 m | Ja | 9 | enkelt-turbintiltak gjør det dyrt; kun i dagslys; tap av produksjon; mulig tilvenning | | X | X | X | Middels |
| Low-tech | | | | | | | | | | | | | |
| Steds spesifikk operasjonell drift | | protokoller; beslutningsregler | | | | | 5 | enkelt å implementere, vanskelig å optimalisere; må utvikles spesifikt til området; usikker kostnad (tap av produksjon) | | | | X | Middels |
| Maling rotorblader | | påføre kontrastmaling på en av tre rotorblader | | | | | 7 | kun testet in-situ med et begrenset antall turbiner; 75.000 kr/turbin | | X | | | Høy |
| Maling tårnbaser | | påføre kontrastmaling på nederste 10 m av tårnbasen | | | | | 7 | kun testet in-situ med et begrenset antall turbiner; fungerer for linje: 15.000 kr/tårn | | X | | | Høy |
| Fjerning av hvileplasser | | vegetasjonskontroll / fjerning av sitkagran | | | | | 7 | ikke testet hvorvidt dette har en effekt; enkelt og billig tiltak; sitkagran er en uønsket art i Norge | | | | | Høy |
| Kompenserende tilpasninger kraftledning | | linjemerking, endring av linje-utforming, fjerning av topplene | | | | | 9 | ukjent omfang av tiltaket nødvendig i regionen; usikker kostnad; usikkert om dette er mulig bl.a. mht. eierforhold | | | | X | Lav |
| Off-site habitatkompensasjon | | forbedre hekkehabitat gjennom vegetasjonsskjøtsel (f.eks. planlagt brenning) | | | | | 9 | fungerer for linje; ukjent effekt per i dag; høy jakt/falkpredasjon; usikker kostnad; usikkert om dette er mulig bl.a. mht. grunneierforhold | | | | X | Middels |

4 Anbefalinger og evaluering av tiltak

4.1 Utvalg av aktuelle tiltak

Utvalget av aktuelle tiltak er basert på en forlenget drift av nåværende vindkraftverk, samt kunnskapen om artenes kollisjonsfordeling og deres økologi. Foreslåtte tiltak for havørn er i første rekke fjerning av sitkagran og maling av rotorblader (disse to tiltak har samme prioritet), men installasjon av IdentiFlight kan også vurderes (avsnitt 4.1.1). For lirype foreslår vi først og fremst maling av tårnbaser, men forbedring av habitatkvalitet utenfor vindkraftverket kan også vurderes (avsnitt 4.1.2). På lang sikt kan en eventuell fornyelse ('repowering') av vindkraftverket, hvor selve utforming av vindkraftverket og (fin)plassering av turbinene revideres, også bidra til å unngå eller minimere (cf. **figur 5**) kollisjonsrisikoen for lirype og havørn (Dahl m.fl. 2015).

4.1.1 Havørn

Fjerning av sitkagran

Mindre skogholt ved turbin 21, nordvest for turbin 41 og nord for turbin 42 og turbin 1 brukes av havørn som hvileplass (**figur 2** og **8**). Disse skogholtene består hovedsakelig av sitkagran. Fjerning av disse skogholtene vil være et relativt enkelt tiltak som kan ha effekt for å redusere kollisjonsraten ved disse fire turbinene. Den hurtigvoksende sitkagranen er et fremmed treslag i Norge, som i sin tid ble plantet som leplantinger og som siden har spredt seg. Den står oppført på Fremmedartslista som «svært høy risiko» på grunn av stort invasjonspotensiale og stor økologisk effekt (Elven m.fl. 2018). Gjennomføring av tiltaket behøver sannsynligvis godkjenning fra grunneiere, hvor enten all sitkagran kan fjernes eller kun det som har etablert seg naturlig i etterkant, og ikke anses som leplanting. For å unngå forstyrrelser på fuglelivet bør tiltaket utføres vinterstid. Kostnaden er begrenset til nedhogging av trærne og opprydding av en lokal entreprenør.



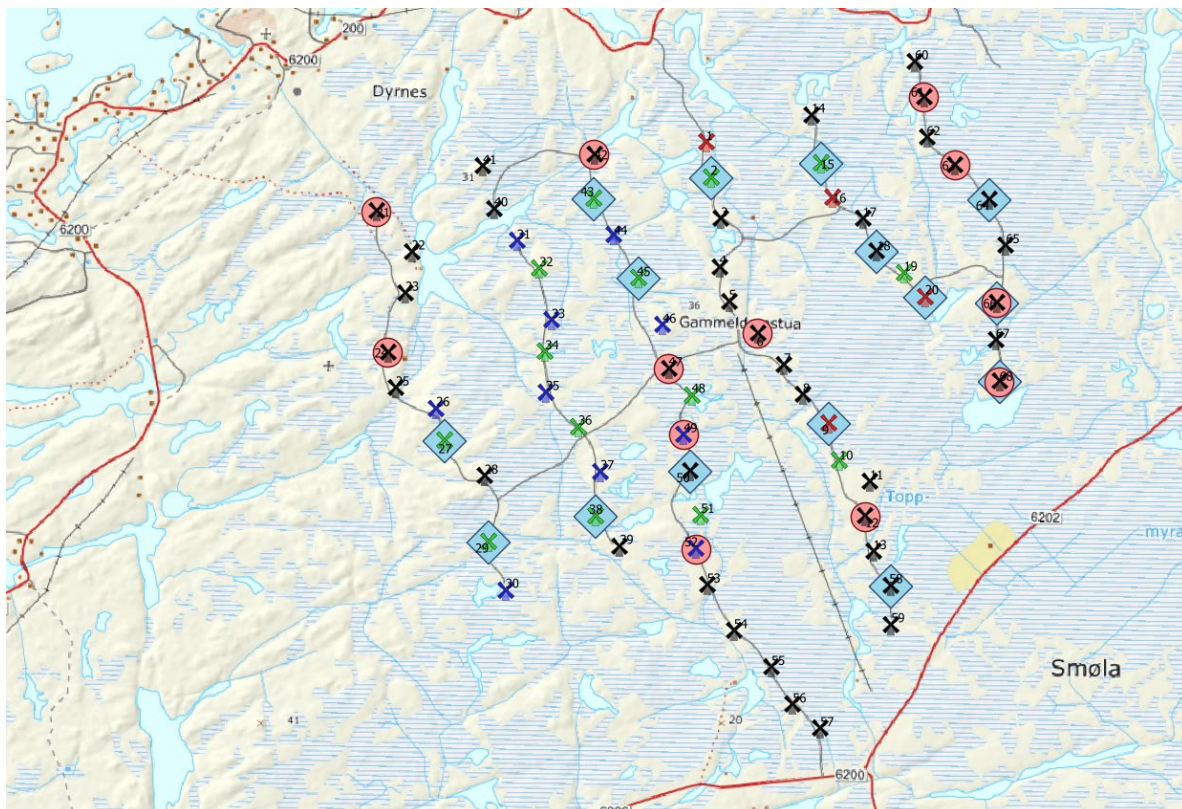
Figur 8. Forekomst av mindre skogholt bestående av sitkagran på nordsiden av Smøla vindpark (røde sirkler). [Kilde: Finn-kart]

Maling av rotorblader

Svartmaling av ett av tre rotorblader vil øke kontrasten og dermed minke såkalt bevegelsesmøring ('motion smear'). Dette gjør rotorbladene mer synlige på dagtid, og gir havørna mulighet til å oppdage turbinbladene tidsnok til å unngå kollisjoner. I Smøla vindpark er det blitt funnet flere kollisjonsofre ved ytre turbiner, samt en 'hotspot' midt i vindkraftverket. Det foreslås at turbinene som har hatt mer enn én kollisjon i det siste tiåret (2014-2022), samt turbiner som har hatt minst tre kollisjoner totalt sett bør vurderes for maling. Dette gjelder følgende ytre turbiner: 12, 21, 24, 42, 52, 61, 63, 66, 68; samt følgende indre turbiner: 6, 47, 49 (**figur 9**). Eventuelt kan turbin 36 (ytre) samt 18 og 27 (indre) også vurderes i tillegg. Som et eventuelt tillegg til maling av indre turbiner, kan det også vurderes å installere et aktivt overvåkingssystem (se neste avsnitt). I 2013, da fire turbiner ble svartmalt som en del av eksperimentene i INTACT-prosjektet, var kostnaden 75.000 kr per turbin. Siden det nå foreslås flere turbiner kan per-turbinkostnaden potensielt bli noe mindre. Så langt har det ikke blitt observert strukturelle problemer på malte rotorblader ved visuell inspeksjon (Andreas Rokstad, pers. komm.). Totalkostnaden vil ligge rundt 900.000 – 1.125.000 kr (minst 12 og maks 15 turbiner).

IdentiFlight

En pilot kan vurderes hvor IdentiFlight kan implementeres som overvåkingssystem (se avsnitt 4.2) først, og operasjonaliseres som tiltak ved fornyelse av vindkraftverket. Bruk av IdentiFlight vil først og fremst være aktuelt ved 'hotspots' midt i vindkraftverket. Systemet kan benyttes både for å overvåke havørnas bevegelser i vindkraftverket (se også avsnitt 4.2) og tilkobles SCADA-systemet for midlertidig nedstenging av turbinene systemet overvåker i tilfeller hvor havørna opptrer nær disse turbinene. I en test i USA resulterte midlertidig nedstengning basert på et IdentiFlight-system i en reduksjon i kollisjonsraten på 82 % (McClure m.fl. 2021a). Fordelen med dette tiltaket er at det både kan fungere som et kollisjonsreducerende tiltak gjennom nedstenging av enkeltturbiner, men også gi mer kunnskap om eventuell endring i flygeatferd hos havørn når de nærmer seg turbiner. Dette er spesielt viktig siden årsaken til økt kollisjonsrate midt i vindkraftverket er uklar. IdentiFlight kan overvåke et område innenfor en rekkevidde på opptil 1 km og kan eventuelt plasseres midt i vindkraftverket for å registrere flygebevegelser hos havørn i nærheten av 3-5 turbiner (McClure m.fl. 2021b). Om IdentiFlight kan tilkobles nåværende SCADA-system i Smøla vindpark er ukjent (Andreas Rokstad, pers. komm.), og bør verifiseres før dette kan igangsettes som tiltak. Kostnaden per IdentiFlight-system er anslått til 1.500.000 kr, samt en årlig kostnad på 250.000 kr per år for drift (Bjarke Laubek, Vattenfall, pers. komm.).



Figur 9. Kontrastmaling ved utvalgte turbiner. Røde sirkler indikerer turbiner hvor det foreslås maling av rotorblader; blå diamanter indikerer turbiner hvor det foreslås maling av tårnbase. NB. Merk at turbin 66 og 68 har både sirkel og diamant.

4.1.2 Lirype

Maling av tårnbaser: Maling av tårnbasen vil øke synligheten for lavtflygende liryper på dagtid. Dette gir rypene mulighet til å oppdage turbinene tidnok til å unngå kollisjoner. I Smøla vindpark er det blitt funnet flere kollisjonsofre ved indre enn ytre turbiner. Det foreslås at turbinene som har hatt mer enn to kollisjoner i de siste tiåret (2014-2022), samt turbiner som har hatt minst fire kollisjoner totalt sett bør vurderes for maling. Dette gjelder følgende indre turbiner: 2, 9, 15, 18, 20, 38, 43, 45, 50; samt følgende ytre turbiner: 27, 29, 58, 64, 66, 68 (**figur 9**). Eventuelt kan de indre turbiner 8, 10, 16, 19 også vurderes. I 2013, da ti turbintårn ble svartmalt som en del av eksperimentene i INTACT-prosjektet, var kostnaden 15.000 kr per turbin. Siden det nå foreslås flere turbiner, kan per-turbinkostnaden potensielt bli noe mindre. I turbinene med svartmalte tårnbaser er det blitt erfart at temperaturen inn i tårnet kan bli ganske høy på varme sommerdager. Dette anses imidlertid ikke som noe stort problem (Andreas Rokstad, pers. komm.). Totalkostnaden vil ligge rundt 225.000 – 285.000 kr (minst 15 og maks 19 turbiner).

'Off-site' habitatkvalitet

Siden lirypa bruker lite tid i luftrommet, og samtidig rask flukt over korte avstander, er det vanskelig å finne gode tiltak utover det å gjøre turbintårnene mer synlige. Et tiltak som kan bidra positivt til lirypebestanden på Smøla generelt, er å kompensere for økt dødelighet i vindkraftverket ved å forbedre kvaliteten til hekkehabitatet på Smøla utenfor vindkraftverket. I Skottland har man lang erfaring med vegetasjonsskjøtsel for å øke rypebestanden til jaktformål. Forskning på Langholm Grouse moors (Ludwig m.fl. 2018, 2020) har vist at aktiv skjøtsel resulterte i gjenoppbygging av historisk skadet torvmark/lynghei. Dette bidro til å forbedre 'rypeheilandskapet' med en mosaikk av kystlynghei og myr, noe som førte til en økning av den lokale rypestanden. Skjøtselen besto av lyngsviing, lyngslått, gjensåing og overvåket/reduert beite. Restaurering av dyrket (høg)myr fordrer først og fremst endringer i dreneringsregimer (dvs. øke grunnvannsnivået)

(Grønlund & Weldon 2013). Hvorvidt tiltaket kan igangsettes er dels avhengig av grad av degradering, grunneierforhold og forvaltningspraksis. Kostnaden er dermed vanskelig å anslå. Om tiltaket vil kunne kompensere for økt dødelighet i vindkraftverket bør evalueres.

4.2 Evaluering av tiltak

Fjerning av sitkagran samt maling av turbintårn og rotorblader

For å evaluere effekten av disse tiltakene anses det som mest hensiktsmessig å utføre søk etter døde fugler ved turbinene. Søk ved alle turbinene gjennomføres i dag etter standardisert metodikk fem ganger i året (Stokke m.fl. 2020a, 2021a), og tilsvarende søk er blitt gjennomført også tidligere (se for eksempel May m.fl. 2020; Stokke m.fl. 2020b). Ved å opprettholde søksregimet også etter at tiltakene er gjennomført, og sammenligne antall funn med førsituasjonen, vil man kunne evaluere om de foreslåtte tiltakene har en effekt med hensyn til å redusere kollisjonsrisiko. For at man skal kunne tilegne seg et godt datagrunnlag, bør disse søkene gjennomføres i minst fem år (optimalt minst 10 år) etter at tiltakene er iverksatt. Når det gjelder maling av turbinblader og -tårn forventer man å finne en effekt ved alle de malte enhetene, mens for fjerning av sitkagran forventer man en nedgang i antall kollisjoner ved turbiner i nærheten av disse feltene.

'Off-site' habitatkvalitet

En evaluering av endringer i habitatkvalitet for lirype kan gjennomføres gjennom standardiserte linjetakseringer i tiltaksområder og tilgrensende kontrollområder. Slike transektstudier ble gjennomført som del av BirdWind-prosjektet på Smøla (Bevanger m.fl. 2010). Studiene bør foretas både vår og høst for å framskaffe informasjon om henholdsvis tetthet av voksne ryper og ungeproduksjon. For at man skal kunne tilegne seg et godt datagrunnlag, bør disse søkene gjennomføres i minst fem år (optimalt minst 10 år) etter at tiltakene er iverksatt. Dette er viktig også med henblikk på at rypebestander naturlig fluktuerer mye mellom år.

IdentiFlight

For å evaluere om maling av rotorblader resulterer i unntakelsesrespons hos havørn, samt om det kan identifiseres spesifikke forhold som resulterer i høyere kollisjonsrisiko, kan det installeres et IdentiFlight-system i vindkraftverket. Ett system kan overvåke et område innenfor en rekkevidde av opptil 1 km og kan eventuelt plasseres midt i vindkraftverket for å registrere flygeaktivitet hos havørn i nærheten til turbinene (McClure m.fl. 2021b). Ett system er foreslått brukt som en pilot, men det behøves flere systemer for å dekke en representativ del av vindkraftverket. Det finnes flere overvåkingssystemer på markedet basert på kameraer, men IdentiFlight anses å være best egnet for situasjonen i Smøla vindpark (McClure m.fl. 2018). Dette på grunn av at (1) systemet er blitt utviklet spesifikt for rovfugler, (2) systemet kan detektere, spore og identifisere ørn, (3) systemet har en rekkevidde på opp til 1 km, (4) systemet er installert på en egen mast og dekker dermed flere turbiner samtidig, (5) kan også fungere som tiltak (se avsnitt 4.1), (6) er et robust og velutprøvd system, og (7) medfører en relativt god kostnad-nytte situasjon (se avsnitt 4.1.1).

5 Referanser

- Arnett, E. & May, R. 2016. Mitigating wind energy impacts on wildlife: Approaches for multiple taxa. *Human-Wildlife Interactions* 10: 28-41.
- Bevanger, K., Berntsen, F., Clausen, S., Dahl, E.L., Flagstad, Ø. Follestad, A., Halley, D., Hansen, F., Johnsen, L., Kvaløy, P., Lund-Hoel, P., May, R., Nygård, T., Pedersen, H.C., Reitan, O., Røskaft, E., Steinheim, Y., Stokke, B. & Vang, R. 2010. Pre- and post-construction studies of conflicts between birds and wind turbines in coastal Norway (BirdWind). Report on findings 2007-2010. NINA Report 620. Norwegian Institute for Nature Research.
- Bevanger, K., May, R. & Stokke, B.G. 2016. Landbasert vindkraft. Utfordringer for fugl, flaggermus og rein. NINA Temahefte 66. Norsk institutt for naturforskning.
- Cole, S.G. & Dahl, E.L. 2013. Compensating white-tailed eagle mortality at the Smøla wind-power plant using electrocution prevention measures. *Wildlife Society Bulletin* 37: 84-93.
- Dahl, E.L. 2014. Population demographics in white-tailed eagle at an on-shore wind farm area in coastal Norway. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.
- 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: 79-85.
- Dahl, E.L., May, R., Hoel, P.L., Bevanger, K., Pedersen, H.C., Røskaft, E. & Stokke, B.G. 2013. White-tailed eagles (*Haliaeetus albicilla*) at the Smøla wind-power plant, Central Norway, lack behavioral flight responses to wind turbines. *Wildlife Society Bulletin* 37: 66-74.
- Dahl, E.L., May, R., Nygård, T., Åstrøm, J., Diserud, O.H. & Reitan, O. 2015. Repowering Smøla wind-power plant. An assessment of avian conflicts. NINA Report 1135. Norwegian Institute for Nature Research.
- Dirksen S. 2017. Review of methods and techniques for field validation of collision rates and avoidance amongst birds and bats at offshore wind turbines. WOZEP.
- Elven, R., Hegre, H., Solstad, H., Pedersen, O., Pedersen, P.A., Åsen, P.A. & Vandvik, V. 2018. *Picea sitchensis*, vurdering av økologisk risiko. Fremmedartslista 2018. Artsdatabanken. Hentet (2022, 20. juni) fra <https://www.artsdatabanken.no/fab2018/N/537>.
- Follestad, A., Flagstad, Ø., Nygård, T., Reitan, O. & Schulze, J. 2007. Vindkraft og fugl på Smøla 2003-2006. NINA Rapport 248. Norsk institutt for naturforskning.
- 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. *JEAPM* 18: 1650013.
- 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. *JEAPM* 18: 1650014.
- Grønlund, A. & Weldon, S.M. 2013. Restaurering av myr på Smøla. Klimagassutslipp fra myr ute av drift. NIBIO/Bioforsk rapport 8: 185.
- Hanna, L., Copping, A., Geerlofs, S., Feinberg, L., Brown-Saracino, J., Bennett, F., May, R., Köppel, J., Bulling, L. & Gartman, V. 2016. Results of IEA wind adaptive management white paper. Prepared for the International Energy Agency Wind Implementing Agreement. International Energy Agency Wind, pp. 46.
- Hanssen, F., May, R. & Nygård, T. 2020. High-resolution modeling of uplift landscapes can inform micro-siting of wind turbines for soaring raptors. *Environmental Management* 66: 319-332.
- Langston, R.H.W., Fox, A.D. & Drewitt, A.L. 2006. Conference plenary discussion, conclusions and recommendations. *Ibis* 148: 210-216.
- Loss, S.R., Will, T. & Marra, P.P. 2013. Estimates of bird collision mortality at wind facilities in the contiguous United States. *Biological Conservation* 168: 201-209.
- Ludwig, S.C., Aebischer, N.J., Bubb, D., Richardson, M., Roos, S. & Wilson, J.D. 2018. Population responses of red grouse *Lagopus lagopus scotica* to expansion of heather *Calluna vulgaris* cover on a Scottish grouse moor. *Avian Conservation and Ecology* 13: 1-22.
- Ludwig, S.C., Aebischer, N.J., Richardson, M., Roos, S., Thompson, D.B.A. & Wilson, J.D. 2020. Differential responses of heather and red grouse to long-term spatio-temporal variation in sheep grazing. *Biodiversity and Conservation* 29: 2689-2710.

- Marques, A.T., Batalha, H., Rodrigues, S., Costa, H., Pereira, M.J.R., Fonseca, C., Mascarenhas, M. & Bernardino, J. 2014. Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation* 179: 40-52.
- Marshall, R. 2001. Application of mitigation and its resolution within environmental impact assessment: an industrial perspective. *Impact Assessment and Project Appraisal* 19: 195-204.
- Martin G.R. 2011. Understanding bird collisions with man-made objects: a sensory ecology approach. *Ibis* 153: 239-254.
- Martin, G.R., Portugal, S.J. & Murn C.P. 2012. Visual fields, foraging and collision vulnerability in Gyps vultures. *Ibis* 154: 626-631.
- May, R. 2012. Radar surveillance data collection and storing. In: Bevanger, K. (ed). Vindkraft og havørn på Smøla. Aktiviteter og resultater fra 2011. Upublisert NINA rapport til Statkraft.
- May, R. 2017. Mitigation for birds. Pp. 124-145, In: Perrow, M. (ed.) *Wildlife and wind farms: Conflicts and solutions*. Volume 2. Onshore: Monitoring and mitigation. Pelagic Publishing, Exeter, UK.
- May, R. 2019. The mitigation of impact and the impact of mitigation: An ethical perspective. Pp. 93-113, In: Bispo, R., Bernardino, J., Coelho, H., Lino Costa, J. (Eds.) *Wind energy and wildlife impacts. Balancing energy sustainability with wildlife conservation*. Springer Cham, Switzerland.
- May, R., Hoel, P.L., Langston, R., Dahl, E.L., Bevanger, K., Reitan, O., Nygård, T., Pedersen, H.C., Røskoft, E. & Stokke, B.G. 2010. Collision risk in white-tailed eagles. Modelling collision risk using vantage point observations in Smøla wind-power plant. NINA Report 639. Norwegian Institute for Nature Research.
- May, R., Jackson, C.R., Middel, H., Stokke, B.G., & Verones, F. 2021. Life-cycle impacts of wind energy development on bird diversity in Norway. *Environmental Impact Assessment Review* 90: 106635.
- May, R., Masden, E.A., Bennet, F. & Perron, M. 2018. Considerations for upscaling individual effects of wind energy development towards population-level impacts on wildlife. *Journal of Environmental Management* 230: 84-93.
- May, R., Nygård, T., Dahl, E.L., Reitan, O. & Bevanger, K. 2011. Collision risk in white-tailed eagles. Modelling kernel-based collision risk using satellite telemetry data in Smøla wind-power plant. NINA Report 692. Norwegian Institute for Nature Research.
- 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: 75-83.
- 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 & Evolution* 10: 8927-8935.
- May, R., Reitan, O., Bevanger, K., Lorentsen, S.-H. & Nygård, T. 2015. Mitigating wind-turbine induced avian mortality: Sensory, aerodynamic and cognitive constraints and options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42: 170-181.
- May, R., Steinheim, Y., Kvaløy, P., Vang, R. & Hanssen, F. 2017a. Performance test and verification of an off-the-shelf automated avian radar tracking system. *Ecology & Evolution* 7: 5930-5938.
- May, R., Åström, J., Hamre, Ø. & Dahl, E.L. 2017b. Do birds in flight respond to (ultra)violet lighting? *Avian Research* 8: 33.
- McClure, C.J.W., Martinson, L. & Allison, T.D. 2018. Automated monitoring for birds in flight: Proof of concept with eagles at a wind power facility. *Biological Conservation* 224: 26-33.
- McClure, C.J.W., Rolek, B.W., Dunn, L., McCabe, J.D., Martinson, L. & Katzner, T. 2021a. Eagle fatalities are reduced by automated curtailment of wind turbines. *Journal of Applied Ecology* 58: 446-452.
- McClure, C.J.W., Rolek, B.W., Braham, M.A., Miller, T.A., Duerr, A.E., McCabe, J.D., Dunn, L. & Katzner, T.E. 2021b. Eagles enter rotor-swept zones of wind turbines at rates that vary per turbine. *Ecology & Evolution* 11: 11267-11274.
- NVE. 2022. Vedtak – nytt konsesjonsvilkår for Smøla vindkraftverk, Smøla kommune, Møre og Romsdal. Notat. 4 s.

- Pedersen, H.-C. 2017. Unexpected collision of willow ptarmigan with turbine towers at Smøla wind farm in Norway. In: Perrow, M.R. (ed.) *Wildlife and wind Farms - conflicts and solutions: Onshore: Potential effects*. Pelagic Publishing, Exeter, UK.
- Santos, C.D., Hanssen, F., Muñoz, A.-R., Onrubia, A., Wikelski, M., May, R. & Silva, J.P. 2017. Match between soaring modes of black kites and the fine-scale distribution of updrafts. *Scientific Reports* 7: 6421.
- Smallwood, K.S., Neher, L.A., Bell, D.A., DiDonato, J.E., Karas, B.R., Snyder, S.A. & Lopez, S. 2009. Range management practices to reduce wind turbine impacts on burrowing owls and other raptors in the Altamont Pass Wind Resource Area, California. Oakland, California, USA.
- Smallwood, K.S. & Thelander, C.G. 2004. Developing methods to reduce mortality in the Altamont Pass Wind Resource Area. Final report. Final report by BioResource Consultants to the California Energy Commission, Public Interest Energy Research-Environmental Area, Contract no. 500-01-019, pp. 333 + appendices. BioResource Consultants to the California Energy Commission, Public Interest Energy Research-Environmental Area, California, USA.
- Stokke, B.G., Dahl, E.L., Hamre, Ø., Kleven, O., May, R., Nygård, T., Pavón-Jordán, D., Roksvåg, L.M., Sandercock, B.K. & Åström, J. 2020a. Langtidseffekter av Smøla vindpark på den lokale bestanden av havørn (*Haliaeetus albicilla*). Årsrapport 2020. NINA Rapport 1899. Norsk institutt for naturforskning.
- Stokke, B.G., Dahl, E.L., Hamre, Ø., Kleven, O., May, R., Nygård, T., Pavón-Jordán, D., Roksvåg, L.M., Sandercock, B.K. & Åström, J. 2021a. Langtidseffekter av Smøla vindpark på den lokale bestanden av havørn (*Haliaeetus albicilla*). Årsrapport 2021. NINA Rapport 2053. Norsk institutt for naturforskning.
- Stokke, B.G., Dale, S., Jacobsen, K.-O., Lislevand, T., Solvang, R. & Strøm, H. 2021b. Fugler Aves – Norge. I: Artsdatabanken. 2021. Norsk rødliste for arter 2021. Artsdatabanken.
- Stokke, B.G., May, R., Bevanger, K. & Nygård, T. 2017. Miljøkonsekvenser knyttet til småskala fornybar kraftforsyning. En litteraturstudie. NINA Kortrapport 66. Norsk institutt for naturforskning.
- Stokke, B.G., Nygård, T., Falkdalen, U., Pedersen, H.C. & May, R. 2020b. Effect of tower base painting on willow ptarmigan collision rates with wind turbines. *Ecology & Evolution* 10: 5670-5679.
- Thaxter, C.B., Buchanan, G.M., Carr, J., Butchart, S.H.M., Newbold, T., Green, R.E., Tobias, J.A., Foden, W.B., O'Brien, S. & Pearce-Higgins, J.W. 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* 284: 20170829.
- Walker, D., McGrady, M., McCluskie, A., Madders, M. & McLeod, D.R.A. 2005. Resident golden eagle ranging behaviour before and after construction of a windfarm in Argyll. *Scottish Birds* 25: 24-40.

Norsk institutt for naturforskning, NINA, er en uavhengig stiftelse som forsker på natur og samspillet natur–samfunn.

NINA ble etablert i 1988. Hovedkontoret er i Trondheim, med avdelingskontorer i Tromsø, Lillehammer, Bergen og Oslo. I tillegg driver NINA Sæterfjellet avlsstasjon for fjellrev på Oppdal, og forskningsstasjonen for vill laksefisk på lms i Rogaland.

NINAs virksomhet omfatter både forskning og utredning, miljøovervåking, rådgivning og evaluering. NINA har stor bredde i kompetanse og erfaring med både naturvitere og samfunnsvitere i staben. Vi har kunnskap om artene, naturtypene, samfunnets bruk av naturen og sammenhenger med de store drivkreftene i naturen.

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-4945-4

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim

Besøks-/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger