

En radarbasert undersøkelse av effekten på fugl av merking av høyspentledninger

Pilotprosjekt: Uttesting av metodikk

Bård G. Stokke
Jens Åström
Kjetil Bevanger
Øyvind Hamre
Roel May

NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er en elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs 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 annet språk når det er hensiktsmessig.

NINA Kortrapport

Dette er en enklere og ofte kortere rapportform til oppdragsgiver, gjerne for prosjekt med mindre arbeidsomfang enn det som ligger til grunn for NINA Rapport. Det er ikke krav om sammendrag på engelsk. Rapportserien kan også benyttes til framdriftsrapporter eller foreløpige meldinger til oppdragsgiver.

NINA Temahefte

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. 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 vitenskapelige resultater i internasjonale journaler, populærfaglige bøker og tidsskrifter.

En radarbasert undersøkelse av effekten på fugl av merking av høyspentledninger

Pilotprosjekt: Uttesting av metodikk

Bård G. Stokke
Jens Åström
Kjetil Bevanger
Øyvind Hamre
Roel May

Stokke, B. G., Åström, J., Bevanger, K., Hamre, Ø. & May, R.
2017. En radarbasert undersøkelse av effekten på fugl av merking
av høyspentledninger. *Pilotprosjekt: Uttesting av metodikk*. – NINA
Kortrapport 59. 23 s.

Trondheim, februar 2017

ISSN: 2464-2797

ISBN: 978-82-426-3021-6

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Torgeir Nygård

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningssjef Signe Nybø (sign.)

OPPDRAKSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Statnett SF og NVE

OPPDRAKSGIVERS REFERANSE

NVE: FoU-prosjekt m80152 «Virkninger av merking av kraftled-
ninger for fugl». Statnett: «Merking av høyspentledninger, når og
hvor og hvilke former»

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Matthias Hofmann, Johan Olav Bjerke, Ellen Torsæter Hoff (Stat-
nett SF), Frode Berntin Johansen, Lisa Vedeld Hammer og Siv
Sannem Inderberg (NVE)

NØKKELOORD

- Norge, Møre og Romsdal, Molde, Kleive
- Ormen Lange, kraftlinjer, merking
- Metodeuttesting
- Statnett, NVE
- Fuglekollisjoner, kraftlinjer, fugleradar

KEY WORDS

- Norway, Møre og Romsdal, Molde, Kleive
- Ormen Lange, transmission lines, marking
- Test of methodology
- Statnett, NVE
- Bird collisions, transmission lines, avian radar

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

Postboks 5685 Sluppen
7485 Trondheim
Telefon: 73 80 14 00

NINA Oslo

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon: 73 80 14 00

NINA Tromsø

Framsenteret
9296 Tromsø
Telefon: 77 75 04 00

NINA Lillehammer

Fakkeltgården
2624 Lillehammer
Telefon: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Stokke, B. G., Åström, J., Bevanger, K., Hamre, Ø. & May, R. 2017. En radarbasert undersøkelse av effekten på fugl av merking av høyspentledninger. *Pilotprosjekt: Uttesting av metodikk*. – NINA Kortrapport 59. 23 s.

Merking av kraftledninger for å redusere risikoen for fuglekollisjoner er et velkjent tema, men effekten av slik merking har vært lite studert. I dette pilotprosjektet ble det foretatt utprøving av fugleradar for å overvåke effekten av merking med grå «grisehaler» i et utvalgt kraftlednings-spenn i sentralnettet hvor Statnett er netteier. De primære formålene med pilotprosjektet var uttesting av fugleradar og verifisering av radardata med visuelle observasjoner. Etter nøye vurdering ble et område nær Molde i Møre & Romsdal (Osen i Kleive) valgt for undersøkelsene. Viktige forutsetninger for valg av dette området var at terrenget egnet seg for at radaren kunne dekke flere linjespenn med og uten merking. Denne rapporten oppsummerer faglig bakgrunn for prosjektet, metodikk, erfaringer fra datainnsamlingen og resultater fra datanalysene.

Dette pilotprosjektet har gitt nyttige erfaringer med hensyn til radarutplassering i forhold til optimal datainnsamling for det angitte formålet. I tillegg har dataanalysene gitt indikasjoner på en positiv effekt av merking av topplina som et tiltak for å redusere risiko for fuglekollisjoner. Det ble funnet signifikant lavere antall radarspor av fugl med kort avstand til merket toppline sammenlignet med radarspor ved umerket toppline. Dette indikerer at fuglene er oppmerksomme på merkingen. Det mest interessante resultatet var imidlertid at svingradius for fugl var signifikant høyere ved merket enn ved umerket spenn, spesielt på dagtid og ved kortere avstand til linja. Dette er en klar indikasjon på at merking av topplina bidrar til økt synlighet for fugl, og at de svinger unna disse linjene.

Utfordringer i forhold til områdets topografi og vegetasjonsdekke (trehøyde) medførte at fugleradaren måtte flyttes etter en kort testperiode. Den endelige plasseringen av radaren viste seg å være tilfredsstillende med hensyn til horisontalradardata, men innhenting av høydedata fra vertikalradaren var ikke optimal. En dialog med radarleverandøren er iverksatt for å løse dette problemet før radaren tas i bruk i lignende studier i framtiden.

Overvåkingen i dette studiet er blitt foretatt i et område hvor kraftledninger har vært etablert over en lengre tidsperiode. Fuglenes aktivitet kan derfor til en viss grad ha tilpasset seg disse nye strukturene over tid. Framtidige studier bør fokusere på en tilnærming, der radaren blir benyttet for å overvåke fugl i et område før og etter konstruksjon av kraftlinjer med og uten merket toppline, en såkalt BACI-tilnærming. Da vil man få en bedre innsikt i om fuglenes områdebruk påvirkes av kraftlinjer, og i hvilken grad merking av topplina kan redusere risikoen for kollisjoner.

Bård G. Stokke, NINA, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim, Bard.Stokke@nina.no
 Jens Åström, NINA, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim, Jens.Astrom@nina.no
 Kjetil Bevanger, NINA, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim, Kjetil.Bevanger@nina.no
 Øyvind Hamre, NINA, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim, Oyvind.Hamre@nina.no
 Roel May, NINA, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim, Roel.May@nina.no

Innhold

Sammendrag	3
Innhold	4
Forord	5
1 Innledning.....	6
2 Metode	8
3 Resultater og diskusjon.....	14
4 Konklusjon	19
5 Referanser	20
6 Appendiks	22

Forord

Merking av kraftledninger for å redusere risikoen for fuglekollisjoner er et velkjent tema, men effekten av slik merking har vært lite studert. Dette pilotprosjektet består av et forholdsvis enkelt prosjektdesign med hovedvekt på utprøving av bruk av fugleradar for å overvåke effekten av merking av et utvalgt kraftledningsspenn i sentralnettet hvor Statnett er netteier. De primære formålene med pilotprosjektet var uttesting av fugleradar og verifisering av radardata med visuelle observasjoner. Etter nøye vurdering ble et område nær Molde i Møre & Romsdal valgt for undersøkelsene. Viktige forutsetninger for valg av dette området var at terrenget egnet seg for at radaren kunne dekke flere spenn med og uten merking. I denne rapporten oppsummeres faglig bakgrunn for prosjektet, metodikk, erfaringer fra datainnsamlingen og resultater fra datanalysene.

Pilotprosjektet representerer en solid plattform for mer detaljerte undersøkelser vedrørende effekter av merking av kraftledningsspenn for å redusere risikoen for fuglekollisjoner.

Vi ønsker å takke Matthias Hofmann, Johan Olav Bjerke og Ellen Torsæter Hoff (Statnett SF), Frode Berntin Johansen, Lisa Vedeld Hammer og Siv Sannem Inderberg (NVE) for godt samarbeid gjennom prosjektperioden.

Prosjektet ble i sin helhet finansiert av Statnett SF og NVE.

Trondheim, 28. februar 2017, Bård G. Stokke

1 Innledning

Et stort antall fugler dør hvert år på grunn av kollisjoner med kraftledninger. I USA er det estimert at mellom 8 og 57 millioner individer drepes årlig (Loss et al. 2014). Tilsvarende tall for Canada er beregnet til å ligge mellom 2,5 og 25,6 millioner individer (Rioux et al. 2013). Merking av kraftledninger for å redusere omfanget av fuglekollisjoner har derfor vært et sentralt tema i mange år både i Norge og internasjonalt (Barrientos et al. 2011). At fugler kolliderer med faseledere og jordliner er lite ønskelig både på grunn av økonomiske konsekvenser av strømutfall, og de biologiske og artsspesifikke konsekvenser ekstra dødelighet kan ha. Fuglekollisjoner med kraftledninger har vist seg å være sterkt arts-, steds- og årstidsspesifikke ulykker, men på grunn av store kostnader knyttet til merking og oppfølgende effektdokumentering, er det fremdeles svært mange spørsmål som ikke er besvart når det gjelder denne problematikken (Bevanger et al. 2014, 2016; Bevanger & Refsnæs 2013). Det er derfor viktig at fremtidig forskning blir mer faktabasert og konkret med fokus på a) hvilke arter som er mest utsatt (måartene); b) hva som er optimal design av merking i forhold til å redusere kollisjonsrisiko hos måartene og c) hva som er suksessraten eller sannsynligheten for å redusere dødelighet basert på den økonomiske investering knyttet til merking av kraftledninger. Gjennom slik kunnskap blir det enklere å argumentere for nytteverdien av avbøtende tiltak, det være seg miljømessig eller økonomisk. Kunnskap om bestandsmessige konsekvenser av ekstra dødelighet hos fugl som skyldes kollisjoner er mangelfull, og vil være et særlig viktig fokusområde på lengre sikt.

Enkelte forskningsprosjekter i Sør-Afrika, Europa og USA har vist at fysisk forstørrelse av fase- og/eller jordline gjennom en eller annen form for merking kan resultere i en signifikant reduksjon i antall fuglekollisjoner. I USA sammenlignet man frekvensen av kollisjoner mellom merkede og umerkede kraftledningsavsnitt, og fant betydelig færre traner og ender som kolliderte ved det merkede spennet. Fuglene reagerte ofte med å øke flygehøyden ved merkede spenn slik at de passerte over spennet (Brown & Drewien 1995). Rovfugl ser også ut til å reagere på merkede spenn ved å justere flygehøyden slik at de unngår kollisjoner med lina (Luzenski et al. 2016). En tilsvarende reaksjon ble funnet hos kanadatranner (*Antigone canadensis*) i Nebraska, men konvensjonell merking forhindret allikevel ikke at en del individer kolliderte i nattemørket. Bruk av spesielle merker som lyser i mørket medførte en betydelig reduksjon i antall kollisjoner (Murphy et al. 2016). En annen studie fra USA viste at merking av liner som krysser åpent vann er et effektivt virkemiddel for å redusere antall fuglekollisjoner (Sporer et al. 2013). Studier i Sør-Afrika har også gitt klare indikasjoner på positiv effekt av merking på reduksjon av fuglekollisjoner (Jenkins et al. 2010). I en stor undersøkelse i Spania fant Barrientos et al. (2012) en liten, men signifikant (9,6%) reduksjon i antall kollisjonsdrepte fugl etter at merking av liner var utført sammenlignet med førsituasjonen. En studie fra Østerrike og Ungarn viste at antall kollisjonsdrepte stortrappet (*Otis tarda*) ble betydelig redusert ved merking av liner eller jordkabling (Raab et al. 2012). Ingen tilsvarende studier er utført i Norge, hvor tidligere undersøkelser har fokusert på avbøtende tiltak for å unngå elektrokusjon framfor kollisjoner.

Et tema for netteier og miljømyndigheter mange steder er hvorvidt enkelte kraftledningsspenn bør merkes når nye ledninger konstrueres. Merking av ledninger som ikke er spenningssatt er naturlig nok langt enklere og billigere å merke enn spenningssatte. Generell merking ved nybygging av kraftledninger kan trolig forsvares i områder der det er kjente kollisjonspunkter («hot spots»), mye fugl (eksempelvis våtmarksområder), ved kryssing av opplagte ledelinjer for fugletrekk (f.eks. elver, trange daler og sund), når linene krysser lokale trekkveier mellom funksjon- og ressursområder (f.eks. hekkeplass og næringsområde), og der det oppholder seg mange dagaktive arter og arter som er kjent for å kollidere (f.eks. svaner og traner). For å øke kunnskapen om når og hvor det bør merkes, er det imidlertid behov for data om arts- og stedsspesifikk kollisjonsrisiko og artsspesifikke atferdsresponser i forhold til ulike merkingstyper og ikke minst forekomst av fugl i tid og rom. For enkelte arter vil det trolig ikke finnes gode løsninger bortsett fra jordkabling. Lang skumringsperiode og svært kort daglengde, slik som i Nord-Europa og Norge gjennom vinterhalvåret, gir små muligheter for å redusere dødelighet hos eksempelvis

hønsefugl, som er dokumentert å være spesielt utsatt for kollisjonsulykker (Bevanger et al. 1998). En studie gjennomført av NINA (OPTIPOL) langs en 7,1 km strekning av 300 KV-nettet i Ogdalen, Nord-Trøndelag (2011-2013) viste at kollisjoner med linjespennet (umerket) medførte en estimert reduksjon i bestandsstørrelsen til både storfugl (*Tetrao urogallus*) (4,2 – 11,8%) og orrfugl (*Lyrurus tetrix*) (1,4 – 8,1%). Videre viste studien at fugler med størrelse helt ned til gråsisik (*Acanthis flammea*) kolliderte med linjene (Bevanger et al. 2014).

I dette forprosjektet ønsket vi ved hjelp av fugleradar og visuelle observasjoner å tilegne oss data som kunne avdekke om merking av linjer påvirker 1) *fluktatferd* og 2) *frekvens av passeringer*. Vi forventet at effektiv merking ville 1) føre til at fugl svinger utenom (over/under) merkede men ikke umerkede linjepartier, og 2) frekvens av passeringer ville være lavere ved merkede enn umerkede linjepartier. Fugleradaren registrerer både fluktruter og passeringsfrekvens, men siden atferden som før nevnt kan være artsspesifikk var det, i deler av prosjektperioden, viktig med visuelle registreringer i tillegg til radarregistreringer.

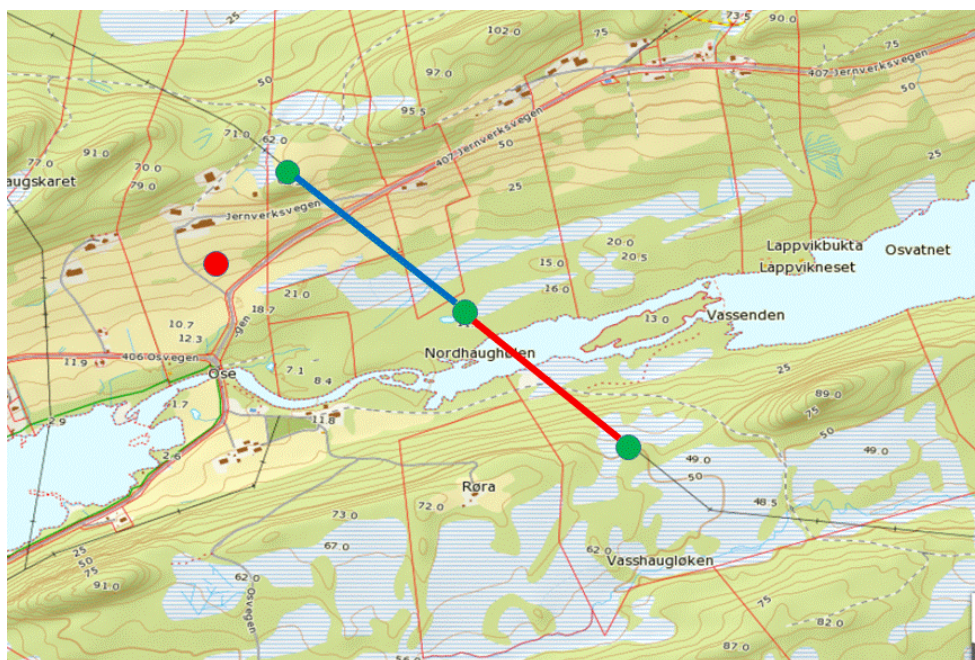
2 Metode

Områdeutvelgelse

Det er kjent at kollisjonshyppighet kan variere med topografiske formasjoner. Fugler bruker topografien som ledelinjer, og dette kan dermed påvirke både fuglenes forekomst i landskapet og deres flygemønster. Hensikten med merking er å gjøre ledningsspennet bedre synlig for fugler i flukt, slik at det kan resultere i unnvikelse. Der kollisjonshyppigheten er forventet å være relativt lav, samt vanskelig å registrere ved søk (eksempelvis ved regelmessige søk med hund langs traséen), antar vi at eventuelle endringer i forekomst og i flygemønster (dvs. unnvikelsesbevegelser i det horisontale og vertikale planet) kan brukes som proxy for effekten av merking på redusert kollisjonshyppighet. Vi ønsket derfor at radaren skulle plasseres slik at topografien for både merkede og umerkede ledningsspenn skulle være mest mulig lik for å kontrollere for eventuell effekter av topografi.

Topografi er også viktig med hensyn til radarens funksjonalitet. For optimal bruk av fugleradar for overvåking av ledningsspenn bør det derfor velges et område som er relativt lite kupert. I tillegg må det valgte området ligge i tilknytning til veg slik at radarplasseringen (montert på bil) gir fri sikt til master og ledningsspenn. Det vil være mest hensiktsmessig å velge et område hvor det forekommer mye fugl.

Etter en nøye vurdering av alternative lokaliteter, kom vi i samråd med Statnett fram til at Oselva-området i Ormen Lange-nettilknytningen utpekte seg som det beste alternativet for dette pilotprosjektet (se Stenberg 2010). Undersøkelsene ble foretatt under høsttrekket i 2016 (17. august – 31. oktober) i et spesifisert geografisk område nær Molde i Møre & Romsdal (Osen, Kleive, **Figur 1**). Her ble det bygget en 420kV-linje (ferdigstilt i 2006) som forsyner ilandføringslanlegget fra Ormen Lange-feltet på Aukra (Stenberg 2010). I et parti av linja som krysser Oselva (spenn 144-145, **Figur 1** og **2**) er det påmontert fugleavvisere på topplina i form av grå «grisehaler» (**Figur 3** og **4**), på grunn av hyppig trafikk av ender, traner, svaner, hegrer, gjess, havørn, med flere (Stenberg 2010). Ved bruk av radaren fikk vi her undersøkt bevegelsesmønstre både ved merkede og umerkede partier av ledningsspennet.



Figur 1. Kartutsnitt som viser område valgt for utplassering av fugleradar i Osen, Kleive, Molde kommune, Møre & Romsdal. Utsnittet viser radarovervåket umerket (blå strek) og merket (rød strek) spenn, samt mastplasseringer (grønne sirkler) og radarposisjon (rød sirkel). Kartutsnitt: Kartverket.

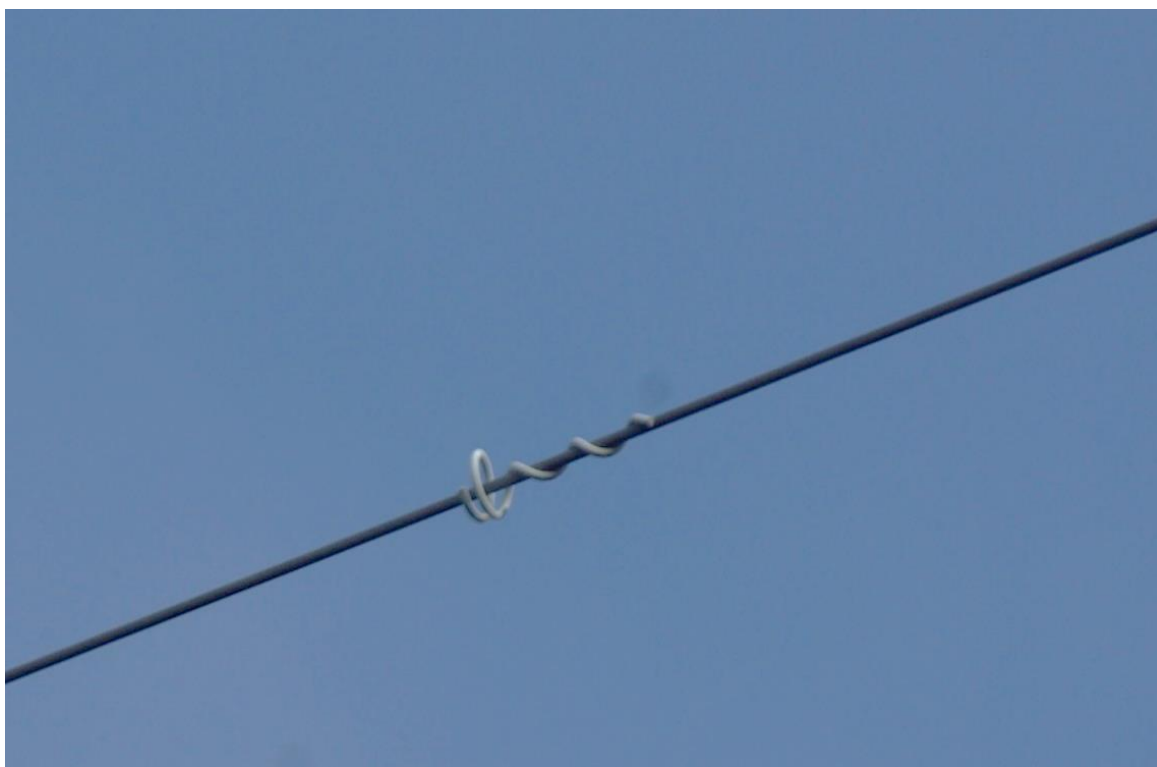


Figur 2. Parti av 420kV-linje med merket toppline som krysser Oselva. Foto: Bård G. Stokke ©.

Etter at området var valgt ut, ble det foretatt besiktigelse av lokaliteten med etterfølgende sikt-analyser. Disse analysene ble gjennomført ved bruk av egenutviklet programvare (GIS-verktøy) for dette formålet. Siktanalysene benyttes for å finne optimal plassering av radaren for å dekke det geografisk avgrensede området man ønsker å undersøke. I analysene ble det ved hjelp av å inkorporere detaljer rundt områdets topografi, vegetasjonsdekke og –høyde funnet fram til den spesifikke lokaliteten som man antok ville resultere i de beste data mht. radarspor av fugl.



Figur 3. Parti av 420kV-linje (Oselva) hvor topplina er merket med grå grisehaler. Foto: Bård G. Stokke ©.



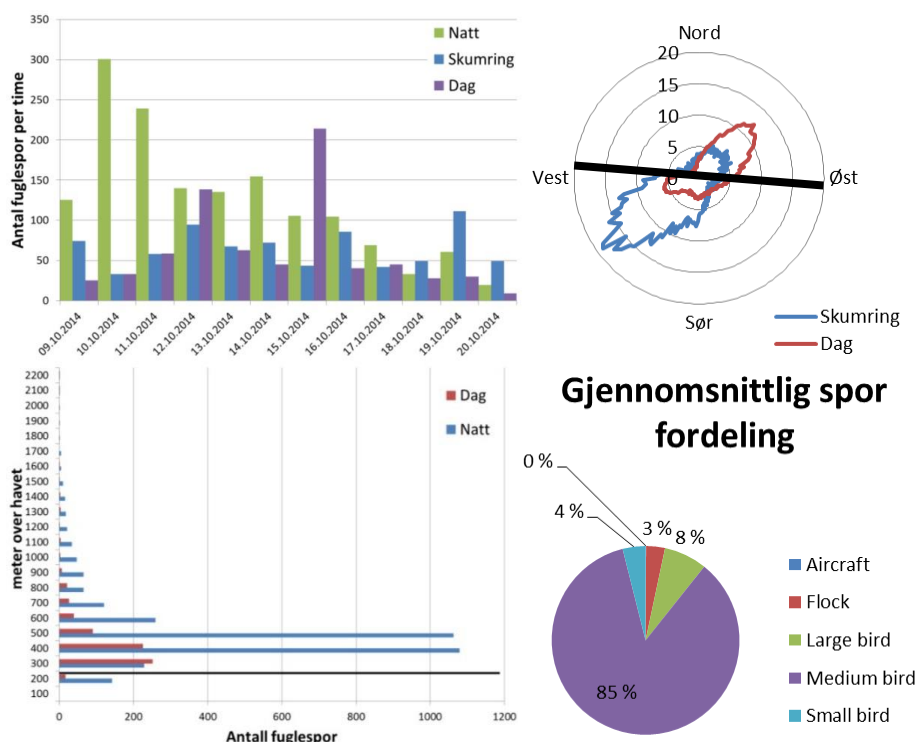
Figur 4. Nærbilde av toppline merket med grå grisehale. Foto: Roel May ©.

Fugleradar

NINA har bygget opp kompetanse på bruk av fugleradar i ulike sammenhenger, bl.a. knyttet til miljøeffekter av vindkraft. Siden 2008 har NINA driftet MERLIN fugleradar i BirdWind-

prosjektet på Smøla, der Statkraft i 2008 finansierte innkjøp av en fugleradar som fremdeles er operativ i tilknytning til INTACT- prosjektet. I 2010 bevilget NFR via CEDREN utstyrsmidler til en ny fugleradar. Med disse midlene ble det kjøpt inn en ROBIN 3D Flex fugleradar som ble innebygget i en varebil som gjør den fullstendig mobil. ROBIN har blitt testet grundig, blant annet like ved en kraftledning i Midt-Norge (**Figur 5**) samt anvendt operasjonelt for å teste effekten av UV-lys for å skremme fugler. NINA har dermed bygget opp god kompetanse på å analysere radardata i forhold til forekomst av fugl i tid og rom. ROBIN-radaren ble benyttet i dette prosjektet for å gi informasjon om hvor mange fugler som til enhver tid beveget seg i lufta i studieområdet, samt studere atferdsresponsen i forhold til merkede/umerkede ledningsspenner. For å få et mer kvalitativt bilde av fuglefaunaen i et studieområde ble det i tillegg utført bakkeverifisering av en erfaren ornitolog.

NINAs mobile radarsystemer er spesielt utviklet for overvåking av fugl i tre dimensjoner over tid. Med fugleradar er det mulig å overvåke fuglenes forekomst og atferd over større områder gjennom hele året, døgnet rundt, i all slags vær - med stor nøyaktighet. ROBIN 3D Flex Radar System, utviklet av Robin Radar Systems i Nederland, er et radarsystem bestående av en X-bånd basert FMCW-radar (Frequency Modulated Continuous Wave) og en S-bånd radar beregnet brukt til automatisk deteksjon og sporing av fugler (**Figur 6**). S-bånd-radaren roterer i horisontalplanet for vanlig 360 grader dekning (maks. rekkevidde 10km). S-bånd-radaren er en standard marin navigasjonsradar fra Furuno, modell FAR2167DS. FMCW-radaren er montert på en egen stolpe (2.5m høy) når den er i drift og roterer både i horisontal- og vertikalplanet. Den benyttes til å måle flygehøyde hos fugl som kan følges (maks. rekkevidde 3.5km). FMCW-radaren er en «solid state coherent radar» med en dual sender/mottaker-antenne (dvs. to Furuno-antennene), spesialdesignet og bygget av Robin Radar Systems. FMCW-radaren muliggjør sporing av flygehøyde av fugl i alle retninger. Hele systemet er mobilt og er fastmontert på en liten lastebil. Det kan dermed flyttes rundt til ønsket posisjon for innsamling av data. NINA har tillatelse for bruk av fugleradar fra Nasjonal kommunikasjonsmyndighet (Nkom).



Figur 5. Antall radarspor av fugl innenfor 100 m fra kraftledningen ved Hafsbuan, Orkanger kommune (øverst til venstre), flygeretning i forhold til kraftledningen (svart strek; øverst til høyre), antall spor over høyde relatert til radarens høyde (svart strek, nederst til venstre), og fordeling av spor over forskjellige kategorier av observerte objekter (nederst til høyre).

Utplassering av radaren ved Osen ble foretatt den 17. og 18. august 2016. I forbindelse med dette arbeidet ble det også foretatt uttesting av radar ved bruk av drone. Denne ble fløyet rundt det merkede spennet (over og under), mens man samtidig fulgte med på radarbildet. Det ble verifisert at dronen ble registrert på radaren, men at det også var en del posisjoner hvor dronen lå i «blindsona» for radaren pga. høyde på trær som skjermet for radarstrålene. Etter en kort datainnsamlingsperiode (med fjernobservasjon av radarens funksjonalitet fra NINA-hovedkvarteret i Trondheim) ble det besluttet å flytte radaren til en annen lokalitet litt høyere opp i terrenget og lenger unna Oselva. Radaren ble derfor flyttet den 1. september, og der ble den stående resten av datainnsamlingsperioden (til 31. oktober). I videre analyser av data er august-dataene ekskludert.



Figur 6. Den mobile fugleradaren med S-bånd-radaren på taket (venstre) og FMCW-radaren plassert på bakken like ved (høyre) klar til bruk i Osen, Kleive. Foto: Bård G. Stokke ©.

Bakkeverifisering

Verifisering av radarspor av fugl ble foretatt 12. september, samt 3., 4., og 13. oktober. Dette foregikk ved at visuelle observasjoner av fugler ble sammenlignet med spor som framkom på fugleradaren. Art og antall ble registrert i systemet. Verktøy i radar-programvaren tillot å «arts-bestemme» radarsporene. Generelt viste verifiserings-prosessen at radaren fanget opp spor på en tilfredsstillende måte, men at en del høydedata (fra FMCW-radaren) manglet for en del spor.

Database og databehandling

Databasen med registrerte radarspor av fugl ble kopiert lokalt og overført til NINA sitt hovedkvarter en gang i måneden for lagring i en PostgreSQL databaseløsning. Databearbeiding bestod av (1) utfiltrering av spor som ikke representerte fugler og (2) klassifisering av fugler i grupper (flokker, store, mellomstore og små fugler). Deretter ble dataene analysert med hensyn til forekomst i rom og tid, krysningsfrekvens, samt flygeatferd rundt kraftledningen. Flygeatferden inkluderte en analyse rundt endringer i svingradius (turning angle) som funksjon av avstand til både merkede og umerkede linjepartier. Forventningen var at endring i svingradius skulle være større ved merkede enn ved umerkede linjepartier.

Data for flygeretning (direksjonalitet), kryssingssannsynlighet og antall spor ble ekstrahert på daglig basis med hensyn til tidspunkt, distansekategori i forhold til spennet (50 m, 100 m, 150 m og 200 m), og for tidspunkt og distanse kombinert. Flygeretning ble definert som standardavviket i cosinusen til sporets bevegelsesretning. Potensielle effekter av merking av topplina ble utført ved bruk av en BACI- og en gradienttilnærming. I BACI-tilnærmingen ble spor ved umerket og

merket spenn sammenlignet om dagen og om natta. På grunn av nattemørket ble det ikke forventet noen effekt av merking på denne tiden av døgnet, mens det ble forventet en effekt om dagen. I gradienttilnærmingen ble spor ved merket og umerket spenn sammenlignet ved målt distanse fra spennet. For alle tilnærmingene ble fire modeller sammenlignet ved bruk av «information theoretic approach» (Burnham & Anderson 2002). Flygeretningen ble cosinustransformert før analysene tok til for å oppnå normalfordeling, og ble definert som responsvariabel i «linear mixed effects models» med dato som «random grouping factor». Sannsynlighet for kryssing av spennet ble analysert ved å beregne den daglige andelen av sporene som gikk på tvers ($\pm 45^\circ$) versus på langs av spennet. Dette ble modellert ved hjelp av «generalized mixed effects models» med binomisk fordeling, og med dato som «random grouping factor». Antall radarspor av fugl per dag ble analysert ved bruk av «generalized mixed effects models» med Poissonfordeling, og med dato som «random grouping factor». For å undersøke den samlede effekten av tidspunkt på døgnet og distanse fra spennet ble også en kombinasjon av disse tilnærmingene benyttet. Svingradius («turning angle») ble beregnet som $(1 - \cos(\Delta\text{retning}))/2$. Dette gir verdier fra 0 (ingen endring i svingradius, dvs 0°) til 1 (helomvending, dvs $\pm 180^\circ$). Svingradius ble brukt som responsvariabel i «linear mixed effects models» med dato som «random grouping factor». Modelleringen ble utført ved bruk av lmer og glmer i lme4-biblioteket (Bates et al. 2015) i R 3.3.2 (R Core Team 2016).

3 Resultater og diskusjon

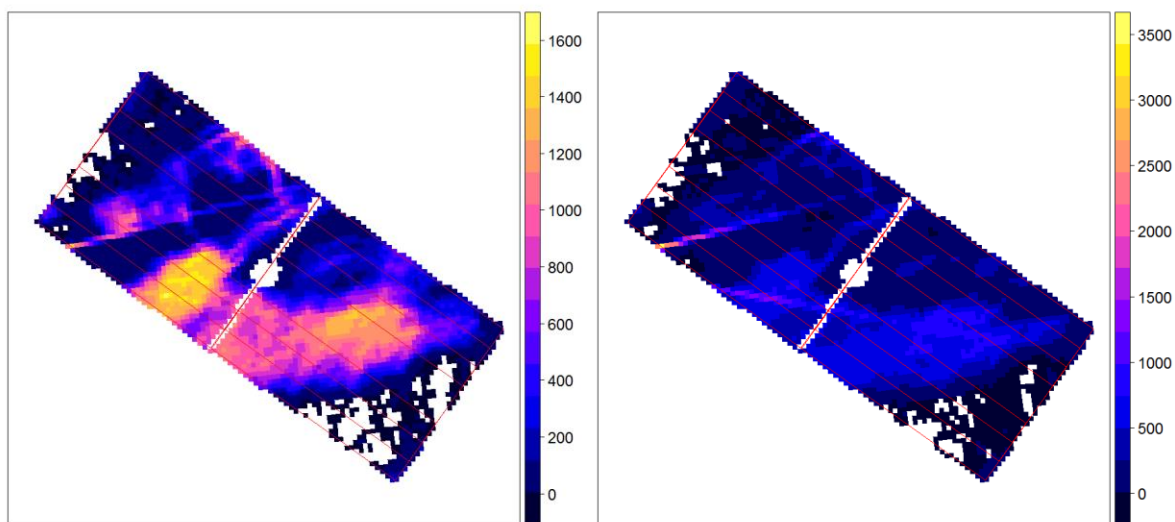
Generelt

Generelt viste verifiserings-prosessen at radaren fanget opp spor på en tilfredsstillende måte, men at en del høydedata (den vertikale radaren) manglet for en del spor. Det må avklares med radarleverandøren hva som eventuelt er årsaken til at innsamling av høydedata ikke er optimal. I tillegg viser dataene at en del fugler som flyr lavt (dvs. under 50 m høyde) ikke blir registrert av radaren. Dette skyldes sannsynligvis at høye trær skjærer for noen av signalene.

Verifiseringen viste videre at det var gjennomgående mye aktivitet mht. spor. Spesielt dreide dette seg om flokker av grå- (*Turdus pilaris*) og rødvingetrost (*Turdus iliacus*). Langt færre «store» objekter ble registrert, men storkender (*Anas platyrhynchos*), storskarv (*Phalacrocorax carbo*) og gråhegre (*Ardea cinerea*) ble jevnlig observert trekkende opp og ned langs Storelva, med passeringer av det merkede spennet. Disse større fuglene gav alltid fine spor på radar-skjermen. Tett tåke og dis i dalføret ved elva, samt noe ustabil nettverk (som forårsaket problemer med tilgang til radarbildet) medførte noen problemer, men i det store og hele ble verifiseringsarbeidet gjennomført på en tilfredsstillende måte.

Etter at radaren ble hentet tilbake til Trondheim, er datasettet kvalitetssikret og «rensket» (spor fra biler, fotgjengere og annen støy er luket ut). Totalt antall radarspor av fugl innenfor 200 m fra kraftledningen i september var 25 578 ved umerket spenn og 24 271 ved merket spenn. Totalt antall spor i oktober var 15 144 ved umerket spenn og 13 513 ved merket spenn. Fugleaktiviteten avtok generelt betydelig etter ca. medio oktober, noe som sannsynligvis skyldes at mange arter da har avsluttet høsttrekket forbi området. En oversikt over sporene viser også en betydelig døgnvariasjon i fugleaktivitet. Aktiviteten var generelt lavest midt på dagen gjennom hele registreringsperioden.

Innenfor en avstand på 200 m fra kraftlinja og med eksklusjon av et område på 20 m rundt mastene, var det liten forskjell i objekt-detektering mellom umerket og merket del av spennet (**Figur 7**). Disse resultatene viser at data i de to områdene er sammenlignbare for videre analyser. Resultater fra modelleringen er presentert i **Appendiks**. Det er for hver analyse gjengitt hvordan de forskjellige kontrasterende modeller kan forklare variasjonen i responsvariablene (antall spor, flygeretning, kryssingssannsynlighet og svingradius) gjennom avstand fra kraftlinje, tidspunktet på døgnet (dag eller natt) og merking.

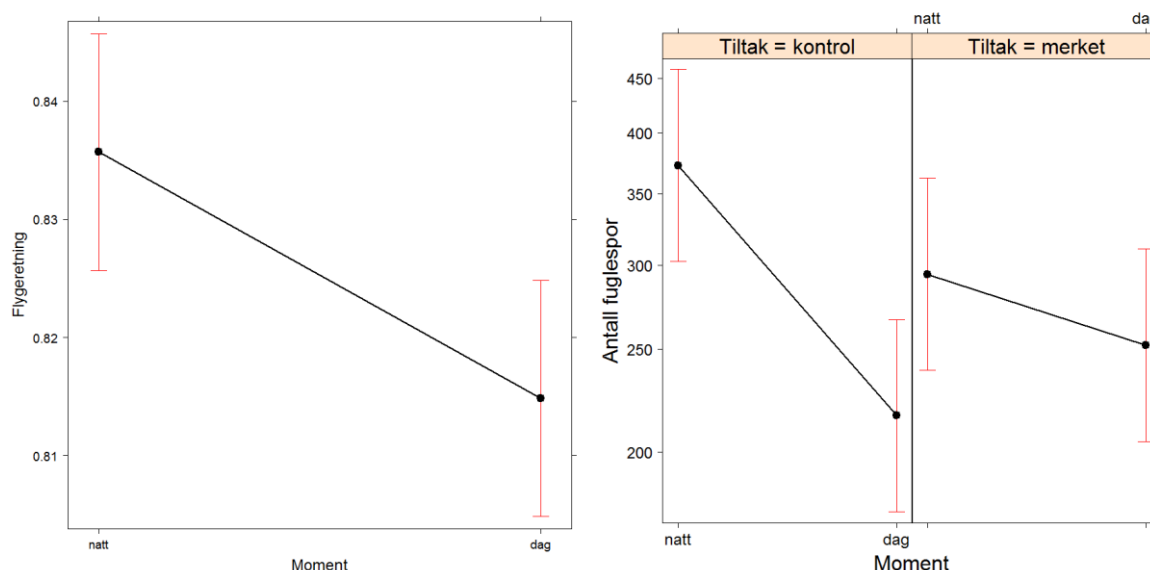


Figur 7. Antall registrerte fugl i ROBIN-fugleradar i september (venstre) og oktober (høyre) 2016 innenfor 200 m fra kraftledningen. Et 20 m område rundt midtstolpen er ekskludert (hvit sirkel i midten). Det samme er piksler som ligger både ved det merkede og det umerkede spennet (hvite

linjer ut fra mast). Røde linjer ut fra masten indikerer 50 m intervaller fra spennet. Umerket spenn til venstre og merket spenn til høyre for mast.

Sammenligning av fugleaktivitet ved merket og umerket spenn – effekter av tidspunkt på døgnet

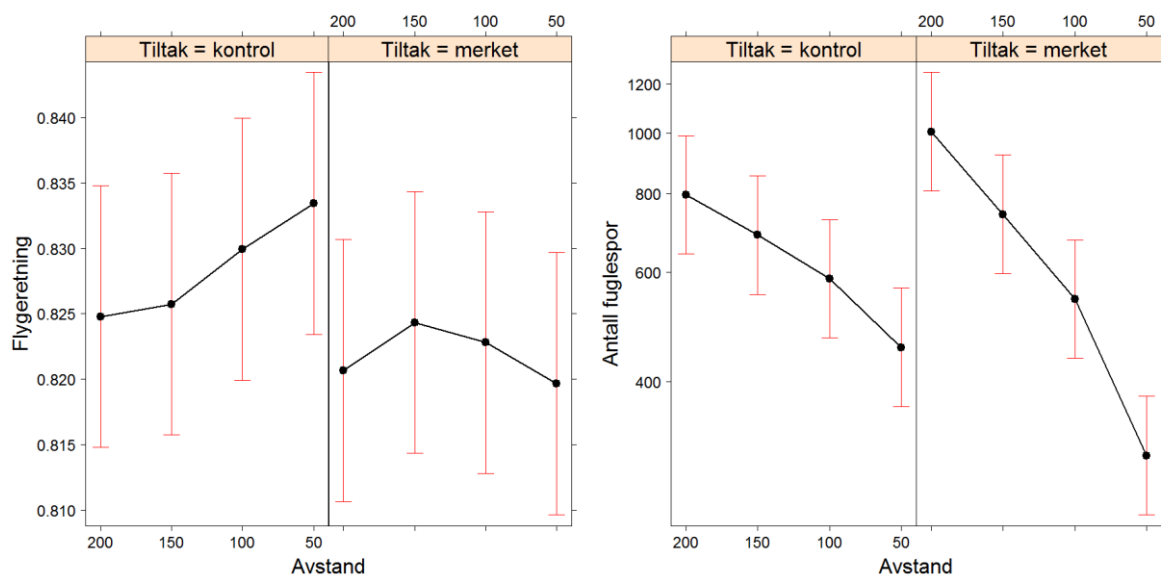
Det ble ikke funnet noen forskjell i flygeretning ved merket og umerket spenn. Det var imidlertid generelt mindre variasjon i flygeretning om dagen enn om natta (**Tabell A1** og **Figur 8**, $F = 69.216$). Antall spor ved umerket spenn var signifikant lavere på dagtid sammenlignet med natt (**Tabell A1** og **Figur 8**, $F = 2415.87$), men det var ingen signifikant forskjell mellom dag og natt ved merket spenn ($F = 711.69$). Dersom det hadde vært effekter av merking skulle man ha forventet at flere fugler passerte det merkede spennet om natta enn om dagen (fordi merkingen kun er synlig om dagen), men dette var ikke tilfelle. Et slikt mønster ble imidlertid funnet ved det umerkede spennet. Siden disse data ikke er koblet til høydedata er det vanskelig å tolke disse resultatene.



Figur 8. Flygeretning (venstre) og antall spor (høyre) fordelt på «moment» (dvs. natt og dag). For antall spor er det angitt ulike illustrasjoner for merket (tiltak = merket) og umerket (tiltak = kontrol) spenn.

Sammenligning av fugleaktivitet ved merket og umerket spenn – effekter av avstand fra spennet

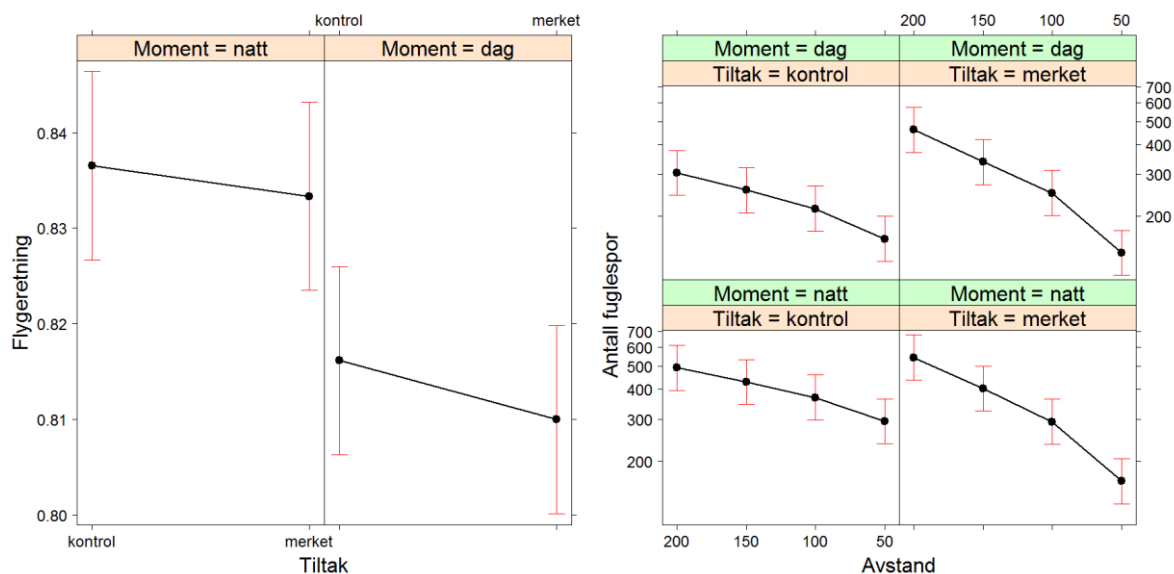
Generelt var sporene mer retningsbestemt (dvs. mindre variasjon) ved det merkede spennet i forhold til det umerkede (**Tabell A2** og **Figur 9**, $F = 43.310$). Variasjonen i flygeretning med avstand fra spennet var signifikant påvirket av om spennet var merket eller umerket ($F = 7.015$). Ved en avstand på 50 m fra linjene var flygeretningen signifikant mer ensrettet ved det merkede enn det umerkede spennet ($t = -3.40$). Antall spor ved det merkede spennet avtok mer med kortere avstand til spennet ($F = 1289.239$) enn ved umerket spenn (**Tabell A2** og **Figur 9**, $F = 10052.733$). På 50 m avstand fra linja var det færre spor ved merket enn ved umerket spenn. Siden flygeretningen ble funnet å være mer ensrettet ved merket enn umerket spenn, kan dette antyde at en del fugler er oppmerksomme på linjene når de er merket. Disse analysene gir imidlertid ikke innblikk i om flygeretningen går på tvers eller på langs av linene så det er vanskelig å konkludere ut fra disse resultatene. En signifikant reduksjon i antall spor med kortere avstand til merket enn ved umerket toppline indikerer imidlertid at fuglene er oppmerksomme på merkingen.



Figur 9. Flygeretning (venstre) og antall spor (høyre) fordelt på ulik avstand til spennet (50, 100, 150 og 200 m). Det er angitt ulike illustrasjoner for merket (tiltak = merket) og umerket (tiltak = kontrol) spenn.

Kombinert effekt av tidspunkt og avstand

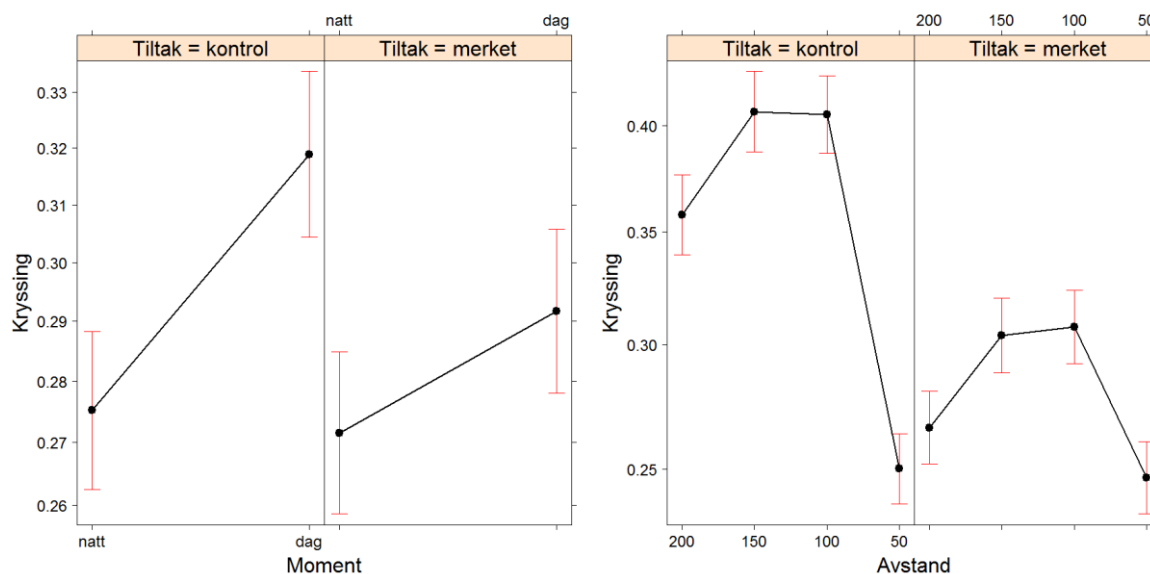
Dersom man ekstraherer flygeretning og antall spor per dag per tidspunkt på døgnet og avstand kan man evaluere separate effekter av tidspunkt og avstand. Disse analysene indikerte at variasjon i flygeretning generelt var upåvirket av avstand fra spennet (samlet AIC vekt på 0.413), men at det var en signifikant lavere variasjon i flygeretning ved det merkede spennet (samlet AIC vekt på 0.999), spesielt om dagen (**Tabell A3** og **Figur 10**, samlet AIC vekt på 1.000). Selv om antall spor per dag var signifikant påvirket av både tidspunkt, avstand og spenn (samlet AIC vekt på 1.000), hadde tidspunkt ($F = 1346.369$) en større effekt enn avstand ($F = 802.852$) ved det merkede spennet (**Tabell A3** og **Figur 10**). Antall spor var lavere om dagen enn om natta, men denne forskjellen var svakere ved det merkede spennet. Antall spor per dag avtok imidlertid sterkere med kortere avstand til linja ved merket enn ved umerket spenn. Resultatene fra analysene rundt kombinerte effekter viser stort sett det samme som de separate analysene over.



Figur 10. Flygeretning (venstre) og antall spor (høyre) ved merket og umerket spenn, fordelt på ulik avstand til spennet og tidspunkt på døgnet.

Sammenligning av fugleaktivitet ved merket og umerket spenn – kryssing av linja

Sannsynligheten for spor som krysset linja var signifikant høyere ved merket enn umerket spenn ($F = 19.828$ (tidspunkt), $F = 447.120$ (avstand)). Kryssinger av linja var mindre sannsynlig på dagtid enn om natta ved det umerkede spennet ($F = 85.527$), men denne sammenhengen var mindre framtrædende ved det merkede spennet (**Tabell A4** og **Figur 11**, $F = 14.383$). Sannsynligheten for at spor krysset linja var signifikant høyere ved umerket enn merket spenn innen en avstand på 50 m fra linja (**Tabell A4** og **Figur 11**, $F = 349.993$). Resultatene viser at fuglene krysser det merkede spennet i like stor eller større grad enn det umerkede spennet. Siden disse analysene ikke inkluderer høyde for passeringene er de vanskelige å tolke. Man kan tenke seg at passeringene ved merket spenn blir foretatt på en betryggende høyde over linja, men dette blir kun antagelser.

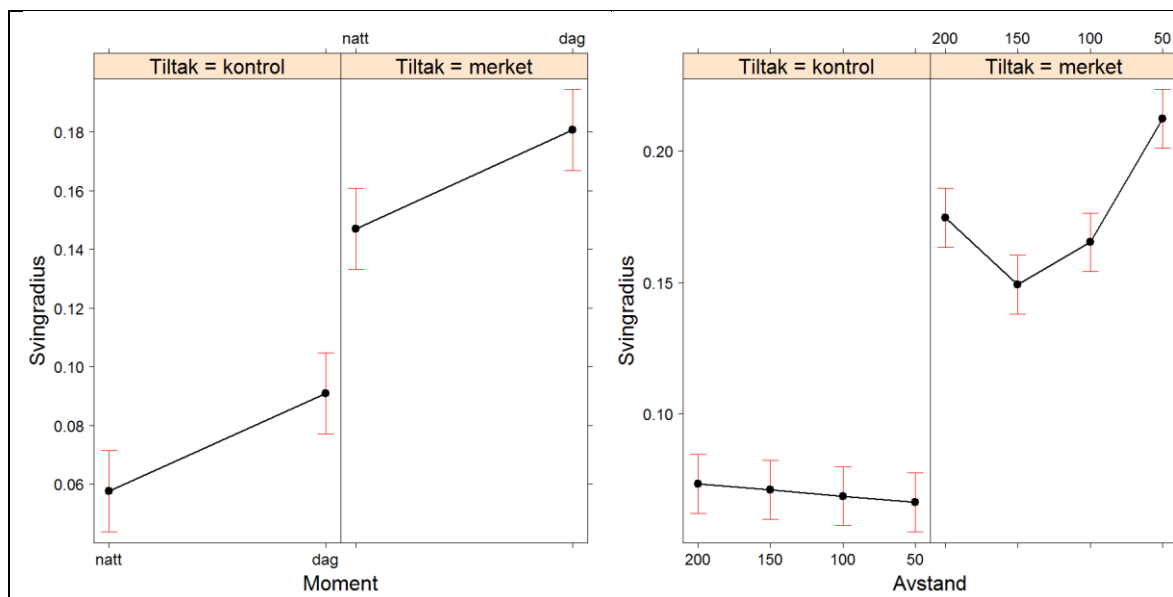


Figur 11. Kryssing av linja fordelt på tidspunkt på døgnet (venstre) og avstand fra spennet (høyre). Det er angitt ulike illustrasjoner for merket (tiltak = merket) og umerket (tiltak = kontrol) spenn.

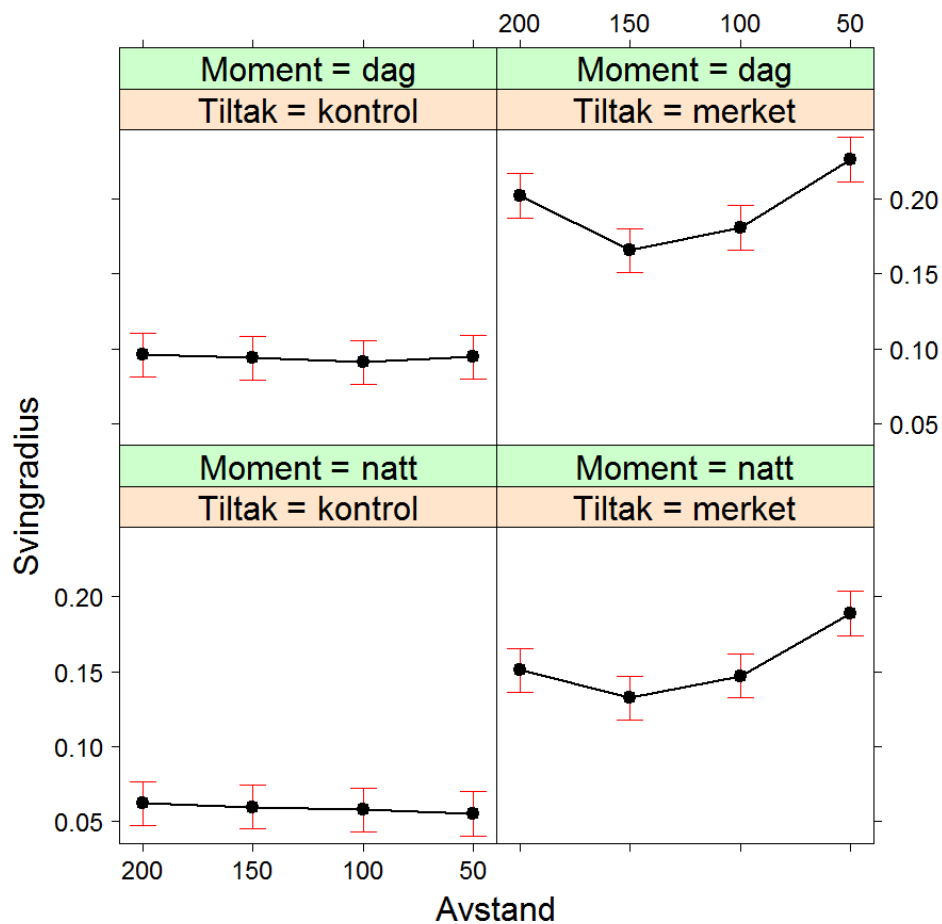
Sammenligning av fugleaktivitet ved merket og umerket spenn – svingradius

Svingradius på sporene var signifikant høyere ved merket enn ved umerket spenn ($F = 117.712$ (tidspunkt), $F = 958.09$ (avstand)), spesielt på dagtid ($F = 24.901$) og ved kortere avstand til linja (**Tabell A5** og **Figur 12**, interaksjonsfaktor: $F = 17.87$). Disse resultatene gir sterke indikasjoner på at fuglene endrer fluktatferden ved merket spenn, og at de dermed observerer merkingen.

Dersom man ekstraherer svingradius per tidspunkt på døgnet og avstand kan man evaluere separate effekter av tidspunkt og avstand. Svingradius var signifikant påvirket av både tidspunkt, avstand og merking (**Tabell A6** og **Figur 13**, samlet AIC vekt på 1.000), men avstand ($F = 14.069$) hadde en større effekt enn tidspunkt ($F = 0.298$) ved det merkede spennet. Svingradiusen økte med kortere avstand til linja ved det merkede spennet (**Tabell A6** og **Figur 13**). Resultatene fra analysene vedrørende kombinerte effekter er i samsvar med de separate analysene.



Figur 12. Svingradius fordelt på tidspunkt på døgnet (venstre) og avstand fra spennet (høyre). Det er angitt ulike illustrasjoner for merket (tiltak = merket) og umerket (tiltak = kontrol) spenn



Figur 13. Svingradius fordelt på tidspunkt på døgnet og avstand fra spennet.

4 Konklusjon

Dette pilotprosjektet har gitt nyttige erfaringer med hensyn til radarutplassering i forhold til optimal datainnsamling for det angitte formålet, samt radarens evne til å fange opp fluktmønstre hos fugl av ulik størrelse. I tillegg har dataanalysene gitt indikasjoner på en positiv effekt av merking av topplina som er tiltak mot reduksjon av risiko for fuglekollisjoner. En signifikant reduksjon i antall radarspor av fugl med kortere avstand til merket enn ved umerket toppline indikerer at fuglene er oppmerksomme på merkingen. Det mest interessante resultatet var imidlertid at svingradius på sporene var signifikant høyere ved merket enn ved umerket spenn spesielt på dagtid og ved kortere avstand til linja. Dette er en klar indikasjon på at merking av topplina bidrar til økt synlighet for fugl.

Utfordringer i forhold til områdets topografi og vegetasjonsdekke (trehøyde) medførte at fugleradaren måtte flyttes etter en kort testperiode. Den endelige plasseringen av radaren viste seg å være tilfredsstillende med hensyn til horisontalradardata, men innhenting av høydedata fra vertikalradaren var ikke optimal. Dette problemet må løses før radaren tas i bruk i lignende studier i framtiden, og en dialog med radarleverandøren er allerede iverksatt.

Overvåkingen i dette studiet er blitt foretatt i et område hvor kraftledninger har vært etablert over en lengre tidsperiode. Fuglenes aktivitet kan derfor til en viss grad ha tilpasset seg disse nye strukturene over tid. Framtidige studier bør fokusere på en BACI-tilnærming, der fugleradaren blir benyttet for å overvåke spor i et område før og etter konstruksjon av kraftlinjer med og uten merket toppline. Da vil man få en bedre innsikt i om fuglenes områdebruk påvirkes av kraftlinjer, og i hvilken grad merking har noen effekt. Et planlagt prosjektsamarbeid mellom NINA, NVE og Statnett i forbindelse med Fosen-utbyggingen er under planlegging med oppstart i 2017. Her er BACI-tilnærming og bruk av fugleradar sentrale elementer. Erfaringene fra pilotprosjektet vil være til stor nytte for gjennomføringen av dette prosjektet.

5 Referanser

Barrientos, R., Alonso, J.C., Ponce, C. & Palacín, C. 2011. Meta-analysis of the effectiveness of marked wire in reducing avian collisions with power lines. *Conservation Biology* **25**: 893-903. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2011.01699.x.

Barrientos, R., Ponce, C., Palacín, C., Martín, C.A., Martín, B. & Alonso, J.C. 2012. Wire marking results in a small but significant reduction in avian mortality at power lines: A BACI designed study. *PLoS ONE* **7**: e32569. doi:10.1371/journal.pone.0032569.

Bates, D., Maechler, M., Bolker, B. & Walker, S. 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* **67**: 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01.

Bevanger, K., Bartzke, G., Brøseth, H., Dahl, E.L., Gjershaug, J.O., Hanssen, F., Jacobsen, K.-O., Kleven, O., Kvaløy, P., May, R., Meås, R., Nygård, T., Refsnæs, S., Stokke, S. & Thomassen, J. 2014. Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives (OPTIPOL). Final Report; findings 2009 – 2014. *NINA Report* **1014**. 92 pp.

Bevanger, K., Brøseth, H. & Sandaker, O. 1998. Dødelighet hos fugl som følge av kollisjoner mot kraftledninger i Mørkedalen, Hemsedalsfjellet. *NINA Oppdragsmelding* **531**. 41 pp.

Bevanger, K., May, R. & Stokke, B.G. 2016. Dyreliv og kraftledninger. Miljø- og forsyningsmessige utfordringer. *NINA Temahefte* **67**. 120 pp.

Bevanger, K. & Refsnæs, S. 2013. Muligheter og begrensninger for å redusere dødelighet hos fugl som skyldes kollisjoner og elektrokusjon i eksisterende kraftledningsnett i Norge. *NINA Rapport* **763**. 62 pp.

Brown, W.M. & Drewien, R.C. 1995. Evaluation of two power line markers to reduce crane and waterfowl collision mortality. *Wildlife Society Bulletin* **23**: 217-227.

Burnham, K.P. & Anderson, D.R. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach, 2nd edn. Springer, New York, NY, USA.

Jenkins, A.R., Smallie, J.J. & Diamond, M. 2010. Avian collisions with power lines: a global review of causes and mitigation with a South African perspective. *Bird Conservation International* **20**: 263-278. doi:10.1017/S0959270910000122.

Loss, S.R., Will, T. & Marra, P.P. 2014. Refining estimates of bird collisions and electrocution mortality at power lines in the United States. *PLoS ONE* **9**: e101565. doi:10.1371/journal.pone.0101565.

Luzenski, J., Rocca, C.E., Harness, R.E., Cummings, J.L., Austin, D.D., Landon, M.A. & Dwyer, J.F. 2016. Collision avoidance by migrating raptors encountering a new electric power transmission line. *Condor* **118**: 402-410. DOI: 10.1650/CONDOR-15-55.1.

Murphy, R.K., Dwyer, J.F., Mojica, E.K., McPherron, M.M. & Harness, R.E. 2016. Reactions of sandhill cranes approaching a marked transmission power line. *Journal of Fish and Wildlife Management* **7**: 480-489. doi: 10.3996/052016-JFWM-037.

R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (<https://www.r-project.org/>).

Raab, R., Schütz, C., Spakovszky, P., Julius, E. & Schulze, C. H. 2012. Underground cabling and marking of power lines: conservation measures rapidly reduced mortality of West-Pannonian great bustards *Otis tarda*. *Bird Conservation International* **22**: 299-306. doi:10.1017/S0959270911000463.

Rioux, S., Savard, J.-P.L. & Gerick, A.A. 2013. Avian mortalities due to transmission line collisions: a review of current estimates and field methods with an emphasis on applications to the Canadian electric network. *Avian Conservation and Ecology* **8**: 7. <http://dx.doi.org/10.5751/ACE-00614-080207>.

Sporer, M.K., Dwyer, J.F., Gerber, B.D., Harness, R.E. & Pandey, A.K. 2013. Marking power lines to reduce avian collisions near the Audubon National Wildlife Refuge, North Dakota. *Wildlife Society Bulletin* **37**: 796-804. DOI: 10.1002/wsb.329.

Stenberg, I. 2010. Nettilknytning Ormen Lange. Biologiske etterundersøkingar. Årsrapport 2009. 69 s.

6 Appendiks

Tabell A1. Modeller som forklarer variasjon i fugleaktivitet (flygeretning og antall spor per dag) ved merket og umerket spenn gjennom døgnet

Test	Modell	AIC	dAIC
Flygeretning	Null-modell	-939.8	56.1
	Tidspunkt	-995.9	0.0
	Spenn	-940.3	55.6
	Tidspunkt * Spenn	-995.8	0.1
# spor per dag	Null-modell	9610.5	3217.5
	Tidspunkt	7213.7	820.7
	Spenn	9502.6	3109.6
	Tidspunkt * Spenn	6393.0	0.0

Dato benyttet som «random grouping factor»

Tabell A2. Modeller som forklarer variasjon i fugleaktivitet (flygeretning og antall spor per dag) ved merket og umerket spenn i forhold til avstand fra spennet

Test	Modell	AIC	dAIC
Flygeretning	Null-modell	-2517.3	54.6
	Avstand	-2554.2	17.7
	Spenn	-2519.0	52.9
	Avstand * Spenn	-2571.9	0.0
# spor per dag	Null-modell	44184	36891
	Avstand	44117	36824
	Spenn	11279	3986
	Avstand * Spenn	7293	0

Dato benyttet som «random grouping factor»

Tabell A3. Modeller som forklarer variasjon i fugleaktivitet (flygeretning og antall spor per dag) ved merket og umerket spenn i forhold til avstand fra spennet og tidspunkt på døgnet

Test	Modell	AIC	dAIC
Flygeretning	Null-modell	-2397.8	194.1
	Tidspunkt	-2586.8	5.1
	Avstand	-2395.7	196.2
	Spenn	-2399.9	192
	Tidspunkt * Avstand	-2580.1	11.8
	Avstand * Spenn	-2399.6	192.3
	Tidspunkt * Spenn	-2591.9	0.0
	Tidspunkt * Avstand * Spenn	-2586.5	5.4
# spor per dag	Null-modell	41406	24931
	Tidspunkt	34189	17714
	Avstand	28229	11754
	Spenn	40954	24479
	Tidspunkt * Avstand	20607	4132
	Avstand * Spenn	25497	9022

Tidspunkt * Spenn	32257	15782
Tidspunkt * Avstand * Spenn	16475	0

Dato benyttet som «random grouping factor»

Tabell A4. Modeller som forklarer variasjon i fugleaktivitet (kryssing av linja) ved merket og umerket spenn i forhold til avstand fra spennet og tidspunkt på døgnet

Test	Modell	AIC	dAIC
Tidspunkt	Null-modell	2231.8	112.5
	Tidspunkt	2149.4	30.1
	Spenn	2221.1	101.8
	Tidspunkt * Spenn	2119.3	0.0
Avstand	Null-modell	5296.7	1724.7
	Avstand	4267.4	695.4
	Spenn	5132.9	1560.9
	Avstand * Spenn	3572.0	0.0

Dato benyttet som «random grouping factor»

Tabell A5. Modeller som forklarer variasjon i fugleaktivitet (svingradius) ved merket og umerket spenn i forhold til avstand fra spennet og tidspunkt på døgnet

Test	Modell	AIC	dAIC
Tidspunkt	Null-modell	-553.10	133.81
	Tidspunkt	-564.17	122.74
	Spenn	-667.28	19.63
	Tidspunkt * Spenn	-686.91	0.0
Avstand	Null-modell	-1128.6	506.2
	Avstand	-1133.8	501
	Spenn	-1561.1	73.7
	Avstand * Spenn	-1634.8	0.0

Tabell 6. Modeller som forklarer variasjon i fugleaktivitet (svingradius) ved merket og umerket spenn i forhold til avstand fra spennet og tidspunkt på døgnet (kombinerte effekter)

Test	Modell	AIC	dAIC
Svingradius	Null-modell	-2067.5	658
	Tidspunkt	-2121.3	604.2
	Avstand	-2079.1	646.4
	Spenn	-2568.3	157.2
	Tidspunkt * Avstand	-2128.8	596.7
	Avstand * Spenn	-2625.1	100.4
	Tidspunkt * Spenn	-2668.3	57.2
	Tidspunkt * Avstand * Spenn	-2725.5	0.0

ISSN: 2464-2797
ISBN: 978-82-426-3021-6

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, 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 framtidas miljøløsninger