

763 Muligheter og begrensninger for å redusere dødelighet hos fugl som skyldes kollisjoner og elektrokusjon i eksisterende kraftledningsnett i Norge

NINA Rapport

Kjetil Bevanger, Steinar Refsnæs



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 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 forsknings-tema.

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.

CEDREN – Centre for Environmental Design of Renewable Energy: Research for technical development and environmental impact of hydro power, wind power, power lines and implementation of environment and energy policy.

SINTEF Energy Research, the Norwegian Institute for Nature Research (NINA) and the Norwegian University of Science and Technology (NTNU) are the main research partners. A number of energy companies, Norwegian and international R&D institutes and universities are partners in the project.

The centre, which is funded by The Research Council of Norway and energy companies, is one of eleven Centre for Environment-friendly Energy Research (FME). The FME scheme consists of time-limited research centres which conduct concentrated, focused and long-term research of high international quality in order to solve specific challenges in the field of renewable energy and the environment.



Centre for Environmental Design of Renewable Energy



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 s.

Trondheim, desember 2013

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2355-3

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Kjetil Bevanger, Steinar Refsnæs

KVALITETSSIKRET AV

Roel May, Atle Pedersen

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningssjef Signe Nybø (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)

Norges Forskningsråd/CEDREN

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER

FORSIDEBILDE

Havørn på tretravers i 132 kV mast; Smøla.

Foto: Kjetil Bevanger

NØKKELOD

Sentralnett, distribusjonsnett, hubro, konfigurasjon, strømutfall, driftsforstyrrelser, energi

KEY WORDS

Central grid, distribution grid, configuration, retrofitting, outage, supply irregularities, energy

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

Postboks 5685 Sluppen

7485 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 73 80 14 01

NINA Oslo

Gaustadalléen 21

0349 Oslo

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 22 60 04 24

NINA Tromsø

Framsenteret

9296 Tromsø

Telefon: 77 75 04 00

Telefaks: 77 75 04 01

NINA Lillehammer

Fakkeltgården

2624 Lillehammer

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 61 22 22 15

www.nina.no

Sammendrag

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 s.

Avbøtende tiltak for å redusere dødelighet hos fugl i tilknytning til kraftledninger (kollisjon og elektrokusjon - elektrisk sjokk/støt), har vært et sentralt tema i mange år både på grunn av økonomiske konsekvenser av strømutfall, og de biologiske og artsspesifikke konsekvenser ekstra dødelighet kan ha. Foreliggende statusrapport om temaet diskuterer økologiske/biologiske og tekniske/økonomiske muligheter og begrensninger fra et norske perspektiv.

Både kollisjoner med kraftledninger og elektrokusjon er sterkt arts-, steds- og årstidsspesifikke ulykker. Det er derfor viktig at fremtidig forskning blir mer steds- og artsspesifikk i tilnærmingen til problemløsninger, og at tiltakene mer faktabaserte: 1) Hvilke arter er mest utsatt (målararten(e)); 2) hva er beste design av merking i forhold til å redusere kollisjonsrisiko hos målararten(e); 3) hva 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 til avhjelpende tiltak, det være seg miljømessig eller monetært. Kunnskap om bestandsmessige konsekvenser av ekstra dødelighet hos fugl som skyldes kollisjon og elektrokusjon er så godt som fraværende, og vil være et særlig viktig fokusområde for fremtidig forskning.

Fysisk forstørrelse av fase- og/eller jordline gjennom en eller annen form for kjent merkemethodikk, har for enkelte arter ført til redusert kollisjonshyppighet. Generell merking ved nybygging av kraftledninger kan forsvares i områder der det er kjente kollisjonspunkter («hot spots»), mye fugl (eksempelvis våtmarksområder), ved kryssing av opplagte ledelinjer (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 kjent for å kollidere (f.eks. svaner og traner). For å øke kunnskapen om når og hvor det bør merkes, er det behov for mer data om arts- og stedsspesifikk kollisjonsrisiko og artsspesifikke atferdsresponsen i forhold til ulike merkingstyper. For enkelte arter vil det trolig ikke finnes gode løsninger («no cure species») 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 eksemplisvis hønsefugl, som er dokumentert å være spesielt utsatt for kollisjonsulykker.

Foreliggende rapport fokuserer eksisterende nett, og tiltak som går på hvor ledningen bør plasseres i terrenget og andre forhold som bare kan tillegges vekt ved nybygging, er derfor ikke behandlet. Det er imidlertid liten tvil om at de beste forebyggende tiltak mot fuglekollisjoner oppnås gjennom et godt trasevalg.

Elektrokusjonsfare hos fugl er primært knyttet til kraftforsyningsstrukturer i nettsystemer fra 66 kV og nedover, og kunnskapen om hvilke tekniske konstruksjoner som fører til elektrokusjonsulykker er betydelig. Imidlertid er variasjonene i teknisk utforming av distribusjonsnettene stor, med begrenset nasjonal og internasjonal standardisering. Likevel er forutsigbarheten i forhold til hvilke strukturer som i prinsippet er potensielle elektrokusjonsfeller høy. I Norge er det langt igjen før det er gjennomført tiltak som kan gjøre en forskjell når det gjelder dagens omfang av elektrokusjonsulykker hos fugl. Anbefalinger gitt allerede for 25 år siden er ikke fulgt opp, og mye av årsaken til elektrokusjonsdødelighet hos fugl i Norge skyldes at eksisterende informasjon og løsninger ikke er implementert.

Kostnadseffektive tiltak for å redusere elektrokusjonsulykker hos fugl må baseres på empiri, noe forskning både i USA samt flere land i Europa har bekreftet. Dessverre finnes få feltstudier som har samlet data på elektrokusjon av fugl i Norge, og det er behov for undersøkelser som kan gi mer systematisk informasjon om hvilke arter som rammes i tid og rom; dvs. hvilke arter som er

spesielt utsatte i ulike deler av landet – når – og i tilknytning til hvilke strukturer. Norsk kunnskap er hovedsakelig basert på anekdoter og tilfeldige observasjoner og funn av døde fugler. Undersøkelser fra Smøla bekreftet at det bare er et fåtall stolper som utgjør stor elektroklusjonsfare. Over halvparten av vel 200 elektroklusjonsdrepte fugler funnet i tilknytning til ca. 740 stolper med potensial for elektroklusjon i 22 kV-nettet ble gjort i tilknytning til 2,8 % (21) av stolpene.

Bestandsmessige konsekvenser av elektroklusjonsdødelighet hos fugl i Norge er fraværende med unntak av hubro, der elektroklusjon synes å holde bestanden nede i noen områder. OPTIPOL-prosjektet iverksatte studier for å finne løsninger som kan redusere elektroklusjonsdødelighet hos hubro. På grunn av at de største hubrobestandene finnes i kystområder med høyt saltinnhold i lufta og følgelig høy marin korrosjonsindeks (MCI), var det nødvendig å utvikle andre avhjelpende tiltak enn isolering av strømførende ledninger og andre eksponerte metallkomponenter. Faren for korrosjonsproblemer og strømbrudd er overhengende hvis metaldeler innkapsles slik at luft og fuktighet over tid virker sammen. I samarbeid med EI-tjenester AS utviklet CEDREN (NINA og SINTEF) gjennom OPTIPOL en modifisering av den klassiske traversen som de fleste 22 kV kraftledninger med piggisolatorer har. Traversen er en ofte brukt sitteplass for hubro. Traversen ble forlenget til begge sider og forlengelsene ble gjort høyere enn resten av traversen, samtidig som denne ble utstyrt med et plastdeksel med skarpe pigger for å hindre fuglene i å sette seg. Dette viste seg å fungere og illustrerer hvor viktig den arts- og stedsspesifikke tilnærmingen i design av tiltak er.

Mange nettselskaper opplever hyppige driftsforstyrrelser på grunn av elektroklusjonsulykker med fugl. Årsstatistikken over hendelser, driftsforstyrrelser og feil i 1-22 kV-nettet for 2008 viser at fugler/dyr utgjør ca. 13 % av alle driftsforstyrrelser og 3 % av ikke levert energi. Midlere antall driftsforstyrrelser på grunn av fugler/dyr er trolig 8-10 ganger høyere på kysten enn i innlandsområder, men med store lokale variasjoner innenfor forsyningsområdene på kysten. Også fra nettselskapenes ståsted er det derfor viktig at det kan settes i verk tiltak som reduserer driftsforstyrrelser som skyldes fugl. Det er imidlertid viktig at alle tiltak som settes i verk for å redusere omfang av kollisjoner/elektroklusjon av fugl ikke kommer i konflikt med driftssikkerheten i strømforsyningssystemene. Foreliggende rapport peker på en del forhold det er spesielt viktig å ta hensyn til.

Ved å isolere traverser av metall unngås elektriske sjokk og jordfeilstømmer fra faseleder til jord når fugl setter seg i stolpen. Dette kan redusere antall kortvarige avbrudd i nett uten spolejordet nullpunkt. Ulempen er økt sannsynlighet for korrosjon og manglende utkobling hvis fasen ramler ned på traversen. Montering av fuglevern på gnisthornet kan også redusere antall kortvarige avbrudd i nettet som følge av jordfeilstømmer. Den modifiserte traversen med forhøyet sittepinne for hubro gjør at nettselskapet unngår eventuelle driftsforstyrrelser som følge av at fuglen forårsaker kortslutning eller jordslutning. I innlandsområder kan plastdeksler på fasene trolig anvendes uten noen korrosjonsrisiko, men i utsatte kyststrøk kan metoden føre til økt lokal korrosjon og fare for utmattingsbrudd i linene.

«Plasturo» og spiraler kan redusere antall driftsforstyrrelser i nettet pga. fasesammenslag etter kollisjon med bl.a. svaner, men spiralene kan gi økt vindfang, isproblemer i høyreliggende strøk og muligens økt slitasje i lineoppheng. Spiraler kan muligens dempe vibrasjoner og redusere faren for utmatting i opphengspunkt. Erfaring indikerer at metodene ikke bidrar vesentlig til slitasje eller korrosjon på selve linene.

Fjerning av over- eller underliggende jordline i kraftledninger med opptil 24 kV driftsspenning og flytting av jordline på undersiden av traversen, kan resultere i betydelig økning av skader hos abonnenter som følge av lynnedslag i nærområdet eller fra induserte overspenninger i nettet. Nøytralpunktjording, krav til minste utkoblingstid samt bruk av gjennomgående jordliner i luftnett, er de viktigste tiltakene som begrenser konsekvensene av utilsiktede jordfeilsituasjoner i høyspentnettet. Sannsynligheten for mastebrenner i 12-24 kV luftnettene synes å være høyest for 25-35 år gamle anlegg i kystnære områder uten gjennomgående jordline. Ved potensialut-

jevning av metalleder i mastetoppen og jordledere vil jordforbindelsene normalt føre lekkstrømmene slik at lokalt høye strømtettheter ikke oppstår i trevirket. Planoppheng kan trolig redusere kollisjonshyppighet hos fugl betydelig, men en flat linekonfigurasjon krever større faseavstand og dermed større grunnavståelse og mer ryddearbeid i skogsområder enn en ledning med trekantoppheng eller vertikaloppheng.

Jordkabel, hengekabel eller sjøkabel kan være mindre utsatt for avbrudd enn en luftledning i en del områder, men hvis en feil på ledningen først oppstår, er reparasjonstiden for kabelanlegg betydelig lenger enn for en luftledning. Veksling mellom kabel og luftledning kan være en meget dårlig og sårbar driftsmessig løsning av ledningsnett. Kabelmaster vil øke problemer mht. drift og vedlikehold og kan også føre til at fugler blir drept som følge av elektrokusjon. En stor andel av feilene som oppstår i kabelanlegg opptrer i kabelendemaster ved overgangen fra luft/kabel. Oppstyking med innskutte kabelseksjoner kan også oppfattes som «et uryddig visuelt bilde».

Kjetil Bevanger, NINA, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim, kjetil.bevanger@nina.no
Steinar Refsnæs, SINTEF, Postboks 4761 Sluppen, 7465 Trondheim, steinar.refsnas@sintef.no

Abstract

Bevanger, K. & Refsnæs, S. 2013. Possibilities and constraints in reducing bird collision and electrocution in the existing power-line grid in Norway. - NINA Report 763. 62 pp.

Mitigating measures to reduce bird mortality due to utility structures (collision and electrocution), has been an important research topic for several years because of the economic impact outages caused by these incidences may have, as well as the biological and species-specific consequences of this additional mortality among birds. This status report discusses possibilities and constraints to make improvements in Norway from an ecological/biological and technological/economical perspective.

Bird collisions with power lines and electrocution are strongly species-, site- and seasonal-specific accidents. It is important that future research becomes more site- and species-specific when approaching these problems and that the mitigating measures are based on facts: 1) what are the target species. i.e. which one are the most vulnerable; 2) what is the best design when it comes to marking devices to reduce the collision frequencies among the target species; 3) what are the success rate or likelihood to reduce (of reducing) the mortality of the target species when it comes to economic investment of power-line marking? Such knowledge will make it easier to argue for the importance of mitigating measures, be it environmentally or monetarily. Knowledge on population consequences of the additional mortality due to utility structures is more or less none existing, and will be a particularly important topic to address for future research.

Physical enlargement of the phase conductors or ground wires using some sort of marking devices has proved to reduce the collision frequencies for some species. Making wire marking as a routine when new power lines are constructed, could be an issue in areas with known collision hot spots, in areas with high bird densities (e.g. wetlands) and when crossing typical leading lines (e.g. rivers, narrow valleys and straits). It could also apply to power lines crossing local migrating routes between resource areas (e.g. nesting localities and feeding grounds), and in areas with high densities of diurnal species known to be vulnerable to collide (e.g. swans and cranes).

To increase the knowledge on where and when power-line marking should be implemented, more data on species- and site-specific collision risk as well as species-specific behavioural responses are needed relative to different marking cues. For some species, there will probably be no solutions at all («no cure species») except for earth cabling. A long dusk period and a short period with light during the day, like in northern Europe and Norway during the winter (close to six months), offer minor possibilities to reduce the mortality among e.g. gallinaceous birds, being birds particularly vulnerable to collide with artificial air obstacles.

The present report focuses on the possibilities to act in connection to the existing grid, thus discussions on optimal routing of a power line through the terrain and options that only can be considered during the construction of a new power line are omitted. There is, however, no doubt that the best mitigation and precocious steps to prevent birds from colliding with power lines are connected to an optimal routing.

Bird electrocution is mainly connected to utility structures within the grid systems below 66 kV, and the knowledge on what type of technical devices that are the most frequent electrocuting traps is substantial. However, the diversity with respect to technical design within the distribution grid, as well as limited national and international standards is a challenge when it comes to implement and transfer knowledge from one place to another. The predictability is nevertheless high with respect to what type of devices, structures and design makes an electrocuting trap for birds. Recommendations given 25 years ago is followed up neither by the energy authorities nor the grid owners, and a main reason to a high number of electrocution accidents among birds in Norway is because well-known technology and solutions is not implemented.

Cost-effective actions to reduce electrocution accidents among birds must be based on field data. This has been underscored also among scientists in both the US and several European countries. Unfortunately there are few Norwegian studies when it comes to concrete information on bird electrocution, thus it is an urgent need for research that can come up with systematic information on what species that are most frequently electrocuted in space and time, i.e. in different parts of the country – when – and in connection to what structures. The Norwegian knowledge is mainly anecdotal and based on accidental observations of dead, electrocuted birds. A recent study on the Smøla Island, off the coast of Central Norway, confirmed that only a tiny number of the power-line poles represented a high electrocution risk. Over 50 % of more than 200 electrocuted birds recorded in connection to approximately 740 poles predicted to pose an electrocution risk in the 22 kV grid, was connected to 2.8 % (21) of the poles.

Population impacts of bird mortality caused by electrocution in Norway is unknown, except for the eagle owl, for which electrocution accidents seems to keep the population low in some areas. The OPTIPOL project initiated studies to develop technical solutions to reduce the electrocution-induced eagle owl mortality. Due to the fact that the main eagle owl populations today is to be found in coastal areas with a high salinity in the air, and thus high marine corrosivity index, it was necessary to look for other solutions than traditional insulating measures of the conductors and other exposed metallic components. The possibilities for corrosion problems and outages are significant if metallic components are encapsulated allowing air and moist to act together over time. In co-operation with the company EI-tjenester AS, CEDREN (NINA and SINTEF) developed a modification of the classical crossarm with pin insulators used in the majority of the 22 kV grid. The crossarm is frequently used as a perching place for the eagle owl. The crossarm was prolonged on both sides and the prolonged parts were made higher than the rest of the crossarm, and the ordinary part was equipped with plastic cover with sharp spikes to deter the birds from using it. The construction proved to work, illustrating the importance of being species- and site-specific in the design approach when it comes to mitigating measures.

Several Norwegian grid companies are logging anomalies in their grid systems rather frequently due to bird electrocution. The annual statistic recordings for incidences, interruptions in energy delivery and errors in the 1-22 kV grid for 2008, confirm that birds (together with a few incidences where squirrel and marten have been involved) are responsible for 13 % of all anomalies and 3 % of “not delivered energy”. Average number of anomalies due to birds seems to be 8-10 times higher along the coastline compared to inland areas, however, with significant local variations within the coastal distribution grid areas. Consequently, it is important, also from the grid owner’s point of view, to take actions to reduce the disruptions in stable electricity delivery caused by birds. It is, however, important that the actions taken do not violate the security of supply in the grid systems. The present report points at some particularly important issues that should be kept in mind.

Insulated metallic crossarms protects against bird electrocution as well as reduces short outages in grids lacking a Peterson coil earthed system. The negative side is increased corrosion possibilities and lack of disengagement if the phase conductor falls down on the crossarm. Installing a bird protection system on the arching horn may also reduce the number of short outages due to earth-fault currents.

Due to the modified “eagle owl crossarm” the grid owner avoids possible interruptions in the energy supply due to the short-circuit or earth circuit made by the bird. In inland areas a plastic cover on the phase conductors may be deployed without risking damage due to corrosion, however in exposed coastal areas this can imply increased local corrosion and risk of wire fatigue fracture.

Bird flight diverters and other types of spirals commonly used to make the wires more visible to birds may reduce the number of interruptions in the energy supply in the grid due to heavy birds, like swans, colliding with the phase conductors and dragging them together. However, these devices may also create a greater windage or windsail, icing problems in highland areas and

possibly increased wear and tear in the wire suspension area. Spirals may, however, reduce vibrations and thus the risk of fatigue in the suspension point. So far there are no indications of these devices contributing to wear and tear or corrosion of the wire itself.

Removal of earth wires, either being located above or below the conductors on power lines up to 24 kV, and locating the earth wire on the underside of the crossarm, may result in a significant higher number of damages to the customers due to lightening in the vicinities or induced over-tensions in the grid. Use of Peterson coil earthed systems, requirement for a minimum time of disengagement and use of continuous earth wires in the aerial grid are the most important actions taken to minimize the consequences of unintended earth-fault situations in the high-tension grid. The likelihood of pole fires in the 12-24 kV grids seems to be at its maximum in coastal areas with 25-35 year old systems lacking a continuous earth wire. With bonding of the metallic parts in the power-line pole top and earth conductors, the earth connection usually drains the residual current in such a way that high current densities in the wooden parts is avoided.

Straight-across mounting can probably reduce the bird collision frequencies significantly; however, a flat line configuration depends on larger distances between the phase conductors and consequently a larger land area cession and more bush clearing in forest areas than a power line with triangular or vertical mounting. Earth, aerial insulated or submarine cables may have a lower cutoff frequency than an aerial power line in some areas, however, if a fault occurs the repair time is significantly longer for a cable system compared to aerial systems. A grid system including sections switching between cable and aerial wires can be a bad and vulnerable choice. Cable poles will increase problems connected to operational stability and maintenance and may increase the bird electrocution frequency. A majority of faults connected to cable systems occur in the cable-end pylons at the transition from an air to a cable system. Splitting with inserted cable sections may also be perceived as an «untidy» visual picture from an aesthetic point of view.

Kjetil Bevanger, NINA, P.O. Box 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim, Norway, kjetil.bevanger@nina.no

Steinar Refsnæs, SINTEF, Postboks 4761 Sluppen, 7465 Trondheim, steinar.refsnas@sintef.no

Innhold

Sammendrag	5
Abstract	8
Innhold	11
Forord	12
1 Innledning	13
1.1 Det norske kraftledningsnett.....	13
2 Fuglekollisjoner	15
2.1 Kollisjonsreducerende tiltak.....	16
2.1.1 Fysisk forstørrelse.....	19
2.1.1.1 Tekniske utfordringer ved merking av faseledere og jordliner	20
2.1.2 Silhuetter og predatoretterligninger	22
2.1.3 Bruk av lys	22
2.1.4 Akustiske skremmemetoder	22
3 Elektrokusjon av fugl	23
3.1 Fuglearter hyppig involvert i elektrokusjonsulykker	26
3.2 Erfaringer fra Norge	27
3.3 Driftsforstyrrelser på grunn av fugler og dyr.....	31
3.4 Hubro som modellart for tiltak mot elektrokusjonsulykker.....	34
3.4.1 Isolering av travers.....	34
3.4.2 Tildekking av isolator og faseleder i stolpemontert transformator.....	38
3.4.3 Fuglevern på gnisthorn	39
4 Fjerning av jordline, justering av linekonfigurasjon og kabling	40
4.1 Fjerning av jordline	40
4.1.1 Elektriske krav.....	40
4.1.2 Elektriske påkjenninger i stolpearrangement	41
4.2 Justering av linekonfigurasjon	43
4.3 Kabling	43
4.3.1 Innledning	43
4.3.1.1 Dagens praksis for bruk av luftnett/kabel i Norge.....	43
4.3.1.2 Kabelmarkedet.....	44
4.3.2 Kabeltyper og kabelanlegg	45
4.3.2.1 Feiltyper på kabelanlegg.....	46
4.3.2.2 Feilstatistikk for kabel og luftledning.....	47
4.3.2.3 Reparasjonstid	50
4.3.3 Kostnader.....	50
4.3.3.1 Investeringskostnader.....	50
4.3.3.2 Investeringskostnader for kabelanlegg.....	51
4.3.3.3 Investeringskostnader for luftledninger.....	52
4.3.3.4 Sammenlikning av kabelanlegg og luftledninger	52
4.3.3.5 Vedlikeholdskostnader.....	53
4.3.3.6 Overføringskapasitet.....	53
5 Referanser	54

Forord

Norges Forskningsråd har gjennom RENERGI-programmet finansiert forskning på miljøkonsekvenser av kraftledninger. Prosjektet «*Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives*» (OPTIPOL) har gått over 5 år (2009-2013) som del av aktivitetene i forskningssenteret CEDREN (*Centre for environmental design of renewable energy* (cf. <http://www.cedren.no>)). Den overordnede målsettingen for prosjektet er å utvikle verktøy som kan bidra til å optimalisere trasévalg for kraftledninger slik at konflikter i forhold til mennesker og dyr blir minst mulig. Et av de tema energiforvaltningen (NVE), som er medlem av brukergruppen i OPTIPOL, uttrykte ønske om å øke kunnskapen omkring da prosjektet startet, var effekten av merking/modifisering av kraftledninger for å redusere kollisjonsfare for fugl, samt elektrokusjon. Ved endelig utforming av OPTIPOL ble det derfor avsatt en egen modul for å vurdere biologiske og tekniske implikasjoner av merkingstiltak for å redusere kollisjonsfare og modifiseringer for å redusere elektrokusjonsfare. Foreliggende rapport er en oppsummering av eksisterende kunnskap.

Desember 2013, Kjetil Bevanger, Steinar Refsnæs

1 Innledning

Avbøtende tiltak for å redusere dødelighet hos fugl i tilknytning til kraftledninger (kollisjon og elektrokusjon) har vært et sentralt tema i mange år i mange land både på grunn av de økonomiske konsekvenser strømutfall har, og de biologiske og artsspesifikke konsekvenser ekstra dødelighet kan ha. Det har vært fremsatt mange forslag for å redusere disse problemene, men det er vanskelig å finne generelle løsninger på problemer som er så arts-, årstids- og stedsavhengige, samt lokalt designrelaterte i forhold til utforming av elektriske strukturer. Å modifisere elektriske strukturer, det være seg på distribusjons- eller sentralnett, medfører en økonomisk utgift for netteier ved siden av at eventuelle endringer ikke må ha negativ innvirkning på forsynings-sikkerheten. Merking av luftliner med spiraler og andre «fugleavvisere» kan i Norge for eksempel gi økt vindfang og isproblemer samt økt slitasje i lineoppheg.

Hovedmålsettingen med dette delprosjektet i OPTIPOL (Bevanger m.fl. 2009, 2010, 2011, 2012) er å vurdere kostnadseffektive tiltak i tilknytning til nettet som kan bidra til å redusere omfang av kollisjoner med kraftledninger og elektrokusjonsulykker hos fugl. Det er gjort en litteraturgjennomgang i forhold til hvilke tiltak som er utviklet og utprøvd i ulike deler av verden, samt en evaluering av effekt, og i hvilken utstrekning de kan være aktuelle å benytte under norske forhold. På bakgrunn av henvendelse fra NVE ble det i 2012 utarbeidet tekst til en brosjyre med oversikt over tiltak som kan iverksettes fra netteiers side i tilknytning til eventuelle oppgraderinger av nettet eller nybygging (Bevanger & Refsnæs 2012). Foreliggende rapport representerer en mer omfattende gjennomgang av problematikken og fokuserer i første rekke på eksisterende ledningsnett. Rapporten omhandler kjente tiltak for å hindre at fugl kolliderer med kraftledninger eller utsettes for elektrokusjonsfare, og gir så langt som mulig en artsspesifikk evaluering av tiltakenes effekt. I tillegg diskuteres mulige driftskonsekvenser og kostnader for netteier ved valg av modifiseringer og avbøtende tiltak.

1.1 Det norske kraftledningsnett

Kraftledningsnett består av luftledninger, jord- og sjøkabler, og det er vanlig å dele hele forsynings-systemet inn i distribusjonsnett, regionalnett og sentralnett. Transport av elektrisitet trenger ulike støttestrukturer avhengig av spenning. Jo høyere spenning, jo høyere må mastene være og jo bredere vil sikkerhetssonen til sidene for kraftledningen være. Arealene som båndlegges gjennom eksempelvis byggeforbudssone på grunn av kraftledninger er forholdsvis stort også i Norge, og på landsbasis dreier det seg om mellom 1500 og 2000 km² (Bevanger 2011).

Sentralnettet er «hovedpulsåren» i energidistribusjonen, og består av overføringsledninger opp til 420 kV, men ledninger ned til spenningsnivå på 132 kV hører også inn under denne nettkategorien. Sentralnettet er hovedansvaret til Statnett, med ca. 11 000 km luftledninger (SSB 2008), og utgjør slik sett bare en liten del av kraftledningsnett. Regionalnettet har funksjon for større områder, eksempelvis deler av ett eller flere fylker. De regionale nettene representerer bindeledd mellom sentralnett og distribusjonsnett. Kraftintensiv industri, og de fleste produksjonsselskaper, er knyttet både til regionalnettene og sentralnettet. Ved overgang fra sentralnett til regionalnett transformeres spenningen vanligvis ned til 132 eller 66 kV, men regionalnettet kan omfatte ledninger med spenningskategorier fra 33 til 145 kV. Statnett er også inne på eiersiden i regionalnettet, men hoveddelen eies av offentlig/kommunalt eide nettselskap, og er å regne som «fylkesveiene» innen kraftforsyningen. Regionalnettens oppgave er å føre energien fra sentralnettet til distribusjonsnettene. I alt utgjør regionalnettene vel 17 200 km med luftledninger (SSB 2008).

Distribusjonsnettene, eller fordelingsnettene, utgjør den klart største delen av det norske kraftforsyningsnett med i alt over 165 800 km luftledninger (SSB 2008), dvs. ca. 85 % av hele det norske luftledningsnett. Det er verdt å merke seg at det i tillegg er over 130 000 km med jordkabel innen dette nettet, en andel som stadig vokser. Det er dette nettet som sørger for at kraften

kommer frem til den enkelte forbruker. Dette nettet omfatter spenningsstyrker fra 0,2 til 24 kV, dvs. at det også omfatter høyspentnettets laveste kategori i tillegg til lavspentforsyningen (230-400 V). Fra regionalnettene transformeres spenningen med andre ord ned til et nivå som er egnet for det daglige «konsum» for den enkelte forbruker. En rekke transformatorer er spredt rundt i distribusjonsnettet og transformerer spenningen fra det laveste høyspentnivået (vanligvis 22 kV) til 230 eller 400 V.

For å bygge og drive et distribusjonsnett, kreves som regel en områdekonsesjon i henhold til energiloven. Norge er delt inn i geografiske områder, der et nettselskap har fått tillatelse til å bygge og drive et elektrisk fordelingsnett med spenning opp til og med 22 kV. Eksempelvis kan et slikt geografisk område være en kommune. I noen byer er områdekonsesjonen utvidet til å omfatte kabelanlegg med spenning opp til 132 kV, dvs. at endringer i drift og omfang kan gjøres uten at den enkelte sak behøves lagt fram for NVE. Det er da en forutsetning at nettselskapet selv legger fram tiltaket for de berørte interessenter, slik som grunneiere, kommuner og fylkesmenn. Ved vesentlige innvendinger mot tiltaket skal imidlertid saken fremlegges for NVE. For å bygge og drive et regionalnett, kreves det som regel en anleggskonsesjon i henhold til energiloven, slik som for bygging av sentralnett.

Kraftledningsnettet ekspanderer i alle land, og i enkelte områder er tettheten av luftledninger pr. arealenheter svært høy. Globalt utgjør høyspentnettets (fra midlere spenninger og oppover) i dag (2008) ca. 65 millioner km luftledninger, og den årlige veksten er beregnet til å være ca.5%. I Norge var antall km kraftledninger (luftspenn) ved utgangen av 2008 ifølge SSB (2008) 193 656 km. Sannsynligvis kommer dette tallet til å synke noe i årene som kommer på grunn av økt bruk av jordkabel, til tross for betydelig vekst i sentralnettet.

I Ot. prp. nr. 62 (2008–2009) *Om lov om endringer i energiloven* (behandlet av Stortinget våren 2009) er dette temaet viet betydelig oppmerksomhet, og det understrekes at «- i tillegg til alternative trasévalg, er kamuflasjetiltak, tiltak av hensyn til fugl, og kabling sentrale tema innen avbøtende tiltak. [...] Bruk av kabel som alternativ til luftledning skal alltid vurderes når nye kraftledninger på alle spenningsnivåer skal bygges. Særlig kan jordkabel være et godt tiltak i distribusjonsnettet. For 22 kV er nedgraving av kabel et langt mindre naturinngrep enn på høyere spenningsnivå. Slike kraftledninger går tett på der folk bor og ekstrakostnadene sammenliknet med luftledning er moderate. Mens kabling av 60 kilometer kraftledning med 22 kV spenning vil kunne gjøre over 600 master overflødig, vil en tilsvarende sum brukt til å kable sentralnett med 420 kV spenning kun rekke til en kilometer og gjøre to til tre master overflødige. [...] Områdekonsesjonærer vil i egen veiledning fra NVE med kopi til kommunene bli oppfordret til som hovedregel å benytte jordkabel på overføringsforbindelser inntil 22kV der naturgitte forhold tilsier at dette gir moderate naturinngrep og ekstrakostnader. Dette vil bli lagt inn som vilkår i nye og fornyede områdekonsesjoner. Kommunene oppfordres til å gå i dialog med nettselskapene om hvor kabling bør prioriteres innenfor områdekonsesjonene. [...] Kabling skal også alltid vurderes når nye kraftledninger i regional- og sentralnettet skal bygges, men bruken skal være gradvis mer restriktiv med økende spenningsnivå. Jord- eller sjøkabel er mest aktuelt på begrensede strekninger med betydelige verneinteresser eller store estetiske ulemper på 66kV og 132kV, men kan også være aktuelt på strekninger der det gir særlige miljøgevinster på 300kV og 420kV».

Dette innebærer at aktiv bruk av jordkabling i distribusjonsnettet kan redusere negative konsekvenser i forhold til fugl selv ved restriktiv bruk av kabling i regional- og sentralnett. Som målestokk på tiltakene dette vil kreve i distribusjonsnettet, kan en sette Statnetts (2011) forventede ombygginger og nybygginger i sentralnettet for 10-årsperioden 2011–2021 på i størrelsesorden 3 500 km, med kostnader i størrelsesorden 40-50 milliarder kroner.

2 Fuglekollisjoner

I løpet av de siste 150 år er det laget mange konstruksjoner som utilsiktet dreper fugl. De første publiserte rapportene om dette er knyttet til fugler som kolliderte med telegrafledninger (Coues 1876, Cohen 1896, Borell 1939), kraftledninger (Emerson 1904) eller opplyste bygninger (Kumlien 1888). Størst oppmerksomhet har telefon- og kraftledninger, kabler for skiheiser og taubaner, tråd- og nettinggjerder fått. Dette er strukturer som er svært utbredt der mennesker oppholder seg slik at kollisjonsulykker blir lagt merke til (Bevanger 1994a). Det er dokumentert til dels omfattende dødelighet, og så å si alle flygende arter kan rammes, også de som er rødlistet (Kålås m.fl. 2010, Bevanger & Refsnæs 2013). Omfanget av dødelighet hos fugl på grunn av kunstige lufthindringer (inklusive kollisjoner mot vindu) er omdiskutert, men flere forfattere mener det på verdensbasis kan dreie seg om bortimot 1 milliard årlig (Erickson m.fl. 2005, Hunting 2002, Drewitt & Langston 2008, Klem 2009, Manville 2009, Longcore m.fl. 2012, 2013). Trolig er dette noe overestimert ettersom mange undersøkelser er utført i tilknytning til kraftledninger som på forhånd har vært kjent for å ta livet av mange fugler (Barrientos m.fl. 2012). Selv om dette i og for seg er et velkjent fenomen, har det ikke vært tillagt spesiell betydning ettersom det har vært fravær av data som indikerer bestandsmessige konsekvenser (APLIC 1994, 2012).

De siste 30-40 årene er det publisert mange bibliografier om dødelighet hos fugl forårsaket av menneskeskapt lufthindringer (Avery 1979, Avery m.fl. 1980, Bevanger 1994a, Hebert & Reese 1995, Trapp 1998, Erickson m.fl. 2005, Wallace m.fl. 2005, Hunting m.fl. online). I Norge har problemet spesielt vært undersøkt i forhold til stasjonære arter som hønsefugl (Bevanger 1990, 1995 a, b, 2011, Bevanger & Brøseth 2001, 2004). I Mellom-Europa har det vist seg at orrfugl og fjellrype kolliderer med skiheiskabler (Miquet 1990, Watson & Moss 2004). Et av delprosjektene i OPTIPOL har som målsetting å besvare hvorvidt dødelighet hos storfugl og orrfugl som skyldes kollisjoner mot en 300 kV kraftledning påvirker bestandsutviklingen i området den går igjennom (Bevanger m.fl. 2011, 2012, Brøseth & Bevanger i trykk).

Hvilke fuglearter som er mest utsatt for å kollidere med kraftledninger, og hvorfor, er etter hvert godt kartlagt (Bevanger 1994a, b, 1998, 2011, Janss 2000, Rubolini m.fl. 2005, Drewitt & Langston 2008, Jenkins m.fl. 2010). En svært viktig konklusjon er at dødelighet hos fugl som skyldes elektrokusjon og kollisjon mot luftledninger er svært arts-, steds- og årstidsspesifikk. Dette innebærer bl.a. at det ikke er logisk å stille spørsmål av typen «hvordan løse problemet med at fugler kolliderer med kraftledninger»? En riktig spørsmålsstilling må for det første inkludere hvilken art tiltaket ønskes rettet mot, og deretter må tiltaket vurderes og designes ut fra artens livshistorie-strategier og fysiske og fysiologiske særtrekk, inklusive aerodynamiske ferdigheter og syn.

Det er betydelige forskjeller mellom verdens ca. 9500 fugleartene når det gjelder aerodynamiske ferdigheter. Enkelte er bedre flyvere enn andre; rovfugler er gjennomgående langt bedre til å manøvrere enn hønsefugler, som har korte vinger og tung kropp. Vingeladning, dvs. forholdet mellom kroppsvekt og vingereale, og aspekt, dvs. forholdet mellom vingespenn og kvadratet av vingereale, er avgjørende for fuglenes flyveferdigheter. Artens aerodynamiske ferdigheter er avgjørende for evnen til raskt å kunne styre unna kunstige lufthindringer (Rayner 1988, Bevanger 1994a, 1998).

Noen fuglearter ser svært godt mens andre har forholdsvis dårlig syn (Bevanger 1994a, Bevanger & Refsnæs 2013). Kunnskap om fugleøyet – både de optiske egenskaper hos selve øyet, netthinnens morfologi, øyets og det visuelle systemets anatomi, samt den funksjonelle organiseringen av fuglehjernen, er inngående studert (Martin & Osorio 2008). På samme måte som mennesker er fugler primært dagaktive, og deres opplevelse av verden er i stor utstrekning «visuell», og intuitivt langt mer «tilgjengelig» for oss enn den verden de fleste pattedyr opplever – som i stor utstrekning er nattaktive. Det må imidlertid understrekes at fugleøyet er konstruert på en rekke måter, og avspeiler høyst ulike økologiske tilpasninger, dvs. levemåter og leveområder, en finner hos denne dyregruppen. Ikke minst gjelder det fuglers ekstraordinære utviklede fargesyn, øyets plassering – fra lateralt (eksempelvis bekkasin) til frontalt (eksempelvis ugler) – hvorvidt det er to eller flere synsgroper (foveaer), mulighet for uavhengige bevegelser av det

enkelte øyet, samt evne til å se både i luft og vann (Sillman 1973, Martin 1985, Schmidt-Morand 1992, Bevanger & Refsnæs 2013).

Det er imidlertid mange faktorer i tillegg til biologiske og økologiske som bidrar til at fugler flyr mot luftledninger. Plassering i terrenget, blant annet i forhold til topografiske strukturer, er viktig i og med at fugler ofte følger bestemte terrengformasjoner når de forflytter seg (Thompson 1978, Bevanger 1990, APLIC 1994, 2012). En kraftledning som krysser en elv eller et dalsøkk på tvers, kan f.eks. være langt mer kollisjonsutsatt enn en ledning som er strukket på langs i og med at fuglenes flukttraseer og ledelinjer nettopp kan være forsenkninger i terrenget (Geyr von Schwepenburg 1929, 1933, 1963, Dobben & Makkink 1933, Dobben 1955, Malmberg 1955, Mueller & Berger 1967, Alerstam 1977). Det er vanskelig å vurdere hvordan landformer påvirker fuglenes valg av flyverute, noe både makro- og mikroformer kan gjøre. Kunnskap om ledelinjer kan være viktig for å forklare hvorfor det enkelte steder langs en kraftledning er overhyppighet av fuglekollisjoner. Lokale ledelinjer kan være større og mindre forsenkninger og daler eller treløse områder som myrdrag, som tillater fugler å fly lavere enn de ellers ville gjort (Bevanger m.fl. 1998). Værforhold vil også bidra til å regulere kollisjonsutsatthet; tåke, snøvær og mørke (slik som i Nord-Norge om vinteren) vil øke sjansen for å fly inn i kunstige lufthindringer (Bevanger 1995a, Bevanger m.fl. 1998).

Tekniske faktorer og kraftledningsnettets design kan påvirke kollisjonshyppighet; tykke faseledere og jordliner er f.eks. mer synlige enn tynne. Linekonfigurasjon er også viktig og jo flere «etasjer» med liner desto større er sjansen for at en fugl skal kollidere (Bevanger & Brøseth 2001). Felles traseføringer av flere kraftledninger kan i enkelte tilfeller bidra til at linestrekene blir mer synlige og slik sett redusere kollisjonsfaren (Rennsen m.fl. 1975, Thompson 1978).

Ettersom foreliggende rapport fokuserer på eksisterende nett vil tiltak som går på hvor ledningen bør plasseres i terrenget og andre forhold som bare kan fokuseres ved nybygging, ikke diskuteres. Det er imidlertid liten tvil om at de beste forebyggende tiltak mot fuglekollisjoner oppnås gjennom et godt trasevalg.

Den eneste sikre måten å hindre fuglekollisjoner er jordkabling, noe sentrale forvaltningsmyndigheter har oppfordret til (Ot. prp. nr. 62 (2008–2009)). Imidlertid øker de totale kostnadene knyttet til kabelanlegg dramatisk ved spenninger over 132 kV og ved krav til stor overføringskapasitet. Den totale lengde luftledninger over 24 kV utgjør en svært liten del (<15 %) av det norske luftledningsnettet. Tyngden av problemer knyttet til fuglekollisjoner (og elektrokusjon) mot luftlinjer er følgelig å finne i tilknytning til forsyningsnettene (Bevanger 2011). På denne delen av nettet er kostnadsforskjeller mellom jordkabel og luftledning relativt sett små. Kabling på lavere spenningsnivå bør særlig benyttes på steder det er dokumentert omfattende kollisjons- og/eller elektrokusjonsulykker. Dette gjelder særlig ledningstraséer som planlegges nært inntil ornitologiske nøkkelområder, for eksempel våtmarker, spillplasser og hekkeplasser for rovfugl og ugler. Ved kryssing av typiske trekkleder som for eksempel elver og dalfører bør også kabling benyttes (Bevanger 1995c, 2011).

2.1 Kollisjonsreduserende tiltak

Faren for at fugler skal kollidere med kraftledninger kan reduseres ved å benytte kunnskap om hvilke landskapselementer som er viktige for fugler, og hvordan topografiske, meteorologiske og geografiske betingelser bidrar til å styre fuglers atferd (Bevanger 1994a). Slik kunnskap mangler ofte, og store deler av kraftledningsnettet er bygget før problemet med fuglekollisjoner ble fokusert. Både biologer og ingeniører har i over 40 år forsøkt å finne tiltak som kan redusere omfanget av fuglekollisjoner mot kraftledninger. Fokus har vanligvis vært rettet mot å gjøre luftlinene så synlige som mulig; i første rekke gjennom ulike former for merkemeter. Et stort utvalg «skremsler» som kan festes til faseledere og/eller jordliner, produseres nå mange steder i verden (Bevanger 2011, Bevanger & Refsnæs 2012).

Når en kraftledning merkes er det i utgangspunktet antatt at det er begrensninger ved fugleøyet som er årsaken til at de flyr mot linene. I noen tilfeller er dette utvilsomt riktig, i andre tilfeller er det trolig helt andre forklaringer. Utvikling og valg av merker har dessuten blitt gjort ut fra en menneskelig «synsvinkel», og forutsatt at fugler ser det samme som oss. Dette er imidlertid ikke uten videre riktig da synsopplevelsen hos mennesker og fugler langt fra behøver å være den samme (Martin 2011, Bevanger & Refsnæs 2013).

Det første merkingeksperimentet av kraftledninger synes å ha vært i England (Teesmouth) i 1964 (Scott m.fl. 1972). Her ble 15 cm lange, sorte plaststrimler festet til linene, og resultatet var en tilsynelatende nedgang i kollisjonsfrekvens. Senere merkingsforsøk, hvor det ble brukt forskjellige varianter av disse strimlene, ribber, ballonger etc., klarte imidlertid ikke å gi statistisk støtte for positiv effekt. I Norge ble det på slutten av 1970-tallet gjort forsøk med merking av kraftledningsspenn på Nord-Vestlandet på grunn av kollisjonsdødelighet hos sangsvaner. Et farget (fosforiserende) plastikkovertrekk ble montert på linene på det kollisjonsutsatte spennet, og faselederne på et annet ledningsavsnitt ble malt signalrøde. Disse tiltakene førte til en tilsynelatende nedgang i kollisjonshyppighet (Folkestad 1978, 1980). Konklusjonen ble imidlertid trukket på bakgrunn av en subjektiv vurdering, og var ikke basert på empiri.

Å måle effekten av ulike merkemethoder er svært komplisert og ressurskrevende, og generelt er det publisert få undersøkelser som har gitt mulighet for objektiv sammenligning av kollisjonsrater hos fugl (Jenkins m.fl. 2010, Barrientos m.fl. 2011). Ved de fleste forsøk er det benyttet metoder der faktorer som flyveintensitet (eksempelvis antall kryssinger av fugl pr. tidsenhet), habitat-type/topografi, årstid, artsspesifikke egenskaper som syn, flyveferdigheter og bestandsfluktasjoner, samt værforhold, ikke er tatt i betraktning. I forhold til søk etter døde fugler er det i tillegg en rekke faktorer som kan gi feilestimer (søksintensitet, habitatets beskaffenhet, antall fugler som skades, men ikke blir funnet, type og tetthet av åtselere m.m.) (Bevanger 1999). Muligheter til å foreta pålitelige sammenligninger av kollisjonsrater før og etter merking er følgelig svært komplisert.

Noen undersøkelser har imidlertid vært godt designet og vist at merking kan ha effekt. I Colorado, USA ble kollisjonshyppighet mot merkede/umerkede avsnitt av en kraftledning sammenlignet, og viste en signifikant reduksjon (>50 %) i kollisjonsomfang hos traner og ender langs de merkede avsnittene (Brown & Drewien 1995). Merkingen var i dette tilfellet utført med gule, vibrerende spiraler eller gule, svingende fiberglassplater. Morkill & Anderson (1991, 1993) registrerte også signifikant nedgang i kollisjonshyppighet hos "sandhill crane" i Nebraska langs merkede/umerkede ledningsavsnitt. Merkingen var utført med gule kuler. Ved en studie i Sør-Afrika der "static bird flight diverter", og "mobile bird flapper" ble benyttet (Jenkins m.fl. 2011, Shaw 2013) er meget lange strekninger merket og kontrollert både før og etter merking i mange år. Prosjektet, som fremdeles pågår, har gitt klare indikasjoner på nedgang i kollisjonshyppighet hos enkelte arter. En omfattende studie i Spania (Barrientos m.fl. 2012) viste imidlertid ingen effekt av ulike merkingstyper i forhold til kollisjonsomfang når dataene for alle fuglearter ble analysert samlet. Imidlertid var dødeligheten hos stortrappe noe mindre der luftlinene var merket med store spiraler.

Det er også en rekke andre merkingsforsøk som til dels er internasjonalt publisert (Alonso m.fl. 1994, Savereno m.fl. 1996, Janss & Ferrer 1998, Crowder 2000, Anderson 2002, Roselli & de la Zerda 1997, de la Zerda & Roselli 2003, Frost 2008, Yee 2008). En revyartikkel publisert av Jenkins m.fl. (2010) gir en god oversikt over temaet.

Det er hevdet at linemerking ikke bare øker synligheten av linene, men også hjelper fugl til bedre å kunne bedømme avstanden til dem slik at de i tide kan foreta unnvikende manøvre (Koops 1986). Andre mener at merking av typen ballong/kuler/spiraler («spacer type») resulterer i at fugler ser dem, korrigerer kursen for å passere mellom dem, men slik at de like fullt kolliderer. Koops (1986) mener kollisjonsfrekvensen går ned når avstanden mellom utplasserte merker langs en line er kort, for eksempel 5 m (hvilket bl.a. kan oppnås med alternerende merking av parallelle liner). Koops (1986) støttet sin argumentasjon på at de fleste fuglearter har øynene

festet på siden av hodet slik at det synsfeltet som fremtrer stereoskopisk, og følgelig tillater avstandsbedømmelse er relativt smalt. Dette samsvarer imidlertid dårlig med den vanlige oppfatning blant dagens forskere (Martin 1985, 1990, 2007, 2009, 2010, Schmidt-Morand 1992). Den optiske struktur hos fugleøyet, dets plassering og bevegelsesmuligheter i øyehulen, gjør at majoriteten av fuglearter har visuell dekning av det meste av verden rundt seg. Om ikke nødvendigvis på en stereoskopisk måte, så gir dette fuglene mulighet til å oppfatte en romlig virkelighet og til å bedømme relative avstander og vurdere strukturer og topografiske forhold av betydning. Økt kunnskap om ulike fuglearters syn vil utvilsomt bli svært nyttig i arbeidet med å utvikle nye «fugleavvisere» og «fugleskremser» som kan brukes til å synliggjøre luftlinjer og andre kunstige lufthindre.

«Reaksjonsstudier», dvs. observasjoner av hvordan fugler i flukt reagerer når de blir oppmerksomme på en luftline foran seg, har vært utført i tilknytning til flere studier (Meyer 1978, James & Haak 1979, Willdan Associates 1982, Fredrickson 1983, Brown m.fl. 1987, Faanes 1987, Bevanger 1994c). Slike data kan være nyttige for å lære mer om hvilke artsspesifikke, sensoriske effekter ulike merketoder har.

I lys av dette er det naturlig nok delte meninger om når og hvor kraftledninger bør merkes. Noen mener kraftledninger rutinemessig bør merkes ved oppføring, mens andre mener det bare er formålstjenlig i områder identifisert som spesielt kollisjonsutsatt. For å kunne forsvare merking ved oppføring vil det være naturlig at det på forhånd er dokumentert at ledningen vil krysse et område med mye fugl, og som innehar spesielle ressurser for bestemte fuglearter, enten i form av hekkeplasser, næringsområder, overnattingsplasser osv. Det er også naturlig å spørre hva en kan forvente å få tilbake for den ekstra investeringen som gjøres. Er hensikten å redusere dødeligheten hos en spesiell rødlistet art, eventuelt andre arter kjent for å kollidere med kraftledninger, eller er hensikten å redusere fugledødelighet generelt?

Uten at forskningen blir mer steds- og artsspesifikk i tilnærmingen til problematikken, kan merking av kraftledninger mer bli et «avlat» - for å tilfredsstillende bestemte politiske og PR-messige behov knyttet til visse forvaltningsorganer og miljøorganisasjoner, enn et reelt miljøtiltak. Kunnskap om effekter av merking må følgelig baseres på fakta: 1) hva er målarten(e), 2) hva er beste design av merking i forhold til å redusere kollisjonsrisiko hos målarten(e), 3) hva er suksessraten eller sannsynligheten for å redusere dødelighet basert på den økonomiske investering knyttet til merkingen. Ved å foreta faktabaserte vurderinger er det også enklere å argumentere for nytteverdien investeringen vil gi, det være seg miljømessig eller monetært.

I noen områder vil investering i merking av kraftledninger trolig ha begrenset nytteverdi, eksempelvis der fuglearter uten spesielt skarpt syn og med høy vingeladning dominerer. Kombinert med lang skumringsperiode og svært kort daglengde, slik som i Nord-Europa og Norge i vinterhalvåret, er det små sjanser for at merking vil redusere dødeligheten hos eksempelvis skogsfugl og rype. For å kunne ta problematikken omkring effekten av merking av kraftledninger et skritt videre, dvs. når og hvor det bør merkes, er det nødvendig med mer data omkring arts- og steds-spesifikk kollisjonsrisiko og artsspesifikke atferdsresponsen i forhold til ulike merkingstyper. Uansett må en være forberedt på at det for enkelte arter ikke finnes noen god løsning («no cure species») for å redusere kollisjonsfaren bortsett fra jordkabling.

Det er vanskelig for den sentrale energiforvaltningen å påby netteier å iverksette nye tiltak etter at konsesjon er gitt. Det er derfor primært ved nybygging og opprusting av eldre ledninger at ny kunnskap om effektive tiltak og mer miljøvennlige løsninger kan tas i bruk hvis ikke netteier på eget initiativ tar grep. En overordnet målsetting ved nybygging og restaurering må selvsagt være å legge så mye som mulig av ledningsmassen under 24 kV i bakken. Den økonomiske siden ved slik omlegging vil trolig være uproblematisk, ikke minst fordi eventuelle merkostnader og nyinvesteringer vil skje over et relativt langt tidsrom.

I tillegg til metoder som fokuserer økt synlighet av luftledninger, er det utviklet og benyttet andre tiltak for å holde fugler unna et nærmere definert område, slik som predator- og silhuettetetterligninger, bruk av lys, samt akustiske skremsler. I det følgende vil disse metodene kort gjennomgås.

2.1.1 Fysisk forstørrelse

Merkeutstyr med forskjellig utseende og farge (ballonger, kuler, spiraler, plastikkstrimler osv.) kan festes på faseledere og/eller jordliner (se for eksempel Renssen m.fl. 1975, Koops 1985, 1986). Fugleavvisere ("Plastic Bird Flight Diverters") (**Figur 1**) er mest brukt. Disse produseres i forskjellige farger og fasonger. Spiraler monteres på fase- og jordliner, også som AUS (arbeid under spenning) på fasen ved hjelp av isolerstang. Avstanden mellom merkene må ikke bli for stor slik at fuglene oppfatter mellomrommene som potensielle kryssingspunkter. Dette må vurderes i forhold til hvilke arter som er «målarter». Spiraler kan også bidra til å redusere antall driftsforstyrrelser i nettet pga. fasesammenslag etter kollisjon med bl.a. svaner, men økt vindfang og mulige isproblemer kan gi økt slitasje i lineoppheng (Bevanger & Refsnæs 2012).



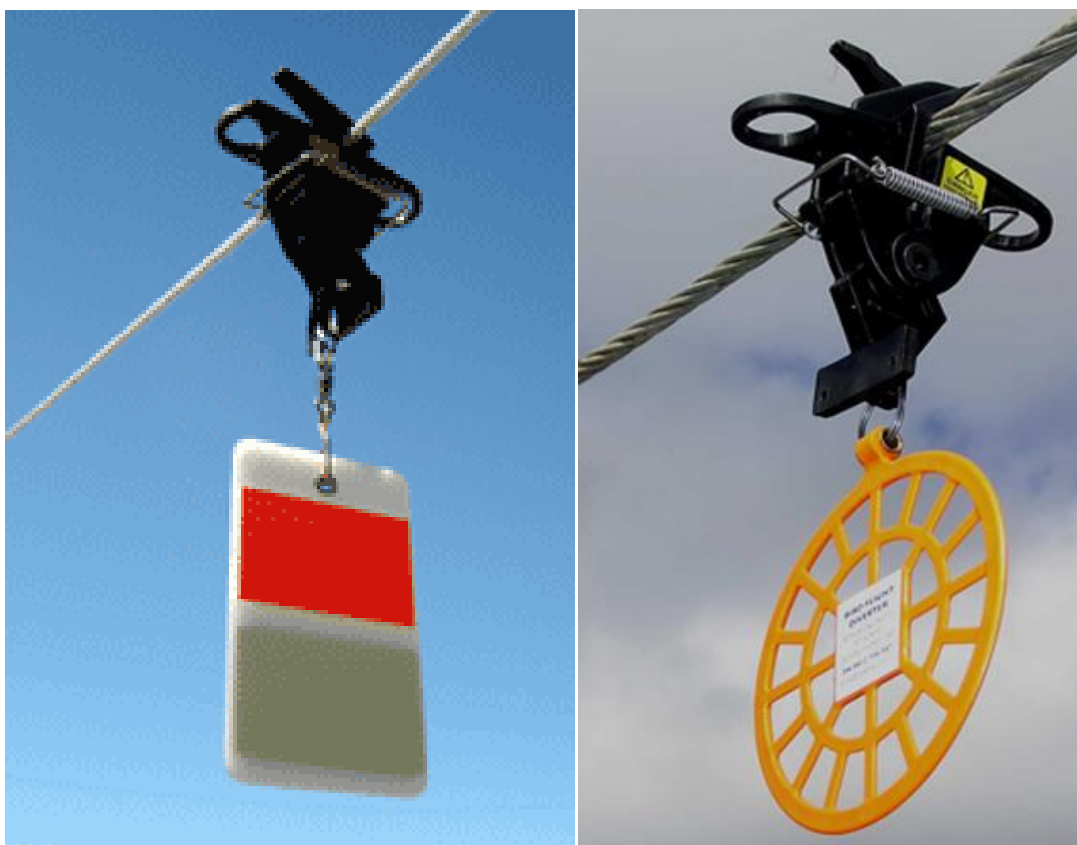
Figur 1. Såkalte «Plastic Bird Flight Diverters» er de mest benyttede merkemetodene av faseledere og jordliner. «Spiralene» kan variere i farge og utforming avhengig av produsent.

Generell merking av liner kan forsvares i tilknytning til fuglerike områder, f.eks. våtmarker og verneområder hvor vernet er begrunnet i rikt fugleliv. Ved kryssing av elver og andre klassiske trekkleder vil merking også være å anbefale. Blant annet kan data fra feil- og avbruddstatistikk hos kraftselskapene benyttes for kartlegging av utsatte soner.

På overføringsledninger med duplex, triplex eller quadriplex konfigurasjon, er de enkelte linene i en «bunt» holdt i permanent avstand fra hverandre ved at det er satt på en «avstandsholder» med jevne mellomrom. Disse avstandsholderne kan i seg selv virke som merker ved siden av at slike linebunter også blir lettere synlig (jfr. Renssen m.fl. 1975).

Som tidligere poengtert er det viktig å vektlegge arts- og stedsspesifikke utfordringer når det skal vurderes hvorvidt en kraftledningstrekning bør merkes, og det er derfor vanskelig å gi generelle råd om når og hvor merking bør foretas. Merking bør imidlertid gjøres i tilknytning til ornitologisk viktige områder og der en ut fra en generell risikovurdering kan regne med at fugler kommer til å kollidere. Dette gjelder

- kjente kollisjonspunkter ("hot spots")
- områder med mye fugl (eksempelvis våtmarksområder)
- kryssing av opplagte ledelinjer (f.eks. elver, trange daler og sund)
- kryssing av lokale trekkveier mellom funksjon- og ressursområder (f.eks. hekkeplass og næringsområde)
- områder med mange dagaktive arter og arter kjent for å kollidere (f.eks. svaner og traner)



Figur 2. I løpet av de siste 40-50 år er en rekke metoder brukt for rent fysisk å «forstørre» linene og gjøre dem mer synlige ved å bruke ballonger, kuler, spiraler, ribber, plastikkstrimler osv. Til venstre «Fågelavvisare Firefly för linmontage (E0668347 - Hammarprodukter)». Til høyre «Fågelavvisare Firefly för linmontage (E0668349 - Hammarprodukter)».

2.1.1.1 Tekniske utfordringer ved merking av faseledere og jordlinjer

«Plasturo» og spiraler kan redusere antall driftsforstyrrelser i nettet på grunn av fasesammenslag etter kollisjon med bl.a. svaner, men spiralene kan gi økt vindfang, isproblemer i høyereliggende strøk og muligens økt slitasje i lineoppheng. Spiralene kan muligens dempe vibrasjoner og redusere faren for utmatting i opphengspunkt. Erfaring indikerer at metodene ikke bidrar vesentlig til slitasje eller korrosjon på selve linen. Fugleavvisere kan oppfattes å gi et mer «uryddig visuelt inntrykk».

Vi vet lite om merkeanordningens materialbestandighet, men erfaring med vibrasjonsspiraler av plast tyder på at spiralene under bestemte forhold kan krakelere (**Figur 3**). Dersom den elektriske feltstyrken rundt linene ligger på grensen til holdfastheten for lufta omkring, vil en introduksjon av et plastmateriale uten halvledende belegg nær lederen føre til feltforsterkning og korona, som bryter ned plastmaterialet og i mindre grad linene. Akselererte korrosjonsforsøk med festeklemmer for plasturo, som ble montert på linene, viste ingen spesielle tegn til korrosjon på linene under klemmene (**Figur 4**).



Figur 3. Eksempel på krakelering og slitasje som har oppstått på dempespiralen i kontaktflaten mot linene (Foto: S. Refsnæs).



Figur 4. Resultatene av akselererte korrosjonsforsøk med festeklemmer for plasturo, som ble montert på linene, viste ingen spesielle tegn til korrosjon på linene under klemmene (Foto: S. Refsnæs).

2.1.2 Silhuetter og predatorerligninger

Forskjellige typer rovfuglsilhuetter er testet ved nattkvarter og rasteplass i et fuglereservat i Nederland (Heijnis 1980). Den mest effektive typen, som var en etterligning av en hauk/falk, ble satt opp i 1977 på en 150 kV overføringsledning og resulterte i en signifikant nedgang i kollisjonsfrekvens (Heijnis 1980). Effekten av silhuetten syntes heller ikke å avta over tid. Skremmelsinnretninger for fugl er vanligvis virksom for fugl på trekk, dvs. at fuglene ikke oppholder seg ikke i området lenge nok til at de blir habituert til dem.

2.1.3 Bruk av lys

Nattaktive arter, og dagaktive som trekker om natten, representerer en spesiell utfordring. Stasjonær belysning gjennom bruk av sterke lyskilder er ikke noe alternativ. Det er for eksempel vel kjent at et stort antall fugler hvert år ble drept langs de skandinaviske kystområdene ved at de kolliderte mot fyrårn (Mehlum 1977) og off-shore oljeanlegg (Lid 1977). Fuglene blendes og blir desorientert (se for eksempel Alerstam & Karlsson 1977). I USA har det vært rapportert om store tapstall i forbindelse med at fugler har kollidert mot barduner festet til master med lys eller at de også har blitt blendet og utmattet og drept mot bakken på grunn av skyhøydemålere (ceiometre) (Aldrich m.fl. 1966, Arend 1970, Avery m.fl. 1976). ESCOM (The Electricity Supply Commission) i Sør-Afrika har utviklet lysrør festet til toppliner på høyspentledninger som gløder ved å utnytte energien i det elektromagnetiske feltet rundt faselederne (lavenergetisk, luminescerende lys).

I USA drepes årlig millioner av fugler i tilknytning til radiomaster og andre telekommunikasjonsrelaterte systemer med varslingslys. Dette gjelder spesielt fugler som under vår- og høsttrekk forflytter seg om natta (Avery m.fl. 1976, Longcore m.fl. 2012, 2013). Gehring m.fl. (2009) fant at strukturer kun utstyrt med røde eller hvite, pulserende varslingslys, medførte signifikant lavere kollisjonsfare for fugl sammenlignet med tårn med varslingslys som i tillegg til blinkende lys hadde kontinuerlig lys. Det gjenstår imidlertid mye forskning omkring effekten av å bruke lys, bl.a. innenfor UV-delen av spekteret (Bevanger & Refsnæs 2013). Det er tidligere foreslått å teste hvorvidt UV-reflekterende coating kan bidra til å gjøre kraftledninger mer synlig for fugl (Bevanger 1998b), og også søkt om økonomisk støtte til å forske på dette (Bevanger m.fl. 2004, 2005). Bruk av lys som er synlig for det menneskelige øyet vil imidlertid primært være et avhjelpende tiltak for nattaktive arter, noe et fåtall fugler er. En del arter forflytter seg imidlertid om natta under vår- og høsttrekket.

2.1.4 Akustiske skremmemetoder

Akustiske metoder kan, ifølge Blokpoel (1976), deles i a) ultrasoniske lyder (dvs. over 20 000 Hz), b) kunstige lyder, for eksempel kanoner, klokker, alarmer og fløyter, c) lydopptak av naturlige varslingslyder hos fugl og d) syntetiske lyder (eksperimentelt utviklede lyder). I første rekke er det vinddrevne fløyter og bjeller som kan festes til luftliner.

Ulike fuglearter har ulik sensitivitet overfor ulike bølgelengder av lyd. Det er imidlertid generell enighet om at fugl ikke responderer på ultrasonisk lyd (Boudreau 1968, Catchpole 1979). Når det gjelder kunstig lyd («støy» som gasskanoner og varselskrik) (**Figur 5**) er dette en alminnelig brukt metode for å skremme vekk arter som er å betrakte som «pestarter» (for eksempel i forhold til korn og frukt dyrking) og arter som kan være en trussel mot flysikkerheten. Det er derfor utviklet en rekke redskap for å produsere skremmelyder (se for eksempel Frings & Frings 1967, Anon. 1986). Test av en «høyteknologisk skremmekråke» som har vært i salg i Australia (dvs. en lydproduserende konstruksjon som frembringer hørbar og ultrasonisk lyd) viste seg å være uten virkning i forsøk på å skremme stær (Bomford 1990). Høye lyder i seg selv synes ikke å affisere fugl (se Blokpoel 1976). For eksempel assosierer småviltarter lyden fra en gasskanon med fare, og er således effektiv for disse, mens arter som ikke utsettes for jakt, ikke lar seg skremme. Habituering er imidlertid alltid et problem.

Blokpoel (1976) laget en oversikt over hva som er gjort innen bioakustisk forskning i forhold til det å holde fugler vekk fra flyplassområder. Varsellyder fra fugler har vært brukt rutinemessig i skremmeøyemed. Syntetisk lyd, dvs. forvrengt, naturlig lyd, kan eksempelvis benyttes til å lage auditive «superstimuli» (Tinbergen 1956). I løpet av de siste 30-40 årene er det imidlertid ikke utviklet effektive, auditive systemer som holder fugler på avstand fra flyplasser eller andre steder de er uønsket (se for eksempel Dooling 2002, Drewitt & Langston 2006, Kolås & Johnsen 2007).



Figur 5. Gasskanon brukes hyppig for å skremme fugler fra områder de er uønsket, eksempelvis gjess fra beitemark eller fugler ved flyplasser. Foto: Arne Follestad.

3 Elektrokusjon av fugl

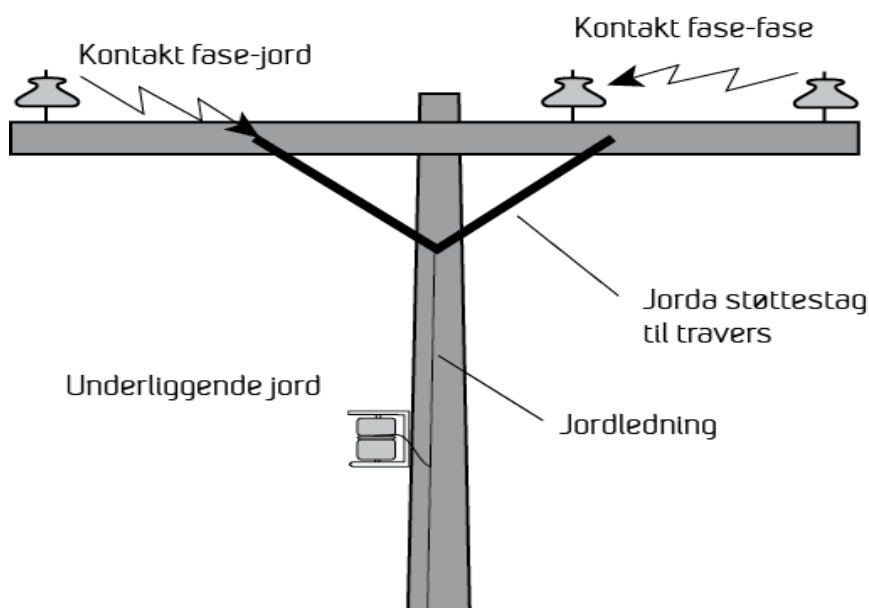
Elektrokusjon eller strømslag, skjer når en fugl kommer i berøring med to strømførende ledninger eller en strømførende ledning og en jordet del av et elektrisk anlegg. (**Figur 6**). Elektrokusjon og kollisjon er følgelig to høyst forskjellige fenomener, både med hensyn til hvilke fuglearter som rammes og hvordan slike ulykker kan forklares. Felles for både kollisjoner og elektrokusjon er at det dreier seg om fenomener som er høyst arts-, steds og årstidsspesifikke. På grunn av at fugler er relativt små skapninger, vil elektrokusjonsfaren primært være knyttet til kraftforsyningsstrukturer med spenninger fra ca. 66 kV og nedover. Det betyr at arter under kråkestørrelse har forholdsvis liten sjanse for å bli et elektrokusjonsoffer (Bevanger 1993). Irregulære og uventede elektrokusjonsulykker kan imidlertid forekomme pga. store variasjoner i hvordan elektriske strukturer er utformet (Kroodsma & Van Dyke 1985, Negro & Ferrer 1995).

Elektrokusjon av fugl ble underkastet systematisk analyse flere år før kollisjoner mot kraftledninger ble seriøst fokusert, trolig på grunn av at problematikken har innebygget betydelige økonomiske aspekter (Bevanger 1994a, Heck & Harness 2008). Elektrokusjon medfører ofte korte strømbrydd, som selv om det knapt er synlig for det menneskelige øye, kan føre til alvorlige

konsekvenser, ikke minst for følsomt elektronisk utstyr (Bevanger 1994a). Det er også en rekke eksempler fra ulike deler av verden på at elektrokusjon av fugl har forårsaket gress- og/eller skogbrann (Tinto m.fl. 2010). I Sør-Afrika er det eksempelvis et problem hvis veverfugler bygger reirene sine i tilknytning til kraftledningsstrukturer, ettersom de kan føre til kortslutning og antenne hvis de blir fuktige (Hobbs & Ledger 1986). Også fra Norge er det flere tilfeller av at fugler har forårsaket gressbrann. I juli 2009 ble flere mål på Edøya (Smøla) avsvidd på grunn av elektrokusjon av en ørn (<http://www.webavisen.no/artikkel/5497611/lyngbrann-paa-edoeya.htm>; E. Lie-Dahl pers. medd.). Våren 2013 forårsaket ei gås gressbrann i Vesterålen da den kolliderte med en kraftledning slik at to faseledere ble dratt sammen. Gåsa ble antent og falt til bakken slik at vegetasjonen ble antent (Morten Berg-Hansen/Bladet Vesterålen 21.05.2013).

I fuktig vær, og særlig når det regner, øker elektrokusjonsfaren vesentlig fordi våt fjærdrakt leder strøm mye bedre enn tørr. I de fleste tilfeller drepes fuglene gjennom omfattende forbrenninger (**Figur 7**). Morfologi i kombinasjon med bestemte atferdstrekk, er nøkkelen til å forstå hvorfor enkelte arter er spesielt utsatte for elektrokusjonsulykker. Vingespenn, fotlengde og kroppsstørrelse, er avgjørende for om en elektrisk konstruksjon skal fremstå som en elektrokusjonsfelle. Arter som foretrekker oppstikkende strukturer i terrenget som utkikksposter, er spesielt utsatt. For bl.a. rovfugl og ugler er bruk av oppstikkende strukturer som kan tjene som utkikksposter en del av deres jaktstrategi. I flatt kystlandskap med få trær eller andre forhøyninger, er det eksempelvis vanskelig å speide etter byttedyr. Derfor blir kraftledningsstolper og luftliner attraktive sitteplasser for fuglearter som er avhengige av å ha god oversikt over terrenget. De samme erfaringer er gjort over hele verden (Mojica m.fl. 2009). Landskapstype og topografiske særtrekk er derfor viktig å ta i betraktning når potensielle høyrisiko-områder for elektrokusjon skal identifiseres.

På tross av at europeiske forskere var blant de første til å fokusere problemet (Riegel & Winkel 1971, Haas 1980) ble det USA som tok reelle grep. Her fikk problematikken stor oppmerksomhet ettersom flere truede rovfuglarter ble registrert som elektrokusjons ofre. USA fikk tidlig en streng lovgivning for å beskytte truede dyrearter (bl.a. *The Endangered Species Act* fra 1973). Fokus på miljøtilpasset utforming av støttekonstruksjonene i elektrisitetsforsyningen ble følgelig et sentralt tema og Nord-Amerika ble et senter for forskning på fugl og elektrokusjon. Aktivitetene i USA har vært koordinert av Avian Power Line Interaction Committee (APLIC 2006, 2012), som ble etablert på slutten av 1980-tallet.



Figur 6. Skjematisk tegning av kraftledningsstolpe med mulige kontaktpunkter som kan føre til elektrokusjon.

Det er med andre ord forsket mye på elektroklusjonsproblematikk; hvorfor elektroklusjon skjer, hvilke arter som rammes og utvikling av avbøtende tiltak. Imidlertid konkluderer Lehman m.fl. (2007) i en revyartikkel med at «...with a few notable exceptions, we cannot say with certainty that the incidence of electrocutions has fallen since mitigation programs began in the 1970s. Reliable estimates of electrocution mortality, including numbers of birds killed and rate estimates for different habitats and pole designs, are unavailable for most areas of the world». Lehman m.fl. (2007) gir bl.a. en oversikt over hvilke faktorer som går igjen ved elektroklusjonsulykker (**Tabell 1**), og viser at påledesign er en avgjørende faktor.

Tabell 1. Faktorer som bidrar til elektroklusjonsrisiko hos rovfugl i tilknytning til utvalgte studier som inneholder empiriske data (etter Lehman m.fl. 2007).

Kilde	Påledesign	Topografi	Habitat	Bytte	Årstid	Vær	Alder	Kjønn	Størrelse	MF	Atferd
Benson (1981)	X	X	X	X	X	X	X		X	X	S,W
Ledger & Anne-garn (1981)	X	X	X			X			X		r
Ledger (1984)	X						X		X		r
O'Neil (1988)	X	X	X								
Ferrer m.fl. (1991)	X		X		X	X					
Ferrer & Hiraldo (1992)							X	X	X		p
Garrett (1993)	X			X							s
Lawson & Wyndham (1993)	X										s
Dawson & Mannan (1994)					X		X	X		X	s
Bevanger & Overskaug (1998)					X		X	X	X		
Janss & Ferrer (1999a)	X		X				X	X	X		
van Rooyen & Ledger (1999)	X										r,p
Janss (2000)									X		p
Harness & Wilson (2001)	X			X	X		X		X		
Janss & Ferrer (2001)	X		X				X				
Mañosa (2001)	X	X	X								
Real m.fl. (2001)			X						X		
Rubolini m.fl. (2001)				X			X		X	X	
Marchesi m.fl. (2002)										X	
Olson (2002)	X						X		X		
Schomburg (2003)	X	X	X				X	X	X		s
Krüger (2004)	X										s,r,p,w
Sergio (2004)	X	X	X		X		X		X	X	
Cartron (2005)	X			X	X				X	X	r

M.F. Menneskelig forstyrrelse
 Atferd = atferd som bidrar til elektroklusjonsfare: vagling (p) og overnatting (r) på kraftforsyningsstruktur, s=sosial interaksjon, w=vingespredning (for å tørke våte fjær)



Figur 7. Klassiske elektrokusjonsskader hos rovfugl; føtter kan brennes helt av, vingeknoker får brannsårl eller det meste av fjærdrakten blir svidd av. Etter Dwyer (2004). Fotos: James Dwyer.

3.1 Fuglearter hyppig involvert i elektrokusjonsulykker

Kvalitative og kvantitative undersøkelser verden over har bekreftet at det er mellomstore rovfugler og ugler (men også kråke- og måkefugler) som dominerer blant elektrokusjonsofferne, sammen med større fugler som stork, havørn, kongeørn og hubro (Fiedler & Wissner 1980, Haas 1980, Stolt m.fl. 1986, Larsen & Stensrud 1988, Grischtschenko & Gaber 1990, Bevanger 1994b, 1998, Bevanger & Overskaug 1998, Lehman m.fl. 2007, Bevanger m.fl. 2009). Dette innebærer at en rekke rødlistede fuglearter drepes. I forhold til stork og hubro er det indikasjoner på at dødelighetsomfanget er så stort at det kan ha en populasjonsregulerende effekt (Bevanger 1998, Rubolini m.fl. 2001, Sergio m.fl. 2004, Garrido & Fernández-Cruz 2003, Kaluga m.fl. 2011).

Dødelighet hos ørner og gribber grunnet elektrokusjon er fokusert i flere land. Et treårig prosjekt i USA registrerte 416 døde kongeørner (Benson 1981), og elektrokusjon er identifisert som en av de aller viktigste dødsårsakene hos denne arten. I Sør-Afrika ble flere hundre individer av den sårbare og endemiske kappgribben funnet drept pga. elektrokusjon (Markus 1972, Ledger & Annegarn 1981). Et stort antall av den egyptiske gribben, som er regnet som en truet art i Sør-Afrika, ble funnet drept i Sudan (Nikolaus 1984). Også fra Spania og andre deler av Europa er det kommet meldinger om funn av døde rovfugler, bl.a. keiserørn (Ferrer m.fl. 1991, Negro & Ferrer 1995, Ferrer 2013, Lasch m.fl. 2010).

Forslag til tekniske løsninger for å unngå elektrokusjonsulykker er følgelig ikke bare utviklet i USA (Boecker & Nickerson 1975, Miller m.fl. 1975, Olendorff m.fl. 1981, 1986, Benson 1981, 1982, Harness 2000, 2002, Harness & Garrett 1999, Harness & Wilson 2001, Heck & Harness

2008, APLIC 2006, Dwyer 2004, Dwyer m.fl. 2013a, b). Forskning i Sør-Afrika (Ledger & Annegarn 1981, Ledger 1984) og mange europeiske land (Norge, Spania, Tyskland, Sveits) (VDEW 1986, Bevanger & Thingstad 1988, Bevanger 1994a, 1998, Ferrer m.fl. 1991, Negro & Ferrer 1995, Bevanger & Overskaug 1998, Janss & Ferrer 1999, 2001, Rubolini m.fl. 2001, NABU 2006, Haas 2008, VSE 2009, Ferrer 2012), så vel som Israel (Leshem 1985) og India (Sundar & Choudhury 2005) hatt også stor betydning for forståelse og løsning av elektrokusjonsproblematikken.

Fra Bonn- og Bernkonvensjonene har det lenge vært uttrykt bekymring for at så mange fugler drepes pga. elektrokusjon (og kollisjon) (*Resolution 7.4 – Electrocutation of migratory birds* og *Recommendation No. 110*) (Bern Convention 2004). Problematikken er også fulgt opp i flere senere resolusjoner. Dette er konvensjoner Norge har ratifisert. Som understreket av Lehman m.fl. (2007) er det et klart behov for ny og bedre informasjon, med utspring i solid forskning, slik at så vel netteiere som miljø- og energiforvaltningen kan gripe fatt i problematikken på en bedre måte.

3.2 Erfaringer fra Norge

Selv med betydelig kunnskap i en rekke land om elektrokusjonsfarlige konstruksjoner, er den store variasjonene i teknisk design og utforming av distribusjonsnettene en stor utfordring. Med forholdsvis liten internasjonal standardisering er løsninger tilpasset ett land ofte ikke direkte overførbare til et annet. Likevel er forutsigbarheten i forhold til hvilke strukturer som i prinsippet er potensielle elektrokusjonsfeller forholdsvis høy. I Norge er det svært langt igjen før det er utført tiltak som kan gjøre en forskjell når det gjelder dagens omfang av fugler som drepes. Det har generelt vært svært liten interesse fra norske myndigheter og netteiere for å implementere velkjente og virksomme avbøtende tiltak.

Få feltstudier har fokusert på elektrokusjonsproblematikken i Norge, og det er et klart behov for undersøkelser som kan gi mer systematiske data om hvilke arter som rammes i tid og rom, dvs. hvor i landet problemene er størst, når på året, i hvilke terrengtyper osv. Bestandsmessige konsekvenser av denne ekstra dødeligheten er fraværende bortsett fra hubro der bestanden antas å være liten pga. elektrokusjonsulykker. Vår kunnskap er hovedsakelig basert på anekdoter og tilfældige observasjoner og funn av døde fugler.

Da temaet elektrokusjon og fugl ble tatt opp i Norge tidlig på 1980-tallet (Forprosjektet kraftledning og fugl 1988) resulterte det i et prosjekt der det blant annet ble sendt spørreskjema til norske nettselskaper for å innhente kunnskap norske energiverk var i besittelse av (Bevanger & Thingstad 1988). Det viste det seg at netteierne kunne identifisere en rekke strukturer som forårsaket elektrokusjon, i første rekke toppmonterte piggisolatorer, stolper med ståltraverser og stolpemonterte transformatorer (Bevanger & Thingstad 1988). Dette resulterte i følgende anbefalinger:

- vurder bruk av isolasjonskappe på ståltraverser
- isoler nedføringsliner til bryter og transformator
- bruk fuglevern på gnistgap
- isoler gjennomføringstopp på stolpetransformatorer
- vurder isolering av faseleder ved mast
- vurder montering av egnede sitteplasser for fugl i stolper og transformatorer

Ved nybygging ble det påpekt at følgende tiltak burde vurderes:

- benytt tretravers; jordtråd på undersiden
- benytt isolertravers
- benytt hengekjedeisolatorer (unngå piggisolatorer)
- unngå bruk av masttransformatorer eller utføre disse isolert
- benytt isolerte hengekabler

Anbefalingene er i svært begrenset utstrekning fulgt opp.

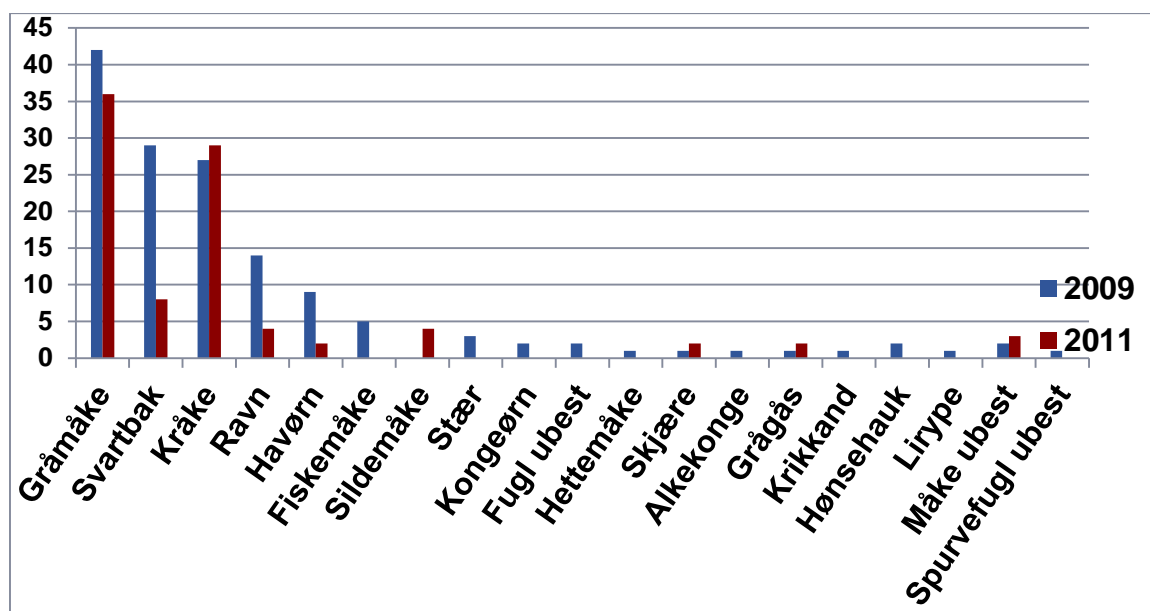
I november 2009 og 2011 deltok personer fra NINA på frivillig basis i en undersøkelse av ca. 740 stolpepunkt ansett for å være elektrokusjonsfarlige på Smøla. Femti stolper ble undersøkt i april 2010 på grunn av snøfall i november året før. Nordmøre Energiverk (NEAS) oversendte på forespørsel fra NINA oversikt over alle stolper i sitt forsyningsområde (22 kV) fordelt på kategori; 571 stolper med piggisolatorer, 87 stolpemonterte transformatorer, 36 avgreiningsmaster, 34 med bryter og 12 med både bryter og avgreining. Ved første søk (9.-10. november 2009), ble det funnet 142 individer av minst 17 arter. En del av skrottene som ble funnet var forholdsvis gamle (mer enn ett år). I november 2011 ble i alt 90 fugler funnet. De samme artene dominerte både i 2009 og 2011 (**Figur 8**), med gråmåke, svartbak og kråke som dominerende arter. Sett under ett var det en klar dominans av måke- og kråkefugl. Imidlertid ble det også funnet havørn, kongeørn og hønsehauk.

Interessant nok ble 50 % (115 individer) av samtlige funn gjort på 2,8 % av stolpene (21 stolper) (**Figur 9, 10, Tabell 2**), noe som klart indikerer at begrepet «killer poles», lansert i USA tidlig på 1980-tallet, har sin berettigelse. Men de representerer et fåtall. De farligste installasjonene var uten sammenligning stolpemonterte transformatorer, avgreiningsmaster og master med brytere (**Figur 11, 12**). Modifisering av 148 av de 739 farligste stolpene på Smøla (20 %) ville med andre ord kunne redusere elektrokusjonsomfanget 100 %. I USA og Spania er det utviklet prediktive modeller i forhold til elektrokusjonsfare for å kunne prioritere hvilke stolper og strukturer som bør prioriteres ved oppgraderinger (Tinto m.fl. 2010, Dwyer & Harness 2013, Harness m.fl. 2013). Forsøk på å få økonomisk støtte til tilsvarende undersøkelser har så langt ikke lyktes (Bevanger m.fl. 2011).

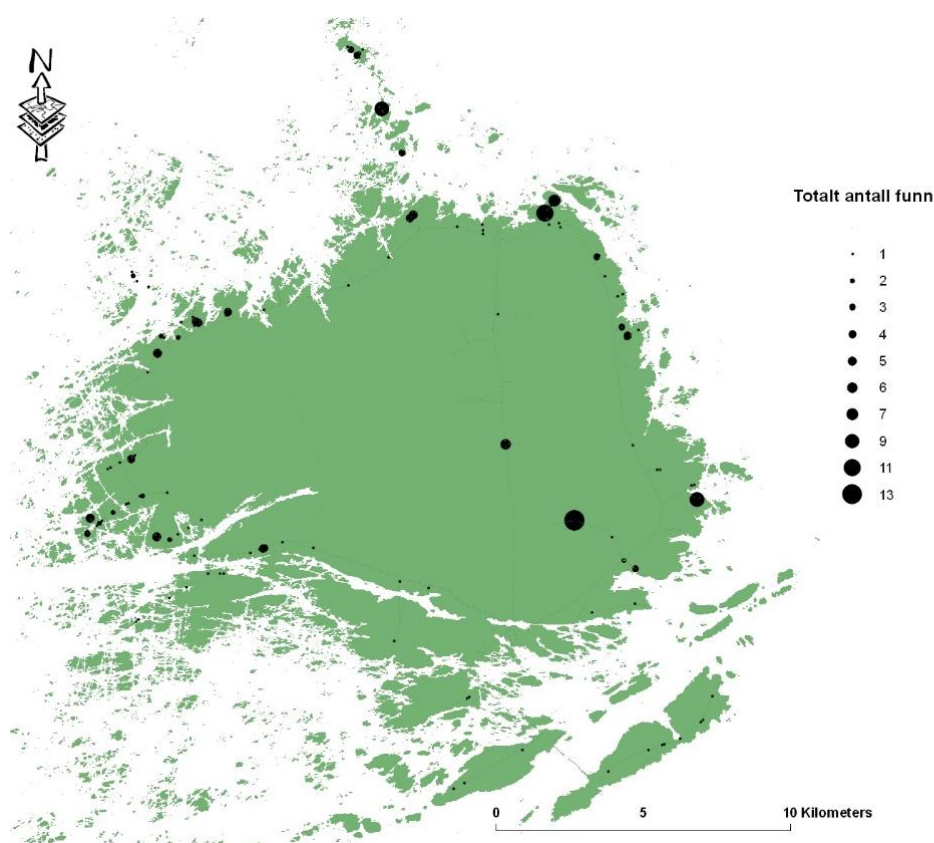
Selv om norske myndigheter bevilget 30 millioner i tilknytning til oppfølging av handlingsplanen for hubro, er dette svært små ressurser i forhold til å avhjelpe problemet i og med at pengene ikke ble benyttet i forhold til en på forhånd prioritert plan for hvor innsatsen kunne gi størst avkastning.

Tabell 2. Elektrokusjonsdrepte fugler funnet på Smøla i tilknytning til ca. 740 antatte farlige strukturer i 22 kV nettet i 2009 og 2011 fordelt på stolpekategori (etter Bevanger m.fl. 2010, Lie-Dahl 2011, Cole & Dahl 2013). * for 4 av de 142 funnene er det usikkert hvilken struktur de tilhører, og disse er utelatt.

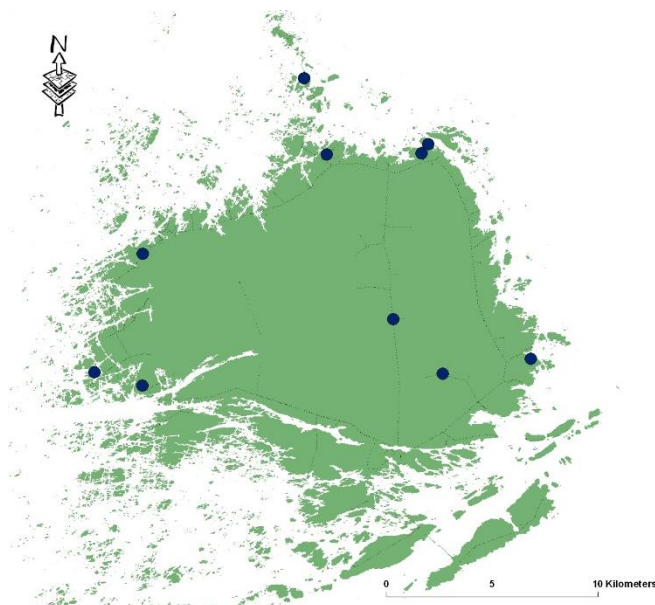
	Alle	Transformator	Bryter	Avgreining	Piggisolator	Bryter+avgreining
Antall punkt	740	87	33	36	571	12
Antall funn	138*	49	21	21	47	2
Funn/punkt	0,19	0,56	0,62	0,62	0,08	0,17



Figur 8. Fugler funnet som elektrokusjonsoffer på Smøla etter kontroll av ca. 750 stolpepunkt ansett som elektrokusjonsutsatte. Noen av de minste artene (eksempelvis krikkand og alkekonge) kan ha blitt fraktet til stolpene av rovfugl som benytter dem som utkikkspunkt (etter Bevanger m.fl. 2010, Lie-Dahl 2011).



Figur 9. Funn av elektrokusjonsdrepte fugler på Smøla i tilknytning til 22 kV-nettet i 2009 og 2011 (etter Bevanger m.fl. 2010, Lie-Dahl 2011).



Figur 10. *Funn av elektroklusjonsdrepte fugler på Smøla i tilknytning til ca. 750 stolper med potensial for elektroklusjonsfare i 22 kV-nettet i 2009 og 2011. 50 % av samtlige funn ble gjort i tilknytning til 2,8 % (21) av stolpene. De 10 farligste er avmerket. Det er det størst dødelighet i tilknytning til strukturer lokalisert lengst ut mot åpent hav hvor det er liten tilgang på naturlige, oppstikkende strukturer som kan tjene som utkikksposter (etter Bevanger m.fl. 2010, Lie-Dahl 2011).*



Figur 11. *Stolpemonterte transformatorer i distribusjonsnettet er blant de strukturer som oftest forårsaker elektroklusjonsulykker hos fugl pga. de korte avstandene mellom strømførende ledninger og/eller strømførende ledning og jordet komponent. Foto: Kjetil Bevanger.*



Figur 12. Avgreiningsmaster er konstruert på mange måter. Ofte fremstår de som strukturer hvor fugler finner gode sitteplasser. I åpne landskap med lite skog blir de derfor attraktive utkikksposter for fugler som ønsker å få oversikt og speide etter bytte. Det gjelder bl.a. rovfugl og måker. I kyststrøk, bl.a. på Smøla, er det dokumentert at slike konstruksjoner årlig tar livet av et betydelig antall havørn, kråkefugl og måker ("killerpoles"). Ved å utforme disse på en måte som reduserer attraktiviteten som sitteplass, samt isolere ledninger og traverser, vil problemet reduseres betydelig. Foto: Kjetil Bevanger.

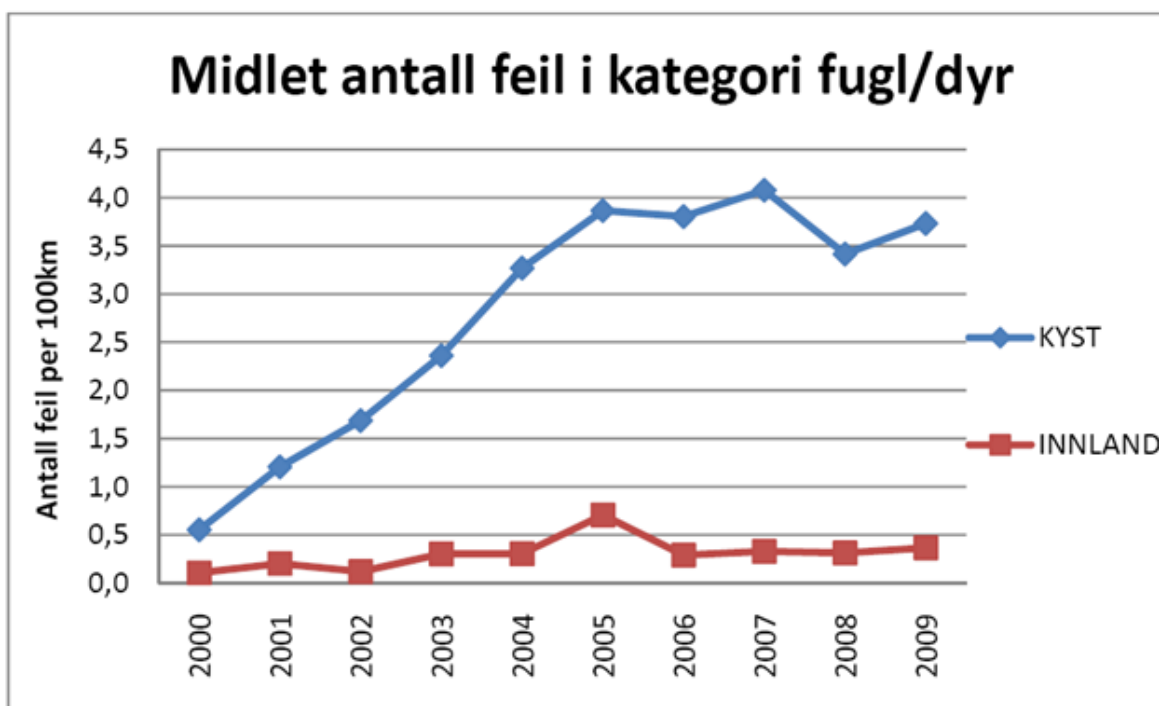
3.3 Driftsforstyrrelser på grunn av fugler og dyr

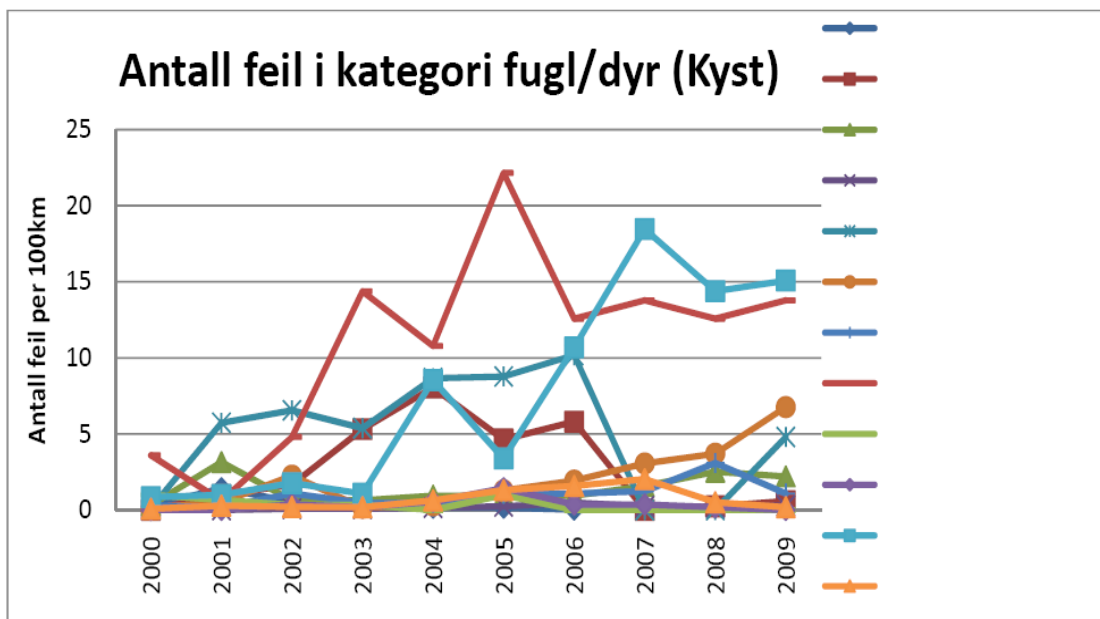
Mange nettselskaper opplever hyppige driftsforstyrrelser på grunn av elektrokusjonsulykker med fugl. Årsstatistikken over hendelser, driftsforstyrrelser og feil i 1-22 kV-nettet for 2008 viser at fugler/dyr utgjør ca.13 % av alle driftsforstyrrelser og 3 % av ikke levert energi. Det ble i 2008 registrert 24 350 hendelser fordelt på 13 072 driftsforstyrrelser og 11 063 planlagte utkoblinger. Flest feil ble registrert på kraftledninger (33 %), anleggsdel ikke identifisert (25 %), fordelings-transformator (9 %), ikke utfylt (8 %) og kabel (6 %). Fugler/dyr utgjør ca.13 % av alle driftsforstyrrelser og 3 % av ikke levert energi (ILE) (Tabell 3).

Tabell 3. Antall driftsforstyrrelser og ILE (ikke levert energi) på alle anleggsdeler med utløsende årsak og omgivelser.

Utløsende årsak	Driftsforstyrrelser		Ikke levert energi	
	Antall	%	ILE [MWh]	%
Vegetasjon	1081	18,6	1658	35,5
Vind	834	14,4	827	17,7
Snø/is	433	7,5	670	14,3
Tordenvær	2225	38,3	915	19,6
Fugl/dyr	765	13,2	138	3,0
Salt/forurensning	105	1,8	133	2,8
Fremmedlegemer	48	0,8	60	1,3
Brann	20	0,3	18	0,4
Vann/fuktighet	68	1,2	115	2,5
Annet	222	3,8	136	2,9
Ikke angitt	3	0,1	0	0,0
Frost	5	0,1	4	0,1
Sum	5809	100	4674	100,0

Den første grovsorteringen av sannsynlige feilsteder i kraftledninger på grunn av fugler/dyr ble utført ved å sortere nettselskapene i to geografiske grupper, henholdsvis kyst og innland. Kun selskaper med feilrapportering til FASIT i årene 2000-2009 er tatt med. Feilraten for gruppen innland, som følge av fugl og dyr er svært liten over hele perioden og holder seg konstant (**Figur 13**). Feilraten for gruppen kyst er økende i perioden 2000-2005, men flater ut i tidsrommet 2005-2009. Dette kan skyldes at endrede og pliktige rapporteringsrutiner ble innført i 2005. Midlere antall driftsforstyrrelser pga. fugler/dyr synes å være 8-10 ganger høyere ved kysten enn i innlandsområder. Innenfor de lokale forsyningsområdene på kysten kan det også være store lokale variasjoner i feilraten (**Figur 14**).

**Figur 13.** Antall feil der dyr er bekreftet eller antatt som bakenforliggende årsak i kyst- og innlandsområder.



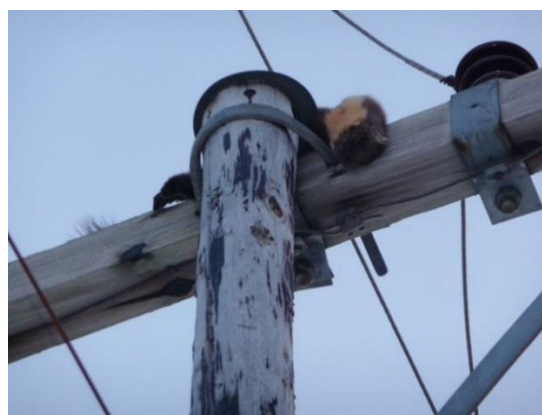
Figur 14. Antall feil fordelt på ulike nettselskaper i kystområder. Selskapene er anonymisert, men i enkelte områder er det periodevis svært mange driftsforstyrrelser pga. fugler/dyr.

I kommentarfeltet i feilstatistikken finnes interessante «meldinger» (Figur 15), som illustrerer driftsforstyrrelsene:

- «Fugl i gnistgap»
- «Ekorn kortsluttet fasene på trafo»
- «Mår ved nettstasjon»
- «Måke på travers i trafomast»
- «Måke brent fast i strekket»
- «Kråke kortsluttet trafomast»
- «Fugl kortsluttet nedføring til trafo»
- «Funnet 3 døde hubroer pga. kollisjon med fase. En med byttedyr i klørne»
- «Svane kolliderte med et spenn. Sammenslag og en avbrent fase»
- «Ugle brent fast på travers»
- «Hegre på tråden»
- «To lunka svartbakar funne på Hareidsmyrane»



«Hegre på tråden»



Mår i mast med forsterket oppheng

Figur 15. Driftsforstyrrelser i nettet på grunn av fugler/dyr ifølge statistikken fra 2008.

3.4 Hubro som modellart for tiltak mot elektrokusjonsulykker

I Sverige ble et eget prosjekt i regi av Vattenfall igangsatt på 1980-tallet med målsetting om å utvikle tekniske løsninger slik at hubro ikke ble drept i tilknytning til stolpemonterte transformatorer (Lindgren 1984). Hovedprinsippene var isolering av strømførende ledninger med kort, innbyrdes avstand, dvs. i første rekke nedføringene til transformator (jfr. Bevanger & Thingstad 1988). Merkostnadene ved dette isoleringsarbeidet ble beregnet til 150-200 SVK. En stolpetransformator kostet 25000-30000 SVK avhengig av type (Lindgren 1984). I sitt handlingsprogram sa Vattenfall bl.a. at "*Befindtliga stolptransformator åtgärdas i samband med inspektionen och ordinarie tillsynsarbeten på transformatorerna. Om byte av slackar kan utföras i samband med ordinarie arbete på transformatorn kan kostnaden uppskattas till ca. 1000 kr. per transformator. I annat fall blir kostnaden 1500-2000 kr. per transformator. Linskydd monteras på transformatorstolpar generellt samt på vanliga ledningsstolpar i områden som kan bedömas känsliga (utsläppsområden, kända häckningsplatser etc.)*".

Hubro var tidlig kjent som en elektrokusjonsutsatt art, og et avlsprosjekt («Prosjekt hubro») som hadde som formål å få opp bestanden, viste at en svært stor andel av fuglene som ble satt ut raskt døde på grunn av elektrokusjon (Larsen & Stensrud 1988).

I følge norsk lov skulle tidligere alt fallvilt, inklusive rovfugler og ugler, leveres Direktoratet for naturforvaltning og Norsk institutt for naturforskning (NINA). I perioden 1987-1994 mottok derfor NINA 2360 rovfugler og ugler fra taxidermister og andre, i alt 9 rovfuglearter og 8 uglearter. Det var mulig å fastslå dødsårsaken til omkring 2/3 av de innleverte fuglene. Bevanger & Overskaug (1998) analyserte dette materialet bl.a. med henblikk på dødsårsak, og konkluderte med at kraftledninger var inne i bildet som dødsårsak for 15 av de 17 artene. Det var ikke mulig å skille mellom elektrokusjon og kollisjon ettersom de fleste fuglene var flådd med tanke på utstopping. Mange indisier pekte imidlertid mot elektrokusjon som viktigste dødsårsak. For hubro var dette den klart dominerende dødsårsaken.

Basert på innspill fra NINA lanserte forvaltningsmyndighetene en nasjonal forvaltningsplan for hubro i 2009 (Direktoratet for naturforvaltning 2009). Ansvar for gjennomføring av denne er gitt til Fylkesmannen i Nordland. Studier i Nord-Norge i tilknytning til et av delprosjektene i OPTIPOL, bekreftet at hubro er en art som hyppig blir drept pga. elektrokusjon fordi den ofte benytter traverser og andre kraftledningsstrukturer som utkikksposter i flatt landskap (Bevanger m.fl. 2009, 2010, 2011, 2012) (**Figur 16**). Også i Sør-Norge er elektrokusjon fastslått å være en regelmessig dødsårsak hos hubro (Oddane & Undheim 2007, Oddane m.fl. 2008). Den norske hubrobestanden har vært synkende i flere år, og antall hekkende par er estimert til 408-658 (Jacobsen m.fl. 2008), men en større nasjonal registrering i 2008 bekreftet hekking i kun 59 territorier mens det var fugler til stede i 271 (Øien m.fl. 2009). Arten er kategorisert som truet (EN) på den norske rødlista (Kålås m.fl. 2010).

3.4.1 Isolering av travers

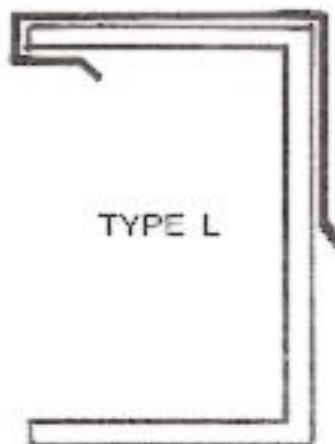
Det mest nærliggende tiltak for å hindre elektrokusjon av fugler som benytter traverser som sitteplass, er isolering. Ved å isolere metalliske traverser unngås elektriske sjokk og jordfeilstrømmer fra faseleder til jord når fugler slår seg ned, og kan derfor redusere antall kortvarige avbrudd i nett uten spolejordet nullpunkt (nullpunkt ikke jordet med spole – Petersonspole – der spolens induktans motvirker kapasitansene i nettet). Ulempen er økt sannsynlighet for korrosjon og manglende utkobling hvis fasen ramler ned på traversen. Ståltravers med piggisolator er en svært utsatt konstruksjon for fugler fra kråkestørrelse og oppover. Ved å isolere unngås elektrokusjon, som kan skje når fugler kommer i kontakt med en faseleder og jord, når de setter seg på eller tar av fra en kraftledningsmast med jordet mastetopp. I nett uten spolejordet nullpunkt vil isolering av metalltravers bedre kraftledningens driftssikkerhet i fuglerike områder. En isolasjonskappe kan imidlertid gi økt korrosjon på traverser av stål eller aluminium og jordingstilkoblingen

i kystnære områder (**Figur 17**). Dersom fasen løsner i bendslingen og ramler ned på isolasjonskappen på ståltraversen, så kan man risikere at det ikke oppstår jordslutning og utkobling av anlegget.



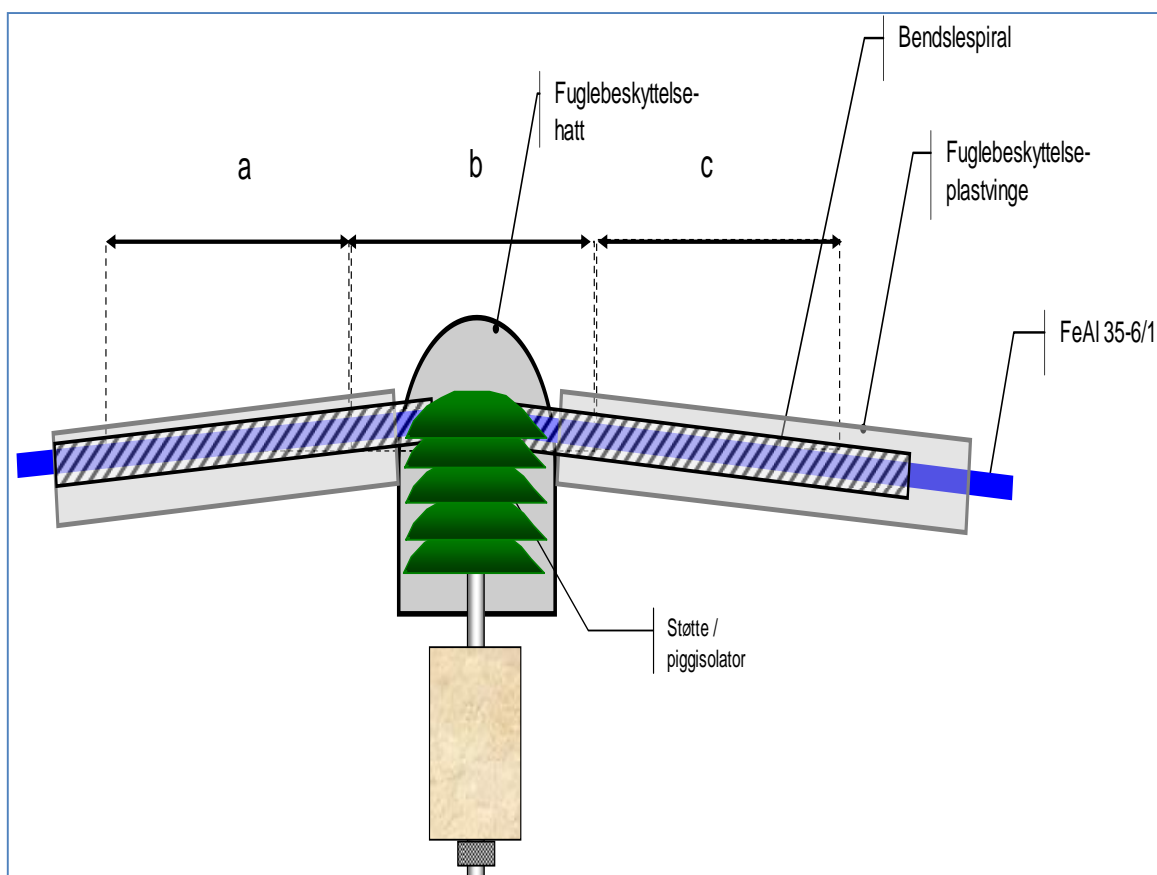
Figur 16. Hubro er oppført på den norske rødlista, og elektrokusjon er dokumentert som hyppigste dødsårsak. Hubrobestanden er særlig stor i kyststrøk, dvs. områder med begrenset tilgang på steder det er mulig og sitte for å holde utkikk etter byttedyr. Traverser på kraftledningsstolper er derfor et yndet tilholdssted. Foto: Jan Over Gjershaug.

Isolasjonskappe
til U 120







Figur 17. Eksempel på isolasjonskappe for travers produsert av Roza Plast A/S.

I regi av OPTIPOL-prosjektet ble det iverksatt studier for å redusere elektroklusjonsdødelighet hos hubro. I teorien synes det enkelt å skulle modifisere tekniske installasjoner slik at elektroklusjonsfaren elimineres – i første rekke ved hjelp av isolerende tiltak. Dette er imidlertid ikke uten videre tilrådelig, spesielt i kyststrøk med stor saltholdighet i lufta. Faren for korrosjonsproblemer og strømbrudd er overhengende hvis metalldeleer innkapsles slik at luft og fuktighet over tid virker sammen. Dette førte til at OPTIPOL-prosjektet også satte i gang korrosjonstester i kammer for å studere isolasjonsmaterialenes påvirkning på linenes nedbrytning mht. slitasje, korrosjon, utmatting m.m. Et av tiltakene som ble testet var den forholdsvis kjente "Uven-Huven" som ble utviklet i Sverige på 1980-tallet, sammen med andre kjente isoleringsmekanismer (Bevanger m.fl. 2011, Refsnæs 2010, Refsnæs m.fl. 2013) (**Figur 18 og 19**).



Figur 18. Stilisert versjon av «Uven-huven», en fuglebeskyttelseshatt på toppisolator kombinert med plastovertrekk på faselederen som er festet til isolatoren et stykke ut fra denne.

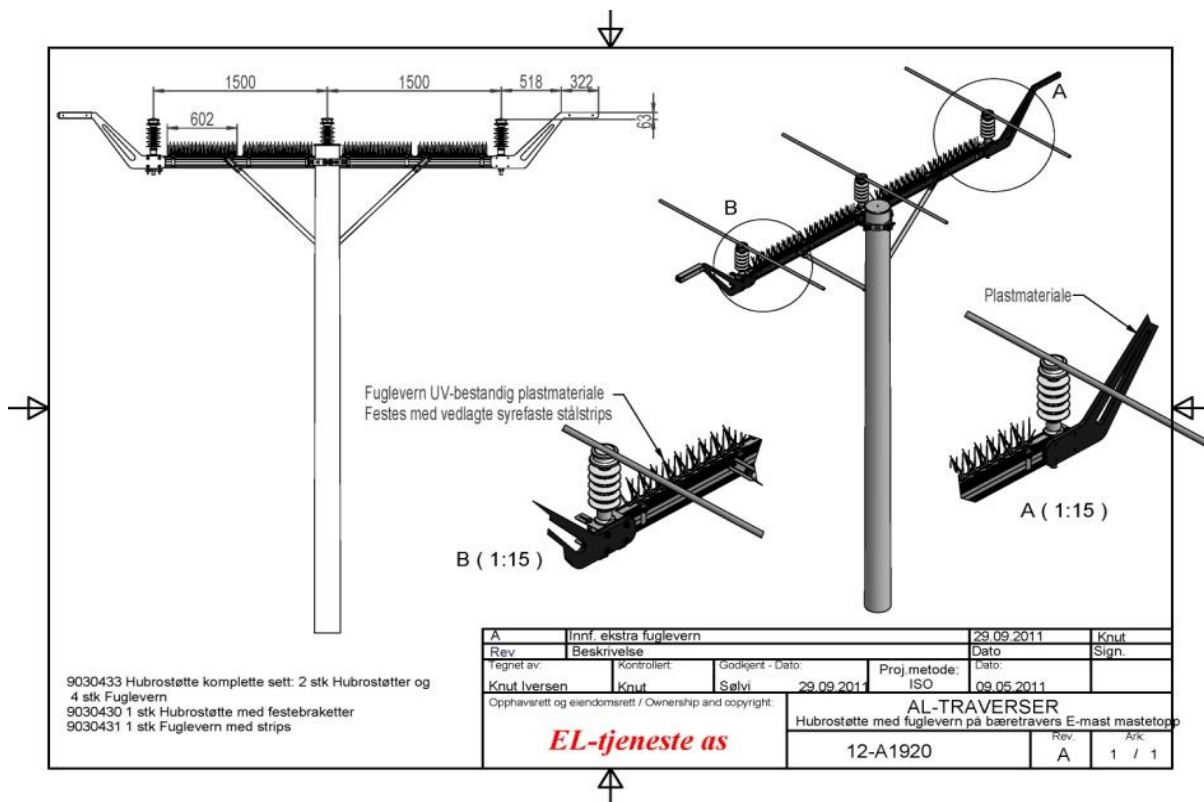
Konklusjonen fra korrosjonstestene var at slike isolasjonssystemer ikke bør installeres i eksponerte kystområder med marin korrosjonsindeks (MCI) på 7-8. Forventet levetid i slike miljø vil være omkring 10 år \pm 2. Beskyttelse kan vurderes i kystområder med lav korrosjonsindeks (MCI = 3-4). Forventet levetid her vil være omkring 22 år \pm 6. I innlandsområder med MCI = 0-2 er det uproblematisk å benytte isolering.

Overtrekk montert på isolatorer og ledere		Estimert levetid (år) i to forskjellige, marine korrosjonsmiljø (MCI)	
		MCI=4	MCI=8
HUVEN UVEN AB Kabeldon		16-22	9-10
ARK 1053 Arkonia Systems		20-54	11-12
KE 116203 Kaddas Enterprises		16-25	11-13
BIC-3312 Tyco Electronics		17-29	10-11

Figur 19. Forventet levealder for ledere testet i korrosjonskammer i to forskjellige marine korrosjonsmiljø (MCI) der isolatorer og ledere er tildekket med isolasjonsutstyr for å hindre elektrolysulykker hos fugl (etter Bevanger m.fl. 2011, Refsnæs m.fl. 2013).

På grunn av at de største hubrobestandene i Norge i dag er tilknyttet kystområder med høy MCI, var det nødvendig å utvikle andre avhjelpende tiltak. Et samarbeid mellom CEDREN (NINA, SINTEF) og EI-tjenester AS førte til at det ble besluttet å gjøre forsøk med modifiseringer av den klassiske traversen som de fleste 22 kV kraftledninger med piggisolator har. Traversen er en ofte brukt sitteplass for hubro (**Figur 16**). Idedugnaden endte med å forlenge traversen til begge sider og gjøre forlengelsene høyere enn resten av traversen, samtidig som denne ble utstyrt med et plastdeksel med skarpe pigger for å hindre fuglene i å sette seg (**Figur 20, 21**) (Bevanger m.fl. 2011, Refsnæs m.fl. 2012, Gjershaug m.fl. i trykk).

Ved at hubroen velger sittepinne som observasjonspost, unngår nettselskapene eventuelle driftsforstyrrelser som følge av at fuglen fører til kontakt fase-fase eller fase jord. Metoden er et alternativ til isolering av fasene, som i saltholdige kyststrøk kan få korrosjonsproblemer under tildekkingen. Alle forholdene tatt i betraktning, så antar CEDREN at montering av sittepinne og piggmatte vil ha minimal betydning for krypestrømsegenskapene til isolatorene ved korrekt plassering av piggmatten i forhold til isolatorene. Det er lite sannsynlig at en liten sittepinne for hubro på en 22 kV mast på noen måte skulle tiltrekke lyn, og det er også lite sannsynlig at den eventuelle tilleggsvekten, som is og snø kan gi ved montasje av sittepinne på tretraverser, vil gi mekaniske problemer. Dersom linen løsner i bendslingen og ramler ned på piggmatten på traversen (tretravers med overliggende jording, eller metalltravers), så kan man risikere at det ikke oppstår jordslutning og utkobling av anlegget.



Figur 20. Sittepinne (traversforlenger) for hubro utviklet av NINA, SINTEF og El-tjeneste AS.



Figur 21. Traversforlenger kombinert med sitteavviser (Foto: Terje Sagvik).

3.4.2 Tildekking av isolator og faseleder i stolpemontert transformator

I innlandsområder kan plastdeksler på fasene trolig anvendes uten noen korrosjonsrisiko, men i utsatte kyststrøk kan metoden føre til økt lokal korrosjon og fare for utmatningsbrudd i linene. I nett uten spolejording vil fuglevernet bidra til å redusere antall kortvarige avbrudd. De strømførende linene og isolatorene tildekkes med en «plasthatt» og «plastvinge» (Figur 18). Metoden benyttes også på transformatorgjennomføringer kombinert med isolering av nedføringsledere og andre komponenter med korte avstander mellom fase-fase og fase-jord.

I innlandsområder med meget lav korrosivitet kan plastdeksler på midtfasen eller også de øvrige fasene trolig anvendes uten noen korrosjonsrisiko. I områder med lav korrosivitet (dvs. at det kan være noe forurensning i lufta), må det vurderes om den reduserte levetiden er innenfor det som kan aksepteres. I utsatte kyststrøk kan metoden føre til økt lokal korrosjon og fare for utmattingsbrudd i linene. I slike områder kan levetiden bli så lav at det ikke anbefales å benytte plastdeksler på fasene. Dersom plathatten dekker hele isolatoren, kan saltdeponering og fukt føre til redusert isolasjonsholdfasthet og økt sannsynlighet for overslag.

3.4.3 Fuglevern på gnisthorn

Ved å montere fuglevern på gnisthornet kan antall kortvarige avbrudd i nettet som følge av jordfeilstrømmer reduseres. Slike feil kan oppstå når en fugl kommer i kontakt med en faseleder og jord i det de setter seg på eller tar av fra en kraftledningsmast med jordet mastetopp. Ved vern av transformatorer/nettstasjoner monteres gjerne avledere eller gnistgap i noen master foran apparatet som skal vernes. En slik innføringssone realiseres ved at vernet jordes lokalt eller ved simpelthen å jorde metalltraverser/isolatorfester og bruke isolatoren som «gnistgap».

Fuglevernet (**Figur 22**) er et av flere tiltak (jordslutningsspole, traserydding), som kan redusere antall kortvarige avbrudd i nettet. Kortvarige avbrudd er inkludert i dagens KILE-ordning. Dette betyr at nettselskapene har et økonomisk insentiv med hensyn til å ta sluttbrukernes kostnader ved kortvarige avbrudd i betraktning ved prosjektplanlegging, drift og vedlikehold. På landsbasis beløper disse kostnadene seg til i størrelsesorden 380-530 millioner kr pr år.

Selvslukkende gnistgap med fuglevern finnes både for BLX og blank line. «Fuglevernet» består i at metallet både på den spenningsatte delen og delen som har kontakt mot jord er utstyrt med «plastvinger» som ikke gjør det attraktivt for fugl å sette seg samtidig som det isolerer.



Figur 22. Mast med forsterket oppheng. På tross av fuglevernet på gnisthornet vil den reduserte faseavstanden føre til at fugler blir meget utsatt for elektrokusjon når vingene strekkes ut, og det eventuelt oppstår kontakt fase-fase eller fase-jord (Foto: S. Refsnæs).

4 Fjerning av jordline, justering av linekonfigurasjon og kabling

Nettselskapene er opptatt av luftledningssystemets evne til effektivt å ivareta kundenes og samfunnets interesser. Fugler påvirker leveringskvaliteten (leveringspålidelighet og spenningskvalitet) ved å medvirke til kortvarige driftsavbrudd og spenningsfall. Spenningsdipp er sammen med avbrudd de forstyrrelsene som forårsaker størst tap for kundene i kraftnettet i Norge. Spenningsdipp er en hurtig reduksjon av forsyningsspenningen etterfulgt av gjenoppretting av spenningen etter en kort tidsperiode. Den kan forårsake både feilfunksjon og direkte utkobling av elektrisk utstyr, som kontor- og datautstyr, kontroll- og styringsutrustninger etc.

Utfordringen er om man ved fornyelse og oppgradering av ledningene kan implementere tiltak som kan redusere antall driftsforstyrrelser på grunn av strømgjennomgang (elektrokusjon) i fugler og kollisjon med liner, uten å redusere ledningens tekniske prestasjon og pålitelighet. En strategi kan være å identifisere og gjennomføre tiltak der sannsynligheten for driftsforstyrrelser ved fuglekollisjon og strømgjennomgang er størst. Sannsynlige feilsteder kan kartlegges gjennom:

- Feilstatistikk, data fra nasjonal database.
- Identifisering av kritiske mastearrangement/ledningsdesign og komponenter som kan gi fugledød og driftsforstyrrelser.
- Identifisering av steder med stor fugletetthet, trekkveier, ledelinjer, spesielle arter, topografi etc. i kombinasjon med mange kritiske mastearrangement/ledningsdesign

Tiltak bør også gjennomføres når det er fare for artens overlevelse og når hendelsene kan føre til uheldige konsekvenser for nettselskapet i form av dårlig medieomdømme og store drifts- og vedlikeholdskostnader. For nærmere utdyping av disse temaene vises til Refsnæs (2010, 2012), Magnusson (2010), Refsnæs & Benjaminsen (2012), Refsnæs m.fl. (2012), Stenshornet m.fl. (2012), Refsnæs m.fl. (2013).

4.1 Fjerning av jordline

Fjerning av over- eller underliggende jordline i kraftledninger med opptil 24kV driftsspenning og flytting av jordline på undersiden av traversen, kan resultere i betydelig økning av skader hos abonnenter som følge av lynnedslag i nærområdet eller fra induserte overspenninger i nettet.

I områder med relativt stor tordenværsaktivitet kan fjerning av jordliner resultere i betydelig økning av skader hos abonnenter som følge av lynnedslag i nærområdet eller fra induserte overspenninger i nettet. Dette har sammenheng med at skader i fordelingstransformatorer pga. lynoverspenninger normalt resulterer i 50 Hz strømskader umiddelbart etter lynskadene. Gjennomgående jordliner tilknyttet trafoarrangementene vil bl.a. bidra til å redusere energipåtrykket i 230V-nettet og dermed redusere skadeomfanget hos abonnenter. Eventuelle botemidler for å redusere skadeomfanget ved fjerning av jordliner vil være å bedre overspenningsvernet (gnistgap, overspenningsavledere, varistorer) og jordingsarrangementene til transformatorene samt forbedret jording og overspenningsvern hos abonnenter.

4.1.1 Elektriske krav

Nøytralpunktsjording, krav til minste utkoplingstid samt bruk av gjennomgående jordliner i luftnett, er de viktigste tiltakene som begrenser konsekvensene av utilsiktede jordfeilsituasjoner i høyspenningsnettet.

Elektriske anlegg, herunder også luftledningsanlegg, skal i sin helhet ha betryggende isolasjon. Anlegg skal være utstyrt med:

- Utstyr som varsler isolasjonsfeil og jordslutning i anlegget
- Utstyr for utkopling av enpolet jordslutning
- Utstyr for hurtig automatisk utkopling ved topolet jordslutning

Dette innebærer i praksis at ulike tekniske løsninger for vern og overvåking må velges avhengig av spenningsnivå og nøytralpunktjording i de forskjellige nettene. Dersom slike tekniske løsninger ikke er etablert eller fungerer som tiltenkt, vil det oppstå farlige eller skadelige konsekvenser for mennesker, dyr og materielle verdier ved isolasjonsfeil. I stor grad kjenner en i dag godt til muligheter og begrensninger på dette feltet for ledningsanlegg basert på tre-, betong- og stålmaster. Dette har sammenheng med etablert praksis når det gjelder systemjording kombinert med jordingsanlegg for luftlinjer.

Utforming av jordingsanlegg og skjerming av konstruksjonsdeler av metall i komposittmaster forventes å være en viktig aktivitet for å unngå utilsiktede funksjonsegenskaper for vern og overvåking. Dette gjelder spesielt på høyere spenningsnivå hvor det benyttes stålmaster; noe som i Norge gjelder for 300-420 kV luftledninger. Isolerte og spolejordede kabel- og luftnett med spenning mindre eller lik 24 kV skal ha en minste overgangsmotstand mot jord. Dersom denne grensen underskrides skal driftspersonalet varsles automatisk, alternativt kan anlegget utkoples. Grensene for minste overgangsmotstand er:

- Kabelnett: minst 1000 Ω
- Luftnett og blandet nett: minst 3000 Ω

Konsekvensene av jordfeil i anlegg kan i mange tilfelle være farlige berøringsspenninger som overstiger de tillatte krav som er angitt i FEF 2006. Nøytralpunktjording, krav til minste utkoplingstid samt bruk av gjennomgående jordliner i luftnett er de viktigste tiltakene som begrenser konsekvensene av utilsiktede jordfeilsituasjoner i høyspenningsnettet. Topolet jordfeil og kortslutning skal koples ut hurtig og automatisk, noe som normalt er uproblematisk på alle spenningsnivå. Enpolet jordfeil skal utkoples hurtigst mulig og innenfor følgende tider:

- *Direktejordet nett:* 8 sek. (s). Dette er vanligvis uproblematisk fordi enpolet jordfeil vil innebære kortslutning og påfølgende utkopling av relevant del av nettet.
- *Isolert og spolejordet nett:* Fra 10 s til 2 timer (t) avhengig av hvordan nettstrukturen er oppbygget og spenningsnivå.
 - 10 s: Luftnett og blandet kabel-/luftnett med tilknyttet fordelingstransformator
 - 2 t: Luftnett og blandet kabel-/luftnett uten tilknyttet fordelingstransformator
 - 2 t: Industrinett med luftnett og blandet kabel-/luftnett
 - 24 min: Kabelnett (uten luftledning) med global jording

Kravet om 10 s utkoplingstid for luftnett tilknyttet fordelingstransformator, typisk 12-24 kV spenningsnivå, vil normalt tilfredsstilles i nett med gjennomgående jordline. Dette skyldes at overgangsmotstanden mot jord blir såpass lav at jordfeilvernet greier å detektere enpolet jordfeil. I nett uten gjennomgående jordline vil overgangsmotstanden mot jord ofte være så høy at enpolet jordfeil ute i nettet ikke blir detektert. I slike tilfeller kan nettet bli drevet med stående jordfeil, sågar med fasenedfall på bakken, uten at nettselskapet får automatisk melding om isolasjonsvikt og brudd på forskriftskrav.

4.1.2 Elektriske påkjenninger i stolpearrangement

Sannsynligheten for mastebrenner i 12-24 kV luftnett synes å være høyest for 25-35 år gamle anlegg i kystnære områder uten gjennomgående jordline. Ved potensialutjevning av metallideler

i mastetoppen og jordledere vil jordforbindelsene normalt føre lekkstrømmene slik at lokalt høye strømtettheter ikke oppstår i trevirket.

I et feilfritt trefasenett med symmetrisk belastning mellom fasene og symmetrisk forlegning av faseledere vil det ikke oppstå nullsystemspenning (U_0), og det vil ikke være spenningsforskjell mellom jord og traverser eller isolatorinnfesting. I praksis vil det imidlertid normalt alltid være spenningsforskjell mellom isolatorinnfesting/travers og jord som følge av usymmetri i nettet. Dette medfører at strømmer vil kunne flyte til jord langsetter stolper eller jordledninger forlagt langsetter stolpene. Større strømmer fra travers til jord via stolper eller jordledere vil oppstå ved forurensede isolatorer (økte lekkstrømmer pga. forurensning og fruktighet), skadede isolatorer eller faseleder i direkte berøring med traverser.

Kapazitivt overførte spenninger fra faseledere til trestolper kan resultere i unormalt høye lekkstrømmer i trevirket. Under gitte forhold kan dette gi så høye lokale strømtettheter at trevirket utsettes for ulmebrann med påfølgende fare for ytterligere brannspredning til bakken og omgivelsene. Viktige forutsetninger for slik varmeutvikling er at en viss mengde fuktighet i trevirket, f.eks. fra et kortvarig regnskyll, øker elektrisk ledningsevne i treet i kombinasjon med utilsiktet høyt spenningsfall over området. Dette gjør at kraftig varmeutvikling kan oppstå. Metallbolter og -skruer bidrar til å øke strømtettheten, noe som akselererer varmeutviklingen og øker sannsynligheten for antennelse av ulmebrann i treet.

Lekkstrømmer over forurensede 22 kV-isolatorer i kystnære områder i Australia har forårsaket mange mastebranner, og påfølgende store gress- og skogbranner. En viktig forutsetning for mastebranner i 22 kV mastearrangement er at slike ledninger er bygd uten gjennomgående jordline og uten potensialutjevning av metalldeleer i travers og stolper.

Det er også eksempler på at det har oppstått lokal høy strømtett og ulmebrann i overgangen mellom tretravers og den ene stolpen i en H-mast (**Figur 23**), fordi bentslingen løsnet og den ene faselederen ramlet ned på traversen. Dersom det hadde vært festet en jordtråd på oversiden av traversen og denne var koblet til direkte eller gjennomgående jording, ville dette problemet vært unngått. Problemet med en jordtråd på oversiden av tretraversen er at det er økt sannsynlighet for at fugler i masta får elektriske sjokk ved jordfeilstømmer fra faseleder via fugl til jord.

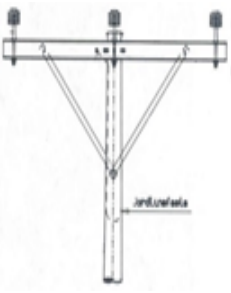




Figur 23. Ulmebrannen skyldes lokal høy strømtetthet i overgangen mellom traversen og stolpen i et 22 kV trefase H-mastarrangement. Den bakenforliggende årsaken var at traversen kom i berøring med faselederen ved den andre stolpen (Foto: P. Berntsen).

4.2 Justering av linekonfigurasjon

Planoppheng kan redusere kollisjonshyppigheten betydelig, men en flat linekonfigurasjon krever større faseavstand og dermed større grunnavståelse og mer ryddarbeid i skogsområder enn en linje med trekantoppheng. En ledning med trekantoppheng eller vertikaloppheng (**Figur 24**) har mindre krav til trasébredde, men anbefales ikke i fuglerike områder. En flat linekonfigurasjon krever større faseavstand og dermed større grunnavståelse og mer ryddarbeid i skogsområder enn en ledning med vertikal- eller trekantoppheng.

En horisontal faseavstand på 50 cm kan imidlertid benyttes hvis det ved fornyelse anvendes et belagt ledningssystem (BLX, BLL), som erfaringsmessig også vil øke driftssikkerheten. Bruk av BLX vil også medføre noe tykkere, og dermed mer synlige liner, noe som kan redusere risikoen for at fugler kolliderer. Faren for elektrokusjon vil også elimineres.

		
<p>Planoppheng kan redusere kollisjonshyppigheten hos fugl betydelig (Figur: REN).</p>	<p>Kraftledning med forsterket trekantoppheng anbefales ikke i viktige fugleområder.</p>	<p>Kraftledning med forsterket vertikal oppheng anbefales ikke i viktige fugleområder.</p>

Figur 24. Opphengssystem med ulik grad av kompaktering og sannsynlighet for fuglekollisjon.

4.3 Kabling

4.3.1 Innledning

Jord, hengekabel eller sjøkabel kan være mindre utsatt for avbrudd enn en luftledning i en del områder, men hvis en feil på ledningen først oppstår, er reparasjonstiden for kabelanlegg betydelig lenger enn for en luftledning. Veksling mellom kabel og luftledning kan være en meget dårlig og sårbar driftsmessig løsning av ledningsnettet. Kabelmaster vil øke problemene mht. drift og vedlikehold og kan også føre til at fugler blir drept som følge av elektrokusjon. En stor andel av feilene som oppstår i kabelanlegg opptrer i kabelendemaster ved overgangen fra luft/kabel. Oppstyking med innskutte kabelseksjoner kan også oppfattes som «et uryddig visuelt bilde».

4.3.1.1 Dagens praksis for bruk av luftnett/kabel i Norge

I 2003 var den totale lengden av luftledninger med spenning over 1 kV i Norge 93 000 km, mens tilsvarende mengde kabel var ca. 29 000 km (**Tabell 4**).

Tabell 4. *Elektrisitettsnettets utstrekning fordelt på sentral-, regional- og distribusjonsnett.*

Nett	Spenningsnivå (kV)	Luftledning (km)	Jordkabel (km)	Andel jordkabel (%)
Distribusjonsnett	1 – 22	63 000	28 000	31
Regionalnett	33 – 132	21 500	1 000	5
Sentralnett	220 – 420	8 300	50	0,6
Totalt		92 800	29 000	24

I distribusjonsnettet er andel kabel vesentlig høyere enn i regional- og sentralnettet. Dette skyldes i hovedsak at kostnadsforskjellen mellom kabel og luftledning er mindre for lavere spenningsnivåer. I tettbebygde områder er det vanskeligere å komme frem med luftledninger. I tette bysentre er det ofte praktisk umulig å bygge luftledninger, og det er vanlig at nettselskapene i de største byene har en områdekonsesjon som er utvidet til også å gjelde for kabelanlegg opp til 132 kV. Hoveddelen av kablene finnes følgelig i distribusjonsnettet i byer og tettbygde strøk. I regional- og sentralnettet (kraftledninger med spenning 50 kV eller høyere) er kabling hovedsakelig brukt i forbindelse med anlegg i byer og kraftstasjoner i fjell, ved fjordkryssinger eller andre situasjoner hvor luftledning ikke er et mulig alternativ. I disse tilfellene er altså tekniske hensyn utslagsgivende. Kabling i sentralnettet og regionalnettet på grunn av miljøhensyn har til nå vært lite utbredt.

Krav om kabel som alternativ til luftledning ble dominerende i nesten alle saker fra slutten av 1980-tallet, og er det fremdeles. Hensynene som er anført er først og fremst estetikk, mulig helsefare i boliger nær kraftledningen (magnetfelt, støy) og alternativt arealbruk. Det var først på 1990-tallet at ble det foretatt reelle vurderinger og avveininger mellom nytte og kostnad ved bruk av jordkabel. Med bakgrunn i økt samfunnsmessig interesse, tok NVE i 1991 initiativ til et prosjekt for å vurdere nærmere den teknisk/økonomiske forskjellen mellom kabelanlegg og luftledning for de høye spenningene.

Hvilke miljømessige fordeler og ulemper en luftledning eller en kabel vil kunne medføre, vil variere mye fra sak til sak. Kabling vil ikke være en miljømessig forbedring i alle tilfeller. Dette gjelder særlig for anlegg på høyere spenningsnivå, og anlegg utenfor tettbebygde områder. De estetiske ulempene vil i mange tilfeller kunne reduseres med trasejusteringer eller pålegg om fargebruk på master, liner og traverser. Når det gjelder kabel som avbøtende tiltak, sier St.prp. nr. 19 (2000-2001) at det for 300/420 kV kun er aktuelt med pålegg om kabling i helt spesielle unntakstilfeller med særdeles sterke miljøhensyn. For 66/132 kV sier man videre at luftledning normalt skal velges, men at kabling kan være aktuelt på kortere strekk i spesielle tilfeller med sterke verneinteresser eller store estetiske ulemper. I områder med spesielt viktige fuglebiotoper eller der det er registrert sjeldne fuglearter, kan spesielle tiltak vurderes – herunder kabling idet kollisjonsfare for fuglene da helt elimineres.

Kabler i jorden er i begrenset grad omgitt av et elektrisk felt da kablene har jordet metallskjerm. Elektriske felt fra kraftledninger skjerms av bygninger, trær osv. På grunn av kablernes kompakte forlegning er det magnetiske feltet rundt en jordkabel sterkest rett over kabelanlegget, og feltets utbredelse sideveis avtar raskere enn for luftledninger.

4.3.1.2 Kabelmarkedet

Markedets egen dynamikk har medført at mange nettselskaper har fått et kompetanseproblem. På lengre sikt kan dette medføre økte utetider ved kabelfeil på grunn av svekket beredskap. Denne utviklingen gjelder også for luftledningsanlegg, men feil på kabelanlegg medfører større konsekvenser fordi utetiden vanligvis er betydelig lengre.

Før 1995 kan den norske leverandørindustrien for kabel karakteriseres som følger: De var nasjonale «hoffleverandører» som leverte «full pakke» (planlegging, kabel, utlegging/montasje, skjøter, endemuffer, beskyttelsesutstyr, m.m.) og det ble sluttet drifts- og vedlikeholdsavtaler. Etter 1995 er bruk av «full pakke»-løsninger betraktelig redusert. Opp til 132 kV-nivå vil nå de fleste kjøpe de ulike delene av «pakken» fra ulike leverandører. De reduserte prisene på kabel og redusert etterspørsel har resultert i omstrukturering, spesialisering og nedleggelse av kabelfabrikker. Men det er fortsatt mulig å kjøpe «full pakke» hvis man ønsker. Et moment her er at grensesnitt og garantiansvar gjør det mer aktuelt for byggherren med «full pakke»-løsning på 420 kV hvor konsekvensene og kostnadene ved feil er større enn ved lavere spenninger.

Ved feil på et anlegg må det forventes at kabelprodusentene prioriterer de som har kjøpt full pakke hos dem. Man må derfor selv kunne reparere feilen eller godta de tilbud og reparasjonstider markedet kan tilby hvis man ikke har sluttet drifts- og vedlikeholdsavtale med en «hoffleverandør» eller et annet selskap.

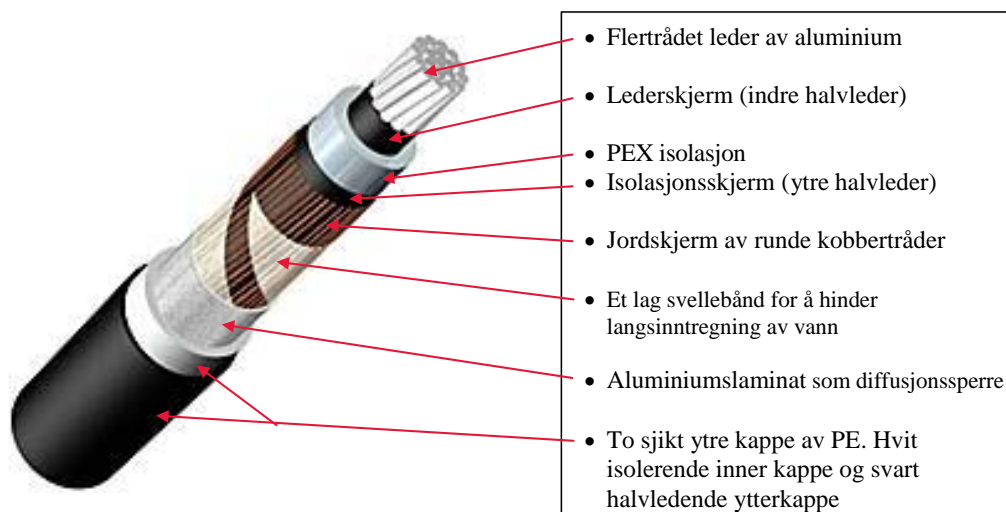
I praksis betyr dette at utviklingen går mot at energiselskapene selv må ta ansvaret for grensesnitt og helhet når det skal etableres nye kabelanlegg. Nettselskaper bruker nå i økende grad egne ressurser til installasjon eller de kjøper installasjonstjenester fra andre nettselskaper som har utdannet egne montører på skjøting av PEX-kabel. Riggetid og tilgjengelighet på ekstern bistand kan være svært lang. Bare noen få norske nettselskaper har i dag den nødvendige kompetanse for dagens situasjon.

Prisene på materiell og entreprenørtjenester styres av råvarepriser og markedets generelle etterspørsel etter varer og tjenester. Innkjøpsprisen for kabel ble lavere utover 1990-tallet. Europa var preget av lavkonjunktur, noe som førte til liten etterspørsel og relativt stor kapasitet hos kabelfabrikantene. Dette førte til at flere kabelfabrikker i Europa ble lagt ned, noe som har ført til at kapasiteten på produksjon av kabel har blitt ytterligere redusert etter århundreskiftet, og nå er for liten. Et mer balansert marked har ført til en økning av prisene generelt i forhold til nivået på 1990-tallet. Når det gjelder markedet for kabelutstyr, er ikke situasjonen den samme. Kabelutstysprisen har vært relativt stabil fra midten av 1990-tallet og frem til i dag.

4.3.2 Kabeltyper og kabelanlegg

Utstyr for jordkabelanlegg består foruten av selve kabelen av endemuffer og skjøter, men kan også omfatte forskjellig beskyttelsesutstyr og overvåkingsutstyr. I enkleste utførelse består et kabelanlegg av én eller tre kabler forlagt og beskyttet i jordgrøft langs en valgt trase og med endemuffer ved overgang til andre komponenter i nettet. Det vanligste i dag på alle spennings-trinn er å benytte tre enlederjordkabler forlagt i trekant eller flat forlegning i samme grøft eller i rør.

Kabel med ekstrudert isolasjon (PEX-kabel) er nå enerådende på alle spenningsnivåer til og med 132 kV. I løpet av de siste ti årene har PEX-kabelen stort sett erstattet oljetrykkskabelen for nye anlegg. Det anbefales i dag PEX-kabel på alle spenningsnivå til og med 420 kV. **Figur 26** viser en typisk PEX-kabelkonstruksjon som i dag brukes i Norge som jordkabel.



Figur 25. Typisk konstruksjon av en vanntett mellomspent PEX-kabel.

Isolasjonsmaterialet i PEX-kabler er kryssbundet polyetylen (**Figur 25**). I de første årene (1970-tallet) ble kryssbindingen utført ved dampvulkanisering, noe som i senere tid skulle vise seg å medføre problemer med fukt i isolasjonen og deretter vanntrevekst. Tørr vulkanisering av kablene ble innført i Norge i 1982.

Mellom leder og isolasjon og mellom isolasjon og skjerm brukes et delvis ledende materiale ("halvleder") for å jevne ut det elektriske feltet og dermed unngå partielle utladninger. Den indre halvlederen er ekstrudert på lederen, mens den ytre halvlederen i den første generasjonen PEX-kabler besto av et halvledende lakksjikt med et halvledende tøyband viklet over. Fra 1978 (andre generasjon PEX-kabler) ble også den ytre halvlederen ekstrudert; i første omgang ble den gjort strippbar slik at den kunne fjernes uten bruk av spesialverktøy, men etter hvert ble den fastvulket til selve isolasjonen (fra 1992 i Norge).

Etter at problemene med vanntrevekst i PEX-kabler ble kjent har utviklingen fra og med 1990-årene gått mer mot vanntette konstruksjoner (tredje generasjon PEX-kabel). Lederen tettes med et svullepulver som blir geléaktig når det kommer i kontakt med vann. Dette hindrer aksiell fukttransport samtidig som fuktighet absorberes og forsinker fuktopptak i PEX-isolasjonen. I tillegg benyttes det radiell vanntetting i form av et tynt aluminiumslaminat på innsiden av kappen.

Jordskjermen er av kobbertråder, og er vanligvis jordet i begge ender. Ytterst er en kappe, vanligvis av PE (eller PVC på eldre kabler), som beskytter kabelen mot fukt og mekaniske skader. I trefasekabler er skjerm og kappe felles for de tre fasene.

4.3.2.1 Feiltyper på kabelanlegg

De feiltypene som er mest aktuelle for et PEX-kabelanlegg er:

- vanntrevekst
- termisk aldring
- eksterne/mekaniske/tredjeparts skader
- mekanisk slitasje
- korrosjon på kopperskjermen

- partielle utladninger
- varmgang
- fuktinntrengning

En av de vanligste årsakene til feil på kabler er nok ytre skader som graveskader. Produksjonsfeil oppdages som regel når man tester kablet før den legges ut og er derfor mindre sannsynlig at oppstår under drift. Montasje feil er en viktig årsak til feil på kabelskjøter og endeavslutninger. Kvaliteten på utføringen av skjøtene er sterkt avhengig av erfaringen til montøren.

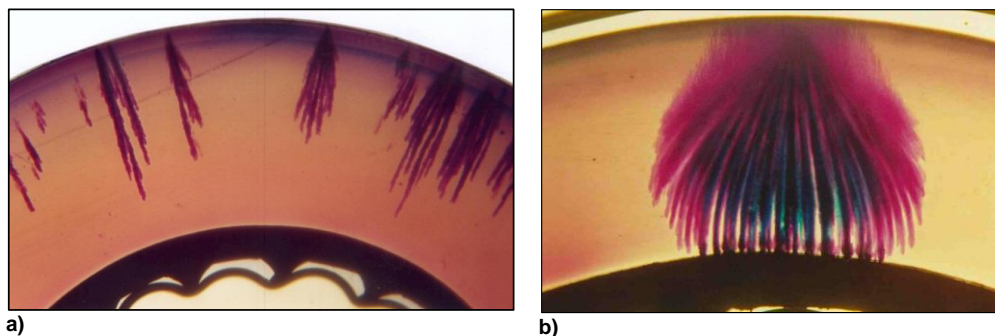
Det vanligste problemet for PEX-kabler har vært vanntrevekst i isolasjonen. De siste tiårene har det imidlertid vært en stor forbedring i isolasjonsteknologien og produksjonsteknologien for kabler. Vanntrevekst er derfor ikke ventet å være en dominerende feiltype fremover for nyere kabler. For fremtidige anlegg er det ventet at feil knyttet til aldring som regel vil oppstå på grunn av dårlige installasjonsbetingelser (hotspots) i traseen (f.eks. ved kryssing av et fjernvarmerør). Ved slike hotspots vil man få perioder hvor kablet over lengre tid blir drevet med en høyere temperatur enn maksimalt tillatt driftstemperatur.

4.3.2.2 Feilstatistikk for kabel og luftledning

For 132 kV anlegg regnes det med at det er omtrent like mange feil per km kabel som per km luftledning. For lavere spenningsnivåer har kabler normalt færre feil per km enn luftledninger. På grunn av de fysiske belastningene luftledninger utsettes for (vær og vind), kan det være naturlig å tenke seg at det sjeldnere vil oppstå feil på kabelanlegg enn på luftledninger. Dette har imidlertid vist seg ikke alltid å være tilfelle for de høyeste spenningsnivåene (særlig over 132 kV). En av grunnene til dette er at for de høyeste spenningsnivåene (132 kV og høyere) er luftledninger (i hovedsak på grunn av mer solide mastkonstruksjoner), mer driftssikre enn for de lavere spenningsnivåene. Videre er kabelanlegg mer komplekse enn luftledninger, noe som betyr et større antall komponenter hvor feil kan oppstå. Denne kompleksiteten får størst betydning på de høyeste spenningsnivåene, fordi høyere driftsspenning gir økt påkjenning på isolasjonen i kablet, og da spesielt på svake punkter som endeavslutninger og skjøter.

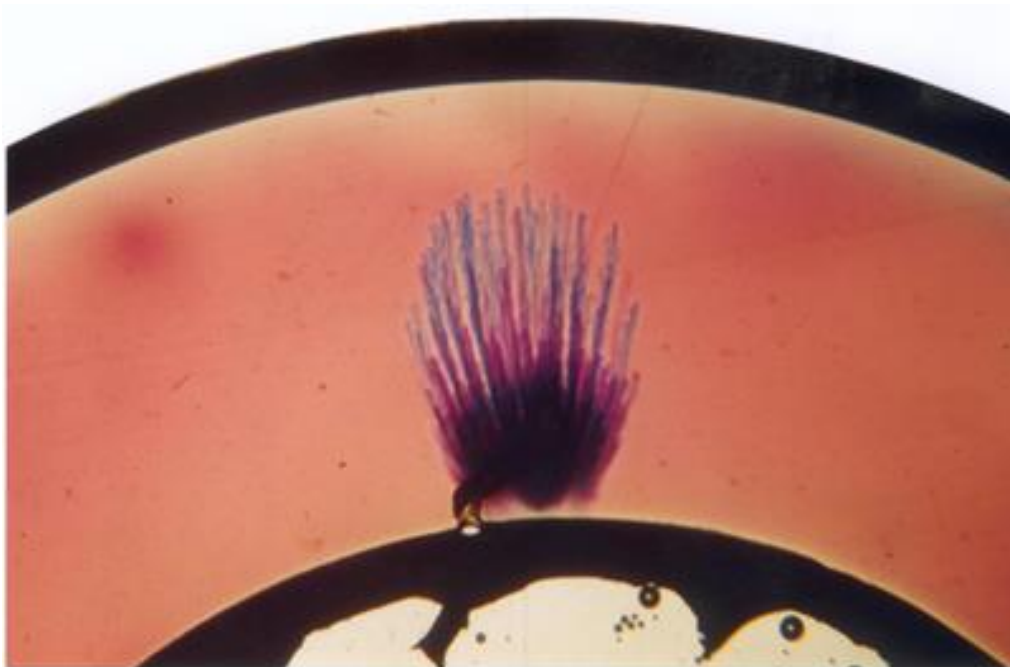
Flest feil på selve kablet kan tilskrives indre årsaker, dvs. aldring. Aldring er som navnet indikerer, en kontinuerlig prosess hvor tilstanden til kablet forringes gradvis med tiden. Sannsynligheten for at indre forhold gir kabelfeil vil altså være korrelert til kabelens alder. Som tidligere nevnt antas den dominerende aldringsmekanismen for PEX-kabler i dag å være vanntrevekst.

Spesielt har det forekommet en del kabelhavarier på den første generasjonen PEX kabler fra 1970-tallet. Dette skyldes oftest ventilerte vanntrevekst fra den lakkerte ytre halvlederen (**Figur 26a**). Problemerkene med første generasjons PEX-kabel har ført til at produsentene har endret både produksjonsprosessene og kabelkonstruksjonene, noe som har gitt forbedringer i kabelens elektriske egenskaper.

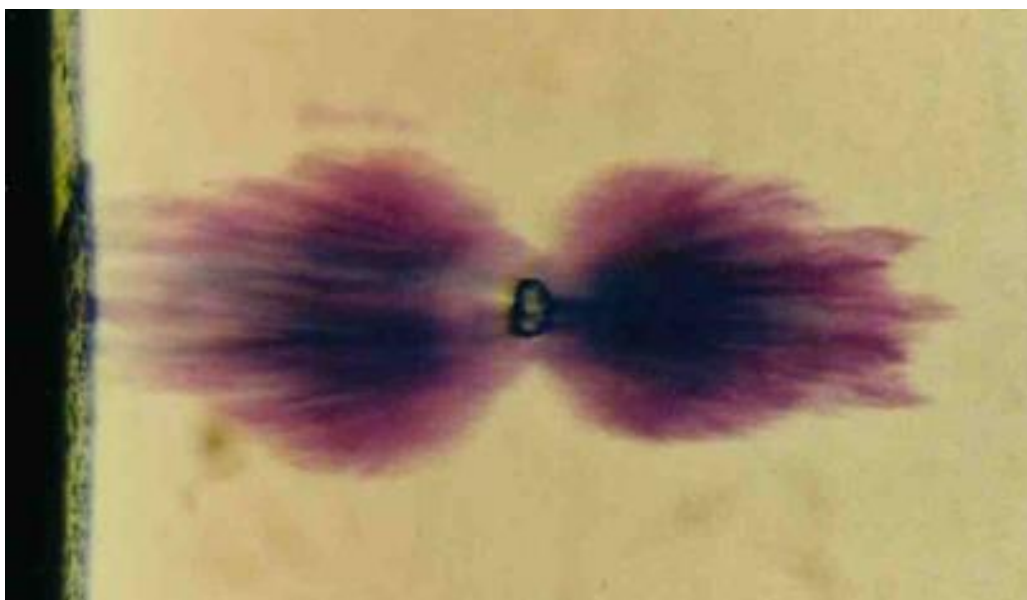


Figur 26. Typisk vanntrevekst i kabler fra 1970-årene (a) og 1980-årene (b).

Vanntrevekst kan opptre fra ytre halvleder (ventilerte vanntreer fra ytre halvleder (**Figur 26 a, b**), fra indre halvleder (ventilerte vanntreer fra indre halvleder (**Figur 27**) eller innesluttet i PEX-isolasjonen fra et eller annet initieringspunkt (forurensning) (bow-tie trær (sløyfe-trær)) (**Figur 28**). For at vanntrevekst skal kunne oppstå må man (som et minimum) ha elektrisk felt og fuktighet samtidig til stede i kabelkonstruksjonen. Disse eldste kablene var dampvulkaniserte. Dette etterlot høye fuktighetsnivåer i PEX-isolasjonen.



Figur 27. Vanntre som vokser fra indre halvleder. Bildet viser et vanntre som har vokst gjennom ca. 75 % av isolasjonstykkelsen (5,5 mm).

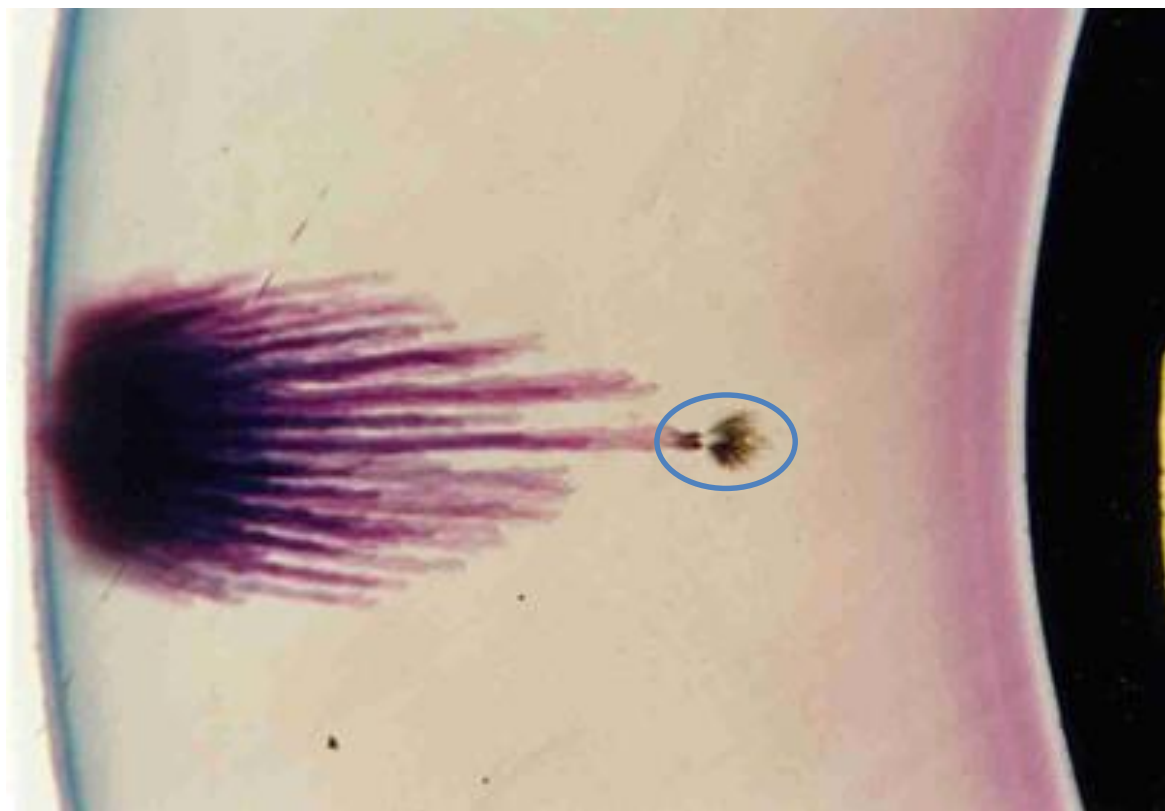


Figur 28. «Bow-tie» tre fra en forurensning i PEX isolasjonen. Vanligvis stopper denne type trær å vokse når de blir 0,5 mm lange, men hvis det er store forurensninger i isolasjonsmaterialet kan de vokse lengre.

I Norge har indre halvleder vært ekstrudert helt fra de første PEX-kablene ble introdusert. Dermed har vi unngått mange av de problemene som man opplevde i USA og Japan som følge av at de i begynnelsen hadde en båndert indre halvleder. Flere forandringer med hensyn på ytre halvleder har skjedd opp gjennom årene. Den viktigste var nok at ytre halvleder av lakk og bånd i 1978 ble erstattet av ekstrudert strippbar ytre halvleder. I 1992 ble fastvulket ytre halvleder innført som en standard løsning. Det har fått stor betydning for utstyrsfeilene idet man har unngått bl.a. knivkutt.

Det er også vel kjent at vann i selve lederen innen kort tid kan bli svært ødeleggende på driftsegenskapene for både nye og gamle PEX-kabler. Det ble derfor innført svellepulver i de fleste kabler produsert etter 1989. Dette ble gjort for å hindre at vann kommer inn mellom kordelene i lederen hvis kabler som ligger nedgravd i fuktige omgivelser blir skadet, ved f.eks. graveskade.

Problemene med vanntrevekst er prinsipielt knyttet til lengden av vanntrærne. Veksthastigheten er vanligvis liten; det tar normalt ca. 10-20 år før vanntrærne får betydning for driftsegenskapene til kablene. Et vanntre har en viss (men kraftig redusert) isolasjonsevne. Når vanntrærne blir lengre, vil den elektriske påkjenningen på «den friske PEX-isolasjonen» øke. Ved en gitt lengde (oftest opp mot 80-100% av isolasjonstykkelsen for 12 og 24 kV PEX-kabler) vil såkalte «elektriske trær» dannes (**Figur 29**). De oppstår sannsynligvis som en følge av forstyrrelser i nettet (jordfeil, transiente overspenninger, eller annet). Grenene i elektriske trær består av karboniserte kanaler med dårlig elektrisk isolasjonsevne. Dette betyr at dannelsen av elektriske trær er «begynnelsen til slutten» kabelens levetid er oppbrukt.



Figur 29. Når vanntreet blir for langt til at "restisolasjonen" kan holde det påtrykte elektriske feltet begynner en destruktiv fase i aldringen; det oppstår karboniserte kanaler inne i PEX-isolasjonen (såkalte elektriske trær) i spissen av vanntreet – se inne i den blå ellipsen.

4.3.2.3 Reparasjonstid

Utetiden for kabelanlegg er i gjennomsnitt er 25 ganger lengre enn utetiden for luftledninger. Når feil oppstår i et kabelanlegg, er første fase i reparasjonsarbeidet lokalisering av feilen. Ved graveskader vil normalt den som har forvoldt skaden selv melde fra. For andre feilårsaker må man ofte bruke måleutstyr for å finne feilen. Feilsøkingen kan være meget tidkrevende om man ikke har erfaring, og bruk av spesialister er ofte nødvendig for å redusere tidsbruken. Normalt bør man finne feilen i løpet av 1 døgn. Klargjøring til reparasjon bør normalt kunne skje innen 2 døgn etter at feilen er lokalisert.

Utetiden ved feil på kabelanlegg vil være avhengig av nettselskapets nivå på beredskapen (**Tabell 5**). Av tabellen fremgår at selv ved svært høy beredskap vil reparasjonstiden kunne være opp mot 8 dager for et 420 kV kabelanlegg. For 132 kV vil reparasjonstiden kunne være opp mot 3 dager. Ved lavere beredskap øker reparasjonstiden betraktelig.

Tabell 5. Normtall for utetid ved jordkabelfeil ved ulike beredskapsnivåer (antall døgn).

Beredskapsnivå	Maksimal	Forhøyet	Normal
420 kV	< 8	< 10	< 14
132 kV	< 3	< 6	< 12

For luftledninger kan de fleste feil repareres i løpet av svært kort tid. Selv de mest alvorlige feilene (som reising av ny mast) lar seg oftest løse innen 1-4 døgn. Et kabelanleggs utlignelighet vil som regel medføre større risiko for ikke-levert energi. Man har funnet at utetiden for kabelanlegg i gjennomsnitt er 25 ganger lengre enn utetiden for luftledninger. Normalt vil ikke forsyningssvikt inntre ved feil i sentralnettet, fordi de fleste områder har to eller flersidig innmatning. Men overføringssystemet blir mer sårbart for driftsforstyrrelser og når en viktig komponent faller ut kan dette medføre restriksjoner i kraftmarkedet.

Kablene som lages i dag har betydelig lengre levetid enn kablene som ble laget for noen tiår siden. Isolert sett kan myten om at jordkabel teknisk sett er et dårlig og dermed uønsket alternativ til luftledning avlives. Men siden reparasjonstiden normalt er mye lengre for kabler enn for luftledninger og konsekvensen av feil på et kabelanlegg dermed kan bli mye større enn konsekvensen av feil på en luftledning, bør det være reservemuligheter i nettet (masket nett) på de stedene hvor kabel vurderes i regionalnettet/sentralnettet. Samfunnets sårbarhet knyttet til feil i kraftsystemet har økt betydelig de siste årene.

4.3.3 Kostnader

4.3.3.1 Investeringskostnader

Luftledninger har langt lavere investeringskostnader og er oftest enklere å føre frem enn kabelanlegg. Forskjellen i investeringskostnad for luftledning og kabel øker med økende spenningsnivå. En slik kostnad kan medføre at inntektsrammen på sikt må økes, og kan dermed også påvirke nettleien. Prisforskjellen mellom kabelanlegg og luftledninger har vært størst for de høyeste spenningsnivåene og NVE har vært av den oppfatning at man har oppnådd størst nytte pr. krone investert ved i første rekke å bruke kabel i distribusjonsnettet (22 kV til 1 kV) og anlegg med lav spenning (under 1 kV). I regional- og sentralnettet er det i dag hovedsakelig luftledninger.

4.3.3.2 Investeringstkostnader for kabelanlegg

Selv om kabelprisene har blitt redusert siden midten av 1990-tallet, har et kabelanlegg flere kostnadskomponenter enn selve kabelen. Andre viktige kostnadskomponenter og forhold som påvirker kostnadsnivået er:

- **Tilleggsutstyr**
 - Endemuffer, skjøter, stativer, klammer og lignende, men kan også omfatte forskjellig beskyttelsesutstyr og overvåkingsutstyr. Innskutte kabelanlegg øker behovet for spolekapasitet i spolejordet nett. Ved lengre kabeloverføringer vil også behovet for reaktorer melde seg, for å motvirke/balansere høy ladestrøm på kablene.
- **Utlekking og montasje**
 - Kabling i veiløst terreng vil kreve ekstra tiltak for å føre fram tungt teknisk utstyr, kabelsand etc. Det må derfor etableres midlertidige anleggsveier langs hele kabeltraséen, for masse- og materialtransport samt for graving av grøfter.
- **Gravekostnader**
 - Terreng og grunnforhold påvirker kostnadene. Jord, myr, dyrket mark, kupert terreng, kryssing av vann eller skogsterreng, krever bruk av ulike metoder for etablering av kabelanlegget. Kabelgrøft over fjellgrunn, krever at grøften sprenges. Grøftebredden for en 132 kV-ledning blir ca. 2 m.
- **Trasevalg**
 - Tilgjengelige muligheter for trasevalg kan gjøre at lengden på kabelen blir betydelig lengre enn lengden for alternativ luftledning.
 - Det stilles gjerne krav til minimumslengde på et kabelanlegg (ca. 500-1000 m) for at det ikke skal føre til store tekniske ulemper/utfordringer ved bl.a. verninnstillinger.
 - Variasjonen i enhetspris (kr/km) på kabelanlegg avhenger av anleggskostnadene som refererer seg til terreng- og grunnforhold.
- **Kabelanlegg i sjø**
 - Den største forskjellen på jord- og sjøkabler, er at en sjøkabel må ha en tettere og armert kappe rundt de elektriske lederne. Det kan benyttes leder av aluminium eller kobber. Kobberleder benyttes der kabelanlegget ligger i saltvann eller forurenset vann.
 - Før legging av sjøkabler kreves kartlegging av grunnforholdene på sjøbunnen.
 - Leggekostnadene er usikre der grunnforholdene ikke er kartlagt i detalj. Vanligvis legges kablene direkte på sjøbunnen. Hvis kabelanlegget kan utsettes for skader fra fiskeredskap, båtankere og lignende, må kablene av sikkerhetsmessige hensyn spyles ned i løsmasser og/eller dekkes til med beskyttende matter. Nedspyling i sjøbunn vil være svært fordyrende for et prosjekt.
- Overføringskapasiteten vil begrenses noe, og kablene vil være vanskeligere å komme til for reparasjon.
- Spesielt i landtakssonen (0-20 m dyp) kan det være nødvendig å sikre sjøkabelanlegget mot korrosjon, skruis og kraftige bølger.
 - Ilandføring av sjøkabler og overgang til luftledning, krever en litt større mastekonstruksjon. Plassering av endemaster kan være konfliktfylt i en strandsone.
- Administrasjon, juridisk bistand og prosess rundt plan- og reguleringsarbeid.
- Hensyn til annen infrastruktur.
- Krav til dokumentasjon og grunnundersøkelser.

Disse ulike kostnadskomponentene vil variere svært mye fra anlegg til anlegg. Dette skyldes først og fremst kabelanleggets lengde i forhold til alternativet med luftledning, krav til overføringskapasitet og grøftkostnadenes omfang. Det er derfor ikke mulig på forhånd å fastsette nøyaktig hvor store kostnadene for et konkret anlegg vil være.

Ved behov for stor overføringskapasitet kan det være nødvendig å legge to eller flere kabelsett. Ett ekstra kabelsett vil kunne gi nesten en dobling av kostnadene. Dette betyr at marginalkostnaden for kapasitetsøkning er forholdsvis stor og trinnvis. Kapasiteten vil imidlertid ikke dobles

ved to kabelsett på grunn av nærføring og termiske forhold. Det vil også være stor forskjell på å legge kabelanlegg i forbindelse med ny infrastruktur, nye veger, i forhold til å legge kabel i et bysentrum hvor man må ta hensyn til eksisterende infrastruktur, trafikkavvikling osv. Dette kan fort doble kostnadene.

4.3.3.3 Investeringskostnader for luftledninger

De viktigste kostnadskomponentene for bygging av luftledninger er master, fundamenter, liner og armatur, montasje/bygging og transport. I tillegg kommer kostnader knyttet til erverv av nødvendig grunn og rettigheter, planlegging/administrasjon og juridisk bistand. Behov for juridisk bistand er normalt knyttet til erverv av grunn og rettigheter.

Overføringskapasiteten er bestemt av driftsspenningen, antall liner pr. fase og linenes tverrsnitt. Ekstrakostnaden for å øke tverrsnittet for linene eller antallet liner er relativt beskjeden. Marginalkostnaden for kapasitetsøkning er dermed relativt liten for luftledninger sammenliknet med kabel. For luftledninger er kostnadene til materiell en relativt stor andel av den totale investeringskostnaden. Det er små forskjeller i kostnadene mellom 66 kV og 132 kV luftledninger. Det som betyr mest for kostnadsdifferansene er linedimensjoner, klimalaster, terrengtype og om det benyttes toppliner (toppliner benyttes som lynbeskyttelse og til fremføring av jording). En 66 kV-luftledning med grovt linetverrsnitt og toppliner og som er bygget i vanskelig terreng med store klimalaster, kan bli dyrere enn en 132 kV med tynne strømførende liner, uten toppliner og som er bygget i lett terreng med små klimalaster.

4.3.3.4 Sammenlikning av kabelanlegg og luftledninger

Selv om kostnadene vil variere svært mye fra anlegg til anlegg, er det i **Tabell 6** satt opp forventet investeringskostnad i mill. kr per km for luftledninger ved enkle byggeforhold og vanlig linetverrsnitt sammenliknet med forventet investeringskostnad for billige kabelanlegg. Kostnaden for 66 og 132 kV er oppgitt for ett kabelsett. Kostnaden for 300 og 420 kV er oppgitt for to kabelsett fordi overføringsbehovet ved dette spenningsnivået ofte overskrider kapasiteten til ett kabelsett.

Tabell 6. Sammenligning av investeringskostnad for luftledninger og kabelanlegg.

Spenningsnivå	Kostnad for luftledninger (Mkr/km)	Kostnad for kabelanlegg (Mkr/km)
66 kV	0,8	3
132 kV	1	5
300 kV	3	20
420 kV	4	22

Det er her gitt tall på investeringskostnaden for en «billig» luftledning og et «billig» kabelanlegg i lett terreng med få krysningssjobjekt på de ulike spenningsnivåene. Begge anleggstyper kan bli mer kostbare enn dette. Særlig kan kabelanlegg få svært høye kostnader. Tabellen viser at kostnadsforholdet mellom et kabelanlegg og en luftledning minimum kan forventes å være 4 for 66 kV, 5 for 132 kV og 7,5 for 420 kV. Fordi kabelanlegg ofte vil bli dyrere enn minimumskostnaden, vil kostnadsforholdet for mange anlegg bli betydelig høyere enn det tabellen viser.

4.3.3.5 Vedlikeholdskostnader

Avbruddskostnaden ved feil på et kabelanlegg kan bli svært stor sammenlignet med en luftledning. For begge typer anlegg utgjør vedlikeholdskostnadene en liten andel av de totale kostnadene. De gamle oljekablene krevde regelmessig kontroll og etterfylling av kabelolje, søking etter lekkasje osv. For PEX-kabler er det ikke normalt å drive forebyggende vedlikehold. PEX-kabler er nå i ferd med å bli enerådende også på 300/420 kV og vedlikeholdskostnadene er derfor ventet å gå ned for anlegg på disse to spenningsnivåene. For luftledninger vil forebyggende vedlikehold som befaringer og skogrydding ofte være en større utgiftspost enn nødvendige reparasjoner fordi reparasjoner i forbindelse med feil normalt vil være lite omfattende. For begge typer anlegg utgjør vedlikeholdskostnadene en liten andel av de totale kostnadene. Avbruddskostnaden ved feil på et kabelanlegg kan bli svært store sammenlignet med avbruddskostnaden ved feil på en luftledning fordi utetiden ved feil på et kabelanlegg kan bli svært lang. Kabelfeil på spenningsnivået 132 kV og høyere er ofte svært omfattende å reparere.

4.3.3.6 Overføringskapasitet

Overføringskapasiteten til en luftledning kan dobles ved moderate tilleggskostnader, men for kabler kan det være nødvendig å legge to eller flere kabelsett. For kabler må varmen som produseres i lederen avledes gjennom kabelisolasjonen og videre ned i jordsmonnet som har begrenset varmeledningsevne. Den strømførende lederen i en kabel må derfor ha større tverrsnitt enn dens tilsvarende luftledning for å redusere den elektriske motstanden og dermed varmen som blir produsert. I tillegg til at selve lederen har større tverrsnitt, trenger kabelen også et tykt isolasjonslag. Samlet gjør dette at kabler er vesentlig tykkere og dyrere enn luftledningslinjer.

Et annet moment som skiller kabelanlegg fra luftledninger, er at en ganske stor økning i overføringskapasitet (f.eks. dobling) medfører relativt moderate tilleggskostnader for en luftledning. For en luftledning økes kapasiteten i trinn ved valg av leder og for eksempel doble ledere, uten vesentlig endring av mastene. For kabler vil man derimot ved behov for stor overføringskapasitet være nødt til å legge to eller flere kabelsett. For 420 kV kan ett kabelsett maksimalt overføre ca. 700 MVA. For 300 kV kan ett kabelsett maksimalt overføre ca. 500 MVA. Innskutte kabellengder skal ikke være en begrensning i overføringen. Tapsdifferansen mellom ledning og kabel vil i en normal forsyningssituasjon kunne neglisjeres. Hvis forbindelsen lastes opp mot anleggets kapasitetsgrense, vil tapskostnaden for en kabelløsning øke i forhold til en luftledning.

Muligheten i en krisesituasjon til å belaste anlegget utover kapasitetsnivået, er mindre for kabler enn for luftledninger. Kortvarig overbelastning av kabler er mulig, men dog svært uheldig da teknisk levetid avkortes/reduseres. Overbelastning av kabler betegnes som nøddrift og må begrenses til 0,5-2 timer. Årsaken til at kabler skades ved overbelastning, er at evnen til egen varmeavledning ikke er tilstrekkelig. Uttørring av jord og høy termisk motstand i nærmeste omgivelse vil medføre at kabelen når maks temperatur ved lavere laststrøm. En gitt kabel vil derfor ha ulik overføringsevne ved ulike forlegningsforhold og er slik sett mer avhengig av lokale variasjoner enn en luftledning. Kabler har imidlertid en høy termisk tidskonstant (størrelsesorden timer). For kortere perioder er det derfor mulig å overføre vesentlig større energimengder. For luftledninger er en driftssituasjon med overlast mer kontrollerbar da lufttemperatur og vind kjøler ledningene naturlig.

5 Referanser

- Aldrich, J.W., Graber, R.R., Munro, D.A., Wallace, G.J., West, G.C. & Gahalane, V.H. 1966. Mortality at ceilometers. - *Auk* 83: 465-467.
- Alerstam, T. 1977. Why do migrating birds fly along coastlines? - *Journal of Theoretical Biology* 65: 699-712.
- Alerstam, T. & Karlsson, J. 1977. Fåglarnas flyghöjder och fågelkollisioner med byggnadsverk. En utredning för bedömning av risikoen för fågelkollisioner med vindkraftverk. - Department of Zoology, University of Lund. Report. 29 s.
- Alonso, J.C., Alonso, J.A. & Munoz-Pulido, R. 1994. Mitigation of bird collisions with transmission lines through groundwire marking. - *Biological Conservation* 67: 129-134.
- Anderson, M.D. 2002. Karoo Large terrestrial bird powerline project. - Report No. 1. Johannesburg: Eskom (Unpublished report).
- Anon. 1986. Shriekers and bangers amongst new bird devices. - *International Pest Control*: 106.
- APLIC (Avian Power Line Interaction Committee). 1994. Mitigating bird collisions with power lines: the state of the art in 1994. - Edison Electrical Institute, Washington D.C.
- APLIC (Avian Power Line Interaction Committee). 2006. Suggested practices for avian protection on power lines: The State of the Art in 2006. - Edison Electric Institute, APLIC and California Energy Commission. Washington, DC and Sacramento, CA.
- APLIC (Avian Power Line Interaction Committee). 2012. Reducing Avian Collisions with Power Lines: The State of the Art in 2012. - Edison Electric Institute and APLIC. Washington, D.C.
- Arend, P.H. 1970. The ecological impacts of transmission lines on the wildlife of San Francisco Bay. - A report by Wildlife Associates to Pacific Gas and Electrical Company, San Remo, California. 21 s.
- Avery, M.L. (red.) 1978. Impacts of transmission lines on birds flight. - *Proc. Oak Ridge Ass. Univ. Tennessee*: 151 s.
- Avery, M.L., Springer, P.F. & Cassel, J.F. 1976. The effects of a tall tower on nocturnal bird migration - a portable ceilometer study. - *Auk* 93: 281-291.
- Avery, M. L. 1979. Review of avian mortality due to Collisions with manmade Structures. - U.S. Fish and Wildlife Service, Ann Arbor, Michigan. <http://digital-commons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=icwdmbirdcontrol>.
- Avery, M.L., Springer, P.F. & Dailey, N.S. 1980: Avian mortality at man-made structures: an annotated bibliography (revised). - U.S. Fish and Wildlife Service, Biological Services Program, Plant Team FWS/OBS-80/54, U.S. Department of the Interior. 152 s.
- Barrientos, R., Alonso, J.C., Ponce, C. & Palacín, C. 2011. xMeta-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.
- 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(3): e32569. doi:10.1371/journal.pone.003256.
- Benson, P.C. 1981. Large raptor electrocution and power pole utilization: a study in six western states. - Ph.D. Dissertation. Brigham Young University, Provo, Utah. 98 s.
- Benson, P.C. 1982. Prevention of golden eagle electrocution. - EPRI, EA-2680, Project 1002. Electric Power Research Institute.
- Bern Convention 2004. Recommendation No. 110 on minimising adverse effects of above-ground electricity transmission facilities (power lines) on birds - (<https://wcd.coe.int/ViewDoc.jsp?id=847305&BackColorInternet=DBDCF2&BackColorIntranet=FDC864&BackColorLogged=FDC864#Top>).
- Bevanger, K. 1990. Topographic aspects of transmission wire collision hazards to game birds in the Central Norwegian coniferous forest. - *Fauna norvegica Ser. C, Cinclus* 13: 11-18.
- Bevanger, K. 1993. Avian interactions with utility structures - a biological approach. - University of Trondheim. Dr. Scient. Thesis.
- Bevanger, K. 1994a. Bird interactions with utility structures; collision and electrocution, causes and mitigating measures. - *Ibis* 136: 412-425.

- Bevanger, K. 1994b. Three questions on utility structures and avian mortality - Fauna norvegica Ser. C, Cinclus 17: 107-114.
- Bevanger, K. 1994c. Konsekvenser av en 66 kV kraftledning for fuglelivet ved Borrevann, Vestfold. - NINA Forskningsrapport 52. 37 s.
- Bevanger, K. 1995a. Tetraonid mortality caused by collisions with power lines in boreal forest habitats in central Norway. - Fauna norvegica. Ser. C, Cinclus 18: 41-51.
- Bevanger, K. 1995b. Estimates and population consequences of tetraonid mortality caused by collisions with high tension power lines in Norway. - Journal of Applied Ecology 32: 745-753.
- Bevanger, K. 1995c. Kraftledninger og fugl. Oversikt og tilrådninger. - Delprosjekt innen NVEs utredningsprosjekt: Miljøkriterier for valg av kabel". NVE Rapport.
- Bevanger, K. 1998. Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. - Biological Conservation 86: 67-76.
- Bevanger, K. 1999. Estimating bird mortality caused by collision with power lines and electrocution; a review of methodology. - S. 29-56 i Ferrer, M. & Janss, G.F.E. (red.). Birds and power lines. Collision, electrocution and breeding. Quercus, Spania.
- Bevanger, K. 2011. Kraftledninger og fugl. Oppsummering av generelle og nettspesifikke problemstillinger. - NINA Rapport 674. 60 s.
- Bevanger, K., Bartzke, G., Brøseth, H., Gjershaug, J.O., Hanssen, F., Jacobsen, K.-O., Kvaløy, P., May, R., Nygård, T., Pedersen, H.C., Reitan, O., Refsnæs, S., Stokke, S. & Vang, R. 2009. "Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives" (OPTIPOL). Progress Report 2009. - NINA Report 504. 46 s.
- Bevanger, K., Bartzke, G., Brøseth, H., Dahl, E.L., Gjershaug, J.O., Hanssen, F., Jacobsen, K.-O., Kvaløy, P., May, R., Meås, R., Nygård, T., Refsnæs, S., Stokke, S. & Vang, R. 2010. Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives (OPTIPOL). Progress Report 2010. - NINA Report 619. 51 s.
- Bevanger, K., Bartzke, G., Brøseth, H., Dahl, E.L., Gjershaug, J.O., Hanssen, F., Jacobsen, K.-O., Kvaløy, P., May, R., Meås, R., Nygård, T., Refsnæs, S., Stokke, S. & Thomassen, J. 2011. Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives (OPTIPOL). Progress Report 2011. - NINA Report 762.
- 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. 2012. Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives (OPTIPOL). Progress Report 2012 - NINA Report 904. 57 s.
- Bevanger, K., Brøseth, H. & Sandaker, O. 1998. Dødelighet hos fugl som følge av kollisjoner mot kraftledninger i Mørkedalen, Hemsedalsfjellet. - NINA Oppdragsmelding 531. 41 s.
- Bevanger, K. & Brøseth, H. 2001. Bird collisions with power lines - an experiment with ptarmigan (*Lagopus* spp.). - Biological Conservation 99: 341-346.
- Bevanger, K. & Brøseth, H. 2004. Impact of power lines on bird mortality in a subalpine area. - Animal Biodiversity and Conservation 27: 67-77.
- Bevanger, K., Brøseth, H., Bjerkan, L., Fløan, J., Redford, K. & Wold, E. & 2004. Energy production and avian interactions - UV and colour coating as mitigating measures. - A project application to the Research Council of Norway, 15.06.2004.
- Bevanger, K., Brøseth, H., Cuthill, I., Halley, D., Fløan, J., Redford, K. & Wold, E. 2005. Energy production and avian interactions - UV and colour coating as mitigating measure. - A project application to the Research Council of Norway, 01.09.2004.
- Bevanger, K., Lie_Dahl, E., Gjershaug, J.O., Hanssen, F., Kvaløy, P., May, R., Nygård, T., Reitan, O., Vang, R., Refsnæs, S., Røskaft, E. & Stokke, B. 2011. Structures to Avoid Future Electrocution of Birds in Norway (SAFE). - A project application to the Research Council of Norway, 1 September 2011.
- Bevanger, K. & Overskaug, K. 1998. Utility structures as a mortality factor for raptor and owls in Norway. - S. 381-392 i Chancellor, R.D., Meyburg, B.-U. & Ferrero, J.J. (red.). Proceedings Holarctic Birds of Prey; ADENEX-WWBP, Badajoz, Extremadura, Spain, 17-22 April 1995.
- Bevanger, K. & Refsnæs, S. 2012. Fugl og kraftledninger - Tiltak som kan redusere fugledød. - Informasjonsbrosjyre utgitt av NVE.

- Bevanger, K. & Refsnæs, S. 2013. Kamouflering av kraftledninger. Evaluering av økologiske og tekniske implikasjoner - NINA Rapport 878. 46 s.
- Bevanger, K. & Thingstad, P.G. 1988. Forholdet fugl-konstruksjoner for overføring av elektrisk energi. En oversikt over kunnskapsnivået. - Økoforsk Utredning 1. 133 s.
- Blokpoel, H. 1976. Bird hazards to aircraft. - Books Canada Limited, London. 236 s.
- Boeker, E.L. & Nickerson, P.R. 1975. Raptor electrocutions. - Wildlife Society Bulletin 3: 79-81.
- Borell, A.E. 1939. Telephone wires fatal to sage grouse. - Condor 41: 85-86.
- Bomford, M. 1990. Ineffectiveness of a sonic device for deterring starlings. - Wildlife Society Bulletin 18: 151-156.
- Boudreau, G.W. 1968. Alarm sounds and responses of birds and their application in controlling problem species. - Living Bird 7: 27-46.
- Brown, W.M., Drewien, R.C. & Bizeau, E.G. 1987. Mortality of cranes and waterfowl from powerline collisions in the San Luis Valley Colorado. - Proceedings 1985 Crane Workshop: 128-185.
- 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.
- Brøseth, H. & Bevanger, K. 2014 (i trykk). Black grouse and capercaillie mortality and population estimates by DNA identification in relation to powerline ROW. - Proceedings, 10th International Symposium on Environmental Concerns in Rights-of-Way Management. Phoenix, AZ, USA.
- Cartron, J.-L.E., Harness, R.E., Rogers, R.C. & Manzano-Fischer, P. 2005. Impact of concrete power poles on raptors and ravens in northwestern Chihuahua, Mexico. - S. 357-369 i: Cartron, J.-L.E., Ceballos, G., Felger, R.S. (red.). Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico. Oxford University Press, New York, USA.
- Catchpole, C.K. 1979. Vocal communication in birds. - Studies in Biology 115. Inst. of Biol. Camelot Press Ltd., Southampton.
- Cohen, D.A. 1896. California department. - Osprey 1: 14-15.
- Coues, E. 1876. The destruction of birds by telegraph wire. - American Naturalist 10: 734.
- Crowder, M.R. 2000. Assessment of devices designed to lower the incidence of avian power line strikes. - Unpublished MSc Thesis. Purdue University, West Lafayette.
- Dawson, J.W. & Mannan, R.W. 1994. The ecology of Harris' hawks in urban environments. - Unpublished Report, Arizona Game and Fish Department, Tucson, Arizona, USA. Available from the U.S. Geological Survey, Richard R. Olendorff Memorial Library, 970 Lusk St., Boise, ID 83706.
- de la Zerda, S. & Roselli, L. 2003. Mitigación de collision de aves contra líneas de transmission eléctrica con marcaje del cable de guarda. - Ornithología Colombiana 1: 42-62.
- Direktoratet for naturforvaltning 2009. <http://www.dirnat.no/content.ap?thisId=425>
- Dobben, W.H. van & Makkink, G.F. 1933. Der einfluss der Leitlinien an die Richtung der Herbstzuges am Niederländischen Wattenmeer. - Ardea 22: 30-48.
- Dobben, W.H. van. 1955. Nature and strength of the attraction exerted by leading lines. - Acta XI Congr. Internat. Ornith. Basel: 165-16x.
- Dooling, R. 2002. Avian Hearing and the Avoidance of Wind Turbines. - NREL/TP-500-30844, Maryland.
- Drewitt, A. & Langston, R.H.W. 2006. Assessing the impacts of wind farms on birds. In Wind, Fire and Water: Renewable Energy and Birds. - Ibis 148 (Suppl. 1): 29-42.
- Drewitt, A.L. & Langston, R.H.W. 2008. Collision Effects of Wind-power Generators and Other Obstacles on Birds. - New York Academy of Sciences 1134: 233-266. doi: 10.1196/annals.1439.015.
- Dwyer, J.F. 2004. Investigating and mitigating raptor electrocution in an urban environment. - M.S. Thesis, University of Arizona, Tucson, AZ.
- Dwyer, J.F., Harness, R.E. & Donohue, K. 2013. Predictive Model of Avian Electrocution Risk on Overhead Power Lines - Conservation Biology. DOI: 10.1111/cobi.12145.
- Dwyer, J.F., Harness, R. & Doloughan, K. 2013. Testing raptor and corvid perch deterrents on electric power poles. - 1st Worldwide Raptor Conference, October 21-24 2013, Bariloche, Rio Negro, Argentina.

- Dwyer, J.F., Harness, R. & Lopez, J.R.G. 2013. Could the North American experience contribute to reducing avian electrocution in Europe?. Patterns in raptor and non-raptor avian electrocution in Andalusia (Southern Spain). – 1st Worldwide Raptor Conference, October 21-24 2013, Bariloche, Rio Negro, Argentina.
- Emerson, W.O. 1904. Destruction of birds by wires. - *Condor* 6: 37-38.
- Erickson, W.P., Johnson, G.D., Young, D.P.Jr. 2005. A summary and comparison of bird mortality from anthropogenic causes with an emphasis on collisions. - USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191, pp.1029-1041. http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr191/Asilomar/pdfs/1029-1042.pdf
- Ferrer, M. 2012. Birds and power lines. From conflict to solution. - ENDESA S.A: and Fundación MIGRES, Sevilla, Spain. 183 s.
- Ferrer, M., De La Riva, M. & Castroviejo, J. 1991. Electrocution of raptors on power lines in southwestern Spain. - *Journal of Field Ornithology* 62: 181-190.
- Ferrer, M. & Hiraldo, F. 1991. Evaluation of management techniques for the Spanish imperial eagle. - *Wildlife Society Bulletin* 19: 436–442.
- Ferrer, M. & Hiraldo, F. 1992. Man-induced sex-biased mortality in the Spanish imperial eagle. - *Biological Conservation* 60: 57–60.
- Fiedler, G. & Wissner, A. 1980. Freileitungen als tödliche Gefahr für Störche *Ciconia ciconia*. – *Ökologie der Vögel, Sonderheft* 2: 59-109.
- Folkestad, A.O. 1978. Kraftlinjer og fugl. En oppsummering av problemer og erfaringer med merking av kollisjonsutsatte spenn. - *Fossekalen* 25: 10-11.
- Folkestad, A.O. 1980. Kraftlinjekollisjonar som tapsfaktor for overvintrande songsvane, *Cygnus cygnus*, i Møre og Romsdal. - S. 169-175 i Kjos-Hanssen, O, Gunnerød, T.B., Mellquist, P. & Dammerud, O. (red.). Vassdragsregulerings virkninger på vilt. Proc. NVE, DVF, Oslo/Trondheim.
- Forprosjektet kraftledninger og fugl. 1988. Prosjektet kraftledninger og fugl. Forprosjektets slutt-rapport. - DN Rapport 7. 19 s.
- Fredrickson, L.H. 1983. Bird response to transmission lines at a Mississippi river crossing. - *Transactions, Missouri Academy of Science* 17: 129-140.
- Frings, H. & Frings, M. 1967. Animal communication. - Blaisdell Publ. Co., New York, Toronto, London. 204 s.
- Frost, D. 2008. The use of 'flight diverters' reduces mute swan *Cygnus olor* collision with power lines at Abberton Reservoir, Essex, England. - *Conservation Evidence* 5: 83-91.
- Garrett, M.G. 1993. PacifiCorp program for managing birds on power lines, a case study. – S. 18-1–18-5 i Huckabee, J.W. (red.). Proceedings: Avian Interactions with Utility Structures, International Workshop. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, USA.
- Garrido, J. & Fernández-Cruz, M. 2003. Effects of power lines on a white stork *Ciconia ciconia* population in Central Spain. - *Ardeola* 50: 191-200.
- Gehring, J., Kerlinger, P. & Manville, A.M. 2009. Communication towers, lights, and birds: successful methods of reducing the frequency of avian collisions. - *Ecological Applications* 19: 505–514.
- Geyr von Schweppenburg, H. 1929. «Zugstrassen» - Leitlinien. - *J. Orn. Festschr. Hartert*: 17-32.
- Geyr von Schweppenburg, H. 1933. Zur Theorie der Leitlinie. - *Ardea* 22: 83-92.
- Geyr von Schweppenburg, H. 1963. Zur Terminologie und Theorie der Leitlinie. - *J. Ornith.*, 104: 191-204.
- Gjershaug, J. O., Refsnæs, S. & Bevanger, K. (i trykk). Mitigation of eagle owl electrocution in Norway. - Proceedings, 10th International Symposium on Environmental Concerns in Rights-of-Way Management. Phoenix, AZ, USA.
- Grischtschenko, V. & Gaber, N. 1990. Analyse der Todesursachen des Weisstorchs in der Ukraine. - *Ornitologische Mitteilungen* 42: 121-123.
- Haas, D. 1980. Gefährdung unserer Grossvögel durch Stromschlag - eine Dokumentation. – *Ökologie der Vögel* 2, Sonderheft 1980: 7-57.
- Haas, D. (red.). 2008. Stromtod von Vögeln. Grundlagen und Standards zum Vogelschutz an Freileitungen. – *Ökologie der Vögel*, 26. 303 s.

- Harness, R.E. 2000. Effectively retrofitting powerlines to reduce raptor mortality. – S. D2-1–D2-8 i: Proceedings of the Rural Electric Power Conference. Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, NY, USA.
- Harness, R.E. 2002. Raptors: Test to Protect: Utilities Provide Alternative Perches for Migratory Birds. - March ed. Transmission & Distribution World: 18–21.
- Harness, R., Dwyer, J.F., Juvvadi, P.R. & Donohue, K. 2013. Modeling electrocution risk for raptors and corvids in California, U.S.A. and Rajasthan, India. – 1st Worldwide Raptor Conference, October 21-24 2013, Bariloche, Rio Negro, Argentina.
- Harness, R.E. & Garrett, M. 1999. Effectiveness of perch guards to prevent raptor electrocutions. - Journal of the Colorado Field Ornithologists 33: 215–220.
- Harness, R.E. & Wilson, K.R. 2001. Utility structures associated with raptor electrocutions in rural areas. - Wildlife Society Bulletin 29: 612–623.
- Hebert, E., Reese, E. & Mark, L. 1995. Avian collision and electrocution: an annotated bibliography. - California Energy Comm. http://www.energy.ca.gov/reports/avian_bibliography.html.
- Heck, N. & Harness, R. 2008. Reliability takes wing. AltaLink protects high-risk substations and see wildlife-involved outages plummet. - <http://www.cantega.com/NewsArticles/Documents/T-D%20World%20-%20Mar%202008.pdf>
- Heijnis, R. 1980. Vogeltoed durch Drahtanflüge bei Hochspannungsleitungen. – Ökologe der Vögel 2, Sonderheft 1980: 111-129.
- Hunting, K. 2002. A roadmap for PIER research on avian collisions with power lines in California. - P500-02-071F, PIER Energy-Related Environmental Research Program. California Energy Commission, California.
- Hunting, K., Yee, M., Spiegel, L., Birkinshaw, K. & Peña, G. On-Line Annotated Bibliography of Avian Interactions with Utility Structures. - California Energy Commission. http://www.energy.ca.gov/research/environmental/avian_bibliography/.
- Jacobsen, K.-O., Øien, I.J., Steen, O.F., Oddane, B. & Rørv, N. 2008. Hubroens bestandsstatus i Norge. - Vår Fuglefauna 31: 150-158.
- James, B.W. & Haak, B.A. 1979. Factors affecting avian flight behavior and collision mortality at transmission lines. - Bonneville Power Administration Report. Portland, Oregon. 108 s.
- Janss, G.F.E. 2000. Avian mortality from power lines: a morphological approach of a species-specific mortality. - Biological Conservation 95: 353–359.
- Janss, G.F.E. & Ferrer, M. 1998. Rate of bird collision with power lines: effects of conductor-marking and static wire marking. – Journal of Field Ornithology 69: 8–17.
- Janss, G.F.E. & Ferrer, M. 1999. Avian electrocution on power poles: European experiences. - S. 145–164 i Ferrer, M., Janss, G.F. (red.). Birds and Power Lines: Collision, Electrocution, and Breeding. Quercus, Madrid, Spain.
- Janss, G.F.E. & Ferrer, M. 2001. Avian electrocution mortality in relation to pole design and adjacent habitat in Spain. - Bird Conservation International 11: 3–12.
- 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.
- Jenkins, A.R., Shaw, J.M., J.J. Smallie, Gibbons, B., Visagie, R. & Ryan, P.G. 2011. Estimating the impacts of power line collisions on Ludwig's Bustards *Neotis ludwigii*. - Bird Conservation International 21:303–310. doi:10.1017/S0959270911000128
- Kaługa, I., Sparks, T.H. & Tryjanowski, P. 2011. Reducing death by electrocution of the white stork *Ciconia ciconia*. - Conservation Letters 4: 483–487.
- Klem Jr., D. 2009. Avian mortality at windows: the second largest human source of bird mortality on earth. - Proceedings Fourth International Partners in Flight Conference 2008, McAllen, Texas, USA. USDA, Forest Service Technical Report.
- Koops, F.B.J. 1985. Gemarkeerde bovengrondse hoogspanningslijnen in Nederland. Situatie in mei 1985. - KEMA VII85-51 MOB. Report, Arnhem. 9 s.
- Koops, F.B.J. 1986. Draadslachtoffers in Nederland en effecten van markering. - KEMA 01282-MOB 86-3048. Report, Arnhem.
- Kroodsma, R.L. & Van Dyke, J.W. 1985. Technical and environmental aspects of electric power transmission. - Oak Ridge Nat. Lab. Environ. Sci. Div., Publ. No. 2067: 85 s.

- Krüger, R., Maritz, A. & van Rooyen, C. 2004. Vulture electrocutions on vertically configured medium voltage structures in the Northern Cape Province, South Africa. - S. 437–441 i Chancellor, R.D., Meyburg, B.-U. (red.). *Raptors Worldwide*. World Working Group on Birds of Prey and Owls, Berlin, Germany, and MME/BirdLife Hungary, Budepest.
- Kolås, T. & Johnsen, L. 2007. Forslag til tiltak for å unngå at fugler kolliderer med vindturbiner. - Intern rapport til NINA. SINTEF Project no. 90J287. 27 s.
- Kumlien, L. 1888. Observations on Bird Migration at Milwaukee. – *Auk* 5: 325-328.
- Kálás, J.A., Viken, Å., Henriksen, S. & Skjelseth, S. (red.). 2010. Norsk rødliste for arter 2010. - Artsdatabanken, Norge.
- Lasch, U., Zerbe, S. & Lenk, M. 2010. Electrocution of raptors at power lines in Central Kazakhstan. - *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz* 9: 95-100.
- Lawson, A.B. & Wyndham, M.J. 1993. A system of monitoring wildlife interactions with electricity distribution installations in a supply region of the Cape Province in Southern Africa. - S. 5.1-5.14 i Colson, E. & Huckabee, J. (red.). *Avian Interactions with Utility Structures*, EPRI TR-103268. Proceedings International Workshop Miami 13-15 September 1992.
- Ledger, J.A. 1984. Engineering solutions to the problem of vulture electrocutions on electricity towers. - *Cert. Engineer* 57: 92-95.
- Larsen, R.S. & Stensrud, O.H. 1988. Elektrisitetss døden - den største trusselen mot hubrobestanden i Sørøst-Norge? - *Vår Fuglefauna* 11: 29-33.
- Ledger, J.A. & Annegarn, H.J. 1981. Electrocution hazards to the Cape vulture. - *Biological Conservation* 20: 15-24.
- Lehman, R.N., Kennedy, P.L. & Savidge, J.A. 2007. The state of the art in raptor electrocution research: a global review. - *Biological Conservation* 136: 159-174.
- Leshem, Y. 1985. Griffon Vultures in Israel: Electrocution and other reasons for a declining population. - *Vulture News* 13: 14-20.
- Lie-Dahl, E. 2011. Kartlegging av elektroklusjonsfare på Smøla. – OPTIPOL Brukermøte, 17.11.2011.
- Lid, G. 1977. Fugler brennes ihjel av gassflammer i Nordsjøen. - *Fauna* 30: 185-190.
- Lindgren, R. 1984. Fågelskydd. Miljøfrågor 8, kraftledningar. - *Vattenfall Rapport*. Vällingby: 7 s.
- Longridge, M.W. 1986. The impacts of transmission lines on bird flight behaviour, with reference to collision mortality and systems reliability. - *Bird Res. Comm., ESCOM, Johannesburg*. Report. 279 s.
- Longcore, T., Rich, C., Mineau, P., MacDonald, B., Bert, D.G., Sullivan, L.M., Mutrie, E., Gauthreaux Jr., S.A., Avery, M.L., Crawford, R.L., Manville II, A.M., Travis, E.R. & Drake, D. 2012. An estimate of avian mortality at communication towers in the United States and Canada. - *PLoS ONE* 7, e34025.
- Longcore, T., Rich, C., Mineau, P., MacDonald, B., Bert, D.G., Sullivan, L.M., Mutrie, E., Gauthreaux Jr., S.A., Avery, M.L., Crawford, R.L., Manville II, A.M., Travis, E.R. & Drake, D. 2013. Avian mortality at communication towers in the United States and Canada: which species, how many, and where? – *Biological Conservation* 158: 410-419.
- Magnusson, N. 2010. Bird electrocution prevention insulation systems for 12-24 kV pin insulated overhead lines. – Project Memo, SINTEF Energi. 7 s.
- Malmberg, T. 1955. Topographical concentration of flight-lines. - *Acta XI Congr. Internat. Ornith.* Basel: 161-164.
- Mañosa, S., 2001. Strategies to identify dangerous electricity pylons for birds. - *Biodiversity and Conservation* 10: 1997–2012.
- Manville, A.M. II. 2009. Towers, turbines, power lines, and buildings - steps being taken by the U.S. Fish and Wildlife Service to avoid or minimize take of migratory birds at these structures. – S. 262–272 i Rich, T.D., Arizmendi, C., Demarest, D.W. & Thompson, C. (red.). *Tundra to Tropics: Connecting Birds, Habitats and People*. Proceedings of the Fourth International Partners in Flight Conference, 13–16 February, 2008. Partners in Flight, McAllen, Texas.
- Marchesi, L., Sergio, F. & Pedrini, P. 2002. Costs and benefits of breeding in human-altered landscapes for the eagle owl *Bubo bubo*. - *Ibis* 144: 164–177.
- Markus, M.B. 1972. Mortality of vultures caused by electrocution. - *Nature* 238: 228.

- Martin, G.R. 1985. Eye. - S. 311-373 i King, A.S. & McLelland, J. (red.). Form and function in birds. vol. 3.
- Martin, G.R. 1990. Birds by night. - T. & A.D. Poyser, London. 227 s.
- Martin, G. R. 2007. Visual fields and their functions in birds. - Journal of Ornithology 148: 547–562.
- Martin, G.R. 2009. What is binocular vision for? A birds' eye view. - Journal of Vision 9: 14, 1–19.
- Martin, G.R. 2010. Bird collisions: a visual or a perceptual problem? BOU Proceedings – Climate Change and Birds. <http://www.bou.org.uk/bouproc-net/ccb/martin.pdf>.
- Martin, G.R. 2011. Understanding bird collisions with man-made objects: a sensory ecology approach. – Ibis 153: 239-254.
- Martin, G.R. & Osorio, D. 2008. Vision in birds. – S. 25-52 i Masland, R.H. & Albright, T.D. (red.). The senses: a comprehensive reference. Vol. 1. Vision 1 (Elsevier). 614 s.
- Mehlum, F. 1977. Innsamling av fyrfalne trekkfugler fra Færder fyr og noen betraktninger om årsakene til fuglekollisjoner mot lysende installasjoner. - Fauna 30: 191-194.
- Meyer, J.R. 1978. Effects of transmission lines on bird flight behavior and collision mortality. – Bonneville Power Administration Report. Portland, Oregon.
- Miquet, A. 1990. Mortality in Black grouse *Tetrao tetrix* due to Elevated cables. - Biological Conservation 54: 349-355.
- Miller, D., Boeke, E.L., Thorsell, R.S. & Olendorff, R.R. 1975. Suggested practices for raptor protection on power lines. - Raptor Research Foundations, Provo, Utah. Report. 21 s.
- Mojica, E., Watts, B.D., Paul, J.T., Voss, S.T. & Pottie, J. 2009. Factors contributing to bald eagle electrocutions and line collisions on Aberdeen Proving Ground, Maryland, U.S.A. – Journal of Raptor Research 43: 57–61.
- Morkill, A.E. & Anderson, S.H. 1993. Effectiveness of yellow aviation balls in reducing sandhill crane collisions with powerlines. - S. 21.1-21.17 i EPRI (red.). Proceedings: Avian Interactions with Utility Structures. International Workshop Miami 13-15 September 1992. EPRI Report TR-103268.
- Morkill, A.E. & Anderson, S.H. 1991. Effectiveness of marking powerlines to reduce Sandhill Crane collisions. - Wildlife Society Bulletin 19: 442–449.
- Mueller, H.C. & Berger, D.D. 1967. Wind drift, leading lines, and diurnal migrations. - Wilson Bulletin 79: 50-63.
- NABU (Naturschutzbund Deutschland). 2006. Vorsicht: Stromschlag! Empfehlungen zum Vogelschutz an Energiefreileitungen. 2. Auflage. 24 s.
- Negro, J.J. & Ferrer, M. 1995. Mitigating measures to reduce electrocution of birds on power lines: a comment on Bevanger's review. - Ibis 137: 423-424.
- Nikolaus, G. 1984. Large numbers of birds killed by electric power line. - Scopus 8: 42.
- Oddane, B. & Undheim, O. 2007. Kartlegging av hubro på Høg-Jæren- våren 2007. - Naturforvalteren AS. Rapport nr 2007-7.
- Oddane, B., Undheim, O. & Magersnes, R. 2008. Kartlegging av hubro på Høg-Jæren-hekkeseongen 2007. - Naturforvalteren AS 2008-1.
- Olendorff, R.R., Miller, A.D. & Lehman, R.N. 1981. Suggested practices for raptor protection on power lines. The state of the art in 1981. - Raptor Res. Found. Raptor Res. Report 4. 111 s.
- Olendorff, R.R. & Lehman, R.N. 1986. Raptor collision with utility lines: an analysis using subjective field observations. - Pacific Gas and Electric Company, California: 1-73.
- Olson, C.V., 2002. Human-related causes of raptor mortality in western Montana: things are not always as they seem. – S. 71–82 i Carlton, R.G. (red.). Avian Interactions with Utility and Communication Structures, Proceedings of a Workshop. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, USA.
- O'Neil, T., 1988. An analysis of bird electrocutions in Montana. - Journal of Raptor Research 22: 27–28.
- Ot.prp. nr. 62 (2008–2009). Om lov om endringer i energiloven. - Det kongelige olje- og energidepartement. 45 s.
- Rayner, J.M.V. 1988. Form and function in avian flight. - S. 1-66 i Johnston, R.F. (red.). Current Ornithology, vol. 5. Plenum, New York.

- Real, J., Grande, J.M., Mañosa, S. & Sánchez-Zapata, J.A. 2001. Geographic variation of the causes of death of Bonelli's eagle *Hieraetus fasciatus* in Spain. - *Bird Study* 48: 221-228.
- Refsnæs, S. 2010. Aldring av liner under beskyttelse i mastetopp. – Arbeidsnotat, SINTEF Energi. 25 s.
- Refsnæs, S. 2012. Fargede liner. Muligheter og begrensninger ved bruk av fargede liner. - Prosjektnotat, SINTEF Energi. 13 s.
- Refsnæs, S. & Benjaminsen, J.T. 2012. Kabel eller luftledning. – Prosjektnotat, SINTEF Energi. 16 s.
- Refsnæs, S, Magnusson, N. & Ulleberg, T. 2013. Laboratory corrosion tests on overhead line conductors with bird protection systems. - *International Transactions on Electrical Energy Systems*. DOI: 10.1002/etep.1770.
- Refsnæs, S., Kvien, O., Dahlslett, F. & Brede, A.P. 2012. Sittepinne og plastpigge i mastetopper. Potensielle driftsproblemer knyttet til snø, is og lyn. - Prosjektnotat, SINTEF Energi. 16 s.
- Renssen, T.A., Bruin, A. de, Doorn, J.H. van, Gerritsen, A., Greven, N.G., Kamp, J. van de, Linthorst, H.D.M. & Smit, C.J. 1975. Vogelsterfte in Nederland tengevolge van aanvaringen met hoogspannings-lijnen. – Report Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem. 64 s.
- Riegel, M. & Winkel, W. 1971. On death causes of white storks (*C. ciconia*) according to ringing recovery reports. - *Vogelwarte* 26(1): 128-135.
- Rosselli, L., & de la Zerda, S. 1997. Colombian fauna and transmission lines. - *Interconexión Eléctrica S. A.* (Reportsammendrag på engelsk oversendt fra forfatterne).
- Rubolini, D., Bassi, E., Bogliana, G., Galeotti, P. & Garavaglia, R. 2001. Eagle owl *Bubo bubo* and power line interactions in the Italian Alps. - *Bird Conservation International* 11: 319–324.
- Rubolini, D., Gustin, M., Bogliani, G. & Garavaglia, R. 2005. Birds and powerlines in Italy: an assessment. - *Bird Conservation International* 15: 131–145.
- Savereno, A.J., Savereno, L.A., Boettcher, R. & Haig, S.M. 1996. Avian behaviour and mortality at power lines in coastal South Carolina. - *Wildlife Society Bulletin* 24: 636–648.
- Schmidt-Morand, D. 1992. Vision in the animal kingdom. - *Veterinary International* 4: 3-32.
- Schomburg, J.W. 2003. Development and evaluation of predictive models for managing golden eagle electrocutions. - M.S. Thesis, Montana State University, Bozeman, MT, USA.
- Scott, R.E., Roberts, L.J. & Cadbury, C.J. 1972. Bird deaths from power lines at Dungeness. - *British Birds* 65: 273-286.
- Sergio, F., Marchesi, L. Pedrini, P., Ferrer, M. & Penteriani, V. 2004. Electrocution alters the distribution and density of a top predator, the eagle owl *Bubo bubo*. - *Journal of Applied Ecology* 41: 836-845.
- Shaw, J. 2013. Power line collisions in the Karoo: Conserving Ludwig's Bustard. – PhD Thesis, Percy FitzPatrick Institute of African Ornithology, DST/NRF Centre of Excellence, Department of Biological Sciences, Faculty of Science, University of Cape Town.
- Sillman, A.J. 1973. Avian vision. - S. 349-387 i Farner, D.S. & King, J.R. (red.). *Avian biology*, vol. III. Academic Press, New York & London.
- Statnett 2011. Nettutviklingsplan 2011. Nasjonal plan for neste generasjon kraftnett. - Statnett, Oslo. 82 s.
- Stenshornet, K., Refsnæs, S. & Heggset, J. 2012. Feilfrekvens ved driftsforstyrrelser for kraftledning og kabel. – Prosjektnotat, SINTEF Energi. 24 s.
- Sundar, K.S.G. & Choudhury, B.C. 2005. Mortality of sarus cranes (*Grus antigone*) due to electricity wires in Uttar Pradesh, India. - *Environmental Conservation* 32: 260–269.
- Stolt, B.-O., Fransson, T., Åkersson, S. & Sällström, B. 1986. Luftledningar och fågeldöd. - Naturhistoriska Riksmuseet, Ringmärkningscentralen, Stockholm.
- Thompson, L.S. 1978. Transmission line wire strikes: mitigation through engineering design and habitat modification. - S. 51-92 i Avery, M.L. (red.). *Impacts of transmission lines on birds in flight*. Proceedings of a conference. Oak Ridge Associated Universities, Oak Ridge, Tennessee.
- Tinbergen, N. 1956. Gråtruten. - Stockholm.

- Tintó, A., Real, J. & Mañosa, S. 2005. A classification method of power lines to prevent forest fires caused by bird electrocution. - II International Conference on prevention strategies of fires of Southern Europe. Barcelona, 09 - 11 May 2005
- Tinto, A., Real, J. & Mañosa, S. 2010. Predicting and Correcting Electrocution of Birds in Mediterranean Areas. - *Journal of Wildlife Management* 74: 1852–1862; 2010; DOI: 10.2193/2009-521.
- Trapp, J.L. 1998. An annotated partial bibliography (1960-1998). - U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Migratory Bird Management. <<http://www.fws.gov/r9mbmo>>. Arlington, Virginia.
- van Rooyen, C.S. & Ledger, J.A. 1999. Birds and utility structures: Developments in southern Africa. – S. 205-230 i Ferrer, M. & Janns. G.F.M. (red.). *Birds and Powerlines*. Quercus, Madrid, Spain.
- VDEW Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke 1986. Vogelschutz an Starkstrom-Freileitungen mit Nennspannungen über 1 kV. - Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke mbH, Frankfurt a.M.: 1-16.
- VSE (Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen). 2009. Vogelschutz an Starkstrom-Freileitungen mit Nennspannungen über 1 kV. 2. überarbeitete Ausgabe. 20 s.
- Wallace, P., Erickson, W.P., Johnson, G.D. & Young, D.P.Jr. 2005. A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions. - USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191.
- Watson, A. & Moss, R. 2004. Impacts of ski-development on ptarmigan. (*Lagopus mutus*) 171 at Cairn Gorm, Scotland. - *Biological Conservation* 116: 267-275.
- Willdan Associates. 1982. Impact of the Ashe-Slatt 500 kV transmission line on birds at Crow Butte Island: Postconstruction study final report. – Bonneville Power Administration Report. Portland, Oregon.
- Yee, M.L. 2008. Testing the effectiveness of an avian flight diverter for reducing avian collisions with distribution power lines in the Sacramento Valley, California. - Sacramento, CA: California Energy Commission, PIER Energy-Related Environmental Research Program. CEC-500-2007-122.
- Øien, I.J., Steen, O.F., Jacobsen, K.-O. & Oddane, B. 2009. Hubroen i Norge: Resultater fra nasjonal kartlegging i 2008. - *Vår Fuglefauna* 32: 150-156.



Norsk institutt for naturforskning (NINA) er et nasjonalt og internasjonalt kompetansesenter innen naturforskning. Vår kompetanse utøves gjennom forskning, utredningsarbeid, overvåking og konsekvensutredninger.

NINAs primære aktivitet er å drive anvendt forskning. Stikkord for forskningen er kvalitet og relevans, samarbeid med andre institusjoner, tverrfaglighet og økosystemtilnærming. Offentlig forvaltning, næringsliv og industri samt Norges forskningsråd og EU er blant NINAs oppdragsgivere og finansieringskilder.

Virksomheten er hovedsakelig rettet mot forskning på natur og samfunn, og NINA leverer et bredt spekter av tjenester gjennom forskningsprosjekter, miljøovervåking, utredninger og rådgiving.

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-2355-3

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor
Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim
Besøks/leveringsadresse: Tungasletta 2, NO-7047 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