

## TUULIVOIMA JA LINNUSTO – KOKEMUKSET JA KÄY- TÄNNÖT SUOMESTA JA LÄHIALUEILTA



**Copyright © Pöyry Management Consulting Oy**

Kaikki oikeudet pidätetään. Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman Pöyry Management Consulting Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

Copyright © Pöyry Management Consulting Oy

## Sisältö

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>TUULIVOIMAN LINNUSTOVAIKUTUKSET</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Häirintä- ja estevaikutus</b>	<b>4</b>
2.1.1	Vaikutukset lisääntymis-, lepäily- ja ruokailualueisiin	5
2.1.2	Vaikutukset muuttoreitteihin	6
<b>2.2</b>	<b>Elinympäristön muutokset</b>	<b>7</b>
2.2.1	Elinympäristön menetys	8
2.2.2	Uusien elinympäristöjen syntyminen	8
<b>2.3</b>	<b>Törmäysriski ja kuolleisuus</b>	<b>9</b>
2.3.1	Törmäysriskin arviointi	10
2.3.2	Törmäysriskin lajikohtainen vaihtelu	11
2.3.3	Lentokorkeuden vaikutus törmäysriskiin	14
<b>3</b>	<b>LINNUSTON HUOMIOIMINEN TUULIVOIMAHANKKEISSA</b>	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>Huomioitava lainsäädäntö</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Linnustovaikutusten ehkäisy- ja vähentämiskeinot</b>	<b>16</b>
3.2.1	Tuulivoimapuistojen ja voimaloiden sijoittelu	16
3.2.2	Muut keinot	22
<b>3.3</b>	<b>Linnustaselvitykset ja vaikutusten seuranta</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>YHTEENVETO</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>LÄHDELUETTELO</b>	<b>29</b>

## 1 JOHDANTO

Tämä raportti on tehty Energiateollisuus ry:n toimeksiannosta tuulivoimahankkeiden linnustovaikutusten ja niiden vähentämisen- ja ehkäisykeinojen kartoittamista varten. Raportissa on selvitetty kirjallisuuteen perustuen Suomessa ja lähialueilla tehtyjen tutkimusten ja seurantojen tuloksia, johtopäätöksiä ja suosituksia sekä koostettu niiden pohjalta parhaita käytäntöjä Suomen tuulivoimahankkeiden sijoittamisen ja vaikutusarviointien helpottamiseksi. Raportissa käsitellään tuulivoimahankkeiden keskeisiä linnustovaikutuksia, linnuston huomioimista tuulivoimahankkeissa, seurantoihin liittyvää lainsäädäntöä sekä linnustovaikutusten vähentämisen- ja ehkäisykeinoja.

Raportti pohjautuu Suomessa, Ruotsissa, Tanskassa, Norjassa ja Saksassa tehtyihin seurantoihin ja tutkimuksiin. Keskeisimmät lähteinä käytetyt tutkimushankkeet ja seurannat on lueteltu seuraavassa:

- Suomi
  - PVO Innopower Oy, Ajoksen tuulipuiston käytön aikainen linnustotarkkailu vuosina 2007–2010
  - Ålands Vindenergi Andelslag, nyk. Allwind Ab, Ahvenanmaan Båtskärin tuulipuiston linnustoseuranta 2007->
- Ruotsi
  - Vindval 2005–2012
  - Lillgrund vindkraftpark 2005->
  - Vindkraft vid Forsmark, ornitologisk undersökning 2007–2009
- Tanska
  - Danish Offshore Wind parks 1999->
- Norja
  - Sea eagle research at Smøla wind farm 2006–2011
- Saksa
  - FINO, FINO2, FINO3 2003->
  - Windkraft & Greifvögel 2007–2010

Raportin tausta-aineistoksi on lisäksi haastateltu seuraavia asiantuntijoita:

- Suojelu- ja tutkimusjohtaja Teemu Lehtiniemi, BirdLife Suomi
- Ohjelmapäällikkö Petteri Tolvanen, WWF Suomi

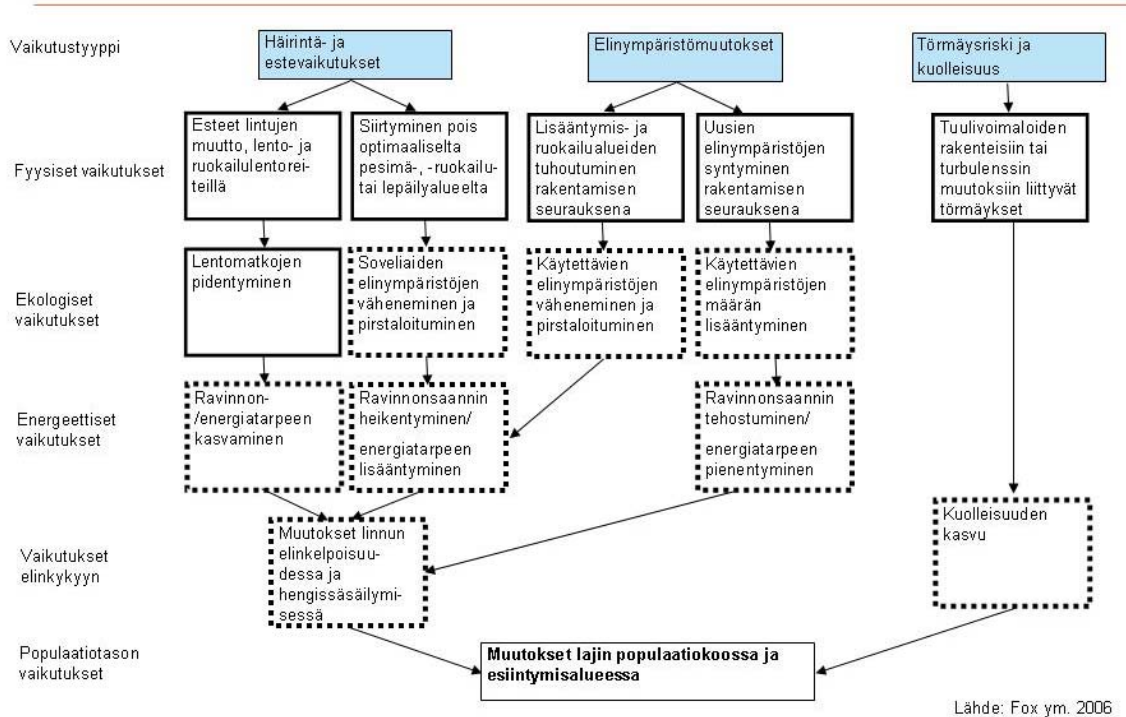
- Professori Tony Fox, The National Environmental Research Institute (NERI), Aarhus University
- Professori Tim Hipkiss, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Department of Wildlife, Fish and Environmental Studies

Raportin on laatinut seuraava Pöyryn työryhmä: FM Thomas Bonn, MMM Karoliina Ilmarinen ja FM Juha Parviainen.

## 2 TUULIVOIMAN LINNUSTOVAIKUTUKSET

Tuulivoimapuiston rakentamiseen liittyvät itse tuulivoimaloiden lisäksi sähkönsiirtorei-  
tit sekä mahdolliset uudet tieyhteydet. Tuulivoimapuiston vaikutukset riippuvat yleisesti  
ottaen ainakin lintulajistosta, lintujen tiheydestä, lintupopulaatioiden koosta ja dynami-  
kasta, maaston muodoista, sääolosuhteista sekä voimalan koosta, rakenteesta, lukumää-  
rystä, pyörimisnopeudesta, käyttöajasta ja -ajoituksesta (vuositasolla) (muun muassa  
*Kingsley & Whittam 1997 PPLY 2009 mukaan*).

Tuulivoiman keskeisimmät vaikutukset voidaan jakaa häirintä- ja estevaikutuksiin,  
elinympäristön muutokseen sekä törmäysriskiin ja kuolleisuuteen (Kuva 2-1). Viimeai-  
kaisten tutkimusten perusteella häirintä- ja estevaikutukset sekä niiden aiheuttamat  
elinympäristön menetykset ovat kaiken kaikkiaan merkittävämpiä kuin törmäyskuole-  
mat. Lyhyen matkan päässä toisistaan sijaitsevat tuulivoimapuistot muodostavat yhdes-  
sä mittavamman esteen kuin yksittäinen tuulivoimapuisto. Etenkin rannikkoalueille  
suunnitellaan runsaasti tuulivoimapuistoja, jotka voivat vaikuttaa lintujen tyypillisesti  
rannikon suuntaisesti kulkeviin muuttoreitteihin. Muuttoreitin merkittävä pidentyminen  
saattaa puolestaan aiheuttaa energiatarpeen kasvamista ja sen myötä muutoksia linnun  
elinkelpoisuudessa. Useiden tuulivoimapuistojen kumulatiiviset yhteisvaikutukset voi-  
vat myös voimistaa elinympäristömuutoksia, jos linnut joutuvat siirtymään kauas opti-  
maalisilta lisääntymis- ja ruokailualueilta mikä puolestaan saattaa heijastua populaatio-  
tasolle. Tuulivoimarakentamisen myötä voi myös syntyä uusia elinympäristöjä, esimer-  
kiksi merelle ns. riuttavaikutuksen myötä (katso kappale 2.2.2.).



**Kuva 2-1. Kolme keskeisintä tuulivoiman vaikutustyyppiä (siniset laatikot) ja niiden vaikutusmekanismit, jotka on jaettu potentiaalisiin mitattavissa oleviin vaikutuksiin (yhtenäisellä viivalla rajatut laatikot) sekä mallinnettaviin vaikutuksiin (katkoviivalla rajatut laatikot). (Fox ym. 2006)**

## 2.1 Häirintä- ja estevaikutus

Tuulivoimalapuiston rakentamisen aiheuttamat häiriöt sekä valmiin puiston huolto ja tieverkosto vaikuttavat luontoon ja linnustoon samoin kuin muukin rakentaminen. Häiriövaikutukset voivat olla suoria, kuten lisääntynyt toiminta alueella sekä rakentamisen ja käytön aikainen melu sekä välillisiä, kuten merialueella rakentamisen aikainen veden samentuminen, muutokset vesikasvillisuudessa, kalastossa ja pohjaeläimistöissä ja maalueilla puolestaan muutokset kasvillisuudessa sekä ravintokohteissa. Vaikutukset vaihtelevat lintulaji-, vuodenaika- ja paikkakohtaisesti.

Joissain tapauksissa on havaittu merituulipuiston huoltoon liittyvän meriliikenteen kasvun aiheuttavan suuremman häirintävaikutuksen kuin voimalat itse. Näin on havaittu etenkin allien, mustalintujen ja tukkakoskelon kohdalla (Pettersson 2005, Nilsson & Green 2009).

Tuulivoimapuistot saattavat toimia esteinä lintujen paikalliselle liikehdinnälle lepäily- ja ruokailupaikkojen välillä (muun muassa Petersen ym. 2006, Dirksen ym. 2007) sekä aiheuttaa muutoksia lintujen lentoreiteissä (vaikutus energiatalouteen). Pesimäaikainen ruoanhakumatkan pidentyminen tuulivoimalapuiston kiertämisen vuoksi voi heikentää pesimätulosta ja lisätä kuolleisuutta. Muutokset lentoreiteissä riippuvat tuulipuiston koosta sekä sijainnista suhteesta muuttoreitteihin. Häiriö- ja estevaikutukset ovat voimakkaasti lajikohtaisia ja jopa yksilöiden välillä on havaittu selviä eroja (Petersen ym. 2006).

Tuulivoimapuiston rakentaminen lintujen lentoreittien pullonkaula-alueille eli muuton- aikaisille keskittymäalueille sekä päivittäisdynamiikan muodostamille pullonkaula- alueille saattaa aiheuttaa häirintä- ja estevaikutuksia sekä lisätä törmäysriskiä. Päivit- täisdynamiikalla tarkoitetaan esimerkiksi sitä, että hanhet ruokailevat pelloilla ja yöpy- vät vesistöissä, minkä vuoksi ne lentävät hämärissä valo-olosuhteissa kahdesti päivässä samaa reittiä. (*Suullinen tiedonanto, Teemu Lehtiniemi, BirdLife Suomi*)

### 2.1.1 Vaikutukset lisääntymis-, lepäily- ja ruokailualueisiin

Maa-alueilla tuulivoimaloiden on osoitettu muuttavan lintujen ruokailualueiden käyttöä keskimäärin muutamien satojen metrien säteellä. Merialueilla häirintävaikutukset ulot- tuvat sen sijaan kauemmas, jopa kilometrien säteelle. Kielteiset vaikutukset ovat tutki- muksien mukaan kohdistuneet erityisesti ruokaileviin, muuttaviin ja talvehtiviin lintui- hin, kun taas pesimäaikaiset vaikutukset ovat jääneet selvästi vähäisemmiksi (*Suullinen tiedonanto, Petteri Tolvanen, WWF Suomi*).

BirdLife Suomen (2011a) mukaan maatuulivoiman häirintävaikutukset ja edelleen elinympäristön menetys kohdistuvat etenkin vesilintuihin, kuten peltoalueilla ruokaile- viin hanhiin. Suomessa talvehtiviin lintuihin kohdistuvat vaikutukset saattavat korostua tulevaisuudessa, sillä ilmastonmuutoksen myötä esimerkiksi talvehtivien vesilintujen määrä tulee ennusteiden mukaan kasvamaan. Häirintävaikutuksen on havaittu kohdistu- van myös sulkiviin lintuihin (*suullinen tiedonanto, Teemu Lehtiniemi, BirdLife Suomi*). Myös kosteikkolinnut ovat osoittaneet selvää tuulivoimaloiden karttamista ruokailussa ja yöpymispaikkojen valinnassa. Häiriövaikutukselle alttiita lajeja ovat muun muassa Suomessa runsaat sinisorsa, tukka- ja punasotka, telkkä, kapustarinta, kuovi, nokikana, töyhtöhyppä ja harmaalokki.

Jotkut lintulajit kiertävät tuulivoimapuistot useiden satojen metrien päästä ja toiset huomattavasti lähempää (*Nilsson 2001*). Lyhytnokkahanhien (*Anser brachyrhynchus*) kohdalla välttämättömyyden on havaittu olevan 200 metriä (*Larsen & Madsen 2000*), haahkojen 100 metriä (*Guillemette ym. 1998*) ja valkoposkihanhien vain 25 metriä (*Per- cival 1998*). Tuulivoimaloiden on osoitettu muuttavan lintujen ruokailualueiden käyttöä jopa 800 metrin säteellä. Kielteiset vaikutukset ovat tutkimuksissa kohdistuneet erityi- sesti ruokaileviin lintuihin. Esimerkiksi tundrahanhien (*Anser albifrons*) määrä väheni tuulivoimaloiden ympäristössä 600 metrin säteellä. Lyhytnokkahanhien havaittiin puo- lestaan välttelevän ruokailemista tuulipuistossa, jossa voimalat sijaitsivat ryhmänä (*Madsen & Boetrmann 2008*). Lyhytnokkahanhet pelkäsivät ryhmänä sijanneita voima- loita enemmän kuin linjassa sijaitsevia voimaloita. Lyhytnokkahanhien on toisaalta myös havaittu sopeutuneen tuulivoimaloihin muutamassa vuodessa ja alkaneen ruokail- la aiempaa selvästi lähempänä voimaloita.

Voimakkaimmin häirintävaikutukset kohdistuvat yleensä ihmistä vältteleviin lajeihin (Suomessa muun muassa metso) sekä lajeihin, jotka etsivät ravintonsa myös oman pe- simäalueensa ulkopuolelta (muun muassa useat päiväpetolinnut) (*Ijäs 2010*). Tavan- omaisiin varpuslintuihin häirintävaikutukset kohdistuvat tutkimusten mukaan sen sijaan heikommin (muun muassa *Farfán ym. 2009*).

Tanskassa Horns Revin sekä Nystedin merituulipuistossa tutkittiin tutkakartoituksilla merituulipuiston aiheuttamaa häirintä- ja estevaikutusta sekä elinympäristön menetystä vuosina 1999–2005 (*Petersen ym. 2006*). Alustavien tulosten perusteella vaikutti siltä,

että etenkin mustalintu välttelisi tuulivoima-alueita. Linnut kiersivät tuulipuiston havaittuaan tuulivoimalarakenteet, eivätkä käyttäneet tuulipuistoa ruokailu- tai lepäilyalueena, mikä johti myös elinympäristön menetykseen. Myös allin, ruokin, haahkan, kuikan, kaakkurin, suulan ja tiiran kohdalla havaittiin selvää välttämiskäyttäytymistä. Linnuista 70–85 %:n havaittiin muuttavan lentosuuntaa jo 1,5–2 km ennen tuulivoimapuistoa ja kiertävän sen. Myös merisorsat (engl. sea ducks), kuten allit, haahkat ja tukkakoskelot kartoivat tuulivoimapuiston sisälle jääneitä matalikoita, jotka olivat aiemmin olleet niiden paljon käyttämiä ravinnonhankinta-alueita. Sen sijaan merimetson, merilokin ja harmaalokin kohdalla väistämiskäyttäytymistä ei havaittu.

Suomessa Ajoksen tuulivoimapuiston tarkkailussa seurattiin muuttolinnuston lajistoa sekä pesimälinnuston lajistoa ja poikastuototta vuosina 2008–2010. Ajoksen puisto koostuu 10 tuulivoimalasta, joista osa sijaitsee rannan tuntumassa ja osa kauempana rannasta rakennetuilla keinosaarilla. Tarkoituksena oli tarkkailla aiheuttaako tuulivoimaloiden olemassaolo muutoksia muuttavan linnuston koostumuksessa. Lisäksi tarkkailtiin muuttosuuntia ja -korkeuksia sekä sitä, mille alueille muutto keskittyy. Seuranta toteutettiin sekä kevät- että syysmuuton aikana. Samalla tehtiin havaintoja myös lintujen käyttäytymisestä tuulivoimala-alueen lähistöllä. Pesimälinnuston seurannassa ei saatu havaintoja siitä, että linnut karttaisivat saaria tuulivoimaloiden takia. Harmaalokkien määrä laski seurannan aikana, minkä arveltiin johtuvan muun muassa Kemin kaatopaidan lopettamisesta sekä sääolosuhteista johtuvasta pesien tuhoutumisesta. Tuulivoimaloiden ei havaittu vaikuttaneen harmaalokkien poikastuottoon. (*Parviainen & Sauvola 2011*)

Ahvenanmaalla Båtskärin merituulivoimapuistossa on seurattu linnustoa vuosina 2002–2010 neljällä pienellä luodolla. Seuranta on sisältänyt linnustolaskentoja, mukaan lukien pesivien pariin määrien laskennat, sekä kuolleiden lintujen etsintää mahdollisten törmäysvaikutusten selvittämiseksi. Tulosten mukaan tuulivoimapuiston kolmen ensimmäisen käyttövuoden (2007–2010) vaikutukset linnustoon olivat verraten vähäisiä. Pesivien lintujen kokonaislukumäärä on laskentojen perusteella laskenut 1000 parista 850 pariin, minkä arvioidaan johtuvan joko suoraan tuulivoimapuistosta tai lisääntyneestä ihmisten liikkumisesta ja veneilystä alueella. Muutosta voivat selittää myös muut tekijät ja epävarmuustekijöistä johtuen pesivien lintujen määrän laskua ei voida selittää pelkästään tuulivoimapuiston rakentamisella. Ainoa laji, jonka lukumäärän mainitaan laskeeneen selvästi seurannan aikana, on selkälokki. Seuranta on kuitenkin tutkijoiden mukaan jatkettava vielä vuosi 2011, jotta saadaan selville onko kyseessä tilapäinen vai pysyvä muutos alueen selkälokkipopulaatiossa. (*Tanskanen 2010*)

### **2.1.2 Vaikutukset muuttoreitteihin**

Tuulivoimapuiston estevaikutus voi johtaa muuttomatkan pidentymiseen. Haahkojen ylimääräiseksi matkaksi muuton aikana havaittiin Nystedin merituulipuiston tutkimuksessa koituvan noin puoli kilometriä, minkä arveltiin kasvattavan kokonaisuuttomattaka 0,5–0,7 %. Merituulipuiston kiertämisellä ei arveltu olevan merkittävää vaikutusta muuttolennon rasitukseen (*Fox ym. 2006*).

Ruotsissa Etelä-Öresundissa, minkä keskellä Lillgrundin merituulipuisto sijaitsee, on merkittävä lintupopulaatio ja alue kuuluu lintudirektiivin perusteella suojeltuihin Natura 2000 -alueisiin (SPA). Etelä-Öresundissa on seurattu lintuja jo vuodesta 1962 lähtien ja erityisesti merituulivoiman vaikutuksia linnustoon jo 1990-luvun lopusta lähtien (*Nils-*

*son & Green 2009*). Seuranta on tehty ennen ja jälkeen merituulipuiston rakentamista ja seuranta on liittynyt erityisesti muuttavien lintujen muuttoreitteihin, käyttäytymisen muutokseen sekä ruokailu- ja levähdyspaikkoihin sekä lisäksi keskeisesti törmäysriskin tutkimiseen. Tuulipuiston käytönaikaisessa seurannassa on havaittu puiston läpi muuttavien lintujen määrän pienentyneen puiston rakentamisen jälkeen keskimäärin 10 % (*Nilsson & Green 2009*). Selkeimmin tuulipuistoaluetta välttivät allit, haahkat ja tukkakoskelot. Merituulipuistoalueen kiertäminen vähentää törmäysriskiä, mutta saattaa kasvattaa muuttomatkaa. Keskimäärin muuttomatkan on havaittu kasvavan 0,2–0,5 % kokonaismuuttomatkaista, millä on vain vähäinen vaikutus muuttomatkan aikaiseen energiatalouteen (muun muassa *Pettersson 2005*). Merituulipuistojen kasvavan määrän vuoksi kumulatiiviset vaikutukset saattavat kuitenkin tulevaisuudessa aiheuttaa pitkiäkin kiertomatkoja lintujen väistäessä tuulipuistoalueita.

Suomessa Ajoksen tuulivoimapuiston kevään 2008 muuttoseurannassa tavattujen kevätmuuttajien sekä alueella kierrelleiden lintujen lentokorkeus oli havaintojen mukaan pääsääntöisesti alle 100 m. Valtaosa (65 %) muuttajista lensi hyvin lähellä vedenpintaa. Tuulivoimapuiston läpi havaittiin muuttavan laulujoutsenia, merihanhia, kanadanhanhia, merimetsoja sekä varpuslinnuista muun muassa pulmusia ja vuorihemppoja. Puiston lähellä kulkevia muuttoreittejä on puolestaan lokeilla, tiiroilla, sorsilla ja merimetsoilla. Kaiken kaikkiaan tuulivoimaloiden havaittiin vaikuttavan lintujen käyttäytymiseen vain vähän. Kurkien kohdalla havaittiin selvää empimistä ennen myllyalueelle tuloa jopa niin, että yksi parvi hajosi. Syksyllä muuttavien lintujen vallitsevat lentokorkeudet tuulivoimapuistossa olivat vuonna 2008 kevätmuuttoa korkeampia eli noin 40–150 m. Myös vuonna 2009 lähes kaikki linnut lensivät alle 200 m korkeudessa. Lentokorkeuksien ero selittyy suurilta osin muuttavan lajiston eroista; syksyllä valtaosa puiston kautta muuttavista lajeista on korkeammalla lentäviä varpuslintuja. (*Parviainen & Sauvola 2011*)

Vaikka häiriö- ja estevaikutuksia on havaittu useiden tuulipuistohankkeiden seurannoissa, vaikutukset ovat kaiken kaikkiaan jääneet paikallisiksi, eivätkä ne ole heijastuneet populaatiotasolle. Merituulipuistojen lisääntyvän määrän vuoksi niiden kumulatiiviset yhteisvaikutukset voivat kuitenkin pitkällä aikavälillä aiheuttaa myös populaatiotason muutoksia (muun muassa *Petersen ym. 2006*).

## 2.2 Elinympäristön muutokset

Tuulivoimapuiston rakentaminen voi aiheuttaa sekä väliaikaista että pysyvää elinympäristön menetystä (*Jenkins ym. 2010*). Rakentamisen aikainen ruokailualueen huononeminen ja ihmisten liikkuminen alueella voi olla merkittävää. Käytettävien elinympäristöjen väheneminen ja pirstoutuminen voivat johtaa ravinnonsaannin heikentymiseen ja/tai energiantarpeen lisääntymiseen, mikä voi puolestaan heikentää linnun elinkelpoisuutta. Lopulta muutokset voivat heijastua populaatiotasolle (*Fox ym. 2006*). Myös pesivien ja lepäilevien lintujen on todettu välttävän tuulivoima-alueita, etäisyys on lajikoh- taista ja riippuu lisäksi puiston koosta.

Toisaalta tuulivoimarakentamisen myötä voi syntyä uusia elinympäristöjä, mikä voi parantaa lintujen ravinnonsaantimahdollisuuksia, parantaa elinkelpoisuutta ja edelleen kasvattaa populaatiokokoa.

### 2.2.1 Elinympäristön menetys

Tuulivoimarakentaminen voi suoraan tuhota elinympäristöjä tai sitten vaikuttaa epäsuorasti häirinnän kautta; tuulipuiston aiheuttama häiriö voi johtaa lintujen siirtymiseen alueelta ja näin elinympäristön menetykseen. Tuulipuistojen mahdollinen häiriö linnuille riippuu tarkastelumittakaavasta ja vaikutuksen merkittävyys siitä, onko korvaavaa elinympäristöä tarjolla lähistöllä. Sopeutumista uusiin olosuhteisiin voi tapahtua, jolloin häiriövaikutus pienenee. Sopeutuminen on lajikohtaista ja riippuu muun muassa kilpailusta sekä siitä, kuinka kapea linnun ekologinen lokero on. Pitkälle erikoistuneet lintulajit eli lajit, joiden ekologinen lokero on kapea (*Hanski 2003*), ovat suuremmassa riskissä menettää elinympäristöään verrattuna opportunistisiin lajeihin, jotka sopeutuvat nopeasti monenlaisiin elinympäristöihin.

Tanskassa Horns Revin ja Nystedin merituulipuistojen monivuotiset selvitykset osoittivat, että suurin osa merilinnustosta menetti elinympäristöään merituulipuiston rakentamisen myötä (*Fox ym. 2006*). Selkeimmin lepäily- ja ruokailualueensa valitsivat muualta kuin tuulipuistoalueelta allit, ruokki, haahka, suula, tiira sekä kuikkalinnut. Merituulipuiston aiheuttamaa elinympäristön menetystä on verrattu ojitetun suon tai kaadetun metsän vastaaviin vaikutuksiin mannerluonnossa (*Vehanen ym. 2010*).

Lillgrundin merituulipuiston seurantatutkimuksissa Ruotsissa on havaittu monien lintulajien siirtyneen tuulivoimapuiston tieltä muualle ruokailemaan ja lepäilemään sekä näin ollen menettäneen aiemman elinympäristönsä. Selvimmin elinympäristöään menettivät allit, joita ei havaittu ainuttakaan tuulivoimapuiston alueella rakentamisen jälkeen, vaikka lähialueiden matalikoilla allien lukumäärässä ei tapahtunut muutosta. Myös merkittävä osa tukkakoskeloista, jotka edustavat alueen lukumäärällisesti suurinta linturyhmää, siirtyi muualle ruokailemaan tuulipuiston rakentamisen jälkeen. Kaiken kaikkiaan Lillgrundin tuulivoimahankkeen ensimmäisen vuoden käytön aikaisen seurannan tulokset viittasivat siihen, että tuulivoimapuisto ei aiheuta merkittäviä haittoja useimmille lepäileville ja talvehtiville merilintulajeille. Sen sijaan merisorsat, kuten allit, haahkat ja tukkakoskelot, välttävät tuulivoimapuistoa ja siirtyvät lähialueille. Allit käyttävät tuulivoimapuiston lähialuetta lähinnä lepäilyalueena ja siirtyvät kauemmaksi tuulivoimapuistosta ruokailemaan. (*Nilsson & Green 2009*)

### 2.2.2 Uusien elinympäristöjen syntyminen

Merituulivoimapuiston rakentamisen myötä ns. riuttavaikutuksella voi myös olla positiivisia vaikutuksia linnustoon muun muassa lisääntyneiden ravintokohteiden myötä. Tuulivoimaloiden perustukset muuttavat virtauksia ja luovat alueelle eräänlaisia keinoitekoisia riuttoja. Tämän niin kutsutun riuttavaikutuksen seurauksena muuten avoimelle ja pohjaltaan monotoniselle alueelle syntyy suojaisempia elinympäristöjä, joille voi levittäytyä uutta kasvilajistoa ja selkärangattomia eliöstöä, kuten esimerkiksi simpukoita (*Knust ym. 2003, Korpinen ym. 2007*). Lisäksi voimaloiden perustuksien aiheuttamat hydrodynaamiset muutokset (turbulenssi ja virtaukset) voivat muuttaa lajistoa varsinkin, jos pohjan raekoissa tapahtuu muutoksia (*Ambrose & Anderson 1990, Knust ym. 2003*). Riuttaefektiin vaikuttavat perustusten materiaali, rakenne ja mahdolliset antifouling -aineet, jotka estävät eliöiden kiinnittymisen rakenteisiin (*Knust ym. 2003*).

Perustuotannon lisääntymisen myötä myös kalojen määrä perustusten lähellä voi kasvaa. Näin riuttavaikutus voi parantaa lintujen ravinnonsaantia. Riuttavaikutuksen toimi-

vuudesta tuulivoimapuistojen yhteydessä ei vielä ole kattavaa tutkimusaineistoa, ja näyttää siltä, että riuttavaikutukset ovat havaittavissa vasta useiden vuosien seurantojen jälkeen (*Dong energy ym. 2006*). Keinotekoisien riutan lajistojen kehittymiseen vaikuttaa Suomessa esimerkiksi ahtojäät ja kovat myrskyt, jotka kuluttavat todennäköisesti aika ajoin tuulivoimaloiden perustukset puhtaiksi. Tämän raportin puitteissa läpikäydyissä tutkimuksissa ei löytynyt yksiselitteisiä viitteitä selvästä lintuihin heijastuneesta riutta-vaikutuksesta.

Merituulivoimaloiden on havaittu houkuttelevan etenkin merimetsoja ja lokkeja. Merimetsojen havaittiin Tanskan Nystedin merituulipuistossa kerääntyvän ajoittain suurina parvina tuulivoimaloiden perustusten ympärille (*Petersen ym. 2006*). Tuulivoimalarakenteet tarjoavat mahdollisuuden merimetsoilte toteuttaa lajityypillistä käyttäytymistään muuten avoimella merialueella ja kerääntyä lepäily- ja ruokailuryhmiin. Merimetsojen havaittiin myös jonkin verran kalastavan voimaloiden ympärillä. Myös lокkien havaittiin ajoittain kerääntyvän voimalarakenteiden ympärille ja käyttävän niitä lepäilyalueena. Muiden lähialueella elävien kalaa syövien lintujen, kuten kuikkalintujen, koskeloiden tai ruokkien, ei havaittu käyttävän voimalarakenteita ruokailualueena. Merimetsojen ja lокkien ajoittaisen kerääntymisen voimaloiden ympärille pääteltiin johtuvan pääasiassa muuttomatkan aikana tapahtuneesta lepäilystä, eikä riuttavaikutuksesta.

5 vuotta Tanskalaisen Horns Revin merituulipuiston valmistumisen jälkeen, vuonna 2007, alettiin aiemmasta poiketen saada havaintoja mustalintujen määrän runsastumisesta tuulipuiston sisällä (*Petersen & Fox 2007*). Mustalintujen runsastumisen arveltiin todennäköisemmin johtuvan ravintokohteiden runsastumisesta eikä muutoksesta lintujen käyttäytymisessä (esimerkiksi sopeutuminen tuulivoimaloiden läsnäoloon). Mahdollinen riuttavaikutus jäi kuitenkin spekulatiiviselle tasolle, sillä tutkimus ei sisältänyt pohjaeläinseurainta, eikä näin ollen saatu tutkimustietoa siitä, lisääntyikö pohjaeläinten määrä tuulivoimapuiston rakentamisen myötä.

Kaiken kaikkiaan viimeaikaisissa tutkimuksissa lintujen ei pääsääntöisesti ole havaittu käyttävän merituulipuistoja ruokailualueina vaan päinvastoin niiden määrän on havaittu laskevan rakentamisen jälkeen (muun muassa *Nilsson & Green 2009, Petersen ym. 2006*).

### 2.3 Törmäysriski ja kuolleisuus

Suorista (ja pysyvistä) vaikutuksista linnuston kannalta selvin ja merkittävin on törmäysriski. Törmäysriski voidaan arvioida laskennallisesti (*Lucas ym. 2007 PPLY 2009 mukaan*). Törmäysriski syntyy sekä tuulivoimapuistoalueella että voimajohteilla. Törmäysvaikutus riippuu tuulivoimaloiden määrästä, tiheydestä, sijoittelusta, valaistuksesta, väristä ja maastonmuodoista sekä lintujen lajisto- ja ikärakenteesta. Lisäksi törmäysvaikutus riippuu tuulivoimapuiston sijainnista sekä sääolosuhteista. Voimajohteiden kohdalla vaikutus riippuu niin ikään sijainnista (muun muassa vesistöjen ylityskohdat, muuttoreitit) ja maastonmuodoista. Lisäksi on huomioitava useiden tuulipuistojen yhteisvaikutukset.

### 2.3.1 Törmäysriskin arviointi

Yleisesti ottaen törmäysriskin on arvioitu olevan pieni sekä maa- että merituulivoimapuistoissa. Törmäysriskiä vähentää se, että linnut näkevät ja kuulevat tuulivoimalat kaukaa (valkoinen väri, massiivinen rakenne, potkureista aiheutuva melu) ja pyrkivät väistämään ne. Törmäysriski on suurimmillaan yöaikaan ja huonoissa näköolosuhteissa (sumu).

Suomessa teoreettiseksi törmäysmääräksi on oletettu ympäristöministeriön mukaan 1 kuolemaan johtava törmäys vuodessa yhtä mielivaltaisella paikalla sijaitsevaa voimalatornia kohti (*Koistinen 2004*). Aluekohtaisen törmäysmäärän saamiseksi luku tulee kertoa erityisillä voimaloiden rakenteen ja sijainnin määräämillä vaikutuskertoimilla sekä lopuksi voimaloiden lukumäärällä. Keskiarvolukua ei voi käyttää alueilla tai olosuhteissa, joissa törmäysriski on selvästi kohonnut. Eurooppalaisten tutkimusten mukaan törmäysriskin arvioidaan vaihtelevan erittäin laajasti: 1,3–64,0 törmäystä vuodessa voimalatornia kohti (*Kikuchi 2008*). Törmäysriskin suuri vaihtelevuus riippuu lähinnä tuulivoimapuiston sijainnista ja alueellisista eroista lintulajistossa.

Ruotsissa Kalmarsundin alueella sijaitsevassa merituulipuistossa on niin ikään tutkittu muuttavien lintujen törmäysriskiä (*Pettersson 2005*). Keskimääräiseksi törmäysriskiksi on arvioitu yksi törmäys per vuosi viiden voimalan tuulipuistoalueella. Todellisuudessa koko havaintojakson 1999–2003 aikana havaittiin yksi kuolemaan johtanut törmäys.

Ruotsissa Lillgrundin merituulipuiston tutkimuksissa on havaittu törmäysriskin liittyvän etenkin: 1) kevät- ja syysmuuttoon, 2) paikalliseen liikehdintään levähdyspaikkojen välillä, 3) päivittäiseen liikehdintään levähdys- ja ruokailualueiden välillä sekä 4) ihmisen aiheuttamaan häirintään alueella. (*Nilsson & Green 2009*)

Vaikka törmäysriski on arvioitu yleisesti ottaen pieneksi, se ei kuitenkaan välttämättä tarkoita, että riski olisi merkityksetön arvioitaessa lajistoon kohdistuvia populaatiotason vaikutuksia. Pienikin törmäysriskin lisäys voi olla joissain tapauksissa merkittävää esimerkiksi suurille pitkäikäisille lajeille, joiden populaatiokoko on pieni, lisääntymistuotto pieni ja sukukypsyysikä on korkea (esimerkiksi petolinnuista merikotka, maakotka ja sääksi sekä lisäksi kiljuhanhi). Tällaisten lintujen populaatioissa muutamankin yksilön kuolema voimistaa kumulatiivisia vaikutuksia eri tavalla kuin esimerkiksi runsaslukuisilla pikkulinnuilla. Näin ollen pelkän törmäysriskin mittaaminen ei riitä, vaan on mitattava myös vaikutus populaatiotasolla, ns. populaation törmäysriski (*Koistinen 2004, Chamberlain ym. 2006*). Populaation törmäysriski kertoo kuinka suuren uhan törmäykset aiheuttavat populaatiolle, josta linnut ovat peräisin. Tämän laskemiseksi tarvitaan riittävästi kvantitatiivista tietoa eli mitattavia lukuarvoja. Riskin arvioinnissa on huomioitava, että saman rakennelman aiheuttama törmäysriski voi olla mitätön koko populaatiolle, mutta tuhoisa paikallispopulaatiolle.

Törmäysriskiä voidaan mallintaa myös kehittyneemmällä menetelmällä (esim. *Band ym. 2005, Chamberlain ym. 2006*), mutta kaikkia malleja heikentää puutteellinen tieto eri lintulajien väistämiskyvystä ja käyttäytymisestä turbiinien lähellä.

Voimaloiden sijoittelulla on huomattava merkitys törmäysriskin suuruuteen. Korkeimmat törmäysriskit on todettu olevan manner- ja saaristoympäristön tuulivoimapuistoissa, jotka sijaitsevat petolintujen reviireillä. Myös lintujen muuttoreittien tai merkittävien

muutonaikaisten kerääntymäalueiden läheisyydessä sijaitsevien tuulipuistoalueiden aiheuttama törmäysriski voi olla korkea. Valtaosa Suomessa pesivistä lintuyläilijöistä muuttaa yöllä, jolloin tuulivoimalat eivät näy. Korkeisiin tuulivoimaloihin laitettavat kirkkaat valot ovat kuitenkin riski linnustolle, koska kirkkaat valot houkuttelevat lintuja ja lisäävät täten huomattavasti muuttavien lintujen yöllistä törmäysriskiä voimalaan. (Suullinen tiedonanto, Petteri Tolvanen, WWF Suomi)

### 2.3.2 Törmäysriskin lajikohtainen vaihtelu

Isot leveäsiipiset lintulajit, kuten kotkat, korppikotkat ja muut isot petolinnut, jotka liitelevät ja käyttävät ilmavirtauksia hyödykseen lentämisessä aktiivisen lentämisen sijaan, ovat suurimmassa riskissä törmätä voimalarakenteeseen (*BirdLife 1995, Hunt ym. 2002, Thelander ym. 2003, Barrios & Rodriguez 2004, Whitfield & Madders 2005, Madders & Whitfield 2006, Fox ym. 2006, Follestad ym. 2007, Tellería 2009*).

Jenkinsin ym. (2010) mukaan törmäysriskin on korkea myös lajeilla, joiden ruumiin paino on suuri suhteessa siipien pinta-alaan, mistä johtuen niiden kyky muuttaa lentosuuntaa äkillisesti on heikompi kuin suhteessa suuremman siipien pinta-alan omaavilla linnuilla. Tällaisia lintuja ovat kurki, riistalinnut, vesilinnut sekä tietyt haukkalajit. Törmäysriskin on arvioitu olevan korkea myös lajeilla, joiden lentonopeus on suuri (riistalinnut, kyyhkyt, tervapääsky, jotkut haukkalajit). Edelleen mainitaan lajit, joilla on ilmassa tapahtuva soidin (muun muassa monet petolinnut), jotka lentävät lajille tyypillisesti huonoissa valo-olosuhteissa sekä joiden eteenpäin suuntautunut binokulaarinen näkökenttä on kapea. Lajista riippumatta suurten lintuparviin paniikkitilanteissa törmäysriski tuulivoimaloihin kasvaa, vaikka kyseinen lintulaji ei normaalioloissa olisi erityisen törmäysaltis.

Syitä petolintujen suuremmalle törmäysriskille ei täysin tunneta (*Hötger 2008*), mutta on epäilty muun muassa, etteivät petolinnut kykene havaitsemaan pyörivän roottorin siipiä johtuen ns. *motion smear* -ilmiöstä (muun muassa *Jenkins ym. 2010*). *Motion smear* (synon. *retinal blur*) tarkoittaa ilmiötä, jossa jotakin nopeasti liikkuvaa objektia on sitä vaikeampi erottaa mitä lähempänä objektia havaitsija on. Ilmiö vahvistuu huonoissa valo-olosuhteissa, jolloin lintujen on vaikea erottaa jopa hitaasti liikkuvaa roottoria (*McIsaac 2001, Hodos 2002*).

Törmäysriskin on havaittu riippuvan vuorokaudenajasta. Merialueella on havaittu päiväsaikaan muuttavien merilintujen havaitsevan tuulivoimalat kaukaa, 1–3 km päästä, ja väistävän niitä. Yömuuttajien käytös on samansuuntaista, joskin väistäminen tapahtuu lähempänä voimaloita, noin 0,5 km päässä. Pikkulintujen kohdalla maatuulipuiston läpi yöaikaan muuttavien lajien törmäysriski riippuu suuresti sääolosuhteista. (*Petersen ym. 2006, Nilsson & Green 2009*)

Norjassa Smølan tuulivoimapuistossa on vuosina 2006–2010 tutkittu laajamittaisesti tuulivoiman vaikutuksia lintuihin, erityisesti merikotkaan. Tutkimushankkeen nimi on The BirdWind ja sen on toteuttanut The Norwegian Institute for Nature Research (NI-NA). Tutkimusohjelma sisältää muun muassa lintujen liikkeen tutka- ja videotarkkailua tuulivoimapuiston sisällä, yksittäisten lintujen liikkeen seuranta GPS-paikantimien avulla, säännöllistä kuolleiden yksilöiden etsintää koirien avulla, jatkuvaa populaatiokoon muutosten tarkkailua sekä törmäyskuolemien vähentämis- ja ehkäisykeinojen tutkimista. Tutkajärjestelmät tarjoavat runsaasti mahdollisuuksia lintujen muu-

ton aikaisten, lajikohtaisten sekä törmäystä edeltävien liikkeiden seuraamiseen ja sitä kautta törmäysriskin vähentämiseen, mitä tulisi tutkijoiden mukaan hyödyntää tehokkaammin tulevaisuudessa. (*Bevanger ym. 2010*)

Alustavien tulosten mukaan merikotkat eivät häiriinny tuulivoimaloista tai aktiivisesti väistä niitä, mitä pidetään pääasiallisena syynä runsaasiin törmäyskuolemiin. Merikotkat ovat synnyinpaikkauskollisia ja palaavat takaisin synnyinalueilleen lisääntymisiän saatuttuaan. Nuorten lintujen ensimmäisten vuosien muuttoliikehdintä tapahtuu pohjois-eteläsuunnassa ja etenkin rannikkoalueilla syntyneet kotkat ovat tämän vuoksi vaarassa törmätä muuttomatallaan rannikkoalueilla olevien ja suunniteltujen tuulivoimapuistojen voimaloihin. Törmäysriski on suurimmillaan kotkien ensimmäisen elinvuoden syksynä ja toisen elinvuoden keväänä. Tutkimuksen mukaan kuitenkin suurin osa kuolleena löydetyistä merikotkista oli aikuisia. Tämä selittyy sillä, että aikuiset linnut liikkuvat nuoria enemmän ruokailu- ja pesimäalueiden välillä, minkä vuoksi niiden reiteille osuu useimmin voimalarakenteita. (*Bevanger ym. 2010*)

Smølan tuulivoimapuistossa vuosittain kaikista puistossa esiintyvistä lintulajeista keskimäärin 7,8 yksilöä kuolee törmättyään tuulivoimalarakenteisiin. Myös riekot lentävät usein tuulivoimaloita päin ja niitä on löydetty kuolleena tuulivoimapuistoalueelta keskimäärin 14,8 yksilöä vuosittain. Tuulivoimaloiden lähialueilla lintujen pesimämenestys on ollut huono ja merkittävä osa tuulivoimaloiden lähialueella (2 km säteellä) sijainneista merikotkan reviiereistä autioitui pysyvästi. Huolimatta törmäyskuolemista ja lähialueen reviirien autioitumisesta, merikotkan kanta on voimistunut viime vuosina Smølan ympäristössä. (*Bevanger ym. 2010*)

Smølan tuulivoimapuiston tutkimusaineiston analysoinnin yhteydessä on pohdittu syitä runsaasiin lintukuolemiin. Pääsyyinä pidetään ennen kaikkea heikkolaatuista ympäristövaikutusten arviointimenettelyä ja ennakkoseurantaa sekä puutteita lajikohtaisen törmäysriskin arvioinnissa (*Bevanger 2011*). Jälkeenpäin on myös voimakkaasti kritisoitu päätöstä rakentaa tuulivoimapuisto alueelle, missä ympäristövaikutusten arviointimenettelyn yhteydessä tehtyjen tutkimusten perusteella pesi 19 merikotkaparia ja YVA-selostuksessa tuotiin ilmi tuulivoimapuiston negatiiviset vaikutukset merikotkiin (*Follestad ym. 2007*).

Suomessa Merenkurkun ja Ahvenanmaan alueille suunnitteilla olevien tuulivoimapuistojen on arvioitu uhkaavan tihentynyttä merikotkakantaa (*Vehanen ym. 2010*). Satelliittilähettimien varustettujen nuorten merikotkien ensimmäisen vaellusvuoden lentoreitit Merenkurkussa ja Selkämerellä ovat kulkeneet hyvinkin keskitetysti niillä rannikkokais-taleilla, joilla merituulipuistoja Suomessa parhaillaan suunnitellaan (*Saurola ym. 2010*).

### Merikotkan tila Suomessa

Merikotka oli sukupuuton partaalla 1970-luvulla, jolloin Suomessa tunnettiin vain noin 35 pesivää merikotkaparia. Merikotkan kanta on vahvistunut erityisesti talviruokinnan ansiosta, jota jatkettiin yli 20 vuotta. Nyt merikotka selviää jo ilman talviruokintaa ja tällä hetkellä Suomen pesimäkannan koko on 320–360 paria. Vuoden 2011 poikaslaskennoissa löytyi 329 poikasta. Koko Itämeren alueella pesii noin 1500 merikotkaparia ja Euroopan alueella arvioidaan olevan noin 3500 paria. Merikotka pesii Suomessa lähinnä rannikkoalueilla ja saaristossa, mutta viime vuosina pesintää on havaittu myös sisämaassa.

Merikotka on Suomessa rauhoitettu ja sen tahallinen häiritseminen on kielletty, lisäksi merikotkan säännöllisessä käytössä oleva pesäpuu on rahoitettu. Merikotka on luokiteltu vaarantuneeksi (VU) ja erityisesti suojeltavaksi lajiksi. Se kuuluu lintudirektiivin liitteen I lajeihin. Vanhat merikotkat pysyvät reviiriensä tuntumassa läpi vuoden, mutta nuoret merikotkat muuttavat jopa Etelä-Eurooppaan asti. Ennen merikotkan suurimpia uhkia olivat ympäristömyrkyt ja vaino, mutta nykyisin lajia uhkaavat lähinnä häirintä pesimäalueilla (metsänhoito, loma-asutus, veneily, moottorikelkkailu), voimajohdot, sähköpylväät sekä potentiaalisesti liian lähelle niiden reviirejä sijoitetut tuulivoimapuistot. (BirdLife Suomi 2010, Metsähallitus 2011, WWF 2011b)

Petolintujen, etenkin isohaarahaukan ja merikotkan, on Saksassa havaittu törmäävän tuulivoimalarakenteisiin useammin kuin monien muiden lintulajien (*Mammen ym. 2008, Rasran ym. 2008*). Syyksi on epäilty sitä, että tuulivoimapuistot sijaitessaan laajojen avoimien peltoalueiden keskellä tarjoavat etenkin isohaarahaukoille otollisen saalistuspaikan, sillä niiden saaliseläimet, kuten pienet jyrsijät, käyttävät voimaloiden perustuksia piilopaikkoinaan. Haukat lukeutuvat nk. opportunistisiin saalistajiin ja avoimilla peltoaukeilla ne suosivat reuna-alueita, kuten teitä tai tässä tapauksessa tuulivoimapuistoja. Tästä johtuen voimalarakenteet houkuttelevat saalista etsiviä haukkoja vaarallisen lähele ja niiden törmäysriski kasvaa.

Ahvenanmaalla Båtskärin alueella kuolleiden lintujen etsinnöissä löytyi vuonna 2010 yhteensä neljä lintua, jotka olivat kaikki harmaalokkeja. Kuolemat ovat saattaneet aiheuttaa törmäyksistä lukuun ottamatta yhtä lintua, jonka jäljet viittasivat enemmänkin merikotkan raatelujälkiin. Merikotkien havaittiin saalistavan kaikilla seurantaludoilla. Saalistus keskittyi luodoille, jotka ovat avoimempia ja tarjoavat vähemmän suojapaikkoja saaliille. Merikotkien saalistuspaineen epäiltiin osaltaan selittävän pesivien lintujen määrän laskua. Huolimatta merikotkien aktiivisesta liikkumisesta tuulivoimapuiston sisällä, niitä ei löydetty kuolleiden lintujen etsinnöissä. (*Tanskanen 2010*)

Suomessa Ajoksen tuulivoimapuistossa havaittiin koko seurantajakson 2008–2010 aikana yhden telkän törmäyksen tuulivoimalarakenteeseen (*Parviainen & Sauvola 2011*). Pikkulintujen nähtiin muutaman kerran lentävän myllyn siipien väliin niin, että ne joutuivat tekemään väistöliikkeitä, mutta osumia ei havaittu. Haarapääskyparven havaittiin niin ikään lentävän tuulivoimalan lapojen pyörimisreitille, mutta väistävän lavat onnistuneesti. Muita yksittäisen kerran törmäysreitille lentäneitä lintulajeja olivat joutsen, pulmunen sekä merikotka, jotka kaikki väistivät pyörivän lavan.

Itse tuulivoimalarakenteiden lisäksi voimajohdot voivat aiheuttaa törmäysriskin. Lintu saattaa kuolla itse törmäyksen aiheuttamaan mekaaniseen vaurioon ja/tai sähköiskuun. Sähköiskun saamisen riski on suurempi korkeajännitejohdoissa, joissa kuolettavan sähköiskun aiheuttava virtapiiri ulottuu laajemmalle (yli 2 metrin päähän) kuin matalajänni-

tejohdoissa. Voimajohtoon törmäämisen riski on suurimmillaan isokokoisilla lajeilla, kuten kotkilla, korppikotkilla ja haikaroilla johtuen samoista syistä, mistä voimalarakenteeseen törmääminenkin. Lisäksi edellä mainittujen lajien riskiä joutua voimajohtoon virtapiiriin lisää niiden siipien pitkä kärkiväli sekä pienikokoisia lintuja heikompi kyky tehdä nopeita väistöliikkeitä. (*Jenkins ym. 2010*)

### 2.3.3 Lentokorkeuden vaikutus törmäysriskiin

Tanskassa ja Ruotsissa on havaittu monien muuttavien lintujen lentävän sellaisella korkeudella, että niillä on riski törmätä tuulivoimalarakenteeseen (*Pettersson 2009, Hüppop ym. 2002*). Pettersson (2009) tutki muuttavien lintujen lentokorkeuksia avomerialueella eri vuorokauden ja vuoden aikoina huonoissa näköolosuhteissa, kuten hämärän ja pimeän aikaan sekä merisumussa. Aineisto koostui noin 15 000 pikkulinnusta ja 1400 merilinnusta. Tulosten mukaan jopa 90 % merilinnuista lentää sellaisella korkeudella, että niillä on suuri laskennallinen riski törmätä tuulivoimalarakenteeseen. Tutkimuksessa huomattiin kuitenkin merilintujen väistävän voimalarakennetta myös yöaikaan, joskin vasta saavuttuaan noin 500–600 metrin etäisyydelle voimalasta, kun päiväsaikaan vastaava väistämisetäisyys on 1–3 km. Merisumussa lintujen epäiltiin lentävän sumu- vyöhykkeen yläpuolella, mikä estää niiden törmäämisen voimalaan myös merisumun vallitessa. Pikkulinnuista vain noin 22 % lensi voimalarakenteen korkeudella, tulosten vaihdellissa jonkin verran vuorokauden ja vuodenajasta riippuen. Pikkulintujen osalta ei kuitenkaan saatu tutkimustietoa siitä, kuinka hyvin ne kykenevät väistämään voimalarakenteita.

Ruotsalaisessa tutkimuksessa selvitettiin tunturialueen tuulivoimapuiston vaikutuksia linnustoon etenkin lisääntymis- ja muuttoaikana (*Falkdalen ym. 2009*). Tutkimuksessa keskityttiin lajeihin, joiden tiedetään olevan erityisen herkkiä tunturialueen tuulivoimapuiston vaikutuksille. Tällaisia ovat muun muassa kanalinnot (teeri, riekko ja metso), tunturihaukka sekä maakotka. Tulosten analysointi on vielä kesken, mutta tähän mennessä tehtyjen havaintojen mukaan 20 % kaikista muuttavista linnuista lensi sellaisella korkeudella, että niillä on riski törmätä voimalarakenteeseen. Edelleen varislinnuista, kahlaajista ja petolinnuista jopa 50 % lensi voimalarakennetta vastaavalla korkeudella, minkä perusteella törmäysriskin arveltiin olevan suurempi niiden keskuudessa. Saman tutkimuksen yhteydessä tehtiin havaintoja maakotkien liikkumisesta tuulivoimala-alueella. Maakotkien havaittiin jäävän synnyinalueelleen loka-syyskuuhun asti ja saapuvan muuton jälkeen takaisin samalle alueelle viettäen siellä useita kesiä. Falkdalen ym. (2009) mukaan alueilla, joilla on maakotkapopulaatio, voidaan tuulivoimapuistolla olettaa olevan haitallisia vaikutuksia maakotkiin.

Ruotsissa Forsmarkin ydinvoimalan läheiselle Biotestsjön alueelle on suunnitteilla 15 voimalan tuulivoimapuisto. Biotestsjön alue on tärkeä merikotkien elinalue ja linnut myös talvehtivat alueella. Forsmarkin ydinvoimalan jäähdytysvedet johdetaan Biotestsjö-järveen, minkä vuoksi vesialue pysyy sulana myös talvisin ja houkuttelee merikotkia saalistamaan. Tutkimushankkeessa on vuosina 2007–2009 intensiivisesti seurattu merikotkien lentoratoja (suuntaa ja korkeutta) törmäysriskin arvioimiseksi. Merikotkien havaittiin käyttävän aluetta lähinnä saalistusalueena ja ravinnonhankintalentojen kulkevan tiettyjä säännöllisiä reittejä. Merikotkien lentoratojen tutkimuksen perusteella alueen linnut lentävät pääasiassa matalilla korkeuksilla eli noin 35–80 metrissä ja vähemmässä määrin yli 100 metrin korkeudessa. Tämän perusteella yli 100 metriä korkeat tuulivoimalat olisivat vähemmän haitallisia merikotkien kannalta. Törmäysriskiksi arvioitiin 1–

2 merikotkaa vuodessa koko tuulivoimapuiston alueella. Lisäksi pyrittiin kehittämään tehokkaampia menetelmiä, joilla voidaan havaita törmäyksen seurauksena kuolleet merikotkat maastosta. Tutkimuksessa maastosta etsittiin sinne etukäteen vietyjä ruhoja ja arvioitiin kuinka nopeasti raadonsyöjät hävittävät ne. Tulosten mukaan etsijät löysivät keskimäärin 75 % ruhoista. Ruhon löytämiseen vaikuttavat muun muassa etsimiseen käytetty työmäärä, raadonsyöjien lukumäärä alueella sekä se, putoaako ruho veteen, tiiviiseen pensaikkoon tai ruovikkoon. Ruhot, jotka olivat ruovikon seassa lähellä rantaviivaa, hävisivät nopeammin kuin pensaikossa oleva. (*Kindlund ym. 2009, McGrady & Whitfield 2011*)

Petolintujen on havaittu kovalla tuulella lentävän matalammilla korkeuksilla (*Richardson 2000*). Kovalla tuulella myös tuulivoimaloiden roottorit liikkuvat nopeasti, mikä lisää petolintujen törmäysriskiä (*Drewitt & Langston 2008*).

Saksassa on tutkittu monivuotisessa hankkeessa (*FINO, FINO2, FINO3*) merituulivoiman potentiaalisia vaikutuksia linnustoon. Hankkeessa on tutkittu muun muassa muuttavia lintuja (yö- ja päivämuuttajat) ja tutkimusmenetelminä on käytetty erilaisia visuaalisia ja akustisia havainnointimenetelmiä, lämpökameroita ja tutkajärjestelmiä (*Hüppopp ym. 2006*). Havaintojen mukaan lähes puolet muuttavista linnuista lensi korkeudella, jossa niillä on kohonnut riski törmätä voimalarakenteeseen. Törmäysriski on suurimmillaan yöaikaan ja huonoissa näköolosuhteissa.

### 3 LINNUSTON HUOMIOIMINEN TUULIVOIMAHANKKEISSA

Kirjallisuuskatsauksen perusteella Suomen lähialueella on tuulivoimahankkeisiin liittyen tehty mittavia useita vuosia kestäneitä linnustovaikutusten tutkimushankkeita. Hankkeissa on käsitelty etenkin muuttavaa linnustoa, petolintuja, merilintuja sekä niiden törmäysriskiä eri vuoden- ja vuorokauden aikoina ja erilaisissa sääolosuhteissa. Lisäksi tutkimuksissa on käsitelty lintujen lentoreittejä (suuntaa ja korkeutta), lentokäyttäytymistä (biomekaniikkaan ja aerodynamiikkaan liittyviä tekijöitä) sekä näkökykyä. Tutkimusmenetelminä on käytetty muun muassa akustisia ja visuaalisia havainnointivälineitä, kuten tutka-, video- ja kamerasysteemeitä (myös lämpökameroita) sekä kiikari- ja etäisyshavainnointia, maastoinventointeja (raatojen etsintä), GPS-paikannusta, radiotelemetriaa sekä DNA-analyyseja. Tutkimusten kesto on ollut yleensä vähintään yhden vuoden, mitä pidetään miniminä linnustoseurannoille tietyn alueen koko vuoden aikaisen lintupopulaation selvittämiseksi. Useimmat tutkimushankkeet ovat kestäneet 2–5 vuotta.

Tutkimushankkeet ovat pyrkineet myös löytämään keinoja tuulivoiman aiheuttamien haittojen (tähän mennessä etenkin törmäyskuolemien) vähentämiseksi ja estämiseksi. Tutkimushankkeiden laajuuteen nähden suosituksia on yleisesti ottaen kuitenkin annettu toistaiseksi verraten vähän ja raporteissa on usein tuotu esiin lisätutkimusten tarve. Lisätutkimuksia tarvitaan muun muassa lintujen (etenkin merikotkien) näkökyvyn vaikutuksesta niiden käyttäytymiseen mukaan lukien väri- ja liikeherkkyyden aistimisen vaikutus sekä siitä, millä etäisyydellä tietystä kohteesta lintujen visuaaliset aistit aktivoituvat. Lisäksi tarvitaan lisää tutkimustietoa lintujen biomekaanisista ja aerodynaamisista taidoista, jotta saadaan selville, kuinka turbulenssi ja pyörteet tuulivoimaloiden lapojen lähellä vaikuttavat lintujen lentokykyyn ja erityisesti niiden kykyyn väistää voimaloiden-lapoja niiden lähietäisyydelle jouduttaessa. Tutkimusten mukaan nykyisen tietämyksen

perusteella yksiselitteisten ja yleispätevien toimintamallien tai suositusten antaminen linnustovaikutusten vähentämiseksi tuulivoimarakentamisessa on erittäin haastavaa.

### 3.1 Huomioitava lainsäädäntö

Tuulivoimahankkeiden linnustovaikutusten arvioinneissa tulee seuraavien lakien perusteella huomioida muun muassa seuraavat 1) direktiivit, 2) lajit ja luontotyypit sekä 3) suojelualueet, jotka liittyvät suoraan tai välillisesti lintuihin:

1) direktiivit:

- Lintudirektiivi artikla 1 eli Suomen pesimälintulajit ja säännölliset läpimuuttajat (EU:n tärkeänä pitämät lintulajit)
- Luontodirektiivi liite I, Suomessa 69 luontotyyppiä (EU:n tärkeänä pitämät luontotyypit)
  - Lintu- ja luontodirektiivi on Suomessa implementoitu luonnonsuojelulailla (1096/1996)

2) lajit ja luontotyypit:

- Itämeren uhanalaiset lajit ja luontotyypit (*HELCOM 2007*)
- Kansallisesti uhanalaiset luontotyypit ja lajit (*Raunio ym. 2008, Rassi ym. 2010*)
- METSO-luontotyypit (*Hakalisto & Syrjänen 2008*)

3) suojelualueet tai niihin rinnastettavat alueet:

- Lintudirektiivin perusteella suojellut Natura 2000 -alueet (SPA).
- Linnustollisesti huomionarvoiset alueet, kuten kansallisesti (FINIBA) tai kansainvälisesti (IBA) arvokkaat lintualueet (*BirdLife Suomi 2009, Leivo ym. 2001*).

### 3.2 Linnustovaikutusten ehkäisy- ja vähentämiskeinot

Tuulivoimapuiston sijainnin oikea valinta on keskeisin yksittäinen tekijä linnustovaikutusten vähentämisessä ja ehkäisyssä (muun muassa *Mammen 2008, Vindval 2010*).

#### 3.2.1 Tuulivoimapuistojen ja voimaloiden sijoittelu

Tuulivoimapuistoja ei tule rakentaa alueille, joiden tiedetään olevan lintujen tärkeitä ruokailu-, elin- ja kerääntymisalueita tai muuttoreittejä. Etenkin on vältettävä petolintujen tärkeitä elinalueita (*Mammen 2008*). Lisäksi on vältettävä erityisesti solia, laaksoja, harjuja ja välitöntä rantaviivaa, jotka ohjaavat lintujen liikkeitä (*suullinen tiedonanto, Teemu Lehtiniemi, BirdLife Suomi*).

Tuulivoimapuistot tulisi sen sijaan rakentaa alueille, joilla on jo entuudestaan ihmisvaikutusta ja infrastruktuuria tai voimakkaasti muutetuille talousmetsäalueille. Syvät riittä-

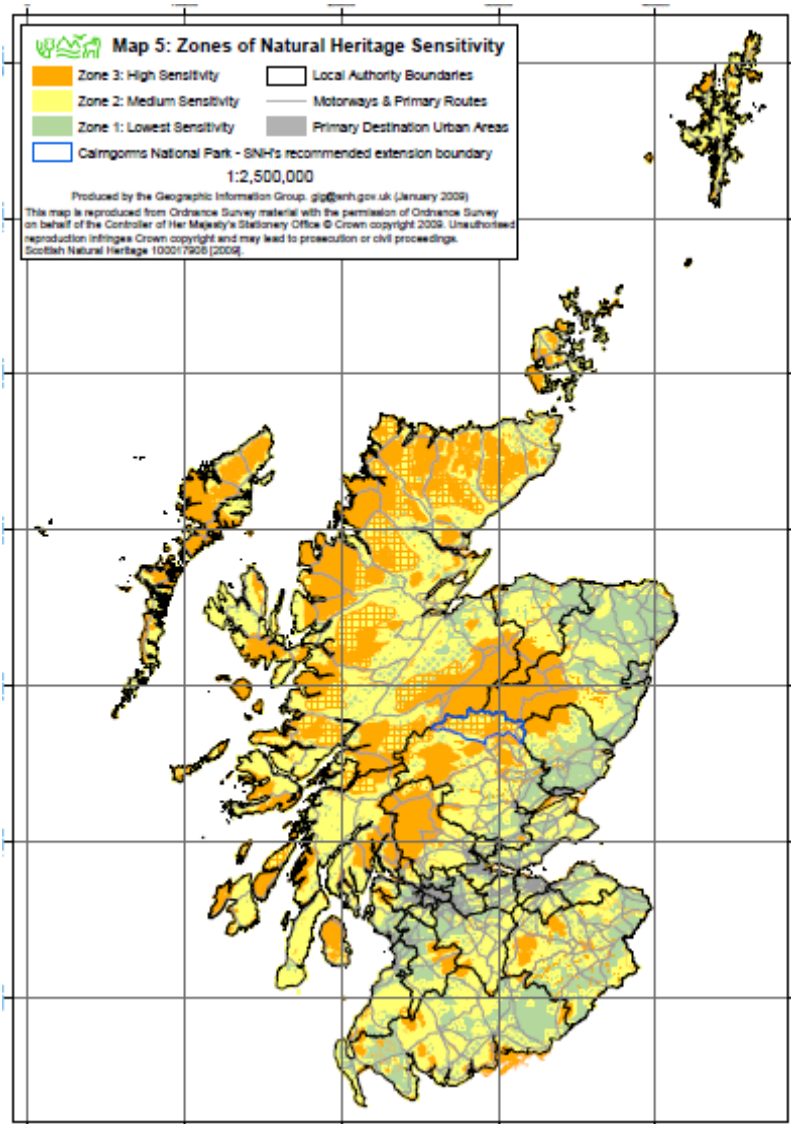
vän kaukana rannikosta sijaitsevat avomerialueet ovat myös linnuston kannalta suotuisia alueita tuulipuistojen rakentamiselle. Tuulivoimapuistojen keskittäminen rajatuille alueille suuriksi kokonaisuuksiksi on sekä lintujen että muun luonnon kannalta parempi vaihtoehto kuin niiden hajasijoittaminen. (*Vindval 2010*)

Tuulivoimaloiden sijoittelulla puiston sisällä voidaan joidenkin tutkimusten mukaan vaikuttaa törmäysriskiin. Tässä oleellista on välttää muuttosuuntiin vastakkaisia seinämiä eli voimat tulisi sijoittaa kiilamaisesti (salmiakkeihin tai linjoihin) muuttajien pääsaapumissuuntaa kohti (*PPLY 2009*). Myös riittävän leveiden käytävien jättäminen tuulivoimaloiden väliin saattaa vähentää törmäysriskiä (*Drewitt & Langston 2008*). Toisaalta tutkijat ovat sitä mieltä, että mahdollisesti tehokkaimmin törmäysriskiä voidaan vähentää minimoimalla rakenteellisilla ratkaisuilla puiston läpi lentävien lintujen määrä (*Kuvlevsky ym. 2007, Drewitt & Langston 2008*). Tämä tosin lisää menetetyn elinympäristön määrää (*Jenkins 2010*).

### **Euroopan unionin suositukset**

Euroopan unioni on antanut ohjeistuksen tuulivoiman Natura 2000 -alueisiin kohdistuvien luontohaittojen vähentämiseksi. Sen mukaan tuulivoimapuiston sijainnin oikea valinta on ensisijaisen tärkeä tekijä linnustovaikutusten ehkäisemisessä ja vähentämisessä. Paikan oikea valinta heti prosessin alussa vähentää myös riskiä hankkeen myöhästymiselle. EU:n mukaan ympäristövaikutusten arviointimenettelyt ovat tällä hetkellä paikoin heikkolaatuisia ja niiden taso on liian kirjava. Menetelmien, prosessien ja standardien yhtenäistäminen on tärkeää tuulivoimahaittojen minimoimisessa. Arviointien tulee perustua laadukkaaseen ja riittävän kattavaan tutkimustietoon. (*Euroopan unioni 2010*)

Vaikka kaikki Euroopan Natura 2000 -alueet sekä muut luonnonsuojelualueet jätettäisiin tuulivoimarakentamisen ulkopuolelle, Euroopassa riittäisi tuulivoimalle soveltuvia maa-alueita kattamaan 3–7 -kertaisesti kokonaisenergiankulutus vuosina 2020 ja 2030. Strategisessa suunnittelussa oleellista on herkkien alueiden kartoittaminen etukäteen, jolloin voidaan mallintaa eri alueiden potentiaaliset luontoarvot ja sen myötä niiden riskialttius tuulivoiman aiheuttamille haitoille (Kuva 3-1). (*Euroopan unioni 2010*)



**Kuva 3-1. Esimerkki skotlantilaisesta karttaesityksestä, missä näkyy herkkien alueiden maantieteellinen jakautuvuus. Lähde: Euroopan unioni 2010.**

### Suomen suositukset

Ympäristöministeriön toimesta työstettiin vuonna 2001 ehdotus ympäristötekijöiden huomioon ottamisesta tuulivoiman rakentamista koskevassa suunnittelussa ja päätöksenteossa (*Ympäristöministeriö 2002*). Työryhmän tausta-aineistoksi teetettiin erillinen tuulivoiman linnustovaikutuksia käsittelevä raportti (*Koistinen 2004*). Koistisen (2004) mukaan tuulivoimalapuiston rakentamisen aiheuttamat häiriöt sekä valmiin puiston huolto ja tieverkosto vaikuttavat luontoon ja linnustoon kuten muukin rakentaminen. Usein nämä vaikutukset ovat merkittävämpiä kuin suorien törmäyksien aiheuttamat vaikutukset. Paikallinen lintupopulaatio voi häiriintyä tai tuhoutua, jos tuulivoimala tai sen rakentamisen aikaiset järjestelyt tuhoavat pesimäpaikan tai rakentamisen aikainen häiriö tuhoaa pesintöjä. Rakentamisen ajoittaminen pesimäkauden ulkopuolelle pienentää paikalliselle populaatiolle kohdistuvaa riskiä. Linnustoon kohdistuva haitallinen vaikutus ja törmäysriski on suurempi seuraavilla alueilla ja niiden läheisyydessä (alle kilometrin säteellä lintualueesta):

- pienten, uhanalaisten populaatioiden ainoilla pesimispaikoilla (esimerkiksi rantakurvi, kultasirkku, etelänkiisla, tunturi- ja muuttohaukka, kiljuhanhi, räyskä)
- kosteikkoalueilla, joilla havaitaan poikkeuksellisen suuria vesi- ja kahlaajalintumääriä (esimerkiksi Liminganlahti, Kokemäenjoen suisto)
- peltoaukeilla ja niityillä, missä on poikkeuksellisen suuria lintukeskittymiä, varsinkin jos paikka on uhanalaisen lajin säännöllinen lepäilyalue, esimerkiksi Lumijoen-Limingan alueen hanhipellot (kiljuhanhen lepäilyalueet) ja Vaasan Söderfjärden (kurkien lepäilyalue)
- voimakkailla muuttovirtojen keskittymillä.

BirdLife Suomen (2011a) mukaan tuulivoimapuiston ja voimaloiden sijaintia päätettäessä tulisi selvittää suunnittelualueen pesivä, lepäilevä, talvehtiva ja muuttava linnusto riittävän pitkän jakson aikana (vähintään vuosi) sekä arvioida vaarassa olevien lintujen lajisto ja määrä (esimerkiksi isot petolinnut, kuten merikotka) ja verrata potentiaalisia haittoja näiden lajien kantoihin alueella. Tuulivoimapuiston sijainti tulisi valita siten, että siitä aiheutuu mahdollisimman vähän haittaa alueen linnustolle ja muulle luonnolle. Merituulivoimapuiston paikan valinnassa tulisi huomioida se, että:

- matalat vesistöt ovat lähes kaikille vesi- ja lokkilinnuille tärkeitä ruokailualueita
- hiekkasärkät ja -riutat ovat erityisen tärkeitä levähdys- ja ruokailupaikkoja linnuille (niiden käyttö tuulivoimaloiden sijoittamiseen ei ole hyväksyttävää)

Kun tuulivoimapuiston sijainti on päätetty, tulisi yksittäiset voimalat suunnitella tai sijoittaa siten, että:

- ne eivät sijoitu lintujen vakiintuneille lentoreiteille (esimerkiksi yöpymislennot)
- ne ovat linjassa vakiintuneiden muutto-/lentoreittien suuntaisesti, eivät poikittaissuuntaisesti, jolloin ne toimivat esteenä
- ne eivät sijoitu uhanalaisten lajien pesimäreviireille tai niiden läheisyyteen.

WWF Suomen (2011a) mukaan maatuulivoiman keskeisimmät vaikutukset ympäröiviin luontoarvoihin ovat melu ja lintujen törmäykset roottoreihin, rakentamisen aikainen häiriö sekä elinympäristöjen tuhoutuminen ja pirstoutuminen voimalan ja sen voimalinjojen, huolto- ja rakennusväylien kohdalta. Näiden haittojen ehkäisemiseksi WWF edellyttää, että:

- Tuulivoimaloita ei rakenneta alueille, jotka on varattu luonnonsuojeluun. Tällaisia ovat:
  - Lakisääteiset luonnonsuojelualueet
  - Natura 2000 -alueet
  - Erämaa-alueet

- Valtakunnalliseen luonnonsuojeluohjelmaan kuuluvat alueet
- Kansainvälisten suojelusopimusten alueet
- UNESCO:n maailmanperintökohteet, joiden perusteena on luonto
- Kaavojen suojelualuevaraukset.
- Tuulivoimaloita ei rakenneta alueille, joilla on uhanalaisen lajin tai luontotyypin esiintymä tai muita erityisiä suojeluarvoja. Tällaisia ovat:
  - Luonnonsuojelulain (47§ ja 49§) mukaisesti rajatut uhanalaisten lajien esiintymät
  - Luonnonsuojelulain (29§), metsälain (10§) ja vesilain (15§ ja 17§) mukaisesti rajatut tärkeät elinympäristöt
  - Kansainvälisesti, kansallisesti ja maakunnallisesti tärkeät lintualueet
  - Tiedossa olevien suurikokoisten uhanalaisten päiväpetolintujen (merikotka, maakotka, kiljukotka) pesien lähiympäristöt 2 km säteellä
  - Merikotkan pesien lähistöllä (10 km säteellä) olevat saalistusalueet, kuten lintujärvet, matalat merenlahdet, lintuluodot ja allikkoiset suot sekä lentoreitit näiden ja pesien välillä sekä merikotkan potentiaaliset säännölliset kaartelualueet, joissa on voimakkaita nousevia ilmavirtauksia. Lisäksi vältettävä voimalinjojen rakentamista alle 500 metrin säteelle merikotkan säännöllisistä lentoreiteistä ja korkealle nousevia linjoja, jotka katkaisevat kotkien lentoreittejä.
  - Merikotkien ja muiden törmäyksille alttiiden lintujen kevät- ja syysmuuttoreittien käytävät ja kapeikot, joissa törmäysriski muodostuu huomattavaksi.
  - Alueet, joilla vallitsevissa tuuliolosuhteissa on sellaisia nousevia ilmavirtauksia, joita merikotkat ja muut kaartelevat linnut käyttävät säännöllisesti hyväkseen. Tällaisia ovat laajat avokallioalueet, puuttomat, aurinгон paahtamat alueet ja etelän-lännen puoleiset jyrkät rinteet.
  - Valtakunnallisesti arvokkaat perinneympäristöt ja maisema-alueet
  - Valtakunnallisesti arvokkaat kallio- moreeni-/tuuli- ja rantakerrostuma-alueet
  - Ojittamattomat suot
- Tuulivoimapuisto tai sen voimalinjat eivät saa katkaista nk. viherkäytäviä luonnonsuojelun kannalta merkittävien alueiden välillä.

- Tuulivoimalaa tai sen huoltoreittejä ja voimalinjoja ei rakenneta tärkeiden elinympäristöjen, kuten purojen, rinnelehtojen ja lähteiden, päälle ja niihin on jätettävä sopiva suojaetäisyys.
- Tärkeimpien muuttolintureittien varrella tuulivoimapuistot sijoitetaan muuttoreittien suuntaisesti.
- Tuulivoimaloiden rakentamisajankohta on säädettävä paikallisen lajiston mukaan, yleensä lintujen pesimäkauden ulkopuolelle.

Merituulivoiman suurimmat uhat meriluonnolle ovat WWF Suomen mukaan elinympäristöjen tuhoutuminen ja pirstoutuminen sekä tuulivoimapuistojen rakentamisvaiheen aiheuttama veden samentuminen ja meluhaitat (*WWF 2011a*). Näiden uhkien välttäminen edellyttää toimenpiteitä ja harkintaa tuulivoimalayksiköiden sijoittamisessa, rakentamisajankohdassa, rakentamisvaiheen toiminnoissa sekä merikaapelien sijoittamisessa ja peittämisessä. Seuraavassa mainituilla seikoilla voi olla suoria tai epäsuoria vaikutuksia linnustoon. Suoria vaikutuksia ovat esimerkiksi lintujen elinalueiden tuhoutuminen ja epäsuoria esimerkiksi ravintokohteiden, kuten kalojen, lajiston tai yksilömäärien muutokset. WWF edellyttää, että alueellisessa suunnittelussa:

- Tuulivoimaloita ei rakenneta alueille, jotka on varattu luonnonsuojeluun, jotka kuuluvat nk. tärkeiden lintualueiden verkostoon (IBA- ja FINIBA-alueet ja maakunnallisesti tärkeät lintualueet) tai jotka ovat luonnonsuojelulain mukaisesti rajattuja uhanalaisten lajien esiintymiä.
- Tuulivoimalat sijoitetaan yli 10 m syvyyteen. Alle 10 m syvyiset alueet tulee säästää rakentamiselta, sillä ne ovat meriluonnon tuottoisimpia ja monimuotoisimpia keitaita. Näille alueille tuulivoimarakentamista tulee suunnitella vain, jos luontokartoitusten kautta on ilmennyt, että alueella ei ole merkittäviä luontoarvoja.
- Tärkeimpien muuttolintureittien varrella tuulivoimapuistot sijoitetaan muuttoreittien suuntaisesti.
- Perustamisratkaisuna käytetään tekniikoita, jotka minimoivat voimaloiden jalustojen vaikutuksia.
- Tuulivoimalat rakennetaan välttämättä samanaikaisia lähekkäisiä pohjatöitä, jotta samentuminen ei kata laajoja vesialueita kerrallaan.
- Merikaapelia ei vedetä runsaskasvuisten merenlahtien tai kasvipeitteisten matalikoiden läpi.
- Massat läjitetään syville akkumulaatiopohjille.
- Pohjarakennustöissä rakentamisajankohta valitaan paikallisen lajiston mukaan ottaen erityisesti huomioon kalojen lisääntymisajat.
- Räjätettäessä veden alla merinisäkkäät on hädisteltävä alueelta ja paineaaltoa vaimennettava kuplaverholla tai muulla tekniikalla.

### **Ruotsin suositukset**

Ruotsin lintutieteellisen yhdistyksen suosituksen mukaan luonnonsuojelualueet, luonnonpuistot, kansallispuistot, Natura 2000 -/SPA -alueet sekä IBA-alueet on jätettävä tuulivoimarakentamisen ulkopuolelle. Myös luonnonhoitometsät tulisi rauhoittaa tuulivoimarakentamiselta, jos niillä on erityisen tärkeitä luontoarvoja. Suojavyöhykkeeksi tuulipuiston ja edellä mainittujen alueiden välille suositellaan vähintään yhtä kilometriä. (SOF 2009)

Tuulivoiman rakentamista suojeltujen ja harvinaisten lintulajien reviireille tai niiden läheisyyteen tulisi niin ikään mukaan välttää. Kotkien (maakotka ja merikotka) ja tunturihaukan kohdalla tuulipuiston ja pesän väliseksi suojaetäisyydeksi mainitaan vähintään 3 kilometriä. Muuttohaukan, huuhkajan, niittysuohaukan suojaetäisyyden tulisi olla vähintään 2 kilometriä. Suopöllön, piekana, metsähänhen ja metson (kukkojen määrän lähialueella ollessa yli 5) suojaetäisyyden tulisi olla vähintään kilometri. Edellä mainitut suojaetäisyydet pitää kuitenkin aina viime kädessä arvioida tapauskohtaisesti ja tarvittavat minimietäisyydet voivat alueesta riippuen olla suurempiakin. (SOF 2009)

### **Saksan suositukset**

Saksalainen luonnonsuojelujärjestö NABUn (the Nature and Biodiversity Conservation Union) puolestaan suosittelee seuraavien alueiden jättämistä tuulivoimarakentamisen ulkopuolelle:

- IBA ja SPA alueet
- Tunnetut lintujen muutto- ja lentoreitit
- Kahlaajien ja vesilintujen tärkeät levähdysalueet
- Kosteikot ja metsät (jälkimmäinen suositus koskee lähinnä etelä-Eurooppaa)
- Alueet, joilla on suuret petolintupopulaatiot

### **3.2.2 Muut keinot**

Voimaloiden rakenteellisilla valinnoilla (muun muassa lapojen väri, voimalan valaistus, voimalan korkeus, voimalan perustukset) voidaan joidenkin tutkimusten mukaan vähentää linnustovaikutuksia. Myös tuulipuiston rakentamisen ja huoltotoimenpiteiden ajoittamisella voidaan vähentää tai ehkäistä haitallisia vaikutuksia.

Saksalaisen tutkimushankkeen pohjalta Hüppopp ym. (2006) suosittelevat voimaloiden pysäyttämistä, mikäli sää- ja muiden ennusteiden perusteella on syytä olettaa, että lintujen muutto on runsasta. Lintujen saapuminen tietyille alueelle pystytään monen lajin (esimerkiksi kiljuhanhi) kohdalla ennustamaan nyky menetelmillä yksilömäärätasolle, minkä avulla voidaan pysäyttää lintujen muuttoreiteillä olevat voimalat vain tietyksi ajaksi. Lähestyvien muuttolintujen liikkeitä voidaan havaita muun muassa kamera- ja tutkajärjestelmillä tai yöaikaan infrapunakameroilla (Coppack ym. 2011). Lähestyvien lintujen havaitseminen voi perustua myös keinotekoiseen näköön, mitä on aiemmin hyödynnetty muun muassa sotilaskäytössä ja minkä avulla voidaan havaita lähestyvä

lintu (*DTBird 2011*). Tutka- ja kamerajärjestelmiin voidaan kytkeä automaattiosysteemi, joka pysäyttää yksittäisen voimalan linnun lähestyessä. Jos lintu kuitenkin törmää voimalarakenteeseen, voidaan törmäykset havaita kauko-ohjattavalla erityisteknologialla varustetulla mikrofonilla, joka on kytketty tallennusjärjestelmään. Systeemin avulla voidaan seurata törmäyskuolemien määrää ja etsiä kuolleet linnut maastosta pian törmäyksen tapahduttua, jotta saadaan lajitason tietoa (*Delprat & Acluri 2011*).

Joissain tapauksissa tuulivoimapuiston alueella tapahtuvan veneilyn ja ihmisten liikkumisen on havaittu aiheuttavan enemmän häiriötä linnuille kuin itse tuulivoimaloiden olemassaolon. Näitä vaikutuksia voidaan vähentää lintujen mahdollisia paniikkitilanteita aiheuttavan veneilyn ja metsästyksen sijoittamisella muualle kuin voimaloiden välittömään läheisyyteen.

Yhtenä keinona tuulivoimaloiden aiheuttamien haittojen vähentämiseksi on ehdotettu rahallisia kompensatioita, joiden avulla voimaloiden aiheuttamien lintuhaittojen nettovaikutusta populaatiotasolla voitaisiin vähentää. Kompensatioiden avulla tiettyjen lintulajien suojelua voitaisiin tehostaa muualla, jolloin populaation koko pysyisi samana tai jopa kasvaisi törmäyskuolemista huolimatta (*Mammen 2008*).

### **Voimaloiden väritys**

Lapojen värillä voidaan joidenkin tutkijoiden mukaan vaikuttaa törmäysriskiin (*McIsaac 2001, Hodos 2002*). Lintujen on vaikea erottaa nopeasti liikkuvia lapoja johtuen ns. *motion smear* -ilmiöstä. *Motion smear* -ilmiötä voidaan minimoida värjäämällä yksi voimalan lavoista mustaksi. Värityksellä ei voida kuitenkaan estää törmäyksiä sumussa tai yöaikaan eikä kovalla tuulella, minkä vuoksi ensisijaisen tärkeää törmäysriskin vähentämisessä ovat tuulivoimapuistojen ja yksittäisten tuulivoimaloiden sijoittelu riittävän etäälle lintujen tärkeiltä elinalueilta ja lentoreiteiltä, riittävien käytävien jättäminen voimaloiden välille, törmäyskuolemien jatkuva seuraaminen sekä yksittäisten voimaloiden tai koko puiston sulkeminen tarpeen vaatiessa (lintujen muuttoajankohdat ja huonot sääolosuhteet) (*Jenkins ym. 2010*).

Toisaalta Ruotsalaisen monivuotisen tutkimushankkeen (*Vindval 2005–2012*) tulosten mukaan linnut erottavat nykyisen tyyppisen tuulivoimalarakenteen hyvin, eikä tuulivoimalarakenteen tai lapojen värin muuttamiseen nähty tarvetta (*Ödeen & Håstad 2007*).

### **Voimaloiden valaistus**

Yhtenä keinona törmäysten vähentämiseksi ehdotetaan voimaloissa käytettävän jaksotaista valonlähdettä yhtämittaisen sijaan (*Hüppopp ym. 2006*). Vilkkuvan valon aikana linnut ehtivät mahdollisesti nähdä ympäröivän horisontin ja lentää pois valopiiristä (*Richardson 2000*). Toisaalta törmäysten minimoimiseksi on ehdotettu tuulivoimaloiden tyyppillisesti kirkkaan lentoestevalaistuksen vähentämistä (*Blew ym. 2008, BirdLife Suomi 2011a*). Korkeisiin tuulivoimaloihin laitettavat kirkkaat valot ovat riski linnustolle, koska kirkkaat valot houkuttelevat lintuja ja lisäävät täten huomattavasti yöllä muuttavien lintujen törmäysriskiä voimalaan. Myös valaistuksen suuntaamisella ja normaalin värispektrin muuttamisella siten, että käytetään vähemmän punaista ja enemmän vihreää aallonpituutta, voidaan vaikuttaa siihen, kuinka suuri osa muuttavista linnuista suuntaa kohti ja jää kiertelemään ympäri voimalarakennetta (*Van de Laar 2007, HiWUS 2008*).

Punaisen valon on esitetty olevan erityisen haitallinen, koska se saattaa häiritä lintujen magneettista navigointia (*Wiltschko ym. 1993*).

### **Voimaloiden ja voimajohtojen rakenne**

Tuulivoimaloiden rakenteet voivat joissain tapauksissa houkuttaa lintuja oleskelemaan niiden läheisyydessä (*BirdLife Suomi 2011a*). Tästä aiheutuvaa törmäysriskiä voidaan vähentää välttämällä tuulivoimaloissa rakenteita, kuten vaijerit tai johdot, jotka houkuttelisivat lintuja istumaan potkurien läheisyydessä.

Pieniä jyrssiöitä saalistavien petolintujen törmäysriskin minimoimiseksi on ehdotettu seuraavia toimenpiteitä (*Krone ym. 2008, Mammen ym. 2008*): 1) tuulivoimaloiden perustusten ympäristön jättäminen luonnontilaisiksi tai heinän niittäminen vasta heinäkuun puolivälin jälkeen, 2) voimaloiden perustusten muotoileminen petolintujen saalistelinten piilopaikaksi soveltumattomaksi ja perustusten koon pitäminen mahdollisimman pienenä ja 3) tuulivoimaloiden sijoittaminen vähintään 1–3 kilometrin etäisyydelle petolintujen pesimä- ja saalistusalueista. On kuitenkin huomioitava, että petolintujen reviirin laajuus vaihtelee paljon lajista riippuen. Esimerkiksi merikotkan reviirin on arvioitu olevan noin 12–120 km<sup>2</sup> (*Looft & Neumann 1981, Oehme 1975, Struwe-Juhl 2000*). Suojaetäisyys ei kuitenkaan vähennä nuorten omaa reviiriä vasta etsivien lintujen tai vanhojen uutta reviiriä etsivien lintujen törmäysriskiä. Nuoret ja reviiriään etsivät linnut liikkuvat huomattavasti laajemmalla alueella ja voivat näin ollen osua tuulipuistoalueella suojaetäisyydestä huolimatta. Sen vuoksi perustusten muotoilemisella mahdollisimman epäsuotuisiksi saalistelinten kannalta on ratkaiseva merkitys törmäysriskin vähentämisessä (*Krone ym. 2008*).

Keskeinen merikotkiin liittyvän tutkimuksen kohde tulee Bevangerin ym. (2010) mukaan tulevaisuudessa olemaan törmäyskuolemien vähentämiskeinot. Tämän hetkisen tiedon valossa törmäyskuolemia vähentävät tehokkaimmin: 1) tuulivoimapuistoalueen muuttaminen merikotkien elinympäristöksi sopimattomaksi, jolloin ne siirtyvät muualle sekä 2) tuulivoimalarakenteen ja edelleen lapojen suunnittelemisen siten, että linnut väistävät niitä tehokkaammin. Yhtenä keinona ehdotetaan tuulivoimapuiston tai yksittäisten voimaloiden pysäyttämistä sellaisina ajanjaksoina, jolloin merikotkien tai muiden alueella lukuisana esiintyvien lintujen liikehdintä puiston sisällä on runsaimmillaan. Näiden seikkojen kehittämiseen tulisi tulevaisuudessa keskittyä enemmän. Lisätietoa tarvitaan etenkin merikotkien näkökyvyn vaikutuksesta niiden käyttäytymiseen mukaan lukien väri- ja liikeherkkyyden aistimisen vaikutus sekä siitä, minkä etäisyyden päässä tietystä kohteesta niiden visuaaliset aistit aktivoituvat. Lisäksi tarvitaan lisää tutkimustietoa lintujen biomekaanisista ja aerodynaamisista taidoista jotta saadaan selville, kuinka turbulenssi ja pyörteet tuulivoimaloiden lapojen lähellä vaikuttavat lintujen lentokykyyn ja erityisesti niiden kykyyn väistää lopoja niiden lähietäisyydelle jouduttaessa. On mahdollista, että lapojen pyörimisliikkeen nopeudella on vaikutusta lintujen törmäyskuolemiin. Ilman edellä mainittuja lisätietoja on vaikea muuttaa tuulivoimalarakenteita siten, että törmäyskuolemat vähenisivät. Yhtenä tutkimusmenetelmänä mainitaan muun muassa videokamerasysteemin asentaminen lapojen lähelle, jolloin pystytään tarkasti tallentamaan lintujen lentokäyttäytymistä voimalaa lähestyttäessä.

Tuulivoimalan yhteydessä olevat sähkölinjat voivat olla linnuille suurempi törmäysriski kuin itse voimala; voimalinjojen korvaaminen maa- tai merikaapeleilla on tämän vuoksi suositeltavaa. Voimajohtoista aiheutuvia kuolemia voidaan vähentää myös merkkaa-

malla johdot rakenteilla (esimerkiksi punaisilla huomiopalloilla/-nauhoilla), jotka parantavat johdon näkyvyyttä (*Bevanger 1994, Jenkins ym. 2010*). Tosin tutkimusten mukaan voimajohtojen merkkäminen vähentää törmäyskuolemia vain osittain (*Bevanger 1994, Jenkins ym. 2010*). Johtojen sijoittaminen rinnakkain vähentää väistävien lintujen törmäystodennäköisyyttä verrattuna pysty- tai kolmioasetteluun (*Bevanger 1994*). Sähköiskun saamisen riskiä voidaan vähentää käyttämällä voimajohtoja, joissa kuolettava virtapiiri ulottuu alle 2 metrin vyöhykkeelle. Lisäksi riskiä voidaan vähentää estämällä lintujen pääsy voimajohdon lähelle sekä voimajohdon sähkökentän kunnollinen eristäminen alueilla, jotka ovat lintujen tärkeitä lentoreittejä (*Lehman ym. 2007*). Merikotkien esiintymisalueilla voimalinjojen pylväät tulee varustaa puomilla, joka mahdollistaa isojen lintujen laskeutumisen niille ilman sähköiskun vaaraa (*WWF Suomi 2011a*). Ehdotetut toimenpiteet saattavat olla jopa taloudellisesti kannattavia, sillä lintujen aiheuttamat sähkönjakeluhäiriöt voivat tulla kalliiksi (*Koistinen 2004*).

Rakentamisen aikaisia vaikutuksia linnustoon voidaan vähentää keskittämällä työt alueen lajiston lisääntymis- ja pesimisajan ulkopuolelle (*Nilsson 2001, PPLY 2009*).

### 3.3 Linnustaselvitykset ja vaikutusten seuranta

Tuulipuistohankkeiden yhteydessä tulee tehdä riittävän kattavat linnustonselvitykset, jotta saadaan kokonaiskäsitys alueen lajistosta ja sen vuodenaikaisesta vaihtelusta, lintujen ruokailu-, lepäily-, talvehtimis- ja pesintäalueista sekä muuttoreiteistä.

Linnustovaikutuksia tulisi nykykäsityksen mukaan seurata ennen hankkeen toteuttamista tehtävällä lajiston ja elinympäristöjen ennakkoseurannalla, jonka olisi katettava vähintään kokonainen vuosi hankkeen koosta riippuen. Seurannan tulee perustua luotettavaan havaintoaineistoon. Hankkeen rakentamisen jälkeen tulisi suorittaa säännöllistä jälkiseurantaa, jonka kesto riippuu hankkeen koosta ja riskeistä (*Drewitt & Langston 2006*). Mikäli alue todetaan selvityksissä lintujen suhteen potentiaalisesti törmäysherkäksi, tulisi jälkiseurannan sisältää myös törmäyskuolemien seurantaa. Törmäysriskien seuranta voidaan toteuttaa muun muassa törmäyssensoreilla, tutkajärjestelmillä tai kameroilla (vesialueet) tai etsivän koiran käytöllä (maalla) (muun muassa *BirdLife Suomi 2011b*).

Ellei ole mahdollista seurata alueen kaikkia lintulajeja, seurannassa tulisi keskittyä vähintään seuraaviin lajeihin (*Fox ym. 2006*):

- Kansallisesti tai kansainvälisesti suojellut ja rauhoitetut lajit
- Seuranta-alueella aktiivisesti jossain elinvaiheessaan liikkuvat lintulajit
- Elinympäristön menetykselle herkät lajit
- Korkean törmäysriskin omaavat lajit (esimerkiksi petolinnut)
- Aikuiskuolleisuuden suhteen erityisen herkät lajit (esimerkiksi petolinnut, joilla myöhäinen sukukypsyysikä, pieni lisääntymistuotto, pitkä elinikä ja pieni populaatiokoko)

#### 4 YHTEENVETO

Tuulivoiman merkittävimmät lintuihin kohdistuvat vaikutukset ovat elinympäristön menetys, häirintä sekä törmäyskuolemat, jotka voivat kaikki laajimmillaan johtaa populaatiotason muutoksiin. Elinympäristön menetystä ja häirintää pidetään nykytiedon valossa yleisesti ottaen keskeisimpinä vaikutuksina, joskin törmäyskuolemat voivat paikallisesti olla merkittäviä. Elinympäristön menetys voi ilmetä sekä fyysisenä menetyksenä, esimerkiksi rakentamisen tuhotessa elinalueita, että efektiivisenä menetyksenä, jos linnut karkottuvat alueelta tuulivoimarakentamisen myötä. Estevaikutus voi kasvattaa linnun energiankulutusta, mikä voi puolestaan johtaa elinkyvyn heikkenemiseen. Yksittäisen linnun kannalta estevaikutus on suurempi, jos se kohdistuu lintujen päivittäisiin lentoreitteihin (esimerkiksi lentäminen ruokailu- ja lepoalueiden välillä) kuin jos se kohdistuu vuosittaiseen muuttoreittiin. Tuulivoiman linnustovaikutusten arvioinnissa tärkeää on tuntea vaikutuksille altistuvan lintulajiston populaatiodynamiikka. Eri vaikutusten merkittävyyttä voidaan sen jälkeen selvittää mallintamalla.

Tuulivoiman vaikutukset riippuvat ennen kaikkea sijaintipaikan luonteesta ja lintulajistosta. Maa-alueella sijaitsevan tuulivoimapuiston aiheuttaman häirinnän ja elinympäristön menetyksen on havaittu kohdistuvan etenkin vesi- ja kosteikkolintuihin (Suomessa sinisorsa, tukka- ja punasotka, telkkä, kapustarinta, kuovi, nokikana, töyhtöhyppä, metso ja harmaalokki), muuttovieraisiin sekä talvehtiviin lintuihin. Merialueella häiriölle ja elinympäristön menetykselle herkiksi lajeiksi ovat osoittautuneet kuikkalinnut, ruokkilinnut ja sukeltajasorsat. Törmäyksille alttiita lajeja ovat isot petolinnut (maa- ja merikotka, sääksi sekä hanhikorppikotka), kuikkalinnut, joutsenet, hanhet, kurjet ja häikarat.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella tuulivoima linnustovaikutusten tutkimushankkeissa on käsitelty etenkin muuttavaa linnustoa, petolintuja, merilintuja sekä niiden törmäysriskiä eri vuoden- ja vuorokauden aikoina ja erilaisissa sääolosuhteissa. Lisäksi tutkimuksissa on käsitelty lintujen lentoreittejä (suuntaa ja korkeutta), lentokäyttäytymistä (biomekaniikkaan ja aerodynamiikkaan liittyviä tekijöitä) sekä näkökykyä. Tutkimusmenetelminä on käytetty muun muassa akustisia ja visuaalisia havainnointivälineitä, kuten tutka-, video- ja kamerasysteemeitä (myös lämpökameroita) sekä kiikari- ja etäisyshavainnointia, maastoinventointeja (raatojen etsintä), GPS-paikannusta, radiotelemetriaa sekä DNA-analyyseja. Tulevaisuudessa tulisi tutkijoiden mukaan keskittyä erityisesti suurikokoisten petolintujen, kuten merikotkan törmäysriskin vähentämiseen. Tutka-, video- ja kamerajärjestelmiä voitaisiin hyödyntää tehokkaammin lintujen muutonaikaisten, lajikohtaisten sekä törmäystä edeltävien liikkeiden seuraamisessa ja sitä kautta törmäysriskin vähentämisessä.

Tutkimushankkeet ovat pyrkinet myös löytämään keinoja tuulivoiman aiheuttamien haittojen (tähän mennessä etenkin törmäyskuolemien) vähentämiseksi ja estämiseksi. Tutkimushankkeiden laajuuteen nähden suosituksia on yleisesti ottaen kuitenkin annettu toistaiseksi verraten vähän ja raporteissa on usein tuotu esiin lisätutkimusten tarve. Lisätutkimuksia tarvitaan muun muassa lintujen (etenkin merikotkien) näkökyvyn vaikutuksesta niiden käyttäytymiseen mukaan lukien väri- ja liikeherkkyyden aistimisen vaikutus sekä siitä, millä etäisyydellä tietystä kohteesta lintujen visuaaliset aistit aktivoituvat. Lisäksi tarvitaan lisää tutkimustietoa lintujen biomekaanisista ja aerodynaamisista taidoista, jotta saadaan selville, kuinka turbulenssi ja pyörteet tuulivoimaloiden lapojen lähellä vaikuttavat lintujen lentokykyyn ja erityisesti niiden kykyyn väistää voimaloiden-

lapoja niiden lähietäisyydelle jouduttaessa. Tutkimusten mukaan nykyisen tietämyksen perusteella yksiselitteisten ja yleispätevien toimintamallien tai suositusten antaminen linnustovaikutusten vähentämiseksi tuulivoimarakentamisessa on erittäin haastavaa.

Tuulivoimarakentamisen linnustovaikutusten ehkäisyyn liittyviä ohjeita ja suosituksia ovat tähän mennessä antaneet lähinnä luonnonsuojelujärjestöt ja lintutieteelliset yhdistykset. Selkeät viimeisimmän tutkimustiedon pohjalta päivitetty suomalaiset viranomaistason ohjeet ja suositukset linnustovaikutusten ehkäisystä puuttuvat. Suomen, Ruotsin ja Saksan luonnonsuojelujärjestöjen sekä lintutieteellisten yhdistysten tämänhetkisten suositusten mukaan parhaiten tuulivoimarakentamiseen soveltuvat alueet, jotka eivät ole:

- lintujen merkittäviä lisääntymis-, ruokailu- tai talvehtimisalueita ja/tai muuttoreittejä
- lintujen muuтонаikaiseen lepäilyyn ja ruokailuun liittyviä kasautumiskohtia (tyypillisesti niemenkärjet ja saaret, Suomessa esimerkiksi Porkkala ja Hankoniemi)
- harvinaisten tai uhanalaisten lintujen elinalueita
- suurikokoisten petolintujen tärkeitä elinalueita
- linnuston kannalta suojeltuja alueita

Tuulivoimapuistot tulisi sen sijaan rakentaa alueille, joilla on jo entuudestaan ihmisvaikutusta ja infrastruktuuria tai voimakkaasti muutetuille talousmetsäalueille. Syvät riittävän kaukana rannikosta sijaitsevat avomerialueet ovat myös linnuston kannalta suotuisia alueita tuulipuistojen rakentamiselle. Tuulivoimapuistojen keskittäminen rajatuille alueille suuriksi kokonaisuuksiksi on sekä lintujen että muun luonnon kannalta parempi vaihtoehto kuin niiden hajasijoittaminen.

Tuulivoimapuiston oikean sijoituspaikan valinnalla voidaan tehokkaimmin ehkäistä haitallisia linnustovaikutuksia. Tuulivoimapuiston sijoittamisen tulisi perustua kattavaan ympäristövaikutusten arviointimenettelyyn, minkä yhteydessä tehdään riittävät linnustonselvitykset. Selvitysten pohjalta voidaan rajata pois linnuston kannalta tärkeät alueet jo aikaisessa vaiheessa. Projektin edetessä linnustoon kohdistuvia haittoja voidaan edelleen vähentää esimerkiksi:

- yksittäisten voimaloiden oikeanlaisella sijoittelulla (ryhmittely muuttoreittien suuntaisesti, eikä vastakkaisesti ja voimalaryhmien väliin jätettävä riittävän laaja lentokäytävä)
- lapojen värillä (yhden lavan värjääminen mustaksi, jolloin liikkuvat lavat erottuvat paremmin)
- voimaloiden yövalaistuksen minimoinnilla (houkuttelee yöllä muuttavia lintuja vähemmän)
- voimaloiden korkeuden oikealla valinnalla (paikallisten lintulajien lentokorkeuksien huomioiminen)
- yksittäisten voimaloiden/koko tuulivoimapuiston pysäyttämällä runsaiden muuttoparvi- tai törmäyksille alttiiden lintulajien lähestyessä
- perustuksiin liittyvillä ratkaisuilla (maatuulipuistoissa monotoniset perustukset tarjoavat vähemmän piilopaikkoja jyrksijöille, mikä vähentää petolintujen saalis-

tamista voimaloiden lähellä ja sitä kautta tömäysriskiä ja merituulipuistoissa perustustekniikan valinnalla voidaan minimoida rakentamisen aikainen veden saumentuminen)

On kuitenkin muistettava, että edellä luetellut tekniset ja rakenteelliset ratkaisut ovat toissijaisia keinoja verrattuna tuulivoimapuiston oikean sijaintipaikan valintaan, eikä niiden toimivuutta käytännössä ole yksiselitteisesti pystytty osoittamaan.

## 5 LÄHDELUETTELO

- Ambrose, R. F., & Anderson, T. W. 1990. Influence of an artificial reef on the surrounding infaunal community. *Marine Biology* [MAR. BIOL.] vol. 107, no. 1.
- Band, W., Madders, M. & Whitfield, D.P. 2005. Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms. In De Lucas, M., Janss, G. & Ferrer, M. (eds) *Birds and Wind Power*. Barcelona, Spain: Lynx Edicions, in press.
- Barrios, L. & Rodríguez, A. 2004. Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. *Journal of Applied Ecology* 41: 72–81.
- Bevanger, K. 2011. Wind energy and wildlife impacts –lessons learned from Smøla. CWW2011, May 3. Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway. Viitattu 16.6.2011. [<http://www.cww2011.nina.no/LinkClick.aspx?fileticket=sBLUWVqzCI%3D&tabid=3989>]
- Bevanger, K., Berntsen, F., Clausen, S., Dahl, E.L., Flagstad, Ø. Follestad, A., Halley, D., Hanssen, F., Johnsen, L., Kvaløy, P., Lund-Hoel, P., May, R., Nygård, T., Pedersen, H.C., Reitan, O., Røskoft, E., Steinheim, Y., Stokke, B. & Vang, R. 2010. Pre- and post-construction studies of conflicts between birds and wind turbines in coastal Norway (BirdWind). Report on findings 2007-2010. - NINA Report 620. 152 pp.
- BirdLife International, SEO 1995: Effects of wind turbine power plants on the avifauna in the Campo de Gibraltar region. Summary of final report. Contract Environmental Agency of the regional government for Andalusia, Spanish Ornithological Society (SEO), Madrid, Spain.
- BirdLife Suomi 2010. Suomen uhanalaiset lintulajit 2010. Viitattu 14.7.2011. [<http://www.birdlife.fi/suojelu/lajit/uhex/uhex-lista.shtml>]
- BirdLife Suomi 2011a. Tuulivoimaloiden rakentamisen ja käytön vaikutuksista lintuihin Suomessa. Viitattu 15.6.2011. [<http://www.birdlife.fi/suojelu/paikat/tuulivoima.shtml>].
- Bird Life Suomi 2011b. Viitattu 10.5.2011. [<http://www.birdlife.fi/suojelu/ilmasto/tuuliyva-ohje.pdf>].
- BirdLife Suomi 2009. FINIBA- ja IBA -linnustoaluetiedot. [<http://www.birdlife.fi/suojelu/paikat/finiba/finiba-alueista.shtml>] sekä [<http://www.birdlife.fi/finiba/index.html>]
- Blew, J., Hoffmann, M., Nehls, G., & Hennig, V. 2008. Investigations of the bird collision risk and the responses of harbour porpoises in the offshore wind farms Horns Rev, North Sea, and Nysted, Baltic Sea, in Denmark. Part I: Birds. Final Report 2008. 145 s.
- Chamberlain, D.E., Rehfisch, M.R., Fox, A.D., Desholm, M. & Anthony, S.J. 2006. The effects of avoidance rates on bird mortality predictions made by wind turbine collision risk models. *Ibis* 148: 198–202.

Coppack, T., Kulemeyer, C., Schulz, A., Steuri, T. & Liechti, F. 2011. AUTOMATED IN SITU MONITORING OF MIGRATORY BIRDS AT GERMANY'S FIRST OFF-SHORE WIND FARM. In: May, R. & Bevanger, K. (eds.) 2011. Proceedings Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway. NINA Report 693. 144 s. Viitattu 16.6.2011. [<http://www.nina.no/archive/nina/PPPBasePdf/rapport/2011/693.pdf>]

Delprat, B. & Alcuri, G. 2011. ID STAT: INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR ASSESSING WILDLIFE COLLISIONS WITH WIND TURBINES. In: May, R. & Bevanger, K. (eds.) 2011. Proceedings Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway. NINA Report 693. 144 s. Viitattu 16.6.2011. [<http://www.nina.no/archive/nina/PPPBasePdf/rapport/2011/693.pdf>]

Dirkensen, S., Spaans, A. & Van den Winden 2007. Collision risk for diving ducks at semi-offshore wind farms in freshwater lakes: a case study. In: Lucas, M., Janss, G. & Ferrer, M. 2007 (ed.): Birds and wind farms. Risk Assessment and mitigation. 201-218.

Dong energy, Vattenfall, Danish energy authority & Danish forest and nature agency 2006. Danish Off shore Wind–Key Environmental Issues. ISBN 87-7844-625-2. 144 s.

Drewitt, A. L. & Langston, R. H. W. 2008. Collision effects of wind-power generators and other obstacles on birds. *Annals of the New York Academy of Science* 1134: 233-266.

Drewitt, A. L. & Langston, R. H. W. 2006: Assessing the impacts of wind farms on birds. - *Ibis* 148: 29-42.

DTBird 2011. Bird Detection and Dissuasion. Viitattu 27.6.2011. [<http://dtbird.com/>].

Euroopan unioni 2010. EU Guidance on wind energy development in accordance with the EU nature legislation. European Commission, October 2010. 116 s.

Falkdalen, U., Falkdalen Lindahl, L. & Nygård, T. 2009. Vindparkers påverkan på fågelfaunan i fjällområden – FJAFA. Fågelundersökningar vid Storruns vindkraftanläggning, Jämtland.

Farfán, M.A., Vargas, J.M. & Duarte, J. 2009. What is the impact of wind farms on birds. A case study in southern Spain. *Biodiversity Conversation* 18: 3743–3758.

FINO, FINO2, FINO3. Viitattu 16.5.2011. [<http://www.fino-offshore.com/>].

Follestad, A., Flagstad, Ø., Nygård, T., Reitan, O. & Schulze, J. 2007. Vindkraft og fugl på Smøla 2003–2006. NINA rapport 248. 78 s.

Fox, A.D., Christensen, T.K., Desholm, M., Kahlert, J. & Petersen, I.B. 2006. Avoidance responses and displacement. Danish Offshore Wind – Key Environmental issues. ss. 94–111.

Guillemette, M., Larsen, J.K. & Clausager, I. 1998. Impact assessment of an off-shore wind park on sea ducks. NERI Technical Report Nr 227.

Hakalisto, S. ja Syrjänen, K. 2008: METSO -ohjelman luonnontieteelliset valintaperusteet. – Suomen Ympäristö 26/2008.

Hanski I. ym. 2003: Ekologia, 2. p. – 580 s., WSOY.

HELCOM 2007: HELCOM lists of threatened and/or declining species and biotopes/habitats in the Baltic Sea area. - BSEP 113. [<http://www.helcom.fi/stc/files/Publications/Proceedings/bsep113.pdf>].

HiWUS – Entwicklung eines Hindernisbefeuereungskonzeptes zur Minimierung der Lichtemissionen an On- und Offshore-Windenergieparks und-anlagen. Institute of Applied Ecology. Viitattu 17.5.2011. [<http://www.ifaoe.de/referenzen/ornithologie/projekt-4/>].

Hodos, W. 2002. Minimization of motion smear: Reducing avian collisions with turbines. Unpublished subcontractor report to the National Renewable Energy Laboratory. NREL/SR 500-33249.

Hunt, G. 2002: Golden Eagles in a perilous landscape: Predicting the effect of mitigation for wind turbine blade-strike mortality. Consultant Report to the California Energy Commission. Santa Cruz, CA, USA.

Hüppop, O., Exo, K.-M. & Garthe, S. 2002. Empfehlungen für projektbezogene Untersuchungen möglicher bau- und betriebsbedingter Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf Vögel. – Berichte zum Vogelschutz 39: 77–94.

Hüppop, O, J. Dierschke, K-M Exo, E. Fredrich, and R. Gill. 2006. Bird migration studies and potential collision risk with offshore wind turbines. Ibis 148(s1):90-109.

Hötker, H. 2008. Birds of Prey and Wind Farms: Analysis of Problems and Possible Solutions – A brief introduction to the project and the workshop. Documentation of an international workshop in Berlin, 21st and 22nd October 2008. 77 s.

Ijäs, A. 2010. Tuulivoiman linnustovaikutukset. Ympäristö 2010 -messut. Seminaariluento. Ramboll Oy.

Jenkins, A. 2010. Uyekraal wind energy facility. Avian impact assessment – scoping phase. Avisense Consulting cc. 25 s. + liitteet.

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.

Kikuchi, R. 2008. Adverse impacts of wind power generation on collision behaviour of birds and anti-predator behaviour of squirrels. Journal for Nature Conservation 16: 44–55.

Kindlund, G., Larsen, J.-K. & Grusell, E 2009. Vindbruk i anslutning till Biotestsjön, Forsmark. Vattenfall Power Consultant Ab. Vattenfall Vindkraft Ab raport 113 s.

- Koistinen, J. 2004. Tuulivoimaloiden linnustovaikutukset. Suomen ympäristö 721/2004. 42 s.
- Korpinen, S., Pohjanheino, V., Auvinen, K. & Mäkinen, A. 2007. WWF Suomen kanta tuulivoimasta Suomessa. 23 s.
- Knust, R., Dalhoff, P., Gabriel, J., Heuers, J., Hüppop, O., Wendeln, H. 2003. Investigations to avoid and reduce possible impacts of wind energy parks on the marine environment in the offshore areas of North and Baltic Sea –OffshoreWEP-. Final report R & D plan 200 97 106. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung. 454 s.+ liitteet.
- Krone, O., Grünkorn, T., Gippert, M. & Dürr, T. 2008. White-tailed Sea Eagles and wind power plants in Germany – preliminary results. Documentation of an international workshop in Berlin, 21st and 22nd October 2008. S. 44–48.
- Kuvlevsky, W.P. Jrn, Brennan, L.A., Morrison, M.L, Boydston, K.K, Ballard, B.M. & Bryant, F.C. 2007. Wind energy development and wildlife conservation: challenges and opportunities. Journal of Wildlife Management 71: 2487-2498.
- Larsen, J.K. & Madsen, J. 2000. Effects of wind turbines and other physical elements on field utilization by pink-footed geese (*Anser brachyrhynchus*): A landscape perspective. Landscape Ecology 15:755-764.
- 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.
- Leivo, M., Asanti, T., Koskimies, P., Lammi, E., Lampolahti, J., Lehtiniemi, T., Mikkola-Roos, M. & Virolainen, E. 17.8.2001. Suomen tärkeät lintualueet FINIBA. [www-dokumentti]. < <http://www.birdlife.fi/suojelu/paikat/finiba/finiba-johdanto.shtml> >.
- Looft, V. & Neumann, T. 1981. Seadler – *Haliaeetus albicilla*. In: LOOFT V, BUSCHE G (eds). Vogelwelt Schleswig-Holsteins Bd 2, Wachholtz, Neumünster, Germany.
- Madders, M., D. P. Whitfield 2006: Upland raptors and the assessment of wind farm impacts. Ibis, 148: 43-56.
- Madsen, J. & Boertmann 2008: Animal behavioral adaptation to changing landscapes: spring-staging geese habituate to wind farms. Landscape Ecology, 23, 1007-1011.
- Mammen, U., Mammen, K., Kratzsch, L., Resetaritz, A. & Siano, R. 2008. Interactions of Red Kites and wind farms: results of radio telemetry and field observations. Documentation of an international workshop in Berlin, 21st and 22nd October 2008. 5 s.
- McGrady, M. & Whitfield, P. 2011. VINDKRAFT VID FORSMARK EN RAPPORT OM EN ORNITOLOGISK UNDERSÖKNING OCH ANALYS 2009-2010. Vattenfall Vindkraft AB rapport. 12 s. + liitteet.

McIsaac, H.P. 2001. Raptor acuity and wind turbine blade conspicuity. Pp. 29-87. National Avian-Wind Power Planning Meeting IV, Proceedings. Prepared by Resolve, Inc., Washington DC.

Metsähallitus 2011. Merikotka. Viitattu 14.7.2011. [<http://www.metsa.fi/sivustot/metsa/fi/Luonnonsuojelu/Lajitjaluontotyypit/Uhanalaisetelaimet/Merikotka/Sivut/Merikotka.aspx>]

Nilsson, L. & Green, M. 2009. Fågelförekomsten vid Lillgrund, i relation till vindkraft – Årsrapport första året efter parkens etablering. Ekologiska institutionen, Lunds Universitet. 47 s.

Nilsson, L. 2001. MÖJLIG PÅVERKAN PÅ FÅGELFAUNAN AV EN VINDKRAFTPARK PÅ LILLGRUND, ÖRESUND – En miljökonsekvensbeskrivning. Rapport 12.6.2001. Ekologiska institutionen, Lunds Universitet. 32 s.

Oehme, G. 1975. Zur Ernährungsbiologie des Seeadlers (*Haliaeetus albicilla*), unter besonderer Berücksichtigung der Populationen in den drei Nordbezirken der Deutschen Demokratischen Republik. Ph. D. Thesis, Universität Greifswald, Germany.

Percival, S. 1998. Birds and wind turbines: Managing potential planning issues. In Proceedings of the 20th British Wind Energy Association Conference p. 345-350.

Petersen, I.B. & Fox, A.D. 2007. Changes in bird habitat utilisation around the Horns Rev 1 offshore wind farm, with particular emphasis on Common Scoter. Report request Commissioned by Vattenfall A/S 2007. National Environmental Research Institute, University of Aarhus . Denmark. 40 s.

Petersen, I.B., Christensen, T.J., Kahlert, J., Desholm, M. & Fox. A.D. 2006. Final results of bird studies at the offshore wind farms at Nysted and Horns Rev, Denmark. NERI Report 2006. Commissioned by DONG energy and Vattenfall A/S.

Pettersson, J. 2009. Små- och sjöfåglars nattflyttning vid Utgrundens havsbaserade vindkraftverkspark – en studie med två lokalradar anläggningar i södra Kalmarsund. Rapport utkommer 2010.

Pettersson, J. 2005. Havsbaserade vindkraftverks inverkan på fågellivet i södra Kalmarsund – En slutrapport baserad på studier 1999–2003. Ekologiska institutionen, Lunds Universitet. 128 s.

PPLY (Pohjois-Pohjanmaan lintutieteellinen yhdistys ry) 2009. Suurhiekan merituulipuisto. Suurhiekan linnusto ja arvio suunnitellun tuulipuiston linnustovaikutuksista. Osaraportti Suurhiekan YVAselostusta varten. WPD Finland Oy. – Kirjoittajat: Toni Eskelin, Juha Markkola, Heikki Tuohimaa, Ville Suorsa, Aappo Luukkonen, Hanna-Riikka Ruhanen, Tapani Tapio, Tuomas Väyrynen. 6.3.2009.

Rasran, L., Tobias, D. & Hötter, H. 2008. Analysis of collision victims in Germany. Documentation of an international workshop in Berlin, 21st and 22nd October 2008. 5 s.

Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. ja Mannerkoski, I. (toim.) 2010: Suomen lajien uhanalaisuus 2010. – YM ja SYKE, Helsinki.

Raunio, A., Schulman, A. ja Kontula, T. 2008: Suomen luontotyyppeiden uhanalaisuus. - Suomen ympäristö 8/2008.

Richardson, W.J. 2000. Bird migration and wind turbines: Migration timing, Flight behaviour and collision risk. In Proceedings of the National Avian-wind Power Planning Meeting III, San Diego, California, May 1998.

Saurola, P., Koivusaari, J., Lumme, T., Nuuja, I. & Stjernberg, T. 2010. Minne menet, merikotka? – satelliittimerikotkien ensimmäinen vuosi. Linnut 45 (3): 6–15.

SOF (Sveriges Ornitologiska Förening) 2009. Sveriges Ornitologiska Förenings policy om vindkraft. September 2009. 6 s.

Statkraft 2011. Sea eagle research at Smøla wind farm. Viitattu 17.5.2011. [<http://www.statkraft.com/presscentre/news/sea-eagle-research-at-smola-wind-farm.aspx>].

Struwe-Juhl, B. 2000. Funkgestützte Synchronbeobachtung - eine geeignete Methode zur Bestimmung der Aktionsräume von Großvogelarten (Ciconiidae, Haliaeetus) in der Brutzeit. Populationsökologie Greifvogel- und Eulenarten 4: 101-110.

Tanskanen, A. 2010. Den häckande fågelfaunan i Båtskärsarkipelagen år 2010. 8 s. + liitteet.

Tellería, J. L. 2009. Overlap between wind power plants and Griffon Vultures *Gyps fulvus* in Spain. Bird Study, 1944-6705, Volume 56, Issue 2, 2009, Pages 268 – 271.

Thelander, C., K. S. Smallwood, L. Ruge 2003. Bird risk behaviors and fatalities Raptor mortality at the Altamont Pass wind resource area - March 1998 to September 2000. Presentation; Ojai, CA, USA.

Van de Laar, F. J. T. 2007. Green light to birds – Investigation into the effect of bird-friendly lighting. NAM LOCATIE L15-FA-1. DECEMBER 2007. 24 s.

Vehanen, T., Hario, M., Kunnasranta, M. & Auvinen, H. 2010. Merituulivoiman vaikutukset rannikon kaloihin, lintuihin ja nisäkkäisiin. Kirjallisuuskatsaus. Riista- ja kalatalous – Selvityksiä 17/2010. 36 s.

Vindval 2005–2012. Viitattu [13.5.2011. [<http://www.naturvardsverket.se/sv/Start/Verksamheter-med-miljopaverkan/Energi/Vindkraft/Vindval/>].

Vindval 2010. Nu vet vi det här! Vindkraftens miljöpåverkan – resultat från forskning 2005–2009 inom Vindval. Viitattu 13.5.2011. [<http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-8469-1.pdf>].

Whitfield, D. P., M. Madders 2005: A review of the impacts of wind farms on Hen Harriers *Circus cyaneus*. Natural Research Information Note 1, Aberdeenshire, UK.

Wiltschko, W., U. Munro, H. Ford ja R. Wiltschko, 1993: Red light disrupts magnetic orientation of migratory birds. Nature 364, 525-526.

WWF Suomi 2011 a. WWF Suomen kanta: Ekologisesti kestävä tuulivoima. Helmikuu 2011. 12 s. Viitattu 15.6.2011. [[http://www2.wwf.fi/wwf/www/uploads/pdf/wwf\\_tuulivoimakannanotto\\_helmikuu\\_2011.pdf](http://www2.wwf.fi/wwf/www/uploads/pdf/wwf_tuulivoimakannanotto_helmikuu_2011.pdf)].

WWF Suomi 2011b. Merikotka. Viitattu 14.7.2011. [<http://wwf.fi/maapallomme/uhanalaiset/kotimaiset/merikotka/>]

Ympäristöministeriö 2002. Ympäristölainsäädännön soveltaminen tuulivoimarakentamisessa. Työryhmän mietintö. Lokakuu 2002. Suomen ympäristö 584. 62 s.

WWF Suomi 2010. Ohje merikotkien huomioon ottamiseksi tuulivoimaloita suunniteltaessa. WWF Suomi / päivitetty marraskuussa 2010. Viitattu 15.6.2011. [[http://www.wwf.fi/wwf/www/uploads/pdf/ohje\\_merikotka\\_ja\\_tuulivoima\\_wwf.pdf](http://www.wwf.fi/wwf/www/uploads/pdf/ohje_merikotka_ja_tuulivoima_wwf.pdf)].

Ödeen, A. & Håstad, O. 2007. Havsbaserad vindenergi ur ett fågelperspektiv – kraftverkens synlighet för fågelögat. Naturvårdsverkets rapport 5764 från Vindval.