

Jarmo Koistinen

# Tuulivoimaloiden lennustovaikutukset

HELSINKI 2004

Tähän julkaisuun viitataan seuraavasti. Koistinen, J., 2004: Tuulivoimaloiden linnusto-  
vaikutukset. Suomen ympäristö 721. Ympäristöministeriö. Alueidenkäytön osasto.  
Helsinki 2004.

*Julkaisu on saatavana myös Internetistä:  
<http://www.ymparisto.fi/julkaisut>*

*Suomen ympäristö 721  
Ympäristöministeriö  
Alueidenkäytön osasto*

*Taitto: Ainoliisa Miettinen*

*Kansikuva: Vätünginnokka, tuulivoimalapuisto.  
Hannus Vallas/Diabox*

*ISSN 1238-7312  
ISBN 952-11-1809-1 (nid.)  
ISBN 952-11-1810-5 (PDF)*

*Edita Prima Oy*

*Helsinki 2004*

# Esipuhe

---

Energian tuotanto tuulen avulla on kasvussa sekä maailmalla että Suomessa. Meillä tuulivoiman merkittävimmät hyödyntämismahdollisuudet ovat rannikolla ja merialueella. Tuulivoimaloiden rakentamisesta on Suomessa toistaiseksi verrattain vähän kokemusta. Tämän vuoksi tietämys tuulivoimaloiden ympäristövaikutuksista ja vaikutusten arvioinnista on varsin puutteellista.

Suomen energiastrategiassa tavoitteeksi asetetun tuulivoimatuotannon määrän toteutuminen edellyttää huomattavaa lisäkapasiteetin rakentamista. Tuulivoimarakentamisen edellyttämän kaavoituksen ja lupamenettelyjen kitkatonta etenemistä voidaan parantaa mm. huolehtimalla riittävästä voimaloiden vaikutuksia koskevista selvityksistä ja arvioinneista. Ympäristöministeriö onkin katsonut tarpeelliseksi edistää asianmukaisten selvitysten ja arviointien laatimista tuottamalla sitä tukevaa tietoa.

Tuulivoimaloiden vaikutuksista linnustoon ei ole Suomessa juurikaan tutkittua tietoa. Käsillä oleva julkaisu tuo tähän puutteeseen oman toivotun lisänsä. Lähtökohtana selvityksessä ovat tuulivoimaloita ja linnustoa käsittelevät kansainväliset julkaisut. Selvitys on alunperin laadittu ympäristöministeriön vuonna 2002 tuulivoimarakentamista selvittäneen työryhmän tarpeisiin. Selvitystä on tämän jälkeen päivitetty uusien julkaisujen avulla.

Tuulivoimaloiden linnustovaikutuksia koskeva selvitys antaa perustiedot tuulivoimarakentamisen linnustovaikutusten selvittämistä ja arviointia varten. Sitä voidaan hyödyntää muun muassa kaavoituksen, ympäristövaikutusten arvioinnin ja lupamenettelyjen yhteydessä. Selvityksen on laatinut Jarmo Koistinen, jota ympäristöministeriö kiittää asiantuntevasta ja perusteellisesta työstä. Työtä on ohjannut Antti Irjala ympäristöministeriöstä.

Helsingissä lokakuussa 2004

Aluesuunnitteluneuvos  
Ulla Koski

# Sisältö

<b>Esipuhe</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Johdanto</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Tuulivoiman tekniset perusominaisuudet</b> .....	<b>6</b>
<b>3 Lintujen törmäykset tuulivoimaloihin ja häiriövaikutus</b> .....	<b>7</b>
3.1 Riskien määrittely .....	7
3.2 Törmäysriski eri rakenteisiin .....	11
3.2.1 Voimalinjat .....	11
3.2.2 Mastot .....	13
3.2.3 Rakennukset .....	14
3.2.4 Tieliikenne .....	16
3.2.5 Majakat, kaasuliekit ja valonheittimet .....	16
3.2.6 Tuulivoimalat .....	17
3.3 Tuulivoimalarakenteiden vaikutus törmäysriskiin .....	20
3.3.1 Koko, muoto, väritys ja ryhmittely .....	20
3.3.2 Valaistus .....	21
3.3.3 Sähkönsiirtojärjestelmät .....	22
3.4 Ympäristötekijöiden vaikutus törmäysriskiin .....	23
3.4.1 Sään vaikutus .....	23
3.4.2 Sijoituspaikeen vaikutus .....	24
<b>4 Tuulivoimaloiden epäsuora vaikutus linnustoon</b> .....	<b>27</b>
<b>5 Linnustovaikutusten arviointimalli tuulipuistojen suunnitteluun</b> .	<b>29</b>
<b>6 Yhteenveto</b> .....	<b>31</b>
<b>Kirjallisuus</b> .....	<b>33</b>
<b>Kiitokset</b> .....	<b>39</b>
<b>Kuvailulehdet</b> .....	<b>40</b>

# Johdanto



Tuulivoimalat ja niiden sähkönsiirtojärjestelmät vaikuttavat ympäristöön sekä rakentamisen että tuotannon aikana. Vaikutukset lintuihin voidaan jakaa kahteen pääryhmään: suora vaikutus eli törmäykset ja karkottava häiriövaikutus, sekä epäsuora vaikutus pesimis- ja elinympäristöihin. Tämän selvityksen tarkoitus on antaa perustiedot tuulivoimaloiden linnustovaikutusten arviointiin Suomessa (vrt. Clausager ja Nøhr 1995, Folkestad 1999). Internetistä löytyneen globaalin julkaisumateriaalin perusteella (hakusanoilla "bird collision wind turbine" löytyy noin 750 viitettä) arvioidaan tuulivoimaloiden vaikutusmekanismeja ja riskiä linnustolle. Riskin suuruutta verrataan mm. voimalinjojen, korkeiden rakennusten ja liikenteen vaikutuksiin. Arviointi koskee sekä muutto- että pesimälinnustoa. Näiden tietojen pohjalta on kartoitettu riskitekijät, joiden avulla voidaan arvioida mielivaltaiselle paikalle Suomeen sijoitettavan tuulivoimalaryhmän eli tuulipuiston linnustovaikutuksia.

Tässä raportissa lähestymistapa on riskin määrällinen objektiivinen mittaaminen, ei maksimaalisen riskin sumea kuvaaminen ("seikasta A voi olla haittaa linnustolle"). Tosin ainoastaan törmäysten aiheuttamasta kuolleisuusriskistä on riittävästi julkaistua tietoa, joista riskin suuruus voidaan arvioida suuruusluokalleen. Epäsuorien vaikutusten kvantitatiivinen arviointi on huomattavasti vaikeampaa, koska perusteellisia, tieteellisesti ennakkotarkastettuja julkaisuja, jotka perustuvat kyllin pitkäaikaisiin ja monipuolisiin seurantoihin, on vähän (Langston ja Pullan 2003). Tuulivoimaloiden linnustovaikutuksia käsittelevissä teksteissä lähestymistapa vaihtelee kovasti. Erityisen voimakkaasti ja osin tunteenomaisesti on mediassa käsitelty tuulivoimaloiden aiheuttamia kuolemia lintujen törmätessä voimaloihin (ks. Gipe 1995, Tammelin ja Malmgren 2002). Raporttia tehtäessä olen olettanut, että käytetyt julkaisut ovat tieteellisesti objektiivisia.

Selvitys on konsulttityö, joka on tehty ympäristöministeriön tilauksesta alkuun keväällä 2002. Tekstiä on tämän jälkeen päivitetty joidenkin uusien julkaisujen avulla. Keskeisin täydennys on RSPB:n (Royal Society of Bird Protection) ja BirdLife Internationalin selvityksen ja siinä olevien viitteiden (Langston ja Pullan 2003) mukaan ottaminen. Myös Birdlife Suomi (2003) on antanut suosituksen linnuston huomioon ottamiseksi tuulivoimaloiden rakentamisessa ja sijoittelussa.

# 2

## Tuulivoiman tekniset perusominaisuudet

Tuulivoimalan tuottama teho on verrannollinen tuulen nopeuden kolmanteen potenssiin, ts. tuulen nopeuden kasvaessa kaksinkertaiseksi teho kahdeksankertaistuu. Tuoton kannalta on tärkeää löytää mahdollisimman tuulinen paikka. Suomessa edullisimmat alueet laajassa mittakaavassa ovat merialueet, ulkosaa-risto ja avotunturit (tuulen keskinopeus 10 metrin korkeudella 7,5 -8,5 m/s) sekä rannikko (6-7 m/s). Sisämaassa parhaita paikkoja ovat laajat peltoaukeat (2,5-3,5 m/s) ja mäkien laet (4-5,5 m/s). Paikallismittakaava on myös hyvin tärkeä, sillä maanpinnan muodot ja kasvillisuus synnyttävät suuria eroja tuulioloihin esimerkiksi rikkonaisille rannikoille, vain muutamien kilometrien päässä toisistaan olevien paikkojen välille (Tammelin 1991). Suomen olosuhteissa kylmyydestä on sekä hyötyä että haittaa tuulivoimaloille. Kylmän ilman tiheys on suurempi kuin lämpimän, mikä lisää tuotantotehoa. Toisaalta arktisessa tuulivoimassa ankara pakkaneen, jäätymisen ja tykkylumi vaativat teknisiä erityisratkaisuja, joita on onnistuttu ratkaisemaan nimenomaan Suomessa (Björklund, 1999). Taulukkoon 1 on koottu eräitä tuulipuistojen teknisiä ominaisuuksia.

Vuonna 2001 Suomen tuulivoiman kokonaiskapasiteetti (yhteenlaskettu nimellisteho) oli 39 MW ja sähköntuotanto 70 GWh, mikä oli vain 0,1 % koko sähköntuotannosta. Yhteensä yli 200 kW:n voimaloita oli yli 60 kappaletta. Niistä valtaosa oli sijoitettu rannikolle tai saaristoon Kotkasta Perämerelle sekä Lapin tuntureille. Nykyisissä puistoissa on 2- 8 lähekkäin sijaitsevaa voimalaa, mutta selvästi suurempia määriä on suunniteltu. Kauppa- ja teollisuusministeriön tuulivoiman kapasiteettitavoite vuodelle 2010 on 500 MW ja sähköntuotannolle 1 TWh. Tuuliolojen takia on luonnollista, että jatkossakin suosituimmat sijoituspaikat ovat matalat merialueet, saaristo, rannikko ja tunturit. Sen vuoksi linnusto-vaikutusten todennäköisyys on suurin näillä alueilla. Esimerkiksi matalikoiden tuulivoimapotentiaaliksi Vaasasta Tornioon on arvioitu 14 700 MW (Holtinen, 2001). Koska rakentamis- ja ylläpitokustannukset eivät ole suoraan verrannolliset voimalan kokoon, ja suuret voimalat ulottuvat korkeammalle, kovempien tuulten alueelle, on edullista suosia megawattiluokan laitoksia.

**Taulukko 1. Voimaloiden tyyppillisiä ominaisuuksia maailman tuulipuistoissa. Tiedot on koottu lukuisista internet-lähteistä.**

Voimalan nimellisteho (maksimi)	200-2500 kW
Tornin korkeus (ilman potkuria)	25-80 m
Potkurin lapojen lukumäärä	3 (joskus 2)
Potkurin kärkiväli	25-60 m
Potkurin pyörimisnopeus kärjessä	10-70 m/s (<25 kierrosta/min)
Voimalan äänen kuuluvuus (40 dBA)	200-500 m
Voimaloiden lukumäärä puistossa	2-100 (-7000)*
Tuottava tuulennopeusalue	4-20 m/s

\* Yli sadan voimalan ryhmittymät ovat melko vähälukuisia, mutta suurimmissa puistoissa niitä on tuhansia, Altamont Passissa Kaliforniassa jopa 7000.

# Lintujen törmäykset tuulivoimaloihin ja häiriövaikutus



## 3.1 Riskien määrittely

Lintujen törmäyksiä ihmisen rakennelmiin on tutkittu paljon varsinkin Yhdysvalloissa, missä on myös laadittu laajoja yhteenvetoja julkaistuista artikkeleista. Avery ym. (1980) listaavat yli 1000 julkaisua, joissa on käsitelty törmäyksiä rakennelmiin (ks. myös Weir 1976, Hebert ym. 1995). Luonnonolosuhteissa sairautteen tai saalistuksen uhrina kuolleen linnun löytymistodennäköisyys on huomattavasti pienempi kuin yksilön, joka törmää rakennukseen taajamassa tai aiheuttaa esimerkiksi katkoksen sähkönjakeluun. Siksi eri syistä kuolleina tai vaurioituneina löydettyjen yksilöiden lukumääräsuhteista ei voi helposti arvioida edes suhteellisia kuolinsyitä lintupopulaatiossa.

Törmäysten jälkeen löydetty linnut antavat kuitenkin keinon määrittellä rakennelman aiheuttama törmäysriski lintupopulaatiolle. **Löytömäärä** (n) tarkoittaa lintulajin kuolleina tai vahingoittuneina löydettyjen yksilöiden määrää. Se vaihtelee mm. eri vuoden- ja vuorokaudenaikoina, linnun iän, sukupuolen ja muuttoaktiiviteetin sekä sään mukaan. Näiden osatekijöiden vaikutuksia on yleensä mahdotonta erottaa tilastollisesti toisistaan, ellei aineisto ole hyvin suuri. Pitkiä havaintosarjoja tarvitaan myös selvittämään keskimääräisiä löytömääriä, sillä julkaistut määrät koskevat usein ääritapauksia. Jotta eri paikoissa löydetty määrät olisivat edes suunnilleen vertailukelpoisia, on ne normeerattava koskemaan samaa aikaväliä ja samanlaista törmäyskohdetta, taulukko 2. Taulukossa 2 voimalinjan pituus on pituus kartalla, eli se on riippumaton johtojen lukumäärästä. Rakennuksissa täsmällisempää olisi käyttää esimerkiksi ikkuna- tai seinäpinta-alaa, mutta tällaista tietoa ei julkaisuissa ole juuri koskaan annettu. Mastojen eksaktimpi normeerausyksikkö voisi olla kutakin 100 mastometriä kohden sekä valonheittimissä valotehoa kohden. Korkeuksia ja valotehoja ei yleensä ole ilmoitettu törmäysjulkaisuissa. Vastaavasti tuulivoimalan tarkin normeeraus olisi potkurien pyyhkimä pinta-ala aikayksikköä kohti (Howell 1997).

**Taulukko 2. Rakennelmien läheisyydestä löytyneiden kuolleiden tai vahingoittuneiden lintujen määrän normeeraus eri törmäyskohteissa.**

Törmäyskohde	Normeerattu löytömäärä (n)
Tuulipuisto	Yksilöä vuodessa/voimala
Voimalinja	Yksilöä vuodessa/l km voimalinjaa
Masto	Yksilöä vuodessa/masto
Rakennus	Yksilöä vuodessa/rakennus(ryhmä)
Valonheitin	Yksilöä vuodessa/valonheitin

Löytömäärät eivät vastaa **todellista lintumäärää** (N), sillä **hävikin** (h) takia löydettyjen osuus on aina pienempi kuin todellinen määrä:

$$n = (1-h)N, \quad (1)$$

missä  $0 \leq h \leq 1$ . Suure  $1-h$  on edellä mainittu linnun löytymistodennäköisyys.

Kuolleisuutta N voitaisiin myös kutsua nimellä rakennelman pyydystystehokkuus. Hävikkiin (h) vaikuttaa törmäyspaikan olosuhteiden lisäksi ihmisen kyky löytää kuolleet linnut eli etsintätehokkuus ko. paikalla (Morrison 2002). Oikeissa törmäystilanteissa etsintätehokkuus on aina alle 100 %, sillä osa kuolettavasti vaurioituneista linnuista ehtii siirtyä kauas törmäysalueelta (von Heijnis 1980, Bevanger 1994). Etsintätehokkuutta on tutkittu asettamalla kuolleita eläimiä maastoon. Winkelman (1989 ja 1992b) havaitsi, että ihmisen kyky löytää pieniä kuolleita varpuslintuja vaihteli välillä 30-83 % todellisesta määrästä. Etsintätehokkuutta on tutkittu myös tuulipuistoissa. Osborn ym. (2000) arvioivat sen suuruudeksi 79 % (Buffalo Ridge, Minnesota), ja Gill (2001) sai hanhille etsintätehokkuudeksi 83 % Dun Law:ssa Skotlannissa. Käyttämällä puisia kellukkeita lintujen malleina on Englannissa havaittu (Painter ym. 1999), että satama-alueella meressä sijaitsevasta tuulipuistosta vain pieni osa raadoista ajelehtii rannalle.

Tärkeä tekijä hävikissä on saalistuspaine eli predaatio: pedot ehtivät viedä osan törmänneistä linnuista ennen etsintöjä. Suurikokoisten lintujen etsintätehokkuus on parempi ja hävikki paljon pienempi kuin pikkulintujen (Kerlinger ym. 2000). Hävikin arviointia vaikeuttaa sen aikariippuvuus. Mitä kauemmin törmäyksestä on kulunut, sitä suurempi on hävikki. Lisäksi on otettava huomioon tutkimusalojen elinympäristöjen osuudet tutkittavien lajien tutkittavien populaatioiden elinympäristöihin (James ja Haak 1979). Taulukossa 3 on lueteltu hävikin suuruuksia. Mielenkiintoisena sopeutumana voidaan mainita Toronton keskustan rengasnokkalokit (*Larus delawarensis*). Osa niistä on oppinut käyttämään yömuutolla pilvenpiirtäjiin törmääviä lintuja ravintokohteenaan. Lokit partioivat muuttoaikoina ydinkeskustan alueella jo aamuyöllä saalistamassa kuolleita ja vahingoittuneita lintuja (Ogden 1996).

**Taulukko 3. Arvioita erilaisiin rakennelmiin törmäävien lintujen hävikistä ajan funktiona (aika mainittu vain osassa tutkimuksista).**

kohde	hävikki (%)/aika	lähde
Ydinvoimala, USA	76	Williams ym. (1975)
Voimalaitoksen jäähdytystorni, USA	50	Rybak ym. (1973)
Voimalinja, Norja	84-93 (kanalinnut)	Bevanger (1994)
TV-lähetinmastot	64-100	Crawford (1971)
Voimalinja, Hollanti (kuolleita kottaraisia asetettu linjan alle)	70/12 h	von Heijnis (1980)
Tuulipuisto, Englanti (raatoja asetettu)	50/6-12 h	Langstonin ja Pullanin (2003) mukaan
Tuulipuisto, Skotlanti (kuolleita hanhia asetettu)	35/viikko	Gill (2001)
Tuulipuisto, Minnesota	40/viikko	Osborn ym. (2000)
Tuulipuisto, Espanja	62/24 h	Lekuona (2001)

Kertomalla menetettyjen lintujen normeerattuja määriä (N) tarkasteltavien törmäyskohteiden kokonaismäärällä (q) voidaan periaatteessa laskea erikokoisten rakennelmien aiheuttamia kokonaismenetyksiä (L):

$$L = qN \quad (2)$$

Esimerkiksi, kun kerrotaan voimalinjan normeerattu maakotkamäärä (N) koko verkon kilometrimäärällä (q), voidaan arvioida kuinka monta maakotkaa me-



nehtyy keskimäärin vuodessa sähköjakeluverkkoon. Kertomalla yhden tuuli-voimalan normeerattu törmäysmäärä (N) voimaloiden lukumäärällä (q) saadaan ko. tuulipuiston aiheuttama vuotuinen lintumenetys. Tällöin oletetaan, että ryhmässä sijaitsevien voimaloiden sijoittelu ei vaikuta törmäystodennäköisyyteen. Todellisuudessa sijoittelu voi sekä suurentaa että pienentää törmäysten määriä (lähemmin kappaleessa 3.3.1).

Vaikka määrät L ja N saattavat olla sinänsä suuria ja aiheuttaa esimerkiksi mittavan hygieenisen ongelman raatojen muodossa, on ympäristönsuojelullisesti merkittävin suure populaation **törmäysriski** (r), eli kuinka suuren uhan törmäykset L aiheuttavat populaatiolle (P), josta linnut ovat peräisin:

$$r = L/P \quad (3)$$

Saman rakennelman aiheuttama törmäysriski voi olla mitätön koko populaatiolle, mutta tuhoisa paikallispopulaatiolle. Esimerkiksi kaikkien tuulivoimaloiden aiheuttama riski Suomen tunturihaukoille voi olla mitätön, mutta tuulipuiston sijoittaminen tunturihaukkareviirille on suurempi riski reviirillä asustavalle parille, jos se oleskelee voimalarakenteissa tai saalistaa sen luona pitkiä aikoja. Esimerkiksi Thelander ja Rugge (2000) jakavat törmäysriskin kahteen osaan: altistus ja varsinainen riski. Altistus tarkoittaa sen ajan suhteellista osuutta populaatiossa, joka vietetään vaara-alueella, ja varsinainen riski törmäystodennäköisyyttä vaarallisella alueella. Evaraert ym. (2002) havaitsivat Zeebruggeessa Belgiassa lokkien ja tiirujen varsinaisen riskin suuruusluokaksi 1/1000, eli joka tuhannes tuulipuiston läpi potkurien pyyhkäisykorkeudella lentänyt yksilö törmäsi. Winkelman (1992a) on havainnut paikallisten lintujen väistävän voimalaa kauempaa kuin muuttajien ja siten osoittavan oppimista varomaan. Altistuksen kasvaessa varsinainen riski voi siis pienentyä. Altistus-riskitarkastelu sopii paikallisen pesimälinnuston törmäysriskin tutkimiseen, mutta yksinkertaisuuden vuoksi tässä raportissa tekijät on yhdistetty.

Törmäysriskiä voi arvioida myös toisella menetelmällä, havaitsemalla törmäystodennäköisyyttä (r) eli seuraamalla rakennelman lähellä liikkuvien lintujen törmäyksiä:

$$r = N/P, \quad (4)$$

missä N on törmänneiden lintujen lukumäärä ja P on kaikkien rakennelman ohi lentäneiden lintujen lukumäärä. Suure 1-r on silloin lintujen väistämiskyky. Voidaan approksimoida, että törmäystodennäköisyys on sama kuin törmäysriski. Menetelmä on työläs, koska tarvitaan hyvin pitkäaikaisia standardoituja havainnoita (esimerkiksi Thelander ja Rugge 2000, Band ym. 2002, Evaraert ym. 2002) ja yöllä maalinseurantatutkaa tai lämpökameraa (Kahlert ym. 2000, Desholm 2003). Saattaa olla myös mahdollista kehittää voimaloihin paine- tai värinäantureita, jotka rekisteröisivät törmäyksiä (Langston ja Pullan 2003). Törmäysriskin kannalta luku N on epätarkka, koska osa törmänneistä linnuista ei välttämättä vahingoitu haitallisesti. On myös epävarmaa, mitkä havaituista yksilöistä tulisi laskea mukaan riskipopulaatioon P. Yhdellä paikalla havaittuja todennäköisyyksiä ei välttämättä voi yleistää koskemaan laajan alueen populaation törmäystodennäköisyyttä.

Edellä olevien määritelmien (1)-(4) mukainen törmäysten aiheuttama populaatoriski (r) on vuotuinen. Pitkällä aikavälillä (k vuotta) on vielä otettava huomioon, että lintukannalle koitua uhka on kertyvä. Siten k:n vuoden kuluttua alkuperäinen populaatio (P) on riskin vuoksi pienentynyt määräksi  $P_k$ :

$$P_k = P(1 - r)^k \quad (5)$$

Kaava (5) edustaa synkintä skenaariota, sillä siinä oletetaan, että vähenevä populaatio ei saa täydennystä muualta. Sen perusteella esimerkiksi vuotuinen po-

pulaatoriski 10 % ( $r = 0,1$ ) on jo tuhoisa, sillä kymmenen vuoden kuluttua populaatio on enää 30 % alkuperäisestä. Matemaattisesti hyvinkin pieni riski (alle 1 %) johtaa satojen vuosien kuluessa populaation tuhoon. Tähän on suhtauduttava kriittisesti, sillä pitkällä aikavälillä populaation jäljelle jäävän osan riski voi pienentyä.

Suoran törmäysriskin ohella rakennelmat vaikuttavat lintujen pesimis- ja ruokailualueisiin ja siten epäsuorasti populaatioon. Epäsuorien vaikutusten osalta **ympäristönmuutosriski** ( $y$ ) populaatiolle on helpompi määrittellä ja tutkia kuin törmäysriski:

$$y = P' / P, \quad (6)$$

missä  $P$  on jonkun alueen populaatio ennen rakennelmien pystytystä ja  $P'$  sen jälkeen. Kannattaa huomata, että kaavassa (6)  $y$  voi olla ykköstä suurempikin. Esimerkiksi voimalinjojen kohdalle raivatut johtoukeat lisäävät avomaiden lajistoa alueella (Anderson ym. 1977, Koskimies 2003b). Ympäristönmuutosriski voi kohdistua myös laajemmalle alueelle kuin pesintään rakennelman kohdalla. Esimerkiksi kauempaa tulevien lintujen ruokailualue voi tuhoutua. Ympäristönmuutosriski voi olla paikallisesti erittäin merkitsevä, vaikkei se olisi valtakunnallisesti merkitsevä. Se ei kerry samalla tavalla vuosittain kuin törmäysten aiheuttama populaatoriski. Voidaan esimerkiksi ajatella, että rakentamisen vaikutukset ovat suurimmat ensimmäisen vuoden aikana, mutta viiden vuoden kuluttua ne ovat jo vähäiset. Ympäristönmuutosriskiä tarkastellaan luvussa 4.

Tuulivoimaloiden suora linnustopakote on myös **häiriövaikutus**, jonka tuulivoimalat aiheuttavat lintujen liikkumiseen ja käyttäytymiseen. Esimerkiksi ruokailu- tai yöpymislennon aikana lintuparvet voivat joutua tekemään kahdesti vuorokaudessa mutkan lentoreittiin väistäessään voimaloita (Spaans ym. 1998). Yöpymään lentävien lokkien ja vesilintujen on myös havaittu suorittavan useita yrityksiä voimala-alueen läpäisemiseksi (Winkelman 1992a). Toisaalta on yleisesti havaittu, että linnut lentävät häiriintymättä voimalaryhmän läpi (Still ym. 1996). Toinen vaikutus voi olla melun aiheuttama. Esimerkiksi voimalan läheisyydessä pesivä lintu ei välttämättä suojaudu lähestyvältä pedolta, jos se ei kuulu lajikumppanien varoituksia. Häiriövaikutuksista on melko vähän tutkittua tietoa (Langston ja Pullan 2003), mutta mitä ilmeisimmin niiden aiheuttama populaatoriski on keskimäärin selvästi pienempi kuin törmäys- tai ympäristönmuutosriski. Tosin häiriövaikutuksen erottaminen ympäristönmuutosvaikutuksesta on epä-määräistä, jos lintu liikkuu toistuvasti voimalan läheisyydessä: onko jokainen lähestymiskerta erillinen häiriövaikutustilanne, vai olisiko ajateltava linnun keskimääräistä menestymistä ko. alueella ennen ja jälkeen voimaloiden rakentamisen. Jälkimmäistä lähestymistapaa käsitellään luvussa 4, jossa on esimerkkejä voimaloiden karkottavasta vaikutuksesta.

Edellä esitetyn yleisen tarkastelun perusteella tuulipuiston linnustovaikutus voidaan arvioida laskemalla yhteen lintupopulaation törmäysriski (5) ja ympäristönmuutosriski (6). Tuulivoimalat ovat siksi uusia ja harvalukuisia rakennelmia, että törmänneiden lintujen löytömääristä on julkaistu selvästi vähemmän tietoa kuin sähkölinjoista, mastoista, korkeista rakennuksista ja valonheittimisistä. Jälkimmäistenkin kohdalla törmäysriskin arviot ovat huomattavasti harvinaisempia kuin raportit löytömääristä. Tuulipuistojen törmäysriskin arviointi Suomen olosuhteissa julkaisujen avulla on siksi melko epätarkkaa. Erilaisten rakennelmien suora linnustovaikutus olisi kuitenkin arvioitava nimenomaan kvantitatiivisen törmäysriskin perusteella, sillä se mittaa uhkaa lintupopulaatioille. Tuulipuistojen törmäysriskin suuruusluokka linnustolle arvioidaan seuraavan tarkastelun avulla.

1. Kootaan havainnot tuulivoimaloihin ja muihin rakennelmiin törmänneiden lintujen löytömääristä. Niiden avulla tarkastellaan eri lintujoukkojen (esi-

merkiksi petolinnut tai yömuuttajat) ja eri lajien suhteellisia löytömääriä sekä määriin vaikuttavia tekijöitä (kappale 3.2).

2. Arvioidaan mitkä tuulivoimaloiden tekniset rakenneratkaisut muuttavat törmäysriskiä (kappale 3.3).
3. Arvioidaan, miten ulkoiset ympäristötekijät (lähinnä topografia ja sää) voivat lisätä törmäysriskiä (kappale 3.4).

## 3.2 Törmäysriski eri rakenteisiin

### 3.2.1 Voimalinjat

Ruotsin rengastustoimisto analysoi 60 000 kuolleena löydetyn linnun kuolinsyyt voimayhtiö Vattenfallin toimeksiannosta vuonna 1986 ja myöhemmin uudestaan vuosilta 1986-1999 (Birkö 2001). Selvityksen mukaan 141 lintulajia on löydetty kuolleena tai vahingoittuneena sähkölinjojen vaikutuksesta. Tämän kuolinsyyntä suhteellinen osuus on löytöaineistossa nykyisin noin 6 %. Määrä kasvoi 1960-luvun alun neljästä prosentista 1980-luvun lopun 6,5 prosenttiin ja on sitten laskenut noin puoli prosenttisyksikköä vuosikymmenessä. Sähköverkon merkitys on keskimääräistä paljon suurempi petolintujen kuolinsyy Ruotsissa. Maakotkalöydöistä vuoden 1986 jälkeen peräti 63 % aiheutui sähköverkosta. Päiväpetolinuilla törmäys johtimiin on sähköiskun ohella merkittävä kuolin- tai vammautumissyys, pöllöillä sähköisku on vallitseva. Niinpä löydettyistä huuhekajista 43 %, lehtopöllöistä 49 % ja viirupöllöistä jopa 73 % oli kuollut sähköiskuun. Petolintuja selvästi harvemmin, mutta silti keskimääräistä enemmän, sähköverkko aiheutti laulu- ja kyhmyjoutsenten, metson,kehrääjän, tervapääskyn ja tikkojen kuolemia. Vaikka sähköverkon suhteellinen osuus vaihtelee paljon eri lajien löytömäärien kesken, ei osuus välttämättä kuvaa todellisen populaatioriskin suuruutta eri lajeilla. Sen arvioimiseksi on tunnettava normeerattu löytömäärä (yksilöä johdinkilometriä kohti).

Törmäysriskiä voimalinjoihin on tutkittu paljon (esim. James ja Haak 1979, Bevanger 1994, Hebert ym. 1995). Taulukossa 4 on voimalinjojen normeerattuja törmäysmääriä. Korkea törmäysmäärä on tyypillinen alueilla, missä on suuria paikallisia lintuparvia esimerkiksi muuttoaikoina. Von Heijnisin (1980) arvio koskee suojeltua kosteikkoa, jossa on hyvin paljon lintuja. Taulukon 4 perusteella törmäysmäärä voi pahimmillaan kasvaa ainakin tuhatkertaiseksi runsaiden lintukeskittymien alueella. Parvien laskeutuminen ja nousu yöpymis- ja ruokailupaikoille, varsinkin paniikkitalanteissa (esimerkiksi metsästys), on johtanut raportoituihin joukkokuolemiin, joissa on menehtynyt esim. kymmeniä hanhia kerralla (Blokpoel ja Hatch 1976, Schroeder 1977, von Heijnis 1980, McNeil ym. 1985, Crivelli ym. 1988).

**Taulukko 4. Voimalinjoihin törmänneiden lintujen normeerattuja löytömääriä. Lihavoiduissa arvoissa on mukana hävikin vaikutus.**

Alue ja lajisto	Normeerattu löytömäärä (yksilöä/km vuodessa)	Viite
Norja, kanalinnut	0.012-0.5	Bevanger (1994)
Norja, riekko talvella	2.6	Bevanger (1994)
Hollanti, kosteikko	<b>4000</b>	von Heijnis (1980)
USA, preeria	<b>70</b>	Faanes (1987)
Espanja, kosteikko	<b>4</b>	Ferrer ym. (1991)

Bevanger (1995) arvioi metson, teeren ja riekon kokonaiskuolleisuudeksi sähkölinjoihin Norjassa 20 000, 26 000 ja 50 000 yksilöä vuodessa, mitkä ovat 90 %, 47

% ja 9 % lajien metsästysmääristä. Riekon törmäysriski on talvella noin 5 kertaa suurempi kuin muina aikoina; metsolla ja teerellä ei ole suurta vuodenaikaisvaihtelua. Riekkoja ei Suomessa esiinny tiheän sähköverkon alueella samassa määrin kuin Norjassa. Norjassa 44 % kanta- ja alueverkosta (94 000 km) oli kanalinnuille suotuisassa ympäristössä. Bevanger (1995) arvioi kanalintujen fysiologisen törmäystodennäköisyyden suureksi verrattuna useimpiin muihin lajeihin, sillä niiden väistökyky on huono. Sisäiseen väistökykyyn vaikuttavat mm. lintulajin silmän rakenne, lentotapa ja ruumiinmuodot sekä lentonopeus ja ikä (esimerkiksi Norberg 1990). Yhdysvalloissa arvioidaan maakotkan kokonaiskuolleisuudeksi voimalinjoihin vuodessa 300 lintua, joista havaintojen valossa peräti 98 % on nuoria. Kun arvioidaan, että Suomen koko jakeluverkosta (300 000 km) kolmasosa sijaitsee metson ja puolet teeren elinympäristössä ja todelliseksi törmäysmääräksi Bevangerin (1995) mukaan 0,1 (metso) ja 0,15 (teeri) lintua/km vuodessa, saadaan törmäysten kokonaiskuolleisuudeksi Suomessa metsolle 10 000 ja teerelle 22500. Nämä luvut merkitsevät koko Suomen populaatoriskin suuruusluokkaa 2-4 % (Väisänen ym. 1998).

Koska kaikkien lintulajien törmäysriskistä voimalinjoihin Suomessa ei ole saatavilla arviota, voidaan se laskea "takaperin" populaatoriskin avulla. Suomen lintulajien väistökyky on keskimäärin selvästi parempi kuin kanalinnuilla. Lisäksi valtaosa linnustosta ei ole täällä koko vuotta. Siksi keskimääräiseksi populaatoriskiksi johtotörmäyksissä voidaan olettaa vain kolmaskymmenesosa edellä arvioidusta kanalintujen riskistä eli 0,1 % koko populaatiosta. Kun Suomen linnusto (lentopoikaset mukaan lukien) on noin 200 miljoonaa yksilöä (Väisänen ym. 1998), tulee vuotuisesti kokonaiskuolleisuudeksi sähköjohtoihin 200 000 yksilöä. Luku merkitsee keskimäärin 0,7 kuolettavaa törmäystä kutakin voimalinjakilometriä kohti vuodessa. Se on kovin pieni määrä havaittavaksi esimerkiksi seuraamalla jatkuvasti kiikareilla kohteeksi valittua johdinlinjaa. Keskimääräistä arvoa paljon suurempia törmäystodennäköisyyksiä on havaittu kosteikkoalueilla, missä on paljon lintuja (von Heijnis 1980).

Suomessa on arvioitu Pernajanlahden Natura-alueen yli suunnitellun 400 kV:n voimalinjan törmäysriskiä kiikarointimenetelmällä (Koskimies 2002, 2003a). Alueella suoritetun noin 500 tunnin tarkkailun aikana havaittiin vain yksi törmäys (joutsen), ja siinäkin lintu pystyi jatkamaan lentoaan törmäyksen jälkeen. Valitettavasti Koskimies ei arvioi normeerattua törmäysmäärää, mutta raportissa esitetyn kartan avulla voidaan tarkkaillun linjan pituudeksi arvioida noin 1 km. Koska 500 tunnin havainnoinnissa ei nähty yhtään kuolettavaa törmäystä/km, voisi vuoden aikana keskimäärin olla korkeintaan noin 15 törmäystä/km. Tämä luku on sopusoinnussa edellä saadun keskimääräisen populaatoriskiarvion (0,7 törmäystä/km vuodessa) kanssa, sillä törmäysriskiä kasvattaa Pernajanlahdella keskimääräistä suurempi lintutiheys. Sitä pienentää voimalinjan suuri jännite (400 kV) ja sen sijainti korkealla maaston yläpuolella. Yhdysvalloissa tehtyjen selvitysten mukaan (mm. Hebert ym. 1995) törmäyksen ja sähköiskun todennäköisyydet johtokilometriä kohti ovat selvästi suurempia alue- ja jakeluverkossa ( $\leq 110$  kV) kuin kantaverkossa ( $> 110$  kV). Tämä aiheutuu siitä, että jännitteen kasvaessa johdot paksunevat ja linjan korkeus maanpinnasta kasvaa, jolloin niiden havaitseminen helpottuu linnuille. Samalla myös johtojen väli tulee niin suureksi, etteivät isotkaan lintulajit yllä aiheuttamaan oikosulkua. Ohuuden ja sijainnin vuoksi kanta- ja alueverkon vaarallisimmaksi osaksi on lukuisissa tutkimuksissa havaittu linjarakenne, jossa varsinaisten sähköjohtojen yläpuolelle on sijoitettu ukkosenjohdat (esimerkiksi Bevanger 1994).

Voimalinjojen aiheuttaman törmäysriskin pienentämiseksi on ehdotettu ja kokeiltu monia keinoja:

- Ilmajohdon siirtäminen maa- tai merikaapeliksi on varma tapa välttää törmäys. Kaapelin hinta kasvaa kuitenkin eksponentiaalisesti jännitteen funktiona.

- Voimalinjan reitti suunnitellaan siten, että se välttää kulkemista suurten lintukeskittymien kuten kosteikkojen tai muuttovirtojen kasautumien kohdalta. Tätä pidetään halvimpana ja tehokkaimpana keinona (Miller 1978, Thompson 1978).
- Johtojen sijoittaminen rinnakkain vähentää väistävien lintujen törmäystodennäköisyyttä verrattuna pysty- tai kolmioasetteluun.
- Johtimet voidaan eristää kirkasvärillä muovikuorella, ne voidaan maalata kirkkaiksi tai yöllä hohtaviksi fluoresoivalla maalilla.
- Ukkosenjohdattimien poisto tai johtimen paksuntaminen vähentää törmäyksiä niihin.
- Johtimet voidaan varustaa huomiopalloilla tai tuulessa kieppuvilla spiraaleilla ja nauhoilla.

Kaikkien keinojen vaikutuksista ja tehosta ei olla yksimielisiä (Bevanger 1994). Kuitenkin Morkill ja Anderson (1991) sekä Koops (1993) arvioivat vaikutustehoksi 54-90 % sopivilla rakenneratkaisuilla.

Eriyksen vaaralliseksi varsinkin petolinnuille on johtimien lisäksi havaittu avomuuntajat. Ruotsissa avoimia pylväsmuuntajia on lukuisasti 10-20 kV:n jakeluverkon yhteydessä sekä rautateillä. Pohjois-Ruotsissa 20 vuoden aikana kuolleina löydetyistä 336 huuhkajasta 33 prosentilla kuolinsyy oli sähköisku (Birkö 2001). Useimmat näistä linnuista löydettiin pylväsmuuntajien lähistöltä. Ruotsin Lintutieteellinen yhdistys (SOF) onkin lähettänyt kirjeen maan sähköjakeluyhtiöille, energiaviranomaisille ja Valtionrautateille, missä toivotaan seuraavia toimenpiteitä lintujen kuolinriskin pienentämiseksi.

1. Sähköverkon vaarallisten paikkojen (mm. avomuuntajat ja rautatieverkon pylvää) kartoitus ja korvaaminen turvallisemmilla järjestelmillä.
2. Avojohtimien korvaaminen eristetyillä johtimilla.
3. Toimenpiteiden priorisointi seuduilla, missä petolintukanta on tiheä.
4. Ilmajohtimien varustaminen huomiopalloilla alueilla, missä on selviä muuton ohjauslinjoja tai muuttoparvien lepäilykeskittymiä (esimerkiksi kosteikot).

Ehdotetut toimenpiteet saattavat olla jopa taloudellisesti kannattavia, sillä lintujen aiheuttamat sähkönjakeluhäiriöt voivat tulla kalliiksi. Ääritapauksessa vuonna 1997 huuhkaja aiheutti 130 kV:n jakeluverkon oikosulun Sundsvallissa. Tämän seurauksena 50 000 kotitaloutta jäi ilman sähköä ja eräälle sellutehtaalle syntyi 22 päivän seisokki, joka maksoi 50 miljoonaa kruunua. Huuhkaja selvisi kärventynein höyhenin ja vapautettiin myöhemmin. Se sai kutsumanimen Eloff (Birkö 2001).

### 3.2.2 Mastot

Televisio- ja radiomastoihin kuolee Pohjois-Amerikassa yöllä muuttavia pikkulintuja paljon (Avery ym. 1976, Banks 1979, Weir 1975). Taulukkoon 4 seuraavalla sivulla on koottu esimerkkejä kuolleiden lintujen löytömäärästä Ogdenin (1996) taulukosta, jossa ovat myös alkuperäiset viitteet.

Taulukon 4 löytömäärät ovat luonnollisesti aliarvioita todellisesta lintumäärästä hävikin takia. Banks (1979) arvioi, että puolessa Pohjois-Amerikan mastoista törmäysmäärä (N) on keskimäärin 2500 lintua vuodessa, yhteensä 1,25 miljoonaa. Vuonna 1975 mastoja oli Yhdysvalloissa 1000 ja Kanadassa 189. Weir (1976) arvioi Banksin menetelmällä Kanadan kokonaiskuolleisuudeksi yli 200 000 lintua vuodessa. Mastojen keskikorkeudesta ei ole tietoa, mutta 300 m lienee lähellä keskiarvoa.

Suomessa mastoja on nykyisin noin 5000, joista suurin osa on TV- ja radiolähetinmastoja matalampia puhelinmastoja. Puhelinmastoissa on vain lentoesteva-

**Taulukko 4. Kuolleiden lintujen löytömääriä TV- ja radiomastojen läheisyydestä.**

Törmäyskohde	Löytömäärän keskiarvo	Suurin löytömäärä	Havaintojakson pituus
TV-masto, USA		7085/yö	
2 TV-mastoa, USA	520/vuosi/masto		7 vuotta
3 TV-mastoa, Buffalo, USA	120/syksy/masto		1 syksy
3 TV-mastoa, Buffalo, USA		534/yö	4 syksyä
TV-masto, Ontario, Kanada	307/vuosi/masto		14 vuotta
TV-masto, LaMoure, USA	312/vuosi/masto		3 vuotta
3 TV-mastoa, S. Erie County, USA	273/syksy/masto		5 vuotta

lot, mutta toisaalta törmäystutkimuksissa on havaittu, että myös mastojen tukivaijereihin törmää lintuja. Yömuuttajia törmää eniten valaistuun torniin, mutta vaijereihin myös muuta lajistoa (Avery ym. 1977). Jos arvioidaan mastojen keskikorkeudeksi kuudesosa Pohjois-Amerikan TV-mastoista (50 m) ja törmäysmäärää vähennetään 90 % muun kuin lentoestevalaistuksen puuttumisen takia, saadaan varovaiseksi törmäysmääräarvioksi 20 lintua vuodessa/masto. Tämä merkitsisi kokonaiskuolleisuutta 100 000 lintua vuodessa.

### 3.2.3 Rakennukset

Rakennukset ovat törmäysvaara linnuille, sillä Pohjois-Amerikassa jopa yli 1000 lintua on löydetty kuolleena yhden korkean rakennuksen läheltä yhden muuttoyön jälkeen (Avery ym. 1976,1980). Kokonaismääräksi on siellä arvioitu 100 miljoonaa – miljardi kuollutta ja vammautunutta lintua vuodessa (Klem 1989). Tässä luvussa ovat mukana kaikkiin ikkunoihin törmänneet linnut pesintä- ja muuttoaikoina. Taulukkoon 5 on koottu esimerkkejä kuolleiden lintujen löytömääristä Ogdenin (1996) mukaan, josta myös löytyvät viitenumerot Averyn ym. (1980) bibliografiaan.

**Taulukko 5. Kuolleiden lintujen löytömääriä erilaisten rakennusten läheisyydestä. Määrät ovat yksilöä vuodessa koko rakennusmäärää kohti.**

Törmäyskohde	Löytömäärän keskiarvo	Suurin löytömäärä	Havaintojakson pituus
Toronton ydinkeskus, 0,7 km <sup>2</sup>	732/vuosi		3 vuotta
Pilvenpiirtäjä Chicagossa	1478/vuosi		13 vuotta
Davis-Bessen ydinvoimala, USA	310/vuosi	342/syksy, 342/kevät	5 vuotta
Voimalaitos, Cheshire, USA	2000/vrk		
Rakennus, Magnolia, USA	270/vrk		

Rakennuksiin törmää lähes kaikkia lajeja, mutta pienet varpuslinnut ovat ylivoimaisesti edustettuna löytöaineistoissa (95-99 %), varsinkin yöllä muuttavat lajit. Ogden (1996) ilmoittaa Toronton ydinkeskustan alueelta kolmen vuoden aikana löydetyn 100 lintulajia, joista runsaimpien suhteelliset osuudet on esitetty taulukossa 6. Lukumäärät eivät ole suhteessa lajien muuttajamääriin alueella, vaan joillakin lajeilla on selvästi suurempi taipumus törmäyksiin. Taulukon 6 lajien ohella muualla Pohjois-Amerikassa erityisesti punasilmävireoita (*Vireo oliva-*

ceous), rusorintakerttuleita (*Dendroica castanea*) ja viirikerttuleita (*Dendroica striata*) on löydetty yhden törmäyksen jäljiltä kuolleina satoja yksilöitä samasta paikasta (Ogden 1996). Lajien välisten erojen syitä ei ole kunnolla pystytty selittämään. Jakaumaan voi vaikuttaa myös pienten varpuslintujen taipumus muuttaa matalammalla kuin muut linturyhmät (Able 1970). On myös arveltu yömuuttajien voivan seurata rannikoiden ohjaavia linjoja (Dunn ja Nol 1980). Kuitenkaan tutkahavaintojen mukaan yömuuttajat eivät juurikaan kasaudu voimakkaasti esimerkiksi Suomenlahden rannikolle vaan parvet ovat tasaisesti jakautuneet (Koistinen, 2000).

**Taulukko 6. Toronton ydinkeskustan pilvenpiirtäjäalueelta kolmen vuoden aikana löydettyjen yli 2000 kuolleen linnun kuusi runsaslukuisinta lajia (Ogden 1996).**

Lintulaji	Suhteellinen osuus (%)
Ruskojuovakerttuli ( <i>Seiurus aurocapillus</i> )	20
Valkokurkkusirkku ( <i>Zonotrichia albicollis</i> )	19
Naamiokerttuli ( <i>Geotlypis trichas</i> )	5
Magnoliakerttuli ( <i>Dendroica magnolia</i> )	5
Erakkorastas ( <i>Catharus guttatus</i> )	4
Sinikerttuli ( <i>Dendroica caerulescens</i> )	3

Monien tutkimusten mukaan ikkunat ovat törmäysten pääsyy. Yöllä linnut jäävät ikkunoista tulevan keinovalon piiriin "loukkuun" kuin hyönteiset valorysään ja jäävät räpyttelemään valoihin tai törmäyvät ikkunoihin. Linnut eivät useimmiten lennä suoraan kohti valaisevaa ikkunaa ja törmää heti, vaan ne jäävät räpyttelemään ja kiertelemään rakennusta kunnes uupuvat (Graber 1968, Weir 1976, Crawford 1981). Tämä käyttäytymispiirre on todistettu myös valaistuissa TV-mastoissa sammuttamalla valot (Cochran ja Graber 1958). Myöskään linnut eivät keräänny kaukaa heikkona näkyviä keinovalopiirejä kohti tai luule keinovaloja tähdiksi, vaan loukkuun jääneet linnut ovat muuttovirtaa, joka ohittaa valopiirin lähietäisyydeltä (Avery ym. 1976). Päivänvalossa törmäys aiheutuu siitä, että linnut eivät näe ikkunaa, mitä voi tehostaa siitä näkyvä maaston tai taivaan heijastuma. Toisaalta linnut oppivat väistämään ikkunoita oleskellessaan samalla paikalla (Klem 1989).

Richardson (1982) on laskenut, että kilometrin levyisellä kaistalla Torontossa yömuuttovirta vaihtelee välillä 0-30 000 lintua tunnissa. Tällä perusteella Ogden (1996) arvioi, että Toronton pilvenpiirtäjäkeskustan yli 0,5 km:n levyistä kaistaa muuttavista 500 000 linnusta 1 promille kuolee törmäyksissä syksyn aikana. Koko Yhdysvaltojen itä-länsisuuntaisesta leveydestä 41 prosentille (noin 1500 km) osuu yli 100 000 asukkaan kirkkaasti valaistu kaupunki. Jos oletetaan törmäysriskiksi kaupungissa 1 promille ja lintuvirraksi joka kohdassa sama kuin Torontossa, kuolleisuudeksi (L) saadaan 1,5 miljoonaa lintua syksyissä (3000\*500). Kuolleisuus painottuu samoihin kerttuleihin (esimerkiksi taulukko 6), joiden pesimäkantojen on havaittu olevan selvässä laskussa (Robbins ym. 1989). Siksi on arveltu, että yömuuton aikaisilla törmäyksillä olisi vähenemisessä merkittävä rooli (Ogden 1996).

Kun arvioidaan Suomen yömuuttopopulaatioksi syksyllä 100 miljoonaa lintua (Väisänen ym. 1998) ja oletetaan sen pääosin muuttavan Suomea pitkin etelään, voidaan arvioida kuolleisuus Ogdenin (1996) törmäysriskin avulla. Kirkkaasti valaistun kaupunkialueen leveys Etelä-Suomen poikki kulkevalla itä-länsisuuntaisella, 500 km:n levyisellä projektiojanalla on suuruusluokkaa 25 km. Tällöin kokonaismenetykseksi saadaan 5000 lintua (0,001\*100 000 000\* 25/500).

Jos lisätään kevätmuuton vaikutus, voidaan aivan karkeasti arvioida yömuuton kuolleisuudeksi rakennustörmäyksissä Suomessa 10 000 lintua vuodessa. Klemin (1989) ja Dunnin (1993) arviot ikkunoihin päivänvalossa törmänneistä, enimmäkseen paikallisista linnuista ovat noin 100 kertaa suurempia kuin yömuuttokuolemat. Suomessa on vähemmän lasirakentamista kuin Yhdysvalloissa, joten ”ikkunakertoimeksi” yömuuttoon verrattuna voisi arvioida 50. Se merkitsee 500 000 linnun kuolemaa ikkunoihin päivänvalossa vuodessa. Tässä luvussa ei ole mukana törmäyksiä liikennevälineiden ikkunoihin.

### 3.2.4 Tieliikenne

Perusteellisen selvityksen selkärankaisten liikennekuolemista Suomessa on tehnyt Manneri (2002). Sen mukaan kaikista liikenteen tappamista selkärankaisista 65 % oli lintuja. Ottamalla huomioon hävikin vaikutus on Manneri (2002) arvioinut, että lintuja kuolee Suomen tieliikenteessä vuosittain noin 4,3 miljoonaa. Eläinten liikennekuolleisuus oli suurinta joen- tai purovuomien ja teiden risteyskohdissa. Kuolleina löydetyistä linnuista runsaslukuisin oli peippo (16 %). Selvityksen perusteella kehrääjän, varpusen, kottaraisen, pikkulepinkäisen ja joidenkin peto- sekä metsäkanalintujen populaatoriski on kohonnut liikenteen takia.

### 3.2.5 Majakat, kaasuliekit ja valonheittimet

Majakat olivat ensimmäiset ihmisrakennelmat, joissa havaittiin suuria lintukuolemia yömuuttojen yhteydessä (Weir 1976). Linnut jäävät valokiiloihin ”loukuun” samalla tavalla kuin valaistuissa mastoissa ja korkeissa rakennuksissa (Baldwin 1965). Taulukkoon 7 on koottu esimerkkejä kuolleiden lintujen löytö- määristä majakoiden tai valonheittimien luota. Norrskärin majakalla lokakuun alussa valtaosa kuolleista linnuista oli punakylkirastaita ja seuraavana yönä hippisiä.

**Taulukko 7. Kuolleiden lintujen löytömääriä kirkkaiden valojen yhteydessä.**

Törmäyskohde	Löytömäärän keskiarvo	Suurin löytömäärä	Viite
Norrskärin majakka	350/yö (3 yön aineisto)	878/yö	Mikkola ja Södersved (1990)
Great Duck Is, Huron, majakka		5900/10 vrk	Ogden (1996)
Long Point, Ontario, majakka	680/vuosi (10 vuotta)	422/vrk	Ibid.
Air Force Base, TX, valonheitin		6000/vrk	Ibid.
Washington Monument	595/syksy (2 vuotta)		Ibid.
Long Island, pilvalonheitin		2000/vrk	Ibid.
Bay of Fundy, CAN, majakka		488/syksy	Ibid.

Suomen 49 merimajakan aiheuttamaa kokonaiskuolleisuutta on vaikea arvioida, koska tähän selvitykseen ei saatu tietoa kunkin majakan valon teknisestä ratkaisusta. Pyörivä kiinteä valo aiheuttaa yömuuttajille voimakkaan valorysäefektin (esimerkiksi Tankar ja Norrskär), kun taas vilkkuva valo estää lintutörmäykset lähes kokonaan (esimerkiksi Lågskär). Useilla majakkasaarilla on lintuasema, missä on harrastettu päivittäistä lintujen laskentaa ja rengastusta jo vuosikymmeniä. Havaintosarjojen perusteella kuolleita lintuja ei löydy juuri koskaan vilk-



kuvalomajakoiden luota (Jörgen Palmgren, suull. ilm.). Norrskärin määrät edustavat harvinaista tapausta. Todellisen kuolinmäärän arviointia haittaa saaristos-  
sa lокkien aiheuttama suuri ja nopea hävikki. Karkeana arviona voidaan esittää  
10 000 lintua vuodessa.

Pohjanmerellä on havaittu aamunkoitteessa 4000 punakylkirastasta kiertä-  
mässä öljynporaustalautan kaasusoihtua. Osa linnuista lähti päivämuutolle huo-  
nosta säästä huolimatta, mutta osa jäi kiertämään tulta toiseksikin yöksi. Toisen  
päivän aamuna linnut laskeutuivat uupuneina mereen ja hukkuivat. Punnittujen  
yksilöiden paino oli puolet normaalipainosta, eli ne olivat kuluttaneet kiertelyyn  
kaiken rasvansa. Yhdenkään linnun ei kuitenkaan havaittu lentävän tuleen (Mik-  
kola ja Södersved 1990). Globaalisti majakat voivat olla pienten, endeemisten  
saaripopulaatioiden todellinen riski. Ogden (1996) mainitsee, että sukupuuttoon  
kuolleen surukerttulini (Vermivora bachmanii) museonäytteiden valtaosa on  
kerätty yhden Floridan majakan luota.

Runsaasti kuolemia ovat aiheuttaneet lentokenttien pilvenkorkeusmittarit  
eli taivaalle suunnatut valonheittimet. Nykyisin laitteissa käytetään kapeaa,  
pulssitettua laservalokeilaa, jonka valaisema tilavuus on paljon pienempi kuin  
entisissä valonheittimissä. Törmäysriski on todennäköisesti pienentynyt murto-  
osaan entisestä, vaikka tutkimustuloksia asiasta ei löytynyt. Kirkkaita valonheit-  
timiä käytetään edelleen rakennusten, mastojen ja monumenttien valaisemiseen,  
missä yhteydessä on havaittu huomattavia lintukuolemia (ks. taulukko 7 ja kap-  
pale 3.3.2). Valolähteiden aiheuttamaa kokonaiskuolleisuutta Suomessa on vai-  
kea arvioida, koska valaisimien määrästä ja niiden aiheuttamista kuolemista ei  
ole tietoa.

### 3.2.6 Tuulivoimalat

Tuulivoimaloiden törmäysriskiä on tutkittu monilla alueilla Euroopassa ja Yh-  
dysvalloissa, eniten Altamont Passin tuulipuistossa Kaliforniassa, jossa on 190  
km<sup>2</sup>:n alueella peräti 7000 voimalaa. Maasto on ruohikkoisia kukkuloita, missä  
viihtyvät sekä pesivät että muuttavat petolinnut. Tällä alueella on myös tehty  
systemaattista tutkimusta, jossa kuolleiden lintujen etsintämenetelmät on stan-  
dardoitu ja on myös tutkittu eri tekijöiden vaikutusta törmäysriskiin (Orloff ja  
Flannery 1992, Anderson ym. 1996, Morrison ja Davis 1996, Gauthreaux 1996,  
Thelander ja Rugge 2000). Taulukossa 8 seuraavalla sivulla on eri tutkimuksissa  
havaittuja törmäysten määriä.

Taulukon 8 sisältämät Espanjan luvut Langston ja Pullan (2003) toteavat  
korkeiksi muualla saatuihin samojen lajien määriin nähden. Kuolleina löydetty-  
jen lintujen kokonaismäärät tuulipuistoissa olivat tutkimuksissa kymmeniä tai  
korkeintaan pari sataa, mutta normeerattu törmäysmäärä voimalaa kohden tu-  
lee pieneksi, kun seurattuja voimaloita on lukuisia.

Kuten taulukosta 8 nähdään, monissa tuulipuistoissa on löydetty runsaasti  
petolintuja, Altamont Passissa eniten amerikanhiirihaukkoja (*Buteo jamaicensis*),  
maakotkia (*Aquila chrysaetos*) ja amerikanvarpushaukkoja (*Falco sparverius*),  
(esimerkiksi Howell 1997, Howell ja DiDonato 1991). Kuolleina löydetty-  
jen eri lintulajien suhteellisista määristä ei voi päätellä todellista törmäysriskiä,  
sillä siihen vaikuttavat lintujen yleisyys alueella, altistus ja hävikki, jotka vaihte-  
levat lajeittain. Suurten lintujen hävikki aikayksikössä on tyypillisesti kymmeniä  
kertoja pienempi kuin pikkulintujen (ks. kappale 3.1). Lekuona (2001) on käyttä-  
nyt Winkelmanin (1992b) korjauskertoimia hävikille, mutta Erickson ym. (2001)  
varoittavat soveltamasta muilla alueilla saatuja hävikkejä toisenlaiseen tuuli-  
puistoon.

**Taulukko 8. Kuolemaan johtavien lintutörmäysten määriä tuulivoimaloihin. Lihavalla merkittyihin arvoihin on korjattu hävikki.**

<b>Törmäysmäärä ja puisto (yksilöä/vuosi/voimala)</b>	<b>Lajiryhmien osuus löydetyistä</b>	<b>Lähde</b>
0,15 Altamont Pass, CA	Petolinnut 51 % Pikkulinnut 20 %	Thelander ja Rugge (2000)
0,05 Altamont Pass, CA		Howell ja DiDonato (1991)
0,03 (petolinnut) Altamont Pass, CA		Howell (1997)
0,02-0,06 Altamont Pass, CA	Petolinnut 65 %	Orloff ja Flannery (1992)
<b>1,4-1,9</b> Buffalo Ridge, MN		Strickland ym. (2000)
<b>2,8</b> Buffalo Ridge, MN (suurin havaittu yhdessä voimalassa <b>4,5</b> )	Yöllä muuttavat pienet varpuslinnut 76 %	Johnson ym. (2000)
0,003 Tehachapi ja San Geronio Pass, CA (petolinnut)		Anderson ym. (2000)
0,6 Tarifa, ES (petolinnut) <b>0,55</b> Tarifa, ES (tuulihaukka)	Hanhikorppikotka 60 % Tuulihaukka 23 %	Spanish Birdlife International (1995)
0,35 Salajones, ES (hahikorppikotka) <b>8</b> Salajones, ES (hahikorppikotka) <b>22</b> Salajones, ES <b>64</b> El Perdon, ES (syysmuuttavat pikkulinnut)	Hanhikorppikotka 63 %	Lekuona (2001)
1,34 Blyth, UK		Still ym. (1996)
2,4 Zeebrugge, B <b>23</b> Zeebrugge, B	Harmaalokki 80 %	Evaraert ym. (2002)
0,01 Kreekrak, NL		Musters ym. (1995, 1996)

Taulukossa 9 on eri lajiryhmien ja lajien suhteellisia osuuksia Altamont Passissa löydettyjen määrissä ja voimaloiden lähellä liikkuneiden määrissä. Huomionarvoista on, että lajimäärä on pieni (16 vuoden aikana) ja pikkulintujen osuus on pieni. Esimerkiksi yöllä muuttavia kerttuleita ei tulosten mukaan alueella törmää juuri lainkaan, toisin kuin korkeisiin rakennuksiin (vrt. kappale 3.2.3). Kalifornian ulkopuolella Yhdysvalloissa tilanne on toinen, sillä siellä 78 % tuulipuistoissa kuolleista linnuista on varpuslintuja (Erickson ym. 2001). Kyseisessä tutkimuksessa myös arvioidaan luonnollisia syitä Kalifornian erilaiselle lajikoostumukselle muihin tuulipuistoihin nähden. Selittäjänä voi olla myös tuloksiin sisältyvä harha, sillä Altamont Passin kuolleisuusluvuissa ei ole arvioitu hävikkiä, joka pikkulinnuilla on todettu paljon suuremmaksi kuin petolinnuilla (ks. kappale 3.1). Kuten Altamont Passissa, Zeebruggessa Belgiassa törmäysten määrä on voimakkaasti verrannollinen tuulipuiston alueella liikkuneiden yksilöiden määrään (Evaraert ym. 2002). Törmäystodennäköisyys lokeilla oli 1/3700 ja kalatieralla 1/3000, kun mukaan otettiin kaikki tuulipuiston alueen läpi tai yli tehdyt lennot. Kun laskettiin vain potkurikorkeuden läpi lentäneet linnut, vastaavat luvut olivat 1/2100 ja 1/600.

Petolinnuilla ei taulukon 9 mukaan ole sen suurempi suhteellinen törmäysriski kuin muilla lajeilla. Sen sijaan eri lajien välillä on eroja. Tarifassa Espanjassa on saatu viitteitä siitä, että hanhikorppikotkan törmäysriski olisi selvästi suurempi kuin linnuilla yleensä, koska vain 2 % lähestyvistä yksilöistä reagoi voimaloihin ja törmäykset sattuvat kauniissa, heikkotuulisessa säässä (Spanish Birdlife

**Taulukko 9. Eri linturyhmien ja -lajien suhteellisia osuuksia Altamont Passin tuulipuistossa törmänneistä linnuista ja voimaloiden lähellä nähdystä linnuista (Thelander ja Rugge 2000).**

Lajiryhmä	Kuolleiden yksilöiden osuus (%)	Liikkuneiden yksilöiden osuus (%)
Petolinnut	51	52
Amerikanhiirihaukka	20	20
Maakotka	7	11
Korppi	0	15
Kesykyyhky	16	4

International 1995). Tarifan alueen suuriin löytömääriin vaikuttavat myös sijainti Gibraltarin muuttoväylällä (Janss 2000) sekä voimaloiden paikalliseen ympäristöön liittyvät tekijät, sillä 57 % hanhikorppikotkista kuoli 28 voimalan ryhmään yhteensä 256 voimalaa käsittävässä tuulipuistossa (Spanish Birdlife International 1995). Tämä voi olla paikka, jossa on yleisesti topografian synnyttämiä nopeita nousuvirtauksia, mihin petolinnut hakeutuvat hanakasti. Virtauksen mukana linnut saattavat esimerkiksi nousta vuoreharjanteen takaa äkisti keskelle voimaloita. Tutkittua tietoa paikallisista topografiavaikutuksista ei kuitenkaan löytynyt.

Petolintujen populaatoriski on havaittu uhkaavasti kohonneeksi eräissä tuulipuistoissa. Altamont Passissa vuodessa löydettyjen maakotkien määrä on 28-43 yksilöä (Hunt ym. 1998). Vuotuiseksi populaatorisikiksi on saatu 1-9 % kahdella menetelmällä (Franklin ym. 1998). Laji on erityistä suojelua vaativa Kaliforniassa. Eniten petolintutörmäyksiä tapahtuu pesintäaikana kesällä (Thelander ja Rugge 2000). Pesimäkanta alueella on tiheä (esimerkiksi maakotkia 1 pari/19 km<sup>2</sup>, Hunt ym. 1998), koska siellä on runsaasti maaoravia. Voimalat sekä niihin liittyvät sähköpylväät ja tuulimittarimastot ovat erinomaisia tähytyspaikkoja aukeassa ja puuttomassa maastossa (tarkemmin kappaleessa 3.3.1). Pesimäkannan harventuessa myös törmäysriski pienenee. Esimerkiksi Kalifornian kahdessa muussa suuressa puistossa Tehachapissa (5000 voimalaa) ja San Gorgonio Passissa (3750 voimalaa), petolintujen törmäysriski on arvioitu 10-36 kertaa pienemmäksi kuin Altamont Passin puistossa (Anderson ym. 2000), eli se on suuruusluokkaa 0,003 törmäystä/voimala/vuosi. Kuolleiden hanhikorppikotkien ja tuulihaukkojen määrät Tarifassa ovat olleet niin suuria, että Langstonin ja Pullanin (2003) mukaan Espanjan Ympäristöministeriö suosittelee voimaloiden rakennuskieltoa suurten arolajien ja petolintujen (kuten iberiankeisarikotkan) pesimis- ja ruokailualueille. Espanjan tutkimuksissa ei kuitenkaan ole arvioitu populaatorisikin suuruutta lukuarvona. Siten ei voida sanoa, onko suosituksen noudattaminen välttämätön- vai varovaisuustoimenpide lajien suojelemiseksi.

Petolintujen populaatorisikiä joillakin alueilla ei voi siirtää sellaisenaan koskemaan Suomea. Altamont Passin alueen korkean riskin syitä on kaksi:

- Alueelle on tiheä pesivä petolintukanta ja muutolla lepäilevä kanta. Molemmat käyttävät voimaloita ja niiden oheisrakennelmia tähytyspaikkoina.
- Voimaloiden määrä tuulipuistossa on poikkeuksellisen suuri pienellä alueella (7000/190 km<sup>2</sup>), jolloin petolintujen pienikin voimalakohtainen törmäysriski (0,05 lintua/voimala/vuosi) tulee merkittäväksi.

Voidaan päätellä, ettei voimaloita kannata sijoittaa valtavia määriä yhdelle alueelle, jossa on uhanalaisen (peto)lintulajin esiintymiskeskittymä. Espanjassa riskiä suurentavat hanhikorppikotkan huono väistämiskyky, Tarifan alueen puistojen sijainti eräällä Euroopan suurimmista petolintumuuton ohjauslinjoista ja

mahdollisesti muut voimaloiden paikalliset sijoitukseikat. Suomen linnustossa merikotkan voisi arvioida muistuttavan lento-ominaisuuksiltaan hanhikorppikotkaa. Yhtään tutkimusta ei kuitenkaan löytynyt, jossa olisi havaittu lajin törmäyksiä. Suomessa ei myöskään ole erityisen suuria petolintujen muuton ohjauslinjoja, sillä yksilömäärät ovat noin sata kertaa pienempiä kuin Etelä-Euroopan parhailla paikoilla. Riskin minimoimiseksi on kuitenkin syytä välttää alueita, joissa muutto on keskittynyt kapeiksi virroiksi (lähemmin kappaleessa 3.4.2).

Still ym. (1996) arvioivat Englannissa sijaitsevan tuulipuiston aiheuttamaksi populaatorisiksi paikalliselle linnustolle 0,5-1,5 %. Suurin se oli harmaa- ja selkälökille sekä haahkalle, jonka rakenteiden väistökyky on suhteellisen huono. Tuulipuiston suhteellista vaikutusta paikalliselle lintupopulaatiolle kuvaavat löydettyjen lintujen (66) kuolintavat, joista 12 % aiheutui törmäyksistä, 20 % nälkiintymisestä, 15 % kalanpyydyksistä, 14 % öljypäästöistä ja 26 % saalistuksesta. Törmäysmäärät ovat myöhemmin pienentyneet, mikä voi osoittaa paikallisten lintujen oppivan väistämään voimaloita (Painter ym., 1999).

Yllä esitettyjen tuulivoimaloiden törmäysmäärien ja populaatorisriskien voidaan olettaa soveltuvan myös Suomen oloihin, koska pesimälinnuston tiheys tai muutonaikainen esiintyminen eri ympäristöissä ei merkittävästi poikkea edellä esitetyistä tutkimuspaikoista. Taulukon 8 törmäysmäärät vaihtelevat suuruudeltaan neljä kertaluokkaa, mikä osoittaa tarpeen tutkia ja mallittaa tekijöitä, jotka aiheuttavat lintujen törmäyksiä tuulivoimaloihin. Törmäysmäärien keskiarvon perusteella voidaan arvioida (kun painotetaan hävikillä korjattuja arvoja), että **mielivaltaisella paikalla Suomessa törmäysmäärän suuruusluokka on 1 lintu vuodessa voimalaa kohden**. Tätä keskiarvolukemaa ei voi käyttää alueilla tai olosuhteissa, joissa törmäysriski on selvästi kohonnut (kuten Tarifassa). Seuraavaksi tarkastellaan teknisiä ja alueellisia tekijöitä, jotka voivat kasvattaa keskimääräistä törmäysriskiä.

### 3.3 Tuulivoimalarakenteiden vaikutus törmäysriskiin

#### 3.3.1 Koko, muoto, väritys ja ryhmittely

Lintujen kuolettava törmäys tuulivoimalaan voi aiheutua sekä kosketuksesta potkuriin että törmäyksestä maahan voimalan aiheuttaman ilmapyörteen vaikutuksesta (Winkelman 1992b). Potkureista on tehty matemaattisia malleja, joiden avulla on voitu suunnitella niiden rakenne sellaiseksi, että törmäysriski pienenee (Tucker 1996 a ja b). Kappaleen 3.2.6 perusteella on ilmeistä, että tuulivoimaloiden pieni törmäysriski (suuruusluokka 1/1000) aiheutuu ohilentävien lintujen kyvystä havaita ja väistää potkuri jo sitä lähestyttäessä. Voimalassa ei ole ohuita, vaikeasti erottuvia törmäyskohtia kuten sähköjohtoja, ja esimerkiksi valkoinen väri voi erottua taustasta vähäisessäkin valossa. McIsaac (2001) havaitsi, että potkurien värittäminen voimakaskontrastisilla kuvioilla lisää niiden näkyvyyttä ja voi siten vähentää törmäysriskiä. Voimalan ääni kuuluu potkurin pyöriessä niin kauas (Taulukko 1), että lintu voi väistää sen avulla.

Näkö-, tutka- ja lämpökamerahavaintojen avulla on osoitettu lintujen väistämiskyky hyväksi sekä yöllä että päivällä. Koop (1997) havaitsi väistämisen yleiseksi 100-500 metrin ja Krohn (2002) 100-200 m:n etäisyydellä, mutta Winkelmanin (1992a ja b) mukaan 75 % väistöistä havaittiin alle 100 m:n etäisyydellä. Lähimpänä voimalaa reagoivat pienet varpuslinnut ja kauimpana kahlaajat, tiirat sekä vesilinnut. Voimalaryhmän on havaittu hajottavan muuttava valkoposkihanhiparvi osiin (Koop 1997). Todennäköisesti suhteellisen pieni osa väistöistä tehdään vasta aivan viime sekunnilla, potkurin kohtaamisvaiheessa. Tätä tukee myös se, että voimalan koko ei näyttäisi kasvattavan törmäysmääriä (Anderson ym. 2000, Evaraert ym. 2002). Koska potkurin pyyhkäisemän ilmaympyrän pin-

ta-ala on verrannollinen kärkivälin neliöön, kasvaa ilmassa liikkuvien, potkuriin törmänneiden kappaleiden määrä myös verrannollisena kärkivälin neliöön. Jos linnut reagoisivat vasta törmäyssekunnilla, pitäisi niitä löytyä paljon enemmän suurten kuin pienten voimaloiden läheltä. Toisaalta suurissa voimaloissa potkuriin pyörimisnopeus on 2-3 kertaa hitaampi kuin pienissä, mikä jättää enemmän aikaa väistämiseen.

Kun voimalatorni on ristikkorakenteinen, petolinnut seisovat voimalassa kaksi kertaa useammin kuin putkimaisessa tornissa; ristikkorakenteen törmäysriski on myös kaksi kertaa suurempi kuin putkivoimaloissa (Anderson ym. 2000). Toisaalta on saatu tutkimustuloksia, jossa tornien perusrakennetyypeillä ei ole eroa mutta niiden valmistusmerkillä on (Thelander ja Rugge, 2000). Joka tapauksessa nykyisin suositetaan lähes yksinomaan putkimallia. Aukeilla mailla ja merellä lepäilypaikkoja linnuille on vähän, joten ainakin siellä kannattaa suunnitella rakenteet mahdollisimman vaikeiksi lintujen laskeutumiselle. Toisaalta Tanskassa tuulihaukat pesivät voimalan seinään asetetuissa pöntöissä (Krohn 2002).

Voimalatiheydestä pinta-alayksikköä kohden ja voimaloiden geometrisesta sijoittelusta tuulipuistossa törmäysriskin minimoimiseksi ei ole tällä hetkellä yleispätevää mallia. Kun lintujen väistökyky keskimäärin on hyvä ja ne väistävät voimalaa 100-500 m:n etäisyydeltä, tiheä voimalaryhmä (välimatkat muutama sata metriä) vähentää lintujen pyrkimistä voimalaryhmän sisään, ja pienentää riskiä verrattuna saman voimalamäärän hajasijoitukseen. Voimalatiheyden ja lintujen reagoinnin niihin on myös havaittu korreloivan keskenään (Winkelman 1992a). Toisaalta monissa voimalaryhmissä sijoitteluvälimatka on niin suuri, että linnut lentävät jokseenkin häiriintymättä tuulipuiston läpi (Everaert ym. 2002, van den Bergh ym. 2002). Täten saattaisi olla "keskitiheitä" sijoitteluratkaisuja, joissa linnut vielä uskaltavat voimalaryhmän sisään, mutta joissa törmäysriski on suurimmillaan. On myös mahdollista, että täydellisen väistämisen aiheuttavaa hyvin tiheää ryhmää ei voi rakentaa, koska vaadittava tiheys olisi mahdoton (potkurit osuisivat toisiinsa). Jonomuodostelmassa sijaitsevien voimaloiden on havaittu häiritsevän lintuja vähemmän kuin ryhmän (Larsen ja Madsen 2000). Lisäksi on havaittu, että kuutamossa jonon läpi lentävät paikalliset linnut voivat oppia kuuttomina öinä varomaan enemmän eli kiertämään koko jonon pituus-suunnassa (Spaans ym. 1998a ja b). Näin ollen on viitteitä siitä, että jonomainen ryhmä, hyvin harva ryhmä (voimaloiden tai voimalaryhmien välimatka vähintään 1-2 km) tai hyvin tiheä ryhmä pienentävät törmäysriskiä (Tulp ym. 1999). Voimakkailla muuton ohjauslinjoilla kuten rannikoilla on luonnollisesti järkevää rakentaa jono vallitsevan muuton suuntaiseksi (ks. kappale 3.4). Joka tapauksessa voimaloiden ryhmittelyn vaikutusta törmäysriskiin on selvästi syytä tutkia edelleen.

Voimaloiden oheistornien, kuten tuulimittareiden ja sähköpylväiden määrä kannattaa minimoida, sillä Thelander ja Rugge (2000) havaitsivat petolintujen tähyttävän yhtä usein itse voimalassa kuin sen ympäristössä, sähkönsiirtojärjestelmissä tai säämastossa. Mossop (1997) havaitsi viiden vuoden aikana 6 kuulettavaa törmäystä, joista yksikään ei johtunut itse voimalasta, vaan sen läheisyydessä olevasta ristikkorakenteisesta havaintomastosta, joka oli varustettu tukivaijerein. Kappaleessa 3.2.2 arvioitiin 50 m korkean, lentoestevaloilla varustetun maston törmäysmääräksi 20 lintua vuodessa. Täten tuulipuiston yhden korkean säämaston kuolleisuus on samaa suuruusluokkaa kuin kymmenien voimaloiden törmäysvaikutus.

### **3.3.2 Valaistus**

Rakennusten ja mastojen yhteydessä on kiistatta osoitettu, että yömuutolle kirkas valo on pääasiallinen riskitekijä (Verheijen 1958, 1985, Erickson ym. 2001). Tarkemmissa tutkimuksissa on havaittu, että jatkuva kirkas valo on haitallisempi

kuin vilkkuva valo. Vilkkuvan valon aikana linnut ehtivät mahdollisesti nähdä ympäröivän horisontin ja lentää pois valopiiristä (Baldwin 1965, Avery ym. 1976, Richardson 2000). Horisontin näkeminen helpottuu myös täysikuun aikana, jolloin törmäyksiä on monien tutkimusten mukaan merkitsevästi vähemmän kuin pilvisellä tai kuuttomalla säällä (esim. Verheijen 1980, 1981). Toisaalta on esitetty täysin vastakkaisiakin näkemyksiä (Crawford 1981).

Ei ole voitu osoittaa, että jonkin muunvärinen kuin valkoinen valo tai polaroitu valo olisi vähemmän haitallinen linnuille (Verheijen 1985, Ogden 1996, Telfer ym. 1987). Punaisen valon on jopa esitetty olevan erityisen haitallinen, koska se saattaa häiritä lintujen magneettista navigointia (Wiltschko ym. 1993). Tuulivoimaloihin tarvitaan punaiset lentoestevalot, mutta niiden intensiteetti on niin pieni, etteivät ne yksinään todennäköisesti aiheuta törmäysten määrän huomattavaa kasvua (Ogden 1996). Tämän voi päätellä siitä, ettei pelkillä lentoestevaloilla varustettujen rakennelmien ole havaittu aiheuttavan suuria lintukuolemia; siihen vaaditaan poikkeuksetta kirkas lisävalo.

Ylöspäin osoittavilla valkoisilla valonheittimillä valaistujen mastojen, monumenttien ja majakoiden on havaittu aiheuttavan suuria lintukuolemia (Baldwin 1965, Weir 1976, McAndrew 1994). Winkelmanin (1995) mukaan suuri määrä törmäyksiä havaittiin ruotsalaisessa tuulivoimalassa, joka oli pysäytetty ja valaistu vain yhden yön ajaksi. Törmäyksiä rakenteisiin on voitu vähentää merkittävästi sammuttamalla valo, varustamalla valaisimet varjostimella tai suuntaamalla lamput alaspäin, niin ettei valo kohdistu taivaalle (Reed ym. 1985). Siksi myös valmiissa voimaloissa ja niiden säämastoiissa sekä rakennusvaiheen tornien ja nostureiden valaistuksessa on yömuuttoaikoina vältettävä muita kuin lentoestevaloja. Muut kirkkaat valot on mieluiten suunnattava ylhäältä alas tai varustettava yläpuolelta varjostimilla.

### **3.3.3 Sähkönsiirtojärjestelmät**

Edellä, kappaleessa 3.2.1, todettiin keskimääräisen törmäysmäärän noin 1,3 km:n pituista voimalinjaa kohden olevan samaa suuruusluokkaa kuin törmäysmäärä yksittäiseen voimalaan. Hunt ym. (1998) seurasivat neljä vuotta radiolähettimen merkittyjä maakotkia Altamont Passin tuulipuistossa; merkityistä kolmasosa löydettiin kuolleina. Niistä 33 % kuoli tuulipuiston sähkönsiirtojärjestelmiin, 23 % törmäyksissä potkureihin ja 10 % sähköjohtoihin puiston ulkopuolella. Tästä syystä tuulipuistojen törmäysriski pienenee, jos sähkönsiirto voimaloista jakeluverkkoon voitaisiin alkuosaltaan toteuttaa meri- tai maakaapeliratkaisuna. Törmäysriski minimoidaan siten, että tuulipuistoon ei tule lukuisia ilmajohtojen haaralinjoja vaan maakaapelit loppuvat kohtaan, josta koko puiston sähkönsiirtoa hoitava yksi voimalinja ilmajohtona alkaa.

Myös tuulipuistojen sähköverkon muuntoasemat kannattaa suunnitella teknisesti siten eristetyiksi, että muuntajissa tähyttävät petolinnut eivät aiheuta oikosulkua. Tuulivoimalan kytkentä sähköjakeluverkkoon tehdään tyypillisesti 10-20 kV:n jännitteellä. Juuri tämän jänniteluokan voimalinjat omaavat suurimman riskin, koska johtimet ovat ohuita ja niin lähekkäin toisiinsa nähden, että suuret linnut yltävät aikaansaamaan oikosulun (Birkö 2001). Lintuvesien ja kosteikkojen lähellä voidaan harkita lisäksi muita voimalinjojen törmäyksiä vähentäviä toimenpiteitä, joita on lueteltu kappaleessa 3.2.1. Rannikolla ja saaristossa tämä vähentää riskiä selvästi, koska muuttolinnut pyrkivät seuraamaan rannikon muuttoa ohjaavaa linjaa. Rantaviivan ohjausvaikutuksen voimakkuus vaihtelee kuitenkin suuresti sekä maantieteellisen alueen että paikallisen topografian mukaan. Ohjausvaikutuksen voimakkuus on arvioitava erikseen kunkin tuulipuiston suunnitteluvaiheessa (lähemmin seuraavassa kappaleessa).

## 3.4 Ympäristötekijöiden vaikutus törmäysriskiin

### 3.4.1 Sään vaikutus

Sää vaikuttaa päivittäiseen törmäysriskiin erittäin merkittävästi, sillä se säätelee muuton korkeutta ja voimakkuutta (esimerkiksi Able 1982, Alerstam 1994, Cooper ja Ritchie 1995, Elkins 2004, Herbert 1970, Richardson 1990). Sekä rakennusten, tuulivoimaloiden, mastojen että valonheitinten löytöaineistoista on tehty samansuuntaiset johtopäätökset muuton törmäysriskiä lisäävistä säätekijöistä (Aldrich 1966, Richardson 1990, Ogden 1996, Still ym. 1996, Winkelman 1989):

- Laajalla alueella vallitsee voimakas muutto hyvässä säässä: heikko tai kohdalainen myötätuuli, hyvä näkyvyys (ei sumua eikä sadetta) ja mieluiten selkeä sää, tai on vain keski- ja yläpilviä.
- Muuttovirta kohtaa jyrkkäreunaisen huonon muuttosään alueen, esimerkiksi säärintaman, jossa on huono näkyvyys sumun tai sateen takia, pilvien alaraja on alhaalla (30-200 m) ja tuuli on vastainen.

Yksikin mainituista huonon sään tekijöistä lisää erityisesti yöllä muuttavien pienten varpuslintujen törmäysriskiä merkittävästi, koska ne alentavat lintujen lentokorkeutta tai mahdollisuutta nähdä esteet ja horisontti. Winkelman (1992b) havaitsi tutkalla ja lämpökameralla, että vastatuulella yömuuttajat joutuvat reagoimaan kolme kertaa useammin tuulivoimaloihin kuin myötätuulella. Pilvet, sade ja huono näkyvyys myös vähentävät linnun navigointikeinojen lukumäärää. Usein tällaisessa säässä on käynnissä muuton nopea keskeytys, ja lintuja havaitaan maastossa lepäilemässä suurin määrin epätyypillisissä paikoissa kuten puistoissa ja ulkosaarissa. Ornitologit kutsuvat tällaisia tilanteita ”pudotussääksi”. Huono sää ei saa vallita liian kauas muuton vastavirtaan, koska silloin koko muutto keskeytyy ennen potentiaalista törmäyspaikkaa.

Mastojen, rakennusten ja majakoiden luota löydettyjen lintujen maksimimäärät on poikkeuksetta havaittu yöllä kuvatussa riskisäässä yömuutoissa. Luvuista nähdään, että törmäysriski valaistuihin rakennelmiin kasvaa silloin keskimääräisestä jopa 10 000-kertaiseksi. Tällaisia tilanteita ei ole kovin usein, arviolta korkeintaan 5 kertaa vuodessa, koska useimmissa voimakkaissa yömuutoissa terävärajaista huonon sään aluetta ei ole lähettyvillä. Huonossakaan säässä riskin kasvu ei ole yhtä suuri tuulipuistoissa, sillä mastoissa ja rakennuksissa törmäykset aiheuttaa pääosin valorysäefekti, kun taas tuulivoimaloissa valaistus on himmeä (lentoestevalot). Lämpökäydyn julkaisumateriaalin perusteella lisävalaisemattoman tuulivoimalan tai -puiston alta ei ole koskaan löydetty edes kymmentä lintua kovan yömuuton jäljiltä. Törmäystodennäköisyys riskisäätilanteissa ei siten voi olla kuin korkeintaan noin 100-kertainen keskimääräiseen verrattuna. Täten esimerkiksi 60 voimalaa pyydystäisi riskisäätilanteiden yömuutoista vuodessa noin 80 lintua:  $5 \text{ (yötä)} * 100 \text{ (kohonnut riskikerroin)} * 1 / 365 \text{ lintua / voimala (keskimääräinen riski vuorokaudessa)} * 60 \text{ voimalaa} \sim 80$ . Voitaisiin periaatteessa ajatella, että kovimpien yömuuttojen aikana riskisäätilassa voimalat pysäytettäisiin (Hüppop ym. 2003). Riskialueelle hyvässä säässä saapuvan yömuuton voimakkuus on arvioitavissa reaaliajassa esimerkiksi Suomen säätutkaverkon avulla (Koistinen 2000). Päivämuutossa paikallisesti huonon muuttosään aiheuttama törmäysriskin kasvu samanlaisen topografian alueella (sisämaassa tai merellä) ei ole läheskään yhtä voimakas kuin yöllä. Tämä johtuu siitä, että lintujen on helpompi nähdä esteet päivänvalossa, eikä voimakasta valorysäefektiä ole.

Kun arvioidaan Suomen sään riskejä populaatioille, on törmäysriski arvioitava koko sen jakson pituudelle vuodesta, kun populaatio on täällä. Siksi huonon sään suoranaiset vaikutukset tasoittuvat vuositasolla eri paikkojen välillä, koska Suomen ilmasto on melko samankaltainen maan eri osissa. Liikkuvat matala- ja

korkeapaineet aiheuttavat kaikkialla Suomessa vuoden aikana keskimäärin yhtä paljon hyviä ja huonoja pesimis- ja muuttosäitä sekä muuttoja matalalla ja korkealla. Törmäysriskiä merkittävästi lisäävää paikallisilmastoa ei maassamme ole, joten tuulipuistoja voi sään puolesta pystyttää minne tahansa Suomeen.

Luonnollisesti Suomessa uhanalaisen pitkänmatkanmuuttajan pienen erillispopulaation (esimerkiksi rantakurvi ja kultasirkku) häviämiskasvu on suuri muutto-, talvehtimis- tai pesimäalueen epäedullisten sääolojen takia. Tämä riski on selvästi suurempi kuin tuulivoimaloiden törmäysriski, sillä sään aiheuttama koko Suomen populaatioriski on jopa monilla runsaslukuisilla lajeilla kymmeniä prosentteja vuodessa. Tämanäsuuruuksia vuosittaisia kannanvaihteluita havaitaan useilla pesimälinnuillamme, ja niiden selityksenä on monesti sää (esimerkiksi Väisänen ym. 1998).

Erittäin merkittävä päivämuuton törmäysriskiä kasvattava tekijä on epäsuora säävaikutus: vaakasuunnassa tasaisesti jakautunut muutto voi kasautua hyvin tiheiksi muuttovirroiksi sopiviin maastonkohtiin. Lintutieteessä maastonmuutosten aiheuttamia muuton kasautumia kutsutaan vakiintuneesti johtolinjoiksi. Sekaannusten välttämiseksi sähkölinjoihin käytetään tässä selvityksessä muuton johtolinjoista nimitystä ohjauslinja. Suomessa voidaan arvioida (arvata) aivan karkeasti, että kiikarobjilla varustetun havaintopaikan ohittaa vuorokaudessa keskimäärin 100 lintua näköetäisyydeltä. Erittäin huonossa säässä tai ankaralla pakkasella Lapissa keskitalvella ei ehkä lennä yhtään lintua vuorokaudessa. Kovimmissa muutoissa syksyllä voimakkaimman ohjauslinjan kohdalla (Porkkala) voi havaita noin 0,7 miljoonaa lintua ja arktisissa muutoissa keväällä 0,5-1 miljoonaa lintua vuorokaudessa (Mikkola ja Södersved 1990, Pöyhönen 1995, Bergman ja Donner 1964). Täten sää voi vaikuttaa vuorokautisen lintuvirran tiheyteen suunnilleen kertoimella 0,001-10000. Koska törmäysmäärä on verrannollinen lentävän lintuvirran tiheyteen, kerrointa voi käyttää myös sään aiheuttamalle päivittäiselle törmäysmäärälle. Suurimpien kertoimien toistumisaika on luokkaa kerran kymmenessä vuodessa. Ohjauslinjan päivittäinen voimakkuus määräytyy sään ja vuodenajan perusteella, sekä lisäksi ohjauslinjan maantieteellisen ja paikallisen topografian perusteella, mitä käsitellään seuraavassa kappaleessa.

### **3.4.2 Sijoituspaikan vaikutus**

Tuulen nopeuden maksimoimiseksi tuulivoimalan ympäristö on Suomessa todennäköisimmin merta, luotoja tai saaria, rantaympäristöä, kosteikkoa, peltoa, nevaa tai avotunturia. Ericksonin ym. (2001) mukaan tärkein lintujen kuolleisuuden vaikuttava seikka on voimaloiden sijainti. Koska törmäystodennäköisyys on verrannollinen tuulipuiston läpi lentävien lintujen lukumäärään, eniten törmäyksiä sattuu paikoilla, joissa on jatkuva ja runsas lintujen liikehdintä potkurikorkeudella (Thelander ja Rugge 2000, Evaraert ym. 2002). Yleisesti ottaen avomerisijointi aiheuttaa pienimmän populaatioriskin, koska siellä liikkuu keskimäärin paljon vähemmän lintuja kuin rannikolla ja maa-alueilla. Selvitykset tuulivoimaloiden törmäysvaikutuksista osoittavat, että maaympäristöissäkin törmäysriski on keskimäärin pieni eikä aiheuta merkittävää uhkaa laajan alueen populaatioille (kappale 3.2.6). Suomen olosuhteissa ei ole odotettavissa, että tuulivoimaloita olisi jossakin tietyssä ympäristössä niin paljon, että ne muodostaisivat populaatioriskin kyseisen ympäristötyypin linnustolle. Siksi mitään ympäristötyyppejä ei kannata kategorisesti rajoittaa tuulipuiston potentiaalisena sijaintipaikkana.

Vaikka tuulivoimaloiden populaatioriski on suhteellisen pieni verrattuna muiden rakennelmien vaikutuksiin, voidaan paikallista törmäys- ja populaatioriskiä pienentää, jos vältetään seuraavia, huonoimpia sijoituskohteita (alle kilometrin säteellä lintualueesta):



- Pienten, uhanalaisten populaatioiden ainoita pesimismispaikkoja (esimerkiksi rantakurvi, kultasirkku, etelänkiisla, tunturi- ja muuttohaukka, kiljuhanhi, räyskä).
- Kosteikkoalueita, joilla havaitaan poikkeuksellisen suuria vesi- ja kahlaajalintumääriä, esimerkiksi Liminganlahti, Kokemäenjoen suisto.
- Peltoaukeita ja niittyjä, 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).
- Voimakkaita muuttovirtojen keskittymiä.

Poikkeuksellisen suuren määrän raja yllä on tietysti epätarkka, mutta ainakin yli 5000 linnun keskittymien voi arvioida kasvattavan törmäystodennäköisyyttä merkittävästi niinä (yleensä lyhyinä) jaksoina vuodessa, jolloin suuret lintujoukot oleskelevat alueella. Vastaavanlaisia kohteita suositellaan vältettäväksi myös Yhdysvalloissa (National Wind Coordinating Committee 2002).

Muuttovirtojen suurimmat keskittymät sijaitsevat Etelä-Suomessa, sillä sekä pesimälinnuston että ylimuuttavan linnuston määrä pienenee pohjoiseen mentäessä (Väisänen ym. 1998, Pöyhönen 1995). Siksi Pohjois-Suomessa on alueellinen törmäysriski 50-90 % pienempi kuin Etelä-Suomessa. Maalintujen voimakas kasautuminen aamumuutossa rannikon ohjauslinjoille havaitaan vain syksyisin, kohtalaisessa tai heikossa vastatuulella. Tällöin myös lentokorkeus on matala, yleensä alle 100 m. Aamumuuttajat lentävät Suomessa keskimäärin lounaaseen, jolloin ne kasaantuvat ohjaavassa säätilanteessa lounaanpuolelle osoittavien suurien niemien ja saarten kärkeen, kun edustan merialue on avoin tai siellä on vähän metsäisiä saaria. Kuten edellisessä kappaleessa on arvioitu, päivittäinen lintuvirran tiheys kasvaa silloin jopa 10 000-kertaiseksi. Näin suuria ohjauskeskittymiä on harvoin, mutta se merkitsee, että mahdollisesti jopa kymmeniä lintuja/voimala voisi törmätä päivässä. Tällaisia paikkoja Suomessa ovat (likimain riskijärjestyksessä) Porkkalanniemen kärki, Hankoniemen eteläranta ja kärki, Pellinki sekä mahdollisesti Korppoon Gyltö. Maalinnut nousevat tyypillisesti korkeammalle heti meren ylityksen alkaessa, joten matalalla lentävä lintuvirta pienenee jo kilometrin päässä metsäisen rannikon ja saarten niemenkärjistä. Myötätuulella ja poutasäässä lintuvirta ei kasaudu matalalle niemenkärkiin vaan nousee jo rannikolla 500-1000 m korkeuteen. Pohjoisen sijainnin vuoksi Suomessa ei ole ohjauslinjoja, jossa eurooppalaisittain suuria määriä isoja petolintuja muuttaisi matalalla kuten Tarifan tuulipuistossa Gibraltarin alueella (Janss 2000). Tärkeimmät tällaiset alueet ovat Porkkalan- ja Hankoniemi sekä Merenkurkku.

Toinen merkittävän tiheä lintuvirta on edellisessä kappaleessa mainittu arktinen muutto keväällä pitkin Suomenlahtea. Allien ja mustalinnun, sekä hanhien muuttovirta kulkee usein joko avomerellä tai ulkosaaristossa, missä linnut lentävät tyypillisesti alle 100 m korkeudessa (Bergman ja Donner, 1964). Voimakas muuttovirta matalalla sijaitsee yleensä linjan Jussarö-Porkkalankylä-Isosaari-Pellinki-Kirkonmaa-Hurppu eteläpuolella. Yöllä tai tuulen painaessa lintuja tältä linjalta kohti mannerta muuttokorkeus nousee tyypillisesti voimaloiden ulottumattomiin, satoihin metreihin tai yli kilometriinkin (Bergman ja Donner 1964). Mainitun linjan eteläpuolella muuttovirta voi sijaita missä kohdassa tahansa, joten tuulivoimaloiden sijoittamista johonkin kohtaan ei voi erityisesti perustella. Törmäystodennäköisyyden pienuuden ja lintujen hyvän väistökyvyn takia ei myöskään liene mielekäästi kieltää tuulipuistojen sijoittamista Suomenlahdelle arktisen muuton takia. Tätä tukee myös Petterssonin (2002) näkö- ja tutkahavaintoihin perustuva selvitys Kalmarsundista, joka on arktisen muuton vilkas ohjauslinja: linnut kiertävät 7 voimalan ryhmän sekä yöllä että päivällä. Mossop (1997) ei havainnut yhtään törmäystä sorsa- ja petolintujen sekä joutsenten muuton tärkeällä ohjauslinjalla Yukonissa. Arktisen muuton törmäysriskiä Suomessa

voidaan ehkä pienentää pysäyttämällä voimalat niiksi 2-5 vuorokaudeksi vuodessa, jolloin arktisen muuton suuria massoja havaitaan (ornitologien muuton seuranta sesongin aikana on jatkuvaa pitkin Suomenlahtea). Winkelman (1992a) suosittelee voimaloiden sijoittamista ryhmän sijasta rannikon muuttovirran suuntaiseksi jonoksi.

Pohjanlahdella arktinen ja muukin muutto on lintujen muuttoväylien ja rannikon suunnan takia selvästi vähäisempää kuin Suomenlahdella. Heikohko arktinen muutto seuraa tyypillisesti murtoviivaa, joka kulkee uloimpien (metsäisten) saarien ja niemien editse. Selkä- ja Perämeren avomerialueella on keskimäärin vähän lintujen muuttoja matalalla. Sen sijaan Merenkurkun poikki kulkee joidenkin lajien muuttoväylä (esimerkiksi kurki ja piekana). Kohtalainen maalin- tujen ohjauslinja muodostuu mantereen rantaviivalle, syksyllä varsinkin välille Kristiinankaupunki-Uusikaupunki ja keväällä Oulun seudulle.

Uhanalaisten lajien paikallispopulaatioita lukuun ottamatta sijoituspaikan valinnalla ei niinkään suojella Suomen lintukantoja, kuin vältetään potentiaalisia, joskin todennäköisesti hyvin harvinaisia, monien lintujen samanaikaisia törmäyksiä poikkeuksellisissa olosuhteissa. Tällaisia voisivat olla esimerkiksi paniikitilanteen ja sään aiheuttama parven törmäys. Niillä voisi olla ympäristönsuojelullista merkitystä paljon mittavampi negatiivinen media-arvo.

## Tuulivoimaloiden epäsuora vaikutus linnustoon

Voimaloiden rakentamisen vaikutuksien tutkimiseen voidaan periaatteessa soveltaa yleisiä populaation ympäristömuutoksen tutkimismenetelmiä (Sutherland 1998, Goss-Custard ym. 2002). Selvitys voidaan tehdä esimerkiksi vertaamalla tuulipuiston pesimälinnustoa ennen ja jälkeen rakentamisen. Tällaisesta tutkimuksesta käytetään yleisesti englanninkielistä lyhennettä BACI (Before-After, Control-Impact). Langston ja Pullan (2003) suosittelevat, että BACI-linnustaselvitys olisi aina tehtävä uusille voimaloille, ja menetelmät olisi kussakin tapauksessa kuvattava jo rakentamisen ympäristövaikutusten arviointivaiheessa. Yhdysvalloissa BACI-menetelmää on käytetty sekä pesivien että muuttavien lintujen muutoksen selvittämiseen. Kerlinger (2000) ei havainnut merkittäviä muutoksia metsäisen kukkulamaaston pesimälinnustossa, mutta tuulipuiston kohdalta muuttavien haukkojen määrä pieneni. Tulosta ei voi pitää kuitenkaan luotettavana, koska lintupopulaatioiden muutokset muutaman vuoden jaksoissa ovat suuria aivan luonnollisistakin syistä (esimerkiksi haukkojen muuttoreitit vaihtelevat sään mukaan). Seurantajakson tulisi olla kyllin pitkä (ainakin 10 vuotta), jotta tulosta voitaisiin testata tilastollisesti ja jotta rakentamisvaiheen aikaisen voimakkaan ihmistoiminnan tilapäinen vaikutus saataisiin eliminoitua. Tällaisia selvityksiä ei yleensä ehditä tekemään, koska toteutus alkaa pian suunnitteluvaiheen jälkeen (Thomas, 2000).

Toinen tapa on tehdä linnustolaskentoja tuulipuistoissa ja verrata niitä laskentoihin vertailualueilla. Vertailualueiden tulee sijaita mahdollisimman lähellä puistoa, ja niiden kasvillisuuden, maankäytön, topografian sekä korkeuden tulee olla mahdollisimman identtinen puiston kanssa. Molemmilla alueilla käytettyjen laskentamenetelmien tulee myös olla identtiset (Brown ja Shepherd 1993). Thomas (2000) selvitti vertailumenetelmällä kymmenen tuulipuiston vaikutuksia linnustoon avoimilla tai puoliavoimilla ruohikkomailla Englannissa ja Walesissa. Laskentamenetelmänä oli kartoitus ja tilastollisena menetelmänä lähimmän naapurin analyysi (Krebs, 1989) sekä täysin satunnaisten havaintopisteiden sijainnin vertailu havaittuihin lintujen oleskelupaikkoihin (Percival ja Percival, 1998). Thomas tutki seuraavien hypoteesien pitävyyttä, jotka kaikki ovat potentiaalisia, negatiivisia linnustovaikutuksia.

1. Voimalat vaikuttavat häiritsevästi lintujen oleskelupaikkojen valintaan revierillä.
2. Linnut välttävät voimaloiden läheisyyttä.
3. Kahlaajat (kuovit ja töyhtöhyypät) välttävät oleskelua 500 m:n säteellä voimaloista.
4. Pesimälinnuston tiheys tuulipuistossa on pienempi kuin vertailualueella.
5. Pesimälinnuston tiheys tuulipuiston ja vertailualueen välillä riippuu kasvillisuustyypistä (maankäytöstä).
6. Voimalan koko ja niiden lukumäärä sekä roottorien pituus ovat verrannolliset pesimälinnuston tiheyseroon tuulipuiston ja vertailualueen välillä.

Testisuure osoitti hypoteesia 1 tukevan eron, mutta se ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Myös hypoteesi 3 näytti visuaalisesti (tilastollista suuretta ei ole laskettu) sopivan jossain määrin töyhtöhyppään, mutta ei kuoviin. Muilta osin

hypoteesit oli hylättävä. Yhteenvedona voidaan sanoa, että kyseisissä tuulipuistoissa pesimälinnusto ei eronnut merkittävästi vertailualueiden linnustosta. Samankaltaisia tuloksia on saatu monista lintulajeista, etenkin kahlaajista Hollannissa (Winkelman 1992), Saksassa (Ketzenberg ym. 2002), Englannissa (DH Ecological Consultancy 2000) ja Skotlannissa (Gill 2000, Meek ym. 1993). Poikkeuksena viimeksi mainitussa tutkimuksessa oli kaakkuri, mutta parimäärän muutos (viidestä kahteen) voi olla sattumanvaraista, koska kanta oli pieni.

Rannikoilla ja matalikoilla sijaitsevat tuulipuistot ovat usein pesimisen sijasta merkittävämpiä talvehtimis-, ruokailu- ja sulkasatoalueita. Tanskassa tutkittiin Tunø Knobin tuulipuiston (10 x 500 kW) vaikutusta alueella talvehtivaan suureen haahkakantaan (Guillemette ym. 1998). Tutkimus tehtiin vertaamalla haahkamääriä kolmen vuoden ajan, ennen ja jälkeen tuulipuiston rakentamisen sekä tarkkailemalla havaintotornista lintujen käyttäytymistä. Tutkimuksen mukaan tuulipuiston vaikutus oli pieni, ja se jäi täysin alueen sinisimpukkakannan vuotuisten muutosvaikutusten peittoon. Haahkojen ruokailua tutkittiin pysäyttämällä voimalat ajoittain. Haahkamäärä pysyi samana riippumatta voimaloiden käynnistä tai pysäytyksestä, mutta linnut pitivät selvää noin 100 m:n turvaetäisyyttä pyöriviin potkureihin. Toisaalta voimalat eivät pelottaneet haahkoja kauas, vaan heti 100 m:n etäisyyden ulkopuolella linnut pysähtyivät ruokailemaan normaalisti. Vastaavanlainen tulos saatiin myös Horns Revin matalikkoalueella ruokaileville lintulajeille. Huonoimman vaihtoehdon skenaariossa arvioitiin, että mustalintujen määrä alueella voisi pienetä 8-11 % (Christensen ym. 2002). Myöskään rannan lähellä talvehtivilla haahkoilla, merimetsoilla, merisirreillä ja lokeilla ei eräällä alueella Englannissa havaittu muutoksia lintumäärissä tuulipuiston valmistumisen takia (Still ym. 1996). Lintumäärät voivat jopa kasvaa tuulipuiston rakentamisen vaikutuksesta, koska pyyntikiellon takia alueiden kala- ja simpukkakannat vahvistuvat (Guillemette ym. 1997).

Jos voimaloiden kattama häiriöalue on laaja ja lintujen tarvitsema elinympäristö toisaalta rajallinen, linnustovaikutuksia ilmenee vääjäämättä. Kruckenbergin ja Jaenen (1999) mukaan voimalan häiriövaikutus ulottui Saksassa talvehtivillä tundrahamhilla aina 600 m etäisyydelle saakka. Mielenkiintoinen on Larsenin ja Madsenin (2000) tutkimustulos Tanskasta: lyhytnokkahanhet välttivät linjassa sijaitsevia voimaloita 100 m:n ja ryhmässä sijaitsevia 200 m:n etäisyydelle. Mikäli ryhmään sijoitettu voimala-alue on laaja, voi se vähentää populaation ruokailumahdollisuuksia (esimerkiksi, jos voimalat sijaitsevat alueen ainoalla matalikolla). Clausen ja Larsen (1999) arvioivat, että Overgaardin tuulipuistoalueella talvehtivien laulujoutsenten käyttämä alue pieneni 1-2.5 % voimaloiden rakentamisen jälkeen.

Yllä esitetyt tutkimustulokset viittaavat siihen ettei tuulipuisto muuta voimakkaasti pesimäympäristöjä ja -linnustoja tasalaatuisessa maastossa. Sen sijaan ranta- tai kosteikkoalueilla talvehtivilla linnuilla paikallispopulaatioiden ympäristönmuutosriskejä (0,5-10 %) on havaittu. Suomessa suuria talvehtijoiden keskittymiä ei ole, vaan mahdollinen vaikutus kohdistuu paikallispopulaatioiden pesimiseen, ruokailuun tai yöpymiseen. Se voi häiriintyä tai tuhoutua, jos tuulivoimala tai sen rakentamisen aikaiset järjestelyt tuhoavat pesimäpaikan tai rakentamisen aikainen häiriö tuhoaa pesintöjä. Kyseeseen tulevat esimerkiksi samat uhanalaiset lajit, joita käsiteltiin jo törmäysten yhteydessä. Pienten ulkoluo-tojen pesijöistä myös räyskä todennäköisesti hylkää luodon, jos sinne rakennetaan voimala. Rakentamisen ajoittaminen pesimäkauden ulkopuolelle pienentää paikallista populaatoriskiä.

# Linnustovaikutusten arviointimalli tuulipuistojen suunnitteluun

# 5

Suunniteltavien tuulipuistojen linnustovaikutusten arviointi kannattaa jakaa kahteen tekijään:

1. törmäysriski
2. rakentamisen aiheuttama ympäristönmuutosriski.

Kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan törmäysmäärän (N) peruslähtökohdaksi Suomessa ottaa 1 vakava törmäys vuodessa yhtä voimalatornia kohden.

Seuraavaksi arvioidaan erityiset tekijät kullakin paikalla. Oheisessa luettelossa ei ole niitä tekijöitä, joilla ei ole merkittävää vaikutusta tai joiden vaikutusta ei tunneta hyvin (esimerkiksi voimaloiden ryhmittely). Tekijän yhteydessä oleva luku on vaikutuskerroin (v), joka antaa suuruusluokan tekijän vaikutuksen voimakkuudelle. Törmäyksiin vaikuttavat rakennetekijät ovat (vaikutuskerroin lihavoitu):

- Ristikkorakenteinen voimala (2) lisää törmäyksiä verrattuna putkimaiseen torniin (1).
- Lintujen laskeutumiselle sopivat tasanteet, tangot ja ulokkeet lisäävät törmäyksiä samoin kuin voimalan läheisyydessä olevat pylväät, mastot ja vaijerit (1,5). Rakenteiden tulisi olla mahdollisimman "sileitä" tai teräviä lintujen laskeutumisen vaikeuttamiseksi (1).
- Erillinen valaistu, 50 m korkea tuulenmittausmastot, jossa on vaijerit (20). Tuulimittarit kannattaa sijoittaa matalalle tai itse voimalatorniin. Korkeita säämastot kannattaa välttää.
- Tuulivoimalan valaisu pysyvin valonheittimin (1000). Valaisu kannattaa rajoittaa lentoestevaloihin, ja myös rakennusaikana se kannattaa minimoida.
- Tuulipuiston sähköverkon pituus ilmajohtoina lisää törmäysmäärää keskimäärin vaikutustekijällä **km**, joka on ilmajohtojen kokonaispituus kilometreinä. Sähköverkon vaikutus on tekijä, joka lisää (ei kerrota) voimaloiden törmäysriskiin. Runsaslintuisilla kosteikkoalueilla ja muuttovirtojen kasautumiskohdissa sähköverkon vaikutustekijä on suuruusluokkaa **10\*km**. Maa- ja merikaapelien käyttö on suositeltavaa.
- Avomuuntajat ovat hyvin haitallisia petolinnuille. Niitä tulee välttää tuulipuiston sähköverkossa.

Törmäyksiin vaikuttavat sijaintitekijät ovat (vaikutuskerroin lihavoitu):

- Tuulipuiston sijoittaminen Suomen eri osiin vaikuttaa törmäysmääriin, koska pesimä- ja muuttolinnuston määrä pienenee pohjoiseen (Etelä-Suomi 2, Keski-Suomi 1, Oulun lääni 0,5, Lappi 0,2).
- Sijoituspaikkoina tulee välttää Suomenlahden rannikon suurimpia muuton kasautumispaikkoja, joissa päivittäinen törmäysmäärän kerroin voi olla 10 000 (muutaman kerran kymmenessä vuodessa) ja vuositasolla keskimäärin 10. Tällaisia paikkoja ovat (järjestyksessä) Porkkalanniemen kärkeä, Hankoniemen eteläranta ja kärki, Pellingin lounaisosa sekä mahdollisesti Korpoo Gyltö. Kunkin suunnitellun tuulipuiston paikan muuttovirran suuruuden voi kokenut muuttoa seurannut ornitologi päätellä kartasta. Objektiivisesti se voidaan tehdä vertaamalla suurimpia päivässä havaittuja maalintujen muuttajamääriä esimerkiksi Porkkalan suurimpiin määriin (0,7 miljoonaa).

naa/vrk aiheuttaa päiväkertoimen 10000). Pohjanlahden rannikolla, välillä Uusikaupunki-Oulu, vaikutuskertoimen suuruuden keskimääräisarvio on 2. Sekä Suomen- että Pohjanlahdella rannikon ohjausvaikutus ulottuu vain noin 1 km mantereelta tai mannermaisista suurista metsäsaarista merelle päin.

- Perä- ja Selkämeren merialueella (ei Merenkurkussa), vähintään noin 1 km uloimpia saaria yhdistävästä murtoviivasta, matalalla muuttavien lintujen määrä on selvästi pienempi kuin rannikolla, mikä pienentää törmäystoden näköisyyttä (0,1).
- Sijoituspaiikkana tulee välttää poikkeuksellisen suuria paikallisia lintumääriä (yli 5000 yksilöä) kerääviä yöpymisalueita, kosteikkoja ja peltoalueita (vaikutuksen suuruudesta ja todennäköisyydestä ei ole arvioita, mutta satunnaiset joukkotörmäykset ovat mahdollisia paniikkitalanteissa). Etäisyydeksi riittää 1 km.
- Sijoituspaiikkoina tulee välttää pienten ja uhanalaisten erillispopulaatioiden tai erittäin uhanalaisten yksittäisparienkin reviiirejä. Vaikka törmäystoden näköisyys voimalaan on pieni, reviiirillä sijaitsevan voimalan lähellä vietetty aika kasvaa merkittävästi. Useimmilla lajeilla etäisyydeksi riittää suuruusluokka 1 km.

Suunnitteilla olevan tuulivoimalaryhmän törmäysriski (vakavia törmäyksiä vuodessa) arvioidaan seuraavasti:

1. Lähtökohdaksi otetaan keskimääräinen törmäysmäärä (N).
2. Se kerrotaan rakenteen ja sijainnin aiheuttamilla vaikutuskertoimilla (v).
3. Näin saatu luku kerrotaan voimaloiden lukumäärällä ja lopuksi siihen lisätään tuulipuiston sähköverkon vaikutus.

Tuulipuistojen epäsuora vaikutus pesimälinnustolle voidaan arvioida samalla tavalla kuin muunkin rakentamisen vaikutus: kuinka paljon rakentaminen ja pystytys tuhoaa pesimis-, ruokailu-, yöpymis- tai levähdysalueita ja erityisesti, mikä on tästä aiheutuva kvantitatiivinen populaatoriski. Kohteesta tehtävään ympäristövaikutusten arviointiselvitykseen (YVA) Langston ja Pullan (2003) antavat 11 suositusta. Potentiaalisen tuulivoimala-alueen linnuston luotettavaksi tunnistamiseksi he suosittelevat 2-3 vuoden ympärivuotista laskentaa. Herkimpiä alueita ovat uhanalaisten ja vaarantuneiden saaristolintujen yhdyskunnat pienillä luodoilla (esimerkiksi räyskä).

## Yhteenveto

Selvityksessä on kartoitettu tuulivoimaloiden, sähköverkon (voimalinjojen), mastojen, rakennusten, liikenteen sekä valonheittimien ja majakoiden aiheuttamia linnustovaikutuksia laajan kirjallisuusselvityksen avulla. Vaikutukset ovat kahdenlaisia: lintujen törmäykset rakennelmiin tai niiden aiheuttama häiriö sekä rakenteiden tai rakentamisen aiheuttama pesä- ja ruokailupaikkojen tuhoutuminen ja muuntuminen.

Suomen pesimälinnusto käsittää loppukesällä noin 200 miljoonaa yksilöä. Oheisessa taulukossa on arvio törmäyksissä kuolevista linnuista keskimäärin vuoden aikana. Arviot perustuvat eri tutkimuksissa saatuihin tyypillisiin lukumääriin, joita on sovellettu Suomen olosuhteisiin.

Törmäyskohde	Lintukuolemia vuodessa Suomessa
Sähköverkko	200 000
Puhelin- ja radiomastot	100 000
Rakennukset yöllä	10 000
Rakennukset (ikkunat) päivällä	500 000
Majakat ja valonheittimet	10 000
Suomen nykyiset 60 tuulivoimalaa	100
Tieliikenne	4 300 000

Törmäysriski tuulivoimaloihin on pieni, koska linnut näkevät ja kuulevat ne kaukaa. Väistäminen tapahtuu jo 100-500 metrin etäisyydeltä, myös yöllä. Eri tekijöiden vaikutus lintujen törmäysriskiin saadaan arviointimallilla, jota sovelletaan uusien tuulipuistojen suunnitteluvaiheessa: keskimääräinen törmäysmäärä (1 lintu vuodessa/voimala) kerrotaan voimaloiden lukumäärällä sekä voimaloiden rakenteen ja sijainnin määräämillä vaikutuskertoimilla. Seuraavassa luettelossa on tiivistelmä vaikuttavista seikoista.

- Näillä tekijöillä ei ole merkittävää vaikutusta törmäysten määrään: voimalan koko, teho ja väri sekä voimalan sijainti maa- tai vesialueella.
- Törmäyksiä kasvattaa huomattavasti tuulipuiston sähköverkon rakentaminen ilmajohdoiksi (kannattaa käyttää maa- ja merikaapeleita puiston sisällä) tai voimaloiden valaisu yöllä kirkkain valonheittimin.
- Lintulajit törmäyvät suunnilleen siinä suhteessa kuin niitä oleskelee voimalan lähellä. Kuitenkin pikkulintuja ja yöllä muuttavia lajeja kuolee suhteellisesti vähemmän ja isoja lintuja (petolintuja) enemmän kuin rakennuksiin ja mastoihin.
- Vaikka tuulivoimaloiden törmäysriski on pieni (suuruusluokkaa 1/1000), suositellaan suurien muuttolintujen lepäilijäkeskittymien (esimerkiksi Liminganlahti) ja rannikon suurien muuttovirtojen (erityisesti Porkkala, Hanko, Pellinki) välttämistä uusien tuulipuistojen sijoituspaikkoina.
- Törmäysriski Pohjois-Suomessa on pienempi kuin etelässä, koska pesivän ja muuttavan linnuston määrä pienenee pohjoista kohti.
- Pienin törmäysriski on Selkä- ja Perämeren avomerialueella.

Tuulipuistojen linnustovaikutuksia on syytä edelleen tutkia, sillä monien törmäysmääriin vaikuttavien tekijöiden suuruudesta on vähän tietoa. Tekijä, josta ei ole tutkimuksia, on tuulipuistojen lentoestevalaistuksen vaikutus: kuinka paljon, minkä tehoista, millä tavalla ja mihin suuntaan valoja tulisi olla. Myöskään voimaloiden ryhmittelytiheyden ja -geometrian vaikutuksia ei tunneta. Tarvittaisiin lisää pitkäaikaisia ja huolellisia seurantoja (etsimistehokkuus ja hävikki tulisi mitata) kuolleina löydetyistä linnuista ja törmäyksistä tuulipuistoista, nimenomaan Suomen tai Pohjois-Euroopan oloissa. Helppokäyttöisiä törmäysten havaitsemisteknologioita pimeässä ja huonon näkyvyyden vallitessa (tutkat, lämpökamerat, törmäysanturit) olisi kehitettävä. Näin edellä esitetyn perusmäärän, 1 lintua vuodessa voimalaa kohti, suuruus tulisi luotettavammaksi, ja samalla saataisiin tietoa törmäysmäärien vaihtelusta eri lajien ja alueiden kesken.

Suositus, joka ei niinkään koske voimaloiden linnustovaikutuksia kuin vaikutusten tutkimusmenetelmiä ja johtopäätöksiä (esimerkiksi jatkossa Suomessa), kävi ilmeiseksi tämän raportin viittaamia julkaisuja luettaessa: linnustovaikutuksia tulisi pyrkiä arvioimaan kvantitatiivisesti, normeeratuin luvuin (ks. kappale 3.1), jotta saatuja tuloksia voidaan käyttää populaatioriskin arviointiin, ja jotta tuloksia voitaisiin vertailla objektiivisesti toisiin tutkimuksiin. Kvalitatiiviset selvitykset, joissa ”havaitaan tai odotetaan haittavaikutuksia” ovat toki suuntaa-antavasti hyödyllisiä mutta – koska ihmistoiminnasta aiheutuu aina haittavaikutuksia luonnolle – tällaisen tuloksen merkittävyyttä voidaan tulkita kovin moniselitteisesti.



- Able, K. P., 1970: A radar study of the altitude of nocturnal passerine migration. *Bird Banding* 41, 282-290.
- Able, K. P., 1982: The effects of overcast skies on the orientation of free-flying nocturnal migrants. *Teoksessa: Papi ja Wallraff (toim.): Avian navigation*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, s. 40-49.
- Aldrich, J. W., R. R. Graber, D. A. Munron, G. J. Wallace, G. C. West ja V. H. Cahalane, 1966: Mortality at ceilometers and towers. *Auk* 83, 465-467.
- Alerstam, T., 1994: *Bird Migration*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Anderson, S. H., K. Mann ja H. H. Shugart Jr., 1977: The effect of transmission-line corridors on bird populations. *American Midland Naturalist*, 97, 216-221.
- Anderson, R. L., J. Tom, N. Neuman, J. Noone and N. Maul, 1996: Avian risk assessment methodology. *Proceedings, National Avian – Wind Power Planning Meeting II*, Palm Springs, California, Sept. 1995, 79-87. Prepared for the Avian Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee by RESOLVE Inc., Washington DC, and LGL Ltd., King City, Ont., 152 s. Available at [www.nationalwind.org/pubs/avian95/default.htm](http://www.nationalwind.org/pubs/avian95/default.htm)
- Anderson, R. L., D. Strickland, J. Tom, N. Neumann, W. Erickson, J. Cleckler, G. Mayorga, G. Nuhn, A. Leuders, J. Schneider, L. Backus, P. Becker ja N. Flagg, 2000: Avian monitoring and risk assessment at Tehachapi Pass and San Geronio Pass Wind Resource Areas, California, Phase 1 preliminary report. *Proceedings, National Avian – Wind Power Planning Meeting III*, San Diego, California, May 1998. National Wind Coordinating Committee.
- Avery, M., P. F. Springer ja J. F. Cassel, 1976: The effects of a tall tower on nocturnal bird migration – a portable ceilometer study. *Auk* 93, 281-291.
- Avery, M., P. F. Springer ja J. F. Cassel, 1977: Weather influences on nocturnal bird mortality at a North Dakota Tower. *Wilson Bulletin* 89, 291-299.
- Avery, M., P. F. Springer ja N. S. Dailey, 1980: Avian mortality at man-made structures. An annotated bibliography (revised). U.S. Fish and Wildlife Service, Biological Services Program, National Power Plant Team, FWS/OBS-80/54, 152 s.
- Baldwin, D. H., 1965: Enquiry into the mass mortality of nocturnal migrants in Ontario. *The Ontario Naturalist* 3, 3-11.
- Band, W., M. Madders ja D. P. Whitfield, 2002: Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms. *Teoksessa: De Lucas, M., G. Janss ja M. Ferrer (toim.), 2002: Birds and Wind Power*. Quercus.
- Banks, R. C., 1979: Human related mortality of birds in the United States. U. S. Fish and Wildlife Service, Special scientific report – Wildlife. No 215, 1-16.
- Bergman, G. ja K. O. Donner, 1964: An analysis of the spring migration of the common scoter and the long-tailed duck in Southern Finland. *Acta Zool. Fenn.*, 105, 3-59.
- Bevanger, K., 1994: Bird interactions with utility structures: collisions and electrocution, causes and mitigation measures. *Ibis* 136, 412 – 425.
- Bevanger, K., 1995: Estimates and population consequences of tetraonid mortality caused by collisions with high tension power lines in Norway. *J. Applied Ecol.*, 32, 745-753.
- BirdLife Suomi, 2003: Tuulivoimaloiden rakentamisen ja käytön vaikutuksista lintuihin Suomessa. <http://www.birdlife.fi/suojelu/tuulivoima.html>
- Birkö, T., 2001: Fågeldöden i ledningsnäten. *Vår Fågelvärld*, 60 (8), 22-23.
- Björklund, L., 1999: Tuulivoima vie työtä ympäri Suomen. *Vihreä lanka*, 17 (45).
- Blokpoel, H. ja D. R. M. Hatch, 1976: Snow geese, disturbed by aircraft, crash into power lines. *Can. Field Notes* 90, 195.
- Brown, A. F. ja K. B. Shepherd, 1993: A method for censusing upland waders. *Bird Study*, 40, 189-195.
- Christensen, T. K., I. Clausanger ja I.K. Petersen, 2002: Status report of seabird surveys at Horns Rev, 2000-2002. National Environmental Research Institute, Danish Ministry of Environment and Energy, NERI Report, commissioned by Tech-wise A/S. [www.dmu.dk](http://www.dmu.dk)

- Clausager, I. & H. Nøhr, 1995: Vindmøllers indvirkning på fugle. Status over viden og perspektiver. (in Danish with English summary). Faglig rapport fra DMU, nr. 147, 49 s.
- Clausen, P. ja J. K. Larsen, 1999: Vurdering af effekten af en vindmøllepark ved Overgaard på forekomsten af fugle i EF-fuglebeskyttelsesområde nr. 15. DMU report nr. 280, [www.dmu.dk](http://www.dmu.dk).
- Cochran, W. W. ja R. R. Graber, 1958: Attraction of nocturnal migrants by lights on a television tower. *Wilson Bull.* 70, 378-380.
- Cooper, B. A. ja R.J. Ritchie, 1995: The altitude of bird migration in east-central Alaska: a visual and radar study. *J. Field Ornithol.* 66, 590-608.
- Crawford, R. L., 1971: Predation on birds killed at TV tower. *Oriole* 36, 33-35.
- Crawford, R. L., 1981: Bird kills at lighted man-made structure: often on nights close to a full moon. *American Birds* 35, 913-914.
- Crivelli, A. J., J. Jerrentrup ja T. Mitchev, 1988: Electric power lines. A cause of mortality in *Pelecanus crispus* (Bruch), a world endangered species, in Porto-Lago, Greece. *Colon. Waterbirds* 1: 301-305.
- Desholm, M., 2003: Thermal Animal Detection Systems (TADS). Development of a method for estimating collision frequency of migrating birds at offshore wind turbines. NERI Technical Report No. 440, [http://www.dmu.dk/1\\_viden/2\\_Publikationer/3\\_fagrapporter/rapporter/FR440.pdf](http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR440.pdf).
- DH Ecological Consultancy, 2000: Windy Standard Wind Farm, Dumfries & Galloway. Breeding bird surveys 1994-2000.
- Dirksen, S., & Spaans, A.L. 1998. Nocturnal collision risk of birds with wind turbines in tidal and semi-offshore areas. In *Wind energy and Landscapes*. (eds. Ratto & Solari). Balkerna. Rotterdam.
- Dunn, E. H., 1993: Bird mortality from striking residential windows in winter. *J. Field Ornithol.* 64: 302-309.
- Dunn, E. H. ja E. Nol, 1980: Age-related migratory behaviour of warblers. *J. Field Ornithol.* 51, 254-269.
- Elkins, N., 2004: *Weather and bird behaviour*, 3<sup>rd</sup> edition. T & A D Poyser, Calton.
- Erickson, W. P., G. D. Johnson, M. D. Strickland, D. P. Young Jr., K. J. Sernka ja R. E. Good, 2001: Avian collisions with wind turbines: A summary of existing studies and comparisons to other sources of avian collision mortality in the United States. Western EcoSystems Technology Inc. National Wind Coordinating Committee (NWCC) Resource Document. [http://www.nationalwind.org/pubs/avian\\_collision.pdf](http://www.nationalwind.org/pubs/avian_collision.pdf)
- Evaraert, J., K. Devos ja E. Kuijken, 2002: Windturbines en vogels in Vlaanderen: Voorloopige onderzoeksresultaten en buitenlandse bevindingen. Instituut voor Natuurbehoud, Report R.2002.03, Brussels, 76 s.
- Faanes, C. A., 1987: Bird behaviour and mortality in relation to power lines in prairie habitats. U.S. Fish and Wildlife Service. Fish and Wildlife Technology report 7, 24 s.
- Ferrer, M., M. De La Riva ja J. Castroviejo, 1991: Electrocution of raptors on power lines in southwestern Spain. *J. Field Ornithol.*, 62, 181-190.
- Folkestad, A. O., 1999. Vindmøllers innvirkning på fuglar. Norsk Ornitologisk Förening, 22 s.
- Franklin, A. B., K. R. Wilson ja T. M. Shenk, 1998: Estimated annual rate of change in a Golden Eagle population at the Altamont Pass Wind Resource Area, California. Rep. from Colorado State University, Fort Collins, CO, for Nat. Renewable Energy Lab., Golden, CO.
- Gauthreaux, S. A. Jr., 1996: Suggested practices for monitoring bird populations, movements and mortality in wind resource areas. Proceedings, National Avian - Wind Power Planning Meeting II, Palm Springs, California, Sept. 1995, 88-110. Prepared for the Avian Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee by RESOLVE Inc., Washington DC, and LGL Ltd., King City, Ont., 152 s. Available at [www.nationalwind.org/pubs/avian95/default.htm](http://www.nationalwind.org/pubs/avian95/default.htm)
- Gill, J. P., 2000: Changes in breeding birds at Dun Law wind farm, 1999-2000. Report to Renewable Energy Systems Ltd. by Environmentally Sustainable Systems, Edinburgh.
- Gill, J. P., 2001: Calibrated study of wintering pink-footed geese potential collision victims and scavenging activity by foxes at Dun Law wind farm 2000. Report to CRE Energy Ltd. & Renewable Energy Systems Ltd. by Environmentally Sustainable Systems, Edinburgh.
- Gipe, P., 1995: *Wind energy comes of age*. John Wiley & Sons. New York.

- Goss-Custard, J. D., R. A. Stillman, A. D. West, R. W. G. Caldow ja S. McGrorty, 2002: Carrying capacity in overwintering migratory birds. *Biological Conservation* 105, 27-41.
- Graber, R. R., 1968: Nocturnal migration in Illinois – different points of view. *Wilson Bulletin* 80, 36-71.
- Guillemette, M., J. K. Larsen ja I. Clausanger, 1997: Effect af Tunø Knob vindmøllerpark på fuglelivet. DMU Rapport No. 209. [www.dmu.dk](http://www.dmu.dk)
- Guillemette, M., J. K. Larsen ja I. Clausanger, 1998: Impact assessment of an off-shore wind park on sea ducks, NERI Technical Report No. 227, 61 s.
- Hebert, E., E. Reese ja L. Mark, 1995: Avian collision an electrocution: An annotated bibliography. California Energy Commission, Publication P700-95-001, 81 s.
- Herbert, A. D., 1970: Spatial disorientation in birds. *Wilson Bull.*, 82, 400-419.
- Holttinen, H., 2001: Tuulivoima Suomessa ja maailmalla. VTT-energia, 17 s. [www.vtt.fi/ene/ye/ats/tuulivoima.pdf](http://www.vtt.fi/ene/ye/ats/tuulivoima.pdf).
- Howell, J. A., 1997: Avian mortality at rotor swept equivalent areas, Altamont Pass and Montezuma Hills. *Trans. Western Sect. Wildl. Soc.*, 33, 24-29.
- Howell, J. A. ja J. E. DiDonato, 1991: Assessment of avian use and mortality related to wind turbine operations, Altamont Pass, Alameda and Contra Costa Counties, California, September 1988 through August 1989. Rep. for U.S. Windpower Inc., Livermore, 168 s.
- Hunt, G., R. E. Jackman, T. L. Hunt, D. L. Driscoll ja L. Culp, 1998: A population study of Golden Eagles in the Altamont Pass Wind Resource Area: population trend analysis for 1994-1997. Rep. from Predatory Bird Res. Group, Univ. Calif., Santa Cruz, CA, for Nat. Renewable Energy Lab., Golden, Co., 42 s.
- Hüppop, O., J. Dierschke, V. Dierschke ja H. Wendeln, 2003: Bird migration and marine wind farms in the North Sea. *Wadden Sea newsletter* (in prep.), cited in ICES 2003.
- James, B. W. ja B. A. Haak, 1979: Factors affecting avian flight behavior and collision mortality at transmission lines. Bonneville Power Administration Report. US Dept. of Energy, Oregon.
- Janss, G., 2000: Bird behaviour in and near a wind farm at Tarifa Spain: Management considerations. Teoksessa: Proceedings of the National Avian-Wind Power Planning Meeting III, s. 110-114, [www.nrel.gov](http://www.nrel.gov)
- Johnson, G. D., W. P. Erickson, M. D. Strickland, M. F. Shepherd ja D. A. Shepherd, 2000: Avian monitoring studies at the Buffalo Ridge Wind Resource Area, Minnesota: Results of a 4-year study. Technical Report prepared for Northern States Power Co., Minneapolis, MN, 212 s.
- Kahlert, J., M. Desholm, I. Clausanger ja I. K. Petersen, 2000: VVM-redogørelse for havvind-møllepark ved Rødsand. Teknisk rapport vedrørende fugle. DMU report to SEAS. [www.dmu.dk](http://www.dmu.dk)
- Kerlinger, P., 2000: An assessment of the impacts of Green Mountain Corporation's Searsburg, Vermont, Wind Power Facility on breeding and migrating birds. Proceedings, National Avian – Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California, May 1998. National Wind Coordinating Committee.
- Kerlinger, P., R. Curry and R. Ryder, 2000: Ponequin wind energy project: reference site avian study. NREL/SR-500-27546. [http://www.osti.gov/bridge/product.biblio.jsp?osti\\_id=753779&queryId=2&start=0](http://www.osti.gov/bridge/product.biblio.jsp?osti_id=753779&queryId=2&start=0)
- Ketzenberg, C., K.-M. Exo, M. Reichenbach ja M. Castor, 2002: Einfluss von Windkraftanlagen auf brutende Wiesenvögel. *Natur und Landschaft* 77, 144-153.
- Klem, D. Jr., 1989: Bird-window collisions. *Wilson Bull.* 101, 606-620.
- Koistinen, J., 2000: Bird migration patterns on weather radars. *Phys. Chem. Earth (B)*, 25, 1185-1193.
- Koop, B., 1997: Vogelzug und Windenergieplanung: Beispiele für Auswirkungen aus dem Kreis Plön (Schleswig-Holstein). *Naturschutz und Landschaftsplanung* 29, 202-207.
- Koops, F. B. J., 1993: Collision victims of high-tension lines in the Netherlands and effects of marking. N. V. KEMA, Arnhem, The Netherlands, 6 s.
- Koskimies, P., 2002: Pernajanlahden voimajohtolinjan vaikutus linnustoon. Tutkimusraportti. Tmi Luontotieto Pertti Koskimies.
- Koskimies, P., 2003a: Lintuja ei vaarannettu Pernajanlahdella. *Ympäristö*, numero 2.
- Koskimies, P., 2003b: Voimajohtoaukeiden pesimälinnusto Etelä-Suomessa. Tutkimusraportti Fingrid Oy:lle 28.11. 2003. Tmi Luontotieto Pertti Koskimies, 46s. [www.fingrid.fi/attachments/ymparisto\\_ja\\_voimajohdot](http://www.fingrid.fi/attachments/ymparisto_ja_voimajohdot)

- Krebs, C., 1989: Ecological Methodology. HarperCollins, New York.
- Krohn, S., 2002: Birds and wind turbines. [www.windpower.org/tour/env/birds.htm](http://www.windpower.org/tour/env/birds.htm)
- Kruckenberg, H. ja J. Jaene, 1999: Zum Einfluss eines Windparks auf die Verteilung weidender Blässgense im Rheiderland (Landkreis Leer, Niedersachsen). *Natur Landsch.* 74, 420-427.
- Langston, R. H. W. ja J. D. Pullan, 2003: Windfarms and Birds: An analysis of the effects of windfarms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues. BirdLife International Report to the Bern Convention, T-PVS/Inf (2003) 12.
- Larsen, J. K. ja J. Madsen, 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.
- Lekuona, J. M., 2001: Uso del espacio por la avifauna y control de la mortalidad de aves y murcielagos en los parques eolicos de Navarra durante un ciclo annual. Gobierno de Navarra, Spain. [http://www.iberica2000.org/textos/LEKUONA\\_REPORT.pdf](http://www.iberica2000.org/textos/LEKUONA_REPORT.pdf)
- Manneri, A., 2002: Pienten ja keskikokoisten selkärankaisten liikennekuolleisuus Suomessa. Tiehallinnon selvityksiä 26/2002, 52+7s. ISSN 1457-9871, ISBN 951-726-906-4.
- McAndrew, B., 1994: Office tower lights, poor cloud cover lure birds to death. *Toronto Star*, Saturday, Sep. 10, page A4.
- McIsaac, H., 2001: Raptor acuity and wind turbine blade conspicuity. Proceedings of the National Avian-Wind Power Planning meeting IV. [www.nationalwind.org/pubs/avian00/avian\\_proceedings\\_2000.pdf](http://www.nationalwind.org/pubs/avian00/avian_proceedings_2000.pdf)
- McNeil, R., S. J. R. Rodriguez ja H. Ouellet, 1985: Bird mortality at a power transmission line in northeastern Venezuela. *Biol. Conserv.* 31, 153-165.
- Meek, E.R., J. B. Ribbands, W.G. Christer, P.R. Davey ja I. Higginson, 1993: The effects of aero-generators on moorland bird populations in the Orkney Islands, Scotland. *Bird Study* 40, 140-143.
- Mikkola, M. ja J. Södersved, 1990: Kuu kiurusta kesään. Kirjayhtymä.
- Miller, W. A., 1978: Transmission line engineering and its relationship to migratory birds. Teoksessa: Avery, M. L. (toim.): Conference Proceedings, Impacts of Transmission Lines on Birds in Flight, Oak Ridge, Tenn., 129-141. Oak Ridge Associated Universities.
- Morkill, A. E. ja S. H. Anderson, 1991: Effectiveness of marking power lines to reduce Sandhill Crane collisions. *Wildl. Soc. Bull.*, 19, 442-449.
- Morrison, M., 2002: Searcher bias and scavenging rates in bird/wind energy studies. NREL/SR-500-30876. [http://www.osti.gov/bridge/product.biblio.jsp?osti\\_id=15000702&queryId=2&start=0](http://www.osti.gov/bridge/product.biblio.jsp?osti_id=15000702&queryId=2&start=0)
- Morrison, M. L. ja H. Davis, 1996: Protocols for evaluation of existing wind developments and determination of bird mortality. Proceedings, National Avian – Wind Power Planning Meeting II, Palm Springs, California, Sept. 1995, 111-125. Prepared for the Avian Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee by RESOLVE Inc., Washington DC, and LGL Ltd., King City, Ont., 152 s. Available at [www.nationalwind.org/pubs/avian95/default.htm](http://www.nationalwind.org/pubs/avian95/default.htm)
- Mossop, D.H., 1997: Five years of monitoring bird strike potential at a mountain-top wind turbine, Yukon Territory. Annual Canadian Wild Energy Conference & Exhibition, 197-211. Yukon Energy Corporation, Whitehorse, Yukon.
- Musters, C., M. Noordervliet ja W. ter Keurs, 1995: Bird casualties and wind turbines near the Kreekrak sluices of Zeeland. Milieubiologie R. U. Leiden, The Netherlands. ISBN 90-72726-28-6, Rapport 95-01.
- Musters, C., M. Noordervliet ja W. ter Keurs, 1996: Bird casualties caused by a wind energy project in an estuary. *Bird Study* 43: 124-126.
- National Wind Coordinating Committee (NWCC), 2002: Avian/Wind Turbine Interactions: a short summary of research results and remaining questions. NWCC, USA. [www.nationalwind.org/pubs/avian\\_factsheet.pdf](http://www.nationalwind.org/pubs/avian_factsheet.pdf)
- Norberg, U. M., 1990: Vertebrate Flight. Springer-Verlag, Berlin.
- Ogden, L. J. E., 1996: Collision course: The hazard of lighted structures and windows to migrating birds. WWF Canada and the Fatal Light Awareness Program (FLAP), 46 s.
- Orloff, S. ja A. Flannery, 1992: Wind turbine effects on avian activity, habitat use and mortality in Altamont Pass and Solano County Wind Resource Areas. Rep. from BioSystems Analysis Inc., Tiburon, CA, for planning Dep. of Alameda, Contra Costa and Solano Counties, CA, and Calif. Energy. Commiss., Sacramento, CA. P700-92-001.

- Osborn, R. G., K. F. Higgins, R. E. Usgaard, C. D. Dieter ja R. G. Neiger, 2000: Bird mortality associated with wind turbines at the Buffalo Ridge wind resource area, Minnesota. *American Midland Naturalist* 143, 41-52.
- Painter, S., B. Little ja S. Lawrence, 1999: Continuation of bird studies at Blyth Harbour wind farm and the implications for offshore wind farms. Report by Border Wind Limited to UK Department of Trade & Industry, ETSU W/13/00485/00/00.
- Percival, S. ja T. Percival, 1998: Breeding waders at the Näsudden windfarm, Gotland, Sweden. Report to National Wind Power Ltd.
- Pettersson, J., 2002: Fågelbevakningen i södra Kalmarsund – vår och höst 2001. Rapport från Etapp 2 av Program för uppföljning av vindkraftsinverkan på fågellivet i anslutning till vindkraftanläggningar vid Utgrunden och Yttre Stengrund i Södra Kalmarsund. Enron Wind och Vindkompaniet AB.
- Pohjolan Voima, 2001: Kokkolan edustan merituulivoimalaitos, ympäristövaikutusten arviointiohjelma. Insinööritoimisto Paavo Ristola, 18 s.
- Pöyhönen, M., 1995: Muuttolintujen matkassa. Otava.
- Reed, J. R., J. L. Sincock ja J. P. Hailman, 1985: Light attraction in endangered procellariiform birds: reduction by shielding upward radiation. *Auk* 102, 377-383.
- Richardson, W. J., 1982: Nocturnal landbird migration over southern Ontario Canada: orientation vs. wind in autumn. Teoksessa: Papi ja Wallraff (toim.): *Avian navigation*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, s. 15-27.
- Richardson, W. J., 1990: Timing of bird migration in relation to weather: updated review. Teoksessa: Gwinner, E. (toim.): *Bird migration*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, s. 78-101.
- Richardson, W. J., 2000: Bird migration and wind turbines: Migration timing, flight behaviour, and collision risk. Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting II 132-140. <http://www.nationalwind.org/pubs/avian95/default.htm>
- Robbins, C. S., J. R. Sauer, R. S. Greenberg ja S. Droege, 1989: Population declines in North American birds that migrate to the neotropics. *Proceedings of the National Academy of Science* 86, 7658-7662.
- Rybak, E. J., W. B. Jackson ja S. H. Vessey, 1973: Impact of cooling towers on bird migration. *Proceedings of the Bird Control Seminar, Bowling Green State University*, 6: 187-194.
- Schroeder, C., 1977: Geese hit power transmission line. *N. D. Outdoors* 40, Inside front cover.
- Spaans, A., L. van den Bergh, S. Dirksen ja J. van der Winden, 1998a: Windturbines en vogles: hoe hiermee om te gaan? *Levende Natuur* 99, 115-121.
- Spaans, A., J. van der Winden L., R. Lensink, L. M. J. van den Bergh ja S. Dirksen, 1998b: Vogelhinder door windturbines: Landelijk onderzoekprogramma, deel 4: nachtelijke vliegbewegingen en vlieghoogtes van vogels langs de Afsluitdijk. Bureau Waardenburg/IBN-DLO/NOVEM. [www.alterra.nl](http://www.alterra.nl)
- Spanish Birdlife International, 1995: Effects of wind turbine power plants on the avifauna in the Campo de Gibraltar Region. Summary of final report commissioned by the Environmental Agency of the Regional Government of Andalusia. Unpublished, Sociedad Espanola de Ornitologia, Madrid.
- Still, D., B. Little ja S. Lawrence, 1996: The effect of wind turbines on the bird population at Blyth Harbour, Northumberland. ETSU W/13/00394/REP, Energy Technology Support Unit, UK Department of Trade & Industry.
- Strickland, M. D., G. D. Johnson, W. P. Erckson, S. A. Sarappo and R. M. Halet, 2000: Avian use, flight behavior and mortality on the Buffalo Ridge, Minnesota, Wind Resource Area. Proceedings, National Avian - Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California, May 1998. National Wind Coordinating Committee.
- Sutherland, W. J., 1998: The effect of local change in habitat quality on populations of migratory species. *J. Appl. Ecol.* 35, 418-421.
- Tammelin, B., 1991: Suomen tuuliatlas. Ilmatieteen laitos.
- Tammelin, B. ja F. Malmgren, 2002: Tuulivoiman uhkakuvat perusteettomia, vastine Helsingin Sanomissa 8.1.02 sekä Kymen Sanomissa 17.1.02 julkaistuun mielipidekirjoitukseen. [www.tuulivoimayhdistys.fi/index\\_fi/htm](http://www.tuulivoimayhdistys.fi/index_fi/htm)
- Telfer, T. C., J. L. Sincock, G. V. Byrd ja J. R. Reed, 1987: Attraction of Hawaiian seabirds to lights: conservation effects and effects of moon phase. *Wildlife Society Bulletin* 15, 406-413.

- Thelander, C. G. ja L. Ruge, 2000: Bird risk behaviours and fatalities at the Altamont Pass Wind Resource Area. Proceedings, National Avian - Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California, May 1998. National Wind Coordinating Committee.
- Thomas, R., 2000: An assessment of the impact of wind turbines on birds at ten windfarm sites in the UK, [www-sivu](http://www-sivu).
- Thompson, L. S., 1978: Transmission line wire strikes: Mitigation through engineering design and habitat modifications. Teoksessa: Avery, M. L. (toim.): Conference Proceedings, Impacts of Transmission Lines on Birds in Flight, Oak Ridge, Tenn., 51-92. Oak Ridge Associated Universities.
- Tucker, V.A., 1996a: A mathematical model of bird collisions with wind turbine rotors. *J. of Solar Energy Engineering* 118: 253-262.
- Tucker, V.A., 1996b: A collision model to design safer wind turbine rotors for birds. *J. of Solar Energy Engineering* 118: 263-269.
- Tulp, I., H. Schekkerman, J. K. Larsen, J. van der Winden, R. J. W. van de Haterd, P. van Horssen, S. Dirksen ja A. L. Spaans, 1999: Nocturnal flight activity of sea ducks near the wind farm Tunø Knob in the Kattegat. IBN-DLO Report No. 99.30. [www.alterra.nl](http://www.alterra.nl)
- van den Bergh, L. M. J., A. L. Spaans ja N. D. Swelm, 2002: Lijnopstellingen van wind-turbines geen barriere voor voedselvluchten van meeuwen en sterns in de broedtijd. *Limosa* 75, 25-32.
- Weir, R. D., 1976: Annotated bibliography of bird kills at man-made obstacles: a review of the state of the art and solutions. Department of the Fisheries and the Environment. Canadian Wildlife Service, Ontario Region.
- Verheijen, F. J., 1958: The mechanisms of the trapping effect of artificial light sources upon animals. *Netherlands J. Zool.* 13, 1-107.
- Verheijen, F. J., 1980: The Moon: a neglected factor in studies of collisions of nocturnal migrant birds with tall lighted structures and with aircraft. *Die Vogelwarte* 30, 305-320.
- Verheijen, F. J., 1981: Bird kills at lighted man-made structures: Not on nights close to full moon. *American Birds*, 35: 251-254.
- Verheijen, F. J., 1985: Photopollution: Artificial light optic spatial control systems fail to cope with. Incidents, causations, remedies. *Experimental Biol.* 44, 1-18.
- Williams, R. E., W.B. Jackson ja W. A. Peterman, 1975: Bird hazard monitoring contract, Davis-Besse site. Semi-annual report, 23 s.
- Wiltschko, W., U. Munro, H. Ford ja R. Wiltschko, 1993: Red light disrupts magnetic orientation of migratory birds. *Nature* 364, 525-526.
- Winkelman, J. E., 1989: Birds and the wind park near Urk: collision victims and disturbance of ducks, geese, and swans. RIN Rep. 89/15. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem, The Netherlands. (hollanniksi, englanninkielinen yhteenveto), [www.alterra.nl](http://www.alterra.nl)
- Winkelman, J. E., 1992a: The impact of the Sep wind park near Oosterbierum (Fr.), the Netherlands, on birds, 3: flight behaviour during daylight. RIN Rep. 92/4. DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Arnhem, The Netherlands, 69pp plus Appendices (hollanniksi, englanninkielinen yhteenveto), [www.alterra.nl](http://www.alterra.nl)
- Winkelman, J. E., 1992b: The impact of the Sep wind park near Oosterbierum (Fr.), the Netherlands, on birds, 2: nocturnal collision risks. RIN Rep. 92/3. DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Arnhem, The Netherlands (hollanniksi, englanninkielinen yhteenveto), [www.alterra.nl](http://www.alterra.nl)
- Winkelman, J. E., 1995: Bird/Wind Turbine Investigations in Europe. In: Proceedings of the National Avian Wind Power Planning Meeting 1994. NREL/SP-441-7814. [http://www.osti.gov/bridge/product.biblio.jsp?osti\\_id=70750&queryId=2&start=0](http://www.osti.gov/bridge/product.biblio.jsp?osti_id=70750&queryId=2&start=0)
- von Heijnis, R., 1980: Bird mortality from collision with conductors for maximum tension. *Ökol. Vogel* 2, Sonderheft 1980: 111-129.
- Väisänen, R. A., E. Lammi ja P. Koskimies, 1998: Muuttuva pesimälinnusto. Otava.

## **Kiitokset**

Juhani Rinne ja Antti Irjala ovat antaneet hyviä kommentteja ja korjauksia käsikirjoitukseen.

### **Tekijän yhteystiedot:**

Jarmo Koistinen  
erikoistutkija  
Ilmatieteen laitos, Kaukokartoitus  
PL 503, 00101 Helsinki  
Puh: (09) 1929 3618 tai 050 5635166, fax: (09) 1929 3603

# Kuvailulehti

Julkaisija	Ympäristöministeriö Alueidenkäytön osasto	Julkaisu-aika	Lokakuu 2004
Tekijä(t)	Jarmo Koistinen		
Julkaisun nimi	Tuulivoimaloiden linnustovaikutukset		
Tiivistelmä	<p>Selvityksessä on kartoitettu tuulivoimaloiden, sähköverkon (voimalinjojen), mastojen, rakennusten, liikenteen sekä valonheittimien ja majakoiden aiheuttamia linnustovaikutuksia laajan kirjallisuusselvityksen avulla. Vaikutukset ovat kahdenlaisia: lintujen törmäykset rakennelmiin tai niiden aiheuttama häiriö sekä rakenteiden tai rakentamisen aiheuttama pesä- ja ruokailupaikkojen tuhoutuminen ja muuntuminen. Selvityksen tarkoituksena on antaa perustiedot tuulivoimaloiden linnustovaikutusten arviointiin Suomessa.</p> <p>Törmäysriski tuulivoimaloihin on pieni, koska linnut näkevät ja kuulevat ne kaukaa. Väistäminen tapahtuu jo 100-500 metrin etäisyydeltä, myös yöllä. Seuraavassa luettelossa on tiivistelmä vaikuttavista seikoista.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Näillä tekijöillä ei ole merkittävää vaikutusta törmäysten määrään: voimalan koko, teho ja väri sekä voimalan sijainti maa- tai vesialueella.</li> <li>• Törmäyksiä kasvattaa huomattavasti tuulipuiston sähköverkon rakentaminen ilmajohdoiksi tai voimaloiden valaisu yöllä kirkkain valonheittimin.</li> <li>• Lintulajit törmäävät suunnilleen siinä suhteessa kuin niitä oleskelee voimalan lähellä. Kuitenkin pikkulintuja ja yöllä muuttavia lajeja kuolee suhteellisesti vähemmän ja isoja lintuja (petolintuja) enemmän kuin rakennuksiin ja mastoihin.</li> <li>• Vaikka tuulivoimaloiden törmäysriski on pieni (suuruusluokkaa 1/1000), suositellaan suurien muuttolintujen lepäilijäkeskittymien (esim. Liminganlahti) ja rannikon suurien muuttovirtojen (erityisesti Porkkala, Hanko, Pellinki) välttämistä uusien tuulipuistojen sijoituspaikkoina.</li> <li>• Törmäysriski Pohjois-Suomessa on pienempi kuin etelässä, koska pesivän ja muuttavan linnuston määrä pienenee pohjoista kohti.</li> <li>• Pienin törmäysriski on Selkä- ja Perämeren avomerialueella.</li> </ul> <p>Tuulipuistojen linnustovaikutuksia on syytä edelleen tutkia, sillä monien törmäysmääriin vaikuttavien tekijöiden suuruudesta on vähän tietoa. Tekijä, josta ei ole tutkimuksia, on tuulipuistojen lentoestevalaistuksen vaikutus: kuinka paljon, minkä tehoista, millä tavalla ja mihin suuntaan valo tulisi olla. Myöskään voimaloiden ryhmittelytiheyden ja -geometrian vaikutuksia ei tunneta.</p>		
Asiasanat	Tuulivoima, tuulivoimala, tuulivoimarakentaminen, linnusto, linnustovaikutukset, törmäysriski		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 721		
Julkaisun teema	Alueiden käyttö		
Projektihankkeen nimi ja projektinumero			
Rahoittaja/toimeksiantaja	Ympäristöministeriö		
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot			
	ISSN	ISBN	
	1238-7312	952-11-1809-1 (nid.), 952-11-1810-5 (PDF)	
	Sivuja	Kieli	
	42	suomi	
	Luottamuksellisuus julkinen	Hinta	
Julkaisun myynti/jakaja	Edita Publishing Oy, Asiakaspalvelu, PL 800, 00043 Edita puh. 020 450 05, telefax 020 450 2380 sähköposti: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi, www-palvelin: http://www.edita.fi/netmarket		
Julkaisun kustantaja	Ympäristöministeriö		
Painopaikka ja -aika	Edita Prima Oy, Helsinki 2004		
Muut tiedot	Yhteyshenkilö ympäristöministeriössä Antti Irjala, puh. (09) 1603 9557		



# Presentationssblad

Utgivare	Miljöministeriet Markanvändningsavdelningen	Datum Oktober 2004
Författare	Jarmo Koistinen	
Publikationens titel	Tuulivoimaloiden linnustovaikutukset (Vindkraftverkens verkningar på fågelfaunan)	
Sammandrag	<p>Denna rapport bygger på litterära källor och är en kartläggning av hur vindkraftverk, elnätet (kraftledning), master, byggnader, trafik, strålkastare och fyror påverkar fågelfaunan. Verkningarna är av två slag: fåglarna kolliderar med konstruktionerna eller störs annars av dem, och anläggningarna eller byggandet av dem leder till att platser där fåglarna häckat eller samlat föda förstörs eller ändrar karaktär. Rapporten lägger fram sådana fakta som kan tjäna som grund för utvärdering av vindkraftverkens verkningar på fågelfaunan.</p> <p>Risken för kollision med vindkraftverken är liten, eftersom fåglarna kan se och höra dem på långt avstånd. Då ändrar de kurs redan på 100-500 m avstånd, också om natten. Förteckningen nedan är ett sammandrag av de viktigaste faktorerna.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Faktorer som inte har stor betydelse för antalet kollisioner är kraftverkets storlek, effekt och färg eller läget på land eller vatten. Kollisionsrisken ökar betydligt, om elnätet byggs som luftledningar, eller om kraftverken nattetid belyses av kraftiga strålkastare.</li><li>• Fågelarternas kollisionsbenägenhet står i proportion till deras förekomst i kraftverkets omgivning. Men relativt sett färre småfåglar och nattflyttande arter och relativt sett fler stora fåglar (rovfåglar) dör i kollisioner med vindkraftverk än i kollisioner med byggnader och master.</li><li>• Även om risken för kollision med vindkraftverk är liten (storleksklassen 1/1000) rekommenderas att nya vindkraftverk inte placeras nära stora koncentrationer av rastplatser för flyttfåglar (t.ex. Limingoviken), inte heller nära de stora flyttstråken vid kusten (särskilt Porkkala, Hangö, Pellinge).</li><li>• I norra Finland är kollisionsrisken mindre än i söder, eftersom antalet häckande och migrerande fåglar avtar mot norr. Risken för kollisioner är liten i öppna havet i Bottenhavet och Bottenviken.</li></ul> <p>Det är skäl att fortsätta att undersöka vindkraftverkens verkningar på fågelfaunan, eftersom det finns föga information om storleksklassen på många av de faktorer som inverkar på antalet kollisioner. En faktor som alls inte har undersökts är hur flygvarningsbelysningen inverkar, alltså vilken effekt och inriktning sådan belysning borde ha. Inte heller finns det uppgifter om hur grupperingen av kraftverken och deras geometri inverkar.</p>	
Nyckelord	vindkraft, vindkraftverk, vindkraftverksbygge, fågelfauna, verkningar på fågelfaunan, kollisionsrisk	
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 721	
Publikationens tema	Markanvändning	
Projektets namn och nummer		
Finansiär/uppdragsgivare	Miljöministeriet	
Organisationer i projektgruppen		
	ISSN	ISBN
	1238-7312	952-11-1809-1, 952-11-1810-5 (PDF)
	Sidantal	Språk
	42	finska
	Offentlighet	Pris
	offentlig	
Beställningar/distribution	Edita Publishing Ab, Kundservice, PB 800, FIN-00043 Edita, Finland tel. +358 20 451 05, telefax +358 20 450 2380 e-mail: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi, www-server: <a href="http://www.edita.fi/netmarket">http://www.edita.fi/netmarket</a>	
Förläggare	Miljöministeriet	
Tryckeri/tryckningsort och -år	Edita Prima Ab, Helsingfors 2004	
Övriga uppgifter	Kontaktperson vid miljöministeriet Antti Irjala, tfn 09-1603 9557	

# Documentation page

Publisher	Ministry of the Environment Land Use Department	Date	Oktober 2004
Author(s)	Jarmo Koistinen		
Title of publication	Tuulivoimaloiden linnustovaikutukset (Effects of windpower plants on the bird fauna)		
Abstract	<p>The report is based on a thorough survey of literature dealing with the impact of windpower plants, electrical networks (power lines), masts, buildings, traffic, floodlights and lighthouses on the bird fauna. The impact is of two kinds: birds collide with, or are disturbed by constructions and buildings, or else the constructions destroy and change their nesting and feeding areas. The report will provide basic information for assessing windpower impact on the bird fauna in Finland.</p> <p>The risk of collisions with windmills is small, seeing as birds both see and hear them from afar. They will deviate at a distance of 100-150 m even at night. The following list summarises important elements in the impact.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Factors that have no effect on the number of collisions are the size, capacity and colour of the plant, and the location on land or water.</li> <li>• The number of collisions increases considerably if overhead power lines are used, or if the plants are floodlit at night.</li> <li>• Different species of birds will collide with windpower plants in the same proportion as they are distributed in the neighbourhood. However, small birds and night migrators die in proportionately smaller numbers, and large birds (predators) in proportionately larger numbers, than they do when colliding with other structures and masts.</li> <li>• Even though the risk of colliding with windpower plants is small (1/1000), it is recommended that new windpower parks should not be located in major resting areas for migrating birds (such as Liminganlahti), nor where large migratory streams cross the coastline (Porkkala, Hanko, Pellinki).</li> <li>• In northern Finland, the collision risks are smaller than in the south, because the numbers of nesting and migrating birds are smaller. The collision risks are smallest in the open sea in the central and northernmost parts of the Gulf of Bothnia (Selkämeri and Perämeri).</li> </ul> <p>Continued studies of windpower park impacts on birds are required since there is little information on the volume of some factors influencing collision risks. For one thing, there are no studies of the impact of lighting intended to warn airplanes: how much light should there be, light effects, floodlight direction, and so on. Nor is there information on the impact of the grouping of windparks and their geometry.</p>		
Keywords	windpower, windpower plant, windpower building, bird fauna, impact on bird fauna, collision risks		
Publication series and number	The Finnish Environment 721		
Theme of publication	Land Use		
Project name and number, if any			
Financier/ commissioner	Ministry of the Environment		
Project organization			
	ISSN	ISBN	
	1238-7312	952-11-1809-1 (nid.), 952-11-1810-5 (PDF)	
	No. of pages	Language	
	42	Finnish	
	Restrictions	Price	
	for public use		
For sale at/ distributor	Edita Publishing Ltd, Box 800, FIN-00043 Edita, Finland tel. +358 20 451 05, telefax +358 20 450 2380 e-mail: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi, www-server: <a href="http://www.edita.fi/netmarket">http://www.edita.fi/netmarket</a>		
Financier of publication	Ministry of the Environment		
Printing place and year	Edita Prima Ltd. Helsinki 2004		
Other information	Contact at the Ministry of the Environment Antti Irjala, phone +358 9 1603 9557		