



TuuliWatti Oy, Puhuri Oy, Suomen Hyötytuuli Oy, wpd Finland Oy,
Fortum Power and Heat Oy, PVO Innopower Oy, Metsähallitus

KALAJOKI–RAAHE TUULIVOIMAPUISTOT muuttolinnustoon kohdistuva yhteisvaikutusten arviointi

LOPPURAPORTTI

3.1.2012

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	4
2	TARKASTELUALUE JA TUULIVOIMAPUISTOHANKKEET	5
3	AINEISTO JA MENETELMÄT	7
3.1	Käytetyt aineistot	7
3.1.1	Kevätmuuttoaineisto 2011.....	7
3.1.2	Muut aineistot	8
3.2	Käytetyt menetelmät.....	8
3.2.1	Kevään 2011 muutontarkkailu	8
3.2.2	Törmäysmallinnus.....	9
3.2.3	Populaatiomallinnus	11
3.3	Arviointimenetelmät	12
4	TULOKSET	13
4.1	Muuttolinnuston yleiskuvaus.....	13
4.1.1	Laulujoutsen	14
4.1.2	Metsähanhi	16
4.1.3	Merihanhi	18
4.1.4	Lyhytnokkahanhi	19
4.1.5	Muut lajit.....	20
4.2	Törmäysmallinnus ja populaatiomallinnus.....	22
4.2.1	Laulujoutsen	23
4.2.2	Metsähanhi	24
4.2.3	Merihanhi	26
4.2.4	Lyhytnokkahanhi	27
5	TUULIVOIMAPUISTOJEN YHTEISVAIKUTUKSET ALUEEN KAUTTA MUUTTAVALLE LINNUSTOLLE.....	29
5.1	Vaikutukset Perämeren rannikkoalueen kevätmuuttoreitteihin	29
5.2	Törmäysvaikutukset ja populaatiovaikutukset	30
5.3	Vaikutusten lieventäminen	32
6	ARVIOINNIN EPÄVARMUUDET	33
6.1	Käytetyt aineistot	33
6.2	Käytetyt menetelmät.....	34
6.3	Arvioinnin epävarmuudet	35
7	EHDOTUS LINNUSTOVAIKUTUSTEN SEURANNASTA	35
8	YHTEENVETO.....	36
	LÄHDEKIRJALLISUUS.....	38

Kannen kuva: Muuttavia merihanhia (© Ville Suorsa)

Pohjakartta © Karttakeskus Oy, Lupa L9179/11

1 JOHDANTO

Pohjois-Pohjanmaan rannikolle Kalajoen ja Raahen väliselle alueelle ollaan suunnittelemassa useita, Suomen mittakaavassa suuria maatuulivoimapuistoja, jotka sijoittuvat osittain tai kokonaan kansainvälisesti tärkeälle Pohjanlahden rannikolinjaa seuraavalle lintujen muuttoreitille. Alueen kautta muuttaa vuosittain runsaasti suojelullisesti arvokkaita lajeja sekä tuulivoiman linnustovaikutuksille herkkiä lajeja. Alueen kautta muuttavien lintujen, kuten hanhien, laulujoutsenen ja kurjen merkittävin levähdysalue Suomessa on Hailuodon–Liminganlahden–Tyrnävän alueelle sijoittuva Oulunseudun kerääntymisalueen kansainvälisesti tärkeä lintualue (IBA-alue, *Important Bird Area*).

Tämän raportin tarkoituksena on vastata tuulivoimapuistohankkeiden yhteysviranomaisena toimivan Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen lausunnoissa esiin tulleisiin kannanottoihin, joiden mukaan Kalajoen ja Raahen välille suunniteltujen tuulivoimapuistojen linnustoon kohdistuvat yhteisvaikutukset tulee arvioida. Tämä raportti kokooa kevään 2011 osalta FCG Finnish Consulting Group Oy:n ja Pöyry Finland Oy:n toimesta koordinoitun ja saman aikaisen muutontarkkailun tulokset Kalajoen ja Raahen tuulivoimapuistojen alueilta. Lisäksi arvioimme joutsenen ja harmaahanhilajien osalta tuulivoimapuistojen aiheuttaman törmäyskuolleisuuden merkitystä populaatioiden kasvun kannalta sekä tuulivoimapuistojen estevaikutusten aiheuttamia mahdollisia muutoksia lintujen muuttoreitteihin.

Useat samalle muuttoreitille sijoittuvat tuulivoimapuistot saattavat aiheuttaa kasvautuvia (kumuloituvia) vaikutuksia alueen kautta muuttavaan linnustoon. Tuulivoimahankkeilla saattaa toteutuessaan olla yhteisvaikutuksia Pohjanlahden rannikon kautta muuttavaan linnustoon, niiden muuttoreitteihin sekä suoraan lintujen lukumäärään ja populaatioiden tilaan.

Yleisesti ottaen tuulivoimapuistojen linnustovaikutukset riippuvat mm. alueen lintulajistosta ja lintujen lukumäärästä, lintupopulaatioiden dynamiikasta, maaston muodoista, sääolosuhteista sekä toisaalta tuulivoimapuistojen ja yksittäisten voimaloiden koosta ja rakenteesta, roottorin pyörimisnopeudesta ja käyttöajasta (Pöyry Management Consulting Oy 2011).

Yhteisvaikutusten arvioinnissa ovat mukana TuuliWatti Oy:n, Puhuri Oy:n, Suomen Hyötytuuli Oy:n, wpd Finland Oy:n, Fortum Power and Heat Oy:n, PVO Innopower Oy:n sekä Metsähallituksen Kalajoen ja Raahen väliselle rannikkoalueelle sijoittuvat tuulivoimahankkeet.

Yhteisvaikutusten arviointiraportin ovat laatineet FM biologi Ville Suorsa FCG Finnish Consulting Group Oy:n Oulun toimistolta, sekä FM biologi Aappo Luukkonen ja Harri Taavetti Pöyry Finland Oy:n Oulun toimistolta. Projektin johdosta on vastannut FM biologi Minna Tuomala FCG Finnish Consulting Group Oy:n Oulun toimistolta, ja Pöyry Finland Oy:n osalta yhteyshenkilönä on toiminut Oulun toimistolta FM biologi Juha Parviainen.

2 TARKASTELUALUE JA TUULIVOIMAPUISTOHANKKEET

Tässä työssä tarkastellut tuulivoimapuistot sijoittuvat Pohjois-Pohjanmaalle, Kalajoen ja Raahen väliselle rannikkoalueelle (kuva 1). Alueelle ollaan suunnittelemassa yhteensä 14 tuulivoimapuistoa seitsemän eri hankevastaavan toimesta (taulukko 1). Laajimmassa vaihtoehdossa alueelle nousisi enimmillään noin 304 modernia tornikorkeudeltaan noin 120 m ja roottorin halkaisijaltaan noin 90–120 m tuulivoimalaa. Suunniteltujen voimaloiden yksikkötehot ovat suuruudeltaan 2–5 MW. Tuulivoimahankkeet koostuvat rakennettavien tuulivoimalaitosten lisäksi niiden rakentamiseen ja huoltoon käytettävästä tiestöstä, voimalat toisiinsa yhdistävistä maakaapeista, tuulivoimapuiston sisäisestä sähköasemasta sekä sähkönsiirron ilmajohtoista.



Kuva 1. Kalajoen ja Raahen väliselle rannikkoalueelle sijoittuvat tiedossa olevat tuulivoimahankkeet sekä tässä yhteisvaikutusten arvioinnissa mukana olevat hankkeet.

Taulukko 1. Tässä työssä mukana olevat Kalajoen–Raahen väliselle rannikkoalueelle suunnitellut tuulivoimapuistot sekä niiden hankevastaavat ja suurin suunniteltu voimalamäärä.

Hankevastaava	Tuulivoimapuistot	Voimalamäärä
Tuuliwatti Oy	Mustilankangas (Kalajoki)	33
	Piehingin Sarvankangas (Raahe)	33
	Rautionmäki (Raahe)	12
	Haapajärvi (Raahe)	6
Puhuri Oy	Piehingin Ylipää (Raahe)	19
	Ketunperä (Raahe)	17
Suomen Hyötytuuli Oy	Pöllänperä (Raahe)	4
	Hummastinvaara (Raahe)	29
	Yhteinenkangas (Raahe)	33
	Annankangas–Nikkarinkaarrot (Raahe)	47
PVO Innopower Oy	Someronkangas (Raahe)	30
Fortum Power and Heat Oy	Tohkoja (Kalajoki)	30
Wpd Finland Oy	Jokela (Kalajoki)	14
	Mäkikangas (Pyhäjoki)	14
Metsähallitus	Annankangas–Nikkarinkaarrot (Raahe)	13

Muuttolinnuston kannalta useat lähekkäin sijaitsevat tuulivoimapuistot muodostavat laajempia yhtenäisiä tuulivoima-alueita, minkä vuoksi hankkeet yhdistettiin kolmeksi laajemmaksi kokonaisuudeksi (taulukko 2).

Kalajoen tuulivoimapuistot sijoittuvat Kalajoen keskustan pohjois- ja koillispuolelle, valtatie 8 itäpuolelle (kuva 1). Kalajoen tuulivoimapuistot muodostavat noin 10 x 11,5 km kokoisen tuulivoima-alueen, minne on suunniteltu enimmillään 91 tuulivoimalaa. Raahen eteläiset tuulivoimapuistot sijoittuvat valtatie 8 itäpuolelle, Pyhäjoen kunnanrajan ja Raahen Haapajärven tekojärven väliselle alueelle. Raahen eteläiset tuulivoimapuistot muodostavat noin 13,5 x 12,0 km kokoisen tuulivoima-alueen, minne on suunniteltu enimmillään 87 tuulivoimalaa. Raahen itäiset tuulivoimapuistot sijoittuvat Raahen kaupungin koillis- ja itäpuolelle sekä Annankankaat–Nikkarinkaartojen osalta Vihannin kirkonkylän länsi- ja luoteispuolelle. Raahen itäiset tuulivoimapuistot muodostavat noin 14 x 14,5 km kokoisen tuulivoima-alueen Raahen kaupungin itäpuolelle sekä noin 12 x 4 km kokoisen alueen Vihannin länsipuolelle, minne on suunniteltu enimmillään 126 tuulivoimalaa.

Taulukko 2. Kalajoen sekä Raahen eteläisiin ja Raahen itäisiin tuulivoimapuistoihin kuuluvat hankealueet.

Kalajoen tuulivoimapuistot	Raahen eteläiset tuulivoimapuistot	Raahen itäiset tuulivoimapuistot
Jokela	Piehingin Sarvankangas	Pöllänperä
Tohkoja	Rautionmäki	Hummastinvaara
Mustilankangas	Haapajärvi	Someronkangas
Mäkikangas	Piehingin Ylipää	Yhteinenkangas
	Ketunperä	Annankangas–Nikkarinkaarrot

Tässä työssä tarkasteltujen tuulivoimapuistojen lisäksi samalle rannikkoalueen muuttoreitille ollaan suunnittelemassa myös useita muita laajoja tuulivoimapuistoja (kuva 1). Joidenkin hankkeiden ympäristövaikutusten arviointimenettely on jo päättynyt, joissain se on kesken tai vasta alkamassa ja jotkin hankkeet ovat niin pieniä, että niiden toteuttamiseen ei edellytetä YVA-menettelyä. Lisäksi tuoreessa Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Pohjanmaan manneralueen tuulivoimaselvityksessä rannikkoalueelta tunnistettiin useita uusia tuulivoimarakentamiseen soveltuvia alueita (Pohjois-Pohjanmaan liitto 2011).

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Käytetyt aineistot

3.1.1 Kevätmuuttoaineisto 2011

Kalajoen–Raahen rannikkoalueelle suunniteltujen tuulivoimapuistojen YVA-menetelyjen yhteydessä vuonna 2011 toteutettu kevätmuutontarkkailu samanaikaistettiin ja käytetyt menetelmät yhtenäistettiin muutontarkkailusta vastanneiden konsulttien toimesta. Tässä työssä käytetty havaintoaineisto käsittää kaikkiaan 11 päivää aikavälillä 12.–28.4.2011, minkä aikana muuttoa tarkkailtiin samaan aikaan useammassa eri pisteessä (taulukko 3). Samanaikaistettuun muutontarkkailuun käytettiin yhteensä noin 490 tuntia. Eri hankkeissa kevätmuutontarkkailuun panostettiin eri tavalla, joten toisissa hankkeissa muuttoa tarkkailtiin enemmänkin kuin tähän työhön sisällytetyt tarkkailupäivät.

Keväällä 2011 yhteisvaikutusten arvioinnissa mukana olleiden hankkeiden osalta muutosseurantamenetelmät sekä havaintoaineiston tallennusmenetelmät luotiin ja ohjeistettiin konsulttien välisen yhteistyön avulla. Muutosseurantapäivät pyrittiin toteuttamaan samanaikaisesti, jotta alueilta saataisiin mahdollisimman kattava yhtä aikaa kerätty havaintoaineisto. Yhteistyön avulla mahdollisimman monta havainnointipistettä saatiin miehitettyä samalla hetkellä, jolloin Kalajoen–Raahen rannikkoalueella kulkevaa kevätmuuttoa seurattiin enimmillään kymmenestä havainnointipisteestä yhtä aikaa (taulukko 3). Laajan havainnointiverkoston avulla rannikkoalueen kautta kulkevasta muutosta ja muuttoreitin leveydestä saatiin kattava yhteiskuva. Muutontarkkailusta ovat vastanneet pääasiassa seuraavat henkilöt:

- **Ville Suorsa, Eino Mikkonen ja Markku Hukkanen** FCG Finnish Consulting Group Oy (Raahe)
- **Riku Halmeenpää ja Minna Tuomala** FCG Finnish Consulting Group Oy (Kalajoki)
- **Aappo Luukkonen ja Juha Kiiski** Pöyry Finland Oy (Raahe)
- **Harri Taavetti** Pöyry Finland Oy (Kalajoki)
- **Pekka Routasuo, Marko Vauhkonen ja Esa Lammi** Ympäristösuunnittelu ENVIRO Oy (Kalajoki)
- **Seppo Pudas** (Kalajoki)

Taulukko 3. Kalajoen–Raahen alueen yhteiset muutontarkkailupäivät ja päivittäin samaan aikaan miehitettyinä olleet havainnointipaikat.

Havainnointipaikka	12.4.	14.4.	15.4.	16.4.	17.4.	21.4.	22.4.	23.4.	26.4.	27.4.	28.4.
Kalajoen tuulivoimapuistot											
Letto	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
Jokela	x			x	x	x				x	x
Vasanneva	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pitkäsenkylän pellot		x	x	x		x	x	x			x
Mäkikangas	x			x							x
Raahen eteläiset tuulivoimapuistot											
Kaijanaro	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Laivakangas–Ketunperä	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Raahen itäiset tuulivoimapuistot											
Pöllänperä–Hummastinvaara	x	x	x	x	x	x	x	x			x
Someronkangas–Yhteinenkangas	x	x	x	x	x	x	x	x			x
Annankangas–Nikkarinkaaret	x	x	x	x		x	x	x			x

Eri hankkeista koottu havaintoaineisto antaa hyvän yleiskuvan rannikkoalueen kautta muuttavasta lajistosta ja lintujen muuttajamääristä sekä muuttoreiteistä yhden kevään osalta. Havainnointi kohdistettiin tuulivoiman törmäysvaikutuksille herkeksi tiedettyihin ja alueen kautta erityisen runsaana muuttaviin suurikokoisiin lajeihin kuten laulujoutseneen sekä harmaahanhilajeihin (metsä-, meri- ja lyhytnokkahanhi). Näiden lajien muuttokäyttäytymisestä Kalajoen–Raahen välillä rannikkoalueella saatiin edustava kuva kevään 2011 osalta.

3.1.2 Muut aineistot

Kevään 2011 maastohavainnoinnin yhteydessä kerätyn havaintoaineiston lisäksi tässä työssä hankittiin käyttöön seuraavia alueen linnustoa koskevia havaintoaineistoja paikallisilta lintutieteellisiltä yhdistyksiltä (viitattu *PPLY & KPLY*):

- **Keski-Pohjanmaan lintutieteellisen yhdistyksen** Tiira-havaintoaineisto Kalajoelta 2000-luvulta
- **Pohjois-Pohjanmaan lintutieteellisen yhdistyksen** laulujoutsenen ja harmaahanhilajien kevätmuuttoaineisto 2000-luvulta
- **Oulunseudun kerääntymisalueen** IBA-laskentojen aineisto
- **Siikajoen Tauvon lintuaseman** laulujoutsenen ja harmaahanhilajien muuttoaineisto 2000-luvulta

Erikseen hankittujen havaintoaineistojen lisäksi työssä tukeuduttiin alueelta julkaistuun linnustokirjallisuuteen sekä eri asiantuntijoiden ja raportoinnista vastanneiden henkilöiden paikallistuntemukseen sekä näkemykseen lintujen muuttokäyttäytymisestä Kalajoen ja Raahen välisellä rannikkoalueella.

3.2 Käytetyt menetelmät

Kalajoen ja Raahen rannikkoalueen kautta muuttavien lintulajien osalta tämän työn yhteydessä analysoitiin tarkemmin vain laulujoutsenen sekä harmaahanhilajien (meri-, metsä- ja lyhytnokkahanhi) muuttokäyttäytyminen, koska kevään 2011 muutontarkkailun aikana vain niiden muutosta saatiin riittävän edustava kuva. Lajien muuttokäyttäytymisen (mm. muuttoreitit, lentokorkeudet) tarkempi analysointi on mahdollista vain kattavaan maastohavainnointiin perustuvan aineiston avulla.

Kevään 2011 havaintoaineiston perusteella tuotettiin kartta laulujoutsenen sekä harmaahanhilajien muuton painopistealueista Kalajoen–Raahen rannikkoalueella sekä arvio alueen kautta muuttavien lintujen yksilömäärästä. Olemassa olevan havaintoaineiston perusteella tuotettiin kartta laulujoutsenen ja harmaahanhilajien merkittävimmistä muutonaikaisista lepäilyalueista Kalajoen ja Oulunseudun kerääntymisalueen välisellä rannikkoalueella.

3.2.1 Kevään 2011 muutontarkkailu

Muutontarkkailu toteutettiin perinteisellä näkyvän muuton seurantamenetelmällä, missä lintuja tarkkaillaan hyvältä näköalapaikalta ja kaikki havaitut linnut kirjataan ylös. Havaituista linnuista merkittiin parvikohtaisesti ylös kellonaika, laji, yksilömäärä, lentosuunta ja lentokorkeus sekä tiedot etäisyydestä ja ohituspuolesta havainnointipaikkaan nähden. Havainnot kirjattiin maastossa vihkoon tai erillisille havaintolomakkeille ja siirrettiin myöhemmin tarkoitusta vasten suunniteltuun Excel-taulukko, joka mahdollisti laajojen aineistojen jouhevan käsittelyn.

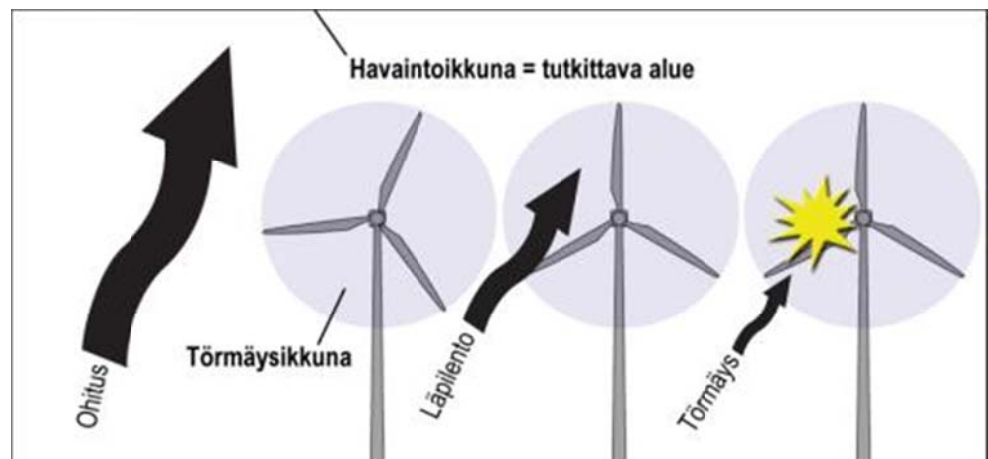
Muutontarkkailu kohdennettiin laulujoutsenen ja harmaahanhilajien päämuuttokaudelle, ja tarkkailupäivät ajoitettiin vallitsevan säätilan sekä muuton etenemisen suhteen hyväksi oletettuihin muuttopäiviin. Muutontarkkailun päivittäinen havainnointiaika ajoittui aamuvarhaisesta aina alkuiltapäivään saakka, tai niin pitkään kuin muuttoa jatkui.

Kalajoen kautta muuttavan linnuston havainnointi tapahtui yhtä aikaa useammasta havainnointipisteestä, jolloin eri paikoilla on havainnoitu osittain samoja lintuja. Kalajoen havainnointipisteissä kerätyt havaintoaineistot yhdistettiin ja jaettiin yhden kilometrin levyisille vyöhykkeille havaintopaikkojen eri puolille. Päivä ja lajikohtaisia havaintomääriä vertailemalla eri havaintopaikkojen kesken voitiin muodostaa luotettava käsitys Kalajoen rannikkoalueen kautta muuttaneiden lintujen lukumäärästä ja muuttoväylän painopistealueista kevään 2011 osalta. Raahen eteläisten tuulivoimapuistojen ja Raahen itäisten tuulivoimapuistojen havaintoaineisto yhdistettiin samalla periaatteella 2 km levyisiltä vyöhykkeiltä, jolloin voitiin muodostaa käsitys ko. alueiden kautta muuttaneiden lintujen yksilömäärästä.

3.2.2 Törmäysmallinnus

Tuulivoiman haittavaikutukset lintuihin jaetaan yleisesti kahteen luokkaan, suoriin ja epäsuoriin vaikutuksiin. Suorista vaikutuksista yksi esimerkki ovat törmäykset tuulivoimaloihin, jotka vaikuttavat suoraan lintujen populaatiokokoa pienentävästi. Törmäysten mallintamiseen on viime vuosina ollut saatavilla tähän tarkoitukseen laadittu mallinnusohjelma (Band ym. 2007), jota on käytetty myös useissa kotimaisissa linnuston törmäysarvioinneissa (esim. Eskelin ym. 2009).

Törmäysmallinnus toteutettiin Band ym. (2007) metodien avulla. Jotta mahdollinen törmäys voisi ylipäänsä tapahtua, täytyy kahden todennäköisyyden täyttyä samalla hetkellä kun lintu lentää määritellyssä ja tutkimuksen kohteena olevassa havaintoikkunassa: 1) todennäköisyys jolla roottori osuu linnun lentoreitille (ns. törmäysikkuna) ja lintu lentää sen läpi, 2) todennäköisyys, jolla kyseinen lintu osuu pyörivään roottoriin (kuva 2). Ensimmäinen todennäköisyys muodostuu törmäysikkunan ja havaintoikkunan pinta-alojen suhteesta. *Törmäysikkuna* on kohtisuoraan lintujen lentosuuntaa vastaan oleva ilmatila, jonka tuulivoimaloiden yhteenlaskettu roottoripinta-ala peittää. *Havaintoikkuna* on lentosuuntaan kohtisuorassa oleva ilmatila, jonka läpi linnut ylipäätään voisivat lentää (eli tutkittava alue).



Kuva 2. Havainnollistava esimerkki törmäyslaskelman periaatteista. *Havaintoikkuna* on tutkittava ilmatila, missä linnut liikkuvat. *Törmäysikkuna* koostuu tuulivoimapuiston roottorien yhteenlasketuista pyyhkäisyalueista. Linnut voivat lentää havaintoikkunan sisällä törmäysikkunan ohi (ohitus), ja törmäysikkunan läpi osumatta roottoriin (läpilento) tai törmätä siihen (törmäys). Kuva: Pöyry Finland Oy.

Tässä tutkimuksessa havaintoikkunoiden rajat määriteltiin lintujen muuttoreittien ja tuulivoimapuistoalueiden leveyden perusteella. Törmäysikkunat määritettiin suunniteltujen tuulivoimaloiden koon perusteella. Muuttoreitit ja törmäyskorkeudella lentävien lintujen osuus määritettiin kevään 2011 maastohavainnoinnin aineistosta. Arvio voimaloihin törmäävien lintujen lukumäärästä saadaan kertomalla törmäysikkunan läpi lentävien lintujen lukumäärä lajikohtaisella törmäystodennäköisyydellä. Mallissa käytetty laskennallinen törmäystodennäköisyys perustuu lintujen fyysisiin mittoihin sekä lentonopeuteen ja tuulivoimaloiden teknisiin ominaisuuksiin. Lajikohtainen törmäystodennäköisyys laskettiin tarkoitusta varten kehitetyn Excel-pohjaisen laskurin avulla (Scottish Natural Heritage 2010a).

Kalajoen–Raahen tuulivoimapuistoille määriteltiin yhteensä kolme havaintoikkunaa, joiden läpi tutkimuksen kohteena olevat linnut lentävät kevätmuutolla (kuva 3). Keväällä 2011 suoritetun muutontarkkailun perusteella Raahen itäisiin tuulivoimapuistoihin kuuluva Annankankaat–Nikkarinkartojen hankealue jätettiin törmäysmallinnuksen ulkopuolelle, koska lintujen keskittynyt päämuuttoreitti kulkee alueen länsipuolelta ohi. Annankankaat–Nikkarinkaarroilla havaittujen lintujen lukumäärät ovat vähäisiä eikä rannikon läheisyydessä kulkevalla päämuuttoreitillä havaittujen lintujen muuttosuuntien perusteella ole odotettavissa, että

merkittävä osa kääntyisi kulkemaan Annankankaat–Nikkarinkaartojen tuulivoimapuistoalueen kautta. Törmäysmallinnuksen havaintoikkunat määriteltiin seuraavalla tavalla:

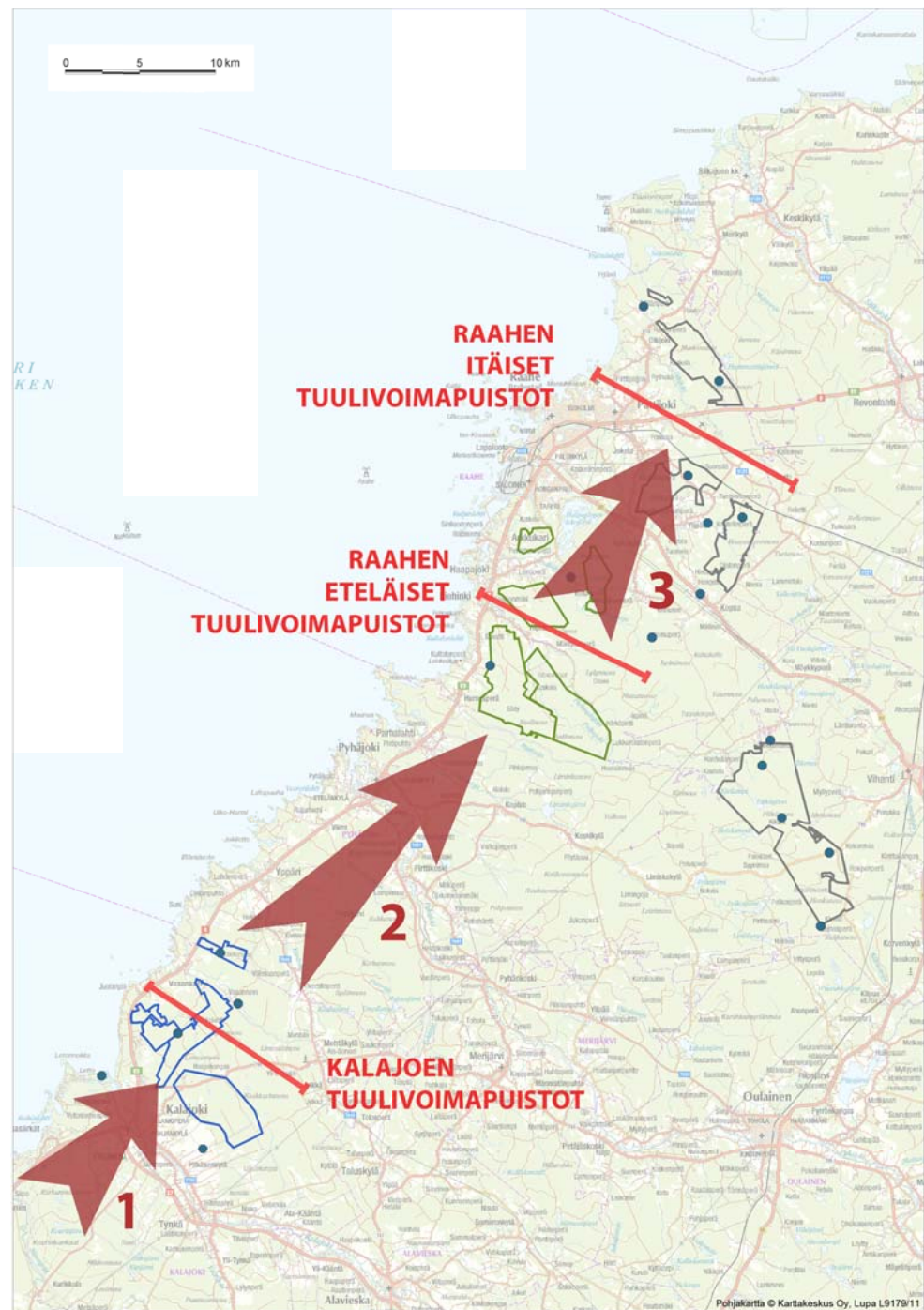
1. Ensimmäisessä vaiheessa linnut lentävät Kalajoen tuulivoimapuistojen läpi. Kalajoella havaintoikkunan kooksi määritettiin 120 m korkea ja 11 500 m leveä ($A = 1\,380\,000\text{ m}^2$) kohtisuoraan lintujen lentosuuntaa oleva alue. Törmäysikkunan muodostivat yhteensä 91 tuulivoimalaa, joiden roottorien yhteispinta-ala on $1\,029\,186\text{ m}^2$. Törmäysikkunan ja havaintoikkunan suhdeluvuksi saadaan näillä luvuilla 0,75.
2. Kalajoen jälkeen päämuuttoreittiä kulkevat linnut lentävät Raahen eteläisten tuulivoimapuistojen läpi, missä havaintoikkunan kooksi määritettiin 120 m korkea ja 12 000 leveä ($A = 1\,440\,000\text{ m}^2$) kohtisuoraan lintujen lentosuuntaa oleva alue. Törmäysikkunan muodostivat yhteensä 87 tuulivoimalaa, joiden roottorien yhteispinta-ala on $983\,947\text{ m}^2$. Törmäysikkunan ja havaintoikkunan suhdeluvuksi saadaan näillä luvuilla 0,68.
3. Raahen eteläisten tuulivoimapuistojen jälkeen päämuuttoreitin linnut lentävät Raahen itäisiin tuulivoimapuistoihin kuuluvien Pöllänperän–Yhteisenkankaan hankealueiden läpi, missä havaintoikkunan leveys on 14 300 m ja korkeus 120 m ($A = 1\,716\,000\text{ m}^2$). Törmäysikkunan muodostivat yhteensä 96 tuulivoimalaa, joiden roottorien yhteispinta-ala on $1\,085\,734\text{ m}^2$. Törmäysikkunan ja havaintoikkunan suhdeluvuksi saadaan näillä luvuilla 0,63.

Alkuperäisen mallin perusolettamuksia korjattiin sen realistisuuden parantamiseksi. Alkuperäinen malli ei lähtökohtaisesti huomioi esimerkiksi lintujen tekemiä väistöliikkeitä niiden kohdatessa tuulivoimaloita. Väistöliikkeet huomioidaan käyttämällä väistökertoimia (Scottish Natural Heritage 2010b). Väistöliikkeellä tarkoitetaan sitä, että havaitessaan tuulivoimalan lintuysilö muuttaa lentoreittiään kiertääkseen sen. Tuulivoimaloiden väistö voi tapahtua kahdessa vaiheessa:

1. Linnut lähtevät kiertämään voimaloita jo heti havaittuaan ne, koska hyvissä sääolosuhteissa kookkaat tuulivoimalat näkyvät varsin kauas ja linnuilla on siten hyvät mahdollisuudet ja runsaasti aikaa muuttaa lentorataansa jopa muutaman kilometrin etäisyydeltä siten, että ne eivät edes joudu voimaloiden lähietäisyydelle.
2. Linnut huomaavat voimalat ns. viime hetkellä, kun ne ovat ajautuneet voimaloiden läheisyyteen, mutta pystyvät vielä lentorataansa muuttamalla ylittämään tai kiertämään ne, tai väistämään pyörivät lavat ja lentämään tuulivoimapuiston läpi. Tässä tapauksessa väistön onnistuminen riippuu hyvin voimakkaasti linnun fyysisistä ominaisuuksista ja lajikohtaiset erot voivat olla suuria.

Törmäyslaskelmissa väistökertoimenä käytettiin varovaisuusperiaatteen mukaisesti 95 %:a. Tuoreimmissa eurooppalaisissa tutkimuksissa on huomattu, että jopa 98 % linnuista väistäisi voimaloita (mm. Desholm & Kahlert 2005, Whitfield ym. 2009, Scottish Natural Heritage 2010b). Väistön yleisyyteen vaikuttavat kuitenkin useat paikalliset ja lajikohtaiset tekijät, eikä siitä ole vielä Suomesta saatavilla tietoa nyt tutkittavien lajien osalta ja näin vilkkaan muuttoreitin varrelta.

Laajojen useita tuulivoimapuistoja käsittävien yhteisvaikutusten arviointi törmäysmallinnuksen osalta on hankalaa, eikä siihen ole olemassa selviä suuntaviivoja aiemmista vastaavista tutkimuksista. Tässä yhteydessä päädyttiin käyttämään Band ym. (2007) törmäysmallinnusta, jossa lintujen lentoreitti mallinnetaan kulkemaan tuulivoimapuistojen läpi useassa vaiheessa (kuva 3). Suunnittelujen voimaloiden koko ja törmäysriskikorkeudet vaihtelevat hieman eri tuulivoimapuistojen välillä, mutta mallin yksinkertaistamiseksi laskennassa valittiin suurin suunnitteilla ollut tuulivoimalan tyyppi, jonka roottorin halkaisija on 120 m. Lisäksi lintujen lentokorkeudet yleistettiin kevään 2011 maastohavainnoinnin perusteella siten, että 80 % linnuista lentää törmäysriskikorkeudella eli törmäysikkunan läpi. Lintujen lentokorkeuksissa ei havaittu merkittäviä eroja Kalajoen ja Raahen välillä.



Kuva 3. Törmäysmallinnuksen laskentaperiaate, missä linnut lentävät suunniteltujen tuulivoimapuistojen läpi kolmessa vaiheessa. Kuvassa on esitetty myös kevätmuutontarkkailun aikana käytetyt havaintopisteet.

3.2.3 Populaatiomallinnus

Populaatiotason vaikutuksia arvioitaessa paras lähestymistapa on verrata populaation arvioitua nykytilannetta (*lähtöpopulaatio*) siihen tilanteeseen, jossa tuulivoimaloiden aiheuttama törmäyskuolleisuus on otettu huomioon. Lähtöpopulaation parametrit muodostetaan kirjallisuudesta saatavan tiedon perusteella. Tuulivoimaloiden aiheuttaman lisäkuolleisuuden vaikutusta populaation kasvuun voidaan arvioida ns. matriisipopulaatiomalleilla (esim. Caswell 2001). Malli huomioi eri ikäluokkien merkityksen populaation kasvuille. Törmäysmallinnuksen

avulla lasketaan teoreettinen tuulivoiman aiheuttama lisäkuolleisuus, ja lisäkuolleisuuden merkitystä populaation kasvulle arvioidaan matriisimallinnuksella. Vasta populaatiomallinnuksen jälkeen saadaan selville tutkittavana olevan tuulivoimapuiston teoreettiset törmäysvaikutukset tarkastelun kohteena olevalle lintupopulaatiolle. Jotta populaatiomallinnus voidaan tehdä, törmäysmallissa oletetaan, että jokainen tuulivoimalaan törmännyt lintu menehtyy.

Lähtöpopulaatio on tarkastelun kohteena olevan populaation nykytila, eli lintujen tämän hetkinen yksilömäärä. Lintujen törmäyksistä aiheutuvan lisäkuolleisuuden vaikutukset lajille saadaan selville, kun mallinnetaan törmäyskuolleisuudesta kärsivän populaation tilaa (yksilömäärä) tietyn aikayksikön päähän (esim. 10 vuotta). Törmäysmallinnusten populaatiokoot on arvioitu asiantuntijatyönä kevään 2011 aikana suoritettun maastohavainnoinnin perusteella sekä olemassa oleviin aineistoihin tukeutuen (mm. Tuohimaa 2009, Eskelin ym. 2009, PPLY & KPLY). Populaatiodynaamisen mallin ennuste ei ole riippuvainen lähtöpopulaatiosta eli mallin mukaisella törmäyskuolleisuudella kasvukäyrä on samanlainen käytetystä lähtöpopulaation koosta riippumatta.

Törmäysten vaikutuksia populaatioiden kasvukertoimiin arvioitiin popTools v.3.2.5 -ohjelmalla (Hood 2011). Lähtöpopulaatioiden mallinnuksessa käytetyt parametrit (poikastuotto sekä poikas- ja aikuissäilyvyydet) muodostettiin kirjallisuudesta saatavan tiedon ja Eskelin ym. (2009) periaatteiden mukaisesti.

3.3 Arviointimenetelmät

Suunniteltujen tuulivoimapuistojen vaikutuksia alueen kautta muuttavaan linnustoon arvioitiin hyödyntämällä tuulivoiman linnustovaikutuksista julkaistua tuoreinta kirjallisuustietoa. Kotimaisia tutkimuksia tuulivoiman linnustovaikutuksista ei ole vielä juurikaan olemassa, joten arviointi perustuu pääosin muualta maailmasta saatavissa olevaan tietoon. Tämän työn yhteydessä arvioitiin tarkemmin alueen kautta muuttaviin laulujoutseniin sekä harmaahanhilajeihin kohdistuvat törmäys- ja estevaikutukset. Lisäksi arvioitiin yleisellä tasolla ja olemassa olevan tiedon perusteella muuhun alueen kautta muuttavaan lajistoon kohdistuvia vaikutuksia.

Tässä työssä mallinnusten tulokset on esitetty kahdella eri tavalla:

1. oletuksella, että muuttavista linnuista 95 % väistää tuulivoimaloita, kuten useat tulokset maailmalta osoittavat ja
2. oletuksella, että linnut eivät väistä tuulivoimaloita.

Näin ollen tulokset edustavat kahta laskennallista ääripäätä. Törmäävien lintujen todellinen lukumäärä riippuu mm. useista lajikohtaisista ja paikallisista tekijöistä (mm. muuttoreittien luonne, muuttava lajisto, lintujen lukumäärä, lepäilyalueiden sijainti, säätila) eikä näistä ole Suomen olosuhteissa vielä kokemusta. Normaalitilanteessa todellinen törmäävien lintujen lukumäärä on hyvin todennäköisesti lähellä oletusta, jonka mukaan noin 95 % linnuista kykenee väistämään voimat. Eri tekijöiden vaikutuksesta törmäävien lintujen lukumäärät voivat olla ajoittain merkittävästikin suurempia, koska esim. huonolla näkyvyydellä (esim. sumulauttoja) voimat ovat huonosti havaittavissa tai kova sivutuuli saattaa vaikeuttaa voimatoimien väistämistä. Tällaisten tilanteiden yleisyyttä ja merkittävyyttä on kuitenkin erittäin vaikea ennustaa luotettavasti. Tämän vuoksi on perusteltua esittää myös teoreettinen maksimi ja ns. pahin mahdollinen tilanne, jossa linnut eivät väistä voimaloita. Tämän työn tulosten lopullinen arviointi ja johtopäätökset on esitetty sen mukaan, että 95 % linnuista väistää tuulivoimaloita.

4 TULOKSET

Seuraavissa kappaleissa esitellään Kalajoen ja Raahen välisellä rannikkoalueella kulkevan lintujen kevätmuuton yleispiirteet sekä tarkemmin muuton kuva laulujoutsenella, metsähanhella, merihanhella ja lyhytnokkahanhella. Lisäksi esitellään ko. lajeille tehdyn törmäysmallinnuksen tulokset ja törmäysten vaikutus alueen kautta muuttavaan populaatioon kevätmuuton osalta.

4.1 Muuttolinnuston yleiskuvaus

Keväällä Pohjanlahden rannikkolinja on Suomenlahden rannikon lisäksi yksi tärkeimmistä lintumuuton johtolinjoista koko Suomessa. Useiden lajien päämuuttoreitit noudattelevat tätä johtolinjaa. Suurikokoisista lajeista joutsenten sekä metsä-, meri- ja lyhytnokkahanhien muutto on hyvin keskittynyt rantaviivaa seuraavalle kapealle vyöhykkeelle, jota pitkin kulkee valtaosa koko Perämeren läpimuuttavasta kannasta. Kurjet ja petolinnut muuttavat hieman kauempana sisämaassa leveänä rintamana, joka sekin tiivistyy pikkuhiljaa rannikolle pohjoiseen päin edettäessä.

Lintujen muutonkuva Perämeren rannikolla on pääpiirteiltään samankaltainen noin Kokkolan seudulta Raahen saakka. Tähän Perämeren rannikon eteläosan muuton kuvaan vaikuttaa erityisesti Suomen merkittävien lintujen muutonaikainen levähdysalue, Oulunseudun kerääntymisalue, jonne suunnatessaan suuri osa linnuista seurailee Perämeren eteläosan rannikkoa. Kevätmuutolla Kalajoen–Raahen välillä lähes kaikki linnut muuttavat kapealla vyöhykkeellä rannikkolinjaa seuraten pohjoisen ja koillisen suuntaan (Tuohimaa 2009).

Vallitsevat sääolosuhteet vaikuttavat voimakkaasti lintujen muuttokäyttäytymiseen ja mm. kykyyn väistää tuulivoimaloita. Suurin vaikutus on tuulella. Yleisesti linnut suosivat kohtalaista myötätuulta, mutta muutto tapahtuu myös vastatuuleen, jolloin se tapahtuu keskimäärin matalammalla. Sivutuuli siirtää lintujen muuttoreittiä. Idän puoleiset tuulet tiivistävät muutto entisestään Perämeren rannikolle, ja länsituulilla tilanne kääntyy päinvastaiseksi. Myös näkyvyydellä on merkitystä lintujen muuttokorkeuteen, koska sateella tai sumussa linnut muuttavat alempana kuin hyvällä näkyvyydellä (Tuohimaa 2009).

Kalajoen kohdalla hanhien ja joutsenten muuttovirta kulkee pääosin Kalajokisuiston ja siitä muutaman kilometrin sisämaahan sijoittuvan Pitkäsenkylän laajan peltoalueen välissä. Nämä pellot ovat myös merkittävä muutonaikainen levähdysalue useille lajeille. Osin tästä lepäilyalueesta, osin rannikkolinjan muodosta johtuen vilkkain muuttoreitti kulkee Kalajoen kohdalla hieman muuta rannikkolinjaa sisempänä, ja pääosin valtatie 8:n itäpuolella. Valtaosa hanhista ja joutsenista muuttaa Kalajokisuiston ja Holmanperän–Lepistönperän kautta koilliseen ja suuntaa valtatie 8:n itäpuolelle hieman Kalajoen keskustan pohjoispuolella. Siitä muutto jatkuu pääasiassa pohjoiskoilliseen seuraten taas valtatie 8:aa noin Vasankarin–Yppärin kohdalta eteenpäin.

Pyhäjoen ja Raahen eteläosien kohdalla muuttovirta seuraa tiiviimmin rannikkoa. Etenkin Hanhikivenniemen pohjoispuolella sijaitsevan Kultalanlahden kohdalla muuttoväylä on hyvin kapea valtatie 8:n molemmin puolin. Siitä päämuuttoväylä jatkuu pohjoiskoilliseen Raahen keskustan itäpuolelta kohti Pattijoen kylää. Tässä kohtaa muuttoreitti alkaa hajota osan linnuista kääntyessä koilliseen kohti Liminganlahden pohjukkaa ja Tyrnävän peltolakeuksia osan linnuista jatkaessa suoraan kohti Siikajokea.

Petolinnut ja kurjet muuttavat pääosin kauempana sisämaan yllä ja leveämpänä rintamana pohjoiseen. Perämeren rannikkolinja on lounais-koillis-suuntainen, jolloin pohjoiseen päin edettäessä suurempi osuus linnuista saapuu rannikolle. Näin ollen havaitut petolintujen ja kurkien määrät olivat suurempia Raahen havainnointipaikoilla kuin Kalajoella. Idän puoleiset tuulet painavat muutto lännemmäs, jolloin muuttovirta tiivistyy rannikolle aikaisemmin ja etelämpänä. Tästäkin huolimatta etenkin kurjet muuttavat pääosin selvästi tarkasteltavien alueiden itäpuolelta.

4.1.1 Laulujoutsen

Laulujoutsen on EU:n lintudirektiivin I-liitteen laji, minkä lisäksi se kuuluu Suomen kansainvälisiin erityisvastuulajeihin (EVA).

Kevään 2011 yhteistarkkailussa laulujoutsenia havaittiin noin 5300. Lisäksi noin tuhat laulujoutsenta havaittiin ennen tarkkailujakson alkua (PPLY & KPLY), joten kevään 2011 joutsenten havaittu yhteismäärä oli noin 6300 yksilöä.

Keväällä 2010 Kalajoen ja Raahen välillä havaittiin Tiira-havaintoaineiston mukaan (PPLY & KPLY) noin 5400 laulujoutsenta. Kevään 2009 havaittujen muuttajien vähimmäismäärä oli 6100 yksilöä (Tuohimaa 2009). Tuolloin Siikajoen Tauvon lintuasemalla havaittiin vähintään 5500 laulujoutsenta (Mikko Ojanen, kirjall. ilm.).

Tuohimaa (2009) arvioi Pyhäjoen Parhalahden kautta muuttavan laulujoutsenen kevätmuuttokannaksi vähintään 8000–11000 yksilöä. Määrä on vuorokauden valoisana aikana arviolta havaittava yksilömäärä, eikä siten sisällä yömuutolla mahdollisesti havaitsematta jääviä yksilöitä. Luku voidaan yleistää koskemaan myös Kalajoen–Raahen tuulivoimapuistoalueiden läpimuuttokantaa, sillä kaikki paikat sijaitsevat saman muuttoreitin varrella.

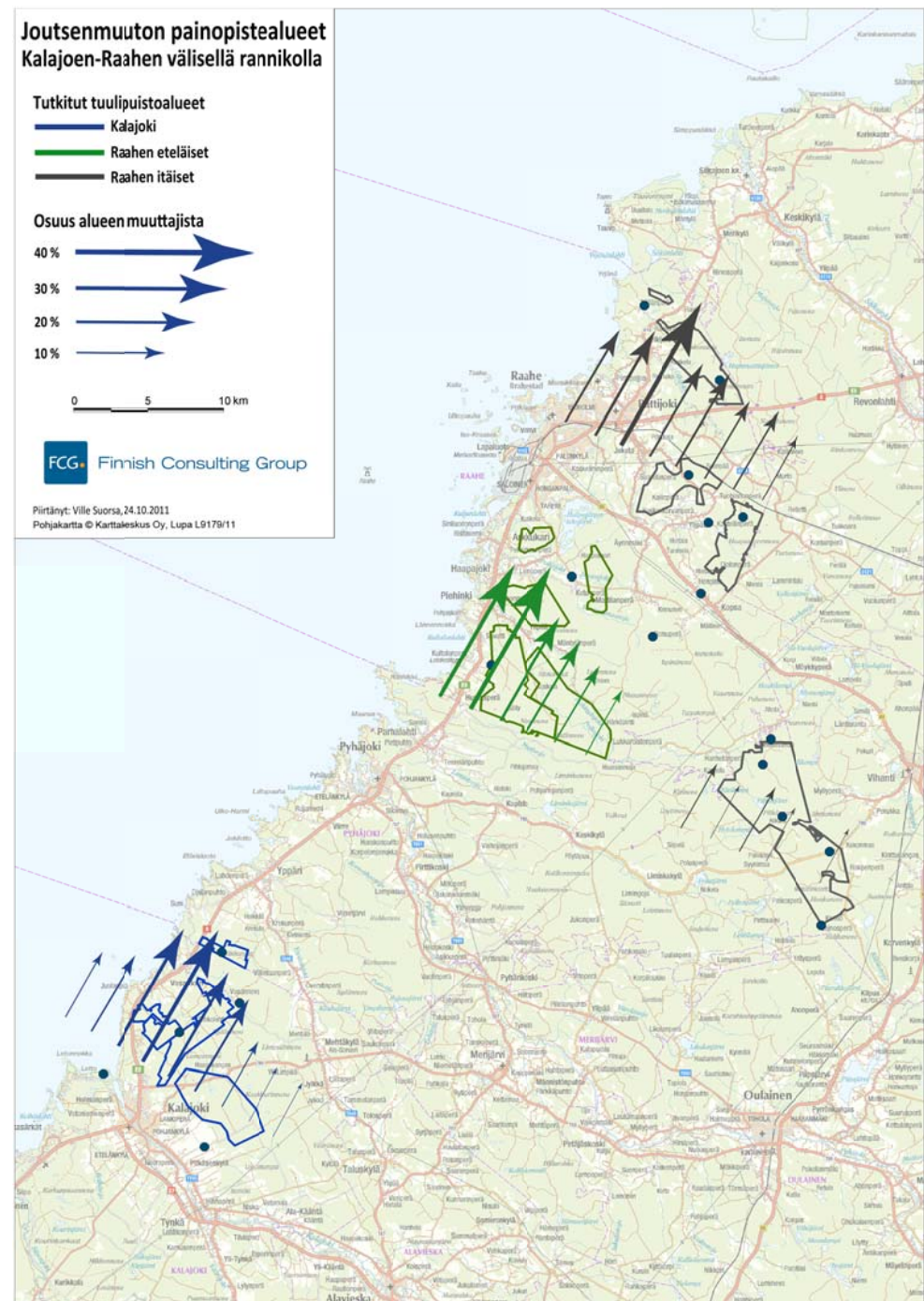
Syksyllä joutsenten muuttajamäärät ovat kevättä suuremmat. Kalajoella on enimmillään havaittu 10000 muuttajaa vuonna 2008, ja Kalajoen syysmuuttokannaksi on arvioitu 15000–20000 yksilöä (Seppo Pudas, Tuohimaan 2009 mukaan). Laulujoutsenen pesimä- ja muuttokanta on kasvanut selvästi viimeisen 10 vuoden aikana.

Syksyllä joutsenia kerääntyy Perämeren rannikkoseudulle (kuva 6) aina marras-joulukuulle saakka, jolloin sään muutos kylmemmäksi ja tuulten kääntyminen pohjoiseen saa useina syksyinä aikaan näyttäviä joukkomuuttoja. Tähän saakka voimakkein muuttoreyntäys koettiin 1.11.2008, jolloin Kalajoella havaittiin yhden päivän aikana jopa 6500 yksilöä. Muuttoreyntäys tapahtui luoteistuudessa, jolloin muuttoreitti painui mantereelle ylle, ja näin ollen hyvin todennäköisesti tuhannet joutsenet lensivät suunniteltujen tuulivoimapuistojen läpi. Muuttoa havainnointiin Vihaspauhan niemessä, josta näkyvyys sisämaahan on rajallinen. Havainnoijan mukaan päivän todellinen muuttajamäärä oli todennäköisesti vieläkin suurempi, sillä valtaosa linnuista ohitti havainnointipaikan sisämaan puolelta, jolloin osa linnuista on todennäköisesti jäänyt havaitsematta (Seppo Pudas, suull. ilm.). Päivän aikana vallitsi myös lumisade, mikä häytti näkyvyyttä, ja lisäksi muutto jäi jatkumaan vielä pimeään tultua.

Laulujoutsenen muutto kulkee sekä keväällä, että hanhista poiketen myös syksyllä, hyvin tiiviinä Perämeren rannikkolinjaa seuraavaa reittiä. Tällä reitillä havaitut muuttaja- ja lepäilijämäärät ovat yleensä Suomen suurimpia. Kevään 2011 havaintojen perusteella päämuuttoreitti on leveydeltään noin 5 km (kuva 4). Sekä Kalajoen että Raahen Piehingin kohdalla n. 70 % joutsenista muutti noin 2 km levyisellä vyöhykkeellä valtatie 8:n molemmin puolin. Raahen pohjoispuolella muuttovirta ei hajaannu siinä määrin kuin hanhilla, vaan joutsenet jatkavat suoraan kohti Siikajokea. Todennäköisesti vasta Siikajoen pohjoispuolella joutsenet hajaantuvat laajemmin Oulunseudun kerääntymisalueelle.

Päämuuttoreitin tarkka sijoittuminen riippuu vallitsevista tuulista. Syksyllä tämä muuntelu on kevättä suurempaa (Tuohimaa 2009): pohjois- ja koillistuulella vilkkaasti muuttoreitti kulkee joko aivan rannikon tuntumassa tai merellä muutaman kilometrin päässä rantaviivasta, jolloin valtaosa muuttajista välttää tuulivoimapuistot. Sitä vastoin luoteistuuli painaa muuttovirtaa kauemmas rannikon ylle ja sisämaahan, jolloin tuulivoimapuistojen kautta muuttavien joutsenten määrä kasvaa merkittävästi. On huomioitavaa, että syksyllä joutsenet muuttavat yleensä juuri luoteistuulilla, jolloin esim. Kalajoella valtaosa muuttokannasta kulkee suunniteltujen tuulivoimapuistojen länsiosien kautta (Seppo Pudas, suull. ilm.).

Tiira-aineiston (PPLY & KPLY) perusteella syksyllä 2011 Kalajoella havaittiin yhteensä 5630 laulujoutsenta. Raporttia kirjoitettaessa, leudon syksyn vuoksi, joutsenmuutto oli vielä osin kesken, joten todellinen muuttajamäärä lienee selvästi tätä suurempi. Tiira-aineiston mukaan lähellä Kalajokisuuta sijaitsevassa Äijän kalasatamassa havaittiin kaksi yli 500 joutsenen muuttopäivää, joista 8.11. luoteistuulessa muuttaneista yli 1000 joutsenesta noin 90 % ohitti havainnointipaikan itäpuolelta. Nämä linnut ovat hyvin todennäköisesti lentäneet Kalajoen tuulivoimapuistoalueiden läpi. Sitä vastoin 14.11. pohjoisen ja koillisen välisessä tuulessa muutti 758 yksilöä, joista 10,5 % ohitti paikan itäpuolelta loppujen muuttaessa lännessä rantaviivaa seuraten tai merellä eli tuulivoimapuistojen länsipuolelta. Joutsenmuuton venyessä pitkälle alkutalveen linnut muuttavat yleensä useammin rantaviivaa seuraten meren yllä kuin mantereella (Seppo Pudas ja Erkki Lämsä, suul. ilm.).



Kuva 4. Laulujoutsenen muuton painopistealueet Kalajoen ja Raahen välisellä rannikkoalueella kevään 2011 muutontarkkailun perusteella.

Joutsenten lentokorkeus on keskimäärin matalampi kuin hanhilla. Kalajoen Tohkojan kevään 2011 aineistossa 60 % linnuista lensi törmäyskorkeudella (50–200 m) ja loput sen alapuolella. Vain 11 yksilöä havaittiin lentävän yli 200 metrissä. Myös syksyllä lentokorkeudet ovat samaa luokkaa (mm. Taavetti 2011).

Perinteisesti joutsenet ovat syksyllä käyttäneet lepäily- ja ruokailualueinaan matalia merenlahtia. Viime vuosina (2000-luvulla) ne ovat alkaneet käyttää ruokailuun myös peltoja, jotka voivat sijaita melko kaukanakin meren rannasta. Esimerkiksi Pyhäjoella Yppärijoen varsipelloilla (Välimaanperä) ruokaili lokamarraskuussa 2011 lähes 2000 joutsenta. Ne lensivät yöpymään merelle Kalajoen Vaajakariin, jolloin ne kulkevat hyvin kapeaa reittiä osittain Mälikankaan suunnitellun tuulivoimapuiston läpi (Seppo Pudas, suull. ilm.). Yksittäisen linnun kannalta estevaikutus on suurempi, jos se kohdistuu lintujen päivittäisiin lentoreitteihin (esimerkiksi lentäminen ruokailu- ja lepäilyalueiden välillä) kuin jos se kohdistuu vuosittaiseen muuttoreittiin. Joutsenet voivat ruokailla samoilla pelloilla jopa useiden viikkojen ajan, jolloin linnut lentävät samaa reittiä kymmeniä kertoja. Tämä ”poikittaisliikenne” voi siis moninkertaistaa yhden syksyn aikana tuulivoimapuistojen läpi lentävien lintujen lukumäärän. Lisäksi lennot ruokailupeltojen ja merenrannan välillä tapahtuvat yleensä lähes pimeässä. Tuulivoimapuiston rakentaminen lintujen lentoreittien ns. pullonkaula-alueille eli muuton aikaisille keskittymäalueille sekä päivittäisdynamiikan muodostamille pullonkaula-alueille saattaa aiheuttaa häirintä- ja estevaikutuksia sekä lisätä törmäysriskiä. Päivittäisdynamiikalla tarkoitetaan esimerkiksi juuri sitä, että joutsenet ruokailevat pelloilla ja yöpyvät merellä, minkä vuoksi ne lentävät hämärässä kahdesti päivässä samaa reittiä tuulivoimapuiston läpi (Pöyry Management Consulting Oy 2011) Ruokailupellot ja lepäilykauden pituus vaihtelevat luultavasti vuosittain, mutta ilmiö lienee nykyisin jokasyksyinen.

4.1.2 Metsähanhi

Metsähanhi on uhanalaisluokituksessa luokiteltu silmälläpidettäväksi (NT) lajiksi. Lisäksi metsähanhen *fabalis* -alalaji, johon valtaosa Suomen ja Fennoskandian pesimäkannasta ja valtaosa Pohjanlahden rannikkoa muuttavista linnuista kuuluu, on luettu Suomen kansainvälisiin erityisvastuulajeihin (EVA).

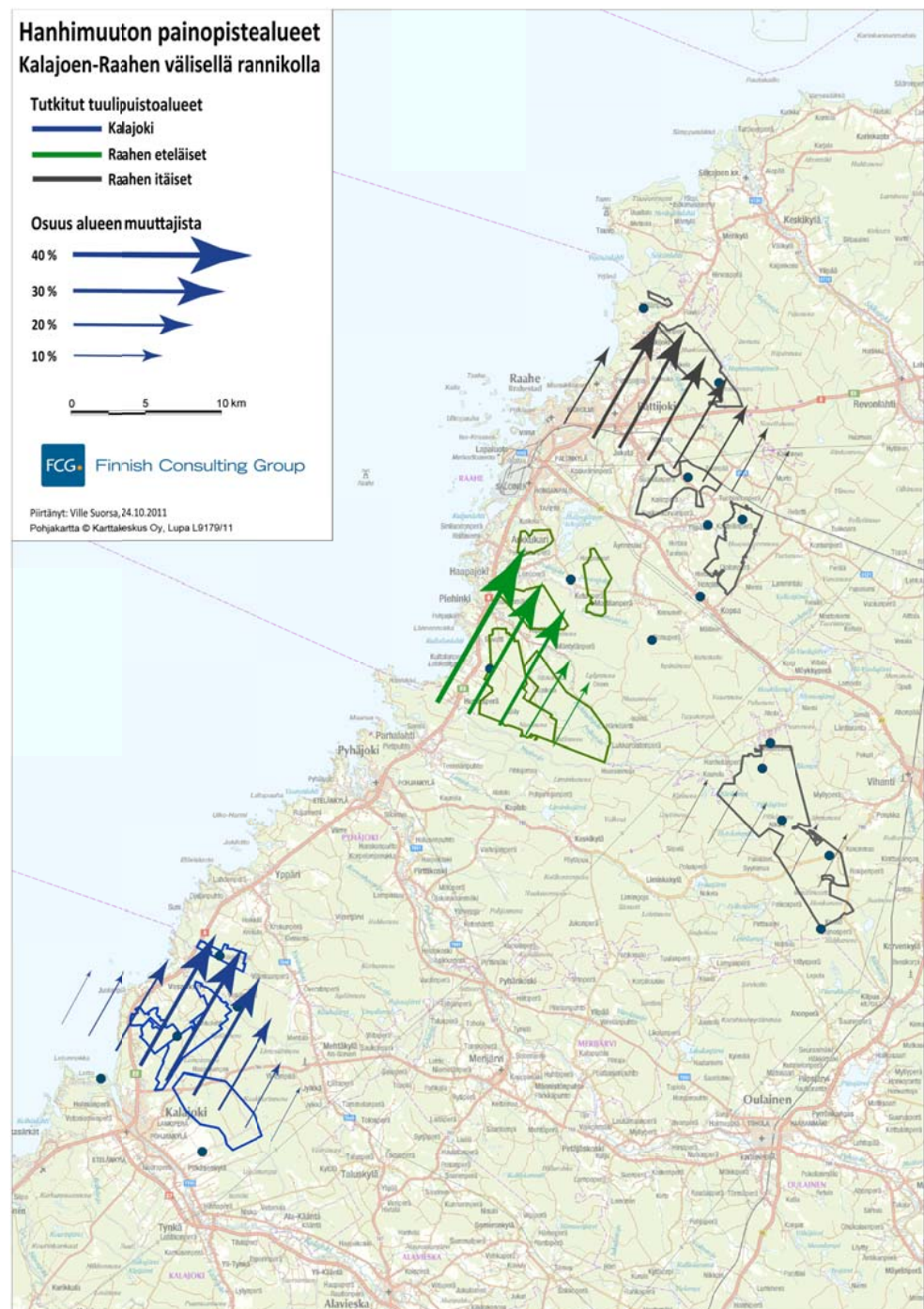
Joutsenen tapaan keväällä *fabalis* -alalajin havaitut muuttaja- ja lepäilijämäärät ovat Suomessa suurimpia Perämeren rannikolla (mm. Pessa ym. 2004). Esimerkiksi Suomenlahdella ja Itä-Suomessa muuttavat metsähanhet kuuluvat pääasiassa tundralla pesivään *rossicus* -alalajiin. Kevään 2011 yhteistarkkailussa metsähanhia havaittiin noin 6000 yksilöä, minkä lisäksi havaittiin noin 6000 yksilöä määrittämättömiä harmaahanhia, jotka ovat hyvin todennäköisesti valtaosin metsähanhia. Kalajoen Tohkojan aineiston perusteella määrittämättä jääneet hanhet ohittivat havainnointipisteen pääasiassa sen itäpuolelta, jolloin ne olivat havainnoijaan nähden vastavalossa. Lähes kaikki itäpuolelta ohittaneet hanhet, jotka saatiin määritettyä, olivat metsähanhia, joten on perusteltua olettaa myös määrittämättömistä harmaahanhista valtaosan olevan metsähanhia. Näin ollen voidaan olettaa, että kevään 2011 metsähanhen kevätmuuttokanta on noin 12000 yksilöä.

Keväällä 2006 Pyhäjoen Tankokarissa ja Kalajoella havaittiin yhteensä 12000 metsähanhea, ja myös kevään 2009 summa oli yli 10000 yksilöä (Tuohimaa 2009). Keväällä 2007 Liminganlahden ympäristön lepäilyalueella havaittiin samanaikaisesti noin 10400 yksilöä, jolloin levähtäminen oli ajallisesti hyvin keskittyntä ja lyhytaikaista (Jorma Pessa, kirjall. ilm.).

Tuohimaa (2009) arvioi Pyhäjoen Parhalahdelta havaittavaksi metsähanhien kevätmuuttokannaksi 12000–15000 yksilöä, joka voidaan yleistää koskemaan myös Kalajoen–Raahan tuulivoimapuistoalueiden läpimuuttokantaa. Jorma Pessa (kirjall. ilm.) maksimikannanarvio kevätmuutosta on 16000 yksilöä.

Syksyllä metsähanhien muutto ei keskity kevään tapaan Perämeren rannikolle. Hanhet muuttavat leveänä rintamana niin sisämaan kuin merenkin yllä. Lisäksi keskimääräinen muuttokorkeus on kevääseen verrattuna selvästi korkeampi, ja muutto kulkee valtaosin törmäyskorkeuden yläpuolella. Muuttoa tapahtuu ke-

väästä poiketen myös yöllä, mikä vaikeuttaa muuttoreittien ja muuttajamäärien tarkempaa arviointia. Tiira-havaintoaineiston (PPLY & KPLY) mukaan Perämeren rannikolla on havaittu kohtalaisen voimakasta metsähanhimuuttoa myös syksyllä. Ylivoimaisesti suurin päiväsumma laskettiin 28.9.2009 Kalajoen Pitkäsenkylällä, missä muutti yhteensä 1478 harmaahanhaa ja kaikki lajilleen määritetyt linnut olivat metsähanhia. Samana päivänä Raahen Patti jokisuulla laskettiin 818 metsähanhaa, missä oli hyvin todennäköisesti kyse suurelta osin samoista linnuista kuin Kalajoella. Tästä voidaan päätellä, että myös syksyllä metsähanhet käyttävät osittain samaa muuttoreittiä kuin keväällä. Muita syksyisiä yli tuhannen hanhen muuttoja ei tunneta. Tuohimaa (2009) arvioi metsähanhien Parhahauden kautta kulkevaksi syysmuuttokannaksi noin 2000 yksilöä.



Kuva 5. Harmaahanhilajien muuton painopistealueet Kalajoen ja Raahen välisellä rannikkoalueella kevään 2011 muutontarkkailun perusteella.

Metsähanhen kevään päämuuttoreitti on keskimäärin hieman merihanhea ja laulujoutsenta itäisempi ja leveämpi (kuva 5). Keski-Pohjanmaan lintutieteellisen yhdistyksen alueella metsähanhen muuttovirta on kapeimmillaan Kalajoen pohjoisosissa, mistä muuttoväylä tiivistyy edelleen pohjoiseen, Pyhäjoelle ja Raahen päin.

Kalajoella, osin Pitkäsenkylän lepäilyalueesta ja osin rannikkolinjan muodosta johtuen, metsähanhet muuttavat hieman rannikkolinjaa sisempänä. Kevään 2011 tarkkailussa valtaosa linnuista muutti Kalajokisuiston ja Holmanperän–Lepistönperän kautta koilliseen ja suuntasi valtatie 8:n itäpuolelle hieman Kalajoen keskustan pohjoispuolella. Siitä muutto jatkui pääasiassa pohjoiskoilliseen seuraten taas valtatie 8:aa noin Yppärin kohdalta eteenpäin. Toinen selkeä valtaväylä kulki Pitkäsenkylän peltoaukean kautta eli hieman idempää. Todennäköisesti nämä reitit yhdistyvät pohjoisempana Pyhäjoen alueella ja Raahen eteläosien kohdalla. Etenkin Hanhikivenniemen pohjoispuolella, Kultalanlahden kohdalla, muuttoreitti on hyvin kapea ja keskittynyt kulkien n. 2–3 km levyistä vyöhykettä valtatie 8:n molemmin puolin. Siitä eteenpäin muuttoreitti levenee, todennäköisesti osin Raahen kaupungin vaikutuksesta ja hajoaa osan linnuista kääntyessä koilliseen kohti Liminganlahden pohjukkaa ja Tyrnävän–Muhoksen peltoja, osan jatkaessa suoraan kohti Siikajokea.

Metsähanhimuutto kulkee valtaosin törmäyskorkeudella, koska esim. Kalajoen Tohkojan kevään 2011 aineistossa 93 % metsähanhista lensi törmäyskorkeudella (50–200 m).

4.1.3 Merihanhi

Keväällä Perämerellä havaittavat merihanhen muuttajamäärät ovat muuhun Suomeen nähden korkeita Perämeren vahvasta pesimäkannasta ja kapeasta muuttolinjasta johtuen. Merihanhi on runsastunut Perämerellä viimeisen 20 vuoden aikana huomattavasti, ja lähes koko Perämeren pohjoisosan merihanhikanta seuraa muutolla Pohjanlahden rannikkolinjaa (Tuohimaa 2009).

Kevään 2011 yhteistarkkailussa merihanhia havaittiin noin 1800 yksilöä. Lisäksi aikaisena muuttajana merihanhia muutti jonkin verran jo ennen tarkkailujakson alkua (PPLY & KPLY). Nämä aikaiset muuttajat mukaan lukien merihanhienväestön kevään 2011 havaittu yhteismäärä oli noin 1920 yksilöä. Todellinen muuttajamäärä lienee kuitenkin suurempi, sillä määrittämättä jääneistä hanhista osa on hyvin todennäköisesti ollut merihanhia.

Keväällä 2009 merihanhia havaittiin Pyhäjoen ja Kalajoen aineiston perusteella noin 3000 (Tuohimaa 2009). Tuohimaa (2009) arvioi Pyhäjoen Parhalahden kautta muuttavan merihanhen kevätmuuttokannaksi 4000–6000 yksilöä. Luku voidaan yleistää koskemaan myös Kalajoen–Raahen tuulivoimapuistoalueiden läpimuuttokantaa, sillä kaikki paikat sijaitsevat saman muuttoreitin varrella.

Merihanhen kevätmuuton päämuuttoreitti on hyvin samankaltainen kuin joutsenella, ja metsähanheen verrattuna se on hieman läntisempi (kuva 4). Kalajoen kohdalla vilkkain reitti kulkee Kalajokisuiston kautta pohjoiskoilliseen käyden valtatie 8:n itäpuolella noin Lepistönperän ja Vasankarin välillä. Pyhäjoen ja Pattijoen välillä muuttoreitti kulkee kapeaa reittiä valtatie 8:n ja rantaviivan välissä. Pattijoelta eteenpäin muutto jatkuu pääasiassa suoraan kohti Siikajokea, mutta osa linnuista kääntyy myös idemmäs kohti Liminganlahden pohjukkaa.

Syksyllä merihanhen muutto on vaikeasti dokumentoitavissa ja aineisto sen kulukselta on puutteellista muuttoreittien ja yksilömäärien osalta. Nuoret, pesimättömät ikäluokat muuttavat jo heinäkuulta alkaen. Myös pesimäkanta muuttaa varsin varhain, pääasiassa elokuun aikana, jolloin muutontarkkailua ei vielä juuri harrasteta. Tuhansia merihanhia kerääntyy loppukesällä ja alkusyksyllä sulki- maan Perämerelle, Hailuodon ja Iin Krunnien alueelle. Todennäköisesti valtaosa merihanhista muuttaa merellä, osittain kaukanakin ulapalla, jolloin niitä on vaikea tai mahdoton havaita mantereelta käsin (Tuohimaa 2009). Merihanhienväestön Perämeren syyskannaksi on arvioitu noin 7200 yksilöä (Jorma Pessa, kirjall. ilm.).

Merihanhen lentokorkeus on samaa luokkaa joutsenen ja muiden hanhien kanssa, esimerkiksi Kalajoen Tohkojan kevään 2011 aineistossa 87 % linnuista lensi törmäyskorkeudella (50–200 m).



Kuva 6. Laulujoutsenen ja harmaahanhilajien merkittävimmät lepäilyalueet Ouluseudun keräntymisalueen IBA-alueen ulkopuolella.

4.1.4 Lyhytnokkahanhi

Lyhytnokkahanhen Suomen ja Perämeren kautta muuttavan kannan kasvu on ollut viime vuosien yksi merkittävimmistä ilmiöistä koko Suomen linnustossa. Vielä 10 vuotta sitten laji oli hyvin harvalukuinen. Vuonna 2007 minimikannanarvio oli 557 yksilöä, kun se nykyisin on jo 1500–2000 yksilöä (Jorma Pessa, kirjall. ilm.). Hyvin suuri enemmistö Suomen kautta muuttavista lyhytnokkahanhista muuttaa Pohjanlahden ja Perämeren rannikkoa seuraavaa reittiä Limingan-

lahden ympäristön lepäilyalueelle, sillä muualla Suomessa laji on edelleen hyvin harvalukuinen ja jopa harvinainen.

Kevään 2011 yhteistarkkailussa lyhytnokkahanhia havaittiin yhteensä 144 yksilöä. Todellisuudessa muuttajamäärä on huomattavasti suurempi, sillä laji on vaikeasti tunnistettavissa ja erotettavissa kauempaa muuttavista metsähanhiparvista. Lisäksi lyhytnokkahanhen muuton huippu on yleensä ajoittunut vasta toukokuulle, jolloin kevätmuutontarkkailu oli pääosin jo lopetettu.

Huhtikuussa muuttavat lyhytnokkahanhet muuttavat useimmiten metsähanhiparvien joukossa (kuva 4). Näin ollen myös niiden muuttoreitit ja lentokorkeudet ovat hyvin samankaltaiset kuin metsähanhella. Myöhemmin toukokuulla muuttavien lyhytnokkahanhien muuttoreittiä ei tarkalleen tunneta, mutta sen oletetaan olevan samankaltainen kuin aiemmin huhtikuussakin.

Syksyllä lyhytnokkahanhi on Perämeren rannikolla hyvin harvalukuinen, mutta niitä muuttaa nykyisin yksittäisiä lintuja metsähanhiparvien mukana.

4.1.5 Muut lajit

Tässä yhteisvaikutusten arvioinnissa keskityttiin vain laulujoutsenen ja harmaahanhilajien tarkempaan arviointiin, koska niistä katsottiin saadun riittävä aineisto kevään 2011 muutontarkkailun aikana. Seuraavassa esitetään kuitenkin myös muun alueen kautta muuttavan lajiston yleiskuvaus, joka perustuu pääosin kirjallisuuteen sekä arvioijien paikallistuntemukseen.

Kiljuhanhi

Kiljuhanhen Fennoskandian pesimäpopulaation kevätmuutto kulkee Perämeren rannikkoalueella pohjoiseen Oulun seudun levähdysalueen (Siikajoki, Hailuoto, Lumijoki) kautta. Muuttoreittiä ei ole Oulun eteläpuolelta selvitetty aktiivisesti. Kevään 2011 aikana kiljuhanhista tehtiin havaintoja merialueilla esim. Kristiinankaupungin ja Kalajoen kohdalla (WWF Suomi 2012), joten muuttoreitti saattaa kulkea ennemmin merialueella, kuin mantereeseen yllä. Mantereeseen yllä kulkeva muutto ei kuitenkaan ole pois suljettua. Kalajoen–Raahan alueen läpimuuttavan yksilömäärän arvioidaan olevan noin 60 yksilöä (WWF Suomi 2012).

Merikotka

Keväällä vahva merikotkien muuttoreitti kulkee Perämeren rannikolla. Merikotka on aikainen muuttaja ja muuttohuippu havaitaan yleensä jo maaliskuussa–huhtikuun alussa, minkä vuoksi merikotkamuuhto oli ollut käynnissä jo pitkään kevään 2011 muutontarkkailun alkaessa. Tuohimaa (2009) arvioi Pyhäjoen Parhalahden kautta muuttavaksi merikotkan kevätmuuttokannaksi 120–200 yksilöä. Tämän lisäksi jopa kevätmuuttoa merkittävämmäksi seikaksi voidaan arvioida nuorten merikotkien taipumusta hyvinkin laajaan kiertelyyn ennen asettumistaan pesimään. WWF:n vuonna 2009 Merenkurkun saaristossa satelliittilähettimin merkityistä neljästä linnusta kaikki kävivät kahden seuraavan kesän aikana vähintään kerran Lapissa, jolloin ne kulkivat Pohjanlahden rannikkoa pitkin jompaankumpaan tai molempiin suuntiin. Myös vuonna 2010 satelliittilähettimellä merkattu yksilö kävi Kalajoen edustalla sijaitsevassa Maakallassa saakka (Saurola ym. 2010, WWF Suomi).

Näin arvioituna otos on pieni, mutta sitä tukee myös kirjoittajien omat havainnot, joiden mukaan nuoria ja kierteleviä merikotkia havaitaan Perämeren rannikkoseudulla säännöllisesti. Myös Tuohimaa (2009) arvioi Hanhikiven alueella liikkuvista merikotkista suuremman osan olevan nuoria, kierteleviä yksilöitä kuin varsinaisesti muuttavia yksilöitä.

Muut petolinnut

Keväällä kaakon ja etelän suunnasta saapuvien petolintujen muutto keskittyy Perämeren rannikolle. Muutto tiivistyy sitä enemmän, mitä pohjoisemmaksi rannikkoa edetään. Tämä johtuu ilmeisesti siitä, että rannikkolinja on lounas-koillinen -suuntainen, kun taas petolinnut muuttavat leveänä rintamana määrätietoisesti pohjoiseen–luoteeseen. Näin ollen, mitä pohjoisemmaksi rannikkoa

edetään, sitä useampi muuttava petolintu saapuu rannikolle ja kääntyy seuraamaan sitä. Petolintumuutto on siis hieman runsaampaa pohjoisempana Pyhäjoen–Raahen rannikkoseudulla kuin Kalajoella. Idän ja kaakon puoleisilla tuulilla petomuutto – kuten suuri osa kaikesta muustakin muutosta – tiivistyy aikaisemmin ja suuremmassa määrin rannikkolinjalle.

Runsain keväällä Perämeren kautta muuttava petolintulaji on piekana. Tuohimaa (2009) arvioi Parhalahden kautta muuttavaksi piekanakannaksi 800–1200 yksilöä. Muita runsaita lajeja (satoja yksilöitä / kevät) ovat varpus-, sinisuo-, ruskosuo- ja tuulihaukka. Tuohimaan (2009) arvion mukaan Parhalahden kautta muuttaa keväällä keskimäärin 3800 petolintuyksilöä.

Kevään 2011 aineistossa oli havaittavissa, että aamupäivällä petolintujen lähtiessä muutolle lentokorkeus oli yleensä matala, jolloin lähes kaikki linnut lensivät törmäyskorkeudella tai jopa sen alapuolella. Hyvissä olosuhteissa ja päivän edetessä nousevien ilmavirtausten lisääntyessä petolintujen muutto nousi korkeammalle, jolloin törmäyskorkeuden yläpuolella lentävien lintujen osuus kasvoi selvästi. Kalajoen Tohkojan aineiston mukaan 68 % petolinnuista lensi törmäysriskikorkeudella.

Kurki

Kurkimuutto ei ole niin sidonnainen rannikon johtolinjaan kuin hanhien ja joutsenten muutto. Leveäsiipisenä lintuna kurki käyttää hyväkseen nousevia, lämpimiä ilmavirtauksia, joita löytyy paremmin kauempana sisämaassa. Näin ollen nekin kurjet, jotka muuttaessaan seuraavat rannikkolinjaa, lentävät mieluummin kauempana idässä kuin aivan rannikon tuntumassa. Lämpimällä ja aurinkoisella säällä kurkiparvet voivat nousta hyvinkin korkealle, jolloin ne kulkevat huomattavasti törmäyskorkeuden yläpuolella. Kevätmuutontarkkailun aikana oli havaittavissa, että mitä kauempana sisämaassa kurkiparvet muuttivat, sitä korkeammalla ne lensivät.

Pyhäjoen Parhalahdella on parhaana keväänä 2006 havaittu noin 3600 kurkea. Keväällä 2009 Pyhäjoella ja Kalajoella havaittiin kaikkiaan noin 4000 yksilöä. Tuohimaan (2009) arvion mukaan Parhalahden kohdalla rannikkoa seuraavan kevätmuuttokannan suuruus on keskimäärin 4000–7000 yksilöä. Rannikkolla havaittavat muuttajamäärät vaihtelevat voimakkaasti muuttohetkellä vallitsevien tuulten mukaan.

Syksyllä kurkien päämuuttoreitti kulkee Muhoksen ja Tyrnävän kerääntymisalueilta suoraan etelään, ja Nivalan tienoilta kohti Keski-Suomea. Kurjen toinen muuttoreitti kulkee Tornioista Perämeren yli Hailuodon tienoille ja sieltä Siikajoen ja Raahen pohjoisosien kautta kohti etelää (mm. Suorsa 2011), yhtyen luultavasti päämuuttoreittiin jossain Nivalan alueella. Päämuuttoreittiä pitkin muuttaa syksyllä yli 10000 lintua, ja Hailuodon kautta enimmillään arviolta 2000–4000 lintua. Raahen eteläisellä rannikkoalueella ja Kalajoella kurkimuutto on yleensä vähäistä ja enimmäkseen hajanaista. Syksyllä kurjet muuttavat hyvällä ja myöätuulisella säällä, jolloin ne lentävät hyvin korkealla, selvästi törmäyskorkeuden yläpuolella.

Sepelkyyhky ja töyhtöhyppä

Nämä lajit käsitellään tässä raportissa yhdessä, sillä niiden muuton kulku etenkin keväällä on hyvin samankaltainen. Molempien lajien muutto keskittyy keväällä voimakkaasti Perämeren rannikkolinjalle. Töyhtöhyypän ja sepelkyyhkyn muutto alkaa varsin varhain, jo maaliskuun lopulta alkaen.

Molempien lajien pääasiallinen lentokorkeus on 30–50 m. Tuohimaa (2009) arvioi Parhalahden kautta havaittavissa olevaksi kevätmuuttokannaksi sepelkyyhkyllä 25000–35000 yksilöä ja töyhtöhyypällä 4000–8000 yksilöä. Sekä sepelkyyhkyllä, että töyhtöhyypällä on keväällä taipumusta paluumuuttoon, eli ne muuttavat säiden kylmetessä takaisin etelää kohti. Näin ollen osa linnuista saattaa kulkea samojen tuulivoimapuistojen läpi jopa useamman kerran keväällä. Syksyllä molempien lajien rannikkoa seuraava muutto on vähäisempää, luonteeltaan hajanaista ja ajoittuu pidemmälle ajalle.

Kuovi

Keväällä kuovimuutto keskittyy edellisten lajien tapaan voimakkaasti Perämeren rannikolle. Vilkkain muuttoreitti kulkee rannikon tuntumassa tai vähän rantaviivan itäpuolella. Esimerkiksi Kalajoen Vasannevalla ja Raahen Hummastinvaaralla kuovimuutto painottui alueiden länsipuolelle. Pyhäjoen Parhalahden kohdalla rannikkoa seuraavan kevätmuuttokannan koko on luokkaa 6000–10000 yksilöä (Tuohimaa 2009). Edellisistä lajeista poiketen kuovit muuttavat suotuisissa olosuhteissa selvästi korkeammalla, usein huomattavasti törmäyskorkeuden yläpuolella. Kuovi on luokiteltu kansainvälisesti silmälläpidettäväksi (NT) lajiksi (BirdLife International 2008), mutta Suomen tuoreimmassa uhanalaisluokituksessa lajia ei ole huomioitu (Rassi ym. 2010).

Varpuslinnut

Perämeren rannikkolinja ohjaa ja tiivistää myös varpuslintujen muuttoreittejä sekä keväällä että syksyllä. Muuton havainnoimista ja todentamista vaikeuttaa kuitenkin se, että valtaosa varpuslinnuista on yömuuttajia. Suomen runsaslukuisimpien lajien joukossa on useita yömuuttajia, jolloin on selvää, että yöllä tapahtuva muutto on yksilömäärältään päivämuuttoa selvästi runsaampaa. Jotta tästä muutosta saataisiin kunnollista aineistoa, se edellyttäisi tutkaseurannan järjestämistä. Muuttajien yksilömäärät ovat suuria, mutta esimerkiksi niiden muuttokorkeutta ja -reittejä ei voida arvioida luotettavasti nykytiedon valossa.

Myös päivällä tapahtuva varpuslintujen muutto on usein hyvin runsasta. Esimerkiksi peippolinnut, rastaat ja kirviset muuttavat myös päiväsaikaan. Tiira-aineiston (PPLY & KPLY) perusteella rannikolla esiintyy säännöllisesti varpuslintujen "massamuuttoja", joiden yhteydessä voi yhden aamun aikana muuttaa satoja tuhansia lintuja. Esimerkiksi 4.5.2003 Kalajoen Vihaspauhalla laskettiin kahdessa ja puolessa tunnissa noin 140000 pikkulintua, jotka olivat pääasiassa kirvisiä ja peippoja. Kalajoen Letolla muutti 25.4.2011 noin tunnissa yli 32000 järripeippoja (Seppo Pudas, suul. ilm.). Tällöin myös Pöllänperän tuulivoimapuiston kautta kulki useita tuhansia pikkulintuja, mutta siellä muuttovirta ei ollut yhtä keskittynyttä kuin Letolla. Myös syksyllä varpuslintujen muuttajamäärät ovat hyvin suuria, esimerkiksi Kalajokisuulla on havaittu useita yli 50000 räkättirastaan päivämuuttoja. Näistä suurin on ollut 3.10.2006 lasketut noin 118000 räkättirastasta (KPLY). Rastaiden massamuutot kulkevat yleensä muutaman kilometrin levyisenä rintamana rantaviivaa seuraten, ja lintujen lentokorkeus vaihtelee huomattavasti.

Tuulen suunnalla ja ilman kirkkaudella on suuri merkitys myös varpuslintujen muuttokorkeuteen. Myötätuulessa ja kirkkaalla säällä ne muuttavat selvästi korkeammalla kuin pilvisellä säällä tai vastatuulessa, jolloin muutto kulkee lähes kokonaisuudessaan törmäysriskikorkeuden alapuolella, juuri metsänrajan yllä.

4.2 Törmäysmallinnus ja populaatiomallinnus

Lintujen törmäyksiä tuulivoimaloihin on tutkittu Euroopassa varsin paljon, mutta Suomesta tutkimustietoa on saatavilla hyvin vähän. Suomessa teoreettiseksi törmäysmääräksi on oletettu Koistisen (2004) mukaan yksi kuolemaan johtava törmäys vuodessa yhtä mielivaltaisella paikalla sijaitsevaa tuulivoimalaa kohti. Pohjanlahden rannikon vilkkaan muuttoreitin alueella törmäysmäärän on kuitenkin arvioitu olevan kaksi lintua voimalaa kohti vuodessa (Koistinen 2004). Eurooppalaisten tutkimusten mukaan törmäysten lukumäärät vaihtelevat erittäin laajasti: 1,3–64,0 törmäystä vuodessa tuulivoimalaa kohti. Suuri vaihtelevuus törmäävien lintujen lukumäärissä johtuu lähinnä tuulivoimapuistojen sijainnista ja lintulajiston alueellisista eroista sekä alueella liikkuvien lintujen lukumääristä.

Tuulivoiman linnustovaikutusten arvioinnissa on tärkeää tuntee mahdollisille vaikutuksille altistuvan lintulajiston populaatiodynamiikka. Vaikutusten merkittävyyttä voidaan sen jälkeen selvittää eri mallinnusmenetelmillä. Pienikin törmäyksistä johtuva kuolleisuuden kasvu voi olla merkittävää joillekin lajeille, esimerkiksi suurikokoisille ja pitkäikäisille lajeille, joiden populaatiokoko on pieni, lisääntymistuotto yleensä vähäistä ja sukukypsyysikä korkea (esimerkiksi meri-

kotka, maakotka, sääksi, metsähanhi ja kiljuhanhi). Tällaisissa populaatioissa muutamankin yksilön kuolema voimistaa kumulatiivisia vaikutuksia eri tavalla kuin esimerkiksi runsaslukuisilla pienillä varpuslinnuilla. Näin ollen pelkän törmäysten lukumäärän mittaaminen ei riitä, vaan on mitattava myös törmäyskuolleisuuden vaikutus populaatiotasolla. Tämän laskemiseksi tarvitaan tutkittavista lajeista riittävästi kvantitatiivista tietoa eli mitattavia lukuarvoja (mm. Eskelin ym. 2009).

Tässä raportissa törmäyskuolleisuuden ja sen populaatiovaikutusten mallintamiseksi arvioitiin saadun riittävä tieto neljän lajin osalta: laulujoutsen, metsä-, meri- ja lyhytnokkahanhi. Seuraavissa kappaleissa käsitellään yksityiskohtaisemmin tarkastelun kohteena olevien tuulivoimapuistojen törmäyskuolleisuuden ja sen populaatiovaikutusten yhteisvaikutuksia tutkittuihin lajeihin.

4.2.1 Laulujoutsen

Törmäysmallinnus

Oulun seudun kerääntymisalueelle Pohjanlahden rannikkoa pitkin muuttavan laulujoutsenpopulaation koko vuoden 2011 havaintojen perusteella on vähintään noin 6500 yksilöä. Tässä törmäysmallinnuksessa alueen läpimuuttavan laulujoutsenkannan alarajaksi oletetaan kevään 2011 havaittu muuttajamäärä 6500 yksilöä ja ylärajaksi 11000 yksilöä. Törmäysmalli kuvataan kevään 2011 havaintojen perusteella, ja muuttokannan kooksi asetetaan arvioidun kevätmuuttokannan yläraja.

Yksittäisen laulujoutsenen todennäköisyys törmätä tuulivoimalan pyöriviin lapoihin on törmäysmallin mukaan 0,143. Tämä tarkoittaa sitä, että noin 14 % törmäysikkunan läpi lentävistä linnuista osuu tuulivoimalan pyöriviin lapoihin.

Kevään 2011 havaintoaineiston perusteella Kalajoella laulujoutsenista noin 80 % lensi törmäyskorkeudella, ja 86 % linnuista muutti havaintoikkunan läpi. Linnuista 95 % oletetaan väistävän voimalat. Näin ollen törmäysikkunan kautta kulkevista 5676 joutsenesta 41 yksilöä törmäisi tuulivoimaloihin ja 5635 lintua jatkaisi vahingoittumattomana matkaansa. Kun tähän lukuun lisätään törmäysikkunan ulkopuolelta muuttaneet linnut, saadaan Kalajoelta eteenpäin jatkavan populaation kooksi 10959 laulujoutsenta.

Kalajoelta pohjoiseen laulujoutsenen muuttoreitti kulkee seuraavaksi Raahen eteläisten tuulivoimapuistojen kautta. Siellä 10959 laulujoutsenesta 93 % muutti havaintoikkunan läpi, ja niistä noin 80 % lensi törmäyskorkeudella. Linnuista 95 % oletetaan väistävän voimalat. Näin ollen Raahen eteläisten tuulivoimapuistojen törmäysikkunan läpi lentäneistä 5545 joutsenesta 40 yksilöä törmäisi tuulivoimaloihin ja 5504 lintua jatkaisi vahingoittumattomana matkaansa. Kun tähän lukuun lisätään törmäysikkunan ulkopuolella muuttaneet linnut, saadaan Raahen eteläisistä tuulivoimapuistoista eteenpäin jatkavan populaation kooksi 10920 laulujoutsenta.

Raahen eteläisten tuulivoimapuistojen jälkeen muuttoreitti kulkee Raahen itäisten tuulivoimapuistojen kautta. Raahen itäisten tuulivoimapuistojen kohdalla (pl. Annankangas–Nikkarinkaarrot) 10920 laulujoutsenesta 93 % muutti havaintoikkunan läpi, ja niistä noin 80 % lensi törmäyskorkeudella. Linnuista 95 % oletetaan väistävän voimalat. Näin ollen 5118 tuulivoimaloiden törmäysikkunan läpi lentäneestä joutsenesta 37 yksilöä törmäisi tuulivoimaloihin ja 5082 lintua jatkaisi vahingoittumattomana matkaansa. Kun tähän lukuun lisätään törmäysikkunan ulkopuolella lentäneet linnut, saadaan Raahen itäisistä tuulivoimapuistoista eteenpäin jatkavan populaation kooksi 10883 laulujoutsenta.

Kalajoen ja Raahen tuulivoimapuistoihin törmäisi yhteensä 118 laulujoutsenta kevätmuuton aikana olettaen että 95 % linnuista väistää tuulivoimaloita. Näin ollen tuulivoimaloiden aiheuttama kuolleisuus kevätmuutolla on 1,1 % laulujoutsenen läpimuuttokannasta. Jos väistöliikettä ei tapahtuisi, tuulivoimapuistoihin törmäisi 2182 joutsenta keväessä.

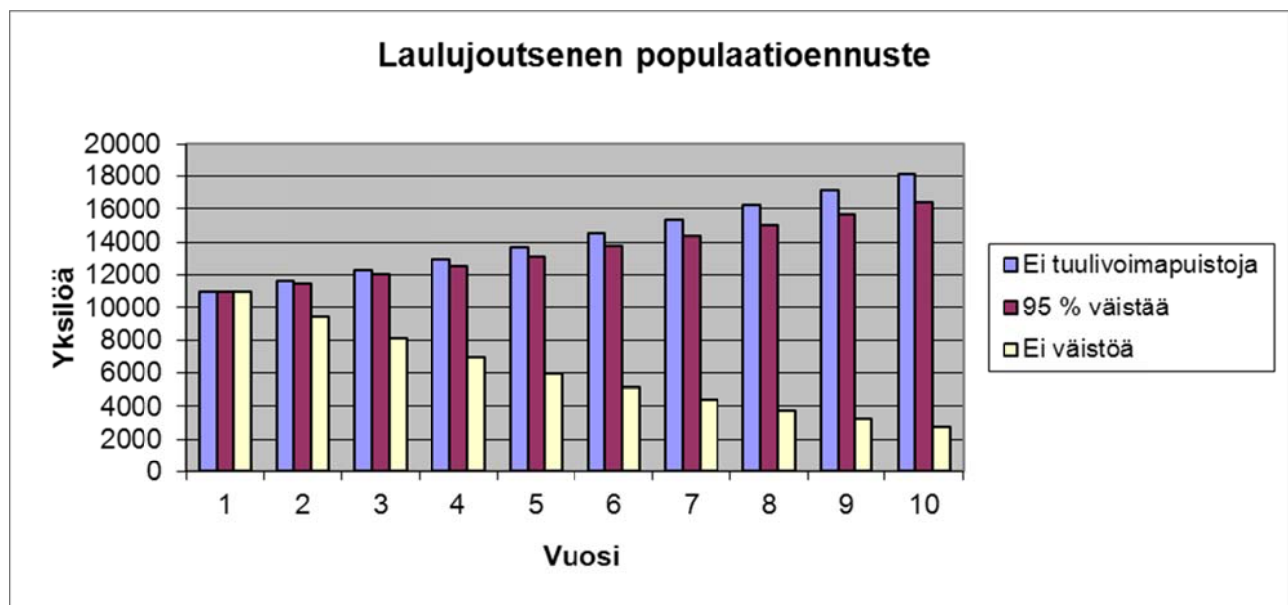
Jos laulujoutsenen läpimuuttavaksi kannaksi arvioidaan muuttokannan alaraja (6500 yksilöä), törmäyksiä tapahtuisi 69 kappaletta keväässä olettaen että 95 % linnuista väistää tuulivoimaloita.

Populaatiomallinnus

Populaatiomallinnuksen lähtöparametreina laulujoutsenen populaatiodynaamiselle mallille käytettiin Knudsen ym. (2002) ja Pöysä & Sorjonen (2000) mukaisia arvoja. Parametreja muokattiin siten, että populaation kasvukerroin ilman tuulivoiman aiheuttamaa lisäkuolleisuutta on 1,057 (50 edellisen vuoden toteutunut kasvukerroin on noin 1,155 (Pöysä & Sorjonen 2000)) eli populaation koko kasvaa pesimiskaudesta seuraavaan. Aikuissäilyvyydeksi määritettiin 0,9; poikas-säilyvyydeksi määritettiin 0,55 (Knudsen ym. 2002); 2kv (edellisen kesän poikaset) säilyvyydeksi määritettiin 0,6; 3kv säilyvyydeksi 0,7; 4kv ja 5kv säilyvyydeksi 0,8 ja poikastuotoksi 2–5 poikasta / naaras (vanhat linnut 5 poikasta, 5kv linnut 3 poikasta ja 4kv linnut 2 poikasta) (Rees ym. 1991).

Lähtöpopulaatiota (ei tuulivoiman aiheuttamaa lisäkuolleisuutta) verrattiin tilanteeseen, jossa tuulivoiman aiheuttama lisäkuolleisuus otettiin huomioon. Populaatiomalli on kuvattu arvioidun muuttokannan ylärajan (11000 yksilöä) perusteella. Lintujen väistöliike huomioiden (95 % väistää) kasvukertoimeksi laski 1,045:een ja ilman väistöliikettä kasvukertoimeksi saatiin 0,858. Populaation kasvua mallinnettiin deterministisesti 10 vuotta eteenpäin (kuva 7).

Jos tuulivoimaloiden aiheuttama lisäkuolleisuus 95 % väistötodennäköisyydellä huomioidaan, niin laulujoutsenpopulaation kasvu hidastuu jonkin verran verrattuna tilanteeseen jossa tuulivoimapuistojen aiheuttamaa lisäkuolleisuutta ei huomioida. Jos linnut eivät väistäisi tuulivoimaloita, populaatio kääntyisi selvään laskuun.



Kuva 7. Laulujoutsenen populaatiodynaaminen malli.

4.2.2 Metsähanhi

Törmäysmallinnus

Kevään 2011 tarkkailussa määritettiin noin 6000 metsähanhea. Lisäksi havaittiin noin 6000 määrittämätöntä harmaahanhea, joista todennäköisesti suurin osa oli metsähanhia. Näin ollen Oulun seudun kerääntymisalueelle Perämeren rannikkoa pitkin muuttavan metsähanhipopulaation koko vuoden 2011 havaintojen perusteella on vähintään noin 12000 yksilöä. Suurimmillaan metsähanhimäärät ovat 2000-luvulla olleet vuonna 2003, jolloin läpimuuttavan populaation yksilömääräksi arvioitiin noin 16 000 yksilöä (Pessa ym. 2004, Jorma Pessa, kirjall.

ilm.). Törmäysmalli kuvataan kevään 2011 havaintojen perusteella, ja muuttokannan kooksi asetetaan arvioidun kevätmuuttokannan yläraja.

Yksittäisen metsähanhen todennäköisyys törmätä tuulivoimalan pyöriviin lapoihin on törmäysmallinnuksen mukaan 0,07. Tämä tarkoittaa sitä, että 7 % törmäysikkunan läpi lentävistä linnuista osuu tuulivoimaloiden pyöriviin lapoihin.

Kevään 2011 havaintoaineiston perusteella Kalajoella metsähanhista noin 80 % lensi törmäyskorkeudella, ja kaikista havaituista linnuista 98 % muutti havaintoikkunan läpi. Näin ollen Kalajoella 9408 metsähanhea olisi lentänyt tuulivoimaloiden törmäysikkunassa, jolloin niillä on riski törmätä pyöriviin lapoihin. Linnuista 95 % oletetaan väistävän voimalat. Törmäysikkunan läpi lentävistä metsähanhista 33 lintua törmäisi tuulivoimaloihin ja 9375 hanhea jatkaisi vahingoittumattomana matkaansa. Kun tähän lukuun lisätään törmäysikkunan ulkopuolella muuttaneet linnut, saadaan Kalajoelta eteenpäin jatkavan populaation kooksi 15967 metsähanhea.

Kalajoelta pohjoiseen metsähanhien muuttoreitti kulkee seuraavaksi Raahen eteläisten tuulivoimapuistojen kautta, missä 15967 metsähanhesta 95 % muutti havaintoikkunan läpi, ja niistä noin 80 % lensi törmäyskorkeudella. Näin ollen 8252 törmäysikkunan läpi lentäneestä yksilöstä 29 metsähanhea törmäisi tuulivoimaloihin ja 8223 lintua jatkaisi vahingoittumattomana matkaansa. Kun tähän lukuun lisätään törmäysikkunan ulkopuolella muuttaneet linnut, saadaan Raahen eteläisistä tuulivoimapuistoista eteenpäin jatkavan populaation kooksi 15938 metsähanhea.

Seuraavaksi muuttoreitti kulkee Raahen itäisten tuulivoimapuistojen kautta. Raahen itäisten tuulivoimapuistojen kohdalla (pl. Annankangas–Nikkarinkaarrot) päämuuttoreitin 15938 metsähanhesta 92 % muutti havaintoikkunan läpi, ja niistä noin 80 % lensi törmäyskorkeudella. Näin ollen 7390 törmäysikkunan läpi lentäneestä yksilöstä 26 metsähanhea törmäisi tuulivoimaloihin ja 7364 yksilöä jatkaisi vahingoittumattomana matkaansa. Kun tähän lukuun lisätään törmäysikkunan ulkopuolella muuttaneet linnut, saadaan Raahen itäisistä tuulivoimapuistoista eteenpäin jatkavan populaation kooksi 15912 metsähanhea.

Kalajoen ja Raahen tuulivoimapuistoihin törmäisi yhteensä 88 metsähanhea kevätmuuton aikana, olettaen että 95 % linnuista väistää tuulivoimaloita. Näin ollen tuulivoimaloiden aiheuttama kuolleisuus kevätmuutolla on 0,5 % metsähanhen läpimuuttokannasta. Ilman väistöä tuulivoimapuistoihin törmäisi 1693 metsähanhea keväällä.

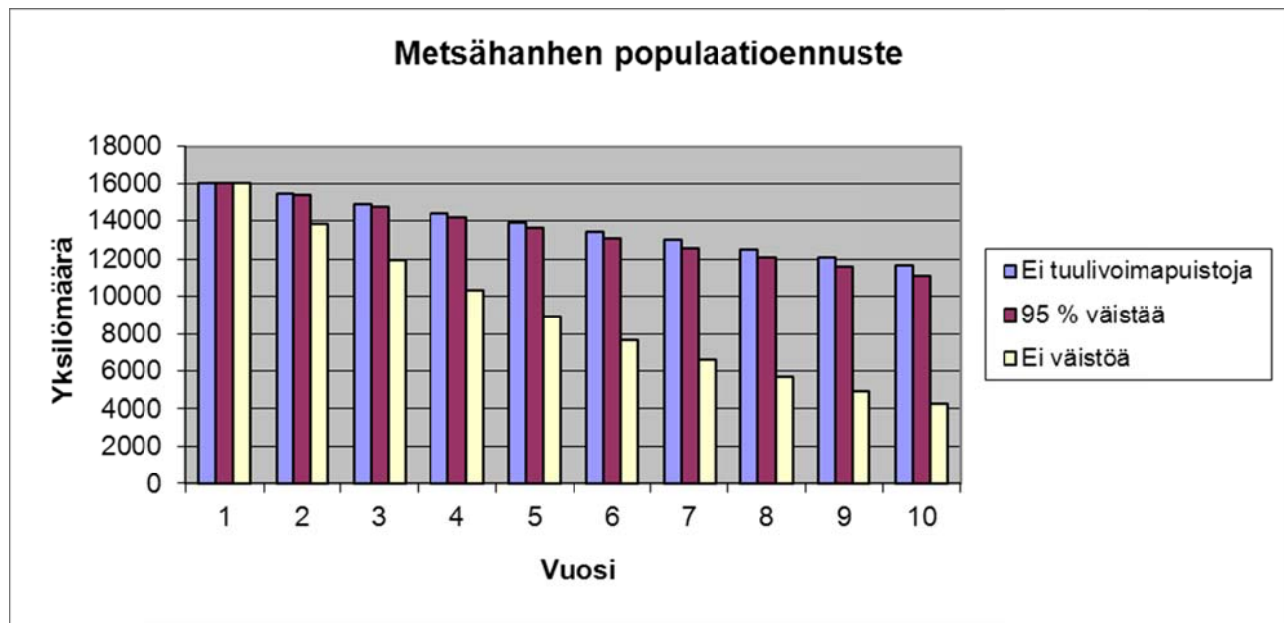
Jos metsähanhen läpimuuttavaksi kannaksi arvioidaan muuttokannan alaraja (6000), törmäyksiä tapahtuisi 95 % väistö olettaen 33 kappaletta kertaa keväällä.

Populaatiomallinnus

Populaatiomallinnuksen lähtöparametreja populaatiodynaamiselle mallille muokattiin siten, että populaation kasvukerroin ilman tuulivoimaloiden aiheuttamaa lisäkuolleisuutta on noin 0,966 eli populaatio pienenee. Aikuissäilyvyydeksi määritettiin 0,75; 2kv (edellisen kesän poikaset) säilyvyydeksi määritettiin 0,75; poikassäilyvyydeksi määritettiin 0,57 ja poikastuotoksi 1,65 poikasta / naaras.

Lähtöpopulaatiota (ei tuulivoiman aiheuttamaa lisäkuolleisuutta) verrattiin tilanteeseen, jossa tuulivoiman aiheuttama lisäkuolleisuus otettiin huomioon. Populaatiomalli on kuvattu arvioidun muuttokannan ylärajan perusteella (16000 yksilöä). Lintujen väistöliikkeet huomioiden (95 % väistää) kasvukerroin laski 0,960:een ja ilman väistöliikettä kasvukertoimeksi saatiin 0,86. Populaation kasvua mallinnettiin deterministisesti 10 vuotta eteenpäin (kuva 8).

Jos tuulivoimaloiden aiheuttama lisäkuolleisuus huomioidaan 95 % väistötodennäköisyydellä, niin läpimuuttava metsähanhipopulaatio pienenee vuosittain 0,5 %. Kymmenen vuoden aikana kanta pienenee 3,5 %. Jos linnut eivät väistäisi tuulivoimaloita, populaation pieneminen kiihtyisi huomattavasti.



Kuva 8. Metsähanhen populaatiodynaaminen malli.

4.2.3 Merihanhi

Törmäysmallinnus

Kevään 2011 tarkkailussa havaittiin noin 2000 merihanhea. Todellinen määrä lienee kuitenkin tätä suurempi, sillä muutto oli jo alkanut kevätmuutontarkkailun alkaessa, ja määrittämättä jääneistä harmaahanhista osa lienee ollut merihanhia. Parhalahdelta havaittava läpimuuttavan merihanhipopulaation arvioidaan kuitenkin olevan noin 4000–6000 yksilöä (Tuohimaa 2009). Törmäysmalli kuvataan kevään 2011 havaintojen perusteella, ja muuttokannan kooksi asetetaan arvioidun kevätmuuttokannan yläraja.

Merihanhen muutto tapahtuu kevään 2011 havaintojen perusteella hieman metsähanhea kapeammalla vyöhykkeellä rannikon tuntumassa. Tämä huomioitiin törmäysmallissa siten, että kaikki havaitut merihanhet laitettiin lentämään havaintoikkunoiden kautta. Yksittäisen merihanhen todennäköisyys törmätä tuulivoimalan pyöriviin lapoihin on mallin perusteella 0,07.

Kevään 2011 havaintoaineiston perusteella Kalajoella noin 80 % merihanhista lensi törmäyskorkeudella, ja kaikki havaitut linnut muuttivat havaintoikkunan läpi. Törmäysikkunan läpi lentävistä 3600 merihanhesta 13 merihanhea törmäisi tuulivoimaloihin ja 3587 lintua jatkaisi vahingoittumattomana matkaansa. Kun tähän lukuun lisätään törmäysikkunan ulkopuolella muuttaneet linnut, saadaan Kalajoelta eteenpäin jatkavan populaation kooksi 5987 merihanhea.

Raahen eteläisten tuulivoimapuistojen kohdalla kaikki 5987 merihanhea muuttivat havaintoikkunan läpi, ja niistä noin 80 % lensi törmäyskorkeudella. Näin ollen 3257 törmäysikkunan läpi lentäneestä merihanhesta 11 yksilöä törmäisi tuulivoimaloihin ja 3246 lintua jatkaisi vahingoittumattomana matkaansa. Kun tähän lukuun lisätään törmäysikkunan ulkopuolella muuttaneet linnut, saadaan Raahen eteläisistä tuulivoimapuistoista eteenpäin jatkavan populaation kooksi 5976 merihanhea.

Raahen itäisten tuulivoimapuistojen kohdalla (pl. Annankangas–Nikkarinkaarrot) kaikki 5976 merihanhea muuttivat havaintoikkunan läpi, ja niistä törmäyskorkeudella lensi noin 80 %. Näin ollen 3012 tuulivoimaloiden törmäysikkunan läpi lentäneestä yksilöstä 11 lintua törmäisi tuulivoimaloihin ja 3001 hanhea jatkaisi vahingoittumattomana matkaansa. Kun tähän lukuun lisätään törmäyskorkeuden ylä- ja alapuolella ja havaintoikkunan ulkopuolella muuttaneet sekä havain-

toikkunan kautta muuttaneet, mutta törmäysikkunan välttäneet hanhet, saadaan Raahen itäisistä tuulivoimapuistoista eteenpäin jatkavan populaation kooksi 5965 merihanhea.

Kalajoen ja Raahen tuulivoimapuistoihin törmäisi yhteensä 35 merihanhea kevätmuuton aikana, olettaen että 95 % linnuista väistää tuulivoimaloita. Näin ollen tuulivoimaloiden aiheuttama kuolleisuus kevätmuutolla on 0,6 % merihanhen läpimuuttokannasta. Ilman väistöä tuulivoimapuistoihin törmäisi 666 merihanhea keväällä.

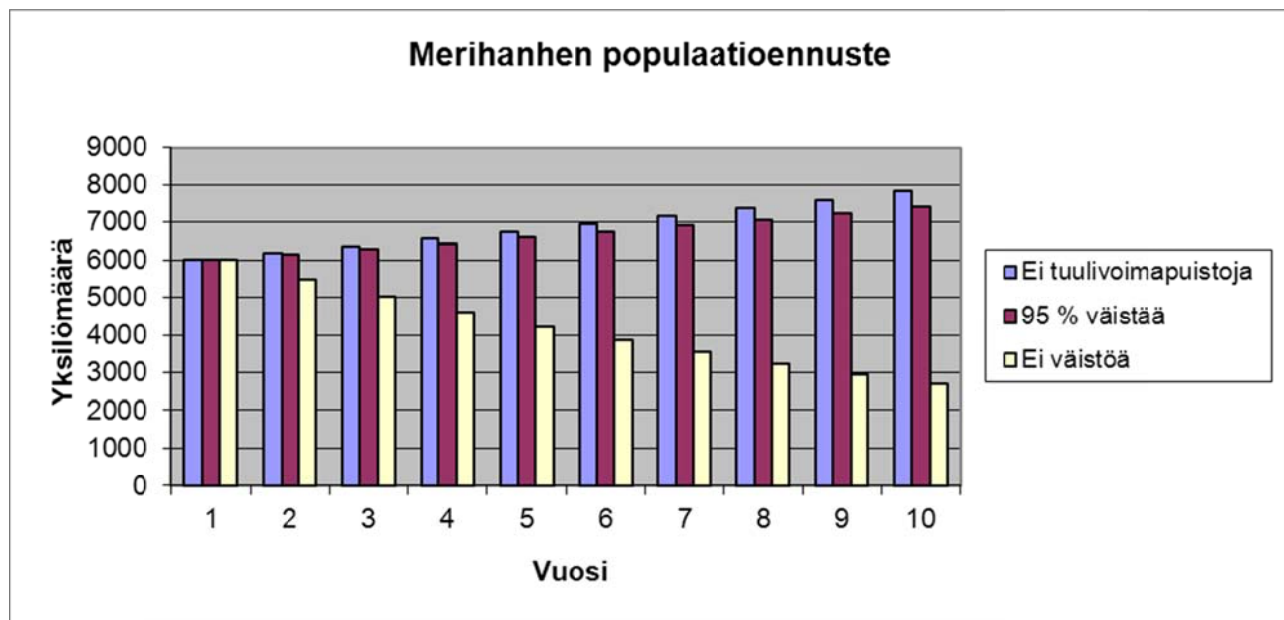
Jos merihanhen läpimuuttavaksi kannaksi arvioidaan muuttokannan alaraja (4000), törmäyksiä tapahtuisi 95 % väistö olettaen 23 kappaletta keväällä.

Populaatiomallinnus

Merihanhen populaatiomallinnus noudattelee metsähanhen populaatiomallia, mutta sen lähtöparametreja muokattiin siten, että populaation kasvukerroin ilman tuulivoiman aiheuttamaa lisäkuolleisuutta on noin 1,03 eli populaatio kasvaa. Aikuissäilyvyydeksi määritettiin 0,8; 2kv (edellisen kesän poikaset) säilyvyydeksi määritettiin 0,75; poikassäilyvyydeksi määritettiin 0,57 ja poikastuotoksi 2 poikasta / naaras.

Lähtöpopulaatiota (ei tuulivoiman aiheuttamaa lisäkuolleisuutta) verrattiin tilanteeseen, jossa tuulivoiman aiheuttama lisäkuolleisuus otettiin huomioon. Malli on kuvattu arvioidun populaatiokoon ylärajan perusteella (6000 yksilöä). Lintujen väistöliikkeet huomioiden (95 % väistää) kasvukerroin laski 1,02:een ja ilman väistöliikettä kasvukertoimeksi saatiin 0,915. Populaation kasvua mallinnettiin deterministisesti 10 vuotta eteenpäin (kuva 9).

Jos tuulivoimaloiden aiheuttama lisäkuolleisuus huomioidaan 95 % väistötodennäköisyydellä, niin merihanhipopulaation kasvu vähenee vuodessa 0,6 % ja 10 vuodessa 6,9 %. Jos linnut eivät väistäisi tuulivoimaloita, populaatio kääntyisi selvään laskuun.



Kuva 9. Merihanhen populaatiodynaaminen malli.

4.2.4 Lyhytnokkahanhi

Törmäysmallinnus

Oulun seudun kerääntymisalueille rannikkoa pitkin muuttavan lyhytnokkahanhi-populaation arvioidaan olevan noin 1500–2000 yksilöä (Pessa, kirjall. ilm.).

Törmäysmalli kuvataan kevään 2011 havaintojen perusteella, ja muuttokannan kooksi asetetaan arvioidun kevätmuuttokannan yläraja.

Kalajoen tuulivoimapuistojen kohdalla 2000 lyhytnokkahanhesta 4 lintua törmää tuulivoimaloihin ja 1996 lintua jatkaa Raahen eteläisten tuulivoimapuistojen kautta. Raahen eteläisten tuulivoimapuistojen kohdalla 4 lyhytnokkahanhe törmää tuulivoimaloihin ja 1992 yksilöä jatkaa kohti Raahen itäisiä tuulivoimapuistoja. Raahen itäisten tuulivoimapuistojen kohdalla (pl. Annankangas–Nikkarinkaarrot) 3 yksilöä törmää tuulivoimaloihin ja 1989 lintua jatkaa muuttoon kohti Oulunseudun kerääntymisaluetta.

Kalajoen ja Raahen tuulivoimapuistoihin törmäisi yhteensä 11 lyhytnokkahanhe kevätmuuton aikana, olettaen että 95 % linnuista väistää tuulivoimaloita. Näin ollen tuulivoimaloiden aiheuttama kuolleisuus kevätmuutolla on 0,5 % läpimuuttokannasta. Ilman väistöä tuulivoimapuistoihin törmäisi 212 lyhytnokkahanheä keväällä.

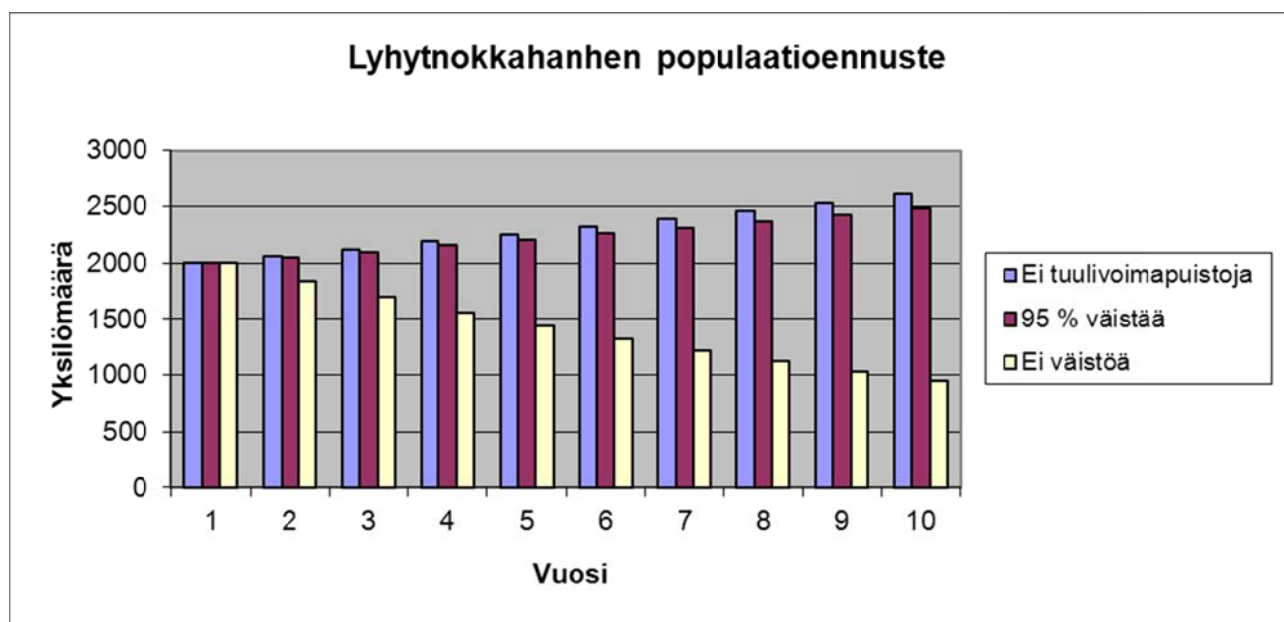
Jos lyhytnokkahanhen läpimuuttavaksi kannaksi arvioidaan muuttokannan alaraja (1500), törmäyksiä tapahtuisi 95 % väistö olettaen 8 kappaletta keväällä.

Populaatiomallinnus

Myös lyhytnokkahanhen populaatiomallinnus noudattelee metsähanhen populaatiomallia, mutta sen lähtöparametreja muokattiin siten, että populaation kasvukerroin ilman tuulivoiman aiheuttamaa lisäkuolleisuutta on noin 1,03 eli populaatio kasvaa. Aikuissäilyvyydeksi määritettiin 0,8; 2kv (edellisen kesän poikaset) säilyvyydeksi määritettiin 0,75; poikassäilyvyydeksi määritettiin 0,57 ja poikastuotoksi 2 poikasta / naaras.

Lähtöpopulaatiota (ei tuulivoiman aiheuttamaa lisäkuolleisuutta) verrattiin tilanteeseen, jossa tuulivoiman aiheuttama lisäkuolleisuus otettiin huomioon. Malli on kuvattu arvioidun populaatiokoon ylärajan perusteella (2000 yksilöä). Lintujen väistöliikkeet huomioiden (95 % väistää) kasvukerroin laski 1,02:een ja ilman väistöliikettä kasvukertoimeksi saatiin 0,915. Populaation kasvua mallinnettiin deterministisesti 10 vuotta eteenpäin (kuva 10).

Jos tuulivoimaloiden aiheuttama lisäkuolleisuus huomioidaan 95 % väistötodennäköisyydellä, niin populaatiomallilla laskettuna lyhytnokkahanhi-populaation kasvu vähenee vuodessa 0,6 % ja 10 vuodessa 6,9 %. Jos linnut eivät väistäisi tuulivoimaloita, populaatio kääntyisi selvään laskuun.

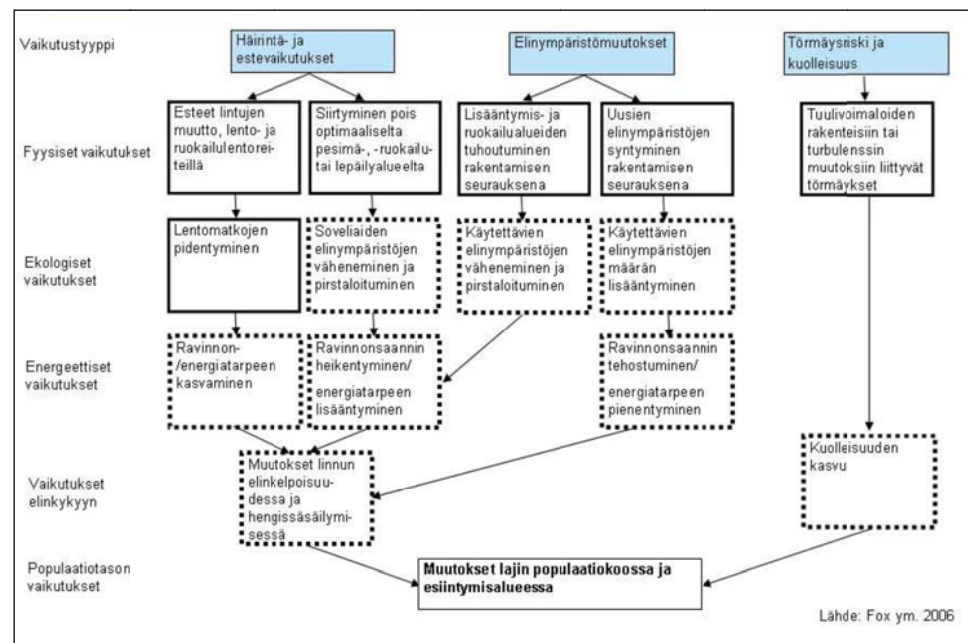


Kuva 10. Lyhytnokkahanhen populaatiodynaaminen malli.

5 TUULIVOIMAPUISTOJEN YHTEISVAIKUTUKSET ALUEEN KAUTTA MUUTTAVALLE LINNUSTOLLE

Perämeren rannikkoalueelle ollaan suunnittelemassa jopa pariakymmentä Suomen mittakaavassa suurta maatuulivoimapuistoa sekä lisäksi muutamia laajoja meritulivoimapuistoja. Suurin osa hankkeista sijoittuu Perämeren rannikkoalueella kulkevalle merkittävälle lintujen muuttoreitille tai sen välittömään läheisyyteen, jolloin niillä voi potentiaalisesti olla yhteisvaikutuksia sen kautta muuttavaan linnustoon. Osa tätä muuttoreittiä pitkin muuttavista linnuista (esim. laulujoutsenet ja hanhet) on matkalla hankealueiden pohjoispuolella sijaitsevalle maamme tärkeimpiin kuuluvalla lintujen muuttolevähdysalueelle, Oulunseudun kerääntymisalueen IBA-alueelle.

Mannertuulivoimapuistojen ympäristövaikutusten arvioinnit ovat vielä pääosin kesken, joten hankkeiden linnustovaikutuksista ei ole vielä tässä vaiheessa käytettävissä tarkempia tietoja. Useilla samalle muuttoreitille sijoittuvilla tuulivoimapuistoilla voi olla yhteisvaikutuksia alueen kautta muuttavaan linnustoon. Merkittävimmät tuulivoimapuistojen yhteisvaikutukset muodostuvat törmäysvaikutuksista, koska niillä on suora vaikutus alueen kautta muuttavien lintupopulaatioiden tilaan ja tulevaisuuteen (kuva 11). Usealla samalle muuttoreitille sijoittuvalla tuulivoimapuistolla tulee olemaan vaikutusta myös lintujen muuttoreitteihin paikallisesti, mutta mahdollisesti myös koko Perämeren rannikkoalueen laajuudessa. Muuttoreitteihin kohdistuvien estevaikutusten vuoksi suurin osa muuttavista linnuista oletettavasti väistää tuulivoimapuistoja, eikä lennä niiden läpi. Tämä luonnollisesti vähentää törmäysten määrää. Näin ollen estevaikutukset eivät muuttoreittien varrella yleensä kohoa populaation kannalta yhtä haitalliseksi kuin törmäysvaikutukset, koska niillä ei yleensä ole suoraa vaikutusta läpimuuttavien lintujen lukumäärään.



Kuva 11. Kolme keskeistä tuulivoiman vaikutustyyppiä (siniset laatikot) ja niiden vaikutusmekanismiä, jotka on jaettu potentiaaliin mitattavissa oleviin vaikutuksiin (yhtenäisellä viivalla rajatut laatikot) sekä mallinnettaviin vaikutuksiin (katkoviivalla rajatut laatikot). (Fox ym. 2006)

5.1 Vaikutukset Perämeren rannikkoalueen kevätmuuttoreitteihin

Suunnitelluilla tuulivoimapuistoilla tulee toteutuessaan olemaan vaikutuksia Pohjanlahden rannikkoalueen kautta muuttavien lintujen muuttoreitteihin, jos lintujen oletetaan väistävän tuulivoimapuistoja. Rannikkoalueen kautta muuttavien joutsenten ja hanhien muutto tiivistyy noin 5–10 km levyiselle vyöhykkeelle

uloimpien niemenkärkien päälle ja mantereen länsiosien ylle. Suunnitellut tuulivoimapuistot muodostavat kokonaislaajuudessa toteutuessaan kolme yli 10 km levyistä estettä tälle useiden lintulajien luontaiselle päämuuttoreille. Tuulivoimapuistojen muodostamat esteet sijaitsevat kolmessa vaiheessa, jolloin linnut joutuvat jokaisen tuulivoimapuistoalueen kohdalla tekemään ratkaisun, että kiertävätkö ne esteen vai lentävätkö ne sen läpi. Normaalkorkeudella noin 40–100 m korkeudessa lentävien joutsenten ja hanhien kohdalla ei ole oletettavaa, että ne nostaisivat korkeuttaan lähes 200 metriä ja ylittäisivät tuulivoimalat. Tuulivoimaloiden ylittäminen lienee todennäköisempää esim. kurjen ja petolintujen kohdalla, joiden luontaiset lentokorkeudet ovat yleensä joutsenia ja hanhia suurempia. Lintujen lentäminen roottorialan ja metsänrajan välissä lienee myös epätodennäköistä, koska oletettavasti roottorien pyörimisestä aiheutuva liike on riittävä pelote linnuille, jotta ne lähtevät kiertämään tuulivoimapuistoja jo selvästi kauempaa.

Muualta maailmalta on vahvoja viitteitä siitä, että linnut lähtevät kiertämään tuulivoimapuistoja jo riittävän etäältä välttääkseen törmäykset niihin (mm. Desholm 2006, BirdLife Suomi 2010). Tuulivoimapuistojen väistämistä on todettu tapahtuneen sekä meri- että maatuulivoimapuistojen kohdalla ja jopa yöllä, ja vain pienen osan havaituista linnuista on todettu lentäneen edelleen tuulivoimapuistojen läpi. Kalajoen ja Raahen välillä suunnitellut tuulivoimapuistot sijaitsevat keskellä muuttoreittejä, jolloin niiden kiertäminen tulee aiheuttamaan muutoksia myös lintujen muuttoreitteihin. Lintujen muuttoreitti todennäköisesti tulee pysymään edelleen Perämeren rannikkoalueella, koska linnut hakeutuvat joka tapauksessa Oulunseudun kerääntymisalueelle, mutta on vaikea arvioida mistä kautta linnut väistäisivät suunnitellut tuulivoimapuistot. Muuttoreiteissä tapahtuvat muutokset saattavat mahdollisesti heijastua myös alueiden pohjoispuolella sijaitsevalla Oulunseudun kerääntymisalueelle, ja siellä levähtävien lintujen alueelliseen jakaantumiseen.

Tarkasteltaessa yhdessä kaikkia Kalajoen ja Raahen väliselle rannikkoalueelle suunniteltuja tuulivoimapuistoja ja suhteuttamalla niiden sijainnit kevään 2011 muutontarkkailun aikana havaittuihin lintujen muuttoreitteihin, voidaan todeta, että lähimmäs rannikkoa suunnitellut tuulivoimapuistot ovat linnuston kannalta haitallisimpia. Tämä johtuu siitä, että käytännössä kaikki alle 10 km rannikolta olevat tuulivoimapuistot sijoittuvat keskelle tutkittujen lajien päämuuttoreittiä. Kalajoen alueella tämä muuttoreitti on leveimmillään johtuen rannikon muodosta ja Pitkäsenkylän peltoalueen muuttoa ohjaavista vaikutuksista. Raahen eteläisten tuulivoimapuistojen kohdalla muuttoreitti on kapeimmillaan rannikon läheisyydessä. Raahen itäisten tuulivoimapuistojen kohdalla muuttoreitti on taas hieman leveämpi, koska linnut alkavat jo pikkuhiljaa hakeutua kohti Oulunseudun kerääntymisalueen eri osia. Raahen itäisten tuulivoimapuistojen alue Anankangas–Nikkarinkaarrot sen sijaan sijoittuu sen verran itään rannikon johtolinjasta, että siellä lintujen muutto on vähäistä ja luonteeltaan hajanaista.

Suunniteltujen tuulivoimapuistojen yhteisvaikutukset laulujoutsenen ja harmaahanhilajien muuttoreitteihin Kalajoen ja Raahen välisellä rannikkoalueella arvioidaan varovaisuusperiaatteen mukaisesti kohtalaisiksi. Laulujoutsenen ja hanhien muuttoreitit tulevat todennäköisesti siirtymään jossain määrin tuulivoimapuistoalueiden vuoksi, koska linnut oletettavasti väistävät niitä. Linnut hakeutuvat todennäköisesti edelleen Oulunseudun kerääntymisalueelle lepäilemään muuttomatkinsa varrella. On kuitenkin erittäin vaikea arvioida minkä laajuisia muutoksia muuttoreitissä tapahtuu tuulivoimapuistojen rakentamisen jälkeen, koska Perämeren rannikko ohjaa ja tiivistää lintujen muuttoa alueella hyvin voimakkaasti.

5.2 Törmäysvaikutukset ja populaatiovaikutukset

On selvää, että rakennettaessa laajoja tuulivoimapuistoja lintujen vilkkaalle muuttoreitille, törmäyksiä tulee tapahtumaan vaikka linnut pyrkivät pääsääntöisesti väistämään tuulivoimaloita.

Linnuilla on luontaisestikin taipumus törmätä avoimessa ympäristössä korkeisiin rakennelmiin (mm. radiomastot, pilvenpiirtäjät, majakat), koska lintujen silmien sijainti pään sivuilla aiheuttaa sen, että niiden näkökenttä ei ole tarkimmillaan suoraan eteenpäin. Lisäksi linnut kääntelevät koko ajan päätään havainnoiden ympäristöä, minkä vuoksi ne voivat hetkittäin lentää lähes "sokeasti" eteenpäin (Martin 2011). Tästä johtuen linnut voivat jossain määrin törmätä myös tuulivoimaloiden torniin tai pysäytettyihin voimaloihinkin. Tuulivoimalat eivät ole ainoita ihmisen tekemiä korkeita rakennelmia, joihin linnut törmäävät (vrt. edellä). Tuulivoimaloiden merkittävin kuolleisuutta kasvattava tekijä on lintujen törmäminen pyöriviin lapoihin, jotka iskeytyvät lintuihin yllättäen. Useissa tapauksissa lintujen väistön on todettu tapahtuneen jo niin etäältä, että ne eivät edes päädy tuulivoimaloiden lähietäisyydelle.

Myös näkyvyyden heikkeneminen vaikuttaa törmäysten lukumäärään, koska huonolla näkyvyydellä voimalat ovat heikommin havaittavissa ja niiden väistäminen on vaikeampaa. Esimerkiksi sateella tai sumussa muuttavat linnut eivät välttämättä näe voimaloita ennen kuin ovat jo ajautuneet tuulivoimapuiston alueelle. Lisäksi yleensä korkealla muuttavien lintujen muuttokorkeus laskee selvästi huonoissa olosuhteissa. Tällaisissa olosuhteissa tapahtuvien törmäysten todennäköisyyttä vähentää kuitenkin se, että huonolla säällä muutto on yleensä keskimäärin vähäisempää. Toisaalta, esimerkiksi kevään 2011 muutontarkkailun aikana havaittiin tilanteita, missä hyvien muutto-olosuhteiden vallitessa paikallisia sumulauttoja ajautui jäiseltä mereltä mantereelle ylle. Ilmiö on säännöllinen ja jokakeväinen Pohjanlahden rannikolla. Linnut muuttivat kirkkaassa säässä, mutta sumulautan osuessa kohdalle ne lensivät sen läpi. Tällaisen sumulautan keskellä näkyvyys on lähes olematon, jolloin linnuilla on todennäköisesti vain hyvin heikot mahdollisuudet havaita voimalat. Loppusyksystä suuria määriä joutsenia on havaittu muuttavan lumisateessa, mikä myös heikentää näkyvyyttä merkittävästi. Näkyvyys on myös yksi merkittävä ja ennakoimaton epävarmuustekijä arvioitaessa lintujen törmäysten yleisyyttä, ja sitä kuinka suuri osuus niistä väistää tuulivoimaloita.

Taulukko 4. Yhteenvedo tässä työssä tarkasteltujen tuulivoimapuistojen yhteisvaikutuksista törmäyvien lintujen lukumäärien osalta. Numero paikan edessä viittaa törmäysmallinnuksen havaintoikkunaan (ks. kuva 3). Törmäysmallinnuksen tuloksena on ilmoitettu tuulivoimaloihin törmäyvien lintujen lukumäärä / kevätmuuttokausi olettaen, että 95 % linnuista väistää tuulivoimaloita. Yhteensä -rivillä on ilmoitettu tutkittaviin tuulivoimapuistoihin yhteensä törmäyvien lintujen lukumäärä (yhteisvaikutus) 95 % väistön kanssa / ilman väistöliikkeitä.

	Laulujoutsen	Metsähanhi	Merihanhi	Lyhytnokkahanhi
Lähtöpopulaatio	11000	16000	6000	2000
1 Kalajoki	41	33	13	4
2 Raahen eteläiset	40	29	11	4
3 Raahen itäiset:	37	26	11	3
Pöllänperä–Yhteinenkangas				
Yhteensä	118	88	35	11

Käytetyn törmäysmallinnuksen perusteella Kalajoen tuulivoimapuistojen alueella voimaloihin törmäisi vuosittain kevätmuutolla yhteensä 91 läpimuuttavaa laulujoutsenta ja harmaahanhea, olettaen että 95 % linnuista väistää voimaloita ja vain 5 % muuttokannasta lentää tuulivoimapuistoalueen läpi. Raahen eteläisten tuulivoimapuistojen alueella vastaavilla oletuksilla törmäyksiä tapahtuisi 84 kappaletta keväessä ja Raahen itäisten tuulivoimapuistojen kohdalla 77 kappaletta keväessä. Koko alueella tämä tarkoittaa näiden neljän mallinnetun lajin keväällä läpimuuttavan kannan osalta yhteensä 250 törmäystä, joka on 0,91 törmäystä voimalaa kohden.

Muualta maailmasta peräisin olevien tietojen perusteella tuulivoimaloihin törmäyvien lintujen lukumäärä vaihtelee hyvinkin paljon riippuen mm. alueella liikkuvien lintujen lukumäärästä ja tuulivoimapuiston sijainnista. Hollannissa syysmuuttavilla sekä talvehtivilla hanhilla ja joutsenilla on kahden tuulivoimapuiston kohdalla todettu 1–2 törmäystä / voimala / vuosi, kun taas kolmen muun tuulivoimapuiston kohdalla vastaavat luvut olivat 20–40 törmäystä / voimala / vuosi (Krijgsveld ym. 2011). Toisella alueella, Pohjois-Saksan Fehmarnin saarella, joka

sijaitsee Ruotsista Tanskan kautta Saksaan suuntautuvan vilkkaan muuttoreitin varrella, törmäyksiä on todettu tapahtuvan keskimäärin 13 kappaletta voimalaa kohti vuodessa (Grünkorn 2011). Useissa tutkimuksissa, myös vilkkaiden muuttoreittien varrella, törmäysten on useimmiten todettu kohdistuvan enemmässä määrin paikallisiin ja alueella yleisenä liikkuviin lintuihin.

Suunniteltujen tuulivoimapuistojen yhteisvaikutukset tutkittujen lajien kevätmuuttaville populaatioille ovat merkittävimmät metsähanhella, koska lajin pesimäkanta ja muuttajamäärät ovat taantuneet viime vuosina. Metsähänhen Perämeren rannikkoalueen kautta muuttavaan kantaan kohdistuva törmäyskuolleisuus lisää populaation kuolleisuutta vuodessa 0,5 % ja kymmenessä vuodessa 3,5 % (taulukko 5).

Taulukko 5. Yhteenvedo tässä työssä tarkasteltujen tuulivoimapuistojen yhteisvaikutuksista populaatiovaikutusten osalta. Kasvukertoimen muutos kuvaa populaation tilaa nykytilanteessa (ei tuulivoimaa) verrattuna tilanteeseen, missä tuulivoimalat ovat olleet pystyssä 10 vuotta (törmäyskuolleisuus huomioitu oletuksella, että 95 % linnuista väistää voimaloita). Muutoksen suunta kuvaa populaatiossa tapahtuvaa muutosta, kun törmäyskuolleisuus huomioidaan.

Laji	Kasvukertoimen muutos		Muutoksen suunta
	Nykytilanne	+10 vuotta	
Laulujoutsen	1,06	1,05	populaation kasvu hidastuu
Metsähanhi	0,97	0,96	populaation pieneneminen kiihtyy
Merihanhi	1,03	1,02	populaation kasvu hidastuu
Lyhytnokkahanhi	1,03	1,02	populaation kasvu hidastuu

Suomen pesivä laulujoutsenkanta kasvaa edelleen, minkä vuoksi törmäyksistä johtuva kuolleisuuden kasvu ei saa lajin populaatiota pienenemään kymmenen vuoden aikana, koska kasvukerroin pysyy positiivisena (> 1,00). Joutsenen kasvukerroin kuitenkin laskee eli kannan kasvu hidastuu. Näin ollen törmäyskuolleisuuden vaikutukset laulujoutsenelle arvioidaan enintään kohtalaisiksi.

Suomen metsähanhikanta on taantunut viime vuosina voimakkaasti, jolloin pienikin kuolleisuuden kasvu tällaisen lajin kohdalla voi olla kohtalokasta populaation tulevaisuuden kannalta. Törmäyksistä johtuvan lisäkuolleisuuden vaikutuksesta metsähanhikannan pieneneminen kiihtyy kymmenen vuoden kuluessa, minkä vuoksi lajiin kohdistuvat vaikutukset arvioidaan vähintään kohtalaisiksi.

Suomen pesivä merihanhikanta kasvaa edelleen, minkä lisäksi myös lyhytnokkahanhen talvehtimisalueilla ja Perämeren muuttoreitillä lintujen määrät ovat kasvaneet voimakkaasti viime vuosina (mm. BirdLife International 2011). Lajeihin kohdistuvat vaikutukset eivät ole yhtä merkittäviä verrattuna metsähänheeseen, koska niiden kannat ovat kasvavia. Näin ollen meri- ja lyhytnokkahanheeseen kohdistuvat vaikutukset arvioidaan enintään kohtalaiseksi.

Populaatiovaikutusten arvioinnin merkittävin tulos on se, että nyt toteutetun mallinnuksen ja sen oletusten perusteella laulujoutsenen, merihanhen ja lyhytnokkahanhen populaation kasvu hidastuu, mutta ei vähene. Sen sijaan taantuvan metsähänhen populaation pieneneminen kiihtyy.

Tuloksia tulkittaessa täytyy huomioida, että tuulivoimaloiden aiheuttamat törmäykset ja niistä johtuvat populaatiovaikutukset eivät ole suinkaan ainoita ihmisen toimista aiheutuvia ja lintupopulaatioiden tilaa heikentäviä tekijöitä. Monen lajin kohdalla, esim. metsähänhella, metsästyksestä johtuvat vaikutukset ovat todennäköisesti vieläkin suurempia kuin tuulivoimaloiden törmäyskuolleisuuden vaikutukset.

5.3 Vaikutusten lieventäminen

Tuulivoimaloiden törmäysvaikutusten lieventämistoimia on tutkittu maailmalla runsaasti, mutta tulokset ovat jossain määrin ristiriitaisia eikä yhtä ainoaa toimivaa menetelmää ole vielä keksitty. Lisäksi menetelmien käyttökelpoisuuteen

vaikuttavat voimakkaasti alueen paikalliset olosuhteet sekä lintujen muuton luonne, jolloin lieventämistoimet täytyy miettiä jokaiselle alueelle erikseen.

Paras ja tehokkain törmäysten lieventämis- ja vähentämistoimenpide on tuulivoimaloiden pysäyttäminen (Burton ym. 2011) ja roottorien kääntäminen sivuttaisiin muuttoreittien suhteen lintujen päämuuton ajaksi. Useimpina vuosina laulujoutsenen ja hanhien suurimmat muuttopurkaukset pystytään ennustamaan kohtuullisen luotettavasti odotettavissa olevan säätilan mukaan jo 1–2 päivää etukäteen. Useiden tuulivoimapuistojen yhteisvaikutuksia tarkasteltaessa täytyy huomioida, että kaikki lintujen keskeisimmälle muuttoväylälle sijoittuvat tuulivoimapuistot täytyisi pysäyttää yhtä aikaa, jotta voimaloiden pysäyttäminen olisi tehokkainta. Voimaloiden pysäyttämisen kohdalla ei ole kuitenkaan täysin selvää, missä määrin linnut lentäisivät pysäytettyjen tuulivoimapuistojen läpi ja kiertäisivätkö ne tuulivoimapuistoja joka tapauksessa. Voimaloiden pysäyttäminen tehoaa kuitenkin tuulivoimapuistoalueiden läpi muuttavien lintujen kohdalla vähentäen huomattavasti voimaloihin törmäävien lintujen lukumääriä.

Tuulivoimaloiden sijoittelulla on huomattava merkitys törmäävien lintujen lukumäärään. Korkeimmat törmäyslukumat on todettu olevan manner- ja saaristoympäristön tuulivoimapuistoissa, jotka sijaitsevat lintujen muuttoreittien tai merkittävien muutonaikaisten kerääntymäalueiden läheisyydessä (Pöyry Management Consulting Oy 2011). Yksi vaikutuksia lieventävä keino olisi siten tuulivoimaloiden sijoittaminen riittävän etäälle rannikkolinjasta, jolloin lintujen päämuuttoväylä ei enää kulje niiden kautta. Laajempien tuulivoimapuistoalueiden kohdalla (esim. Kalajoen mittakaavassa) voisi voimaloiden sijoittelua miettiä myös useampiin riittävän etäällä toisistaan (noin 1,5–2 km) oleviin ryhmiin, joiden välissä linnut voisivat todennäköisesti muuttaa myös tuulivoimaloiden rakentamisen jälkeen.

Tuulivoimaloiden lapojen maalaaminen UV-valoa heijastavalla maalilla luultavasti tekee ne lintujen näkökulmasta paremmin havaittaviksi, ja toimii osin jopa yöllä muuttavien lajien kohdalla. Lapojen maalaamisen tehokkuudesta törmäysvaikutusten lieventämistoimenpiteenä on kuitenkin olemassa hyvin ristiriitaista tutkimustietoa.

6 ARVIOINNIN EPÄVARMUUDET

Linnustoselvityksiin, erilaisiin aineistoihin ja käytettyihin mallinnusmenetelmiin sekä arviointien luotettavuuteen liittyy aina useita epävarmuustekijöitä, joista merkittävimmät on esitetty seuraavissa kappaleissa.

6.1 Käytetyt aineistot

Tämän yhteisvaikutusten arvioinnin yhteydessä on käytetty mm. lintutieteellisten yhdistysten havaintoaineistoja (mm. Tiira -havaintojärjestelmä), joihin liittyy useita epävarmuustekijöitä. Lintuyhdistysten havaintoaineistoissa ei ole kirjattu lintujen lentokorkeuksia eikä useinkaan tarkempia tietoja lintujen muuttoreiteistä alueella, vaan tiedoissa on yleensä vain yksi päiväkohtainen summa havaintopaikalta. Vanhojen aineistojen avulla ei näin ollen voida saada tietoa lintujen lentokorkeuksista, muuttoreitin tarkemmasta sijoittumisesta tai siinä tapahtuvista muutoksista vuosittain, vaan tässä arvioinnissa käytetyt tiedot on yleistetty kevään 2011 muutontarkkailun perusteella. Lintuyhdistysten havaintoaineistot on koottu myös täysin harrastajapohjalta, jolloin aineistot ovat laadultaan ja kattavuudeltaan hyvinkin erilaisia. Usein ei-systemaattinen ja harrastuspohjalta toteutettu muutonseuranta antaa varsin epätarkan kuvan alueen kautta kulkevasta muuttovirrasta, mutta yleensä hyvin seurattujen isojen lintujen, kuten joutsenen ja harmaahanhilajien muuttaja- sekä lepäilijämääristä tällainen aineisto antaa hyvän kuvan, koska niiden muutonkulku on kevään seuratuimpia tapahtumia. Näin ollen tällaisten aineistojen avulla voidaan haarukoida eri vuosina havaittujen lintujen yhteismääriä riittävän luotettavasti.

6.2 Käytetyt menetelmät

Tämän selvityksen yhteydessä toteutetun muutonseurannan merkittävimmät epävarmuustekijät liittyvät enimmäkseen lintujen muuttokannoissa tapahtuvaan luontaiseen vuosittaisvaihteluun. Yhden kevätkauden kattavat selvitykset ovat usein vaikeasti yleistettävissä pidemmälle ajanjaksolle, koska lintujen muuttoreitit ja lentokorkeudet riippuvat mm. vallitsevasta säätilasta.

Kevään 2011 muutonseurannan yhteydessä saatiin edustava yhden muuttokauden havaintoaineisto laulujoutsenen sekä harmaahanhilajien yksilömäärästä sekä muuttokäyttäytymisestä Kalajoen ja Raahen välisellä rannikkoalueella. Tämän lisäksi lintujen lukumääriä koskevia arvioita on täydennetty muulla olemassa olevalla havaintoaineistolla, joten muuttajamäärissä tapahtuvista vuosittaisvaihteluista on saatu vähintään hyvä kuva.

Muutonseurantajaksojen ajoittaminen suurten ja tuulivoiman törmäysvaikutuksille herkkien lajien päämuuttoon tarkoittaa väistämättä sitä, että osa alueen kautta muuttavasta linnustosta jää havainnoimatta. Lisäksi muutontarkkailun vuorokautinen havainnointiaika ajoitettiin yleensä aamun ja alkuiltapäivän vilkkaamman muuton aikaan, joka on vain pieni osa valoisasta ajasta. Lisäksi lintuja muuttaa merkittävässä määrin myös yöllä, mutta alueen yömuutosta ei ole olemassa tutkittua tietoa.

Ainoastaan tiettyihin lajeihin kohdennetun otantatutkimuksen vuoksi alueen kautta muuttavasta lajistosta ja lintujen muuttajamääristä ei pystytä esittämään luotettavaa ja törmäysmallinnukseen riittävää arvioita kuin laulujoutsenen, meri-, metsä- ja lyhytnokkahanhen osalta. Näin ollen osa alueen kautta merkittävässä määrin muuttavista ja tuulivoiman linnustovaikutusten kannalta keskeisistä lajeista (esim. merikotka, piekana, kurki, kiljuhanhi) jää tässä yhteisvaikutusten arviointityössä huomioimatta, koska niiden muutosta ei saatu riittävän kattavaa aineistoa näiden hankkeiden yhteydessä. Lisäksi rannikkoalueen kautta runsaana muuttavista lajeista mm. töyhtöhyypän, kuovin ja sepelkyyhkyn sekä varpuslintujen muuton seuraaminen ja sen asianmukainen kirjaaminen ei ollut mahdollista yhden havainnoijan toimesta. Myös joidenkin suojellisesti arvokkaimpien lajien, kuten kiljuhanhen, muuton kuva alueella on puutteellinen ja ne on siksi jätetty tämän arvioinnin ulkopuolelle. Oletettavasti osa Fennoskandian kiljuhanhipopulaatiosta voi muuttaa tarkastelun kohteena olevien tuulivoimapuistojen kautta. Useamman lintulajin mukaan ottaminen vaatisi huomattavasti pidemmän ja yhtenäisemmän maastohavainnoinnin useammasta havainnointipisteestä ja useamman henkilön voimin, kuin näiden hankkeiden yhteydessä oli mahdollista toteuttaa. Aineistojen puutteellisuus joidenkin laji- ja yksilömäärien osalta (pl. laulujoutsen ja harmaahanhet) aiheuttaa näistä lajeista esitettyihin tuloksiin ja johtopäätöksiin suuruusluokaltaan merkittävän epävarmuustekijän.

Muutontarkkailu ja lentokorkeuksien sekä etäisyyksien arvioiminen sisältää aina jonkin verran havainnoijasta johtuvia virhelähteitä, jolloin ne ovat havainnoijan subjektiivisia arvioita. Tähän vaikuttaa myös havainnoijan muutontarkkailukokemus. Vilkaana muuttopäivänä ei kokenutkaan tarkkailija ehdi huomioimaan ja kirjaamaan kaikkia ohi muuttavia lintuja. Tällöin on keskitytty vain hankkeiden kannalta olennaisimpien lajien havainnointiin ja kirjaamiseen.

Tuloksia tarkasteltaessa on huomattava, että nyt esitetyt törmäyslukumat ovat vain neljän nyt tutkittavana olleen lajin muodostama osa todellisista törmäysten lukumääristä käytetyillä oletuksilla. Suurin osa alueilla liikkuvista lajeista ja niiden vuoden aikana tuulivoimapuistoalueilla tapahtuvasta liikehinnästä jää tämän arvioinnin ulkopuolelle.

Törmäysmallinnuksessa pyritään kuvaamaan todennäköisyyksiä mahdollisimman yksinkertaisten mallien avulla, jolloin niihin liittyy useita epävarmuustekijöitä. Malli esimerkiksi olettaa, että kaikki tarkastellun alueen tuulivoimalat sijaitsevat yhdessä tasossa (rivissä), vaikka todellisuudessa ne ovat osittain limittäin toistensa takana. Suurin ja lopputuloksen kannalta merkittävin epävarmuustekijä liittyy lintujen kykyyn väistää niiden muuttoreiteille rakennettuja tuulivoimaloita. Väistön todennäköisyyteen liittyy useita paikallisia ja lajikohtaisia tekijöitä, eikä

väistön todennäköisyyksistä Suomen olosuhteissa ja näin vilkkaalla muuttoreitillä ole tietoa.

Populaatiodynaamisessa mallinnuksessa joudutaan tukeutumaan kirjallisuudesta saatavaan tietoon eri lajien populaation kasvuun vaikuttavista tekijöistä. Näin ollen merihanhen ja lyhytnokkahanhen populaatiomallinnuksissa jouduttiin käyttämään pääpiirteissään metsähanhen populaatiomallia, koska merihanhen ja lyhytnokkahanhen lajikohtaisia tarkempia parametrejä ei ollut saatavilla. Mallit ovat siis tosia vain jos käytetyt parametrit ovat tosia.

On mahdollista, että mallinnetun ajanjakson kuluessa lintujen populaatioissa tapahtuu myös luonnollisia muutoksia (esim. kuolleisuuden kasvu), jotka vaikuttavat niiden populaatioon. Tällöin törmäyskuolleisuuden vaikutukset populaatiotoksella muuttuvat.

6.3 Arvioinnin epävarmuudet

Arviointityössä on jouduttu tukeutumaan ulkomaalaisiin tietoihin tuulivoiman linnustovaikutuksista ja lintujen reagoinnista tuulivoimaloiden kohtaamistilanteissa. Kotimaista tietoa ei ole vielä saatavana Suomeen rakennettujen tuulivoimapuistojen vähäisestä määrästä johtuen. On oletettavaa, että samat lajit käyttäytyvät jossain määrin samankaltaisesti sekä ulkomaalaisten tuulivoimapuistojen että suomalaisten tuulivoimapuistojen läheisyydessä, mutta kaikkia paikallisista tekijöistä johtuvia asioita ei ole kuitenkaan voitu tietojen puutteesta huomioida riittävällä tarkkuudella. Tämä tuo vaikutusten arvioinnin luotettavuuteen merkittävyydeltään vähintään kohtalaisen epävarmuustekijän.

Myös sähkönsiirron ilmajohtoilla voi olla mahdollisia vaikutuksia alueen kautta kulkevaan muuttolinnustoon, mm. törmäysten kautta. Näiden hankkeiden osalta sähkönsiirtoreittien toteuttamissuunnitelmat ovat vielä kesken, minkä vuoksi niistä ei huomioitu tässä raportissa.

7 EHDOTUS LINNUSTOVAIKUTUSTEN SEURANNASTA

Suunniteltujen tuulivoimapuistojen linnustovaikutusten seuranta olisi tehokkainta toteuttaa yhdistetysti ja koordinoitusti yhdessä kaikkien alueelle rakennettavien tuulivoimapuistojen kesken. Muuttolinnuston kohdalla tämä antaisi parhaan lopputuloksen ja olisi luultavasti myös kustannustehokkain tapa.

Alueen kautta muuttavan linnuston seuranta tulisi toteuttaa keväällä 2011 käytettyjä menetelmiä soveltaen, jotta kerättävä aineisto olisi vertailukelpoista nyt kerätyn aineiston kanssa. Näin lintujen muuttoreiteissä ja muuttajien määrässä tapahtuvat muutokset voidaan todentaa luotettavasti. Seuranta tulisi kuitenkin kohdentaa koskemaan koko alueen kautta muuttavaa lajistoa, kun nyt tarkasteltiin tarkemmin vain neljää hankkeiden kannalta merkittävintä lajia.

Näkyvän muuton havainnoinnin lisäksi olisi suotavaa seurata lintujen muuttoa myös tarkoitukseen soveltuvan tutkan avulla, jolloin muuton luonteesta saataisiin huomattavasti luotettavampi kuva ja lisäksi saataisiin tietoa alueella tapahtuvasta lintujen yömuutosta.

Muutonhavainnoinnin eli lintujen muuttajamäärien ja muuttoreittien todentamisen lisäksi olisi tarkkailtava myös lintujen käyttäytymistä olemassa olevien tuulivoimaloiden läheisyydessä sekä havainnoitava niiden mahdollisia törmäyksiä tuulivoimaloihin.

8 YHTEENVETO

Pohjois-Pohjanmaan rannikolle Kalajoen ja Raahen väliselle alueelle ollaan suunnittelemassa useita Suomen mittakaavassa suuren luokan maatuulivoimapuistoja. Hankkeet sijoittuvat osittain tai kokonaan kansainvälisesti tärkeälle, Pohjanlahden rannikkolinjaa seuraavalle lintujen muuttoreitille. Useat samalle muuttoreitille sijoittuvat tuulivoimapuistot saattavat aiheuttaa kasautuvia (kumuloituvia) vaikutuksia alueen kautta muuttavaan linnustoon ja niiden populaatioihin, etenkin mahdollisten törmäysten ja lintujen muuttoreiteissä tapahtuvien muutosten muodossa.

Tässä työssä arvioitiin alueen kautta muuttavaan linnustoon kohdistuvia yhteisvaikutuksia seuraavien hankevastaavien tuulivoimapuistojen osalta: TuuliWatti Oy, Puhuri Oy, Suomen Hyötytuuli Oy, wpd Finland Oy, Fortum Power and Heat Oy, PVO Innopower Oy sekä Metsähallitus.

Työssä arvioitiin laulujoutseneen, metsä-, meri- ja lyhytnokkahanheen kohdistuvia tuulivoimapuistojen yhteisvaikutuksia törmäys- ja estevaikutusten osalta. Arvioinnin keskeisimpänä aineistona käytettiin Kalajoella ja Raahessa keväällä 2011 toteutetun muutontarkkailun tuloksia eri tuulivoimapuistoalueilta. Muutontarkkailu saman aikaistettiin ja menetelmät yhtenäistettiin työstä vastaavien konsulttien kesken, jotta kaikki aineistot olisivat keskenään vertailukelpoisia. Työssä käytettiin lisäksi Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan lintutieteellisten yhdistysten alueelta kertyneitä havaintoaineistoja.

Kevään 2011 muutontarkkailun aikana saatiin edustava kuva yhden kevään aikana alueen kautta kulkevasta laulujoutsenten, metsä-, meri- ja lyhytnokkahanhien muutosta. Tämän perusteella voidaan todeta, että valtaosa tutkittavista tuulivoimapuistoista sijoittuu keskelle niiden merkittävää muuttoreittiä. Raahen itäisistä tuulivoimapuistoista Annankangas–Nikkarinkaartojen hankealue sijaitsee niin etäällä rannikon päämuuttoreitiltä ja muista tuulivoimapuistoista, että sillä ei katsottu olevan merkittäviä yhteisvaikutuksia muiden suunniteltujen tuulivoimapuistojen kanssa.

Törmäysmallinnuksen perusteella tutkittuihin tuulivoimapuistoihin törmäisi lähtöpopulaation 11000 laulujoutsenesta yhteensä noin 117 lintua keväässä, olettaen että 95 % linnuista väistää tuulivoimalat. Lähtöpopulaation 16000 metsähanhasta yhteensä noin 88 lintua keväässä törmäisi tuulivoimaloihin, olettaen että 95 % linnuista väistää niitä. Merihanhasta (lähtöpopulaatio 6000 yks.) ja lyhytnokkahanhasta (lähtöpopulaatio 2000 yks.) tuulivoimaloihin törmäisi yhteensä noin 35 merihanhea ja 11 lyhytnokkahanhea olettaen, että 95 % linnuista väistää voimalat. Tämä tarkoittaa, että kevätmuutolla 1,0 % alueen läpi muuttavista laulujoutsenista ja 0,6 % alueen läpi muuttavista hanhasta törmäisi tuulivoimaloihin. Kokonaisuutena näiden neljän mallinnetun lajin kohdalla törmäyksiä tapahtuisi yhteensä noin 250 kappaletta keväässä, joka tarkoittaa 0,91 törmäystä / voimala.

Törmäyskuolleisuuden populaatiovaikutukset arvioidaan merkittävimiksi taantuvan metsähanhan kohdalla, koska metsähanhella törmäyskuolleisuus lisää jo ennestään pienenevän populaation kuolleisuutta. Laulujoutsenella, merihanhella ja lyhytnokkahanhella populaation kasvu hidastuu, mutta populaation kasvukieroin ei käänny negatiiviseksi eli kanta kasvaa edelleen törmäyskuolleisuudesta huolimatta. Tämän vuoksi tuulivoimapuistojen yhteisvaikutukset törmäysvaikutusten osalta arvioidaan vähintään kohtalaisiksi metsähanhelle ja enintään kohtalaisiksi laulujoutsenelle, merihanhelle ja lyhytnokkahanhelle.

Suunnitellut tuulivoimapuistot muodostavat kolmessa vaiheessa yli 10 km levyisen esteen lintujen luontaiselle päämuuttoreitille. Useiden tutkimusten mukaan on todennäköistä, että linnut väistävät voimaloita ja kiertävät tuulivoimapuistot, mutta Suomen olosuhteissa ei ole selvää, missä määrin tätä tapahtuisi näin vilkkaan muuton johtolinjan kohdalla. Kalajoen ja Raahen välille suunniteltujen tuulivoimapuistojen yhteisvaikutukset estevaikutusten osalta arvioidaan vähintään

kohtalaisiksi alueen kautta kulkeville linnuille. Estevaikutuksilla ei ole suoraa vaikutusta lintujen lukumääriin alueella, kuten törmäyskuolleisuudella.

Tuloksia tarkasteltaessa on huomattava, että nyt esitetyt törmäyslukemat ovat vain neljän tutkittavana olleen lajin muodostama osa todellisista törmäysten lukumääristä käytetyillä oletuksilla. Suurin osa alueilla liikkuvista lajeista ja niiden vuoden aikana tuulivoimapuistoalueilla tapahtuvasta liikehdinnästä jää tämän arvioinnin ulkopuolelle. Näin ollen tuulivoimapuistojen todelliset törmäyslukemat ovat korkeampia kuin nyt esitetyt.

Törmäyskuolleisuutta arvioitaessa on huomattava, että tuulivoimaloiden aiheuttamat törmäykset ja niistä johtuvat populaatiovaikutukset eivät ole suinkaan ainoita ihmisen toimista aiheutuvia ja lintupopulaatioiden tilaa heikentäviä tekijöitä.

Suunniteltujen tuulivoimapuistojen kautta muuttavaan linnustoon kohdistuvia vaikutuksia voidaan vähentää ja lieventää eri tavoin. Lieventämistoimenpiteistä tehokkain on tuulivoimaloiden kohdennettu ja ajoitettu pysäyttäminen.

LÄHDEKIRJALLISUUS

- Band, W., Madders, M. & Whitfield, P.D. 2007: Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms. Teoksessa: Lucas, M., Janss, G. & Ferrer, M. (toim.) 2007: Birds and wind farms. Risk assessment and mitigation. s. 259–275.
- BirdLife International 2008: *Numenius arquata*. Teoksessa: IUCN 2011: IUCN Red List of Threatened Species (Version 2011.2). WWW-dokumentti: www.iucnredlist.org (viitattu 12.12.2011).
- BirdLife International 2011: IUCN Red List for birds. WWW-dokumentti: <http://www.birdlife.org> (viitattu 1.12.2011).
- BirdLife Suomi 2010: Tuulivoimaloiden rakentamisen ja käytön vaikutuksista lintuihin Suomessa. WWW-dokumentti: <http://www.birdlife.fi/suojelu/paikat/tuulivoima.shtml> (viitattu 1.9.2011).
- Burton, N., Cook, A., Roos, S., Ross-Smith, V., Beale, N., Coelman, C., Martin, G. & Norman, K. 2011: Identifying a range of options to prevent or reduce avian collisions with offshore wind farms. Poster. Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2.–5.2011, Trondheim, Norway.
- Desholm, M. 2006: Wind farm related mortality among avian migrants – a remote sensing study and model analysis. PhD thesis. Dept. of Wildlife Ecology and Biodiversity, NERI, and Dept. of Population Biology, University of Copenhagen. National Environmental Research Institute, Denmark. 128 s.
- Desholm M. & Kahlert J. 2005: Avian collision risk at an offshore wind farm. *Biology Letters* 1(3): 296–298.
- Eskelin, T., Markkola, J., Tuohimaa, H., Suorsa, V., Luukkonen, A., Ruhanen, H.-R., Tapio, T. & Väyrynen, T. 2009: Suurhiekan merituulipuisto - Suurhiekan linnusto ja arvio suunnitellun tuulipuiston linnustovaikutuksista. Osaraportti Suurhiekan YVA-selostusta varten. Wpd Finland Oy, Pohjois-Pohjanmaan lintutieteellinen yhdistys ry. 176 s.
- Grünkorn, T. 2011: Bird fatalities at wind turbines – How many birds actually collide with wind turbines at a well-known hotspot of bird migration, the island of Fehmarn in northern Germany? Poster. Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2.–5.2011, Trondheim, Norway.
- Hood, G. M. 2010: PopTools version 3.2.3. WWW-dokumentti: <http://www.pop-tools.org> (viitattu 8.9.2011).
- Knudsen, H., Laubek, B. & Ohtonen, A. 2002: Growth and survival of Whooper Swan cygnets reared in different habitats in Finland. *Waterbirds*, vol. 25, special publication 1. Proceedings of the Fourth International Swan Symposium 2001 (2002). s. 211–220.
- Koistinen, J. 2004: Tuulivoimaloiden linnustovaikutukset. Suomen ympäristö 721. Ympäristöministeriö. Helsinki. 42 s.
- Koskimies, P. & Väisänen, R. A. 1988: Linnustonseurannan havainnointiohjeet (2.painos). Helsingin yliopiston eläinmuseo, Helsinki.
- Krijgsveld, K., Heunks, C., Collier, M. & Dirksen, S. 2011: Collision victims at wind farms in the Netherlands. Poster. Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2.–5.2011, Trondheim, Norway.
- Martin, G.R. 2011: Understanding bird collision with man-made objects: a sensory ecology approach. *Ibis* 153: 239–254.
- Pessa, J., Ruokonen, M., Timonen, S. & Väyrynen, E. 2004: Metsähanhia tutkitaan Suomessa. *Linnut* 4/2004. s. 32–37
- Pohjois-Pohjanmaan liitto 2011: Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Pohjanmaan manneralueen tuulivoimaselvitys. Pohjois-Pohjanmaan liiton julkaisu B:66. 86 s.
- Pöyry Management Consulting Oy 2011: Tuulivoima ja linnusto – kokemukset ja käytännöt Suomesta ja lähialueilta

- Pöysä, H. & Sorjonen, J. 2000: Recolonization of breeding waterfowl communities by the Whooper Swan: vacant niches available. *Ecography* 23(3): 342–348.
- Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim.) 2010: Suomen lajin uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Erillisjulkaisu. Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus. 685 s.
- RiistaWeb 2011: Riistatiedot -tietokanta. WWW-dokumentti: <http://riistaweb.riista.fi/riistatiedot/riistatietohaku.mhtml?lang=fi> (viitattu 28.11.2011).
- Saurola, P., Koivusaari, J., Lumme, T., Nuuja, I. & Stjernberg, T. 2010. Minne menet, merikotka? – satelliittimerikotkien ensimmäinen vuosi. *Linnut* 45 (3): 6–15.
- Scottish Natural Heritage 2010a: Assessing collision risk. WWW-dokumentti: <http://www.snh.gov.uk/planning-and-development/renewable-energy/onshore-wind/assessing-bird-collision-risks/> (viitattu 22.11.2011).
- Scottish Natural Heritage 2010b: Use of Avoidance Rates in the SNH Wind Farm Collision Risk Model. SNH Avoidance Rate Information & Guidance Note. 10 s.
- Suorsa, V. 2011: Henkilökohtainen lintuhavaintoarkisto vuosilta 1997–2011.
- Taavetti, H. 2011: Henkilökohtainen lintuhavaintoarkisto vuosilta 1990–2011.
- Tuohimaa, H. 2009: Hanhikiven linnusto. Kooste viiden lintuharrastajan havainnoista vuosilta 1996–2009. Erillisraportti Pyhäjoen Hanhikiven ydinvoimalahankkeen YVA-menettelyssä. Pöyry Environment Oy. 52 s.
- Whitfield, D.P. 2009: Collision Avoidance of Golden Eagles at Wind Farms under the 'Band' Collision Risk Model. WWW-dokumentti: <http://scottishfossilcode.com/pdfs/strategy/renewables/B362718.pdf> (viitattu 1.9.2011).
- WWF Suomi 2010. Ohje merikotkien huomioon ottamiseksi tuulivoimaloita suunniteltaessa (päivitetty marraskuussa 2010) WWW-dokumentti: http://www.wwf.fi/wwf/www/uploads/pdf/ohje_merikotka_ja_tuulivoima_wwf.pdf (viitattu 9.12.2011).
- WWF Suomi 2011: Suomen merikotkien satelliittiseuranta. WWW-dokumentti: <http://www.luomus.fi/elaintiede/merikotkat/> (viitattu 9.12.2011).
- WWF Suomi 2012: Portal to the Lesser White-fronted Goose. WWW-dokumentti: <http://www.piskulka.net/> (viitattu 2.1.2012).
- Väisänen, R.A., Lammi, E. & Koskimies, P. 1998: Muuttuva pesimälinnusto. Ota-va, Keuruu. 567 s.