



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus



Kestävä tuulivoimarakentaminen Pohjois-Pohjanmaalla TUULI-hanke

Tuulivoimarakentamisen
vaikutukset
Pohjois-Pohjanmaan
maakotkapopulaatioon



Kestävä tuulivoimarakentaminen Pohjois-Pohjanmaalla, TUULI-hanke

Tuulivoimarakentamisen vaikutukset Pohjois-Pohjanmaan maakotkapopulaatioon

Pohjois-Pohjanmaan liitto 12/2022

Karttojen tausta- ja maastokarttarasteri © Maanmittauslaitos 2022.

Valokuvat © Hannu Tikkanen

Etukannen kuvat

- Maakotka *Aquila chrysaetos*, Hannu Tikkanen
- Tuulivoimapuisto, Suomen Tuulivoimayhdistys ry

Takakannen kuva

- Tuulivoimaloita, Suomen Tuulivoimayhdistys ry

SISÄLLYS

Lukijalle	sivu
1. Tarkasteltavat tuulivoima-alueet ja voimalapaikat	5
2. Yleistä tuulivoiman vaikutuksista tarkasteltaviin lajeihin	7
3. Selvityksen vaiheet ja menetelmät	9
4. Maakotkakannat ja niiden muutokset	12
5. Populaatioiden sietokyky lisäkuolleisuudelle	14
6. Reviireiden sietokyky lisäkuolleisuudelle	15
7. Yhteenveto merkittävän vaikutuksen rajoista	16
8. Lentomäärien arviointi	17
9. Törmäysriskien arviointi	18
10. Riskiarvioinnin yhteenveto	21
11. Voimalapaikkojen mahdollinen määrä reviireittäin, siten ettei riskiraja ylity	22
12. Keskeiset epävarmuustekijät ja niiden vaikuttavuuden suunta	23
13. Suosituksia jatkosuunnitteluun sekä arviointien kehittämiseen	24
14. Kirjallisuus	29



LUKIJALLE

Uusiutuvaan energiaan siirtyminen ja yhteiskunnan sähköistyminen ovat voimakkaassa kasvussa Suomessa ja muuallakin EU:ssa. Maakuntaliitot varautuvat tähän tuulivoiman volyymin kasvuun maakuntakaavoissaan.

Pohjois-Pohjanmaan maakuntakaavan uudistaminen on käynnistynyt lokakuussa 2021. Yksi energia- ja ilmastovaihemaakuntakaavan teemoista on tuulivoima. Tämä työ on yksi TUULI-hankkeen taustaselvityksistä. TUULI-hankkeen tulokset ja taustaselvitykset ovat tärkeä osa maakuntakaavan uudistamista, jossa mm. päivitetään 1. ja 3. vaihemaakuntakaavan tuulivoima-alueet ja kartoitetaan tuulivoimalle soveltuvia uusia alueita. Uusien tuulivoima-alueiden sijoittumisen tulee olla ekologisesti, taloudellisesti ja sosiaalisesti kestävä.

Maakunnalliseen tuulivoimatuotantoon soveltuvien alueiden valintaa tehdään kaavatyön edetessä useassa vaiheessa mm. paikkatietotarkasteluihin, selvityksiin ja sidosryhmätyöskentelyyn perustuen.

Tässä selvityksessä tavoitteena on arvioida maakunnallisten tuulivoima-alueiden kokonaisvaikutuksia Pohjois-Pohjanmaan maakotkakantaan. Selvityksessä tarkastelun kohteena ovat maakuntaliiton tuulivoimaselvityksessä (Pohjois-Pohjanmaan liitto, TUULI-hanke 2021-2022) potentiaalisiksi tuulivoima-alueiksi valikoituneet alueet ja jo olemassa olevat rakennetut ja muut kaavoitetut tuulivoimapuistot. Tarkastelut on tehty maakotkan elinympäristö-, törmäys- ja populaatiomallinnuksiin perustuen. Työhön ei liittynyt maastonselvityksiä, mutta muutoin menetelmät ovat yhteneväiset toteutettujen YVA-hankkeiden ja MH:n (2022) ”Hyvät käytännöt maakotkalle aiheutuvien vaikutusten arviointiin – esimerkkiraportti Nimettömänkankaan tuulivoimahankkeesta” – julkaisun kanssa.

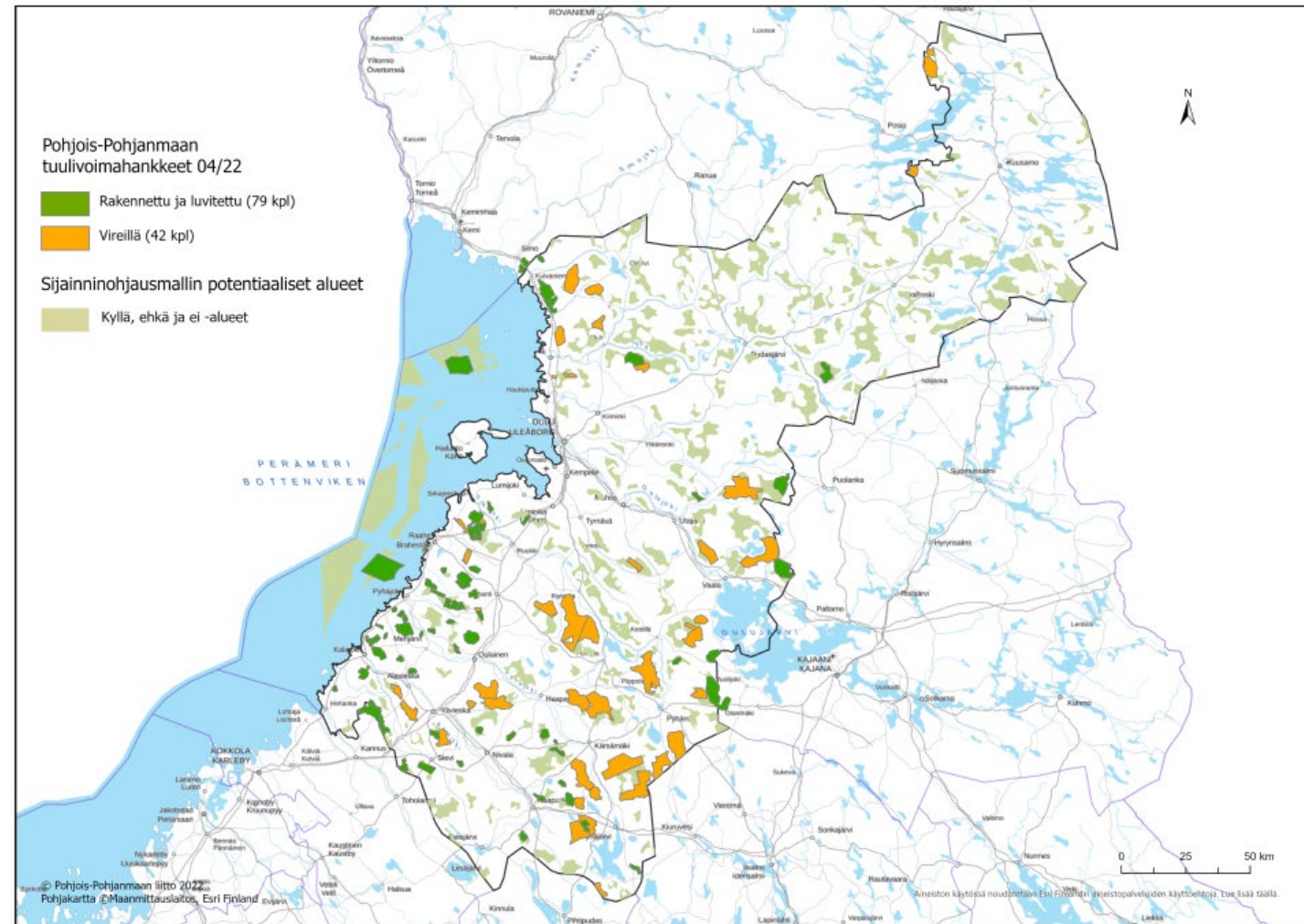
Työssä keskityttiin 1) voimaloiden aiheuttamien törmäysriskien ja niiden populaatiotason vaikutusten arviointiin sekä 2) vaikutuksiltaan siedettävien voimalapaikkojen määrän ja sijaintien haarukointiin. Törmäysriskien ja niiden vaikuttavuuden arviointiin on olemassa tai mahdollista laatia elinympäristö- ja populaatiomalleja, joita voidaan käyttää suunnittelutyökaluina vaikutuksia ja niiden merkittävyyttä arvioitaessa. Muiden vaikutusmuotojen, kuten voimalinjojen ja saalistusalueiden muutosten kohdentumiset, eivät olleet tässä suunnitteluvaiheessa riittävällä tarkkuudella selvillä arviointien mahdollistamiseksi.

Selvitys on laadittu huhti-marraskuun 2022 aikana ja sen laadinnasta on vastannut FM Hannu Tikkanen. Menetelmien valinnassa ja analyysien teossa on lisäksi kuultu Oulun yliopiston yliopistotutkijaa Veli-Matti Pakasta (populaatiomallinnukset).

Työ on tehty Pohjois-Pohjanmaan liiton tilauksesta. Työtä ovat ohjanneet Erika Kylmänen ja Sari Pulkka Pohjois-Pohjanmaan liitosta, Liisa Kantola ja Jorma Pessa Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksesta sekä Marko Sievänen Metsähallituksesta.

1. TARKASTELTAVAT TUULIVOIMA-ALUEET SEKÄ VOIMALAPAikkojen MÄÄRÄ JA VOIMALOIDEN KOKO (1/2)

- Selvityksessä tarkastellaan Pohjois-Pohjanmaan liiton laatiman TUULI-hankkeen sijainninhjausmallin mukaisia potentiaalisia tuulivoima-alueita sekä rakennettuja ja luvitettuja tuulivoimapuistoja.
- Sijainninhjausmallin mukaisia uusia tuulivoima-alueita on yhteensä 251 ja ne luokiteltiin jatkotarkastelun jälkeen kyllä-, ehkä- ja ei-alueiksi.
- Pohjois-Pohjanmaalla on selvityksen laatimishetkellä 4/2022 rakennettuja ja luvitettuja tuulivoimapuistoja yhteensä 79 ja vireillä olevia hankkeita 42.
- Sijainninhjausmallin mukaisille tuulivoima-alueille (kyllä-, ehkä- ja ei-alueet) luotiin teoreettiset voimalapaikat hilamallilla.
- Rakennetuilla ja kaavoitetuilla alueilla tuulivoimalapaikkoina on käytetty kaavojen mukaisia paikkoja ja muilla alueilla teoreettista maksimaalista määrää käyttämällä tasavälistä hilaa huomioimatta maasto-olosuhteita, muutoin kuin poistamalla vesistöille tai avosoille sijoittuvat paikat. Voimalavälinä (800 m) käytettiin vertailukelpoisuuden vuoksi samaa kuin muiden pohjalaismaakuntien vastaavassa selvityksessä (Tikkanen ym. 2022b).



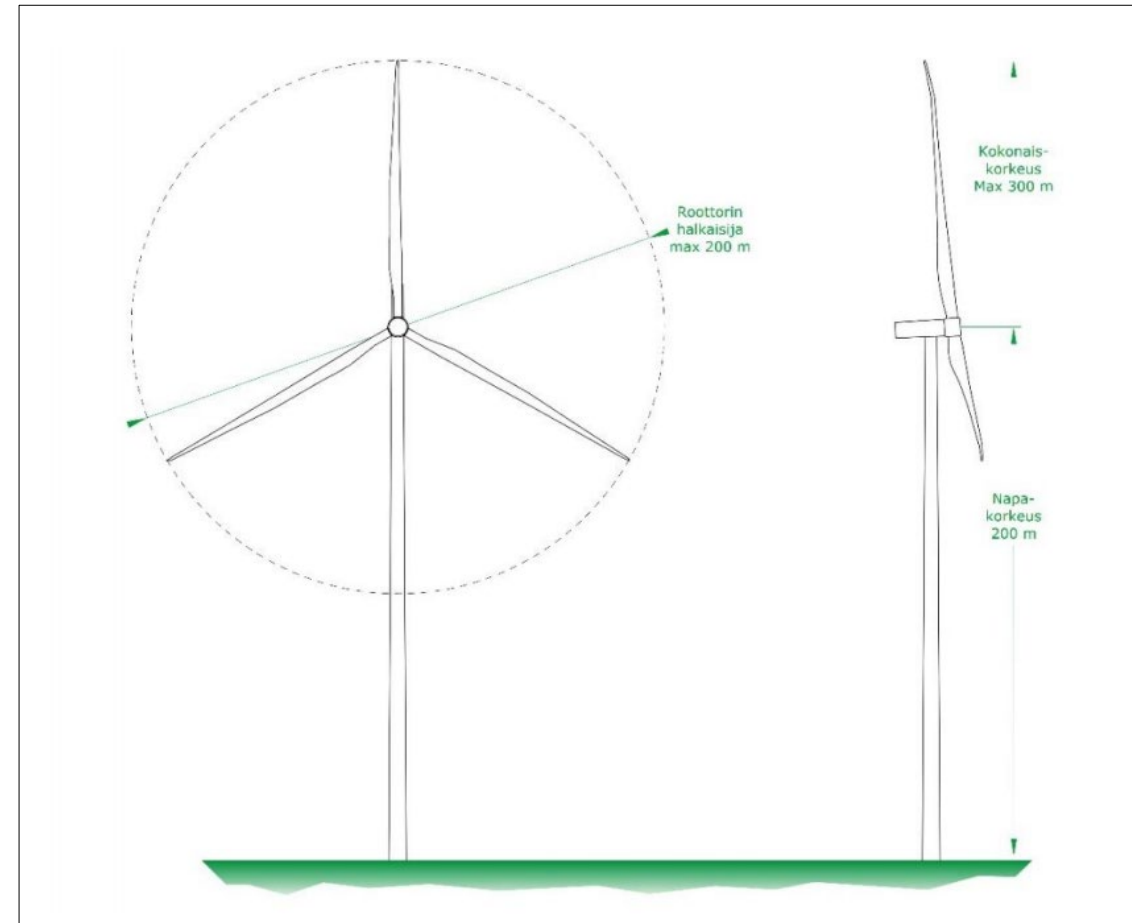
TUULI-hankkeen sijainninhjausmallin mukaiset (kyllä, ehkä ja ei -alueet) sekä rakennetut, luvitetut ja vireillä olevat hankkeet 4/2022.

1. TARKASTELTAVAT TUULIVOIMA-ALUEET SEKÄ VOIMALAPAikkojen MÄÄRÄ JA VOIMALOIDEN KOKO (2/2)

- Teoreettisia voimalapaikkoja on tarkastelussa yhteensä 6980, joista merelle sijoittuville tuulivoima-alueille (off-shore) paikkoja on 1470 ja mantereelle sijoittuville tuulivoima-alueille (on-shore) 5510.
- Alueet ja voimalapaikat on luokiteltu seuraavasti: 1. Rakennetut/kaavoitetut alueet, 2. vireillä olevat alueet ja 3. muut potentiaaliset alueet.
- Muina potentiaalisina alueina käsitetään ne jäljelle jäävät sijainninhjausmallin mukaiset alueet, joista on vähennetty vireillä olevien hankkeiden alueet.
- Arvioinnissa käytetään potentiaalisten voimalapaikkojen voimaloiden kokonaiskorkeutena 300 m ja roottoreiden halkaisijana 200 m. Ko. mitat mahdollistavat rakentamisen aina noin 10 MW:n tehoon saakka. Kaavoitettujen /rakennettujen voimaloiden roottorikokona käytetään 120 metrin halkaisijaa (noin 4 MW yksikköteho).

Selvitykseen sisältyvien voimalapaikkojen määrät luokiteltuna suunnittelutilanteen mukaan

Rakennettu / kaavoitettu	Hanke vireillä	Muu potentiaalinen	Summa
796	1723	4461	6980



Arvioinnissa tarkasteltava voimalatyyppi, joka on enintään 300 metrin korkuinen.

2. YLEISTÄ TUULIVOIMAN VAIKUTUKSISTA MAAKOTKIIN (1/2)

Tutkimustulosten perusteella tuulivoiman lisärakentaminen ei Suomessa todennäköisesti aiheuta merkittävää uhkaa suurimmalle osalle lintulajien populaatioita. Tietyille lajeille riski haitallisille vaikutuksille on kuitenkin muita lajeja suurempi. Maailmalla on yleisesti todettu, että kaartelevat linnut, kuten päiväpetolinnut, ovat yksi tuulivoimaloihin runsaimmin törmäävistä lajiryhmistä (Ympäristöministeriö 2016 a ja b, Meller 2017, Watson ym. 2018, Allision ym. 2019). Tämä korostaa suunnitteluvaiheessa näiden lajien erityistä huomioimista.

Ympäristöministeriön ohjeissa (Ympäristöministeriö 2016 a ja b) todetaan muun muassa, että suurten petolintujen, kuten merikotkan, maakotkan, sääksen pesäpaikkojen suojelutarve on otettava huomioon tuulivoimarakentamista suunniteltaessa. Keskeistä on selvittää häiriövaikutukset ja törmäysriskit.

Maakotkan riskialttius tuulivoimatuotannon vaikutuksille on tuotu esille mm. tuoreessa suomalaisessa tutkimuksessa (Balotari-Chiebao ym. 2021b). Tähän vaikuttavat sekä tuulivoimalle altistuvien reviirien suuri osuus, että lajin ekologiset ominaisuudet. Maakotkan herkkyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. saalistusreviirien laajuus (noin 300 km²) (Tikkanen ym. 2018), lajin herkkyys ihmistoiminnan aiheuttamille häiriöille (mm. Ponnikas 2014), petolintujen tunnettu riski törmätä tuulivoimaloihin (mm. Meller 2017), alhainen vuosittainen poikastuotto ja kannan elinkelpoisuuden riippuvuus aikuisten yksilöiden pitkäikäisyydestä. Jo vähäinen lisäkuolleisuus heikentäisi kannan elinkykyä.

2. YLEISTÄ TUULIVOIMAN VAIKUTUKSISTA MAAKOTKIIN (2/2)

Sinällään maakotka näyttäisi olevan vähemmän altis laji törmäämään tuulivoimaloihin, kuin toinen suuri petolintulaji, merikotka. Tuulivoimaloita on toistaiseksi hyvin vähän maakotkareviireillä ja toistaiseksi ei tiedetä yhdenkään maakotkan törmänneen tuulivoimalaan Suomessa. Saksalaisessa koosteessa mainitaan Euroopasta 26 tunnettua maakotkan törmäystä tuulivoimaloihin vuosien 2002–2020 välillä (Langgemach & Dürr 2022). Yhdysvalloissa Altamontpassin alueella maakotkien on havaittu törmäävän säännöllisesti tuulivoimaloihin, mutta siellä tuulivoimalat rakennettiin maakotkan kannalta erittäin riskialttiiseen paikkaan (mm. Katzner ym. 2017). Sekä Yhdysvalloissa että muualla Euroopassa kuitenkin maakotkien käytös, alueiden olosuhteet ja voimalatyypit poikkeavat selvästi Suomesta. Kokemukset Skotlannista (Fielding ja Haworth 2010, Fielding ym. 2021) ja myös Ruotsista, Suomen kaltaisista olosuhteista osoittavat, että maakotkat välttelevät voimaloita (Hedfors 2014). Tässä selvityksessä käytetyssä ns. Bandin törmäysmallinnusmenetelmässä suositellaan käytettäväksi maakotkalla väistökerrointa 99 % (SNH 2018).

Voimaloiden aiheuttaman törmäysriskin lisäksi myös sähkölinjojen tiedetään aiheuttavan kuolleisuutta petolinnuille sekä Suomessa, että muualla. Suomessa rengastettujen maakotkien löytöaineistojen mukaan voimajohdot ovat olleet yksi yleisimpiä kuolinsyitä mm. maakotkalla (Saurola ym. 2013). Törmäysten lisäksi tuulivoima-alueet vaikuttavat petolintuihin myös häiriöiden kautta, mm. rajoittaen saalistusalueita, pidentäen saalistusmatkoja. Tapauskohtaisesti vaikutukset voivat olla merkittävämpiä kuin mahdollisella kuolleisuudella. Tuulivoimaloiden häiriövaikutuksella tarkastelluista lajeista vaikutusta voisi olla etenkin suo- ja metsäalueilla saalistavalle maakotkalle. Näiden vaikutusmuotojen arviointi on tärkeää hankekohtaisissa selvityksissä. Lähtötietojen puutteiden vuoksi näiden arviointi maakuntakaavavaiheessa ei ole mahdollista.

3. SELVITYKSEN VAIHEET JA MENETELMÄT

Pesäpaikat ja kannan muutokset

- Tausta-aineistoina olivat Metsähallituksen seurantatiedot pesäpaikoista ja poikastuotosta (mm. Ollila 2008, 2018,2021) sekä kirjallisuustiedot.

Lentomääräarviot tuulivoima-alueilla

- Menetelmänä on käytetty vertaisarvioitua elinympäristö- ja lentosummamallinnusta pesiville linnuille (Tikkanen ym. 2018, mallin päivitys Tikkanen ym. 2022). Analyysityökaluna ko. tutkimuksessa oli logistinen regressioanalyysi.
- Periaatteena em. tutkimuksessa on se, että matemaattisen funktion avulla etsitään sellaiset paikkatietomuotoiset elinympäristöt jotka parhaiten selittävät satelliittiseurattujen kotkien havaintopisteiden (GPS-havainnot) ja satunnaispisteiden sijaintijakauman erot.
- Tähän elinympäristöjen valintamalliin lisättiin tiedot kotkien vuotuisista lentomääristä reviirillä (keskimäärin noin 1150 h/kotkapari), mitkä on niin ikään saatu GPS-tiedoista. Lopputuloksena on rasteripohjainen lentosummamalli missä kunkin pikselin arvo kuvaa lentomäärää ko. paikalla ja reviirin yhteenlaskettu lentosumma on edellä mainittu 1150 h.

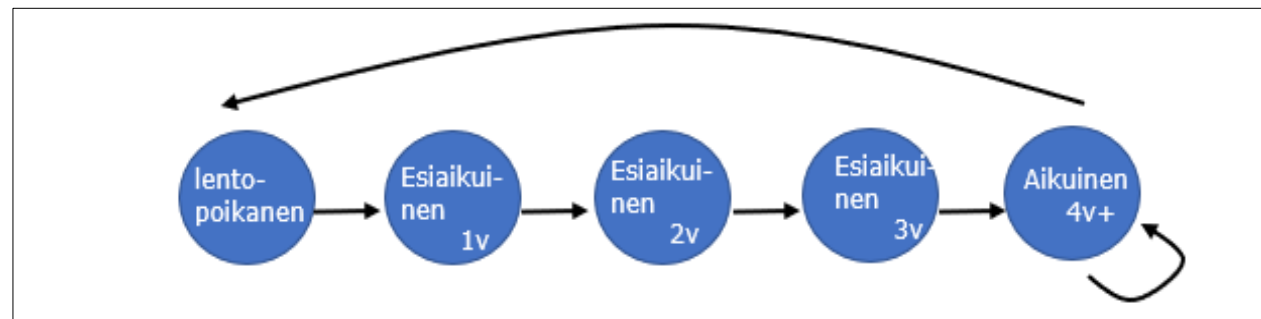
Törmäysriskit

- Törmäysriskianalyysit on tehty voimalapaikkakohtaisesti Bandin ns. tilamallilla (Band ym. 2007), mikä on Suomessa laajalti käytössä YVA-hankkeissa. Ns. väistökertoimena käytettiin maakotkalle suositusten mukaista 99 % (SNH 2018). Voimalan korkeutena mallinnuksessa käytettiin 300 m, roottorin halkaisijana 200 m, riskikorkeutena 100-300 m, roottorin syvyytenä 5,4 m, tasokulmana 25⁰, pyörimisnopeutena 5,7 s/kierros, käynnissä oloaikana 75 %. Linnun kokotiedot perustuvat kirjallisuuteen.

Populaatiomallinnus

- Mallinnus tehtiin matriisimallilla (Caswell 2001). Mallilla hahmotetaan populaation vuosiluokkien jakaumaa ja lisääkuolleisuuden vaikutusta kasvukertoimeen. Maakotkan populaatiomallinnus on tehty Oulun yliopistossa (Tikkanen ym. 2022 käsikirjoitus).
- Mikäli pesivä pari säilyy elossa ja reviiri pysyy elinvoimaisena (reviiri pystyy tuottamaan poikasia vakaan maakotkakannan edellyttämällä tavalla), reviirin suojelutasoa voidaan pitää suotuisana. Yhdelle reviirille emon kuolema on aina hetkellisesti tuhoisa. Jos törmäysmallinnuksen avulla on saatu arvio lisääntyneestä kuolleisuudesta tietyn alueen populaatiolle, voidaan tuulivoimaloiden aiheuttaman lisääkuolleisuuden merkitystä tarkastella populaatiotasolla demografisen populaatiomallin avulla, kunhan huomioidaan mallin tekemät oletukset. Malli rakennetaan demografisten parametrien eli poikastuoton ja säilyvyysarvojen perusteella, ja näihin parametreihin voidaan tehdä muutoksia esim. tuulivoimalan kuolleisuusvaikutusten mukaisesti.
- Mallin rakentaminen aloitetaan elinkiertoakaavion avulla. Maakotkan elinkiertoa voidaan kuvata kaaviolla, jossa on viisi ikäluokkaa. Ensimmäinen luokka on lentopoikanen (Juv) ja sitä seuraavat kolme ikäluokkaa ovat esiaikuisia. Vanhin luokka on aikuiset. Linnut saavuttavat tämän luokan neljävuotiaana ja pysyvät siinä lopun elämänsä.
- Poikastuottoarvoina käytettiin havaittuja arvoja (rengastusikäiseksi varttuneiden poikasten määrä/asuttu reviiri/v).

HUOMIOITAVA, ETTÄ KYSE ON "ESIMERKEISTÄ" - MITEN LISÄKUOLLEISUUS VAIKUTTAISI POPULAATIOIDEN DYNAMIIKKAAN MIKÄLI PARAMETRIT OLISIVAT TODELLISUUDESSA MALLINNUKSESSA KÄYTETTYJEN MUKAISET



Mallinnuksessa seurataan eri vuosiluokkien määrien kehittymistä erilaisilla säilyvyys- ja poikastuoton arvoilla.

Eri ikäluokkien säilyvyydet populaatiomalliin

Tilasiirtymä	Selite	Maakotka	
		Keskiarvot	Matriisiin
F4+	Havaittu naaraan tuottamien naaraspoikasten määrä	0,265	0,265
SJUV	Poikasten säilyvyys 1-vuotiaaksi	0,73	0,729
SSUBAD_1-2	Säilyvyys 1-vuotiaasta 2-vuotiaaksi	0,83	0,829
SSUBAD_2-3	Säilyvyys 2-vuotiaasta 3-vuotiaaksi	0,83	0,829
SSUBAD_3-4	Säilyvyys 3-vuotiaasta 4-vuotiaaksi	0,83	0,829
SAD_4+	Säilyvyys aikuisena	0,93	0,929
	Havaittu kasvukerroin (%)	2,7	
	Tarvittava muunnos (%) kerroin keskiarvosäilyvyyksiin	-0,01	

- Eri säilyvyyksien keskiarvot on laskettu alla olevista kirjallisuustiedoista. Keskiarvot on supistettu/lavennettu matriisiin siten, että mallin tuottama kasvukerroin on sama kuin lajin havaittu kasvukerroin. Kannan sietokykyä lisäkuolleisuudelle on arvioitu seuraavassa vaiheessa selvittämällä, kuinka paljon emojen säilyvyys voi laskea ilman, että kasvukerroin laskee nolnaan.
- Tätä lisäkuolleisuuden arvoa (säilyvyyden pienenemistä) pidetään tässä selvityksessä merkittävän vaikutuksen rajana.

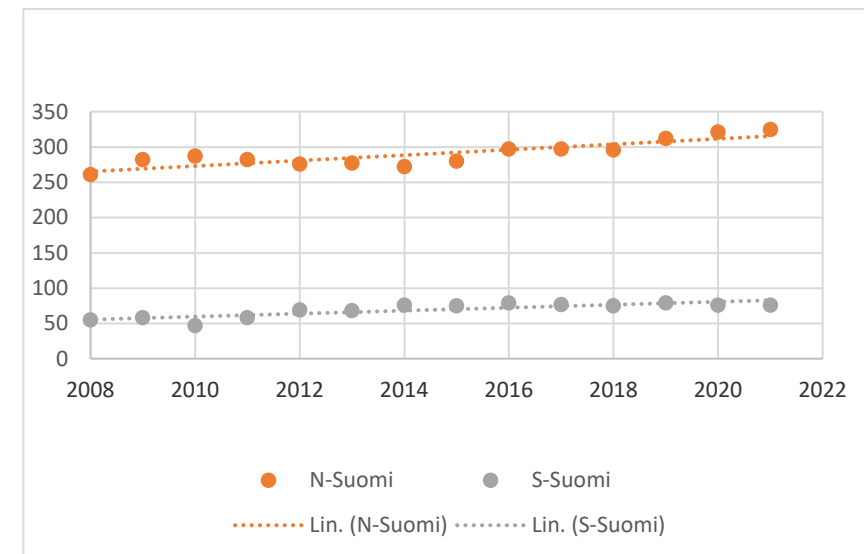
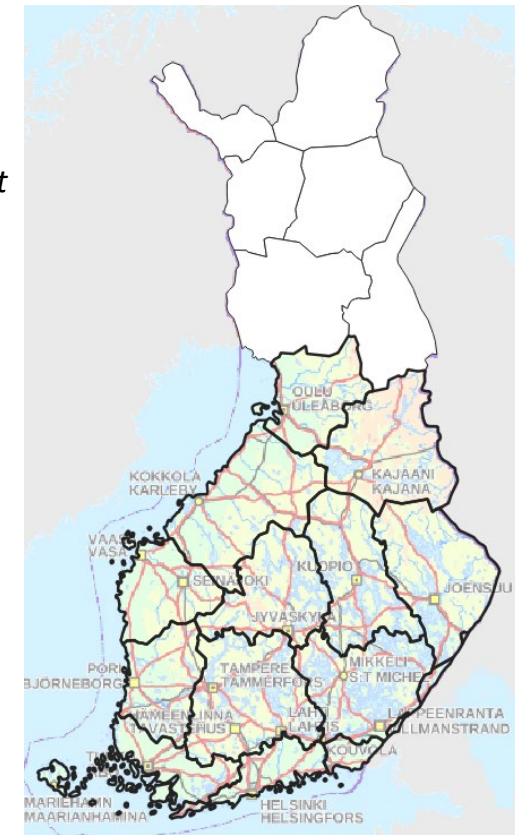
Lähteet säilyvyyksille:

Maakotka: McIntyre ym. 2006, Whitfield ym 2004, Carrete ym. 2005, Nygård ym. 2016, Hunt & Hunt 2006, Hunt ym. 2017, Harmata 2016, Crandall ym. 2019, Watson 2010

4. MAAKOTKAKANNAT JA NIIDEN MUUTOKSET (1/2)

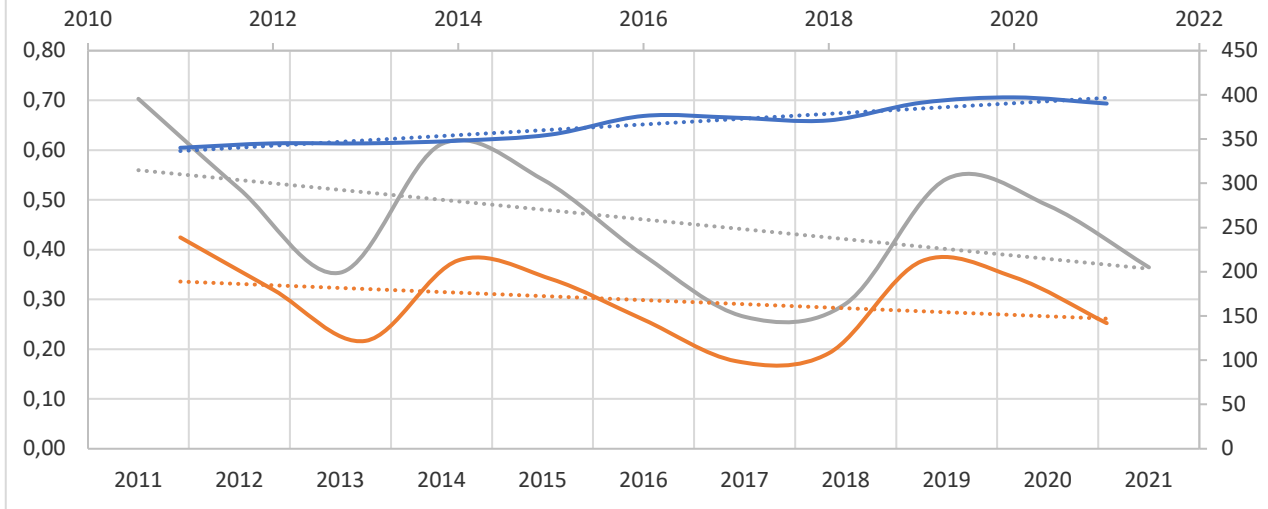
- Maakotkakanta on ollut lievästi kasvava Suomessa viime vuosikymmenet. Etelä-Suomessa (Lapin eliömaakuntien S-puoli), mihin Pohjois-Pohjanmaan maakunta osin lukeutuu, kannan kasvu (n. 3 %) on ollut 2012-2021 hieman koko Suomea (n. 2 %) suurempi. Lapin kannan kasvu on ollut n. 1,5 %.
- Asuttuja reviireitä (asuttu vähintään yhtenä vuotena 2012-2021) on Pohjois-Pohjanmaalla tiedossa yhteensä 89 (reviiri kokonaan tai osin maakunnan alueella).
- Maakotkalle on tyypillistä suuret vuosittaiset vaihtelut pesintöjen määrissä. Vuosina 2012-2021 eniten aloitettuja pesintöjä on ollut Etelä-Suomessa 60 (vuonna 2019) ja vähiten 20 (vuonna 2017 ja 2018).

Pohjois-Suomen (valk.) ja Etelä-Suomen eliömaakunnat



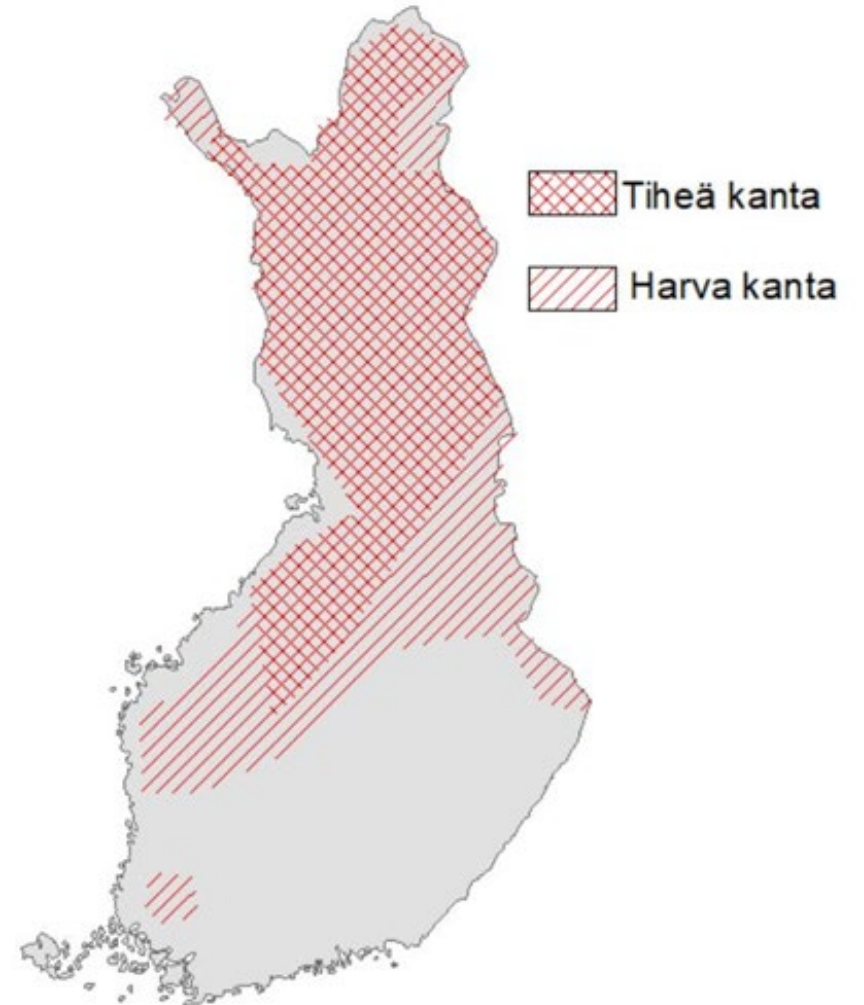
Asuttujen reviireiden määrät Pohjois- ja Etelä-Suomessa 2008-2021

Asutut reviirit ja poikastuotto Suomessa



Harmaalla vuosittainen keskimääräinen poikastuotto/asuttu reviiri (vasen pystyakseli), oranssilla vuosittainen poikasten kokonaismäärä (oikea pystyakseli) ja sinisellä asuttujen reviireiden määrä (oikea pystyakseli).

- Maakotkan poikastuotto on tyypillisesti hyvin pieni. Vuosittainen poikastuotto asuttua reviiriä kohden on vaihdellut Suomessa 0,26 ja 0,62 välillä 10 vuoden keskiarvon ollessa 0,44 poikasta.
- Reviireiden välillä on suuret erot poikastuotossa. Muutamilla maakunnan reviireillä ei ole varmistettu poikasia lainkaan 10 v. jaksolla.
- Etelä-Suomessa poikastuotto (0,53) on ollut vuosina 2012-2021 hieman koko Suomea (0,44) ja Pohjois-Suomea (0,41) parempi.



Maakotkan levinneisyys 2022 (Siivonen 2022)

5. POPULAATIOIDEN SIETOKYKY LISÄKUOLLEISUUDELLE

Populaatiomallinnuksin hahmotettiin raja-arvoja a) laajemman alueen populaation lisäkuolleisuudelle, mikä johtaisi kannan taantumiseen ja b) yhden kotkareviirin emojen lisäkuolleisuudelle, mikä johtaisi riittämättömään poikastuottoon.

- Etelä-Suomessa kannan kasvu (asuttuja reviirejä) on 2012-2021 2,7 % ja keskimääräinen reviirin vuosittainen poikastuotto on 0,53 poikasta/asuttu reviiri.
- Populaatiomallin mukaan kanta kääntyisi laskuun, mikäli emojen lisäkuolleisuus kasvaisi noin 4 %, jolloin säilyvyys putoaisi 93 %:sta 89 %:iin.
- Kriittinen lisäkuolleisuus on siten 0,8 yksilöä 10 paria kohden ($0,04 * 10 * 2 = 0,8$)
- Selvitysalueen parimäärä on noin 90 maakotkaparia ja **laskennallinen kriittinen lisäkuolleisuus on siten 7,2 yksilöä/v** ($9 * 0,8 = 7,2$)

6. REVIIRIN SIETOKYKY LISÄKUOLLEISUUDELLE

Yksittäisillä reviireillä suotuisaksi suojelutasoksi määriteltiin tilanne, jolloin pari saa vähintään kaksi aikuiseksi varttuvaa poikasta elinaikanaan. Populaatiomallinnuksessa käytettyjen keskimääräisten elossa säilyvyyden arvoista voidaan laskea odotettavissa olevat lisääntymisiän kestot ja aikuiseksi varttuvien poikasten osuudet kuoriutuneista poikasista.

- Emojen säilyvyys (0,93) arvoilla odotettavissa oleva lisääntymisvuosien määrä (= life span) on 14 vuotta.
- Poikasista noin 42 % varttuu aikuiseksi (saatu kertomalla eri ikäluokkien säilyvydet, kts. sivu 10).
- Tuolloin tarvitaan lisääntymisvuosien aikana noin 5 pesästä lähtevää poikasta, jotta aikuiseksi varttuu vähintään 2 poikasta.
- Etelä-Suomen keskimääräinen vuosittainen poikastuotto on 0,53 poikasta/asuttu reviiri, jolloin reviiri tuottaa keskimäärin 7-8 poikasta naaraan lisääntymisaikana ja kanta kasvaa.
- Lisääntymisvuosien määrä voi laskea noin 9,4 vuoteen, jotta reviiriltä lähtee em. 5 poikasta.
- Tarvittava lisääntymisvuosien määrä toteutuu noin 0,89 säilyvyydellä. Ts. säilyvyys voi laskea n. 4 % (=0,93-0,89), mikä tarkoittaa reviiriä kohden (2 emoa) 8 % säilyvyyden laskua >>>
päädytään samaan kuin laajemman alueen mallinnuksessa



Odotettavissa olevan lisääntymisajan keston (y-akseli) muuttuminen elossa säilyvyyden mukaan (x-akseli). Laskettu kaavalla: lifespan = 1/-ln (säilyvyys) (Cooch E & White G 2022).

Huomattava on, että mikäli tuulivoimalat ovat riski vain pienelle osalle reviireistä, niin lisäkuolleisuus voi olla suurempi yksittäisillä reviireillä ilman, että merkittäviä vaikutuksia muodostuu laajemman (esim. maakunnan tai Suomen) alueen populaatiolle.

7. YHTEENVETO MERKITTÄVIEN VAIKUTUSTEN RAJOISTA

Pohjois-Pohjanmaan suuruisella maakotkakannan koolla saisi populaatiomallin mukaan törmätä keskimäärin noin 7 kotkaa ilman, että kanta kääntyisi laskuun ja yksittäisellä reviirillä törmäyksiä voisi olla keskimäärin kerran 13 vuodessa, jotta reviirin poikastuotto ei laskisi merkittävästi. Hankkeen elinkaaren aikana (noin 30 vuotta) törmäyksiä voisi tuolloin tapahtua noin 2.

	Pohjois-Pohjanmaa			YKSITTÄINEN REVIIRI (pariskunta)	
LAJI	Populaatiokoko selvitysalueella yks.	Kriittinen lisäkuolleisuus (%)	Yksilöä	Kriittinen lisäkuolleisuus (%)	Törmäysväli (v)
Maakotka	178	4	7,2	8	13

Populaatiomallista saatavat kriittiset raja-arvot lisäkuolleisuudelle milloin kannat kääntyisivät laskuun selvitysalueella tai reviirin suotuisa suojelutaso vaarantuisi.

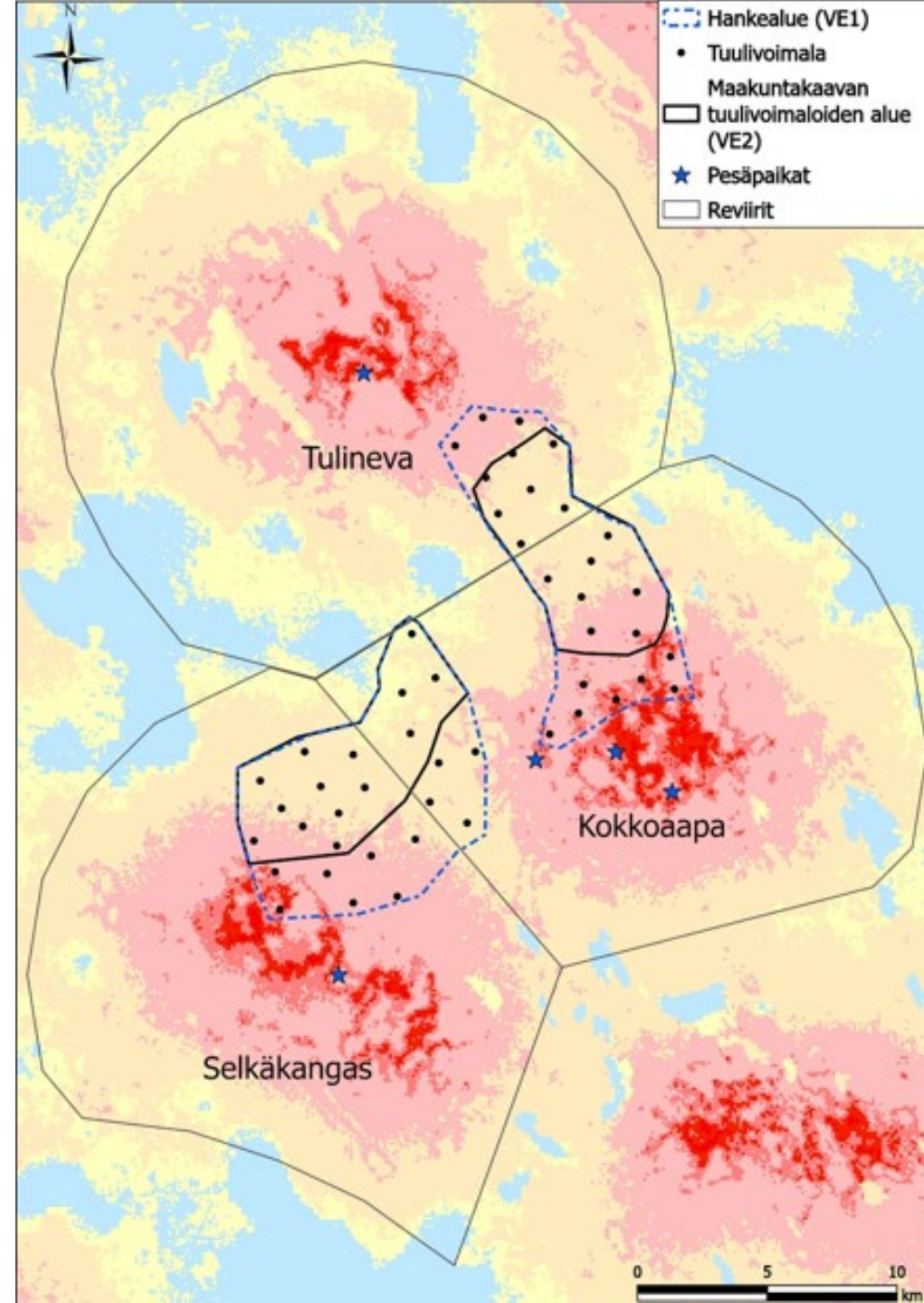
8. LENTOMÄÄRIEN ARVIOINTI

Tässä yleispiirteisessä, laajoja alueita käsittelevässä arvioinnissa ei ollut mahdollisuutta tarkkoihin reviirikohtaisiin maastoselvityksiin. Lentomääräarvot pohjautuvat vertaisarvioituun maakotkan elinympäristö- ja lentoaktiivisuusmalleihin (Tikkanen ym. 2018 ja 2022), joiden avulla voidaan arvioida lentomääriä tutkittavilla voimala-alueilla ja paikoilla. Mallit soveltuvat erityisen hyvin laaja-alaisiin selvityksiin ja reviireiden väliseen riskien arviointiin. Malleista on laadittu rasterimuotoinen tuloste reviireittäin, joissa kukin rasterin pikseli kuvastaa lentotiheyttä ko. paikalla.

Tutkimuksen mukaan lentävät kotkat suosivat mm. avoimia harvapuustoisia/avoimia metsiä, suonreunoja, rinteitä ja pesän läheisyyttä ja välttelevät selvimmän asutusta ja vesistöjä.

Erytisen tärkeätä on huomioida pesien läheisyydet. Ns. ydinreviireillä, jolle emojen lennoista sijoittuu noin 50 %, kotkien lentotiheys on suuruusluokaltaan noin 10-kertainen verrattuna uloimpaan reviiriin osaan. Ydinreviirin laajuus vaihtelee reviirin ominaisuuksista ja kannan tiheydestä riippuen. Sen määrittelyn apuna voidaan käyttää laadittuja elinympäristömallinnuksia. GPS-aineiston mukaan ydinreviiri ulottuu keskimäärin noin 4 km etäisyydelle pesästä.

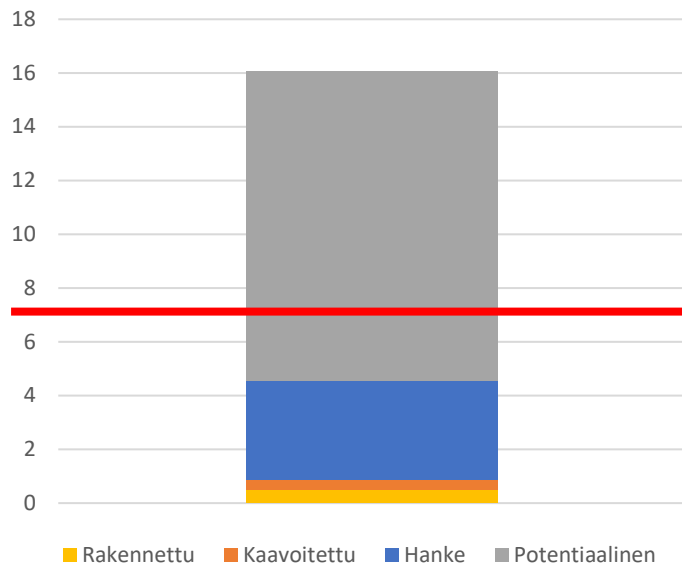
Maakotkan lentomäärien jakautuminen reviirillä ja ennuste voimala-alueilta saadaan olemassa olevasta lentosummamallista. Kuvassa esimerkki kuvitteelliselta reviiriltä (Metsähallitus 2022). Sinisellä värillä on osoitettu kotkien välttelemät ja punaisella kotkien suosimat ympäristöt verrattuna satunnaispisteisiin. Menetelmän kuvaus Tikkanen ym. 2018, malli päivitetty 2019, Tikkanen ym. 2022.



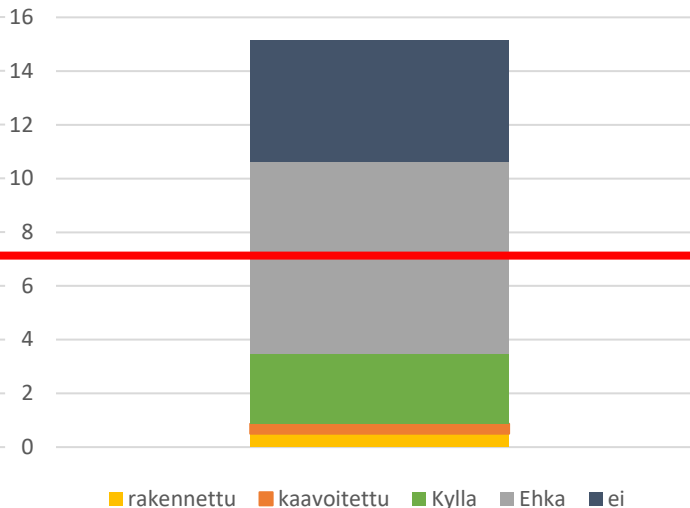
9. TÖRMÄYSRISKIEN ARVIOINTI

Maakunta	Maakotkareviirejä	Voimalapaikkoja mantereella	Voimalapaikkoja maakotkareviirillä	Kumulatiivinen törmäysriski (törmäystä/v)	Kriittinen raja (törmäystä/v)
Pohjos-Pohjanmaa	89	5510	3264	16,1	7,2

Rakennettujen, kaavoitettujen ja vireillä olevien hankkeiden ja sekä muiden sijainninohjausmallin mukaisten alueiden yhteenlaskettu riski (törmäystä/v) maakotkareviireillä

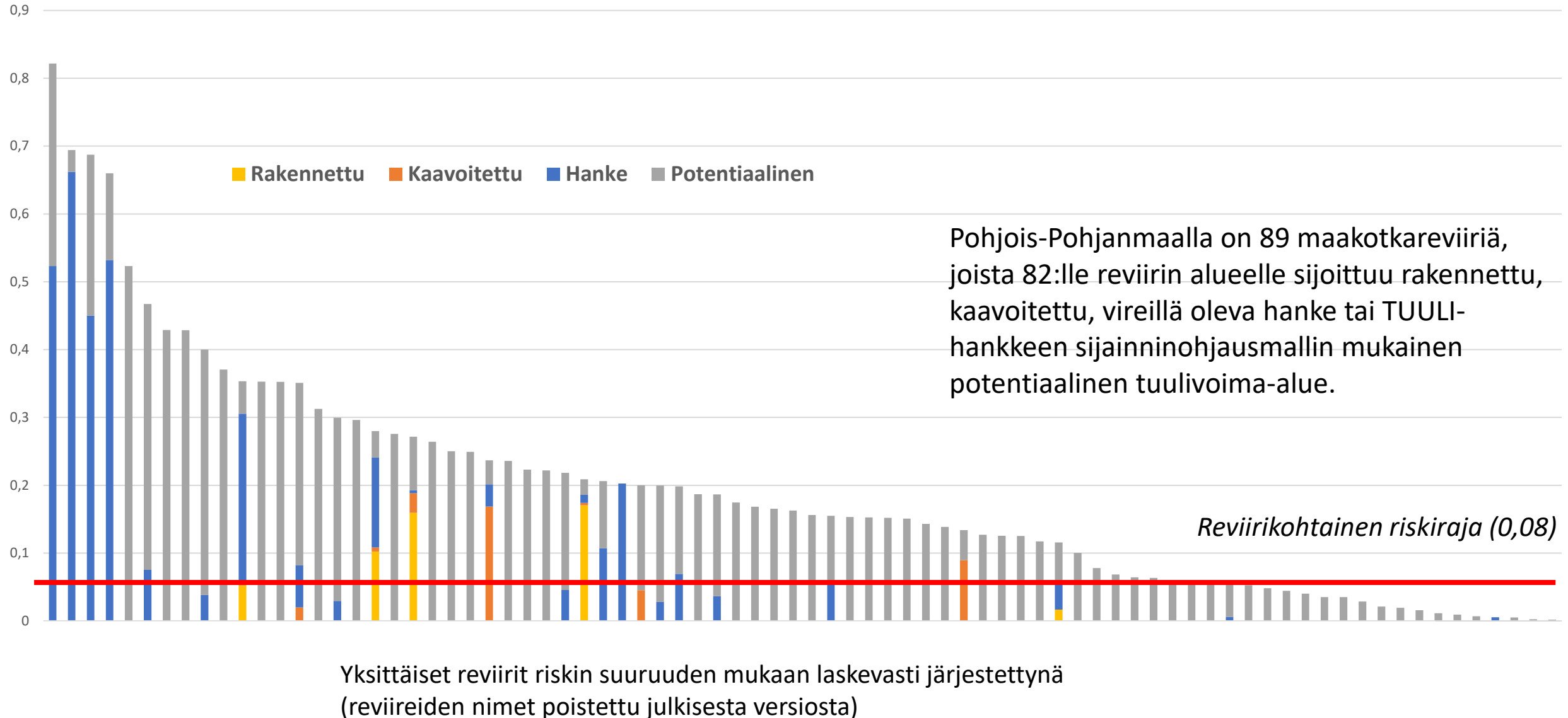


Rakennettujen ja kaavoitettujen sekä kaikkien sijainninohjausmallin mukaisten tuulivoima-alueiden yhteenlaskettu riski maakotkareviireillä

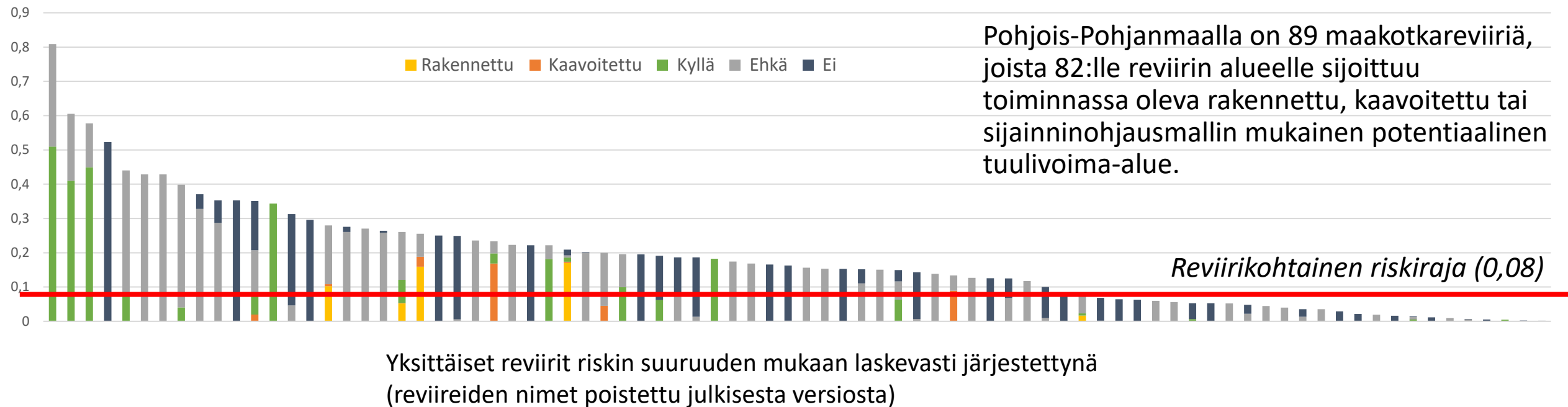


- Kaikkien voimalapaikkojen yhteenlaskettu törmäysriski oli noin 16 törmäystä/vuosi ja merkittävän vaikutuksen raja (7,2/v) ylittyy selvästi.
- Jo rakennettujen, kaavoitettujen ja vireillä olevien hankkeiden (huhtikuun 2022 tilanne) voimalapaikkojen yhteenlaskettu riski jää alle maakunnallisen riskirajan, mutta reviirikohtaisessa tarkastelussa riskiraja ylittyy useilla reviireillä.

MAAKOTKAN TÖRMÄYSRISKIT REVIIREITTÄIN JA MERKITTÄVÄN VAIKUTUKSEN RAJA POHJOIS-POHJANMAAN REVIIREILLÄ



MAAKOTKAN TÖRMÄYSRISKIT REVIIREITTÄIN JA MERKITTÄVÄN VAIKUTUKSEN RAJA POHJOIS-POHJANMAAN REVIIREILLÄ



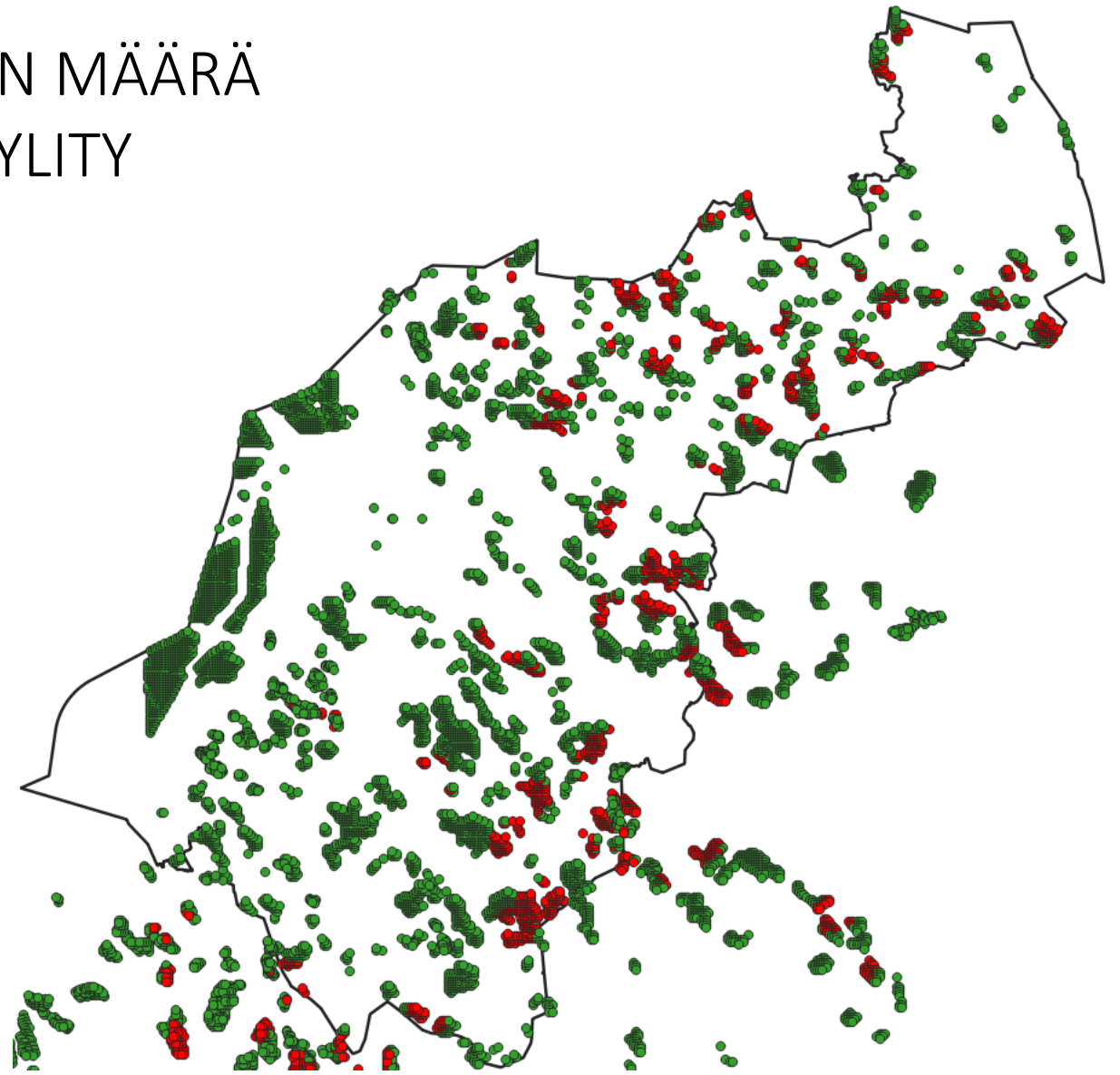
10. RISKIARVIOINNIN YHTEENVETO

- Mikäli huomioidaan kaikki rakennetut, luvitetut/kaavoitetut ja sijainninhjausmallin mukaiset potentiaaliset tuulivoima-alueet, niin laskennallinen kriittinen raja törmäysriskille (0,08) ylittyy useimmilla reviiireillä.
- Kaikkien tuulivoimapaikkojen kumulatiiviset yhteisvaikutukset selvitysalueen kotkapopulaatioon muodostuvat merkittäväksi laskennallisen lisäkuolleisuuden ylittäessä yli kaksinkertaisesti kriittisen määrän.
- Voimala-alueiden suunnittelua ja muita haittojen vähentämistoimia tarvitaan.



11. VOIMALAPAikkojen MAHDOLLINEN MÄÄRÄ REVIIREITTÄIN, SITEN ETTEI RISKIRAJA YLITY

- Potentiaalisia voimalapaikkoja vähennettiin kultakin reviiriltä tarvittava määrä lähtien riskialttiimmasta päästä siten, että voimaloiden muodostama yhteenlaskettu törmäysriski jäi alle reviirikohtaisen riskirajan (0,08).
- Reviirikohtaisia riskejä maakuntien rajoilla tarkasteltaessa arvioissa on huomioitu myös naapurimaakuntien liitoilta saadut tuulivoima-alueet.
- Jo kaavoitettujen tuulivoimala-alueiden voimalapaikkoja ei vähennetty.
- Poistamalla reviirikohtaisesti riskialttiimmat voimalat, noin 1340 (20 % kaikista voimapaikoista (6980) ja 24 % mannerpaikoista(5510)), jäädään riskirajan alle kaikilla reviireillä lukuun ottamatta 5 reviiriä, joilla riskiraja ylittyy jo kaavoitetuista voimala-paikoista.
- Laskelman mukaan reviireille voi jäädä yhteensä noin 1920 voimalapaikkaa. Tarkastelun mukaan nykyinen joko reviireille sijoittuva rakennettu tai kaavoitettu voimalamäärä (noin 270) voitaisiin yli seitsenkertaistaa ilman merkittäviä riskejä kotkille, mutta tämä edellyttää huolellista suunnittelua kotkille tärkeiden elinympäristöjen huomioimiseksi.



Punaisella on osoitettu riskialttiimmat uudet voimalapaikat, joiden yhteenlaskettu törmäysriski yhdessä kaavoitettujen paikkojen kanssa ylittää reviirikohtaisen riskirajan ja vihreällä mahdolliset voimalapaikat.

12. KESKEISET EPÄVARMUUSTEKIJÄT JA NIIDEN VAIKUTTAVUUDEN SUUNTA

- Selvitys on laadittu parhailla saatavilla olevilla menetelmillä, osin niitä tähän työhön tarkentaen ja kehittäen, mutta tuloksiin kuten yleensäkin vaikutusten arviointeihin liittyy runsaasti epävarmuuksia mitkä vaikuttavat osin päinvastaisiin suuntiin.
- Alla olevaan taulukkoon on koottu selvityksen keskeiset epävarmuustekijät

	Aliarvioi riskiä	Yliarvioi riskiä
Tutkimustiedon puute suurten voimaloiden vaikutuksista	x	x
Törmäysmallinnuksiin syötettävien parametrien pienilläkin muutoksilla voi olla iso vaikutus lopputulokseen.		
Voimalatyypit ja parametrit vaihtelevat	x	x
Populaatiomallinnus ei huomioi törmäysten aiheuttamia välivuusia pesinnässä	x	
Kotimaisten demografisten tunnuslukujen puute	x	x
Voimalapaikkojen sijaintien teoreettisuus ja todennäköinen ylimeritys		x
Arvioinnissa ei huomioida haittojen vähentämismenetelmien käyttöä, kokemuseräisen tiedon vähäisyyden vuoksi Suomen olosuhteista tarkastelluilta lajeilta		x
Reviireiden sijainteihin liittyvät epävarmuudet	x	x
Arviointi ei huomioi välttämiskäyttämisen aiheuttamaa saalistusalueiden vähenemistä ja vaikutusta reviirin kelvollisuuteen ja poikastuottoon	x	
Voimalinjojen vaikutukset puuttuvat arviosta	x	

	Aliarvioi riskiä	Yliarvioi riskiä
Törmäysmallinnusten väistökertoimien epävarmuudet		x
Arvioinnissa ei huomioida kannan levittäytymismahdollisuuksiin kohdistuvia vaikutuksia	x	
Arvioinnissa ei huomioida lentopoikasiin tai pesimättömiin kohdistuvia vaikutuksia	x	

13. SUOSITUKSIA JATKOSUUNNITTELUUN SEKÄ ARVIOINTIEN KEHITTÄMISEEN (1/5)

- Kuten edellisessä luvussa todettiin, arviointeihin liittyy runsaasti epävarmuuksia, joita on tärkeää pyrkiä vähentämään tarkemmissa suunnitteluvaiheissa.
- Osa esitetyistä epävarmuuksista on sellaisia, jotka edellyttävät lisätutkimusta ja yleisempää menetelmien kehittämistä. Keskeiset kehittämis- ja tutkimustarpeet liittyvät toteutuneiden vaikutusten seurantaan sekä paikannuslaitteilla että maastotarkkailuilla.
- Tärkeää olisi saada kokemusta myös haittojen vähentämiseen tähtäävistä toimenpiteistä, kuten tutka- tai kuva-avusteisen roottorien pysäytysautomaatiikan, lapoljen värjäämisen, tekopesien sijoittamisen yms. toimenpiteiden toimivuudesta.
- Myös populaatioiden lisäkuolleisuuden sietokykytarkastelussa tarvittavia demografisia tunnuslukuja on erittäin tärkeä saada selvitettyä kotimaisista populaatioista.
- Tulevaisuudessa tutkimus- ja kokemustiedon karttumisen myötä myös vaikutusten arviointien tarkkuus paranee ja samalla varovaisuusperiaatteen edellyttämää ”varmuusvaraa” voidaan kaventaa.
- Keskeinen epävarmuus on sähkölinjojen vaikutusten arviointien puute. Arviointi on mahdollista tehdä luotettavasti vasta tarkemmissa suunnitteluvaiheissa, mutta suositeltavaa on linjojen mahdollisten liittymissuuntien toteutuskelpoisuuden ja vaikutusten yleispiirteinen arviointi myös maakunnallisessa suunnitteluvaiheessa.

13. SUOSITUKSIA JATKOSUUNNITTELUUN SEKÄ ARVIOINTIEN KEHITTÄMISEEN (2/5)

- Maakotkalla tärkeitä seurannan aiheita ovat erityisesti välttämiskäyttäytyminen ja sen vaikuttavuus saalistusalueiden menetyksiin, törmäysriskeihin ja reviiirin elinvoimaisuuteen kohdistuviin kokonaisvaikutuksiin.
- Vaikutusarviot ja populaatiomallinnus osoittavat, että maakotka on erityisen riskialtis laji ja siihen voi kohdistua merkittäviä vaikutuksia sekä yksittäisille reviiireille että maakuntatasolla. Voimaloiden sijoittaminen maakotkareviireille tulee olla erityisen tarkkaan harkittua varovaisuusperiaate huomioiden.
- Merkittävien vaikutusten ehkäisyn kannalta keskeisintä on riittävien suojapuskureiden jättäminen pesien ympärille ja reviiireille sijoittuvien voimalapaikkojen ja määrien huolellinen suunnitteleminen ja kotkille tärkeiden elinympäristöjen huomioiminen.
- Suomessa on yleisesti käytetty 2 km:n suojapuskuria pesien ympärillä. Saksassa suosituksena on 3 km:n suojavyöhyke ja tärkeiden ympäristöjen huomiointi 6 km saakka (LAG VSW 2014). Myös Ruotsissa suositellaan vähintään 3 km:n suojavyöhykkeen jättämistä (SOF 2013).
- Tämän työn tulosten mukaan edellä mainittu 2 km ei lähtökohtaisesti ole riittävä puskurivyöhyke maakunnallisesti merkittävien tuulivoima-alueiden ja tulevaisuuden erittäin suurten, (kokonaiskorkeus 300m), voimaloiden hankkeissa. Tässä arvioinnissa käytetyillä menetelmillä, teoreettisilla voimalapaikoilla, suurilla voimaloilla ja määrillä, yksittäisille reviiireille tarvittavan suojavyöhykkeen laajuudeksi muodostui noin 2,5-6 km aktiivisista pesistä laskettuna riippuen voimalapaikkojen määrästä ja sijoittumisesta reviiirille.
- Hyvin laajoissa hankkeissa tai useiden hankkeiden yhteisvaikutusten vuoksi tarvetta voi olla laajempiinkin suojavyöhykkeisiin sekä kotkille tärkeiden muiden alueiden huomiointiin.

13. SUOSITUKSIA JATKOSUUNNITTELUUN SEKÄ ARVIOINTIEN KEHITTÄMISEEN (3/5)

- Tässä arvioinnissa ei ole huomioitu lentopoikasille aiheutuvia riskejä. Lento- ja saalistusharjoitteluvaiheessa myös poikasten törmäykset roottoreihin ovat mahdollisia. Ruotsissa tehtyjen GPS-seurantojen mukaan poikasten liikkuminen rajoittuu kutakuinkin ydinreviirin sisälle, sijoittuen keskimäärin 42 km² alueelle (Sandgren ym. 2014), mikä vastaa säteeltään noin 3,7 km:n ympyrää. Ydinreviirin jättäminen tuulivoimavapaaksi todennäköisesti riittää ehkäisemään myös poikasiin kohdistuvat merkittävät riskit.
- Tässä yleispiirteisä arvioinnissa ei ole huomioitu myöskään välttämiskäyttäytymisen aiheuttamaa saalistusalueiden vähenemisen vaikutusta. Tässä työssä käytetty menetelmä kuitenkin huomioi mallinnusten kautta kotkien suosimia elinympäristöjä, kuten harvapuustoisia alueita, ohjaten voimalapaikkoja haitattomimpiin sijainteihin. Häiriöiden merkittävyyteen vaikuttaa myös naapurireviireiden sijainti. GPS-aineistosta tiedetään, että kotkat pysyttelevät kesäkaudella melko tiiviisti omilla reviireillään ja että naapurireviireiden läheisyys vaikuttaa oleellisesti reviireiden kokoon ja muotoon. Harvan kannan alueella on enemmän tilaa liikkua ja mahdollisuuksia löytää korvaavia saalistusalueita. Riittävä suojavyöhyke pesien ympärillä todennäköisesti ylläpitää parhaiten pesimisalueen säilymistä riittävän häiriöttömänä myös emojen vaihtuessa, uuden parin tai emolinnun valitessa pesimisreviiriään. Tarkemmissa suunnitteluvaiheissa voimaloiden ”täsmäsijoittelulla” voidaan huomioida kotkille tärkeitä saalistusympäristöjä etäämmälläkin pesistä. Oletuksena on, että nämä ohjaustoimet ovat riittäviä ehkäisemään merkittävät häiriövaikutukset.
- Suojelualueilla on suuri merkitys Etelä-Suomen maakotkakannan turvaamisessa sekä saalistusalueina että pesimisympäristöinä. Pohjois-Pohjanmaalla tarkastelluista 89 maakotkareviireistä noin 50 % reviireistä vähintään yksi aktiivinen pesä sijoittuu Natura-alueelle. Maakotkareviireille sijoittuu noin 170 Natura-aluetta, joista ydinreviirille (4 km pesäpuskurilla valittuna) noin 50 aluetta. Suojelualueille on siksi erityisen tärkeitä jättää laajat suojapuskurit.

13. SUOSITUKSIA JATKOSUUNNITTELUUN SEKÄ ARVIOINTIEN KEHITTÄMISEEN (4/5)

Suosituksia maakunnalliseen jatkosuunnitteluun

- Tässä työssä käytetyt mallinnustyökalut mahdollistavat aiempaa tarkemman yhteisvaikutusten arvioinnin ja reviirikohtaisen suunnittelun jo maakuntakaavoituksen yhteydessä. Suositeltavaa on viedä maakunnallista kaavasunnittelua siihen suuntaan, mikä ohjaa hankkeita nykyistä tehokkaammin kotkien ydinreviireiden ulkopuolelle ja ettei tulevia hankkeita suunniteltaisi todennäköisesti vaikutuksiltaan merkittävälle alueelle. Tämä on tärkeää sekä hankkeiden jouhevan etenemisen, että lajin suojelun kannalta.
- Varovaisuusperiaatteen mukaisesti on tärkeää, että maakuntakaavojen tuulivoimala-alueiden rajauksissa ja kaavamääräyksissä huomioidaan arvioinnin tulokset sekä reviiri- että maakuntakohtaisesti varmistuen siitä, että kaavaratkaisuista ei aiheudu merkittäviä yhteisvaikutuksia maakotkalle kummallakaan aluetasolla. Ohjausvaikutuksen kannalta suositeltavaa on, että kaavarajaukset suunnitellaan siten, ettei selvityksen mukaisia riskialttiita voimalapaikkoja lähtökohtaisesti sisällytetä rajauksiin.
- Eräs mahdollinen ohjaustapa voisi olla aluerajausten lisäksi myös ohjeellisten voimalamäärien osoittaminen alue-/reviiri-/vyöhyketasoilla.
- Tarvetta olisi myös yleiselle hanketoimijoille suunnattavalle infolle: kuinka edetä ja mitä ottaa huomioon tuulivoiman suunnittelussa kotkien reviireillä.
- Sekä maakuntien populaatiotason vaikutuksia että reviirikohtaisia yhteisvaikutuksia ehkäistessä on tärkeää huomioida kumulatiivinen tarkastelu ja ”nollasumma” -periaate - reviireille kohdistuvat yksittäisen hankkeen vaikutukset kaventavat rakentamismahdollisuuksia toisaalla.
- Uhanalaisen lajin ollessa kyseessä suojelun tavoite on kannan vahvistaminen ja palauttaminen erityisesti levinneisyysalueen reunoilla. Kannan vahvistamisen kannalta on tärkeää huomioida myös potentiaaliset leviämisalueet. Apuna näiden määrittelyyn voidaan käyttää Jyväskylän yliopistossa laadittua reviirimallinnusta (Pelkonen ym. 2022).

13. SUOSITUKSIA JATKOSUUNNITTELUUN SEKÄ ARVIOINTIEN KEHITTÄMISEEN (5/5)

Suosituksia maakunnalliseen jatkosuunnitteluun (jatkuu)

- Reviireiden keskeisten osien huomiointi riittävien suojapuskureiden avulla on kotkien kannalta erityisen tärkeää Natura-alueiden läheisyydessä sekä hyvätuottoisilla reviireillä suojelualueiden ulkopuolella. Suositeltavaa on erityisen laadukkaiden reviireiden jättäminen kokonaan tuulivoimatuotannon ulkopuolelle (vrt. Länstyrelsen Jämtlands län 2016). Näitä ovat reviirit, joilla on erityisen suuri merkitys maakuntien maakotkakannan kannalta.
- Monet edellä esitetyistä suosituksista edellyttävät tarkempaa suunnittelua ja jatkojalostamista. Suositeltavaa olisi laatia kotkien ja tuulivoiman yhteensovittamiseksi em. Jämtlandin esimerkin mukainen strateginen suunnitelma maakotkan levinneisyysalueelle.
- Suositeltavaa olisi liittää em. tarkasteluun muitakin ihmistoimia vältteleviä, häiriöttömiä laajoja alueita joissain elinkierron vaiheissa edellyttäviä, lajeja. Tällaisia lajeja ovat mm. muut suuret petolinnut, metsäpeura ja suurpedot. Todennäköistä on, että maakotkan reviirit huomioimalla edistetään myös muiden häiriöttömiä alueita edellyttävien lajien elinolojen turvaamista.
- Strategiseen suunnitteluun on hyvä sisällyttää myös tuulivoima-alueen laaja-alaisen keskittämisen mahdollisuuksien tutkiminen. Merialueen laajat alueet mahdollistavat maa-alueisiin nähden ylivertaisen keskittämismahdollisuuden. Maa-alueillakin olisi todennäköisesti monien lajien kannalta edullisempaa tuulivoiman keskittäminen hyvin laajoille alueille ja tarvittaessa vaikka ”uhraamalla” esim. maakotkalla huonon poikastuoton reviirejä, mikäli näin voidaan tehokkaammin varmistaa lajin elinolojen turvaaminen muualla. Tuolloin mietittäväksi ja toteutettavaksikin nousevat myös tehokkaat haittojen vähentämis- ja ekologiset kompensatiotoimet.

14. KIRJALLISUUS

Allison, T.D.; Diffendorfer, J.E.; Baerwald, E.F.; Beston, J.A.; Drake, D.; Hale, A.M.; Hein, C.D.; Huso, M.M.; Loss, S.R.; Lovich, J.E.; et al. Impacts to Wildlife of Wind Energy Siting and Operation in the United States. *Issues Ecol.* 2019, 21, 1–24

Balotari-Chiebao, F., Valkama J., Byholm P. 2021 b. Assessing the vulnerability of breeding bird populations to onshore wind-energy developments in Finland. - *Ornis Fennica* 98: 00–00. 2021

Band, W., Madders, M., & Whitfield, D.P. 2007. Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms. In: de Lucas, M., Janss, G.F.E. & Ferrer, M. (eds.) *Birds and Wind Farms: Risk Assessment and Mitigation*, pp. 259- 275. Quercus, Madrid

Carrete M, Sánchez-Zapata JA, Calvo JF, Lande R (2005) Demography and habitat availability in territorial occupancy of two competing species. *Oikos* 108:125–136.

Caswell H (2001) *Matrix population models: Construction, analysis, and interpretation*, Second edition. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, USA

Cooch, E. & White, G. 2022: Program MARK a gentle introduction. – <phidot.org/software/mark/docs/book>.

Crandall RH, Craighead DJ, Bedrosian B, Slabe VA (2019) Survival estimates and cause of mortality of golden eagles in South-Central Montana. *Journal of Raptor Research* 53: 38-45.

Fielding,AH., Haworth,P. 2010. Eagles and windfarms: A review of the possible effects of windfarms on golden eagles in Scotland. *Haworth Conservation*. 1-56 p

Fielding AH, Anderson D, Benn S, Dennis R, Geary M, Weston E, et al. (2021a) Non-territorial GPS-tagged golden eagles *Aquila chrysaetos* at two Scottish wind farms: Avoidance influenced by preferred habitat distribution, wind speed and blade motion status. *PLoS ONE* 16(8): e0254159. [https:// doi.org/10.1371/journal.pone.0254159](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254159).

Harmata AR (2016) Retention, effect, and utility of tailmounted satellite-tracked transmitters on Golden Eagles. *Journal of Raptor Research* 50:265–275.

Hedors, R.2015: Movement ecology of Golden eagles (*Aquila chrysaetos*) and risks associated with wind farm development. Department of Wildlife, Fish, and Environmental studies Umeå

Hunt WG, Hunt T (2006) The trend of Golden Eagle territory occupancy in the vicinity of the Altamont Pass Wind Resource Area: 2005 survey. Unpubl. rep. of the California Energy Commission, PIER Energy-Related Environmental Research, CeC-500-2006-056, Sacramento,CA U.S.A

Hunt G, W, Wiens JD, Law PR, Fuller MR, Hunt TL, Driscoll DE, Jackman RE (2017) Quantifying the demographic cost of human-related mortality to a raptor population. *PLoS ONE* 12(2): e0172232

Katzner, T.E., D.M. Nelson, M.A. Brahan, J.M. Doyle, N.B. Fernandez, A.E. Duerr, P.H. Bloom, M.C. Fitzpatrick, T.A. Miller, R.C.E. Culver, L. Baswell, AND J.A. Dewoody. 2017. Golden Eagle fatalities and the continental-scale consequences of local wind-energy generation. *Conservation Biology* 31:406–415.

<https://www.nature.scot/sites/default/files/2018-09/Wind%20farm%20impacts%20on%20birds%20-%20Use%20of%20Avoidance%20Rates%20in%20the%20SNH%20Wind%20Farm%20Collision%20Risk%20Model.pdf>

LAG VSW 2014: Abstandsempfehlungen für Windenergieanlagen zu bedeutsamen Vogellebensräumen sowie Brutplätzen ausgewählter Vogelarten (Stand April 2015)

Langgemach, T & Dürr, T: (2020): Informationen über Einflüsse der Windenergienutzung auf Vögel. - Stand 07. Januar 2020, Aktualisierungen außer Fundzahlen hervorgehoben Verbraucherschutz. Staatliche Vogelschutzwarte. Brandenburg.

<https://lfu.brandenburg.de/lfu/de/aufgaben/natur/artenschutz/vogelschutzwarte/arbeitsschwerpunkt-entwicklung-und-umsetzung-von-schutzstrategien/auswirkungen-von-windenergieanlagen-auf-voegel-und-fledermaeuse/>

Länstyrelsen Jämtlands län 2016: [Strategi för kungsörn och vindkraft i Jämtlands län](#)

McIntyre CL, Collopy MW, Lindberg MS (2006) Survival probability and mortality of migratory juvenile Golden Eagles from interior Alaska. *Journal of Wildlife Management* 70:717–722.

Meller, K. 2017: Kirjallisuusselvitys tuulivoimaloiden vaikutuksista linnustoon ja lepakoihin. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 27/2017.

Metsähallitus (MH) 2022: Hyvät käytännöt tuulivoimahankkeista maakotkalle aiheutuvien vaikutusten arvioinnissa. Esimerkkiraportti: Nimettömänkankaan tuulivoimapuiston vaikutukset maakotkareviireihin. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisu sarja A, Verkkojulkaisu. Vantaa.

Nygård T, Jacobsen K-O, Johnsen TV, Systad GH (2016) Dispersal and survival of juvenile golden eagles (*Aquila chrysaetos*) from Finnmark, Northern Norway. *Journal of Raptor Research* 50:144–160.

Ollila, T. & Koskimies, P. 2008: Maakotkan ja muuttohaukan suojelutaso Suomessa. – *Linnut-vuosikirja* 2007:8–17.

Ollila, T. 2019: Suomen maakotka 2018. Onko pesintämenestys huonontumassa? -*Linnut vuosikirja* 2018:104-109

Ollila, T. 2021: Raportti maakotkan, muuttohaukan, tunturihaukan sekä Oulun ja Lapin läänien merikotkien pesinnöistä vuonna 2021. Metsähallitus

Pelkonen, P., A. Lensu, S. Ponnikas ja H. Tikkanen 2022: Using golden eagle (*Aquila chrysaetos*) species distribution models for territory simulations and carrying capacity estimation. Käsikirjoitus 15.11.2022.

Pohjois-Pohjanmaan liitto 2022, Kestävä tuulivoimarakentaminen Pohjois-Pohjanmaalla Tuulihanke 2021-2022 <https://www.pohjois-pohjanmaa.fi/kehittaminen/omat-hankkeet/tuuli-hanke/>

Ponnikas, S. 2014. Establishing conservation management for avian threatened species. Oulun yliopisto, Väitöskirja.

Sandgren, C., Hipkiss, T., Dettki, H., Ecke, F., & Hörnfeldt, B. (2014). Habitat use and ranging behaviour of juvenile Golden Eagles *Aquila chrysaetos* within natal home ranges in boreal Sweden. *Bird Study*, 61(1), 9-16.

Saurola, P, J. Valkama ja W.Velmala 2013. Suomen Rengastusatlas I. Luomus

Siivonen, S 2022: Raportti maakotkan, muuttohaukan, tunturihaukan sekä Oulun ja Lapin läänien merikotkien pesinnöistä vuonna 2022. Metsähallitus.

SNH 2010: Use of avoidance rates in the SNH wind farm collision risk model. SNH Guidance Note.

SNH 2018: Avoidance Rates for the onshore SNH Wind Farm Collision Risk Model , Scottish Natural Heritage.

SOF 2013: BirdLife Sveriges rekommendationer för planering och handläggning av vindkraft.

Tikkanen, H., Rytönen, S., Karlin, O-P., Ollila, T., Pakanen, V.-M., Tuohimaa, H., Orell, M. 2018: Modelling golden eagle habitat selection and flight activity in their home ranges for safer wind farm planning. —EIA Review 71: 120–131

Tikkanen, H., Ekblad, C., Karlin, O-P., Leskinen, J., Pakanen, V-M 2022: Suomen maakotkien elinympäristöjen, lentokäyttäytymisen ja populaation mallintaminen tuulivoimasuunnittelun avuksi. Metsähallitus. Käsikirjoitus 1.8.2022

Tikkanen, H., C. Ekblad ja H. Tuohimaa 2022 b: Tuulivoiman vaikutukset maa- ja merikotkaan sekä sääkseen Pohjanmaalla, Etelä- ja Keski-Pohjanmaalla. Pohjanmaan-, Etelä- ja Keski-Pohjanamaan maakuntaliitot.

Watson J. 2010. The Golden eagle. 2nd edition. Yale University Press, New Haven.

Watson, R.T., Kolar, P.S., Ferrer, M., et al., 2018. Raptor interactions with wind energy: case studies from around the world. *J Raptor Res* 52, 1–18.

Whitfield DP, Fielding AH, Mcleod DRA, Haworth PF (2004) Modelling the effects of persecution on the population dynamics of Golden Eagles in Scotland. *Biological Conservation* 119:319–333.

Ympäristöministeriö 2016 a: Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016. Päivitys 2016.

Ympäristöministeriö 2016 b: Linnustovaikutusten arviointi tuulivoimarakentamisessa. Suomen Ympäristö 6 | 2016. Rakennetun ympäristön osasto. 25 s.

