



**TURUN  
YLIOPISTO**

Matemaattis-luonnontieteellinen  
tiedekunta

# **Suomeen suunnitellun merituulivoiman sijoittuminen suhteessa lintujen päämuuttoreitteihin**

Ella Fagerholm

Maantiede  
LuK-tutkielma  
Laajuus: 6 op

29.4.2025

Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu  
Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

LuK-tutkielma

**Pääaine:** Maantiede

**Tekijä:** Ella Fagerholm

**Otsikko:** Suomeen suunnitellun merituulivoiman sijoittuminen suhteessa lintujen päämuuttoreitteihin

**Ohjaaja:** Harri Tolvanen

**Sivumäärä:** 36 sivua + liitteet 4 sivua

**Päivämäärä:** 29.4.2025

---

Maailmanlaajuisten ympäristöongelmien hillitsemiseksi uusiutuvan energian tuotantoa on lisätty sekä kansallisesti että kansainvälisesti. Suomessa on panostettu erityisesti tuulivoimaan, ja kiinnostus merialueiden hyödyntämiseen osana energiantuotantoa on kasvanut 2020-luvulla merkittävästi. Vaikka vuonna 2025 Suomessa toimii vasta yksi merituulivoimala, nähdään merialueissa suurta potentiaalia – suunnitteilla on yli kaksikymmentä hanketta.

Maatuulivoimaan verrattuna merituulivoima tarjoaa mahdollisuuden suurempiin energiantuotantomääriin, sillä merellä puistojen kokoa eivät rajoita muu infrastruktuuri, ja tuuliolosuhteet ovat keskimäärin suotuisimmat. Vaikka merituulivoima tarjoaa puhdasta, kestäväää ja runsastuottoista energiaa, liittyy siihen haasteita esimerkiksi voimaloiden sijoittuessa muuttolintujen muuttoreiteille. Tuulivoiman on arvioitu lisäävän lintujen kuolleisuutta sekä aiheuttavan häiriöitä niiden muuttoreiteissä ja lajityypillisessä käyttäytymisessä. Lajien välillä on suuria eroja siinä, millä tavoin ne käyttäytyvät tuulivoimaloiden ympärillä ja tätä kautta miten alttiita ne ovat voimaloiden haitoille. Tuulivoimaloiden linnustovaikutuksia on mahdollista minimoida erilaisin teknisin ratkaisuin, mutta keskeisin tekijä on voimaloiden sijoittelu päämuuttoreittien ulkopuolelle aina kun mahdollista.

Tässä tutkimuksessa tarkastelin lintujen päämuuttoreittien sijoittumista suhteessa vuoden 2025 tammikuussa voimassa olleiden merituulivoimahankkeiden sijainteihin. Merituulivoiman tarkastelussa hyödynsin myös vuodelle 2030 luodun merialuesuunnitelman energiantuotantoalueita saadakseeni laajemman kuvan siitä, millaisille alueille merituulivoimaa voitaisiin tulevaisuudessa suunnitella. Halusin myös selvittää päällekkäistarkastelun avulla, millä tavoin suunnitelma ottaa huomioon muuttoreittiaineiston ja tätä kautta muuttolintujen suojelun. Spatiaalisilla päällekkäisanalyseilla selvitin, missä määrin eri hankkeet ja energiantuotantoalueet sijoittuvat lintujen muuttoreiteille ja miten alttiita lajit näin ollen merituulivoiman vaikutuksille olisivat.

Tutkimukseni osoittaa, että tarkastelluista lintulajeista 38 % kulkee vähintään yhden merituulivoimalan hankealueen läpi. Vain kolmella hankkeella ja kolmella energiantuotantoalueella ei ollut lainkaan päällekkäisyyttä muuttoreittien kanssa. Päällekkäisyyttä esiintyi enemmän mantereisen rantaviivan tuntumassa kuin avomerellä. Muuttolintujen kannalta tuulivoimalan sijaitseminen kauempana rantaviivasta olisi siis kestävämpi ratkaisu. Tarkastelemistani lajeista eniten päällekkäisyyttä havaittiin vesilinnuilla. Keskimääräisellä vesilinnulla oli myös eniten hankealueita reitillään verrattuna muihin lajiryhmiin. Päällekkäisyyttä ilmeni vesilintujen lisäksi petolinnuilla, hanhilla ja joutsenilla.

Tutkimusaineistooni liittyy useita epävarmuustekijöitä, jotka on syytä ottaa huomioon tuloksia tarkastellessa. Lintujen päämuuttoreitit tunnetaan heikosti saariston ulkopuolelta, ja hankealueet ovat vasta hyvin varhaisessa suunnittelun vaiheessa. Näiden aineistojen tarkastelu yhdessä antaa kuitenkin arvokasta tietoa siitä, millä tavoin lintujen muuttoreittejä pyritään ottamaan huomioon merituulivoiman suunnittelussa. Merituulivoimapuistojen sijoittelu on keskeisin tekijä lintuihin kohdistuvien vaikutuksien minimoimisessa.

---

**Avainsanat:** muuttolinnut, päämuuttoreitit, merituulivoima, tuulivoimahankkeet, tuulivoimapotentiaali, merialuesuunnitelma

# Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Lintujen muuttoreitit ja tuulivoima Suomen merialueella</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>Lintujen muuttoreitit Suomen merialueilla</b>	<b>6</b>
2.1.1	Suomen muuttolinnusto	6
2.1.2	Muuttoreitteihin vaikuttavat tekijät	6
2.1.3	Merialueiden merkitys muuttolinnuille	8
<b>2.2</b>	<b>Suomen merituulivoima</b>	<b>9</b>
2.2.1	Merituulivoima ja sen sijoittuminen Suomessa	9
2.2.2	Suomen merituulivoimapotentiaali ja merialuesuunnitelma	11
<b>2.3</b>	<b>Tuulivoiman vaikutukset muuttolintuihin</b>	<b>12</b>
<b>2.4</b>	<b>Muuttolintujen huomiointi tuulivoimarakentamisessa</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>Aineistot ja menetelmät</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Tutkimusalue</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Aineistot</b>	<b>17</b>
3.2.1	Lintujen päämuuttoreitit	17
3.2.2	Suunnitellut merituulivoimahankkeet	17
3.2.3	Merialuesuunnitelman energiantuotantoalueet	18
<b>3.3</b>	<b>Menetelmät</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>Tulokset</b>	<b>20</b>
<b>4.1</b>	<b>Pohjanlahden päämuuttoreitit</b>	<b>20</b>
<b>4.2</b>	<b>Päällekkäisyyden kannalta riskialttiimmat lajit</b>	<b>22</b>
<b>4.3</b>	<b>Rannikon etäisyyden vaikutus päällekkäisyyteen</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Keskustelu</b>	<b>26</b>
<b>5.1</b>	<b>Suomen merituulivoiman riskit muuttolinnustolle</b>	<b>26</b>
5.1.1	Hankealueiden sijoittuminen suhteessa päämuuttoreitteihin	26
5.1.2	Energiantuotantoalueiden sijoittuminen suhteessa päämuuttoreitteihin	27
5.1.3	Merituulivoiman haitoille riskialttiimmat lajit	28
<b>5.2</b>	<b>Aineistojen epävarmuustekijät ja jatkotutkimustarve</b>	<b>29</b>
<b>5.3</b>	<b>Johtopäätökset</b>	<b>31</b>
	<b>Lähteet</b>	<b>33</b>

<b>Liitteet</b>	<b>37</b>
<b>Liite 1. Vesilintujen päämuuttoreitit</b>	<b>37</b>
<b>Liite 2. Petolintujen päämuuttoreitit</b>	<b>38</b>
<b>Liite 3. Hanhien ja joutsenien päämuuttoreitit</b>	<b>39</b>
<b>Liite 4. Kurjen, sepelkyyhkyn, naakan ja variksen päämuuttoreitit</b>	<b>40</b>

# 1 Johdanto

Maailmanlaajuiset ympäristöongelmat, kuten ilmastonmuutos ja luontokato, ovat lisänneet tarvetta siirtyä uusiutuviin energianlähteisiin (Attanayake ym. 2024). Agenda 2030:n kestävän kehityksen seitsemäs osatavoite korostaa, että uusiutuvan energian osuutta tulisi kasvattaa merkittävästi vuoteen 2030 mennessä (Suomen YK-liitto s.a.). Muutoksen tarve ja paine ovat heijastuneet muiden uusiutuvien energianlähteiden ohella myös tuulivoimaan ja sen kysyntään.

Tuulivoiman kannattava tuotanto edellyttää avoimia alueita ja voimakasta tuulta, minkä vuoksi merialueilla nähdään merkittävää tuulivoimapotentiaalia (Nurmio & Pakarinen 2024). Kiinnostus merituulivoimaa kohtaan näkyy myös Suomessa kasvavina hankemäärinä. Vuonna 2025 Suomessa oli vielä vain yksi merituulivoimala, mutta suunnitteilla on yli kaksikymmentä hanketta (Tuulivoimahankkeet Suomessa 2025). Vuonna 2021 julkaistu merialuesuunnitelma vuodelle 2030 listasi energiantuotantoon soveltuvimmat alueet suhteessa muihin merialueen käyttömuotoihin sekä luontoarvoihin (Vihavainen ym. 2024).

Vaikka merituulivoiman lisääminen pohjautuu ekologiseen kestävyYTEEN, on voimaloilla paikallisesti negatiivisia vaikutuksia ekosysteemeihin (Degraer 2020). Vaikutus näkyy vedenalaisten ekosysteemien lisäksi erityisesti useissa lintulajeissa niin pesinnän, ruokailun kuin alueen läpi muuttamisenkin kannalta (Kalliola ym. 2006). Tuulivoimaloiden pyörivät lavat sijaitsevat useimpien muuttolintujen lentokorkeudessa, mikä lisää merkittävästi esimerkiksi törmäysriskiä lintujen kevät- ja syysmuuttojen aikaan (Fox & Petersen 2019). Keskeisin keino linnustovaikutusten minimoimiseksi on tuulivoimaloiden sijoittelu muuttoreittien ulkopuolelle (Piggott ym. 2021).

Tässä tutkimuksessa tarkastelen Suomeen suunniteltujen merituulivoimahankkeiden sijoittumista suhteessa muuttolintujen päämuuttoreitteihin. Paikkatietopohjaisella tarkastelulla selvitän eri lintulajien mahdollisia alttiuksia tuulivoiman vaikutuksille tulevaisuudessa. Pyrin tutkimuksellani vastaamaan siis seuraaviin kysymyksiin:

- 1) Miten Suomeen suunnitellut merituulivoimahankkeet sijoittuvat suhteessa lintujen päämuuttoreitteihin?
- 2) Miten merialuesuunnitelma 2030 ja sen sisältämät energiantuotantoalueet huomioivat muuttolintujen suojelun?
- 3) Mitkä lintulajit ovat erityisen alttiita tuulivoimaloiden haitoille Suomen merialueilla?

## 2 Lintujen muuttoreitit ja tuulivoima Suomen merialueella

### 2.1 Lintujen muuttoreitit Suomen merialueilla

#### 2.1.1 Suomen muuttolinnusto

Suomessa pesii noin 240 lintulajia, joista lähes 180 on muuttolintuja (Kalliola ym. 2006). Tätä selittää Suomen pohjoinen sijainti ja kylmät talvet, jotka rajoittavat lintujen talvehtimis-mahdollisuuksia, sillä monet lajit eivät saa tarvitsemaansa ravintoa talviaikaan näiltä leveys-asteilta. Sen lisäksi, että valtaosa Suomessa pesivistä linnuista muuttaa talveksi pois, on Suomen alueilla merkittävä asema osana arktisten lintujen muuttoreittiä (Toivanen ym. 2014). Suomen maa- ja merialueiden kautta kulkee runsaasti niin Norjan, Ruotsin kuin Venäjänkin pohjoisilla alueilla pesivistä lajeista.

Vuonna 2019 Suomessa pesivistä lajeista 35 % oli luokiteltu uhanalaisiksi (Hyvärinen ym. 2019). Lajien uhanalaisuutta kuvaava Punainen kirja (eng. *Red List of Threatened Species*) laajenee jokaisen uuden arvioinnin yhteydessä. Erityisessä vaarassa ovat lajit, joiden elinympäristöt ovat vaarantuneet esimerkiksi ilmastonmuutoksen seurauksena. Tällaisia ovat esimerkiksi arktisilla alueilla pesivät lintulajit. Suomen merkitys arktisten lintujen muuttoreittien suojelussa on siis keskeinen lajien elinvoimaisuuden turvaamiseksi.

#### 2.1.2 Muuttoreitteihin vaikuttavat tekijät

Laajasti tarkasteltuna lintujen muuttoreittiin vaikuttaa pesimä- ja talvehtimisalueen sijainti suhteessa toisiinsa (Toivanen ym. 2014). Suomen läpi muuttava lajisto pesii hyvin eri leveysasteilla, joten on luonnollista, että lajit myös talvehtivat erilaisissa olosuhteissa. Lyhyen matkan lähimuuttajat talvehtivat Euroopassa tai Välimeren rannikolla (Kalliola ym. 2006). Pitkän matkan muuttajat talvehtivat puolestaan Afrikassa Saharan eteläpuolisilla alueilla, Aasiassa tai vielä kauempana. Matkan pituus ei kuitenkaan yksin määritä, mitä kautta laji tulee muuttamaan. Matkan pituudella on kuitenkin toisinaan vaikutus esimerkiksi reitin ulkopuolisten levähdyspaikkojen määrään, mikä osaltaan vaikuttaa reitin lopulliseen suuntaan.

Maanpinnan muodot, ympäristön muuttuvat olosuhteet sekä lajille tyypilliset muut ominaisuudet vaikuttavat reittiin enemmän kuin matkan pituus (Kalliola ym. 2006). Maanpinnan muotojen luomia esteitä muuttolinnuille ovat vuoristot, aavikot ja laajat vesialueet. Vuoristot pakottavat lintuja vaihtamaan lentokorkeuttaan, mikä lisää energiankulutusta. Aavikoilla ja vesialueilla on vain niukasti turvallisia levähdysalueita ja ravinnon löytäminen on

suurimmalle osalle lajeista haastavaa. Myös ihmisen rakentama infrastruktuuri, kuten korkeat rakennukset tai laajat kaupunkialueet, luovat muuttoreiteille fyysisiä esteitä (Koistinen 2004). Yksi keskeinen ihmisen rakentama fyysinen este muuttolinnuille ovat tuulivoimapuistot, joiden seurauksesta havaitaan lukuisia törmäyskuolemia sekä muutoksia muuttoreiteissä (Fox & Petersen 2019).

Suhteellisen pysyvien maantieteellisten esteiden lisäksi lintujen muuttoreittiin vaikuttavat lukuisat muuttuvat olosuhteet (Kalliola ym. 2006). Voimakas vastatuuli, rankkasade tai sumu luovat reiteille ylimääräisiä pysähdyksiä ja toisaalta muuttoreiteiltä poikkeamista. Hankalat sääolosuhteet yhdessä fyysisten esteiden, kuten tuulivoimaloiden, kanssa lisäävät merkittävästi lajien törmäysriskiä (Linnustovaikutusten arviointi... 2016).

Muuttoreitti on lopulta ympäristön ja lajin ominaisuuksien summa (Toivanen ym. 2014). Ympäristötekijät voivat osaltaan luoda vaihtelua lintujen tyypillisiin reitteihin, mutta toisaalta muuttoreittien vaihtelu voi olla linnulle luontainen tapa. Muuttolinnut voidaan jakaa niiden muuttokäyttäytymisen perusteella reitti- ja rintamamuuttajiin. Reittimuuttajat noudattelevat vuodesta toiseen samankaltaisia reittejä, kun taas rintamamuuttajille tällainen käytös ei ole ominaista. Rintamamuuttajat vaihtelevat vuositasolla niin muuttoreittiään kuin talvehtimisalueitaankin. Ominaisuus vaikeuttaa merkittävästi tällaisten lajien muuttoreittien tutkimista ja huomioimista. Kuitenkin myös reittimuuttajien muuttoreiteissä on vuosittaista vaihtelua (Vardanis ym. 2011). Muutto noudattelee usein tiettyä laajempaa aluetta, mutta sen sisällä vaihtelua tapahtuu runsaasti. Rintama- ja reittimuuttajilla on molemmilla taustalla lukuisia lajin sisäisiä muita ominaisuuksia ja tyypillisiä käytösmalleja, jotka ohjaavat muuton luonnetta (Kalliola ym. 2006). Osa lajeista esimerkiksi välttää merialueet parhaansa mukaan, kun taas osa suosii niitä. Muuttolinnuilla on niille ominaiset levähdysalueet, lentokorkeudet ja lennon vuorokaudenajat.

Yksi keskeisimmistä muuttoon vaikuttavista lajin piirteistä on muuton vuorokaudenaika sekä lentokorkeus (Lehtiniemi & Toivanen 2023). Muuttolinnut voidaan jakaa yö- ja päivämuuttajiin. Monet lajit muuttavat kuitenkin useita vuorokausia peräkkäin, jolloin laji luonnollisesti muuttaa niin yö- kuin päiväaikaankin. Yömuuton etuna on useimpien petojen sekä kovimpien tuulien välttäminen (Kalliola ym. 2006). Yömuutto ei myöskään häiritse päiväaikaista ruokailua (Alerstam 2011). Fyysisten esteiden aiheuttamien haittojen kannalta yömuutossa on kuitenkin omat ongelmakohtansa, sillä esimerkiksi tuulivoimaloiden törmäyskuolemat ovat yleisempiä yöllä kuin päivällä (Hüppop ym. 2006). Lintujen

muuttoreittien tutkimuksen kannalta yömuutto myös vaikeuttaa selvästi tiedon keruuta, sillä näköhavaintojen saaminen on haastavampaa yöllä lentävistä lajeista (Toivanen ym. 2014).

Vaikka lajille olisi tyypillistä noudattaa samanlaisia reittejä ja tiettyä muuton ajankohtaa, kohdistuu useisiin muuttolintuihin ilmastonmuutoksen vuoksi kova muutospaine (Kumar ym. 2024). Muuttolintujen kohdalla keskeisiä ilmastonmuutoksen vaikutuksia ovat lintujen syys- ja kevätmuuttojen ajankohtien siirtyminen (Kumar ym. 2024). Monet muuttolinnut ovat jo nyt aikaistaneet kevätmuuttoa. Ilmastonmuutoksen edetessä on mahdollista, että tulevaisuudessa osa lajeista ei lainkaan muuta leutoina talvina pois pesimäalueiltaan. Sään ääri-ilmiöt vaikuttavat myös merkittäväällä tavalla muuton etenemiseen ja turvallisuuteen (Knudsen ym. 2011). Tuulisella ja sateisella säällä muuttolinnuilla on suurempi riski törmätä esimerkiksi tuulivoimalaan (Hüppop ym. 2006). Toisaalta tietyillä lajeilla sään muutokset voivat vaikuttaa muuton ajankohtaankin (Kalliola ym. 2006). Lajit, joiden muutto on riippuvaista sadekausista, saattavat aikaistaa muuttoaan sään ääri-ilmiöiden lisääntymisen vuoksi ja näin palata pesimäalueelleen liian aikaisin. Toisaalta ilmastonmuutoksen takia yhä useammat lintulajit ovat uhanalaisuusluokituksessa, jolloin pienetkin muutokset niiden elinympäristössä voivat vaarantaa niiden selviytymisen (Van Doren 2022).

### 2.1.3 Merialueiden merkitys muuttolinnuille

Vaikka Suomeen ja sen läpi lentävien muuttolintujen reitit eroavat toisistaan, lähes kaikkia lajeja yhdistää Itämeren ylitys ja sitä kautta Suomen merialueilla lentäminen (Toivanen ym. 2014). Lähtökohtaisesti merialueiden ylittäminen on linnuille riski levähdysalueiden puutteellisuuden vuoksi (Kalliola ym. 2006). Osa lajeista pyrkiikin minimoimaan merten yllä lentämisen ja siirtymään mantereisille alueille heti, kun se on mahdollista. Usein Itämeren kiertäminen tarkoittaisi muuttoreitin pitenemistä, minkä välttämiseksi suurin osa Suomeen muuttavista linnuista ylittää Itämeren (Toivanen ym. 2014).

Vaikka merialueet ovat yleisesti muuttolinnuille este, Suomen merialueilla on selviä muuttoreittien keskittymiä Pohjan- ja Suomenlahden rannikoilla (Lehtiniemi & Toivanen 2023). Lentäminen rannikkolinjaa pitkin, toisinaan vesistön ja toisinaan maa-alueiden yllä, sopii useimmille Suomeen tai sen kautta muuttaville linnuille. Linnut suunnistavat monien eri aistien avulla (Kalliola ym. 2006). Näköaistin avulla linnut seuraavat maanpinnan muotoja. Rantaviivan seuraaminen on siis yksi muuttolintujen tavoista pysyä reitillä. Toisaalta osa muuttolinnuista, merkittävä osa vesilinnuista, lentää pitkälti vain merialueiden yllä (Lehtiniemi

& Toivanen 2023). Lintujen muuttoreittien huomiointi on siis keskeistä, kun merialueille suunnitellaan esteiden, kuten tuulivoimaloiden, rakentamista (Toivanen ym. 2014).

## 2.2 Suomen merituulivoima

### 2.2.1 Merituulivoima ja sen sijoittuminen Suomessa

Tuulivoima perustuu auringon säteilyenergian epätasaisesta jakautumisesta johtuviin tuuliin, joiden liike-energia pyörittää tuulivoimalan lapoja (Lynn 2012). Generaattori muuntaa tämän liikkeen sähköksi, jota voidaan hyödyntää ihmisten tarpeisiin. Tuulivoima jaetaan sen perustuksien sijainnin mukaan maa- ja merituulivoimaloihin. Merituulivoimalat kiinnittyvät merenpohjaan tai merenpinnalla kelluviin rakenteisiin. Sähkökaapelit kulkevat merituulivoimassa merenpohjaa pitkin. Energian tuottamisen peruseriaatteet eivät eroa maalla ja merellä, mutta niitä edeltävässä selvitystyössä ja rakennusprosessissa on merkittäviä eroja. Merituulivoiman rakennusprosessi sijoittuu maatuulivoimaa haastavampaan ympäristöön ja sähkönsiirron on ulotuttava keskimäärin kauemmas. Merituulivoima vaatii usein myös etäältä toimivia tekniikoita esimerkiksi linnustovaikutusten arvioimiseksi ja minimoimiseksi (Desholm ym. 2006). Nämä kaikki yhdessä luovat prosessiin haasteita, joiden takia merituulivoimaa on pystytty kehittämään huomattavasti maatuulivoimaa myöhemmin.

Suomen merialueet, joille merituulivoimaa suunnitellaan, voidaan jakaa aluevesiin ja talousvyöhykkeeseen (Nurmio & Pakarinen 2024). Aluevedet ovat rannikon läheisyydessä Suomen kansallisen lainsäädännön piirissä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2024). Lähempänä rannikkoa olevat aluevedet, sisäiset aluevedet, voivat olla yksityisomistuksissa, mutta tämän ulkopuolella olevat ulkoiset aluevedet kuuluvat Metsähallitukselle. Talousvyöhykkeellä viitataan aluevesien ulkopuolisiin merialueisiin, joiden ulkoraja on määritetty naapurivaltioiden kanssa (Nurmio & Pakarinen 2024). Talousvyöhyke on siis osa kansainvälistä merialuetta, mutta se on Suomen hyödynnettävissä taloudellisiin tarpeisiin (Työ- ja elinkeinoministeriö 2024). Vyöhykkeellä ei siis suoraan sovelleta kansallista lainsäädäntöä, vaan alueella on huomioitava kansainvälisiä sopimuksia kuten YK:n merioikeusyleissopimus. Tarkemmin toimintaa säädellään Suomen talousvyöhykelaila. Aluevesillä ja talousvyöhykkeellä suunnitellut tuulivoimahankkeet eroavat prosesseiltaan siis toisistaan. Toisaalta myös puhtaasti etäisyys rantaviivasta luo rakennusprosesseihin ja voimaloiden kannattavuuteen eroavaisuuksia.

Suomessa on toistaiseksi vain yksi merituulivoimapuisto ja se sijaitsee aluevesillä Porin Tahkoluodon edustalla (Työ- ja elinkeinoministeriö 2024). Sen lisäksi, että Tahkoluodon merituulivoimapuistossa on Suomen ensimmäiset merenpohjaan kiinnitetyt tuulivoimalat, on se myös kansainvälisesti ensimmäinen jäätyvän meren tuulipuisto. Tahkoluodon merituulivoimapuisto valmistui 2017 ja siihen kuuluu yhteensä 11 voimalaa (Tuulivoimahankelista 2025). Tahkoluodon merituulivoimapuiston rooli on merkittävä osana merituulivoiman kehittämistä Suomessa (Tuulivoimarakentamisen edistäminen 2021). Sille on myönnetty valtion demonstraatiotukea, jotta puistosta pystyttäisiin tuottamaan lisätietoa tulevia merituulivoimahankkeita ja niiden rakennusprosesseja varten. Käytännön näyttöä merituulivoimasta ei siis Suomessa vielä juurikaan ole, vaan tieto pohjautuu pitkälti muiden maiden merituulivoimaan (Vihavainen ym. 2024). On erityisen tärkeää, että käytettävissä on vertailukelpoista tietoa, jotta tulevista hankkeista voidaan suunnitella mahdollisimman tehokkaita ja kestäviä.

Vaikka Suomessa on toiminnassa vasta yksi merituulivoimapuisto, on hankkeita suunnitteilla useita. Tammikuussa 2025 eri vaiheessa olevia tuulivoimahankkeita oli 24 kappaletta, joista yksi on luvitettu, seitsemän esisuunnittelussa ja 16 selvityksissä (Tuulivoimahankkeet Suomessa 2025). Kaikki hankkeet niin aluevesillä kuin talousvyöhykkeelläkin ovat vielä alkuvaiheissa (Tuulivoimahankkeet Suomessa 2025). Hankkeiden määrät ja ennustetut tehot kuitenkin kuvaavat sitä, että Suomi pyrkii tällä hetkellä panostamaan maatuulivoiman lisäksi myös tulevaisuuden merituulivoimaan.

Suomeen on suunnitteilla merituulivoimaa niin aluevesille kuin talousvyöhykkeellekin (Tuulivoimahankelista 2025). Aluevesien etuna on tiedon saatavuus sekä pienemmät tuotantokustannukset (Vihavainen ym. 2024). Vaikka merituulivoima on kokonaisuudessaan uutta Suomessa, on aluevesiä hyödynnetty erilaisiin taloudellisiin tarpeisiin pitkään. Tietoa aluevesien ominaisuuksista tuulivoimatuotannon kannalta on siis tiettyssä määrin olemassa sekä saatavilla. Puolestaan talousvyöhyke on Suomessa kokonaisuudessaan vielä hyvin vierasta aluetta. Tiedonpuutteista, epävarmuustekijöistä ja korkeammista tuotantokustannuksista huolimatta osa merituulivoiman hankkeista sijoittuu talousvyöhykkeelle (Nurmio & Pakarinen 2024). Talousvyöhykkeellä nähdään sen ongelmakohdista huolimatta merkittävää tuulivoimapotentiaalia, koska luontoon ja ihmiseen liittyviä arvoja on vähemmän kuin rannikon tuntumassa (Vihavainen ym. 2024). Tämä vähentää niiden tekijöiden määrää, jotka rajoittaisivat tuulivoimapuiston kokoa tai ominaisuuksia.

Vaikka merituulivoimaa suunnitellaan aluevesien ja talousvyöhykkeen osalta kaikkialle Suomen merialueille, ei suunnitelmat kata aivan koko merialuetta, sillä Suomenlahteen ei suunnitella tuulivoimaa (Tuulivoimahankelista 2025). Suomenlahdella on tärkeä rooli osana maanpuolustusta sekä aluevalvontaa, jota tuulivoimatuotannon on arvioitu häiritsevän (Rannikon maakuntaliitot 2020). Suomenlahden alueilla olisi merituulivoiman rakentamisen kannalta hyvät edellytykset, mutta ainakaan lähitulevaisuudessa tuulivoimaa ei suunnitella (Työ- ja elinkeinoministeriö 2024). Merituulivoiman tulevaisuuden potentiaali sijoittuukin Pohjanlahteen.

## 2.2.2 Suomen merituulivoimapotentiaali ja merialuesuunnitelma

Suurin osa Suomen tuulivoimapotentiaalista sijoittuu läntiseen Suomeen, joka osaltaan korostaa myös merituulivoiman roolia (Nurmio & Pakarinen 2024). Suomen merialueille on määritelty merkittävä tuulivoimapotentiaali (Tuulivoimarakentamisen edistäminen 2021). Suomen käytössä olevat merialueet tarjoavat suotuisan ympäristön energiantuotannolle, koska merialueilla voimat voivat olla huomattavasti laajempia kuin mantereisilla alueilla (Nurmio & Pakarinen 2024). Tämän lisäksi maantieteellisten esteiden, kuten vuoristojen tai ihmisen rakentaman korkean infrastruktuurin, puuttumisen vuoksi merialueiden tuuliolosuhteet ovat usein otollisempia.

Merituulivoimalla on keskeinen rooli Suomen hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä (Tuulivoimarakentamisen edistäminen 2021). Vaikka Suomeen suunnitellaan tällä hetkellä määrällisesti 17 kertaa enemmän maatuulivoimapuistoja kuin merituulivoimapuistoja, yksittäisten hankkeiden tarkastelu osoittaa, että merituulivoimaloiden energiantuotanto olisi merkittävästi suurempi (Tuulivoimahankkeet Suomessa 2025). Keskimääräisen maatuulivoimapuiston tuotto on noin 150 megawattia, kun taas merituulivoimalan tuotto on lähes 2 000 megawattia. Energiantuotannon kannalta keskimääräisen merituulivoimapuiston tuotto on siis yli kymmenkertainen. Merituulivoiman potentiaali perustuukin pitkälti tuulivoimapuistojen koon kasvuun (Nurmio & Pakarinen 2024).

Vaikka merituulivoimaloilla nähdään merkittävää energiantuotannollista potentiaalia, on niiden käytännön toteutuksissa vielä paljon haasteita (Tuulivoimarakentamisen edistäminen 2021). Merituulivoiman investointikustannukset ovat maatuulivoimaan verrattuna huomattavasti korkeampia. Tämä perustuu muun muassa rakennusprosessin haasteisiin sekä sähkönsiirron etäisyyksiin (Lynn 2012). Tuotantokustannukset ovat keskimäärin aina korkeammat, mitä kauempana rantaviivasta hanke sijaitsee (Nurmio & Pakarinen 2024). Tällöin

talousvyöhykkeelle sijoitetut hankkeet ovat keskimäärin aluevesien hankkeita kalliimpia. Merituulivoiman on kuitenkin katsottu seuraavan vuosikymmenen aikana kehittyvän teknis-taloudellisesti kannattavammaksi (Nurmio & Pakarinen 2024). Suomen merituulivoimatuotanto tulee siis todennäköisesti painottumaan vasta 2030-luvulle ja sen jälkeiseen aikaan. Talousvyöhykkeen laajempi merituulivoima ajoittuu todennäköisesti vasta 2040-luvulle.

Suomen merituulivoimapotentialiaalia kuvataan merialuesuunnitelman energiantuotantoalueilla. Vuonna 2020 Suomessa laadittiin merialuesuunnitelma vuodelle 2030, joka kaavoittaa aluevesien sekä talousvyöhykkeen eri käyttömuotoja (Vihavainen ym. 2024). Merialuesuunnittelun tarkoituksena on alueidenkäyttölain (132/1999) 67 a § mukaan sovittaa yhteen erilaiset merialueen käyttömuodot ylläpitäen meriympäristön hyvää tilaa. Keskeisimpiä käyttömuotoja, joita merialuesuunnittelu pyrkii sovittamaan yhteen, olivat energia-alat, meriliikenne, kalastus ja vesiviljely, matkailu, virkistyskäyttö sekä ympäristön suojele. Merialuesuunnitelma perustuu Euroopan Unionin meristrategiadirektiiviin (2008/56/EY), joka velvoittaa jäsenvaltiot suunnittelemaan merialueidensa käyttöä. Merialuesuunnitelma ei toimi sellaisenaan kaavoituksen perustana, vaan sen tarkoitus on kuvata suuntaa antavasti eri alueiden mahdollisia käyttömuotoja.

Merituulivoiman kannalta merialuesuunnitelma kartoittaa tuulivoimalle otollisimpia alueita (Vihavainen ym. 2024). Merialuesuunnitelma 2030 sisältää lukuisten muiden merialueen käyttömuotojen lisäksi 15 aluetta, jotka on määritelty energiantuotannolle potentiaalisiksi alueiksi. Nämä energiantuotantoalueet on luotu lukuisten tekijöiden yhteisvaikutusten perusteella. Rajatut alueet ottavat huomioon alueen käyttömuodot, luontoarvot sekä esimerkiksi tuulivoiman tehokkaan tuoton mahdollisuudet.

### **2.3 Tuulivoiman vaikutukset muuttolintuihin**

Tuulivoimatuotanto sekä tuulivoiman rakentaminen vaikuttavat väistämättä alueella pesiviin sekä läpimuuttaviin lintulajeihin (Pearce-Higgins ym. 2012). Merituulivoiman linnustovaikutuksia tarkastellessa on tärkeää huomioida, kuinka merituulivoimapuistoista suunnitellaan keskimäärin suurempia kuin maatuulivoimapuistoista (Nurmio & Pakarinen 2024). Suurempana puistona, on vaikutus myös muuttolintuihin laajempi (Fox & Petersen 2019). Toisaalta merialueet ovat suurimmalle osalle muuttolinnuista este, jolloin avomeren tuulivoimapuistot eivät sijoitu valtaosan muuttoreitille (Kalliola ym. 2006). Sijaitsi tuulivoimapuisto maalla tai merellä, on niillä aina vaikutus muuttolintuihin sijoituessaan niiden muuttoreiteille (Linnustovaikutusten arviointi... 2016). Vaikutukset ovat lajikohtaisia, mutta

yhteistä useimmille ovat muutokset esimerkiksi lajin esiintymisalueessa ja populaation rakenteessa.

Tuulivoiman vaikutukset voidaan jakaa epäsuoriin ja suoriin vaikutuksiin. (Linnustovaikutusten arviointi... 2016). Epäsuorat tuulivoiman vaikutukset linnustoon muokkaavat pitkällä aikavälillä lajikoostumusta ja yksilömääriä. Epäsuoria vaikutuksia ovat esimerkiksi voimalan häiritsevyys sekä estevaikutus. Valojen ja äänien aiheuttama häiritsevyys johtaa useimpien lajien kohdalla siihen, että alue muuttuu epäsuotuisaksi saalistus-, pesintä- ja levähdysalueeksi. Vaikka häiritsevyys voi muokata muuttolintujen levähdysalueiden sijainteja, vaikuttaa muuttolintuihin ensisijaisesti voimalan luoma este (Fox & Petersen 2019). Estevaikutus johtaa siihen, että lintu pyrkii kiertämään voimalan, jolloin matka pitenee ja energiankulutus kasvaa. Esimerkiksi Tanskassa Nystedin merituulivoimapuistossa havaittiin haahkojen matkan pitenevän voimalan kiertämisen takia noin puoli kilometriä, joka kasvatti muuton kokonaismatkaa 0,5–0,7 % (Vihavainen ym. 2024). Toisaalta estevaikutuksen on havaittu joidenkin lajien kohdalla myös muuttavan kohdetta, johon laji lopulta päätyy pesimään tai talvehtimaan (Linnustovaikutusten arviointi... 2016).

Voimalan luoma este vaikuttaa eri tavoilla eri lajeihin. Suurin osa lajeista pyrkii kiertämään voimalan, mutta osa lentää voimaloiden välistä, jolloin törmäysriski kasvaa merkittävästi (Suorsa 2019). Vanermenin työryhmän tutkimuksen (2015) mukaan merituulivoimalat myös houkuttelisivat osaa muuttavista vesilinnuista Belgiassa Pohjanmeren alueella. Houkuttelevuus perustui mitä todennäköisimmin voimaloiden päälle lepäämään jäämiseen sekä erityisesti ruokailumahdollisuuksien parantumiseen. Voimaloiden rakenteet lisäävät paikallisesti mereneläviä, eikä ihminen vähennä kalakantoja alueiden ammattikalastuskieltojen vuoksi. Merituulivoimaloiden luoman esteen vaikutukset on todettu hyvin lajikohtaisiksi muuallakin Euroopan merialueilla (Dierschke ym. 2016). Voimaloiden houkuttelevuus lisää merkittävästi lintujen loukkaantumisia sekä kuolleisuutta.

Tuulivoiman suoriin vaikutuksiin kuuluu törmäyskuolleisuus (Linnustovaikutusten arviointi... 2016). Muuttolinnut pyrkivät ensisijaisesti aina tavalla tai toisella väistämään voimalat joko kiertämällä puiston tai lentämällä voimaloiden välistä, mutta aina väistäminen ei onnistu (Suorsa 2019). Törmäyskuolleisuudella viitataan voimalaan törmäämisen seurauksesta johtaneeseen kuolemaan (Linnustovaikutusten arviointi... 2016). Kuolema voi seurata suoraa voimalan eri osiin törmäyksestä tai esimerkiksi loukkaantumisesta ja tätä kautta seuranneesta nälkiintymisestä. Toisaalta voimalasta johtuva kuolema ei aina vaadi edes kosketusta voimalan

rakenteisiin vaan liian lähelle voimalaa joutunut lintu voi ilmapyörteisyyden seurauksesta törmätä myös maahan tai joutua veteen (Koistinen 2004).

Törmäyskuolleisuuteen vaikuttavat merkittävästi lajin omat ominaisuudet (Gove ym. 2013). Keskeisimmät ominaisuudet liittyvät muuttoreitin pituuteen, parven kokoon, lajin hämäränäköön, motoriikkaan sekä lentokorkeuteen. Mitä pidempi linnun muuttoreitti on, sitä todennäköisemmin reitille osuu useita voimaloita nostaten törmäyksien riskiä (Furness ym. 2013). Kun muuttoparvi on suuri, on muuttavien lintujen vaikeampi tehdä äkillisiä muutoksia reittiin. Tämä yhdistettynä heikkoon hämäränäköön on erityisen vahingollinen (Hüppop ym. 2006). Jos lintu havaitsee esteen vasta hyvin lähellä voimalaa, on väistäminen haastavampaa ja riski törmäämiselle kasvaa (Koistinen 2004). Myös lajin muu motoriikka ja lentotyyli vaikuttavat esteiden kiertämisen mahdollisuuteen (Gove ym. 2013). Esimerkiksi liitelevillä lajeilla, kuten petolinnuilla, kyky väistää voimalaa on keskimäärin heikompi. Lentokorkeudella on myös keskeinen vaikutus törmäyksien riskiin (Furness ym. 2013). Tämä johtuu siitä, että eniten törmäyskuolleisuutta aiheuttaa voimalan pyörivät lavat, jotka sijaitsevat usein 80–100 metrin tuntumassa (Suorsa 2019). Suurin osa muuttolinnuista lentää juuri tällä riskialttiimmalla korkeudella (Hüppop ym. 2006).

Törmäminen ei aina ole kuitenkaan kiinni pelkästään lajin omista ominaisuuksista tai tyypillisistä käytösmaalleista (Hüppop ym. 2006). Ympäristön muuttuvat olosuhteet kuten sade, sumu sekä kova tuuli vaikeuttavat merkittävästi lintujen mahdollisuuksia väistää voimala onnistuneesti. Törmäyksien määrän on havaittu kasvavan erityisesti sateisina ja sumuisina huonon näkyvyyden öinä. Ympäristöolosuhteet heikentävät niin lajien motoriikkaa kuin näkökykyäkin (Toivanen ym. 2014). Toisaalta törmäyskuolleisuuteen vaikuttaa myös jo aiemmin mainittu voimaloiden houkuttelevuus (Vanermen ym. 2015). Tällaisiin seikkoihin on mahdollista vaikuttaa ottamalla linnusto huomioon tuulivoimaloiden rakennusprosessissa (Drewitt & Langston 2006).

## **2.4 Muuttolintujen huomiointi tuulivoimarakentamisessa**

Jotta tuulivoiman riskejä linnustolle voidaan minimoida, on riskit ensin tunnistettava. Merialueilla muuttolintujen tutkimiseen liittyy useita haasteita (Lehtiniemi & Toivanen 2023). Lintujen muuttoreitit tunnetaan osin puutteellisesti merialueilta, eikä esimerkiksi Suomessa talousvyöhykkeen osalta reittejä tunneta juuri lainkaan (Työ- ja elinkeinoministeriö 2024). Kansainvälisesti merelle on kuitenkin pyritty kehittämään ja hyödyntämään erilaisia etäältä toimivia tekniikoita linnustovaikutusten seuraamiseksi ja minimoimiseksi (Desholm ym. 2006).

Erilaisten tutkien kuten infrapunaa hyödyntävien teknisten ratkaisujen avulla on pystytty mallintamaan lintujen kykyä väistää voimala. Etäältä toimivien tekniikoiden tutkajärjestelmien rooli on keskeinen, jotta tietoa saadaan myös sellaisista merialueista, jotka ovat vaikeasti ihmisen saavutettavissa (Drewitt & Langston 2006).

Tuulivoimaloiden vaikutuksia linnustoon on mahdollista minimoida teknisillä ratkaisuilla (Koistinen 2004). Jo voimaloista tulevan äänen on arvioitu auttavan lintuja voimalan havaitsemisessa, mutta myös erilaisin valoin pyritään siihen, että voimalat huomattaisiin paremmin. Tietyntyyppinen valo kuitenkin houkuttelee erityisesti yömuuttajia kohti ja nostaa näin riskiä törmäykselle (Hüppop ym. 2006). Valojen kirkkautta ja välkkymisnopeutta säätämällä voidaan kuitenkin minimoida vaikutukset (Linnustovaikutusten arviointi... 2016). Valojen lisäksi erityisesti merialueilla voimalan rakenteet houkuttelevat lintuja luokseen levähdysalustana (Vanermen ym. 2015). Tällöin on erityisen tärkeää suunnitella voimalan muoto niin, ettei sen rakenteisiin ole mahdollista pysähtyä (Koistinen 2004).

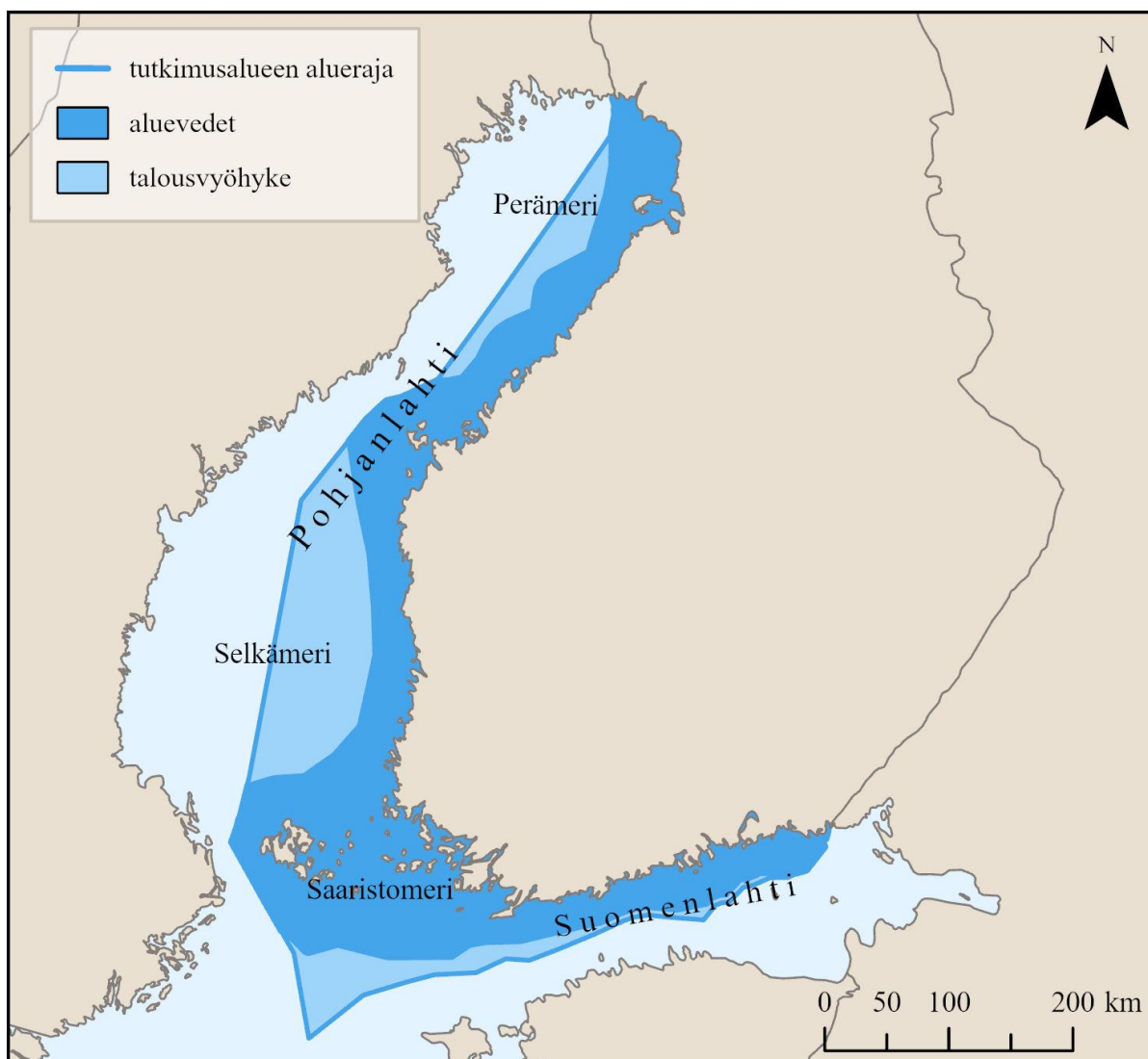
Yksittäisten voimaloiden teknisten ratkaisujen lisäksi linnustovaikutuksia voidaan minimoida puistojen rakenteella ja voimaloiden kestäväällä sijoittelulla toisiinsa nähden (Linnustovaikutusten arviointi... 2016). Voimaloiden välissä on oltava riittävän leveät esteettömät väylät, jotta lajit, jotka tyypillisesti ohittavat puiston voimaloiden välistä, voivat tehdä sen turvallisesti. Myös sähkönsiirron rakenteet tulee toteuttaa linnut huomioiden esimerkiksi lisäämällä kaapeleihin huomiopalloja.

Tärkein keino linnustovaikutusten minimoimiseksi tuulivoimarakentamisessa on tuulivoimapuistojen sijoittelu (Piggott ym. 2021). Vaikka erilaisilla teknisillä ratkaisuilla pystytään vähentämään törmäysriskiä, tehokkain keino on sijoittaa tuulivoimapuistot päämuuttoreittien ulkopuolelle aina, kun se on mahdollista. Lintujen muuttokäyttäytyminen vaihtelee lajikohtaisesti, eikä kaikki tekniset ratkaisut ole yhtä tehokkaita jokaisen lajin kohdalla. Voimaloiden sijainnin on arvioitu olevan törmäysriskiin eniten vaikuttava tekijä (Koistinen 2004).

### 3 Aineistot ja menetelmät

#### 3.1 Tutkimusalue

Tarkastelen tutkimuksessani merialuetta, joka on Suomen taloudellisessa käytössä (kuva 1). Tarkoitukseni on selvittää Suomen merituulivoiman tilanne suhteessa alueilla muuttaviin lintuihin. Tällöin on mielekästä säilyttää aluerajaus sellaisena, joka kattaa niin aluevedet kuin talousvyöhykkeenkin. Vaikka käytännönprosessit eroavat aluevesillä ja talousvyöhykkeellä toisistaan, kuvastavat ne kuitenkin yhdessä sitä aluetta, johon Suomella on lain puitteissa mahdollisuus perustaa merituulivoimaa (Työ- ja elinkeinoministeriö 2024). Tutkimukseni tavoitteiden lisäksi aluerajaustani tukee se, että käyttämäni aineistot ovat suuntaa antavia ja soveltuvat paremmin laaja-alaiseen tarkasteluun.



Kuva 1. Tutkimusalueen rajat (Countries – Admin 0 2022; Hallinnolliset aluejaot 2011; Aluevesien rajat 2010)

## 3.2 Aineistot

### 3.2.1 Lintujen päämuuttoreitit

BirdLife Suomi on tuottanut lintujen päämuuttoreiteistä paikkatietoaineiston sekä julkaissut siihen pohjautuvan selvityksen ympäristöministeriölle (BirdLife Suomi s.a.). Aineisto on koottu lintuharrastajien Tiira-lintutietopalveluun keräämistä havainnoista sekä muuttolintuasiantuntijoiden näkemyksistä (Toivanen ym. 2014). Ensimmäinen raportti julkaistiin 2014, ja se päivitettiin 2023. Vastaavanlaisia koko maan kattavia lintujen päämuuttoreittiaineistoja ei ole muualla tuotettu. Vaikka aineisto ei kata kaikkia muuttolintulajeja, ovat asiantuntijat katsoneet esitettyjen päämuuttoreittien kattavan hyvin myös lajien reitit, joita aineistossa ei sellaisenaan käsitelty. Tuloksien on arvioitu olevan siis sovellettavissa muihinkin alueella muuttaviin lajeihin.

Tarkastelen tutkimuksessani vuoden 2023 päivitettyä raporttia. Aineistoon tehdyt muutokset pohjautuvat sekä tarkentuneisiin tietoihin että lajien reittien muutoksiin (Lehtiniemi & Toivanen 2023). Aineisto on kerätty vuosina 2007–2021, ja se pohjautuu noin 19 miljoonaan havaintoon 21:stä eri lajista. Aineiston lajit ovat kaikki suurikokoisia muuttolintuja, jotka ovat joko runsaslukuisia tai suojelullisesti merkittäviä. Näiden tietoisten valintojen lisäksi tarkasteltuihin lajeihin on vaikuttanut niiden muuttokäyttäytyminen, sillä esimerkiksi rintama- ja yömuuttajista tiedot ovat puutteellisia.

### 3.2.2 Suunnitellut merituulivoimahankkeet

Suomen uusiutuvat ry julkaisee puolen vuoden välein kootusti tulevista tuulivoimahankkeista raportteja, jotka perustuvat tuulivoimaa suunnittelevien yritysten lähettämiin tietoihin (Tuulivoimahankkeet Suomessa 2025). Raportit sisältävät eri vaiheessa olevien tuulivoimapuistojen suunnitellut sijainnit, voimalamäärät sekä esimerkiksi valmistumisvuoden. Tammikuussa julkaistun raportin mukaan Suomessa olisi vuonna 2025 vireillä 24 tuulivoimapuistoa. Suurin osa hankkeista on kuitenkin hyvin varhaisessa suunnittelun vaiheessa. Vuoden 2024 kesäkuussa hankkeita oli vielä 32, joten muutoksia hankkeissa tapahtuu runsaasti (Tuulivoimahankkeet Suomessa 2024).

Tarkastelen tutkielmassani vuoden 2025 tammikuun raportista neljäätoista hanketta, joista sain Suomen uusiutuvat ry:ltä paikkatietomuotoisena tiedon hankkeiden sijainneista ja aluerajauksista. Kolme hankkeista oli esisuunnittelussa ja yhdellätoista oli selvitykset

käynnissä. Näistä kahdeksalla YVA-menettely oli käynnissä ja yhdellä valmis. Kaikki hankkeet ovat siis vasta hyvin varhaisessa vaiheessa, eikä niiden lopullisesta toteutumisesta ole varmuutta. Koin kuitenkin tutkimukseni kannalta jo näiden hankkeiden kertovan paljon siitä, millä tavoin Suomessa huomioidaan lintujen muuttoreitit tuulivoiman sijoittelussa.

### 3.2.3 Merialuesuunnitelman energiantuotantoalueet

Hyödynnän tutkielmassani suunniteltujen tuulivoimaloiden lisäksi merialuesuunnitelmaa tarkastellessani tuulivoiman sijoittumista merialueilla. Merialuesuunnitelma 2030 sisältää yhteensä 15 energiantuotannolle potentiaalista aluetta (Vihavainen ym. 2024). Alueet eivät sellaisenaan ole kaavoituksen lähtökohta, vaan alueiden tarkoitus on osoittaa lukuisten tekijöiden yhteisvaikutuksien perusteella sellaiset alueet, joissa tuulivoimalle olisi paras potentiaali. Potentiaaliset energiantuotantoalueet on luotu yhteensä 154 eri aineiston yhteisvaikutusten pohjalta, joista 122 koski luontoarvoja, joihin sisältyi muun muassa lintujen muuttoreittejä sekä merikotkien pesintäalueita ja Natura 2000 -alueita. Suurin osa analyysiin päätyneistä taustatekijöistä koski siis luontoon liittyviä seikkoja.

Merialuesuunnitelman energiantuotantoalueiden avulla pystyn tarkastelemaan sitä, miten kansainvälisiin määräyksiin perustuvat kaavoitukset ottavat muuttolinnuston huomioon. Toisaalta kyseinen aineisto mahdollistaa myös sen, että voin tarkastella tuulivoimatuotannon sijoittumista laajemmin kuin vain vuoden 2025 tammikuun hankelistan pohjalta. Koska kaikki merituulivoimahankkeet ovat vasta prosessin alussa, antaa merialuesuunnitelma raameja, minne kaikkialle merituulivoimaa voitaisiin mahdollisesti tulevaisuudessa perustaa. Merialuesuunnitelmaa ja hankelista yhdessä tarkastelemalla pystyn myös tutkimaan sitä, miten hankkeiden sijoittelu ottaa huomioon merialuesuunnitelmaa.

## 3.3 Menetelmät

Analysoin tutkielmassani 21 lintulajin päämuuttoreittien päällekkäisyyttä merituulivoimahankkeiden sekä merialuesuunnitelman energiantuotantoalueiden kanssa erilaisin spatiaalisin päällekkäisanalyysin. Kaikki käyttämäni aineistot olivat vektorimuotoisia, jolloin niiden käsittely yhdessä erilaisin menetelmin paikkatieto-ohjelmistossa oli mahdollista ongelmitta ilman merkittäviä esikäsittelyjä. Rajasin Suomen uusiutuvat ry:n tuulivoimahankkeiden aineistosta merialueilla sijaitsevat hankkeet. Tein rajaustyön myös merialuesuunnitelmalle saadakseni käsittelyyn ainoastaan energiantuotantoalueet. BirdLifen päämuuttoreittiaineistoa

puolestaan käytin kokonaisuudessaan sellaisenaan enkä rajannut mitään lajeja tässä vaiheessa pois tarkastelusta.

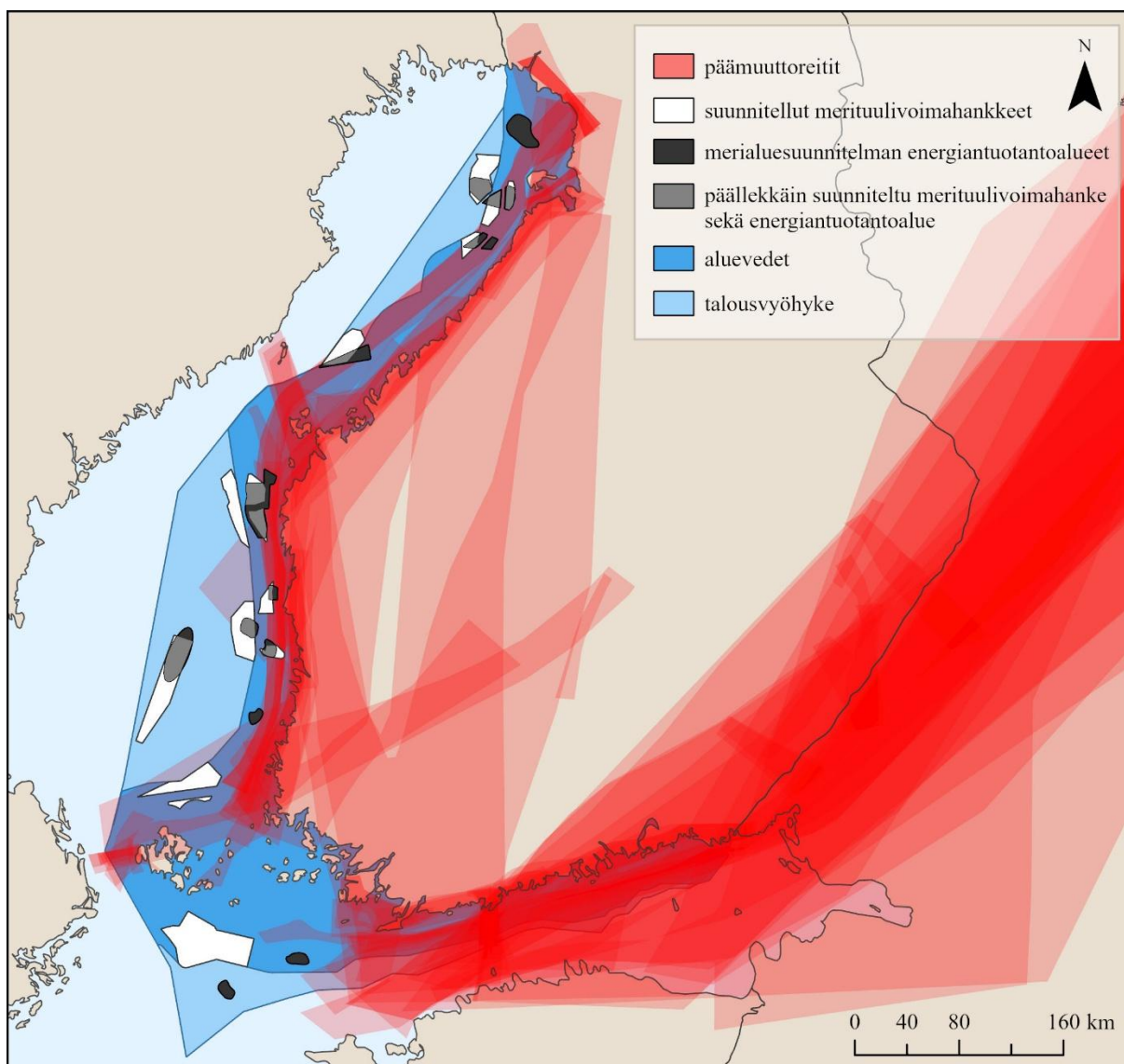
Tärkeimpänä menetelmänäni oli kyseisten aineistojen visualisointi ja tarkastelu päällekkäin sekä niiden pohjalta johtopäätösten tekeminen aikaisempiin tutkimuksiin verraten. Päällekkäisiä tarkasteluja edelsi kuitenkin muun muassa spatiaalisia leikkausanalyysejä ArcGis Pron Intersect-työkalun avulla. Näin sain esimerkiksi tiedon siitä, mitkä kaikki voimalat tai energiantuotantoalueet ristesivät tietyn lajin päämuuttoreitin kanssa. Toisaalta sain myös tiedon voimalakohtaisesti päällekkäisten muuttoreittien määrästä. Laskin myös merituulivoimahankkeiden keskipisteiden etäisyydet mantereen rantaviivasta selvittääkseni, miten hankkeen sijainti vaikuttaa päällekkäisten lintulajien määrään.

Näillä eri spatiaalisilla analyyseilla sain tietoa, jota pystyin jatkojalostamaan esimerkiksi taulukoihin sekä kuvaajiin. Laskin lintulaji- ja hankekohtaisesti päällekkäisyyksien määrät ja johdin näistä erilaisia tunnuslukuja ja suhteellisia osuuksia. Hyödynsin tietoa suunniteltujen merituulivoimaloiden sijainnista suhteessa päällekkäisten muuttoreittien määrään, ja pyrin selvittämään voimaloiden sijainnin vaikutusta muuttolintujen riskeihin. Kaikki käyttämäni menetelmät perustuvat siis erilaisiin spatiaalisiin paikkatietomenetelmiin sekä niistä saadun tiedon soveltamiseen aikaisempiin tutkimuksiin ja raportteihin.

## 4 Tulokset

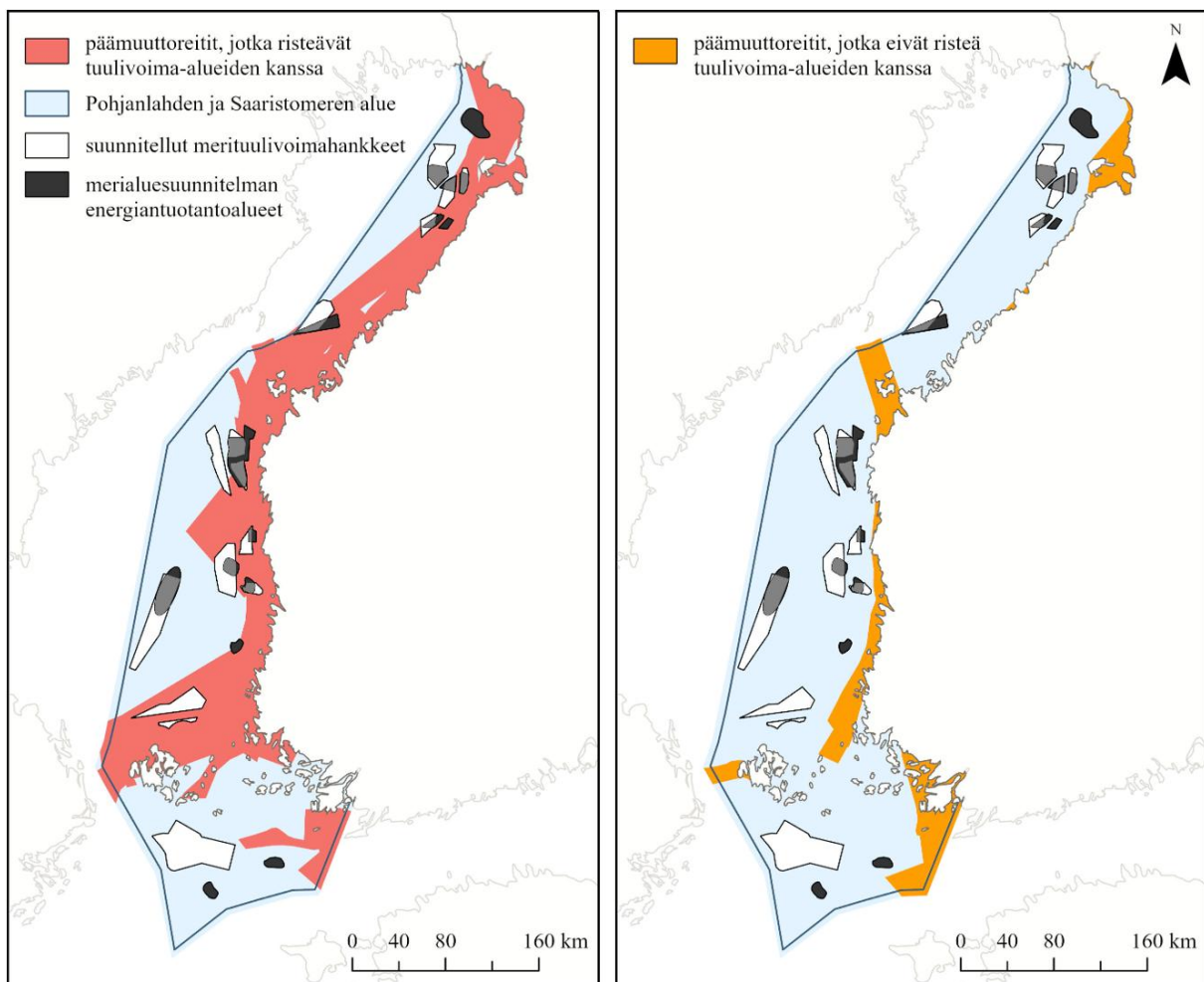
### 4.1 Pohjanlahden päämuuttoreitit

Suomen alueella muuttavien lintujen päämuuttoreitit painottuvat rannikoille ja harvat lajit muuttavat Suomen keskiosien kautta (kuva 2). Rannikoiden painotus näkyy erityisesti Suomenlahden korostumisena. Itäisen Suomen päämuuttoreitit ovat huomattavasti läntisen Suomen päämuuttoreittejä leveämpiä, joka erottuu erityisesti yksittäisiä lajeja tarkastellessa (liite 1 & 3). Länsirannikon muuttoreitit painottuvat selkeämmin juuri rantaviivan tuntumaan ja ovat yksittäistarkastelussa kapeampia (kuva 2). Harva muuttoreiteistä ulottuu siis talousvyöhykkeen puolelle.



Kuva 2. Kaikkien tarkasteltujen lintulajien päämuuttoreitit suhteessa suunniteltuihin merituulivoimahankeisiin sekä merialuesuunnitelman energiantuotantoalueisiin. (Tuulivoimahankelista 2025; Päämuuttoreittien aluerajaukset 2023; Countries – Admin 0 2022; Merialuesuunnitelma 2020; Hallinnolliset aluejaot 2011; Aluevesien rajat 2010)

Tammikuussa 2025 esitetyt merituulivoimahankkeet sekä vuoden 2030 merialuesuunnitelman energiantuotantoalueet noudattelevat pitkälti samanlaisia alueita (kuva 3). Kaikki hankkeet ja energiantuotantoalueet sijoittuvat Pohjanlahden ja Saaristomeren alueelle. Taustalla on Suomenlahden maanpuolustukselliset syyt, eikä alueelle voida suunnitella merituulivoimaa lainkaan (Rannikon maakuntaliitot 2020). BirdLifen kuvaamista 21 muuttoreitistä 18 käyttää Pohjanlahden ja Saaristomeren aluetta muuttoreitillään (kuva 3). Vain kolme lajia, alli, valkuposkihanhi ja tundrahanhi, eivät käytä kyseistä aluetta muuttoreitillään ja ovat näin täysin turvassa merituulivoiman potentiaalisilta tulevaisuuden esteiltä.

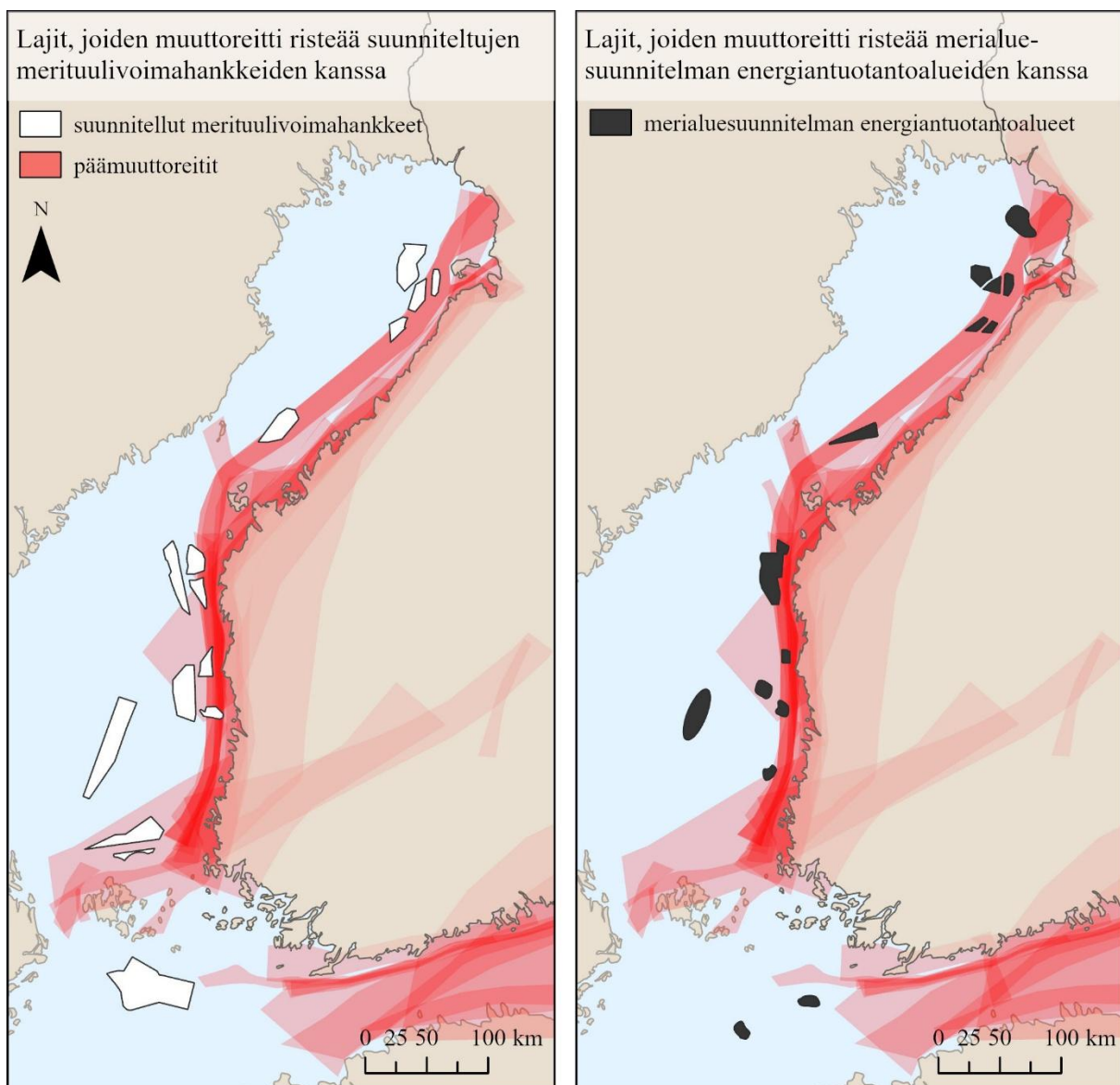


Kuva 3. Päämuuttoreitit lajeille, joiden reitti ristei tuulivoimahankealueen tai energiantuotantoalueen kanssa, sekä lajeille, jotka käyttivät muuttoreitillään Pohjanlahden ja Saaristomeren merialuetta risteämättä tuulivoima-alueiden kanssa (Tuulivoimahankealista 2025; Päämuuttoreittien aluerajaukset 2023; Countries – Admin 0 2022; Merialuesuunnitelma 2020).

Kaikkien Pohjanlahtea tai Saaristomerta käyttävien lajien muuttoreitit eivät kuitenkaan risteä nykyisten suunniteltujen tuulivoimahankeiden kanssa (kuva 3). Osan päämuuttoreitit kulkevat kuitenkin erittäin läheltä suunniteltuja hankkeita. Tällaisia lajeja ovat muun muassa sepelkyyhky, varis ja naakka (liite 4).

## 4.2 Päälekkäisyyden kannalta riskialttiimmat lajit

Pohjanlahden ja Saaristomeren alueella muuttua aineiston 21 lajista yhteensä 18 lajia (kuva 3). Kuitenkin vain kahdeksalla muuttoreitti kulki yhden tai useamman merituulivoimahankkeen hankealueen kohdalta (kuva 4). Sen sijaan merialuesuunnitelman energiantuotantoalueiden kanssa ristesi yhdeksän lajin päämuuttoreitit. Koska suunnitellut merituulivoimahankkeet ja energiantuotantoalueet sijaitsevat pitkälti samoilla alueilla, ovat niiden kanssa päällekkäiset lintulajitkin yhteneviä. Osaan hankkeista tai energiantuotantoalueista ei osu yhtään päämuuttoreittiä, mutta erityisesti rannikon läheisyydessä päällekkäisyyksiä on paljon. Vain kolmella hankealueella ja energiantuotantoalueella ei ole yhtään päällekkäistä muuttoreittiä.



Kuva 4. Tuulivoimahankkeiden sekä merialuesuunnitelman energiantuotantoalueiden kanssa päällekkäiset muuttoreitit toisistaan eriteltynä (Tuulivoimahankelista 2025; Päämuuttoreittien aluerajaukset 2023; Countries – Admin 0 2022; Merialuesuunnitelma 2020).

Kaikista tarkastelluista lintulajeista kahdeksan lajia eli 38 % kulki yhden tai useamman tuulivoimahankealueen yli (taulukko 1). Kun tarkastellaan näitä kahdeksaa lajia, päämuuttoreitille osui keskimäärin 4,8 hankealuetta. Puolestaan, kun tarkasteluun otetaan mukaan myös lajit, joiden muuttoreitille ei osunut yhtään hanketta, oli ristenneiden hankkeiden keskimääräinen lukumäärä 1,8. Keskimääräinen, aineistoni kattava lintulaji, kohtaisi siis muuttoreitillään 1,8 suunniteltua merituulivoimahanketta.

Taulukko 1. Eri linturyhmien päämuuttoreittien risteäminen merituulivoimahankkeiden kanssa (Tuulivoimahankelista 2025; Päämuuttoreittien aluerajaukset 2023).

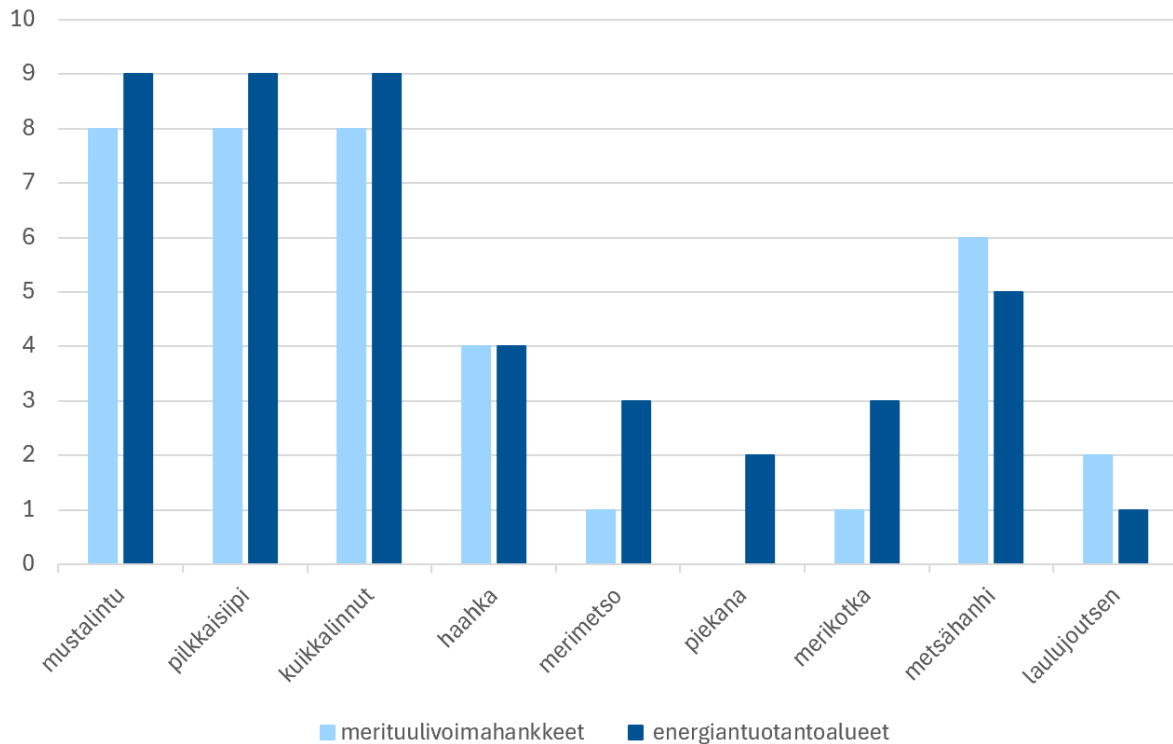
	Lajit yhteensä	Lajit, joiden muuttoreitti risteää merituulivoimahankkeen kanssa	Risteävien lajien osuus (%)	Keskimääräinen risteävien merituulivoimahankkeiden lukumäärä	
				kaikille ryhmän lajeille	hankkeisiin risteäville lajeille
Vesilinnut	6	5	83	4,8	5,8
Petolinnut	6	1	17	0,2	1
Hanhät ja joutsenet	5	2	40	1,6	4
Kaikki	21	8	38	1,8	4,8

Tuulivoimahankkeiden kanssa päällekkäisiä muuttoreittejä oli vesilinnulla, petolinnuilla, hanhilla ja joutsenilla (taulukko 1). Aineiston kuudesta vesilinnusta viiden päämuuttoreitti ristesii tuulivoimahankkeen kanssa. Vesilinnuista 83 % kulki siis vähintään yhden hankealueen läpi. Puolestaan aineiston kuudesta petolinnusta vain yksi (17 %) ristesii hankealueen kanssa. Hanhien ja joutsenien ryhmästä kaksi viidestä (40 %) kulki hankealueen läpi. Vesilintujen osuus hankealueisiin ristenneistä lajeista on siis huomattava.

Sen lisäksi, että vesilinnuista merkittävin osa kulki hankealueiden kautta, oli niiden reitille osuvien hankkeiden määrä myös suurin. Keskimääräisen vesilinnun, jonka muuttoreitti kulki vähintään yhden hankealueen kautta, osui reitillään 5,8 hankkeeseen (taulukko 1). Sama arvo oli petolinnuilla 1 ja hanhilla ja joutsenilla 4. Vesilinnut olivat siis tarkastelemistani lajeista riskialttiimpia risteäville hankealueille sekä niiden runsaalle määrälle.

Myös yksittäisiä lajeja tarkastellessa vesilintujen rooli korostuu päällekkäisiä hankealueita ja energiantuotantoalueita tarkastellessa (Kuva 5). Kolmella lajilla, jotka kuuluvat kaikki vesilintuihin, oli muuttoreitillään selkeästi enemmän päällekkäisiä tuulivoimahankkeita sekä energiantuotantoalueita verrattuna muihin tarkasteltuihin lajeihin. Mustalinnulla, pilkkasiivellä ja kuikkalinnuilla osui kaikilla päämuuttoreitilleen kahdeksan hankealuetta ja yhdeksän

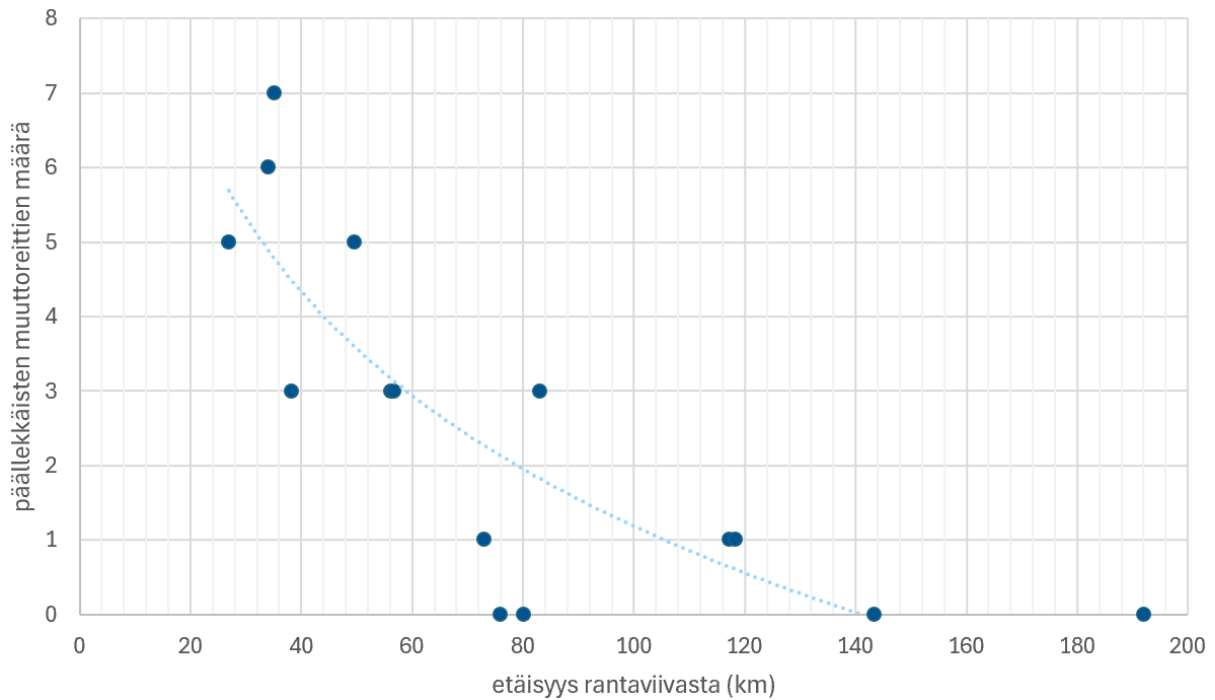
energiantuotantoaluetta. Vähiten risteäviä hankealueita oli puolestaan merikotkalla ja merimetsolla, joiden reitille osui vain yksi hankealue. Lähes kaikilla tarkastelluilla lajeilla oli keskimäärin enemmän energiantuotantoalueita kuin suunniteltuja hankealueita muuttoreitillään.



Kuva 5. Lintujen päämuuttoreiteille osuvien merituulivoimahankkeiden ja merialuesuunnitelman energiantuotantoalueiden määrä lajeittain (Tuulivoimahankelista 2025; Päämuuttoreittien aluerajaukset 2023; Merialuesuunnitelma 2020).

### 4.3 Rannikon etäisyyden vaikutus päällekkäisyyteen

Suomen alueella muuttavien lintulajien päämuuttoreitit keskittyvät läntisessä Suomessa selkeästi mantereen rantaviivan tuntumaan (kuva 2). Visuaalisen tarkastelun lisäksi tämä näkyy myös siinä, miten hankkeen etäisyys rantaviivasta korreloi negatiivisesti risteävien päämuuttoreittien määrän kanssa (kuva 6). Mitä kauempana rantaviivasta hanke sijaitsee, sitä vähemmän päällekkäisiä muuttoreittejä hankkeella keskimäärin on. Etäisyys rantaviivasta ei kuitenkaan yksin selitä törmäyksien määrää, vaan kovin muuttopaine vaihtelee myös pohjois-eteläsuunnassa – Selkämeren rannikolla muuttoa tapahtuu enemmän kuin Perämerellä.



Kuva 6. Merituulivoimahankkeiden etäisyys rantaviivasta ja sen suhde päällekkäisten päämuuttoreittien määrään (Tuulivoimahankelista 2025; Päämuuttoreittien aluerajaukset 2023).

Sen lisäksi, että hankkeiden ja muuttoreittien päällekkäisyys riippuu rantaviivan absoluuttisesta etäisyydestä, näkyy ero myös siinä, sijaitseeko tuulivoimahanke aluevesillä vai talousvyöhykkeellä (taulukko 2). Aluevesillä sijaitsevat hankkeet sekä energiantuotantoalueet risteävät keskimäärin lähes neljän päämuuttoreitin kanssa. Energiantuotantoalueilla muuttoreittejä oli keskimäärin 3,9 ja tuulivoimahankkeilla 3,7. Puolestaan talousvyöhykkeellä sijaitsevien kohdalle osuu alle yhden lajin muuttoreitti. Talousvyöhykkeellä merkittävään osaan hankkeista tai energiantuotantoalueista ei osu yhtään päämuuttoreittejä. Etäisyyden vaikutuksen lisäksi tarkastelu kuvastaa sitä, miten aluevesillä energiantuotantoalueilla on keskimäärin hieman enemmän päällekkäisyyttä verrattuna tuulivoimahankkeisiin.

Taulukko 2. Merituulivoimahankkeiden sekä merialuesuunnitelman energiantuotantoalueiden jakauma aluevesien ja talousvyöhykkeen välillä (Tuulivoimahankelista 2025; Päämuuttoreittien aluerajaukset 2023; Merialuesuunnitelma 2020; Hallinnolliset aluejaot 2011; Aluevesien rajat 2010).

Aineisto	Alueen sijainti	Alueiden määrä (kpl)	Keskiarvo risteävistä muuttoreiteistä
Suunnitellut merituulivoimahankkeet	aluevedet	9	3,7
	talousvyöhyke	5	0,8
Merialuesuunnitelman energiantuotantoalueet	aluevedet	11	3,9
	talousvyöhyke	4	0,3

## 5 Keskustelu

### 5.1 Suomen merituulivoiman riskit muuttolinnustolle

#### 5.1.1 Hankealueiden sijoittuminen suhteessa päämuuttoreitteihin

Vaikka merituulivoiman vaikutuksia muuttolinnuille on tutkittu kansainvälisesti hyvin paljon, on tutkimustieto Suomen merialueilta rajallista. Saatavilla oleva tieto perustuu lähinnä valtion laatimiin suunnitelmiin ja selvitysraportteihin. Koska Suomessa on toiminnassa vasta yksi merituulivoimapuisto, perustuu merituulivoiman tarkastelu vielä ainoastaan suunniteltuihin hankkeisiin. Suunniteltujen hankkeiden sijainnit antavat kuitenkin viitteitä siitä, millaisille alueille merituulivoimaa saatettaisiin tulevaisuudessa rakentaa ja miten suunnitteluprosessissa huomioidaan lintujen muuttoreittejä. Näiden sijaintitietojen yhdistäminen lintujen päämuuttoreitteihin mahdollistaa potentiaalisten linnustovaikutusten arviointia.

BirdLifen esittämistä 21 lajin päämuuttoreitistä kahdeksalla muuttoreitti kulki yhden tai useamman hankealueen kautta (taulukko 1). BirdLife kuvaa muuttoreittiaineistonsa olevan sovellettavissa myös muihin alueella muuttaviin lajeihin, joita aineisto ei varsinaisesti sellaisenaan käsittele (Toivanen ym. 2014). Tämän pohjalta on perusteltua esittää, että kaikista Suomen läpi muuttavista lajeista keskimäärin 38 % kulkisi vähintään yhden suunnitellun hankealueen kautta ja olisi näin altis merituulivoiman haitoille.

Kaikki suunnitellut merituulivoimalat sijaitsevat Pohjanlahdella (kuva 3). Suomenlahdelle ei toistaiseksi suunnitella merituulivoimaa puolustusvoimien toiminnan ja aluevalvonnan vuoksi (Rannikon maakuntaliitot 2020). Tämä tarkoittaa sitä, että kaikki Suomenlahteen painottuvat muuttoreitit ovat suojassa merituulivoiman vaikutuksilta. Useimmat lajit käyttivät Suomenlahtea vähintään toisena muuttokautena, kevät- tai syysmuuttona. Kuitenkin tarkastelluista lajeista vain kolme, alli, valkuposkihanhi ja tundrahanhi, muuttivat yksinomaan Suomenlahden kautta (liite 1 & 3). Näin ollen suurimmalla osalla lajeista on siis riski päällekkäisyydelle merituulivoiman kanssa. Vaikka 18 lintulajia käyttää tätä Pohjanlahden ja Saaristomeren merialuetta muuttoreitillään, niistä vain kahdeksan (44 %) reitti kulkee suunnitellun hankealueen yli. Tämä saattaa viitata siihen, että hankkeiden sijaintien suunnittelussa on pyritty huomioimaan merkittävimmät muuttokeskittymät. Toisaalta päällekkäisyyksien määrä voi olla myös sattumanvarainen ja perustua muihin tekijöihin, kuten kulttuurisiin arvoihin rannikon tuntumassa.

Valtaosa Suomen tuulivoimahankkeista sijoittuu aluevesille eli lähelle rannikkoa (taulukko 2). Myös lintujen muuttoreitit keskittyvät rannikon tuntumaan (kuva 2). Tämä lisää reittien ja hankkeiden päällekkäisyyden todennäköisyyttä sekä linnustovaikutusten mahdollisuutta (kuva 6). Merituulivoiman sijoittaminen aluevesille talousvyöhykkeen sijaan perustuu ennen kaikkea taloudellisiin ja teknisiin syihin (Vihavainen ym. 2024). Mitä kauempana rannasta tuulivoimala sijaitsee, sitä suuremmat ovat rakentamisen ja sähkönsiirron kustannukset (Lynn 2012). Myös itse rakennusprosessi talousvyöhykkeellä on vierasta suhteessa aluevesiin (Vihavainen ym. 2024).

### 5.1.2 Energiantuotantoalueiden sijoittuminen suhteessa päämuuttoreitteihin

Merialuesuunnitelman energiantuotantoalueiden aluerajaukset perustuivat lukuisien muiden luontoarvojen ohella lintujen päämuuttoreitteihin (Vihavainen ym. 2024). Tarkastelluista 21 lajista yhdeksän päämuuttoreitti (43 %) kulki vähintään yhden energiantuotantoalueen kautta (kuva 4). Useat muuttoreitit kuitenkin kulkivat alueiden läheisyydessä varsinaisesti ylittämättä niitä. Erityisesti Saaristomeren eteläisimmät energiantuotantoalueet olivat lähellä useiden lajien muuttoreittiä, mutta yksikään kuvattu päämuuttoreitti ei kulkenut suoraan niiden ylitse. Tällaisia lajeja oli esimerkiksi haahka, alli, merikotka, ja sepelkyyhky (liite 1, 2 & 4). Merialuesuunnitelman laatimisessa on vaikuttanut 154 eri aineistolähdettä (Vihavainen ym. 2024). On siis mahdotonta yksiselitteisesti todeta, onko risteämien määrä seurausta muuttoreittiaineiston huomioimisesta vai jostakin muusta aineistosta. Suurin osa sivuavista muuttoreiteistä on rantaviivan tuntumassa ja esimerkiksi merkittävä osa kulttuurisista arvoista sijaitsee juuri samoilla alueilla.

Merialuesuunnitelman energiantuotantoalueet sijoittuvat pääosin samoille alueille kuin suunnitellut merituulivoimahankkeet (kuva 2). Koska merialuesuunnitelma on laadittu kaavoituksen tueksi, on johdonmukaista, että hankkeet sijaitsevat energiantuotantoalueiden yhteydessä. Alueiden päällekkäisyyden vuoksi risteävien lajien määrä on molemmissa hyvin samansuuntainen. Kuitenkin useimmilla lajeilla oli keskimäärin muuttoreitillään enemmän risteäviä energiantuotantoalueita kuin varsinaisia hankealueita (kuva 5). Tällaisia lajeja olivat kuikkalinnut, merikotka, merimetso, mustalintu, pilkkasiipi sekä piekana. Ainoastaan metsähanhella ja laulujoutsenella oli reitillään enemmän hankealueita kuin energiantuotantoalueita. Tätä tulosta voisi pitää jossain määrin ristiriitaisena suhteessa merialuesuunnitelmassa korostettuihin luontoarvoihin.

### 5.1.3 Merituulivoiman haitoille riskialttiimmat lajit

Tutkimukseni tulokset osoittavat, että 21 käsitellystä lintulajista kahdeksan muuttoreitti kulki vähintään yhden suunnitellun merituulivoiman hankealueen läpi (taulukko 1). Nämä tulokset eivät kuitenkaan kerro lajien alttiutta törmäyksille tai muulle häiritsevyydelle. Vaikka lajin muuttoreitti kulkisikin tulevaisuudessa useiden merituulivoimapuistojen läpi, ei se välttämättä johda merkittäviin häiriöihin lajien käyttäytymisessä tai lisääntyneeseen lintukuolleisuuteen. Osa lajeista välttää voimalat hyvin, kun toiset taas saattavat jopa hakeutua niiden läheisyyteen (Vanermen ym. 2015). Lajien riskialttius määräytyy siis ensisijaisesti lajikohtaisten ominaisuuksien perusteella.

Tuulivoimahankkeiden kanssa risteävistä kahdeksasta lintulajista viisi kuului vesilintuihin (taulukko 1). Kuitenkin kaikki vesilinnut, jotka käyttivät Pohjanlahtea tai Saaristomerta muuttoreitillään, kulkivat hankealueiden kautta. Ainoa vesilintu, jolla ei ollut risteäviä hankealueita oli alli, joka käyttää ainoastaan Suomenlahden aluetta muuttoreitillään (liite 1). Vesilinnut lentävät keskimäärin enemmän avomerillä kuin muut lajit, mikä selittää suurempaa päällekkäisyyttä merituulivoimahankkeiden kanssa. Vesilintujen on kuitenkin arvioitu havaitsevan esteet kuten tuulivoimalat etäältä hyvissä ajoin (Koistinen 2004). Kuikkalinnut väistävät keskimäärin tuulivoimapuistot hyvin, vaikka voimaloita sijaitsisi niiden muuttoreitillä (Dierschke ym. 2016). Puolestaan merimetso, pilkkasiipi ja mustalintu välttävät voimaloita vain heikosti tai jopa hakeutuvat voimaloiden läheisyyteen. Mustalinnulla ja pilkkasiivellä oli kaikista tarkastelemistani lajeista eniten päällekkäisiä hankealueita reiteillään (kuva 5). Tämän vuoksi mustalinnun ja pilkkasiiven voi arvioida olevan hyvin alttiita törmäyskuolleisuudelle. Mustalinnun kohdalla tuulivoimaloiden on myös arvioitu aiheuttavan elinympäristön menetyksiä (Furness ym. 2013). Lisäksi vesilinnuista haahka on luokiteltu erittäin uhanalaiseksi (Hyvärinen ym. 2019). Tällöin pienetkin häiriötekijät niin muuttoreitillä kuin elinympäristössä voivat vaarantaa sen elinvoimaisuuden.

Tutkimukseni kuudesta petolinnusta vain merikotkan muuttoreitille osui yksi hankealue (taulukko 1). Kuitenkin piekanan muuttoreitti ristesii kahden potentiaalisen energiantuotantoalueen kanssa (kuva 5). Muiden neljän petolinnun muuttoreitit painottuivat selkeästi enemmän Suomenlahdelle (liite 2). Petolinnut ovat kuitenkin usein keskimääräistä alttiimpia tuulivoiman vaikutuksille niiden lentotyylinsä vuoksi (Gove ym. 2013). Merikotkan on arvioitu olevan erityisen altis törmäyskuolleisuudelle (Furness ym. 2013). Tarkastelemistani kuudesta petolinnusta kolme on luokiteltu erittäin uhanalaiseksi ja yksi vaarantuneeksi (Hyvärinen ym.

2019). Petolintujen uhanalaisuuden sekä heikon väistämiskyvyn vuoksi on merkittävää sekä myönteistä, ettei suurimmalla osalla näistä lajeista ollut päällekkäisyyksiä tuulivoimahankkeiden kanssa. Tilanne olisi huomattavasti uhkaavampi, jos hankkeet olisivat sijoittuneet juuri petolintujen päämuuttoreiteille.

Hanhien ja joutsenien ryhmään kuuluvista viidestä lajista kahdella oli risteäviä hankealueita muuttoreitillään (taulukko 1). Hanhien ja joutsenien on arvioitu olevan riskialttiita törmäyksille (Suorsa 2019). Lajien lentotapa on liukuva, jolloin esteiden nopeassa väistämisessä on haasteita (Linnustovaikutusten arviointi... 2016). Hanhet ja joutsenet lentävät keskimäärin pitkiä matkoja, jolloin reitille osuu todennäköisemmin myös useampia voimaloita (Gove ym. 2013).

Myös aineiston ulkopuolelle jääneistä lajeista voi johtaa tuloksia. BirdLifen aineiston kattamista 21 lintulajista kaikki olivat suurikokoisia sekä runsaslukuisia tai suojelullisesti merkittäviä lajeja (Toivanen ym. 2014). Tämä tarkoittaa, että erityisesti pienemät lajit jäävät kokonaan aineiston ulkopuolelle. Suurikokoisten lintujen on arvioitu väistävän voimat pieninä lintuja keskimäärin paremmin (Fox & Petersen 2019). Näistä syistä arvioisin pienien lintulajien olevan suuressa riskissä myös Suomeen suunniteltujen merituulivoimaloiden haitoille. Tiedonpuute yhdessä heikon väistämiskyvyn kanssa on erityisen vahingollista. Hüppopin tutkimusryhmä (2015) havaitsi, että suurin osa Pohjanmerellä ja Itämerellä tuulivoimaloihin törmänneistä lajeista oli ollut rastaita. Pienten varpuslintujen arvioidaan havaitsevan esteet vasta aivan voimalan lähellä, mikä lisää niiden törmäysriskiä (Koistinen 2004). Pienemmistä linnuista ja niiden käyttäytymisestä voimaloiden yhteydessä on vielä hyvin vähän tietoa, mikä estää niiden tehokkaan huomioimisen tuulivoimarakentamisessa (Fox & Petersen 2019).

## **5.2 Aineistojen epävarmuustekijät ja jatkotutkimustarve**

Tutkimukseni aineistoihin liittyy epävarmuustekijöitä, jotka vaikuttavat merkittäväällä tavalla tuloksieni luotettavuuteen ja sovellettavuuteen. BirdLifen päämuuttoreittien aluerajausaineisto on tuotettu lintuharrastajien näköhavaintojen pohjalta (Toivanen ym. 2014). Aineiston keruu ei ole siis ollut systemaattista, mikä altistaa virheille ja alueellisille painotuksille. Havaintojen määrät ja luotettavuus vaihtelevat merkittävästi riippuen harrastajien määrästä sekä havaintopisteiden saavutettavuudesta. Näköhavaintoihin perustuvassa aineistossa yöaikaan muuttavista lajeista saatu tieto on erityisen puutteellista. Suomessa muuttaa yhteensä 180 lintulajia, joista tutkimuksessani tarkastellaan vain 21 lajia (Lehtiniemi & Toivanen 2023). Vaikka lajien on katsottu edustavan laajasti eri muuttotyyppisiä, otos jää silti suppeaksi (Toivanen ym. 2014).

Tutkimukseni kannalta keskeinen epävarmuustekijä liittyy merialueiden heikkoon saavutettavuuteen ja sen seurauksena puutteellisiin tietoihin muuttoreiteistä Suomen merialueella. Erityisesti saariston ulkopuolisilta alueilta ja talousvyöhykkeeltä ei ole saatavilla tarkkaa tietoa muuttoreittien sijainneista (Vihavainen ym. 2024). Tutkimukseni tulokset osoittavat, että päällekkäisten hankealueiden ja muuttoreittien määrä vähenee merkittävästi, kun siirrytään aluevesiltä talousvyöhykkeelle (taulukko 2). Tulosta voi katsoa vääristävän tiedon puute talousvyöhykkeeltä. Toisaalta Lehtiniemi ja Toivanen kuitenkin kuvaavat BirdLifen raportissaan (2023), että suurin muuttopaine on selkeästi nimenomaan rantaviivan tuntumassa. Talousvyöhykkeelle sijoittuneilla hankkeilla on siis vähemmän päällekkäisiä muuttoreittejä, mutta tutkimukseni tulos on mitä todennäköisimmin ylikorostunut.

On myös syytä muistaa, että BirdLifen päämuuttoreittiaineisto kuvaa selkeärajaisiin polygonein taivaalla kulkevia reittejä, jotka voivat vaihdella sääolosuhteiden ja muiden ympäristötekijöiden mukaan jatkuvasti. Esimerkiksi ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutospaineet luovat epävakaa pohjaa tuloksien sovellettavuudelle tulevaisuudessa. Aineistoon, ja sitä kautta myös tutkimukseni tuloksiin, on suhtauduttava siis suuntaa antavasti. Moni laji sivusi hyvin läheltä hankkeita tai energiantuotantoalueita, mutta niitä ei huomioitu, sillä niillä ei ollut suoranaista päällekkäisyyttä päällekkäisanalyysissa. Esimerkiksi merikotka, jonka reitille osui yksi hankealue, lentää länsirannikkoa pitkin sivuten lähes viittä muuta hanketta (liite 2). Myös muuttoreittien alku- ja loppupisteisiin on syytä suhtautua kriittisesti.

Tutkimuksessani tarkastelin merituulivoiman vaikutuksia muuttolintuihin perustuen tammikuun 2025 suunniteltuihin tuulivoimahankkeisiin. Nämä hankkeet ovat kuitenkin vasta hyvin varhaisessa suunnittelun vaiheessa, eikä niiden toteutumisesta ole varmuutta. Puoli vuotta aiemmin, kesäkuussa 2024, julkaistussa listassa hankkeita vielä 32 (Tuulivoimahankkeet Suomessa 2024). Tammikuussa hankkeita oli enää 24 (Tuulivoimahankkeet Suomessa 2025). Muutos kuvaa tuulivoima-aineistoni epävarmuutta. Lisäksi käytössäni oli näistä 24 hankkeesta vain 14, joiden sijaintitiedon sain käyttööni. Osa puuttuvista hankkeista sijoittui samoille alueille kuin mukana olleet hankkeet, mikä viittaa siihen, että tarkasteluun päätyneet alueet kuvaisivat kuitenkin melko kattavasti tämänhetkistä tuulivoimasuunnitelmaa.

Hankealueet tarjoavat kuitenkin arvokasta tietoa siitä, millaisille alueille merituulivoimaa suunnitellaan ja millaiset tekijät näitä aluevalintoja ohjaavat. Tästä syystä otin tarkasteluun mukaan myös merialuesuunnitelman energiantuotantoalueet. Suunnitellut hankkeet yhdessä energiantuotantoalueiden kanssa kuvaavat kattavasti sitä, millä tavoin muuttolintujen reittejä

otetaan huomioon merituulivoiman sijoittelussa. BirdLifen päämuuttoreittiaineisto on ainut viranomaisten hyödyntämä aineisto lintujen muuttoreiteistä tuulivoimahankkeiden suunnittelussa (BirdLife Suomi s.a.). Näin ollen muuttoreittiaineiston epävarmuudet eivät suoraan heikennä johtopäätöksiäni siitä, millä tavoin energiantuotantoalueet tai hankkeet muuttoreittejä huomioivat.

Tieto muuttolintujen reiteistä merialueilla on edelleen puutteellista niin kansallisella kuin kansainväliselläkin tasolla. Jatkotutkimustarve on erityisen suuri pienillä linnuilla (Fox & Petersen 2019). Lisäksi tiedot eri lajien käyttäytymisestä tuulivoimaloiden läheisyydessä ovat monin paikoin vielä vajavaisia. Mikäli eri lajien ominaisuuksista suhteessa tuulivoimaloiden ympäristötekijöihin saataisiin tarkempia tietoja, olisi reittien päällekkäisyyksien tarkastelu mielekkäämpää. Pelkkä muuttoreitin sijainti voimaloiden läheisyydessä ei yksin kerro lajin haavoittuvuudesta. Suomen kontekstissa näen erityisen tärkeänä jatkotutkimuskohteena muuttoreittien tarkentamisen talousvyöhykkeellä.

Tekemääni tutkimusta olisi mahdollista jatkojalostaa esimerkiksi laskemalla hankkeiden sekä muuttoreittiaineistojen päällekkäisyyksien suhteelliset osuudet. Käsittelin tutkimuksessani yhtä merkittävänä hankkeina sellaisia, jotka vain sivusivat muuttoreittiä, ja sellaisia, jotka olivat kokonaisuudessaan muuttoreitin keskellä. Toisaalta myös luomalla muuttoreittien ympärille puskurialueet, voitaisiin saada tarkemmin kuvaa myös siitä, mitkä lajit kulkevat läheltä voimaloita ja ovat epäsuotuisissa ympäristöolosuhteissa alttiita päätyä voimalan alueelle. Tätä tärkeämpänä jatkotutkimuskohteena pidän kuitenkin ehdottomasti lintujen muuttoreittien tarkentamista merialueilta.

### **5.3 Johtopäätökset**

Tammikuussa 2025 Suomeen suunnitelluista tuulivoimahankkeista kolmea lukuun ottamatta kaikki sijoittuivat vähintään yhden tarkastellun lintulajin päämuuttoreitille (kuva 4). Päällekkäisyys koski vain kahdeksaa 21 tarkastellusta lajista (taulukko 1). Suurin osa hankkeista sijoittuu aluevesille, kuten myös valtaosa muuttolintujen päämuuttoreiteistä (kuva 2). Tämä selittää päällekkäisyyksien alueellista vaihtelua. Keskimäärin 38 % Suomeen lentävistä lintulajeista osuisi näihin suunniteltuihin hankealueisiin (taulukko 1).

Merialuesuunnitelma 2030 ja siinä osoitetut energiantuotantoalueet on laadittu kaavoituksen tueksi hyödyntäen myös luonto- ja lintutietoa (Vihavainen ym. 2024). Kolmea aluetta lukuun ottamatta kaikilla energiantuotantoalueilla on päällekkäisyyttä päämuuttoreittien kanssa

(kuva 4). Tarkasteltaessa yksittäisiä muuttoreittejä havaitaan kuitenkin useita tilanteita, joissa muuttolinnut lentävät hyvin läheltä energiantuotantoalueita niiden kanssa kuitenkaan varsinaisesti risteämättä. Tämä voi viitata siihen, että muuttolintujen reittejä olisi pyrittävä huomioimaan suunnittelussa.

Päällekkäisyyttä hankealueiden sekä energiantuotantoalueiden kanssa havaittiin vesilinnuilla, petolinnuilla, hanhilla ja joutsenilla. Vesilintujen osalta tilanne on huolestuttava, sillä niiden muuttoreitit kulkevat voimakkaasti merialueiden kautta. Tarkastelluista vesilintulajeista 83 % risteää hankealueiden kanssa, ja ne kohtaavat keskimäärin enemmän hankealueita reitillään kuin muut tarkastellut lajit (taulukko 1). Osa vesilinnuista myös suoraan hakeutuu voimaloiden läheisyyteen esimerkiksi runsaan kalakannan vuoksi (Dierschke ym. 2016). Petolintujen muuttoreitit ristesivät harvemmin hankealueiden kanssa (taulukko 1), mutta niiden törmäysherkyys ja uhanalaisuus korostavat niiden huomioimisen tärkeyttä (Furness ym. 2013). Hanhilla ja joutsenilla on samanlaista taipumusta liitelevään lentotapaan ja näin myös törmäyksiin, mutta yhtä merkittävä osa lajeista ei ole uhanalaisuusluokituksessa.

Arvioisin, että käsittelemistäni lajeista merkittävimmin merituulivoiman uhka koskee Suomessa mustalintua, pilkkasiipeä ja merikotkaa. Mustalintu ja pilkkasiipi lentävät Pohjanlahden yllä aina Saaristomereltä Perämerelle asti (liite 1). Molemmilla on kahdeksan hankealuetta muuttoreitillään, joka oli suurin havaittu päällekkäisten hankealueiden määrä. Lajien on myös arvioitu hakeutuvan voimaloiden läheisyyteen ja kärsivän elinympäristöjensä menetyksestä (Dierschke ym. 2016). Merikotkan reitille osuu vain yksi hankealue, mutta muuttoreitti kulkee rannikkoa pitkin sivuten viittä muuta hankealuetta (liite 2). Näiden sivuavien hankealueiden ohella merikotkan uhanalaisuus sekä hyvin riskialtis lentotapa korostavat merikotkan haavoittuvuutta (Gove ym. 2013).

Tutkimukseni hyödyntämät aineistot perustuvat kaikki suuntaa antaviin arvioihin, mikä lisää tulosten epävarmuutta. Epävarmuustekijöistä huolimatta, Suomeen on runsaasti suunnitteilla merituulivoimaa, erityisesti aluevesille rannikon tuntumaan (Tuulivoimahankkeet Suomessa 2025). Suomeen muuttavien lintujen päämuuttoreitit painottuvat samaisille alueille, jolloin päällekkäisyyksiä esiintyy (Lehtiniemi & Toivanen 2023). Se, miten eri lintulajit lopulta mukautuvat ihmisen muokkaamaan maisemaan on vielä epävarmaa, mikä korostaa jatkotutkimuksen tarvetta.

## Lähteet

- Alerstam, T. (2011) Optimal bird migration revisited. *Journal of Ornithology* 152 5–23.  
<https://doi.org/10.1007/s10336-011-0694-1>
- Alueidenkäyttölaki 1999/132
- Aluevesien rajat (2010) Maamittauslaitos, Paikkatietohakemiston WFS-rajapinta  
<https://julkinen.traficom.fi/inspirepalvelu/avoin/wfs?request=getcapabilities>
- Attanayake, K., Wickramage, I., Samarasinghe, U., Ranmini, Y., Ehalapitiya, S., Jayathilaka, R. & Yapa, Y. (2024) Renewable energy as a solution to climate change: Insights from a comprehensive study across nations. *Plos One* 19(6)  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299807>
- BirdLife Suomi (s.a.) Lintujen päämuuttoreitit Suomessa  
<https://www.birdlife.fi/suojelu/alueet/paamuuttoreitit/> Luettu 4.2.2025
- Countries – Admin 0 (2022) Natural Earth  
<https://www.naturalearthdata.com/downloads/10m-cultural-vectors/10m-admin-0-countries/>
- Degraer, S., Carey, D., Coolen, J., Hutchison, Z., Kerckhof, F., Rumes, B. & Vanaverbeke, J. (2020) Offshore Wind Farm Artificial Reefs Affect Ecosystem Structure and Functioning: a synthesis. *Oceanography* 33(4) 48–57.  
<https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.405>
- Desholm, M., Fox, A. D., Beasley, P. D. L. & Kahlert J. (2006) Remote techniques for counting and estimating the number of bird–wind turbine collisions at sea: a review. *Ibis* 148 76–86. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00509.x>
- Dierschke, V., Furness, R. & Garthe, S. (2016) Seabirds and offshore wind farms in European waters: Avoidance and attraction. *Biological Conservation* 202 59–68.  
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.08.016>
- Drewitt, A. & Langston, R. (2006) Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis* 148 29–42. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00516.x>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/56/EY, annettu 17 päivänä kesäkuuta 2008, yhteisön meriympäristöpolitiikan puitteista
- Fox, A. & Petersen, I. (2019) Offshore wind farms and their effects on birds. *Dansk Ornitologisk Forenings Tidsskrift* 113 86–101.

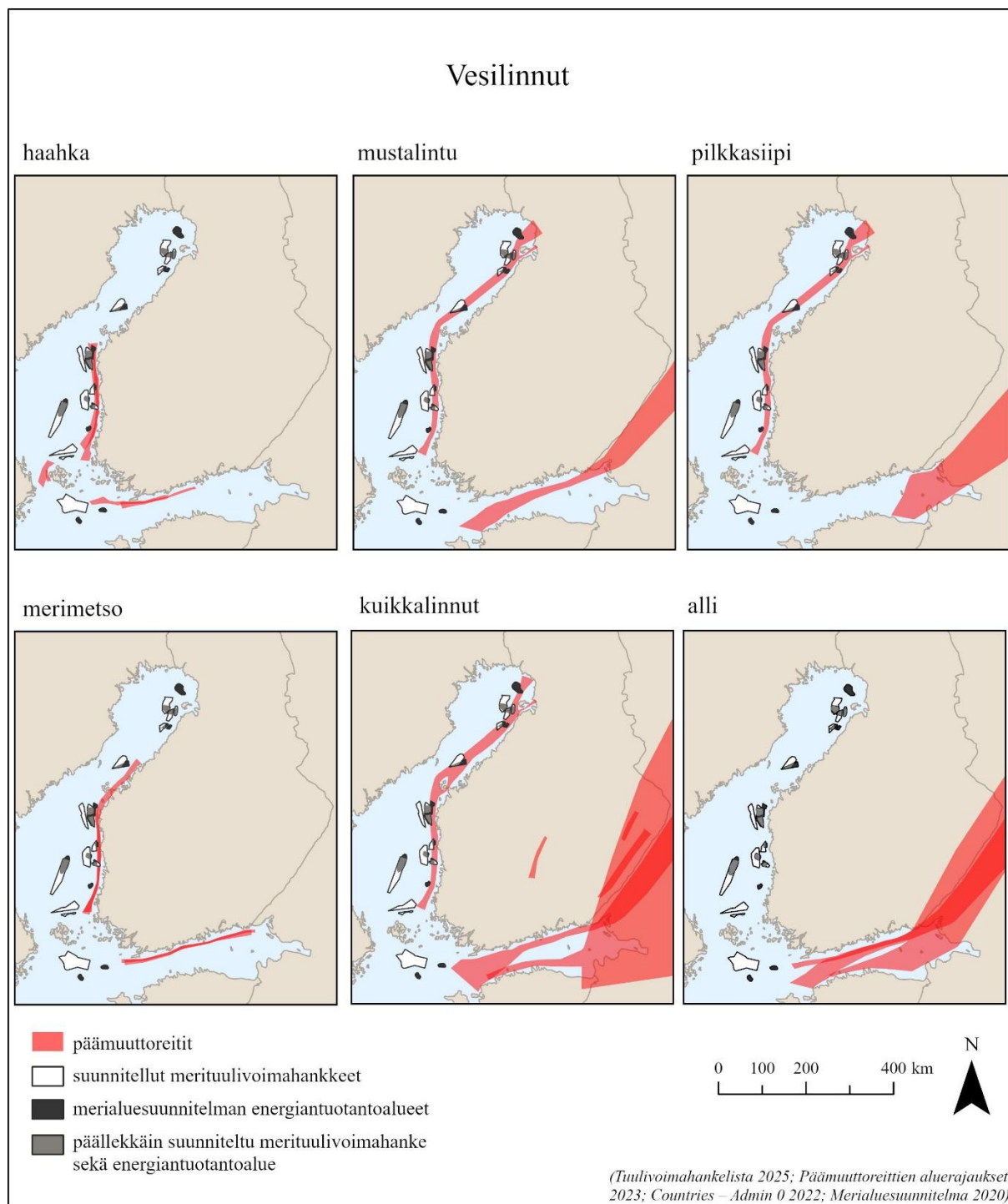
- Furness, R., Wade, H. & Masden, E. (2013) Assessing vulnerability of marine bird populations to offshore wind farms. *Journal of Environmental Management* 119 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.025>
- Gove, B., Langston, R.H.W., McCluskie, A., Pullan, J.D. & Scrase, I. (2013) Wind farms and birds: an updated analysis of the effects of wind farms on birds, and best practice guidance on integrated planning and impact assessment. *Bern Convention Bureau Meeting*. BirdLife international, Strasburg 26.8.2013
- Hallinnolliset aluejaot (2011) Maanmittauslaitos, Paikkatietohakemiston latauspalvelu [https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/tiedostopalvelu/hallinnolliset\\_aluejao\\_t\\_vektori](https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/tiedostopalvelu/hallinnolliset_aluejao_t_vektori)
- Hüppop, O., Dierschke, J., Exo, K., Fredrich, E. & Hill, R. (2006) Bird migration studies and potential collision risk with offshore wind turbines. *Ibis* 148 90–109. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00536.x>
- Hyvärinen, E., Juslén, A., Kempainen, E., Uddström, A. & Liukko, U.-M. (toim.) (2019) *Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019*. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Kalliola, I., Hario, M., Lehikoinen, A., Pyhälä, M., Pynnönen-Oudman, K. & Toiviainen, K. (2006) *Suomen muuttolinnut*. WSOY, Helsinki.
- Knudsen, E., Lindén, A., Both, C., Jonzén, N., Pulido, F., Saino, N., Sutherland, W., Bach, L., Coppack, T., Ergon, T., Gienapp, P., Gill, J., Gordo, O., Hedenström, A., Lehikoinen, E., Marra, P., Møller, A., Nilsson, A., Péron, G., Ranta, E., Rubolini, D., Sparks, T., Spina, F., Studds, C., Sæther, S., Tryjanowski, P. & Stenseth, N. (2011) Challenging claims in the study of migratory birds and climate change. *Biological Reviews* 86(4) 928–946. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00179.x>
- Koistinen, J. (2004) Tuulivoimaloiden linnustovaikutukset. *Suomen ympäristö 721*, ympäristöministeriö, alueidenkäytön osasto, Helsinki.
- Kumar, S., Kler, T., Skehon, G. & Sahni, T. (2024) Impacts on avian migratory patterns due to climate change and hormonal disruption: a review. *Mitigation and Adaption Strategies for Global Change* 29 69 <https://doi.org/10.1007/s11027-024-10163-z>
- Lehtiniemi, T. & Toivanen, T. (2023) *Lintujen päämuuttoreitit Suomessa – päivitys 2023*, BirdLife Suomi.
- Linnustovaikutusten arviointi tuulivoimarakentamisessa (2016), *Suomen ympäristö* 6:2016, Ympäristöministeriö, Helsinki.
- Lynn, P. (2012) *Onshore and offshore wind energy: an introduction*, 1. p. Wiley

- Merialuesuunnitelma 2030 (2020) Maanmittauslaitos, Paikkatietohakemiston WFS-rajapinta  
<https://kymenlaakso-geoserver.gispocoding.fi/geoserver/merialuesuunnitelma/wfs?request=GetCapabilities&service=WFS>
- Nurmio, K. & Pakarinen, H. (2024) Tuulivoimapotentiaali Suomessa, *Suomen ympäristökeskuksen raportteja* 10/2024, Suomen ympäristökeskus.
- Pearce-Higgins, J., Stephen, L., Douse, A., Lagston, R. (2012) Greater impacts of wind farms on bird populations during construction than subsequent operation: results of a multi-site and multi-species analysis. *Journal of applied ecology*. 49 386–394  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02110.x>
- Piggott, A., Vulcano, A. & Mitchell, D (2021) Impact of offshore wind development on seabirds in the North Sea and Baltic Sea: Identification of data sources and at-risk species. *BirdLife international summary report*
- Päämuuttoreittien aluerajaukset (2023) BirdLife Suomi.  
<https://www.birdlife.fi/suojelu/alueet/paamuuttoreitit/>
- Rannikon maakuntaliitot (2020) Suomen merialuesuunnitelma 2030 merkintäkorttikirjasto; merialuesuunnittelun vyöhykkeet ja merkinnät.
- Suomen YK-liitto (s.a.) Edullista ja puhdasta energiaa. *Kestävän kehityksen tavoitteet*  
<https://www.ykliitto.fi/edullista-ja-puhdasta-energiaa> Luettu 4.4.2025
- Suorsa, V. (2019) Linnustovaikutusten seuranta suomalaisissa tuulivoimapuistoissa, *Linnut - vuosikirja 2018* 148-155.
- Toivanen, T., Metsänen, T. & Lehtiniemi, T. (2014) Lintujen päämuuttoreitit Suomessa, *BirdLife Suomi*.
- Tuulivoimahankelista (2025) Suomen uusiutuvat ry
- Tuulivoimahankkeet Suomessa (2024), Suomen uusiutuvat ry, Sweco
- Tuulivoimahankkeet Suomessa (2025), Suomen uusiutuvat, Ramboll
- Tuulivoimarakentamisen edistäminen, Keinoja sujuvaan hankekehitykseen ja eri tavoitteiden yhteensovitukseen, (2021) *Valtionneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja* 2021:51, Valtionneuvoston kanslia, Helsinki.
- Työ- ja elinkeinoministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, liikenne- ja viestintöministeriö, puolustusministeriö, ulkoministeriö, valtionvarainministeriö & ympäristöministeriö (2024) *Merituulivoiman edistämisen toimenpidesuunnitelma*, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2024:31, Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-543-0>

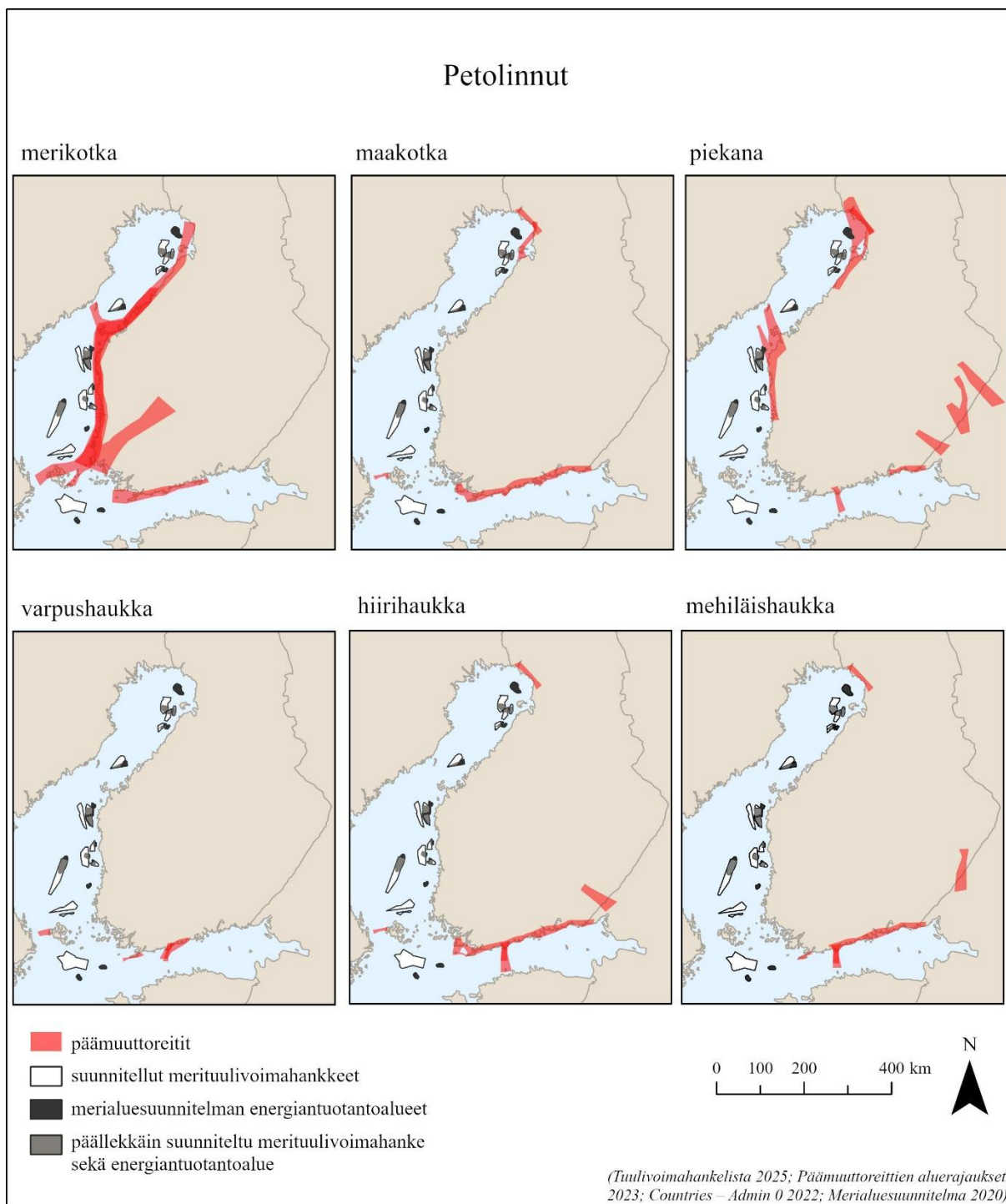
- Van Doren, B (2022) How migratory birds might have tracked past climate change. *PNAS*. 113(3) <https://doi.org/10.1073/pnas.2121738119>
- Vanermen, N., Onkelinx, T., Courtens, W., Van de walle, M., Verstraete, H. & Stienen, E. (2015) Seabird avoidance and attraction at an offshore wind farm in the Belgian part of the North Sea. *Hydrobiologia* 756 51–61. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2088-x>
- Vardanis, Y., Klaassen, R., Strandberg, R. & Alerstam, T. (2011) Individuality in bird migration: routes and timing. *Biology Letters* 7 502–505. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2010.1180>
- Vihavainen, P., Saari, P., Länsisalo, E., Tkachenko E., Jaatinen, K., Väisänen, A., Lantta E., Lehtoranta, I., Irrmann, L., Huhtanen, S., Semkin, N., Peltoniemi, M., Bonn, T., Nurminen-Piirainen, M. & Pihlajasaari, M. (2024) Merituulivoiman edistäminen, *Valtionneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja* 2024:4.

## Liitteet

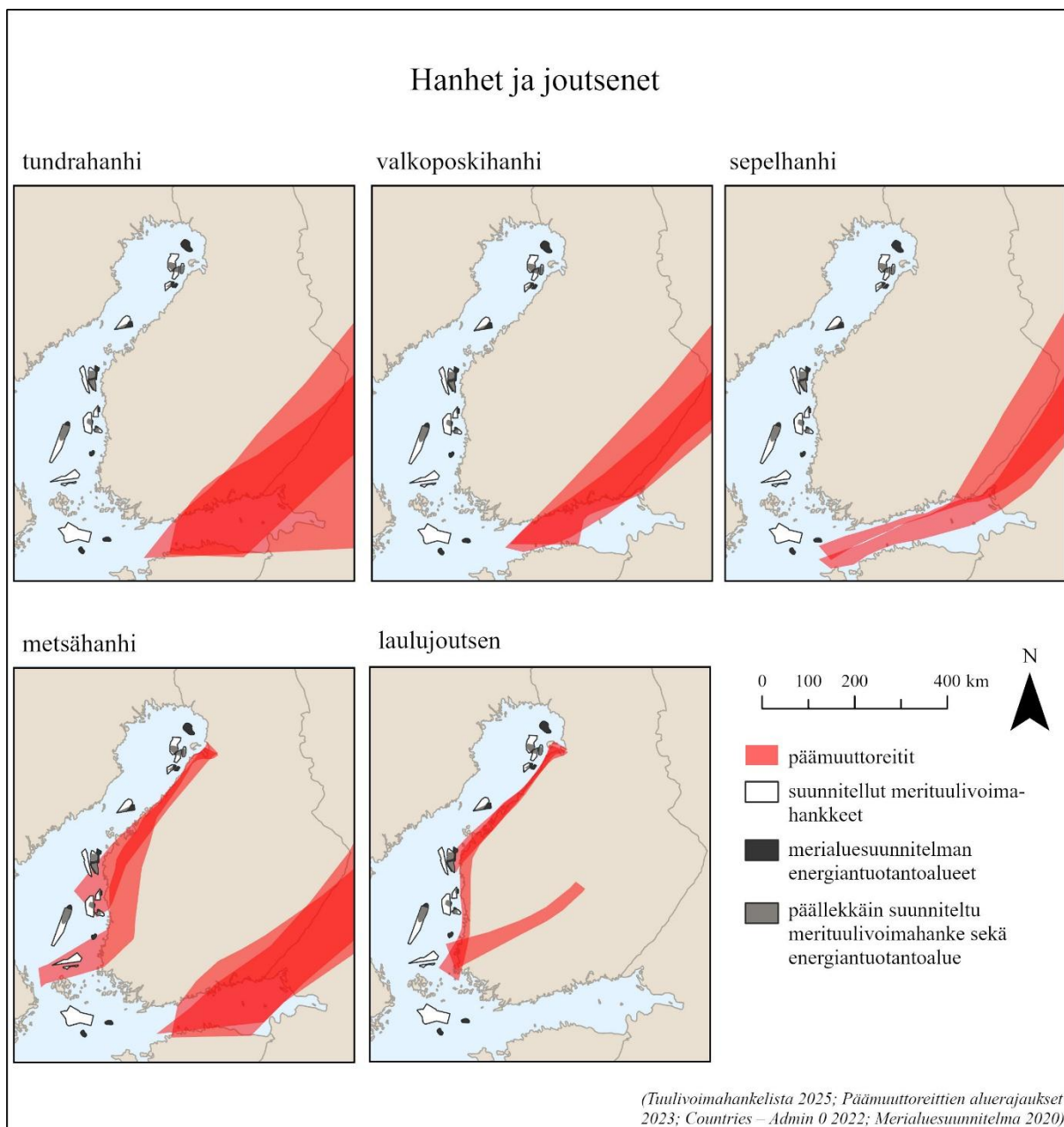
### Liite 1. Vesilintujen päämuuttoreitit



## Liite 2. Petolintujen päämuuttoreitit



### Liite 3. Hanhien ja joutsenien päämuuttoreitit



## Liite 4. Kurjen, sepelkyyhky, naakka ja varis päämuuttoreitit

