



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 86/2025

Synteesiraportti: Merituulivoiman ympäristövaikutusten ennakointi ja seuranta Pohjanlahdella

Linnut, merihylkeet, kalat ja kalastus

**Antti Lappalainen, Camilla Ekblad, Inari Helle, Mervi Kunnasranta,
Heidi Pokki ja Mats Westerborn**

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 86/2025

Synteesiraportti: Merituulivoiman ympäristövaikutusten ennakointi ja seuranta Pohjanlahdella

Linnut, merihylkeet, kalat ja kalastus

**Antti Lappalainen, Camilla Ekblad, Inari Helle, Mervi Kunnasranta,
Heidi Pokki ja Mats Westerbom**

Viittausohje:

Lappalainen, A., Ekblad, C., Helle, I., Kunnasranta, M., Pokki, H. & Westerborn, M. 2025.
Synteesiraportti: Merituulivoiman ympäristövaikutusten ennakointi ja seuranta Pohjanlahdella :
Linnut, merihylkeet, kalat ja kalastus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 86/2025.
Luonnonvarakeskus. Helsinki. 83 s.

Antti Lappalainen ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-9644-3791>



ISBN 978-952-419-132-6 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-132-6>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Antti Lappalainen, Camilla Ekblad, Inari Helle, Mervi Kunnasranta,
Heidi Pokki ja Mats Westerborn

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2025

Julkaisu vuosi: 2025

Kannen kuva: Jesse De Meulenare on Unsplash

Synteesiraportti: Merituulivoiman ympäristövaikutusten ennakointi ja seuranta Pohjanlahdella : Linnut, merihylkeet, kalat ja kalastus

Antti Lappalainen, Camilla Ekblad, Inari Helle, Mervi Kunnasranta, Heidi Pokki ja Mats Westerbom

Tämän raportin ydinviestit:

Pohjanlahdella mahdolliset merkittävät lintuihin, merihylkeisiin, kaloihin tai troolikalastukseen kohdistuvat ympäristövaikutukset olisivat useiden hankkeiden yhteisvaikutuksia, joita voi syntyä, jos tuulivoimaa alueelle laajamittaisesti rakennetaan.

Pohjanlahdelle soveltuvaa tietoa merituulivoiman vaikutusmekanismeista ja alueen luontoarvoista on tarjolla hyvin vähän, mikä osaltaan heikentää YVA-menettelyiden laatua ja vaikeuttaa yhteisvaikutusten ennakointia. Tiedon puute antaa tilaa mahdollisille aiheettomille uhkakuville.

Lintujen ja kalojen osalta riskit tuulivoiman haitallisille vaikutuksille olisivat käytettävissä olevien tietojen perusteella selvästi vähäisemmät talousvyöhykkeellä kuin aluevesillä. Silakan troolauksen kohdalla tilanne on päinvastainen.

Ympäristövaikutusten paremman huomioinnin edistämiseksi esitämme kolme suositusta:

- 1) Suomen ja Ruotsin välistä yhteistyötä merituulivoimalle varattavien alueiden sijoittelun suunnittelussa Pohjanlahdelle tulee lisätä
- 2) Puuttuvaa tietoa tulee pikaisesti hankkia Pohjanlahden alueelta ennen laajamittaisten rakennustöiden alkamista. Raportissa on tunnistettu viisi Luken toimialaan liittyvää tärkeää tutkimusaihetta:
 - Magneetikenttien vaikutukset lohen liikkeisiin – Tahkoluoto
 - Ulkomatalikoiden merkitys syyskutuisen silakan ja muikun kutualueina
 - Silakan troolikalastuksen tulevaisuuden muutokset ja merituulivoima
 - Merituulivoiman riskit linnuille Pohjanlahden avomerialueella.
 - Merituulivoima ja norpan elinolosuhteet Perämerellä
- 3) Tuulivoimarakentamiseen liittyvien tarkkailujen ja seurantojen suunnittelu on aloitettava hyvissä ajoin. Tarkkailuissa ja seurannoissa tulee kiinnittää erityistä huomiota yhteisvaikutuksiin. Tämä edellyttää laajaa ja hyvin suunniteltua yhteistoimintaa, jossa tarvittaessa tukeudutaan myös tutkimuslaitosten seurantoihin.

Tiivistelmä

Antti Lappalainen, Camilla Ekblad, Inari Helle, Mervi Kunnasranta, Heidi Pokki ja Mats Westerborn

Luonnonvarakeskus, Helsinki

Suomen kansallisen ilmasto- ja energiastrategian (TEM 2022) tavoitteena on, että vuoteen 2035 mennessä Suomessa olisi toiminnassa useita teollisen kokoluokan merituulivoima-alueita. Merituulivoimaa suunnitellaan toistaiseksi vain Pohjanlahdelle. Myös Ruotsin merialueelle Pohjanlahdelle on suunnitteilla runsaasti merituulivoimaa. Merituulivoimaan liittyy ympäristöriskejä, joita tässä synteisiraportissa käsitellään ainoastaan Luonnonvarakeskuksen (Luke) toimialan (linnut, merihylkeet, kalat ja kalastus) osalta. Raportin ensimmäiseen osaan on koottu kirjallisuuteen perustuva katsaus merituulivoiman ympäristövaikutuksista ja tarkastellaan merituulivoiman mahdollisia vaikutuksia Pohjanlahdella. Jälkimmäisessä osassa esitetään arvioita siitä, miten Luken toimialaan liittyvät riskit on onnistuttu ottamaan huomioon Pohjanlahden alueella tuulivoimarakentamisen suunnittelun nykyisissä prosesseissa ja miten niitä tulisi kehittää. Lisäksi esitetään suuntaviivoja merituulivoimaan liittyvien tarkkailujen suunnitteluun.

Merituulivoimalan rakentamistyöt aiheuttavat erityisesti veden samentumista sekä vedenalaista melua. Vaikutukset ovat luonteeltaan tilapäisiä ja paikallisia ja ilmenevät pääosin avomerialueella, joten Pohjanlahdella riskit merkittävälle vaikutuksille jäävät pieniksi. Mahdollisesta paalutuksesta syntyy kuitenkin melua, joka voi vaikuttaa kalojen ja merinisäkkäiden käyttäytymiseen jopa kymmenien kilometrien päähän. Haittoja voidaan vähentää teknisillä keinoilla ja paalutuksen ”vähittäisellä” aloittamisella sekä välttämällä paalutusta kriittisinä ajankohtina esimerkiksi itämerennorpan pesimäalueilla. Rakentaminen muuttaa pohjan alkuperäistä elinympäristöä pysyvästi. On mahdollista, että Pohjanlahden ulkomerialueen matalikoilla olisi merkitystä syyskutuisen silakan tai muikun kutualueina, jolloin matalikoille kohdistuva ison mittakaavan rakentaminen voisi lähinnä yhteisvaikutuksena aiheuttaa näille kalakannoille pidempiaikaista haittaa.

Tuotantovaiheessa olevien tuulivoima-alueiden haittavaikutukset linnustolle jaetaan kolmeen osaan: 1) estevaikutus, 2) suora habitaatinmenetys ja 3) törmäyskuolleisuus, jota yleensä pidetään merkittävimpänä riskinä, vaikka luotettavaa tietoa törmäyskuolleisuudesta merellä on hyvin vähän. Pohjanlahden avomerellä tapahtuvaan lintujen muuttoon liittyvät tiedot ovat myös puutteellisia. Linnustoon kohdistuvat merkittävät ja mahdollisesti populaatiotasolla näkyvät vaikutukset voisivat olla seurausta yhteisvaikutuksista, mikäli Pohjanlahdelle tulevaisuudessa rakennetaan runsaasti merituulivoimaa. Tuulivoiman vaikutukset tulisi myös suhteuttaa muiden paineiden vaikutuksiin. Nykyisen tiedon perusteella riskilajeja voisivat olla esimerkiksi selkälokki ja ruokki, alueen läpi muuttavat metsähanhet tai törmäyksille hyvin alttiit merikotkat. Tehokkain tapa minimoida haittoja olisi tuulivoimaloiden sijoittaminen linnuston kannalta tärkeiden alueiden ulkopuolelle. Myös turbiinien valaistuksen suunnittelulla ja lapojen maa-laamisella tai voimaloiden tilapäisellä pysäyttämällä voisi olla mahdollista vähentää törmäyskuolleisuuden riskiä, mutta menetelmistä tarvittaisiin lisää tutkimustietoa.

Merituulivoima voi pitkällä aikavälillä vaikuttaa kaloihin ja merinisäkkäisiin mahdollisten ravintoverkon muutosten kautta, mutta näistä välillisistä vaikutuksista on toistaiseksi tehty vain vähän tutkimusta. Tuulivoiman käyttövaiheessa syntyvä vedenalainen melu on luonteeltaan

jatkuvampaa mutta vähäisempää kuin rakentamiseen liittyvä melu. Merellä on myös muita melulähteitä, joten riski tuulivoiman melusta aiheutuville merkittävillä haitallisille vaikutuksille lienee vähäinen. Sähkön siirtokaapeleista ja tuulivoima-alueen sisäisistä kaapeleista aiheutuu magneettikenttiä ja on arveltu, että laajamittaisen tuulivoimatuotannon magneettikenttien yhteisvaikutukset voivat haitata vaelluskalojen suunnistusta, mutta selkeä näyttö vaikutuksista puuttuu edelleen. Pohjanlahdella ainakin lohet liikkuvat avomerellä paljolti veden pintakerroksissa, missä kaapeleiden magneettikentät ovat enää hyvin heikkoja. On myös esitetty, että tuulivoiman rakenteet voisivat toimia riuttoina ja vaikuttaa positiivisesti paikalliseen kalastoon. Tämä ns. riuttavaikutus jäänee Pohjanlahdella kalaston osalta mitättömäksi. Itämeren norppa on pesinnässään riippuvainen jäädästä. Arvioiden mukaan jäätä on tulevaisuudessa säännöllisesti enää Perämeren pohjoisosassa. Jos alueelle rakennetaan Suomen ja Ruotsin puolelle runsaasti tuulivoimaa, sillä voisi pahimmillaan olla merkittävä haitallinen vaikutus koko Itämeren norppapopulaatioon.

Ainakin lintujen ja kalojen osalta riskit tuulivoiman haitallisille vaikutuksille olisivat selvästi vähäisemmät talousvyöhykkeellä kuin aluevesillä. Suomen ja Ruotsin talousvyöhykkeille painotuvan silakan troolauksen kohdalla tilanne on päinvastainen. Silakan troolikalastus Selkämerellä käytännössä estyisi tuulivoima-alueilla. Toisaalta tuulivoimaa ei ainakaan nykyisin suunnitella keskeisille troolausalueille.

Suomella ja Ruotsilla on samankaltaiset menettelyt merialueiden osoittamisessa tuulivoimakäyttöön, mutta yhteinen selkeä suunnittelumekanismi puuttuu. Nykyinen tietopohjakin on liian heikko tuulivoima-alueiden yhteisvaikutusten ennakoimiseksi. Merituulivoimahankkeiden YVA-menettelyissä on Luken toimialaan liittyen havaittu selkeitä puutteita. Merkittävä syy heikkouksiin on tässäkin se, että aiheeseen liittyvä tietopohja on hyvin vähäinen. Tuloksista ja havainnoista voidaan johtaa kolme suositusta:

- 1) Suomen ja Ruotsin välistä yhteistyötä merituulivoimalle varattavien alueiden sijoittelun suunnittelussa Pohjanlahdelle tulee lisätä
- 2) Puuttuvaa tietoa tulisi pikaisesti hankkia Pohjanlahden alueelta ennen laajamittaisten rakennustöiden alkamista ja raportissa on tunnistettu viisi Luken toimialaan liittyvää tärkeää tutkimusaihetta, jotka on tarkemmin kuvattu raportin sivuilla 58–59.
- 3) Tuulivoimarakentamiseen liittyvien tarkkailujen ja seurantojen suunnittelu on aloitettava hyvissä ajoin. Ensimmäisten toteutuneiden alueiden tarkkailusta on mahdollista saada tietoa, joka olisi hyödynnettävissä tulevien hankkeiden suunnittelussa. Jos rakentaminen Pohjanlahdella käynnistyy laajassa mitassa, tarkkailuissa ja seurannoissa tulee kiinnittää erityistä huomiota yhteisvaikutuksiin. Tämä edellyttäisi laajaa ja hyvin suunniteltua yhteistoimintaa, jossa tarvittaessa tukeudutaan myös tutkimuslaitosten seurantoihin.

Asiasanat: merituulivoima, vedenlainen melu, paalutus, magneettikenttä, habitaatin menetys, törmäysriski, YVA-menettely, tarkkailut

Abstract

Antti Lappalainen, Camilla Ekblad, Inari Helle, Mervi Kunnasranta, Heidi Pokki and Mats Westerborn

Natural Resources Institute Finland, Helsinki

The goal of Finland's National Climate and Energy Strategy (Ministry of Economic Affairs and Employment, 2022) is to have several industrial-scale offshore wind power areas in operation by 2035. Currently, offshore wind power is only being planned for the Gulf of Bothnia. Sweden also has extensive plans for offshore wind power in its maritime areas of the Gulf of Bothnia.

This synthesis report addresses the environmental risks of offshore wind power only within the scope of the Natural Resources Institute Finland (Luke), focusing on birds, marine mammals, fish, and fisheries. The first part of the report provides a literature-based review of the environmental impacts of offshore wind power and examines potential effects in the Gulf of Bothnia. The second part assesses how well risks related to Luke's responsibility areas have been considered in current planning processes for wind power development in the Gulf of Bothnia. We also suggest some improvements in these processes and finally outline guidelines for designing monitoring programs related to offshore wind power.

The construction stage of offshore wind power causes water turbidity and increased underwater noise. These impacts are temporary and localized, mostly occurring in open sea areas, so the risks of significant effects in the Gulf of Bothnia are considered low. However, pile driving can produce noise that affects fish and marine mammal behaviour over tens of kilometres. These impacts can be mitigated through technical measures, gradual initiation of pile driving, and avoiding critical periods, such as the breeding season of the Baltic ringed seal. Construction also permanently alters the original seabed habitat. It is possible that shallow offshore areas in the Gulf of Bothnia serve as spawning grounds for autumn-spawning herring or vendace, and large-scale construction could cause long-term harm to these fish stocks, especially through cumulative effects.

In the operational phase, the adverse effects of wind power areas on birdlife are divided into three categories: 1) barrier effects, 2) direct habitat loss, 3) collision mortality — generally considered the most significant risk, although reliable data on offshore collision mortality is scarce.

Information on bird migration over the open Gulf of Bothnia is also limited. Significant and potentially population-level impacts on birdlife could result from cumulative effects if extensive offshore wind power is built in the future. Wind power impacts should also be assessed in relation to other pressures. Based on current knowledge, species at risk may include the lesser black-backed gull, razorbill, migrating bean geese, and white-tailed eagles, which are highly susceptible to collisions. The most effective way to minimize harm is to locate wind turbines outside areas important to birdlife. Additionally, designing turbine lighting, painting blades, or temporarily shutting down turbines could reduce collision risks, but more research is needed on these methods.

Over the long term, offshore wind power may affect fish and marine mammals through potential changes in the food web, but there is very little literature on these effects. Underwater noise during operation is more continuous but less intense than construction noise. Since there are other sources of noise at sea, the risk of significant harmful effects from wind power noise is likely low. Transmission cables and internal cables within wind power areas generate magnetic fields, and it has been suggested that the cumulative effects of magnetic fields from large-scale wind power could interfere with the navigation of migratory fish, although clear evidence is still lacking. In the Gulf of Bothnia, salmon tend to move in surface layers where cable-generated magnetic fields are very weak. It has also been proposed that wind power structures could act as artificial reefs and positively affect local fish populations, but the "reef effect" is likely negligible in the Gulf of Bothnia.

Ice is essential for the breeding of the Baltic ringed seal. In the future, ice will regularly occur only in the northern part of the Bay of Bothnia. If extensive wind power is built on both the Finnish and Swedish sides of this area, it could have a significantly harmful impact on the entire Baltic ringed seal population.

For birds and fish, the risks of harmful effects from wind power are clearly lower in the exclusive economic zone than in territorial waters. However, for herring trawling, which is concentrated in the economic zones of Finland and Sweden, the situation is reversed. Herring trawling in the Bothnian Sea would be practically impossible within wind power areas. On the other hand, wind power is currently not planned for key trawling areas.

Finland and Sweden have similar procedures for designating marine areas for wind power use, but a clear joint planning mechanism is missing. The current knowledge base is also too weak to anticipate the cumulative impacts of wind power areas. In the Environmental Impact Assessment (EIA) procedures for offshore wind power projects, clear shortcomings have been identified in relation to Luke's field of expertise. A major reason for these weaknesses is again the very limited knowledge base on the subject. From the results and observations, we propose three recommendations:

- 1) Cooperation between Finland and Sweden in planning the allocation of areas reserved for offshore wind power in the Gulf of Bothnia should be improved.
- 2) Missing data should be urgently collected from the Gulf of Bothnia area before large-scale construction begins. The report identifies five important research topics related to LUKE's field, which are described in detail on pages 58–59 of the report.
- 3) Planning of monitoring and follow-up related to wind power construction should start in time. Monitoring of the first implemented areas can provide information that would be useful for planning future projects. If large-scale construction begins in the Gulf of Bothnia, special attention should be paid to cumulative impacts in monitoring and follow-up. This would require extensive and well-planned cooperation, relying on research institute monitoring where necessary.

Keywords: offshore wind power, underwater noise, pile driving, magnetic field, habitat loss, collision risk, EIA procedure, monitoring

Sisällys

1. Johdanto	9
2. Merituulivoiman mahdolliset ympäristövaikutukset ja riskit	11
2.1. Rakentamisvaiheen mahdolliset vaikutukset ja riskit.....	11
2.1.1. Rakennustöiden vedenlaatuvaikutukset	12
2.1.2. Rakennusvaiheen vedenalainen melu.....	14
2.1.3. Alkuperäisen pohjahabitaatin menetys.....	20
2.1.4. Rakentamisvaiheeseen liittyvät riskit Pohjanlahdella	20
2.2. Tuotantovaiheen mahdolliset pitkäaikaiset vaikutukset ja riskit.....	27
2.2.1. Lintuihin kohdistuvat vaikutukset.....	29
2.2.2. Vedenalainen melu - kalat ja merinisäkkäät	36
2.2.3. Elektromagneettiset kentät ja vaelluskalat	38
2.2.4. Elinympäristöjen rakenteelliset muutokset – kalat ja merinisäkkäät.....	40
2.2.5. Vaikutukset kalastukseen.....	41
2.2.6. Merituulivoiman tuotantovaiheen riskit Pohjanlahdella.....	42
3. Ympäristövaikutusten huomiointi merituulivoiman sijoittelussa ja YVA- menettelyissä.....	55
3.1. Nykyiset käytännöt ja niiden toimivuus Pohjanlahdella.....	55
3.1.1. Alueiden varaaminen tuulivoimarakentamiselle.....	55
3.1.2. YVA-menettelyt.....	56
4. Kehittämissuositukset	58
4.1. Suomen ja Ruotsin yhteistyön lisääminen Pohjanlahdella.....	58
4.2. Puuttuvan tiedon pikainen täydentäminen.....	58
4.3. Tulevien tarkkailujen ja seurantojen suunnittelun suuntaviivoja	60
4.3.1. Rakentamisvaihe.....	60
4.3.2. Tuotantovaihe	61
Viitteet.....	65

1. Johdanto

EU:n tavoitteena on saavuttaa ilmastoneutraalius vuoteen 2050 mennessä. Tavoitteeseen pääseminen edellyttää merituulivoiman tuotannon laajentamista. EU:n merienergiastrategian (COM 741, 2020) kunnianhimoisen tavoitteen mukaan tuulivoimakapasiteetti EU:n merialueilla olisi 300 GW vuoteen 2050 mennessä. Vielä 2020-luvun alussa kapasiteetti oli noin 12 GW (Van Hoya ym. 2021). Suomen kansallisen ilmasto- ja energiastrategian (TEM 2022) tavoitteena on, että vuoteen 2035 mennessä Suomessa olisi useita teollisen kokoluokan merituulivoima-alueita rakennettuna sekä aluevesille että talousvyöhykkeelle. Suomessa merituulivoimaa suunnitellaan toistaiseksi vain Pohjanlahdelle. Ruotsin pitkän tähtäimen tavoitteena on tuottaa energiaa tuulivoimalla vuodessa 120 TWh, joka olisi noin 85 % maan nykyisestä energiantarpeesta. Ruotsin hallitus hylkäsi syksyllä 2024 kaikki Ahvenanmaan eteläpuolelle Ruotsin itärannikolle suunnitellut merituulivoimahankkeet. Päätös voi lisätä rakentamispainetta Ruotsin merialueelle Pohjanlahdelle, johon on ehdotettu laajaa (yhteensä 6 600 km²) merituulivoiman rakentamista (<https://www.havet.nu/kraftigt-utokad-vindkraft-till-havs-forslas>). Virossa ja Latviassa on kehitteillä isoja merituulivoimahankkeita maiden edustalle. Toistaiseksi pohjoisella Itämerellä on vain yksi käytössä oleva merituulivoima-alue, jossa voimaloiden perustat ovat merenpohjassa. Se on Tahkoluodon edustan merituulivoima-alue, jossa pilottivoimala otettiin käyttöön vuonna 2010 ja 10 uudempaa voimalaa vuonna 2017.

Merituulivoiman mahdolliset riskit tai haitalliset vaikutukset esimerkiksi kaloille, linnuille, merinisäkkäille ja kalastukselle tiedostetaan hyvin yleisellä tasolla. Toisaalta on tuotu esille myös merituulivoiman mahdollisia positiivisia vaikutuksia esimerkiksi kalastolle riittavaikutusten tai kalastuksen paikallisen estymisen seurauksena. Merituulivoimarakentamisen laajamittaiset tavoitteet voivat olla ristiriidassa esimerkiksi EU:n biodiversiteettistrategian ja EU:n meristrategiadirektiivin tavoitteiden kanssa. Ristiriitoja tavoitteissa voi esiintyä myös Unionin yhteisen kalastuspolitiikan (YKP) kanssa, sillä sen yleisenä tavoitteena on varmistaa kalastuksen ja vesiviljelyn ekologinen, taloudellinen ja sosiaalinen kestävyys pitkällä aikavälillä.

YK:n merioikeusyleissopimus määrittelee rantavaltioille aluevedet, jotka voivat ulottua 12 merimailin etäisyydelle rannikon perusviivasta sekä aluevesien ulkopuolella sijaitsevan talousvyöhykkeen, joka voi ulottua enintään 200 merimailia perusviivasta ulospäin. Pohjoisella Itämerellä talousvyöhykkeiden rajat on sovittu yhdessä Suomen, Ruotsin, Viron ja Venäjän kanssa vuoden 2005 alussa. Aluevedet ovat osa rantavaltion aluetta. Suomen aluevesillä merituulivoimarakentamiseen soveltuvat alueet ovat suurelta osin Metsähallituksen hallinnassa, ja Metsähallitus vuokraa valtion vesialueita ns. huutokaupamallilla yrityksille merituulivoiman hankekehitykseen. Rantavaltiolle kuuluu sen talousvyöhykkeellä mm. oikeus elollisten ja elottomien luonnonvarojen tutkimiseen, hyödyntämiseen, säilyttämiseen ja hoitamiseen. Rantavaltiolla on yksinoikeus määrätä talousvyöhykkeelle sijoittuvasta tuulivoimarakentamisesta. Suomen osalta Laissa merituulivoimasta talousvyöhykkeellä (937/2024) todetaan, että valtioneuvosto tekee päätökset talousvyöhykkeelle sijoittuvista tuulivoima-alueista ja Energiavirasto järjestää kilpailutuksen, jonka perusteella valitaan yritykset kehittämään alueille tuulivoimaa.

Sekä Suomen aluevesillä että talousvyöhykkeellä sovelletaan ympäristövaikutusten arviointimenettelyä (YVA-menettely) annettua lakia (252/2017), jonka perusteella merituulivoiman ympäristövaikutuksia pyritään arvioimaan ja ennakoimaan hankekohtaisesti YVA-menettelyissä. Siinä huomioidaan myös energiansiirrosta aiheutuvat vaikutukset mantereelle asti.

Vastaavaa menettelyä noudatetaan myös muissa EU-valtioissa. Merituulivoimaa koskevissa YVA-menettelyissä on myös huomioitava mahdolliset valtioiden rajat ylittävät merkittävät ympäristövaikutukset. Ns. Espoon sopimuksen perusteella valtioilla on tarvittaessa oikeus osallistua toisessa valtiossa käynnissä olevaan ympäristövaikutusten arviointiin. Suomi on yleisesti osallistunut esimerkiksi Ruotsin YVA-menettelyihin Pohjanlahdelle suunniteltujen merituulivoimahankkeiden yhteydessä.

YVA-menettelyt tuottavat tietoa hankkeiden lupakäsittelyä varten. Merituulivoiman rakentaminen edellyttää Suomessa aina mm. vesilain (587/2011) mukaista vesilupaa ja aluevesillä lisäksi kaavoitusta ja rakennuslupia. Vesilupapäätökseen voi sisältyä määräyksiä toimenpiteistä haittojen vähentämiseksi tai luvanhaltija voidaan määrätä tarkkailemaan hankkeen vaikutuksia (tarkkailuvelvoite). Merituulivoima-alueiden sijoittelua ohjaillaan myös EU:n merialuesuunnitteludirektiiviin perustuvalla päivitettävällä merialuesuunnitelmalla, jolla ei kuitenkaan ole oikeudellisesti sitovia vaikutuksia hankkeiden sijoitteluun.

Ympäristövaikutusten arviointia (ja myös merialuesuunnitelman laatimista) vaikeuttaa se, että tiedot Pohjanlahden avomerialueen luontoarvoista sekä myös tuulivoiman mahdollisista vaikutusmekanismeista elolliseen luontoon ovat monilta osin hyvin puutteelliset. Ongelmat on ainakin yleisellä tasolla hyvin tunnistettu (esim. TEM 2024). Tietojen puute näkyy erittäin selvästi Luonnonvarakeskuksen (Luke) toimialaan liittyvien elementtien eli kalojen, hylkeiden, lintujen ja kalastuksen kohdalla. Muualla maailmassa tehdyistä tutkimuksista on tehty myös useita laajoja yhteenvetoartikkeleita, mutta tuloksia voidaan suoraan hyödyntää pohjoisella Itämerellä vain hyvin rajallisesti. Pohjanlahdelle sovellettavien tietojen puute haittaa esimerkiksi YVA-töiden kohdentamista oikeisiin tai tärkeimpiin asioihin. Lisäksi kattavamman Pohjanlahtea koskevan kartoitustiedon puuttuminen vähentää yksittäiseltä hankealueelta kerättyjen tietojen arvoa, sillä ilman laajempaa taustatietoa on vaikeaa suhteuttaa hankealueella havaittuja luontoarvoja laajempaan kokonaisuuteen. Taloudellisesti hyödynnettävien kalojen, hylkeiden, lintujen ja troolikalastuksen liikkumisalueet ovat paljon yksittäisiä merituulivoima-alueita laajempia ja merkittävimmät riskit haitallisille vaikutuksille liittyvätkin useiden tuulivoima-alueiden yhteisvaikutuksiin. Nykyisellä tietopohjalla edellä mainittuihin asioihin kohdistuvien yhteisvaikutusten ennakointi on jokseenkin mahdotonta. Silloin kun tekstissä erikseen ei muuta mainita, yhteisvaikutuksilla viitataan tässä raportissa nimenomaan eri tuulivoimahankkeiden yhdessä aiheuttamiin vaikutuksiin.

Tämän synteesiraportin ensimmäisessä osassa on koottu aiheittain jaoteltu tiivis kirjallisuuskatsaus muualta maailmasta, erityisesti Euroopasta, saaduista merituulivoiman ympäristövaikutuksia koskevista tiedoista. Samaan lukuun on myös koottu aiheeseen liittyvät oleelliseksi katsotut tiedot Pohjanlahdelta, jonne Suomen ja Ruotsin merituulivoimasuunnitelmat keskittyvät. Kirjallisuuskatsausosa keskittyy Luken toimialaan eli kaloihin, lintuihin, hylkeisiin ja kalastukseen, ja kalojen osalta lähinnä talouskalalajeihin. Synteesiraportin toisessa osassa 1) esitetään arvioita siitä, miten hyvin Luken toimialaan liittyvät ympäristövaikutukset tai -riskit on otettu huomioon Pohjanlahdella tehdyissä YVA-menettelyissä ja alueiden varaamisessa tuulivoimakäyttöön ja miten menettelyitä voitaisiin kehittää, 2) esitetään ehdotus siitä, miten merituulivoiman ympäristövaikutuksiin liittyviä pahimpia Luken toimialaan liittyviä tietopuutteita tulisi paikkailla ja 3) esitetään suuntaviivoja siihen, miten tulevia tarkkailuja ja koko järjestelmää tulisi etupainotteisesti ryhtyä suunnittelemaan. Toivomme, että synteesiraportti tarjoaa hyödyllistä tietoa hankekehittäjille, viranomaisille ja muille merituulivoiman sidosryhmille.

2. Merituulivoiman mahdolliset ympäristövaikutukset ja riskit

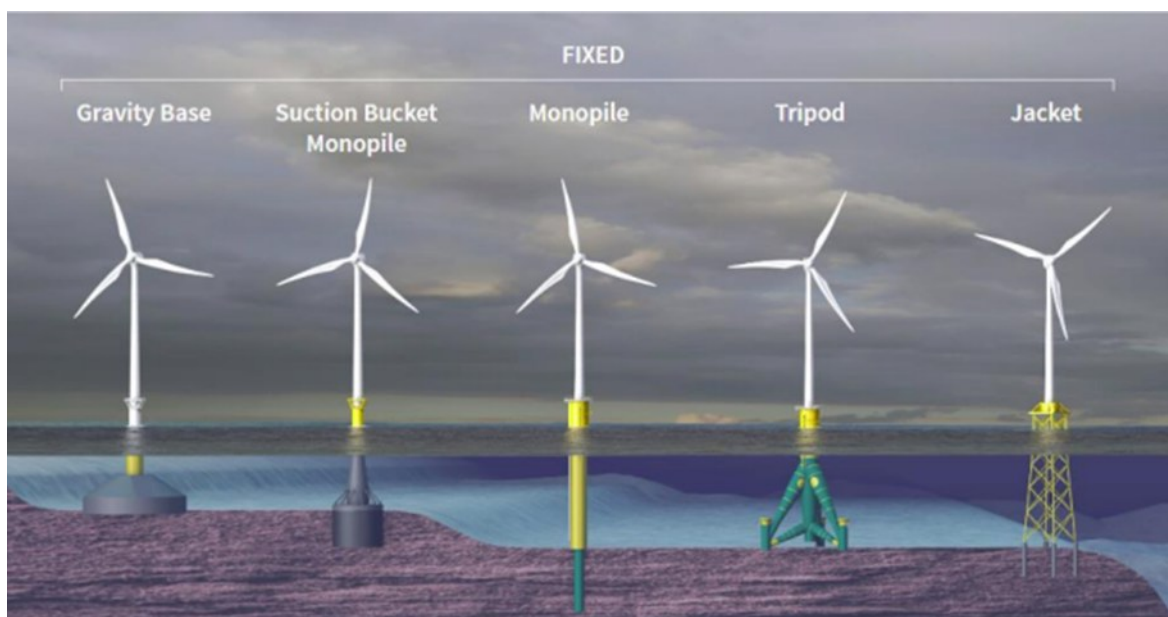
Merituulivoiman rakentamisvaiheessa ja myöhemmässä tuotantovaiheessa mahdollisesti syntyvät ympäristövaikutukset poikkeavat selvästi toisistaan. Siksi asiat käsitellään tässä raportissa eri luvuissa. Ympäristövaikutuksia voi ilmetä myös tuulivoima-alueiden käyttöön päättymisen ja purkamisen yhteydessä ja sen jälkeenkin, mutta niitä vaikutuksia tässä ei käsitellä. Raportissa keskitytään kaloihin, merinisäkkäisiin ja lintuihin sekä kalastukseen kohdistuviin vaikutuksiin, jotka nousevat esille aiheisiin liittyvissä muualla maailmassa tehdyissä yhteenve-toartikkeleissa (esim. Verfuss ym. 2015, Fox & Petersen 2019, Van Hoyer ym. 2021, Svendsen ym. 2022, Honkanen ym. 2025). Sekä rakentamisen että tuotantovaiheen vaikutuksiin liittyvälle tutkimuskirjallisuudelle on ominaista, että esimerkiksi kalojen osalta populaatiotason tai kalakantatason vaikutuksia ei ole edes pyritty selvittämään, mikä johtuu tehtävän huomattavasta monimutkaisuudesta (ICES 2025a). Kirjallisuus on keskittynyt raportoimaan tuulivoiman eri vaikutusten merkitystä yksilötasolla tai paikallisten yhteisöjen tasolla esimerkiksi vertailemalla tilannetta tuulivoima-alueen sisällä ja ulkopuolella (Gill ym. 2024). Julkaistua tutkimustietoa on toistaiseksi saatavilla käytännössä vain pohjalle kiinnitettäviin tuulivoimaloihin liittyen, sillä kaupallista kelluviin voimaloihin perustuvaa merituulivoimaa ei ole vielä laajamittaisesti rakennettu. Jo ennen rakentamista tehtävät työt, kuten pohjien luotaaminen, saattavat häiritä kaloja tai merinisäkkäitä, mutta näitä vaikutuksia ei tässä raportissa ole käsitelty.

2.1. Rakentamisvaiheen mahdolliset vaikutukset ja riskit

Merkittävimmät rakennusvaiheen aikaiset riskit kaloille ja kalakannoille kohdistuville haitallisille vaikutuksille liittyvät (hankealueen ja energiansiirtokäytävien) pohjan muokkauksesta (ruoppaukset, räjäytykset, muu muokkaus sekä ruoppausmassojen läjitys) johtuviin tilapäisiin ja paikallisiin vedenlaatumuutoksiin sekä rakennusvaiheesta aiheutuvan vedenalaisen melun lisääntymiseen (esim. Van Hoyer ym. 2021). Vedenalainen melu voi aiheuttaa ongelmia myös merinisäkkäille. Myös kalastus yleensä estyy hankealueella työkohteiden läheisyydessä ja myöhemmin koko hankealueella (ks. luku 2.2.5.) ja rakennustoiminta voi karkottaa alueelta myös lintuja. Meren pohjalla tehtävät muokkaus- ja perustustyöt kestävät yhdellä hankealueella yleensä enintään pari kolme vuotta. Vedenlaatuvaikutukset ovat tilapäisiä, mutta esimerkiksi mahdollisen pohjaeliöstön tai kasvillisuuden paikallinen palautuminen voi sokin kestää vuosia. Tässä luvussa keskitytään vain kaloille ja hylkeille mahdollisesti aiheutuviin vaikutuksiin. Sekä vedenlaatu- että meluvaikutusten voimakkuus ja laajuus vaihtelevat paljon hankekohtaisesti ja vaikutusten vähentämiseenkin on olemassa keinoja, joita käsitellään alalukujen lopussa.

Hankealueella aiheutuvat rakennustöiden aikaiset ympäristövaikutukset riippuvat mm. voimaloiden perustamistavasta eli siitä, miten voimalat kiinnitetään merenpohjaan (Kuva 1). Vuonna 2016 kaikista Euroopan merialueen voimaloista 70–80 % oli paaluperusteisia ja Yhdysvalloissa kaikki voimalat olivat paaluperusteisia (ks. Mooney ym. 2020). Paaluperustus ei kuitenkaan sovellu alueille, jossa pohja on kivikkoista ja tämä saattaa rajoittaa menetelmän käyttömahdollisuuksia Pohjanlahdella, jossa gravitaatioperustus voi olla todennäköisin vaihtoehto. Paalutuksesta aiheutuu huomattavaa vedenalaista melua. Nykyisin suunnittelupöydillä olevissa 12–14 MW:n voimaloissa paaluperustuksen halkaisija voi olla jopa 12 metriä ja syvälle asennettuina kokonaispituus 100 metriä (OSPAR 2024). Pohjanlahdelle suunnitellaan vieläkin

isompia voimaloita, joiden halkaisija voisi olla jopa 15 metriä. Diazin ja Soaresin (2020) mukaan paaluperustus soveltuu enintään noin 30 metrin syvyyseen veteen, mutta gravitaatioperusteisilla ja ristikkorakenteisilla (jacket structure) perustuksilla päästään syvemmälle, jälkimmäisellä noin 50 metrin syvyyteen. Toisen lähteen, (IRENA 2019), mukaan paaluperusteisia voimaloita on viime aikoina rakennettu yleisimmin alle 40 metrin syvyyksille alueille ja enimmäkseen noin 60 metrin syvyyteen. Kelluvien voimaloiden odotetaan olevan tulevaisuudessa käytökelpoinen ratkaisu tuulivoiman viemiseksi syvemmille alueille (IRENA 2019). Kelluvia pohjaan ankkuroitavia voimaloita ei Pohjanlahdelle ainakaan vielä varsinaisesti suunnitella.



Kuva 1. Pohjaan kiinnitettävien merituulivoimaloiden tavallisimmat perustamistavat. Gravity base = gravitaatioperustus ja Monopile = yleisimmin käytetty paaluperustus. Lähde: Tuul Energy OU (2025).

2.1.1. Rakennustöiden vedenlaatuvaikutukset

Vedenlaatumuutokset aiheutuvat yksinkertaisesti siitä, että pohjalle sedimentoitunutta kiintoainesta ja mahdollisesti myös ravinteita päätyy rakentamistöiden seurauksena veteen. Vedenlaatumuutosten laajuuteen vaikuttaa mm. voimaloiden sekä muiden rakenteiden perustamistapa ja esimerkiksi kaapeleiden sijoittamistapa pohjalla. Gravitaatioperustus merituulivoimalassa on raskas betonirakenne, joka pysyy paikoillaan merenpohjalla oman painonsa avulla ilman paalutusta. Gravitaatioperustus voi viedä pohjalta melko ison alueen, enimmillään yli 2000 m² (AFRY 2025), josta löyhä ei-kantava pohjamateriaali pyritään ruoppaamaan pois. Tällöin myös huomattavampia vedenlaatuvaikutuksia todennäköisesti ilmenee, vaikkakin myös ruopattavan sedimenttikerroksen ominaisuuksilla ja erityisesti paksuudella on merkitystä vedenlaatuvaikutusten laajuuteen. Paaluperustus vie paljon pienemmän pinta-alan pohjalta ja toisaalta tarvetta laajalle ruoppaukselle ei välttämättä ole, joten paikalliset vedenlaatuvaikutukset jäävät yleensä vähäisemmiksi.

Pohjan muokkausta joudutaan tekemään myös, jos sähkösiirtokaapelit tai vetyputket kaivetaan tai peitetään pohjalle. Hankealueen sisäisten kaapelointien samoin kuin siirtokaapelien asentamisen yhteydessä pohjaa voidaan joutua muokkaamaan huomattavasti isommalla kokonaispinta-alalla kuin mitä jäisi esimerkiksi tuulivoima-alueen voimaloiden gravitaatioperustusten alle. Isoissa Pohjanlahdelle suunnitelluissa hankkeissa vierekkäin kulkevien

siirtokaapelien lukumäärä voi nousta jopa kymmeneen (esim. AFRY 2025). Huoltotoimenpiteiden helpottamiseksi yksittäisten kaapelien etäisyydet toisistaan voisivat avomerellä olla muutama sata metriä, jolloin kaapelikäytävä kokonaisuudessaan voisi olla jopa parin kilometrin levyinen, vaikkakin pohjaa käsiteltäisiinkin vain muutaman metrin leveydeltä kaapelien kohdalla. Merellä vaihtoehtoisesti valmistettava vety todennäköisesti kuljetettaisiin mantereelle yhdessä putkessa. Työssä voidaan käyttää mm. vesipainepuhallusta tai aurausta, joissa kaapeli asennetaan pohjalle toimenpiteen yhteydessä tai kaapelille/putkelle voidaan kivikkoisemalla pojalla tehdä etukäteen valmiiksi kaivettu kaivanto. Perustus- ja kaapelointitöiden vaikutukset veden kiintoainepitoisuuteen ovat luonnollisesti vähäisemmät pinnan lähellä kuin syvemmissä vesikerroksissa. Vaikutusalueen laajuus vaihtelee tapauskohtaisesti työmenetelmien lisäksi esim. pohjan ominaisuuksista, syvyydestä ja virtauksista.

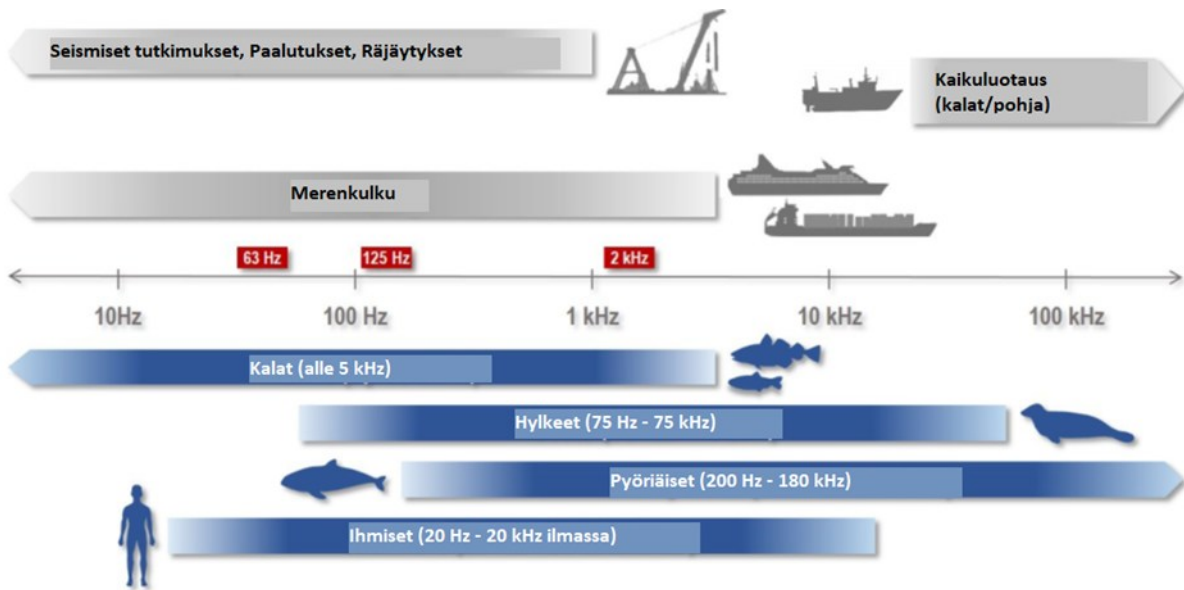
Pohjalla tehtävien töiden voimakkaampien samennusvaikutusten (kiintoainepitoisuus 10–100 mg/l tai yli 100 mg/l) on useissa Pohjanlahdella tehdyissä YVA-selvityksissä arvioitu rajoittuvan joidenkin satojen metrien etäisyydelle työkohteesta ja vähäisempien vaikutusten (kiintoainepitoisuus 5–10 mg/l) enimmillään runsaan kilometrin etäisyydelle työkohteesta. Mallien perusteella vaikutukset vaimenevat nopeasti muutamien tuntien tai vuorokausien aikana. Toki rakennustöiden edetessä veden kiintoainepitoisuus ja sedimentaatio ainakin hetkellisesti kohoavat isolla osalla hankealuetta. Ruoppausten vedenlaatuvaikutukset ulottuvat myös ylimääräisen materiaalin läjityspaikoille ja siellä vaikutusalue on huomattavasti laajempi ja vaikutus pitkäkestoisempi kuin yksittäisellä työkohteella.

Merenpohjan ruoppaus, louhinta ja läjitykset vaikuttavat välittömästi alueen pohjaeläimiin habitatin häviämisen kautta. Myös veden tilapäinen paikallinen samentumien ja lisääntynyt sedimentaatio vaikuttavat haitallisesti pohjaeläimiin. Pohjakaloilla kuten myös pelagisilla kaloilla on pohjaeläimiä paremmat mahdollisuudet siirtyä pois välittömältä vaikutusalueelta ja näin ne todennäköisesti myös toimivat. Wengerin ym. (2017) meta-analyysi osoitti, että monet lajit osoittavat käyttäytymismuutoksia niinkin alhaisilla partikkelipitoisuuksilla kuin 20 mg/l. Toisessa laajassa katsauksessa Wenger ym. (2018) totesivat, että jos kiintoainepitoisuus vedessä ei ylitä 44 mg/l, niin 24 tunnin aikana 95 %:lla tutkituista kalalajeista ei ilmene ylimääräistä kuolleisuutta. Toimenpiteet ja kiintoaineksen määrän lisääntyminen voivat vaikuttaa kaloihin myös esimerkiksi kutuympäristön häviämisen kautta tai pohjalle jo kudettu mäti voi peittyä sedimenttiin ja tuhoutua. Jos ruoppaaminen ajoittuu kalojen poikaskehityksen kriittiseen ajanjaksoon ja alueella on kalojen lisääntymisalueita, voi ruoppaus paikallisesti vähentää kalanpoikasten määrää lisäämällä poikasten kuolleisuutta.

Pohjalla tehtävien töiden vedenlaatuvaikutuksia on mahdollista vähentää teknisillä ratkaisuilla ja valinnoilla. Esimerkiksi satama-alueilla ruoppaus sedimenttien ja niissä olevien haitallisten aineiden paikallista leviämistä yritetään yleisesti hillitä erilaisilla verhoamisratkaisuilla. Toisaalta isoilla alueilla ja syvässä vedessä tekninen toteutus voi muodostua hankalaksi. Merituulivoiman rakentamisen yhteydessä haittojen vähentämiseen tähtäävä kehitystyö ja kirjallisuus ovat kuitenkin keskittyneet meluongelmaan. Kalojen lisääntymisvaiheeseen mahdollisesti kohdistuvia vedenlaatuvaikutuksia on tarvittaessa mahdollista vähentää ajoittamalla työt kutuajan ja poikasten kuoriutumisen välisen ajan ulkopuolelle, mikäli työkohteen lähellä on merkittäviä kalojen kutualueita.

2.1.2. Rakennusvaiheen vedenalainen melu

Vedessä ääni kulkee noin neljä kertaa nopeammin ja kantaa pidemmälle kuin ilmassa, jolloin myös melun vaikutusalue on vedessä laajempi kuin ilmassa. Avomerellä erityisesti syvyydellä ja pohjan laadulla on vaikutusta vedenalaiseen akustiikkaan. Lisäksi veden lämpötila- tai suolapitoisuuseroista johtuva veden kerrostuneisuus vaikuttaa äänen kulkeutumiseen vesikerrosten läpi esimerkiksi niin, että ääni heijastuu harppauskerroksessa, mikä saattaa merkittävästi vähentää äänen vaimentumista tietyissä vesikerroksissa etäisyyden kasvaessa. Tällaisia ”äänikanavia” (sound channels) ilmenee esimerkiksi voimakkaasti kerrostuneella Itämerellä (Bellman ym. 2020). Tuulivoiman rakentamisesta samoin kuin laivaliikenteestä aiheutuvan vedenalaisen melun taajuus osuu päällekkäin kalojen kuuloalueen kanssa ja yli 100 Hz:n äänen osalta myös hylkeiden ja pyöriäisen kuuloalueen kanssa (Kuva 2).

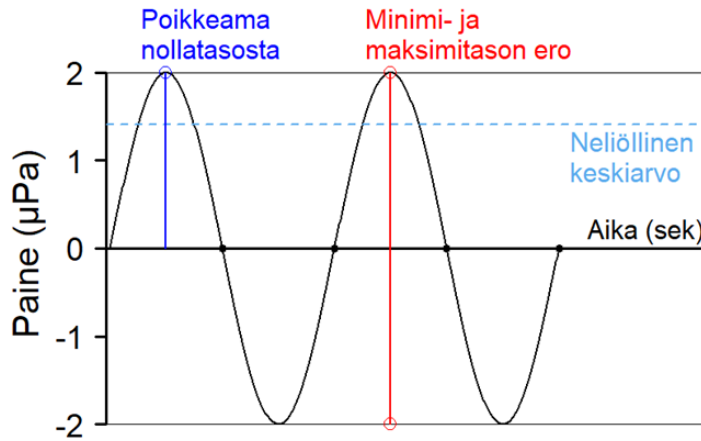


Kuva 2. Itämeressä esiintyvien kalojen, hylkeiden ja pyöriäisten kuuloalue ihmisen kuuloalueeseen verrattuna, sekä ihmisen tuottamien vedenalaisten melulähteiden taajuusalueet. Lähde: Suomen merenhoitosuunnitelmän toimenpideohjema vuosille 2022-2027.

Äänenpaine, eli ääniaallon aiheuttama hetkellinen paineen vaihtelu staattisen paineen suhteen, on akustiikan suure, jolla mitataan äänen voimakkuutta, eli käytännössä ääniaallon amplitudia. Voimakkuus ilmoitetaan tavallisesti amplitudin poikkeamana nollatasosta, amplitudin minimi- ja maksimitason erona tai neliöllisenä kaskiarvotuloksena (root-mean square) (Kuva 3). Kaksi ensin mainittua soveltuvat erityisesti impulsiivisen äänen maksimipaineen kuvaamiseen ja viimeisenä mainittu tietyn ajanjakson keskimääräisen äänenpaineen kuvaamiseen. Menetelmät tuottavat samasta äänilähteestä erilaisia äänenpaineen arvoja, joten ne eivät ole aivan vertailukelpoisia keskenään ja sekaannusten välttämiseksi laskutapa yleensä ilmoitetaan tuloksen yhteydessä.

Äänenpainetaso (sound pressure level) on äänenpaineen tehollisarvon ja vertailupaineen suhde logaritmisella asteikolla. Vedessä äänenpainetaso yksikkö on desibeli (dB re 1 μ Pa). Ilmassa äänenpainetaso vertailupaineena on yleensä 20 μ Pa ja siksi asteikot eivät ole yhteismitallisia ilmassa ja vedessä. Asteikon logaritmisuuden takia 3 dB:n lisäys tarkoittaa aina äänenpainetaso kaksinkertaistumista ja vastaavasti 10 dB:n lisäys tarkoittaa äänenpainetaso kymmenkertaistumista. Aiemmin mainitut erot äänenpaineen mittaustavoissa näkyvät myös äänenpainetasojen eroina. Esimerkiksi Randin (2024) paalutusmelumittauksissa huipusta

huippuun (peak to peak) äänenpainetasot olivat noin 5 dB korkeampia kuin äänenpainetasot nollassa huippuun (0 to peak). Tässä raportissa mittaustapa on ilmoitettu suluisissa äänenpainetason arvon perässä (p-p tai 0-p), silloin kun se on alkuperäisessä artikkelissa mainittu.



Kuva 3. Äänenpaineen tavallisimmat mittaustavat.

Äänialtistustaso SEL (sound exposure level) kuvaa äänienergian määrää normalisoituna aikayksikköön, esimerkiksi yhteen sekuntiin, joka ilmoitetaan tuloksen yhteydessä. Käytännössä melun voimakkuus tällöin keskiarvoistetaan yhden sekunnin ajalta, jolloin voidaan vertailla kestoltaan eripituisten altistusjaksojen vaikutuksia. Äänialtistustaso voidaan myös laskea yhdelle pulssille, tällöin paalutuksen yhteydessä viitataan usein yhden iskun äänialtistustasoon (SELs). Kumulatiivinen äänialtistustaso (SELCum) ilmoittaa tietyn ajanjakson aikana kertyneen äänenpaineen määrää. Myös äänialtistustason voimakkuuden ilmoittamisessa käytetään desibeliasteikkoa. Bellmanin ym. (2020) paalutuksen vedenalaiseen meluun liittyvissä mittauksissa äänialtistustasojen dB -arvot olivat yleisesti noin 20 yksikköä alaisempi kuin vastaavat äänenpainetasojen arvot (0-p).

Kalat aistivat vedenalaista melua ja värähtelyä äänenpaineena sekä partikkelien liikkeenä (particle motion). Lohikalat "kuulevat" vain partikkelien liikettä (Popper & Fay 2011), joka yksinkertaisimmillaan tarkoittaa sitä, että kalojen korvissa olevat karvat reagoivat veden liikkeeseen (Popper & Hawkins 2018). Lajit, joilla on uimarakon ja korvan välinen hyvä mekaaninen yhteys, kuten sillikalat, aistivat myös äänenpainetta. Partikkelien liikettä voidaan ilmaista esimerkiksi nopeudella tai kiihtyvyydellä. Partikkelien liikkeen vaikutusta ja merkitystä kaloille tai merinisäkkäille ei ole juurikaan tutkittu, mikä johtunee partikkelinopeuden mittaamisen monimutkaisuudesta ja edullisten mittauslaitteistojen puuttumisesta (Honkanen ym. 2024). Äänenpainetta voidaan käyttää myös karkeasti kuvaamaan partikkelien liikkeen voimakkuutta ja käytännön syiden takia näin toimitaan myös tässä raportissa.

Paalutuksesta aiheutuva vedenalainen melu

Paaluperustusmenetelmässä voimalan runko paalutetaan syvälle merenpohjaan. Paalutuksesta syntyy veteen erittäin voimakkaita 1–4 sekunnin välein toistuvia ääni-impulsseja ja tavallisesti yhden voimalan paaluttamiseen tarvitaan 500–5000 iskua (Jimenez-Arranz ym. 2020) tai jopa enemmän. Äänenpainetaso metrin päässä paalusta voi olla ainakin 250 dB re 1 µPa (p-p) (Parvin 2006, viitattu artikkelissa Hammar ym. 2014). Bailey ym. (2010) mittasivat vedenalaista ääntä Skotlannin rannikolla, missä 5 MW:n voimaloita paalutettiin noin 40 metrin

syvyisellä alueella. Sadan metrin etäisyydellä äänenpainetaso oli noin 205 dB (p-p) ja 500–1000 metrin päässä noin 200 dB, 10 kilometrin päässä noin 160 dB ja 20 kilometrin päässä noin 150 dB. Äänet saattoivat olla havaittavissa jopa 70 kilometrin päässä (Bailey ym. 2010). Jiminez-Arranzin ym. (2020) tekemän yhteenvetokatsauksen mukaan halkaisijaltaan 4–5 metrin perustusten paalutuksista on mitattu 10 metrin etäisyydellä noin 210–240 dB äänenpainetasoja (0-p). Samansuuntaisia tuloksia raportoivat myös Bellman ym. (2020), halkaisijaltaan 4–8 metrin perustusten paalutuksesta aiheutuva äänenpaine 750 metrin päässä oli noin 195–205 dB (0-p) ja äänialtistustaso 175–183 dB (SEL). Paalutuksesta aiheutuvat vedenalaiset melutasot vaihtelevat merkittävästi ja riippuvat monista tekijöistä kuten paalutusvasaran koosta, pohjan ominaisuuksista, syvyydestä ja palkin halkaisijasta (Mooney ym. 2020). On huomattava, että olemassa olevat paalutusmelun mittaukset liittyvät selvästi pienempiin voimaloihin, kuin mitä on nykyisin suunnitteilla esim. Pohjanlahdelle. Paalutuksesta aiheutuvan melun pääasiallinen taajuusalue on alle 500 Hz, mutta osa energiasta ulottuu yli 1 kHz:iin. Taajuudet ovat samoja, joita useat kalat aistivat (ks. Kuva 2).

Paalutuksesta aiheutuvaa melua pidetäänkin yleisesti rakennusaikaisista vaikutuksista huomattavimpana riskinä mm. kaloille ja merinisäkkäille (esim. Hammar ym. 2014, Whyte ym. 2020). Paalutusmelun vaikutuksia kaloihin on tutkittu, mutta tuloksista ei synny kovinkaan selkeää kokonaiskuvaa. Voimakkaan äänen vaikutuksiin liittyvät tutkimukset on enimmäkseen tehty koeolosuhteissa, joissa kalat eivät ole päässeet vapaasti liikkumaan ja ääni-impulssi ei ole ollut aito, joten tulosten yleistettävyyttä todellisiin olosuhteisiin on kyseenalaista (Popper & Hawkins 2019). Hammar ym. (2014) tekivät olemassa olevien tietojen pohjalta ekologisen riskiarvioinnin tuulivoimarakentamisen mahdollisista vaikutuksista Kattegatin alueen turskaan (*Gadus morhua*). He arvioivat, että turskalle voi paalutuksesta koitua fyysisiä vammoja vielä usean sadan metrin etäisyydellä paalutuskohdasta ja turska voi reagoida paalutukseen jopa kymmenien kilometrien etäisyydellä paalutuspaikasta. Erityisesti kuteva turska arvioitiin herkäksi melulle ja paalutuksesta johtuva ääni voisi karkottaa kudulle tulevia aikuisia turskia ja aiheuttaa kudun epäonnistumista. Tähän liittyvän enimmäisetäisyys arvioitiin olevan 50 kilometriä paalutuspaikasta. Paalutuksen suoran haitallisen vaikutuksen turskan mätiin ja poikaan arvioitiin ulottuvan noin yhden kilometrin päähän paalutuskohdasta ja riski vahingolle arvioitiin kohtalaiseksi. Hammar ym. (2014) kuitenkin totesivat, että heidän tuloksiinsa sisältyy epävarmuutta ja tutkimustietoa tarvittaisiin lisää. Hawkins ym. (2014) seurasivat kaikuluotaimilla kilohaili (*Sprattus sprattus*) - ja makrilliparvien (*Scomber scombru*) käyttäytymistä hiljaisessa laguunissa Irlannin lounaisrannikolla ja altistivat parvia äänelle, joka simuloi paalutuksen aiheuttamaa ääntä eri voimakkuuksilla. Parvet reagoivat 50 % tilanteista ääniin, joiden voimakkuus oli noin 140–160 dB (p-p), mittaustaajuutena 10 Hz–20 kHz. He arvioivat tulosten perusteella, että paalutuksesta aiheutuva melu vaikuttaa kilohailiparvien käyttäytymiseen useiden kilometrien etäisyydelle. Yöllä parvien hajottua yksittäisten kalojen ei havaittu reagoivan meluun. Laajassa katsauksessaan myös Popper ja Hawkins (2019) kuitenkin toteavat, että paalutusmelun vaikutuksista kaloihin tiedetään lopulta vain hyvin vähän

Popperin ja Hawkinsin (2019) mukaan todennettuja havaintoja kalojen kuolemista paalutuksen vieressä on olemattoman vähän. Voimakas impulsiivinen ääni voi aiheuttaa kaloille fyysisiä vaurioita, jotka ilmeisesti liittyvät siihen, että uimarakon voimakas värähtely vaurioittaa sisäelimiä. Heidän ehdottaman alustavan kriteeristön perusteella selvien fyysisten vaurioiden syntymiseen uimarakollisille kaloille vaadittaisiin vähintään 207 dB:n (0-p) hetkellinen äänenpainetaso (213 dB kaloille, jolla ei ole uimarakkoa). Tällaisia äänenpainetasoja oli siis mitattu joidenkin satojen metrien päässä paalutuksesta. Voimakkaiden äänien tai pitkäaikaisen

äänialtistuksen tiedetään voivan aiheuttaa kaloille myös tilapäistä kuulon heikkenemistä. Todisteita pysyvien kuulovaurioiden syntymisestä kaloille ei ole (Popper & Hawkins 2019). Kalojen kuuloaistissa on huomattavia lajikohtaisia eroja, jotka liittyvät läheisesti mm. siihen, onko niillä uimarakkoa vai ei. Myös uimarakon rakenne ja sen etäisyys kuuloelimiin vaikuttaa kuulon herkkyyteen. Esimerkiksi silakka (*Clupea harengus*) aistii matalamman voimakkuuden ääniä kuin lohi (*Salmo salar*) ja lisäksi silakan aistimien äänien taajuusalue on selvästi laajempi kuin lohella. Turska sijoittui lohen ja silakan väliin (Popper & Hawkins 2019). Lajit, joilla on hyvä kuuloaisti, ovat todennäköisesti myös herkempiä melun aiheuttamille tilapäisille kuulovaurioille, mutta luotettavia melun raja-arvoja tilapäisten kuulovaurioiden syntymiselle on vaikea asettaa (Popper & Hawkins 2019). Todennäköisesti niitä voi syntyä vähintäänkin useiden kilometrien päässä paalutuskohteesta. Voimakkaat äänet voivat aiheuttaa kaloille myös fysiologisia muutoksia, kuten stressivaikutuksia ja ne voivat vaikuttaa vaelluskalojen suunnitukseen tai kalojen lisääntymiskäyttäytymiseen.

Paalutusmelu voi periaatteessa aiheuttaa merinisäkkäille aivan paalutuspaikan vieressä jopa kuolemaan johtavia vaurioita (esim. Thompson ym. 2013). Voimakas ääni voi aiheuttaa myös pysyviä tai tilapäisiä kuulovaurioita. Southall ym. (2019) laativat päivitetyn kriteeristön melun vaikutuksista merinisäkkäille. Se mukaan pysyviä kuulovaurioita voisi alkaa syntyä hylkeille impulsiivisen melun altistustason (SEL) ylittäessä 185 dB re 1 μ Pa2s tai äänenpainetason ylittäessä 218 dB re 1 μ Pa (0-p). Pyöriäiset (*Phocoena phocoena*) ovat selvästi herkempiä äänen vaikutuksille ja pysyviä kuulovaurioita voisi kriteeristön perusteella alkaa syntyä impulsiivisen äänialtistustason (SEL) ylittäessä 155 dB tai äänenpainetason ylittäessä 202 dB (0-p). Jo pelkästään eettisistä syistä kokeellista tutkimusta asiasta ei ole tehty, joten edellä mainittuja rajoja ei voida pitää kovinkaan luotettavana, vaan ne ovat enemmänkin ohjeellisia (Southall ym. 2019). Merkittäviä tilapäisiä kuulovaurioita on todettu vankeudessa olevilla pyöriäisillä aiheutuvan hyljekarkottimen äänestä jo äänialtistustasoilla 140–150 dB re 1 μ Pa2s (SEL) (Shaffeld ym. 2019).

Hylkeet tuottavat ääniä sekä vedenpinnan yläpuolella että alapuolella. Niiden kuulo on erikoistunut erityisesti vedenalaisen kuulemiseen ja kuuloalue on vedessä korkeammilla taajuuksilla kuin ilmassa. Valailla ääntelyllä ja kuulolla on vielä suurempi merkitys. Mahdolliset kuulovauriot ovat siis merkittävä riskitekijä merinisäkkäille. Hylkeillä ääntely liittyy esimerkiksi niiden lisääntymiskäyttäytymiseen ja yksilöiden väliseen vuorovaikutukseen kaikilla Itämeren hyljelajeilla. Hyljeurosten tiedetään käyttävän vedenalaista ääntelyä kilpailussa muiden urossten kanssa naaraista ja/tai naaraiden houkutteluun (Asselin ym. 1993, Van Parijs ym. 2000, Young ym. 2025). Ääntely liittyy myös yksilöiden väliseen muuhun kommunikaatioon ja emon ja kuutin väliseen vuorovaikutukseen (Rautio ym. 2009, Prawirasasra ym. 2021). Hylkeet käyttävät kuuloaistia myös saalistamisessa (Stansbury ym. 2015). Pyöriäisillä ääntely liittyy yksilöiden väliseen kommunikaatioon ja erityisesti kaikuluotaukseen, jota ne käyttävät hyväkseen niin saalistuksessa kuin ympäristössä suunnistaessaan.

Paalutuksen aiheuttaman melun on itsessään todettu karkottavan hylkeitä laajalta alueelta. Russel ym. (2016) selvittivät telemetria-aineistojen avulla kirjohylkeiden (*Phoca vitulina*) käyttäytymistä Kaakkois-Englannin rannikolla ennen tuulivoima-alueen rakentamista, rakentamisen aikana sekä tuotantovaiheen aikana. Hylkeiden karkottamista tuulivoima-alueelta tapahtui paalutuksen aikana, jolloin hylkeiden siirtyminen ulottui 25 kilometrin etäisyydelle työkohteesta. Heidän mallinuksensa mukaan merkittävä karkottava vaikutus alkoi melun voimakkuuden ylittäessä tason 166–178 dB (p-p). Paalutuksen loputtua hylkeet palasivat takaisin alueelle noin kahden tunnin kuluessa. GPS-seurannassa olleilla harmaahylkeillä on Pohjanmerellä

havaittu paalutusmeluun liittyvää poikkeuksellista käyttäytymistä jopa noin 40 kilometrin etäisyydellä paalutuspaikasta (Aarts ym. 2017).

Muu rakentamiseen liittyvä melu

Pohjalla mahdollisesti tehtävien louhintatöiden räjäytyksistä voi myös aiheutua merkittävää vedenalaista melua, joka on kuitenkin lyhytkestoisempaa kuin paalutuksesta aiheutuva melu. Iso osa ihmistoiminnan aiheuttamasta melusta meressä syntyy moottoroiduista aluksista (Popper & Hawkins 2019). Tuulivoima-alueen rakennusvaiheeseen liittyy työalusten liikenteen lisääntymistä alueella. Matkanopeudella kulkevien tankkereiden ja rahtialusten aiheuttama matalataajuinen äänenpainetaso voi aluksen vieressä olla jopa 190 dB (Andersson ym. 2023) ja yksittäisen laivan aiheuttama melu ylittää taustamelun matalilla taajuuksilla ainakin 5–10 kilometrin päässä. Tuulivoima-alueiden rakennukseen liittyvät alukset ovat pääsääntöisesti pienempiä ja liikkuvat alueella vähäisellä nopeudella tai ovat paikallaan, joten aluksista sellaisenaan syntyvä melu jää paljon vähäisemmäksi ja osin peittynee muun meriliikenteen aiheuttamaan ”taustameluun”. Tällaisen vähäisemmän ja luonteeltaan tilapäisen melun mahdollisista vaikutuksista on melko vähän suoraan merituulivoimaan sovellettavaa tietoa ja vedenalaisen melun pidempiaikaisia vaikutuksia käsitellään luvussa 2.2.2. Rakennusvaiheen aikana pohjalle kohdistuvista toimenpiteistä kuten ruoppauksesta ja louhinnasta syntyy ajoittain voimakkaampaa lyhytaikaista melua kuin rakentamiseen liittyvästä pidempään jatkuvasta alusliikenteestä. Saksan edustalla Borkum Riffgrund 2 tuulivoima-alueen rakennustöiden yhteydessä todettiin, että imuruoppauksen vedenalaista ääntä ei pystytty enää erottamaan alueen muusta rakentamiseen liittyvästä taustamelusta yli 500 metrin etäisyydellä (Shonberg ym. 2018). Ruoppauksesta ja louhinnasta aiheutuva melu ja samoihin toimenpiteisiin liittyvä veden paikallinen samenehminen toiminevat yhdessä ja karkottavat tilapäisesti ainakin kaloja ja merinisäkkäitä alueelta.

Paalutusmelun ja sen aiheuttamien haittojen vähentämiskeinot

Paalutustyövaiheessa noin 1 % energiasta siirtyy suoraan paalun kautta äänenä veteen. Syntyvän melun määrään vaikuttavat yleisellä tasolla mm. paalun halkaisija, veden syvyys, pohjan ominaisuudet sekä paalutuksessa käytettävän energian määrä. Veteen siirtyvän melun vähentämiseksi on olemassa teknisiä keinoja, jotka voidaan jaotella primaarisiin ja sekundaarisiin keinoihin. Ensin mainituissa tavoitteena on pyrkiä vähentämään itse melun syntymistä ja jälkimmäisessä pyritään vähentämään syntyneen melun siirtymistä ympäröivään veteen (OSPAR 2024). Yksinkertainen tapa vähentää syntyvää melua on vähentää ”vasaroinnin” voimakkuutta. Tämä keino voi olla perusteltu erityisesti, jos äänen maksimivoimakkuuden rajoittaminen on tärkeämpää kuin ääntä tuottavan työvaiheen keston rajoittaminen. Kehitteillä ja osin käytössäkin on myös erilaisia paalutustekniikoita, joiden avulla paalutuksesta aiheutuvaa äänialtistustasoa voidaan alentaa 10–20 dB (delta SEL) perinteiseen hydrauliseen paalutukseen verrattuna (OSPAR 2024). Primaarisiksi keinoksi voitaneen katsoa myös paaluttamisen korvaaminen poraamisella, jolloin kovaankin pohjaan saadaan reikä voimalan perustuksille vähemmällä melulla. Menetelmä toimii periaatteessa myös isoille perustuksille. Kokonaan toisenlaisten perustusten, kuten gravitaatioperustusten, rakentamisesta aiheutuu oleellisesti vähemmän vedenalaista melua kuin paalutuksesta.

Sekundaarisia melun vähentämiskeinoja on tutkittu paljon Saksassa, joka ensimmäisenä maana maailmassa asetti vuonna 2011 selkeitä rajoituksia vedenalaisista töistä aiheutuvalle melulle. Saksassa 750 metrin etäisyydellä äänilähteestä tehtävissä mittauksissa vedenalainen äänenpainetaso saa olla enintään 190 dB (0 to peak) ja äänialtistustaso enintään 160 dB (SEL)

(Bellman ym. 2020). Vuodesta 2011 alkaen Saksan merialueen paalutuksissa onkin käytetty melun vähentämiseen teknisiä keinoja tai niiden yhdistelmiä. Vuoden 2019 loppuun mennessä Saksan merialueilla talousvyöhyke mukaan lukien oli jo 18 tuulivoima-alueita, joten kokemusta melun vähentämiskeinoista on paljon.

Pohjalle paalutuspaikan ympärille asetettujen putkien avulla aikaansaatu kuplaverho on ollut yleisimmin käytetty keino Saksassa (Bellman ym. 2020). Teknisen toteutuksen onnistumisella on ollut vaikutusta lopputulokseen eri hankkeissa. Syvyyden kasvaessa myös teho on heikentynyt, samoin virtaukset voivat aiheuttaa ongelmia kuplien lähtiessä "ajelehtimaan". Kuplaverhoa on käytetty myös kaksinkertaisena. Hyvin optimoidulla tuplakuplaverholla saatiin aikaan enimmillään 16 dB:n (delta SEL) äänialtistustason alenema 40 metrin syvyisessä vedessä 750 metrin etäisyydeltä mitattuna (Bellman ym. 2020). Tämän suuruusluokan melun vähenemisen arvioitiin pienentävän noin 90 % aluetta, jolla melu häiritsee pyöriäistä (Nehls ym. 2016). Paalutusvaiheessa paalun ympärille asetettavalla putkirakenteella, jossa kahden teräskerroksen välissä on ilmaa (Noise Mitigation Screen), on saavutettu vastaavasti 750 metrin etäisyydellä 13-18 dB (delta SEL) äänialtistustason vähennyksiä vielä 40 metrin syvyisessä vedessä. Uusimmissa hankkeissa, joissa paalujen halkaisija oli jopa kahdeksan metriä, äänialtistustason alenema oli vastaavasti 15-17-dB (delta SEL). Saksan matalilla (<25 m) hiekkapohjaisilla alueilla putkirakenteen käyttö yhdessä meluoptimoidun paalutustekniikan kanssa auttoi täyttämään Saksan melukriteerit. Kummatkin edellä mainitut menetelmät vähentävät ympäristöön päätyvää melua hieman heikommin matalilla taajuuksilla (<220 Hz) kuin korkeammilla taajuuksilla, joihin mm merinisäkkäiden kuuloalue paremmin osuu. Saksassa vähemmän käytetty, paalun ympärille pohjasta pintaa asetettava pieniä kaasukuplia sisältävä verhorakenne (Hydro Sound Damper), toimi ainakin vielä suurimmassa kokeilussa syvyydessä eli 40 metrissä eivätkä virtaukset ja syvyyden kasvaminen heikentäneet tehoa. Tämän menetelmän yhtenä heikkoutena on ollut se, että suurin teho on kohdistunut matalataajuihin (< 200 Hz) meluun (Bellman ym. 2020), joskin kuplien kokoa muuttamalla voidaan saada tehoa kohdistettu myös korkeampiin taajuuksiin (Wagenknecht 2021). Käyttämällä kahta menetelmää samanaikaisesti, saavutettiin Saksassa seuratuissa rakennushankkeissa keskimäärin 20 dB:n (delta SEL) vähenys äänialtistustasossa 40 metrin syvyisellä alueella (Bellman ym. 2020), tämä siis tarkoittaa äänenpaineen voimakkuuden vähenemistä sadasosaan. Kaikki edellä kuvatut kokemukset paalutusmelun teknisistä vähentämiskeinoista on saatu enintään 40 metrin syvyisiltä alueilta ja paaluista, joiden halkaisija on enintään kahdeksan metriä. Melun vähentämiseen tähtäävät menetelmät vaativat jatkokehittämistä, erityisesti jos tulevaisuudessa ollaan siirtymässä suurempiin syvyyksiin ja suurempien paalujen käyttöön (Bellman ym. 2020).

Veteen päätyvän paalutusmelun teknisillä vähentämiskeinoilla voidaan ilmeisen tehokkaasti pienentää hyvinkin laajoja alueita, jolla melu aiheuttaisi selkeää häiriötä esimerkiksi merinisäkkäille kuten pyöriäiselle (ks. Nehls ym. 2016, Dähne ym. 2017), joka on erityisen herkkä vedenalaiselle melulle. Varsinaisten melua vähentävien teknisten keinojen lisäksi meriluontoon kohdistuvia akuutteja riskejä (lähinnä kuulovauriot) voidaan vähentää karkottamalla työalueen läheisyydestä ainakin kaloja, merinisäkkäitä sekä sukeltavia lintuja ennen varsinaisen paalutuksen aloittamista. Menetelmää on melko yleisesti käytetty voimakasta melua tuottavien vedenalaisten rakennustöiden yhteydessä. Esimerkiksi Saksassa menettely on pakollinen paalutuksen yhteydessä ja siellä on kehitetty melua tuottavia laitteita, joiden päätavoitteena karkottaa pyöriäiset pois työalueelta (Voß ym. 2023). Paalutusta voidaan myös välttää joillekin lajeille tai eliöryhmille elinkierron kannalta kriittisinä aikoina.

2.1.3. Alkuperäisen pohjahabitaatin menetys

Gravitaatioperustukset vievät pohjalla eniten tilaa ja yhden perustuksen halkaisija voi olla yli 30 metriä (esim. Esteban ym. 2019). Pohjanlahdelle suunnitteilla olevilla tuulivoima-alueilla voimalan gravitaatioperustuksen halkaisijan arvioidaan olevan enimmillään 52 metriä ilman mahdollista eroosiosuojausta. Vastaavasti paaluperustuksen halkaisija olisi enimmillään noin 18 metriä (AFRY 2025). Paaluperustuksen ympäriltäkin pohjaa todennäköisesti muokattaisiin. Edellä esitetyt luvut antanevat karkean kuvan siitä, minkälaisia pinta-aloja voimalat pohjalla vievät. Hankealueiden kokonaispinta-aloihin verrattuna voimaloiden rakenteiden takia muokattavat pohjapinta-alat olisivat kuitenkin hyvin pieniä. Tuulivoimarakentamisesta johtuvan pohjahabitaatin pysyvän menettämisen mahdollisista kalastovaikutuksista ei tunnu löytyvän julkaistua tutkimustietoa. Aihetta sivuava kirjallisuus käsittelee tuulivoimarakenteiden riutta-vaikutusta (ks. luku 2.2.4). Gill ym. (2024) tekemän kirjallisuuskatsauksen perusteella kaloilla tuulivoiman vaikutuksiin liittyvät tutkimukset ovatkin rajoittuneet lähinnä aikuisiin kaloihin, mutta myös esimerkiksi kutu- ja poikastuotantoalueisiin kohdistuviin vaikutuksiin tulisi heidän mukaansa kiinnittää enemmän huomiota.

2.1.4. Rakentamisvaiheeseen liittyvät riskit Pohjanlahdella

Rakentamisvaiheessa riskit kohdistuisivat lähinnä kaloihin sekä merinisäkkäisiin, ei juurikaan lintuihin. Poikkeuksena voisi olla epätodennäköinen tilanne, jossa kaapeleita asennettaisiin pohjalle pesimäaikana lintujen pesimäluotojen vieressä. Rakentamisvaihe voi aiheuttaa paikallista haittaa myös esimerkiksi troolikalastukselle ja kaapelikäytävien osalta myös rannikkokalastukselle. Troolikalastukseen mahdollisesti kohdistuvia haittoja käsitellään enemmän luvuissa 2.2.5 ja 2.2.6. Kalojen osalta keskitytään niihin talouskalalajeihin, joihin mahdollisten riskien arvioidaan selkeimmin kohdistuvan. Tässä luvussa lähtökohtana on se, että merituulivoimaa suunnitellaan talousvyöhykkeelle ja aluevesien ulko-osiin, ei saaristoon tai sen lähialueille. Alalukujen yhteydessä on lyhyesti käsitelty myös keinoja, joilla haitallisten vaikutusten riskiä olisi mahdollista vähentää.

Merinisäkkäät

Itämeressä elää kolme hyljelajia: itämerennorppa (*Phoca hispida botnica*), harmaahylje eli halli (*Halichoerus grypus*) ja kirjohylje. Näistä itämerennorppan ja hallin esiintyminen painottuu Itämeren pohjoisosiin, kun taas kirjohyljettä tavataan lähinnä vain Itämeren eteläosissa. Halli ja norppa ovat Itämeren runsaslukuisimmat merinisäkkäät ja valtaosa niistä elää Suomen, Ruotsin, Venäjän ja Viron merialueilla. Yli 90 % norpista elää Perämerellä, mutta halli on laajemmin levittäytynyt halki Itämeren. Sekä halli- että norppakannat romahtivat 1900-luvun alkupuolella voimakkaan metsästyksen takia. Metsästyksen lopettamisen jälkeen kannat pysyivät hyvin alhaisina ympäristömyrkyjen aiheuttamien lisääntymisongelmien takia, mutta 1990-luvulta lähtien kannat ovat toipuneet. Itämeressä elää myös yksi valaslaji eli pyöriäinen, jonka esiintyminen painottuu eteläiselle Itämerelle ja Tanskan salmiin. Itämeren pyöriäiset ovat vähentyneet huomattavasti ja ne luokitellaan äärimmäisen uhanalaisiksi. Itämerellä pyöriäiskannan arvioidaan olevan noin 500 yksilöä (Koschinski ym. 2024). Muutamit vuosittaiset pyöriäishavainnot Suomessa ovat keskittyneet lähinnä Saaristomerelle.

Hallikanta on kasvanut lähes koko Itämeren alueella (Carroll ym. 2024). Minimikanta eli karvanvaihtoaikaisissa lentolaskennoissa havaittu yksilömäärä on nykyisin lähes 50 000 yksilöä. Vuonna 2024 halleja havaittiin laskentahetkellä Suomen merialueilla noin 17 500 yksilöä ja

valtaosa näistä oli tällöin sijoittuneena lounaissaaristoon (Luken hyljelaskennat, <https://luonnonvaratieto.luke.fi/numerotieto/raportit?panel=merihyljekannat>). Muina vuodenaikoina hallien alueellinen runsaus voi poiketa merkittävästi karvanvaihtoajan tilanteesta. Pohjanlahti on hallin ruokailu- ja karvanvaihtoaluetta. Lisäksi alueella on merkitystä myös hallin lisääntymisalueena jäätälvinä.

Itämerennorppakanta on kasvanut vain Perämerellä. Eteläisimmillä lisääntymisalueilla runsastumista ei ole havaittu (Halkka & Tolvanen 2017). Norpan levinneisyys Itämerellä noudattelee varmimmin jäätyviä merialueita. Valtaosa itämerennorppista elää Perämerellä, jossa kanta on uusimman arvion mukaan yli 20 000 yksilöä (Ersalman ym. 2025). Riianlahden norppakannan arvioidaan olevan noin 1000 yksilön luokkaa ja itäisellä Suomenlahdella ja Saaristomerellä elää yhteensä muutama sata norppaa.

Halli ja itämerennorppa kuuluvat EU:n luontodirektiivin liitteisiin II ja V. Suomessa hallin arvioidaan olevan luontodirektiivin mukaisella suotuisalla suojelutasolla, mutta norppakannan suojelutaso on epäsuotuisa. Molemmat lajit ovat Suomessa riistalajeja, joita metsätetään vuosittain metsästyskiintiön puitteissa.

Kuten luvussa 2.1.2. todettiin, tuulivoimaloiden aiheuttamista häiriöistä melun, erityisesti rakentamisaikana syntyvän melun, on arvioitu olevan yksi merkittävimpiä haittoja merinisäkkäille (mm. Madsen ym. 2006, Nehls ym. 2016). Erityisesti paalutuksesta syntyvä melu aiheuttaa eläinten siirtymistä tai jopa suoria vammoja. Riski on selkeästi olemassa myös Pohjanlahdella, jossa elää runsaasti hylkeitä. Toisaalta paaluperustusten käyttöä Pohjanlahdella voi monilla paikoilla rajoittaa pohjan kivikkoisuus. Paalutusmelu ulottuu paljon itse hankealuetta laajemmalle alueelle, mikä tarkoittaa, että myös hylkeet voivat häiriintyä varsin laajalla alueella. Merkittävintä häiriö olisi poikimis- ja lisääntymisaikana sekä karvanvaihtoaikana. Norpalla nämä kummatkin vaiheet tapahtuvat alueella, jossa on jäätä. Hylkeille aiheutuvia haittoja voidaan vähentää keskittämällä mahdolliset paalutustyöt herkimpien ajanjaksojen ulkopuolelle, eli norpan kohdalla riski haitoille vähenisi selkeästi, jos paalutusta tehdään vain avovesikaudella. Paalutuksen aikana hylkeisiin kohdistuvia riskejä voidaan pienentää myös aiemmin mainituilla teknisillä ratkaisuilla (ks. luku 2.1.2.), kuten kupla- ja kaksoiskuplaverhojen käytöllä. Lisäksi voidaan yrittää karkottaa eläimiä alueelta ennen paalutuksen aloittamista paalutuksen hitaalla käynnistämällä.

Kalat ja kalastus

Pienpoikasvaiheen ohittaneet kalat pystyvät todennäköisesti välttämään tai siirtymään pois alueilta, joissa rakennustoiminta aiheuttaa niille haitallisen korkeaksi kohonnutta vedenalaista melua tai veden samentumista. Tuulivoiman rakennusaikaiset mahdolliset merkittävämmät vaikutukset voisivatkin lähinnä kohdistua kalojen lisääntymisvaiheeseen, jos hankealueella on kalojen kutupaikkoja. Rakennustoiminta voisi karkottaa kutemaan tulevia kaloja kutualueelta, häiritä kututapahtumaa tai tuhota paikallisia kutupohjia. Rakentaminen voisi myös vaikuttaa jo kudetun mädin ja vastakuoriutuneiden poikasten elossa säilymiseen. Isommilla poikasilla on paremmat edellytykset karttaa epäsuotuisia alueita. Vastakuoriutuneille poikasille aiheutuvien haittojen ilmeneminen olisi todennäköisintä kutualueiden läheisyydessä, jossa myös poikasia esiintyisi runsaammin.

Alhaisen suolapitoisuuden takia Pohjanlahdella elävillä kaloilla ei tiettävästi esiinny pelagista mätiä samaan tapaan kuin esimerkiksi turskalla, kilohaililla ja kampelalla Itämeren

eteläisemmissä osissa. Käytännössä mäti asettuu tai kiinnittyy pohjalle tai sen päällä olevaan materiaaliin. Pääosan kaloista tiedetään kutevan saariston ja sisälahtien alueella, missä keväällä kuoriutuville poikasille löytyy ulkoalueita lämpimämpää vettä ja runsaammin ravintoa nopeuttamaan niiden kehitystä ja kasvua. Pohjanlahden avomerialueella mahdolliset kalojen kutualueet löytyvät todennäköisimmin matalikoilta ja niiden reunamilta. Näillä alueilla voi esiintyä hiekka- tai sorapohjia, joita virtaukset pitävät sedimentistä puhtaana. Valaistuun kerrokseen (selkämerellä noin 5–18 metriä, Perämerellä noin 2–12 metriä) ulottuvilla matalikoilla voi esiintyä leväkasvustoa kuten rusko- ja punaleviä (Lappalainen ym. 2019) ja sinisimpukoita esiintyy Merenkurkun pohjoisosaan asti (<https://velmu.syke.fi/>). Leväkasvustot ja simpukat liisäävät pohjan pinnan moniulotteista rakennetta. Matalikkoalueita voidaan pitää jonkinlaisina ulappa-alueiden avainelinympäristöinä. Sedimenteistä puhtaat hiekka- ja sorapohjat samoin kuin pohjalla kasvavat levät ja simpukat voivat toimia kalojen mädin kiinnittymisalustoina. Silakka ja muikku (*Coregonus albula*) ovat talouskalalajeja, jotka todennäköisimmin saattaisivat käyttää avomerialueiden matalikoita kutupaikkoinaan. Kummatkin lajit ovat myös pelagiaalin ravintoverkon toiminnan kannalta keskeisiä lajeja. Lisäksi kaapelikäytävien tai vetypotkien asentaminen ja niihin liittyvä pohjan muokkaaminen voivat ainakin teoriassa aiheuttaa hankealueen ja mantereen välillä hyvin paikallisia vaikutuksia kalojen lisääntymisalueille, mutta näitä vaikutuksia ei tässä raportissa käsitellä. Avomerialueella elää myös harvalukuisempina ja paikallisempina joitakin pienikokoisia pohjakalalajeja, joihin rakentamisvaihe jollain tavalla vaikuttaa. Näitä lajeja ei tässä yhteydessä käsitellä, mutta ne tai osa niistä saattavat myöhemmin hyötyä ns. riuttavaikutuksesta (ks. luku 2.2.4.).

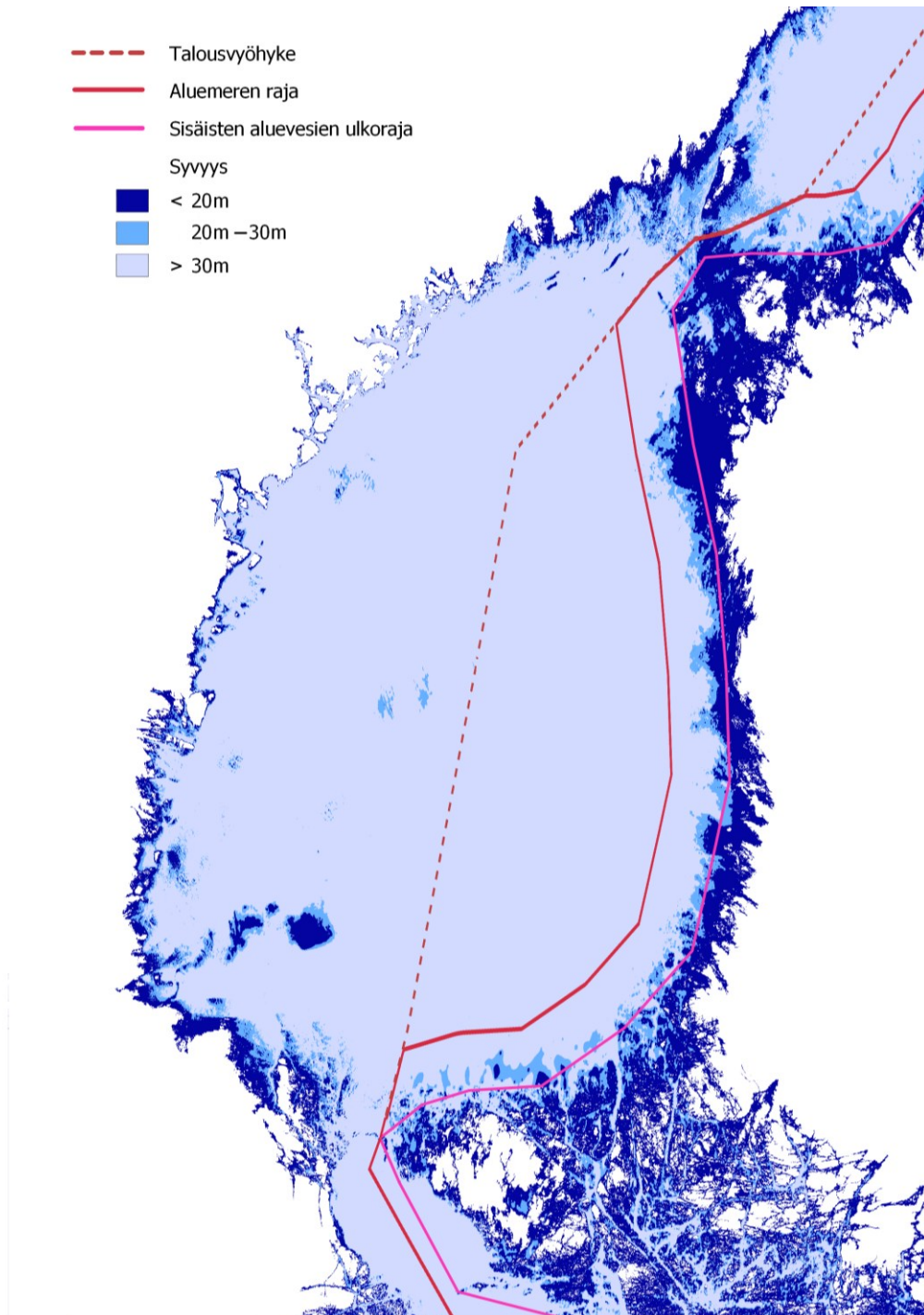
Silakan kutualueet ja merituulivoiman rakentaminen

Silakka on Suomen kaupallisen kalastuksen tärkein saalislaji. Vuosina 2018–2022 Suomen kaupallinen silakkasaalis koko Pohjanlahdelta oli keskimäärin 65 miljoonaa kiloa vuodessa, Ruotsin keskiarvon ollessa noin 15 miljoonaa kiloa vuodessa. Selkämeri on ollut silakan tärkein pyyntialue suomalaisille kalastajille (Lappalainen ym. 2024).

Itämerellä esiintyy sekä kevätkutuisia että syyskutuisia silakkakantoja, jotka eroavat toisistaan myös geneettisesti (Bekkevoold ym. 2016, Atmore ym. 2022) ja samoin on myös Atlantilla (esim. Frost & Diele 2022). Nykyisin kevätkutuiset silakkakannat muodostavan pääosa Itämeren silakkakannoista. Syyskutuinen silakka oli aiemmin vähintään yhtä runsas saaliissa kuin kevätkutuinen silakka, ainakin lounaisella Itämerellä sekä myös Itämereen pääaltaalla ja Riianlahdella (Parmanne ym. 1994, MacKenzie & Ojaveer 2018). Viimeinen notkahdus syyskutuisen silakan määrissä tapahtui 1970-luvun alkupuolella, jolloin silakkaan kohdistuva kalastuspaine kasvoi ja samoihin aikoihin myös pääaltaan happitilanne heikkeni (Parmanne ym. 1994, MacKenzie & Ojaveer 2018). Riianlahdella tehtyjen tutkimusten mukaan syyskutuinen silakka tulee sukukypsäksi kookkaampana ja vanhempana (3–4 vuoden iässä) kuin kevätkutuinen silakka (2-vuotiaana) (MacKenzie & Ojaveer 2018). Tämä ominaisuus on tehnyt sen herkemäksi kalastuksen vaikutuksille ja liian voimakas nuoriin yksilöihin kohdistunut kalastus todennäköisesti aiheutti syyskutuisen silakkakannan romahtamisen Riianlahdella (MacKenzie & Ojaveer 2018).

Silakan mätijyvät ovat alustaan kiinnittyviä ja silakka kutee sekä Atlantilla että Itämerellä tyyppillisesti kasvillisuuteen tai muulle moniulotteiselle alustalle tai sitten eroosiopohjille, jossa virtaukset pitävät alustan puhtaana ja kutu voi tapahtua esimerkiksi sorapohjalle (Frost & Diele 2022). Kevätkutuinen silakka kutee pohjoisella Itämerellä ainakin pääosin litoraaliaalueilla saaristovyöhykkeessä ja jopa sisälahdilla, joten Pohjanlahdellakin kutualueet sijoittuvat

pääosin kauas merituulivoiman suunnitelluista tuotantoalueista. Energiansiirtokäytävätkään eivät ole uhka kevätkutuisille silakkakannoille, sillä se kutee yleisesti koko Suomen rannikko-alueella (Kallasvuo ym. 2017). Syyskutuisten silakkakantojen mahdollisia kutualueista on paljon vähemmän tietoa ja ainakin osittain tiedot perustuvat havaintoihin pienpoikasten esiintymisestä. Kevätkutuisen silakkaan verrattuna syyskutuisen silakan on todettu kutevan syvemmälle ja kauemmas rannikosta sekä Itämerellä (Parmanne ym. 1994, MacKenzie ym. 2018 ja viitteet siellä) että Pohjanmerellä (Frost & Diele 2022) ja poikaset jäävät syksyllä tapahtuvan kuoriutumisen jälkeen ulappa-alueille. Tämän perusteella esimerkiksi Selkämerellä Suomen ja Ruotsin aluevesillä ja Ruotsin talousvyöhykkeellä sijaitsevat matalikot (Kuva 4), joiden tuntuun myös tuulivoimaa suunnitellaan, voisivat olla syyskutuisen silkan keskeisiä kutualueita. Valitettavasti Selkämerellä (eikä Perämerellä) syyskutuisen silakan kutualueita ei ole järjestelmällisesti kartoitettu. Kalastajilla on omia havaintoja mahdollisista syyskutuisen silakan kutupaikoista ja esimerkiksi Tahkoluodon merituulipuisto laajennuksen YVA:n yhteydessä on löytynyt syyskutuisen silakan kutupaikkoja (Leinikki & Leinikki 2020). Tietoa syyskutuisen silakan nykyisin käyttämistä kutualueista tarvittaisiin kuitenkin lisää.



Kuva 4. Matalien alueiden esiintyminen Selkämerellä ja merenkurkussa. Aineisto: European Marine Observation and Data Network (EMODnet).

Aiemmin luvussa 2.1.2. todettiin, että vedenalainen melu ja erityisesti paalutuksesta aiheutuva melu voivat vaikuttaa kalojen käyttäytymiseen kilometrien tai mahdollisesti kymmenien kilometrien etäisyyteen. Silakalla todettiin myös olevan herkkä kuulo ja siksi mahdollisesti kasvanut riski tilapäisten kuulovaurioiden syntymiselle. Siksi syyskutuisen silakan kutuaikana tapahtuva mahdollinen paaluttaminen voisi aiheuttaa kalakannalle ongelmia, mikäli hankealueella tai joidenkin kilometrien etäisyydellä sen vieressä on tärkeitä kutualueita. Riski kalakannalle aiheutuvista haittavaikutuksista korostuu, jos voimakasta melua aiheuttavia töitä tehdään useamman kuin yhden lisääntymiskauden aikana. Pohjalla tapahtuvien töiden vaikutukset

veden lyhytaikaiseen samentumiseen ovat selvästi paikallisempia. Mikäli hankealueella on merkittäviä syyskutuisen silakan kutupaikkoja, kututapahtumalle ja mädin kehittymiselle aiheutuvaa riskiä voisi olla mahdollista välttää myös hankealueen sisällä sijoittamalla syksyiseen kutuaikaan tapahtuvat työ hankealueen niihin osiin, joissa kutupaikkoja ei ole. Sama koskee erityisesti mahdollisen läjitysalueen sijoittamista. Edellä mainitun kaltainen töiden suunnittelu tietoon perustuvana toimintana edellyttäisi toki kutupaikkojen tuntemista. Kutupaikkoja voi myös jäädä pysyvästi voimaloiden perustusten alle varsinkin, jos isoja tiloja vieviä gravitaatioperustuksia pyritään rakentamaan paikallisten matalikoiden päälle. Riski pienenee, jos perustuksia ei rakenneta ainakaan alle 15 metrin syvyisille paikoille. Jos hankealueella on paljon matalikoita, osa jää toisaalta väistämättä rakentamatta voimaloiden väliin jätettävien minimietäisyyksienkin takia.

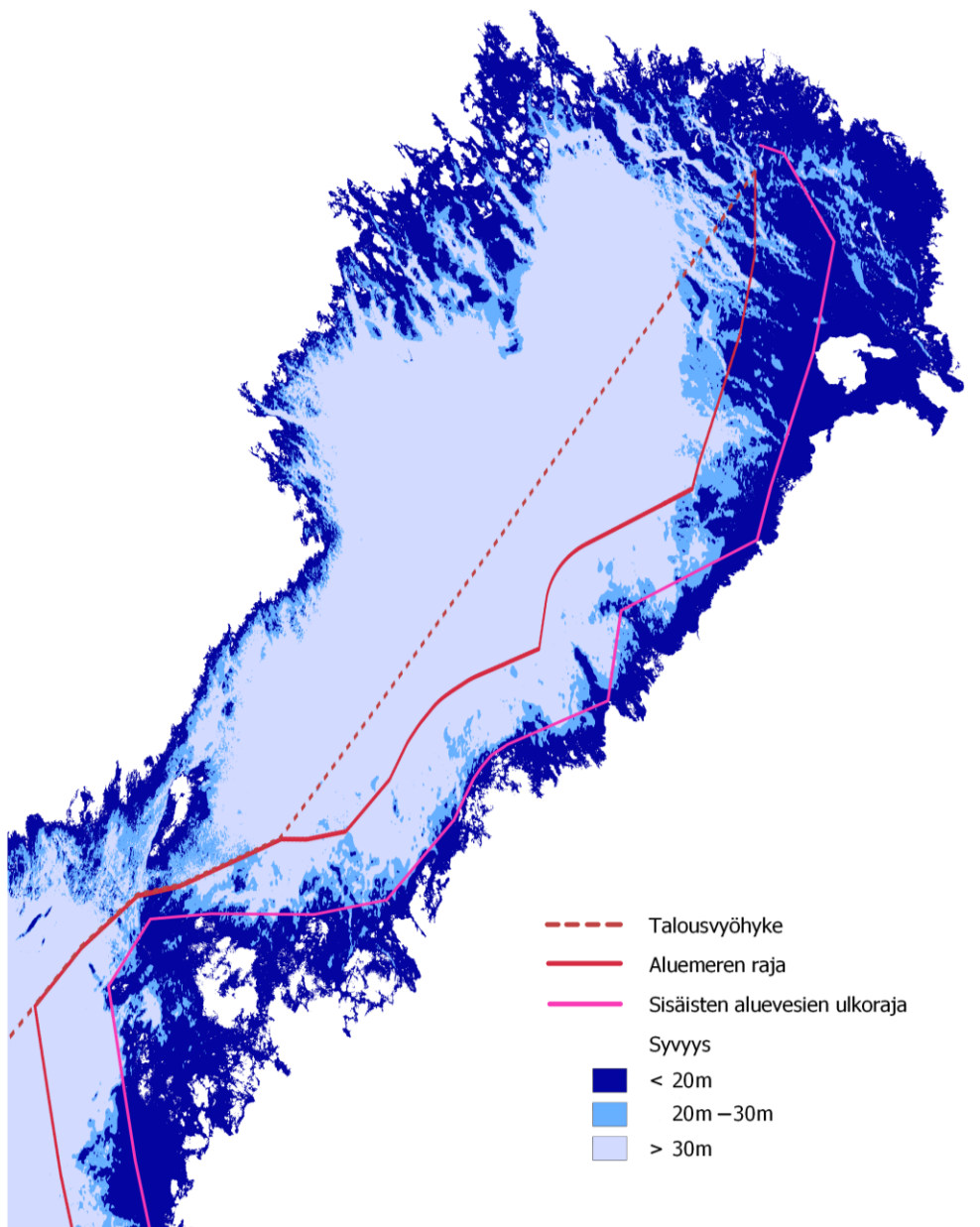
Syys- ja kevätkutuisen silakoiden nykyisiä saalisosuuksia Selkämerellä ei ole tarkemmin selvitetty, mutta kevätkutuiset silakat muodostavat valtaosan saaliista. Tutkimusalue Arandan lokakuussa tekemien kaikuluotausmatkojen koetroolipyyntissä saadaan säännöllisesti syksyllä kuteneita naaraista. Vuosina 2021–2023 vastakuteneiden naaraisten osuudet kaikista vähintään 17 cm:n pituisista naaraista oli 2–9 % (Luken SUOMU-tietokannan aineistot). Jos myös Selkämerellä on tapahtunut samanlainen kalastuksen vaikutuksiin liittyvä syyskutuisen silakan väheneminen kuin tiedetään tapahtuneen Riianlahdella ja osin muuallakin Itämerellä (MacKenzie & Ojaveer 2018, Atmore ym. 2022), voisi syyskutuisen silakka alueella elpyä, jos silakan kalastusta saataisiin kohdentamaan aiempaa vähemmän ei-sukukypsiin syyskutuisiin yksilöihin. Esimerkiksi käyttämällä silakankalastuksessa pyydyksissä isompaa silmäkokoa joillakin alueilla tai aikoina, kuten MacKenzie ja Ojaveer (2018) Riianlahden osalta ehdottivat. Silakan kalastuksen säätelyä pyritäänkin kehittämään nykyistä enemmän kantakohtaiset erot huomioivaan suuntaan ja Selkämeren silakkakantojen geneettisestä rakenteesta kerätään parhailaan uutta tietoa. Hyvä esimerkki silakkakantojen elpymisestä löytyy Skotlannin alueelta, jossa aiemmin hyvin runsaat silakkakannat romahtivat 1970-luvulla. Silakkakannat ovat hitaasti elpyneet ja vuosina 2018 ja 2019 valtavia silakkaparvia havaittiin jälleen vuosikymmenten jälkeen entisillä merkittävillä kutualueilla. Tämä korostaa sitä, että myös potentiaalisten (historiallisten) kutualueiden säilyminen hyvässä kunnossa voi olla muuttuvissa olosuhteissa tärkeää (Frost & Diele 2022) ja tämä asia tulisi ottaa paremmin huomioon tulevaisuuden kalakantojen hoidossa (Dickey-Collas ym. 2010). Selkämeren kohdalla tämä voisi tarkoittaa sitä, että avomeren matalikkoalueilla voi olla pitkällä aikavälillä potentiaalista merkitystä Selkämeren syyskutuiselle silakalle riippumatta siitä, mihin tuloksiin nyt ympäristövaikutusten arvioinneissa tehtävissä pintapuolisissa mäti- tai poikaskartoituksissa päädytään.

Muikun kutualueet ja merituulivoiman rakentaminen

Muikku on paikallisesti tärkeä kaupallisen kalastuksen saalislaji Perämerellä. Muikkua pyydetään pääosin troolaamalla ja Suomen ja Ruotsin yhteenlaskettu vuotuinen troolisaalis oli vuosina 2017–2022 keskimäärin 1,1 miljoonaa kiloa, josta ruotsalaiset kalastivat omalta alueeltaan noin 70 % (Lappalainen ym. 2024). Lisäksi muikkua pyydetään pienempiä määriä rysillä ja verkoilla.

Pohjanlahdella muikun lisääntymisalueista on kerätty karkeaa tietoa pyydystämällä keväällä jäiden lähden jälkeen muutaman viikon ikäisiä poikasia rantanuotalla sekä Suomen että Ruotsin rannoilta. Tulosten perusteella poikasia löytyy käytännössä vain Perämeren rannoilta ja runsaimmin Perämeren pohjoisosien vähäsuolaisilta alueista (Veneranta ym. 2013). Rannoilla tehtävä poikaspyynti ei kuitenkaan anna tarkkaa tietoa itse kutupaikkojen sijainnista ja muuta järjestelmällisesti kerättyä tietoa Perämeren muikun kutualueista ei ole kerätty.

Muikun kutualueilla täytyy olla riittävästi virtauksia, jotta mäti säilyy hengissä talven yli ja lisäksi kudun tulee olla turvassa jään vaikutuksilta, jotka voivat ainakin ulompana ahtojäävyöhykkeellä ulottua useiden metrien syvyyteen. Perämeren avomerialueella on runsaasti matalikoita, joiden ympäriltä pitäisi löytyä mädin "talvehtimiselle" sopivia pohjia (Kuva 5). Toisaalta keväällä kuoriutuvien muikun poikasten oletetaan hakeutuvan melko pian kuoriutumisen jälkeen rannan läheisiin vesiin, jossa niille on tarjolla lämpimämpää vettä ja ravintoa kasvua ja kehittymistä varten. Jos tämä oletus pitää paikkansa ja pääsy rantavesiin on välttämätön vaihe poikasten kehittämisessä, niin tärkeimmät kutualueet todennäköisesti sijaitsisivat suhteellisen lähellä rantoja eli alueilla, jonne tuulivoiman tuotantoalueita ei nykyisin ole suunnitteilla. Jos kuitenkin on niin, että muikku kutee merkittävässä määrin myös Perämeren avomerialueiden matalikoilla, voi sinne suunnitellulla tuulivoimarakentamisella olla samankaltaisia vaikutuksia muikun lisääntymiselle kuin sillä mahdollisesti olisi syyskutuiselle silakalle.



Kuva 5. Matalien alueiden esiintyminen Perämerellä. Aineisto: European Marine Observation and Data Network (EMODnet).

Vaelluskalat ja merituulivoiman rakennusvaihe

Avomerialuetta, jonne tuulivoimaa suunnitellaan, hyödyntävät myös vaelluskalat ja Pohjanlahdella erityisesti lohi. Sen merellä tapahtuvista elinkiertovaiheista herkin ulkopuoliselle häiriölle lienee kesällä kohti kutujokia suuntautuva kutuvaellus ja joessa kasvaneiden luonnonpoikasten siirtyminen mereen ja ensimmäiset viikot merellä. Jälkimmäinen tapahtuma keskittyy Suomen alueella Perämerelle, jossa ainoa merkittävät lohijoen sijaitsevat. Kuten luvun 2.1.2. esimerkeissä todettiin, paalutuksesta aiheutuva melu voi vaikuttaa kalojen käyttäytymiseen kilometrien tai mahdollisesti kymmenien kilometrien etäisyyteen. Siksi on mahdollista, että lohien vaelluksen aikana tai jokipoikasten siirtyessä mereen paalutusmelu voisi aiheuttaa tilapäistä häiriötä vaelluskaloille. Toisaalta aiemmin myös todettiin, että lohi ei kuulu herkkäkuuloisimpiin kalalajeihin. Lohien liikkeisiin kohdistuvaa riskiä olisi mahdollista pienentää välttämällä paalutusta kriittisinä ajankohtina ainakin Perämeren pohjoisosissa ja käyttämällä teknisiä paalutusmelun vähentämiskeinoja. Vaelluskaloihin liittyviin asioihin palataan tarkemmin luvussa 2.2.6. Myös ruoppauksista ja erityisesti läjityksestä aiheutuva veden samentuminen voivat tilapäisesti vaikuttaa kalojen vaellusreitteihin ja alueiden käyttö syönnösalueina voi tilapäisesti häiriintyä, sekä vaelluskaloilla että muilla lajeilla.

Kalastus ja merituulivoiman rakennusvaihe

Ruoppausten, läjitysten, paalutusten ja muiden työvaiheiden takia kalat saattavat karkottaa työalueiden läheisyydestä. Näillä ilmiöillä voi olla paikallisia haitallisia vaikutuksia avomeren troolikalastukseen sekä muuhun kalastukseen erityisesti kaapeleiden tai putkien reiteillä lähellä rannikkoa, mihin kiinteillä pyydyksillä tapahtuva kaupallinen kalastus sekä vapaa-ajankalastus painottuvat. Troolikalastus on käytännössä lähes kokonaan keskeytynyt kesäisin etenkin heinä- ja elokuun aikana (Lappalainen ym. 2023), joten silloin tehtävät työt eivät troolikalastukseen ainakaan suoraan vaikuta. Jo pelkästään töiden aikaisten mahdollisten liikkumisrajoitusten seurauksena troolikalastus kalastus estyneenä työkohteiden lähellä kokonaan. Euroopassa melko yleisen käytännön mukaan työkohteiden ympärillä on 500 metrin suojavyöhyke, jolla liikkuminen on kiellettyä. Erityisesti paalutuksen yhteydessä vedenalainen melu voi vaikuttaa esimerkiksi kalojen parveutumiseen huomattavasti laajemmalla alueella, mikä voi hankaloittaa troolikalastusta. Edellä mainitut vaikutukset ovat kuitenkin kaikki luonteeltaan tilapäisiä ja kalastukselle aiheutuvia haittoja voidaan korvata vesitalousluvan ehtojen mukaisesti.

2.2. Tuotantovaiheen mahdolliset pitkäaikaiset vaikutukset ja riskit

Suomessa nykyisin toiminnassa olevalla ainoalla merituulivoima-alueella Porin Tahkoluodon edustalla on yksi vuonna 2010 valmistunut 2,3 MW:n pilottivoimala ja kymmenen vuonna 2017 käyttöön otettua 4,2 MW:n voimalaa. Euroopassa merituulivoimarakentaminen on toistaiseksi painottunut koillis-Atlantille. Siellä oli vuonna 2013 toimivia voimaloita 1471, mutta vuoden 2023 alussa lukumäärä oli jo 5126 (OSPAR 2024), joista kellovia tuulivoimaloita oli 30. Suurin tuulivoima-alue on Pohjanmerellä, Englannin itäpuolella sijaitseva Hornsea 2, joka kattaa 462 km² alueen. Merelle asennettujen uusien voimaloiden keskimääräinen teho on kasvanut noin neljästä MW:sta hieman yli 10 MW:iin vuosien 2015 ja 2024 välillä (lähde: Wind-Europe). Pohjanlahdelle nyt suunniteltavilla tuotantoalueilla voimaloiden teho olisi yleisesti 10–25 MW ja enimmäiskorkeus jopa 300–400 metriä. Voimaloiden välinen etäisyys olisi noin yhdestä kilometristä muutamaan kilometriin. Suomen merialueilla yksittäisille tuotantoalueille

tulisi lähitulevaisuudessa luultavasti alle 100 voimalaa, sillä Fingrid Oyj:n kantaverkkoliityntäpisteiden liityntäteho tulee todennäköisesti rajoittamaan yhdellä alueella tuotettavaa kokonaistehoa. Ruotsin merialueelle sijoitettaisiin nykyisissä suunnitelmissa usein 100–200 voimalaa, isoimmille alueille jopa enemmänkin. Yksittäisten suunniteltujen tuotantoalueiden pinta-alat ovat muutamia satoja neliökilometrejä. Tuulivoima-alueiden elinkaaren pituudeksi on arvioitu noin 30–50 vuotta.

Merituulivoimalla voi olla tuotantovaiheessa suoria kuormitusvaikutuksia lähialueen vedenlaatuun. Mahdollisen merellä tapahtuvan vedyntuotannon hukkalämpö voisi nostaa tuulivoima-alueella sisällä pintaveden vuosittaista keskimääräistä lämpötilaa 0,2 astetta. Isommissa mittakaavassa tämä vaikutus olisi kuitenkin pieni verrattuna tuulivoima-alueen aiheuttamiin muihin hydrografisiin muutoksiin (Christiansen ym. 2025). Myös muuntajista ja johtimista voi siirtyä pieniä määriä lämpöenergiaa mereen. Voimaloista päätyy mereen myös mm. orgaanisia yhdisteitä, metalleja ja epäorgaanisia yhdisteitä, joita käytetään esimerkiksi rakenteiden pinnoitteissa ja maaleissa. Ainakin poikkeustilanteissa myös voiteluaineita voi päätyä mereen. Näitä päästöjä ja niiden merkitystä ei ole juurikaan tutkittu tai seurattu vaikkakin muutamissa maissa näitä päästöjä pyritään rajoittamaan (Hengstmann ym. 2025). Yleisesti on ajateltu, että globaali tuulivoimarakentaminen on meren kannalta mitättömän vähäinen päästölähde esimerkiksi jokiin verrattuna.

Merituulivoimasta aiheutuu välittömiä hydrodynaamisia vaikutuksia sekä tuotantoalueelle että sen ulkopuolelle. Voimalat vaikuttavat tuuleen ja laajan tuulivoima-alueen tuulta heikentävät vaikutukset voivat ilmassa ulottua jopa 50 kilometrin etäisyyteen (esim. Lundquist ym. 2019, Bodini ym. 2021). Tuulen nopeuden vähenemisellä on vaikutuksia myös aallokkoon ja virtauksiin. Käytännössä se voi vähentää veden sekoittumista kohtalaisen laajalla alueella ja sekoittumisen väheneminen voi vähentää ravinteiden saatavuutta tuottavassa kerroksessa etenkin, jos vesi on kesäaikaan voimakkaasti kerrostunutta. Toisaalta voimaloiden vedenalaiset osat vaikuttavat olemassa oleviin virtauksiin ja sitä kautta veden sekoittumiseen, joka voi johtaa vertikaaliseen kerrostuneisuuden heikkenemiseen (van Berkel ym. 2020). Tämä voi paikallisesti lisätä ravinteiden saatavuutta tuottavassa kerroksessa. Voimaloiden koko vesipatsaan läpi kulkevat rakenteet voivat johtaa veden vertikaalikiertoon, joka aikaansaa jopa kerrostuneisuuden katoamisen (Floeter ym. 2017). Rennaun ym. (2012) mallinnuksessa mm. arviointiin, että laajamittainen tuulivoiman rakentaminen lounaiselle Itämerelle heikentäisi alueen läpi virtaavan veden kerrostuneisuutta ja voisi jonkin verran alentaa pääaltaalle virtaavan veden suolapitoisuutta ja samalla mahdollisesti vaikuttaa heikentävästi pohjan happitilanteeseen. Pohjanmerta koskevassa mallinnustutkimuksessa on osoitettu, että tuulivoima-alueesta aiheutuvat muutokset veden kerrostuneisuudessa ja sekoittumisessa voivat vaikuttaa myös alueen kasviplanktonin perustuotantoon jopa $\pm 10\%$, ei pelkästään tuulivoima-alueella vaan myös lähialueilla (Daavel ym. 2022). Heidän mallinsa myös ennusti, että hydrografisilla muutoksilla voi olla jonkinasteisia vaikutuksia pohjan happitilanteeseen (eteläisellä Pohjanmerellä). Vaikutukset voivat olla hyvinkin erilaisia eri merialueille (van Berkel ym. 2020). Pohjanlahdella veden kerrostuneisuus suolapitoisuuden osalta on heikkoa Itämeren muihin osiin verrattuna. Selkämerellä suolapitoisuus ja myös talvinen lämpötila kasvavat selkeästi vasta yli 60 metrin syvyydessä eli syvemmällä kuin mihin pohjaan suoraan kiinnitettävää tuulivoimaa suunnitellaan. Mutta etenkin kesällä Pohjanlahdella on voimakas lämpötilakerrostuneisuus, Selkämerellä usein 10–20 metrin syvyydessä, ja tähän kesäaikaiseen kerrostuneisuuteen tuulivoima oletettavasti Pohjanlahdella vaikuttaisi.

Van Berkel ym. (2020) katsausartikkelin perusteella hydrografisten muutosten vaikutuksiin liittyvissä tutkimuksissa on kuitenkin todettu, että esimerkiksi mahdolliset kaloihin kohdistuvat ekosysteemi-vaikutukset häviävät luonnollisen vaihtelun alle nykyisillä jo toimivilla alueilla tai lisärakennussuunnitelmissa. Toisaalta Gill ym. (2024) toteavat kalastuksen kohteena olevia kalalajeja käsittelevässä kirjallisuuskatsauksessaan, että myös ravintoverkoissa tapahtuvat muutokset voivat vaikuttaa kaloihin, mutta aihetta ei ole juurikaan tutkittu merituulivoiman yhteydessä. Tilanne on sama hylkeitä koskevien tutkimusten osalta. Tässä luvussa keskitytään aiheisiin (konkreettisempiin riskeihin), jotka mahdollisesti vaikuttavat koko merituulivoima-alueen käyttöajan suoraan tai välittömien elinympäristömuutosten kautta lintuihin, merinisäkkäisiin ja kaloihin tai toisaalta avomerellä tapahtuvaan troolikalastukseen. Edellä mainitut ryhmät liikkuvat pääosin laajalla alueella, joten mahdolliset merkittäviksi muodostivat haitalliset vaikutukset merituulivoiman kohdalla olisivat todennäköisesti useiden hankkeiden yhteisvaikutuksia, joita voisi "kertyä" hyvinkin laajalta alueelta, jopa kokonaan toisilta merialueilta. Yhteisvaikutukset voivat ilmetä vasta vuosien kuluessa ja toisaalta niiden arviointi ei ole aivan yksinkertaista. Ehkä myös siksi kirjallisuudesta löytyvät tiedot merituulivoiman vaikutuksista kuvaavat yleensä yksittäisten yksilöiden reagoitua esimerkiksi meluun tai magneettikenttiin ilman, että edes yritetään pohtia mahdollisia populaatiotason vaikutuksia. Tämän luvun lopussa (luku 2.2.6) yritetään kuitenkin hyvin lyhyesti arvioida myös populaatiotason vaikutusten mahdollisuuksia Pohjanlahden tuulivoimasuunnitelmien osalta.

2.2.1. Lintuihin kohdistuvat vaikutukset

Linnut liikkuvat laajasti sekä pesimäaikana että muuttoaikana. Muuttolinnun näkökulmasta muuttoreitin varrella olevan yksittäisen tuulivoima-alueen aiheuttamat mahdolliset haitat ovat tyypillisesti ajankohtaisia vain hetkellisesti, kerran keväällä ja kerran syksyllä. Muuttomatkan varrella voi silti olla useita eri tuulivoima-alueita, jolloin useiden voimaloiden mahdolliset vaikutukset kumuloituvat. On huomattava, että lajit tai yksilöt voivat muuttaa eri reittejä keväällä ja syksyllä (ns. silmukkamuuutto). Pesimäaikana linnut saattavat joutua ohittamaan tai lentämään tuulivoima-alueen läpi useita kertoja päivässä. Merituulivoiman vaikutuksia lintuihin on tutkittu jo 2000-luvun alusta lähtien ja iso osa empiirisestä tutkimuksesta on tehty sellaisten voimaloiden yhteydessä, jotka ovat kooltaan selvästi pienempiä kuin nykyisin suunniteltavat voimalat. Uutta tietoa kertyy jatkuvasti, mutta julkaistua tietoa ei ole vielä saatavilla suuren kokoluokan tuulivoimaloiden yhteydessä tehdyistä töistä.

Lintujen vasteet tuulivoimaloihin vaihtelevat lajikohtaisesti. Linnut voivat joko vältellä tuulivoimaloita, suhtautua niihin neutraalisti, tai hakeutua niiden läheisyyteen (Dierschke ym. 2016). Kuikkalinnut ja silkkiuikut (*Podiceps cristatus*) välttelevät voimakkaasti tuulivoimaloita. Välttelyä on havaittu myös esimerkiksi sorsalinnuilla (alli (*Clangula hyemalis*), pilkkasiipi (*Melanitta fusca*)), ruokkilinnuilla (ruokki (*Alca torda*), riskilä (*Cephus grylle*)) ja pikkulokilla (*Hydrocoloeus minutus*). Vähäistä hakeutumista on havaittu muilla lokeilla ja koskeloilla ja voimakkainta alueelle hakeutumista on todettu merimetsoilla (*Phalacrocorax carbo*) (Dierschke ym. 2016). Joillain lajeilla (esim. haahka (*Somateria mollissima*)) käyttäytymisen on havaittu vaihtelevan yksilö- ja aluekohtaisesti (Petersen ym. 2011, Fox & Petersen 2019). Linnut voivat hakeutua alueelle koska voimalat tarjoavat lepäily- ja tähytyspaikkoja (merimetso, lokit) tai ruokailumahdollisuuksia, kuten pikkukalojen kerääntymisalueita (tukkakoskelo (*Mergus serrator*)) ja simpukkaesiintymisiä (pohjaeläimiä syövät sukeltajasorsat) (Dierschke ym. 2016, Fox & Petersen 2019).

Tuulivoima-alueen ja voimaloiden välttäminen jaetaan edelleen kolmeen tasoon. Makrovälttäminen tarkoittaa sitä, että lintu välttää kokonaan lentämästä tuulivoima-alueelle. Mesovälttelyssä tuulivoima-alueen sisällä lentävä lintu välttelee voimaloita 10–500 metrin etäisyydellä, ja mikrovälttelyllä lintu tekee viime hetken korjausliikkeitä alle 10 metrin etäisyydellä voimaloista (Cook ym. 2014, 2018, May 2015). Robinson Willmott ym. (2023) havaitsivat, että linnut voivat hyönteisiä saalistaessaan tehdä väistöliikkeitä jopa metrin etäisyydellä voimalan laivoista.

Tuulivoimaloiden haittavaikutukset linnustolle jaetaan yleisesti kolmeen osaan: 1) estevaikutus, 2) suora habitaatinmenetys ja 3) törmäyskuolleisuus (Petersen ym. 2006). Vaikutukset riippuvat lintujen ominaisuuksista ja tarpeista, tuulivoima-alueiden ja yksittäisten voimaloiden sijoittelusta, koosta ja ominaisuuksista sekä säästä (Marques ym. 2014). Haittavaikutukset vaihtelevat muuttavien ja paikallisten lintujen välillä. Törmäysriski on suurempi linnuilla, jotka eivät välttele tuulivoimaloita. Suurin haitta estevaikutuksesta ja habitaatinmenetyksestä taas kohdistuu tuulivoimaloita voimakkaimmin vältteleviin lintuihin (Furness ym. 2013, Robinson Willmott ym. 2013, Garthe ym. 2023).

Estevaikutus

Estevaikutuksella tarkoitetaan sitä, että tuulivoima-alue toimii siirtymäesteenä linnuille, jotka välttelevät tuulivoima-alueelle lentämistä. Kaukana tosistaan sijaitsevat voimalat eivät toimi fyysisenä esteenä, vaan ilmiö liittyy lintujen käyttäytymiseen. Esteen kiertäminen voi pidentää muuttomatkaa tai pidentää tai muuttaa ruokailulentoja. Tuulivoima-alueen taakse jäävät alueet pahimmillaan menetetään kokonaan ruokailuhabitaatteina ekologisten yksiköiden yhteyden katketessa (Exo ym. 2003), jolloin estevaikutus johtaa habitaatin menetykseen.

Tanskalaisessa tutkimuksessa havaittiin tutkan avulla, että tuulivoima-alueella lentävien hanhiparvien määrä väheni rakentamista edeltäneeseen tilanteeseen verrattuna (Desholm & Kahler 2005). Rakentamisen jälkeen saman alueen kohdalta kulki enää 22 % aiemmasta parvimäärästä. Päivisin tuulivoima-aluetta kohti alun perin lentäneistä hanhiparvista 4,5 % lensi voimala-alueen läpi ja öisin vastaava osuus oli 13,8 %. Alle 1 % linnuista lensi törmäysetäisyydellä voimaloista. Muut parvet väistivät tuulivoima-aluetta. Pohjanmerellä ja Itämerellä noin 70 % muuttavista isokuoveista vältteli tuulivoimaloita vähintään 450 metrin säteellä. Varsinkin syksyllä isokuovien (*Numenius arquata*) lentäessä matalammalla ne nostivat lentokorkeuttaan viimeistään 500 metrin etäisyydellä tuulivoimalasta (Schwemmer ym. 2023). Useimmat petolinnut välttivät meren ylitystä ja valitsevat tarvittaessa lyhyimmän ylitysvälin. Ruotsin ja Tanskan välisessä Kattegatissa tällaisen ylityskäytävän kohdalle rakennetulla tuulivoima-alueella seurattiin petolintujen käyttäytymistä ja havaittiin, että 73 % linnuista vältteli tuulivoima-aluetta jollakin tasolla. Näistä välttelevistä yksilöistä 75 % kääntyi takaisin mantereelle päin ja loput 25 % lähtivät seuraamaan tuulivoima-alueen reunoja, todennäköisesti yrittäen kiertää alueen. Varsinkin takaisin kääntyville linnuille, jotka lähtivät hakemaan vaihtoehtoista ylitysreittiä, tuulivoima-alue toimi selvänä muuttoesteenä (Jacobsen ym. 2019). Muuttomatalle syntyvien yksittäisten ”mutkien” merkitys lienee kuitenkin vähäinen. Esimerkiksi muuttomatalla haahkoille aiheutuva ylimääräinen lentämistarve yhden tuulivoima-alueen takia on osoitettu olevan muuttomatkan kokonaispituuteen verrattuna käytännössä mitätön (Masden ym. 2009), mutta tuulivoima-alueiden määrän kasvaessa useamman alueen yhteisvaikutus voi olla suurempi (Croll ym. 2022).

Estevaikutuksella on potentiaalisesti suurempi merkitys pesimäaikana kuin muuttomatalla. Tuulivoima-alue, joka osuu lintujen pesäpaikan ja ruokailupaikan väliin, voi pidentää tai muuttaa ruokailulentoja. Lennonaikainen energiankulutus vaihtelee lintulajeittain rakenteen ja lentotyylin vaikutuksesta. Pidentyneen yksittäisen lentomatkan aiheuttama lisäenergian tarve lisääntyy ennen kaikkea lajeilla, joiden lentäminen vaatii niiden kokoon nähden paljon energiaa, kuten esimerkiksi merimetsolla ja ruokilla. Eniten energiaa voivat kuitenkin menettää esimerkiksi tiirat, jotka tekevät päivän aikana useamman lyhyen ruokailulennon ja joiden lentomäärät kasvavat eniten koska ne joutuvat kiertämään tuulivoima-alueen useasti päivittäin (Masden ym. 2010). Vähentynyt energiansaanti voi johtaa lisääntyneeseen kuolleisuuteen ja heikentyneeseen lisääntymismenestykseen tulevaisuudessa (ns. carry-over effect).

Habitaatin menetys

Useat linnut välttelevät tuulivoima-alueita, mikä johtaa epäsuoraan elinympäristön (habitaatin) menetykseen, jos alueet ovat aiemmin olleet linnuille tärkeitä esimerkiksi ravinnonhankinta-alueita tai talvehtimisalueita. Välttelyn syynä voi olla melu, rakennelmat tai roottorien lapojen liike, joka voi häiritä lintuja. Huoltoliikenteen aiheuttama lisääntynyt ihmistoiminta voi myös lisätä välttelyä (Welcker & Nehls 2016). Usein linnut eivät kokonaan lopeta liikkumista tuulivoima-alueella, mutta lintujen määrät alueella laskevat verrattuna muihin vastaaviin lähi-alueen rakentamattomiin alueisiin (Welcker & Nehls 2016). Alueiden välttelyllä voi olla vaikutuksia yksilön elinkelpoisuuteen sen lisäessä energiankulutusta ja ravinnon etsintään kuluva aikaa ravinnonhakumatkojen pidentyessä, mikä voi johtaa huonompaan lisääntymismenestykseen ja selviytymiseen. Ravinnon laatu voi myös huonontua, jos lintu joutuu siirtymään huonommille ruokailualueille (Masden ym. 2010, Busch & Garthe 2016). Habitaatin menetyksen haittavaikutukset ovat tässäkin todennäköisesti suurimpia pesimäaikana, kun linnut ovat sidottuja pesän läheisyyteen, ja joutuvat jatkuvasti liikkumaan pesän ja ravinnonhakupaikan välillä (Masden ym. 2010). Jos vaihtoehtoista habitaattia ei ole tarpeeksi tarjolla, lintutiheydet jäljellä olevissa sopivissa habitaateissa voivat kasvaa lisäten kilpailua resursseista (Furness ym. 2013). Merituulivoimaloita välttelevien lintujen habitaatin väheneminen voi johtaa lintukantojen pienemiseen (Grundlehner ym. 2025). Vaikutusten todentaminen lienee kuitenkin vaikeaa.

Linnut, jotka välttelevät voimakkaimmin tuulivoima-alueita, kärsivät suurimmista habitaatinmenetyksistä, ainakin pinta-aloissa mitattuna. Pohjanmerellä tehdyissä tutkimuksissa on havaittu, että talvehtivien kuikkalintujen esiintyminen väheni tuulivoima-alueella ja kilometrin säteellä sen ulkopuolelle 94 % rakentamista edeltäneeseen tilanteeseen verrattuna (Garthe ym. 2023). Toisessa tutkimuksessa kaakkurit (*Gavia stellata*) välttelivät tuulivoima-alueita vahvasti viiteen kilometriin asti, mutta jonkin verran vielä 15 kilometrin etäisyydellä alueesta. Välttelyetäisyys oli lyhyempi huonolla näkyvyydellä, ja toisaalta pidempi yöllä kuin päivällä, mikä mahdollisesti johtui voimaloiden valoista (Heinänen ym. 2020). Ruokkien määrä syksyllä oli ennen-jälkeen-tutkimuksessa vähentynyt jopa 19,5 kilometrin säteellä tuulivoima-alueesta (Peschko ym. 2024). Mallinnusta hyödyntävässä tutkimuksessa todettiin ruokkien välttelevän tuulivoima-alueita kahden kilometrin etäisyydellä ja etelänkiislojen (*Uria aalge*) vähintään 10 kilometrin etäisyydellä (Grundlehner ym. 2025). Muita useissa Pohjanmerellä tehdyissä tutkimuksissa selvästi tuulivoima-alueita vältteleviksi tunnistettuja ja siten habitaattia menettäviä lajeja ovat pikkulokki (yksilömäärä vähentynyt 92 % tuulivoima-alueella), suulat (*Morus bassanus*, vastaavasti 79–98 %) ja tiirat vastaavasti 76 % (Vanermen ym. 2015, Welcker & Nehls 2016, Degraer ym. 2019). Habitaattien menettämisen vaikutusten todentaminen esimerkiksi populaatiotasolla voi osoittautua vaikeaksi, sillä populaatioihin vaikuttaa samanaikaisesti

monta tekijää. Merelle rakennettavien tuulivoima-alueiden määrän ja pinta-alan kasvaessa myös habitaattien menetysten merkitys lintupopulaatioille lisääntynee.

Törmäykset

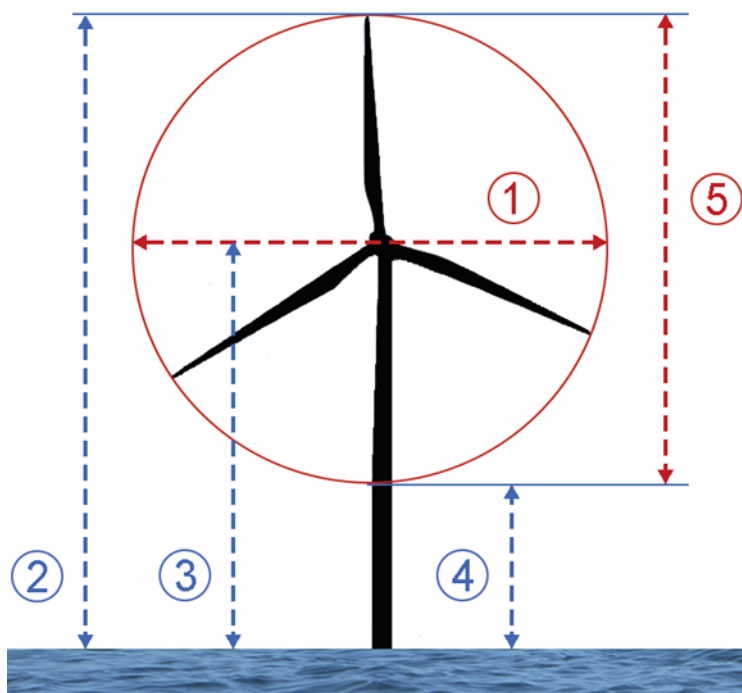
Tuulivoimarakentamisen linnustovaikutuksista eniten huomiota on saanut törmäysriski, jota on tutkittu laajasti (esim. Desholm ym. 2006, Drewitt & Langston 2006, 2008, Hüppop ym. 2006, 2016, Krijgsveld ym. 2009, Johnston ym. 2014, Brabant ym. 2015, Masden & Cook 2016, Lane ym. 2020, Martin & Banks 2023, Baulaz ym. 2025). Koska merellä ei luontaisesti esiinny esteitä, varsinaiset merilinnut eivät ole sopeutuneet välttelemään yksittäisiä merestä kohoavia esteitä (Martin & Banks 2023). Alueella lentävä lintu voi törmätä tuulivoimalaan, jos se lentää lapojen pyyhkäisyssä läpi ja osuu samanaikaisesti samaan paikkaan kuin voimalan lapa, tai vaihtoehtoisesti törmää torniin (ks. kuva 6).

Aiheen saamasta huomiosta huolimatta todellisia meriolosuhteissa tehtyjä havaintoja tai julkaistuja tutkimuksia ei toistaiseksi ole juuri saatavilla. Asian tutkimista vaikeuttaa luonnollisesti se, että voimaloihin törmäävät lintuyksilöt putoavat mereen ja katoavat. Vattenfall-yhtiö on käyttänyt omassa vuonna 2025 raportoidussa selvityksissään Skotlannin edustalla lämpökameroita ja tekoälyä. Alustavien tulosten perusteella tarkkailun kohteena olevassa voimalassa havaittiin vain muutamia törmäyksiä ensimmäisen kevätmuuttokauden aikana ja kaikki törmäykset yllättäen valoisana aikana (<https://group.vattenfall.com/press-and-media/news-room/2025/ai-sheds-light-on-bird-collisions-at-offshore-wind-farms>). Saksassa suoria törmäyskuolemia tutkittiin valaistulla, tuulivoimalan tornia muistuttavalla mastolla varustetulla tutkimusalustalla. Runsaan neljän vuoden aikana alustalta löydettiin 767 törmännyttä lintua, joista suurin osa oli varpuslintuja (Hüppop ym. 2006). Valtaosa törmäyksistä oli tapahtunut lintujen syysmuuton aikana. Tulosten perusteella Hüppop ym. (2006) arvioivat, että Pohjanmerellä kuolee erilaisissa törmäyksissä (tuulivoima, öljynporausrakenteet) vuosittain satoja tuhansia lintuja. Suomessa tuulivoimaloiden torneja ei valaista, mutta lentoestemerkintävalot ovat pakollisia (Traficom 2020). Pohjois-Amerikassa on tehty runsaasti tutkimuksia, joissa kuolleita lintuja on etsitty maalla olevien voimaloiden alta. On arvioitu, että siellä mantereella tuulivoimalatörmäyksiin kuolee vuosittain 140 000–679 000 lintua, joista reilu puolet varpuslintuja (Choi ym. 2020 viitteineen). Suomalaisessa selvityksessä arvioitiin, että Pohjanlahden rannikolla maalla sijaitseviin yksittäisiin tuulivoimaloihin törmäisi vuosittain muutamia lintuja (Suorsa 2019). Norjan Smølan saareen rakennettu tuulivoimala-alue on esimerkki linnuston kannalta huonosta sijoittelusta, koska alueella pesi huomattava määrä merikotkia (*Haliaeetus albicilla*), jotka ovat erityisen alttiita törmäykseen. Vuosina 2005–2023 alueelta on löytynyt yhteensä 133 voimaloihin törmännyttä merikotkaa (Stokke ym. 2024).

Kun luotettavaa tietoa merituulivoiman aiheuttamasta suorasta lisäkuolleisuudesta ei ole, on lukujen suhteuttaminen muuhun vastaavatyypisiin ihmistoimintaan liittyvään välittömään kuolleisuuteen vaikeaa. Erään arvion mukaan USA:ssa rakennuksiin törmäminen ja myös kotikissojen aiheuttavat kummatkin lukumääräisesti satoja tai tuhansia kertoja enemmän kuolleisuutta linnuille kuin merelle rakennettu tuulivoima (<https://environmentamerica.org/center/articles/does-offshore-wind-actually-kill-birds/>). Tässäkin on toki huomattava se, että olosuhteet ja lajistokin on merellä erilainen kuin maalla ja että kokonaislukumäärät eivät kovinkaan hyvin kuvaa mahdollisia vaikutuksia. On esimerkiksi mahdollista, että lisäkuolleisuus kohdistuu lintupopulaatioon, joka ei sitä kestä. Varsinkin pitkäikäiset lajit ovat herkkiä lisäkuolleisuudelle. Skotlannissa tehdyssä merilintujen populaatioiden ominaisuuksiin perustuvassa työssä huomioitiin lisäksi suojelullisia näkökulmia kuten uhanalaisluokituksia, alueen

paikallista merkitsevyyttä lajille ja lajin kykyä hyödyntää eri habitaatteja. Tutkimuksessa merituulivoimarakentamiselle populaatiotasolla herkimpiä olivat lokki- ja merikotkapopulaatiot, seuraavaksi herkimpiä kihujen, tiirujen ja kuikkalintujen populaatiot. Näitä seurasivat sorsalintujen sekä merimetsojen populaatiot. Ruokkilintujen populaatioiden kohdalla mahdollisen törmäysriskin vaikutukset arvioitiin vähäisimmiksi (Furness ym. 2013).

Voimaloiden koko, pyörimisnopeus ja valaistus vaikuttavat oleellisesti laskennalliseen törmäysriskiin. Mitä suurempi roottorin pyyhkäisyalue on, sitä suurempi on riskialue. Nopeammin pyörivää lapaa on vaikeampi väistää, ja lapojen nopea pyörimisliike voi aiheuttaa liikkeen epäterävyyttä ("motion smear"), minkä vuoksi lintu ei välttämättä pysty hahmottamaan lapoja (Hodos 2003, Marques ym. 2014). Voimaloiden valaistuksen on myös osoitettu lisäävän törmäysriskiä. Varsinkin sumuisina ja pilvisinä öinä valo voi houkutella lintuja ja häiritä niiden navigointia (Hüppop ym. 2006, Poot ym. 2008, Marquenie ym. 2013, Rebke ym. 2019).



Kuva 6. Tuulivoimalan mitat. 1) roottorin halkaisija, 2) kokonaiskorkeus, 3) napakorkeus, 4) pyyhkäisykorkeus eli vedenpinnan ja lavan väliin jäävä linnuston kannalta turvallinen korkeus ja 5) riskikorkeus, jolla lentävä lintu voi törmätä lapoihin.

Yksittäisiä lintuyksilöitä koskevan törmäysriskin suuruuden arvioimiseksi on kehitetty useita eri törmäysriskimalleja (collision risk models, CRM), joissa arvioidaan lintujen riskiä törmätä voimalaan ottaen huomioon lintujen ja voimaloiden ominaisuuksia (Masden & Cook 2016). Näistä yleisimmin käytetty on ns. Bandin törmäysmalli (Band ym. 2007, Band 2012). Mallissa voi erikseen arvioida muuttavien ja paikallisten lintujen törmäysriskiä. Mallit sisältävät runsaasti parametrejä ja ovat herkkiä oletuksille (Cook ym. 2018, Masden ym. 2021). Törmäysriskimallit voivat olla hyödyllisiä työkaluja hankkeiden ympäristövaikutusten arvioinneissa, mutta kun malleja kehitetään ja niihin lisätään uusia parametrejä, myös epävarmuustekijät lisääntyvät (Searle ym. 2025). Cook ym. (2025) tarkastelivat tämänhetkisen mallikirjon haasteita ja esittävät, että malleja tulisi validoida rakentamisen jälkeen tehtyjen seurantojen perusteella.

Törmäysriskimalleissa kiinnitetään huomiota myös lintujen ominaisuuksiin. Ominaisuuksien perusteella eri lintulajeille on arvioitu lajikohtaiset väistökertoimet, jotka kuvaavat linnun

todennäköisyyttä törmätä tuulivoimalaan (esim. Furness ym. 2013, Robinson Willmot ym. 2013, Bradbury ym. 2014). Linnut, jotka syystä tai toisesta hakeutuvat tuulivoimaloiden läheisyyteen, lisäävät samalla törmäysriskiään. Jos tuulipuistoalueella on paljon ravintoa, linnut voivat hakeutua sinne ravinnon perässä (Gartman ym. 2016). Merituulivoimala-alueiden kannalta tämä voi tarkoittaa pientä korotettua törmäysriskiä esimerkiksi haahkoilla, jos ne tulevat hyödyntämään rakenteissa kasvavia simpukoita (Dierschke ym. 2016, Fox & Petersen 2019), vaikkakin ruokailun yhteydessä lennot tapahtuvat pääsääntöisesti riskikorkeuden alapuolella. Ketteräliikkeiset linnut välttelevät tehokkaammin tuulivoimaloita kuin lajit, jotka ovat jäykkäliikkeisiä eivätkä pysty tekemään nopeita väistöliikkeitä (Garthe & Hüppop 2004). Tällaisia erityisen riskialttiita lajeja ovat kaartelevat isokokoiset linnut kuten petolinnut ja korppikotkat, joilla on korkea siipien kuormitus (eli ovat painavia siipipinta-alaan nähden) (Barrios & Rodríguez 2004, Marques ym. 2014). Pääskyt ja tiirat ovat esimerkkejä lajeista, jotka ovat taitavia tekemään väistöliikkeitä. Yleisesti linnuilla on erittäin hyvä näkö, mutta esimerkiksi joillakin petolinnuilla näkökenttä on suppea mikä voi lisätä törmäysriskiä varsinkin, jos ne lentävät saalistaessaan katse alaspäin kohdistettuna (Martin 2011, 2012, May ym. 2015).

Linnut lentävät vain osan ajasta riskikorkeudessa. Saksalaisessa tutkimuksessa todettiin, että noin 70 % paikallisista merilinnuista lentää alle 30 metrin korkeudella eli lapojen pyyhkäisykorkeuden alapuolella (Borkenhagen ym. 2018). Riskikorkeudella säännöllisesti lentäviä lajeja olivat ennen kaikkea suuret lokit, mutta myös pienet lokit, merikotka ja haahka (Garthe & Hüppop 2004, Furness ym. 2013, Johnston ym. 2014, Borkenhagen ym. 2018). Isokuovit ja merikotkat lentävät meren yllä matalammalla kuin maalla (Tikkanen ym. 2018, Schwemmer ym. 2022). Kuovin muuttokäyttäytymistä on tutkittu Euroopassa GPS-seurannan avulla. Laajan aineiston perusteella Itämeren yli muuttavat isokuovit lensivät merellä 27–37 % ajasta riskikorkeudella (20–300 metriä). Vuodenaikaset erot olivat suuria, sillä syysmuuton aikana 50 % lentoajasta osui riskikorkeudelle, mutta keväällä vain 18,5 % (Schwemmer ym. 2022, 2023). Pohjanmerellä tehdyn tutkaseuranta-aineiston perusteella riskikorkeudella muuttaa syksyllä Pohjanmeren yli erityisesti varpuslintuja yöaikaan (Fijn ym. 2015).

Tuuli vaikuttaa lintujen lentokorkeuteen eri tavalla riippuen lintujen lentotyylistä (Ainley ym. 2015) ja vuodenajasta (Bradarić ym. 2024). Yleisesti, vesilinnut ja kurjet lentävät keskimäärin korkeammalla myötätuulessa kuin vastatuulella, mikä korostuu tuulen yltyessä (Kruger & Garthe 2001, Krijgsveld ym. 2011, Skov & Heinänen 2015, Welcker & Vilela 2019) ja huonolla näkyvyydellä (Skov ym. 2025). Myös lintujen lentonopeus ja tulokulma vaikuttavat törmäysriskiin – mitä hitaammin lintu lentää, tai mitä suuremmasta kulmasta se tulee voimalan riskialueelle, sitä kauemmin se on riskialueella (Masden & Cook 2016, Masden ym. 2021). Myötätuuleen linnut lentävät nopeammin, jolloin törmäysriski pienenee, vastaavasti lento on hitaampaa vastatuulella, lisäten törmäysriskiä (Masden ym. 2021). Kun näkyvyys heikkenee törmäysriski yleisesti kasvaa, ollen suurempi yöllä, sumussa, sateella, lumisateella ja myrskysäällä korkeilla tuulennopeuksilla (Hüppop ym. 2016, Fox & Petersen 2019).

Haittojen vähentämiskeinoista

Tehokkain tapa vähentää tuulivoimarakentamisesta linnustolle koituvia haittoja on sijoittaa tuulivoimaloita alueille, jotka eivät ole tärkeitä linnuille, erityisesti uhanalaisille tai törmäysherkille lajeille. Riskien vähentämiseksi tuulivoimarakentamista tulisi merellä välttää tärkeille ruokailu-, lepäily- ja sulkasatoalueille, ruokailu- ja pesimäalueiden väliin tai tärkeille muuttoreille (Johnson ym. 2007, Liehti ym. 2013, Marques ym. 2014, Gartman ym. 2016).

Maalle sijoitettujen tuulivoimaloiden sijoittelua koskevista tutkimuksista on todettu, että kannattaa huomioida voimaloiden etäisyydet ja asettelu niin, että lentäminen niiden välistä helpottuu (Gartman ym. 2016). Isossa-Britanniassa Drewitt ja Langston (2006) suosittelivat, että voimalat asennetaan riveihin lintujen päälentosuunnan mukaisesti, mikä voisi olosuhteiden salliessa olla hyvä tapa myös merellä. Merituulivoimaloiden väliin suositellaan jätettävän laajoja lentokäytäviä, mutta tutkimustietoa eri lajeille tarvittavista käytävistä ei ole (Gartman ym. 2016). Nykyisin suunniteltavien voimaloiden väli onkin yleensä vähintään 1,5 kilometriä. Tehokkaammat voimalat lisännevät voimalakohtaista törmäysriskiä, mutta törmäysten kokonaismäärä tuotettua energiamäärää kohden todennäköisesti vähenee, jos rakennetaan pienempi määrä tehokkaita voimaloita (Thaxter ym. 2017) ja voimaloiden koon kasvaessa myös niiden väliin jäävät vapaat tilat kasvavat voimaloiden välisten etäisyyksien pidentyessä.

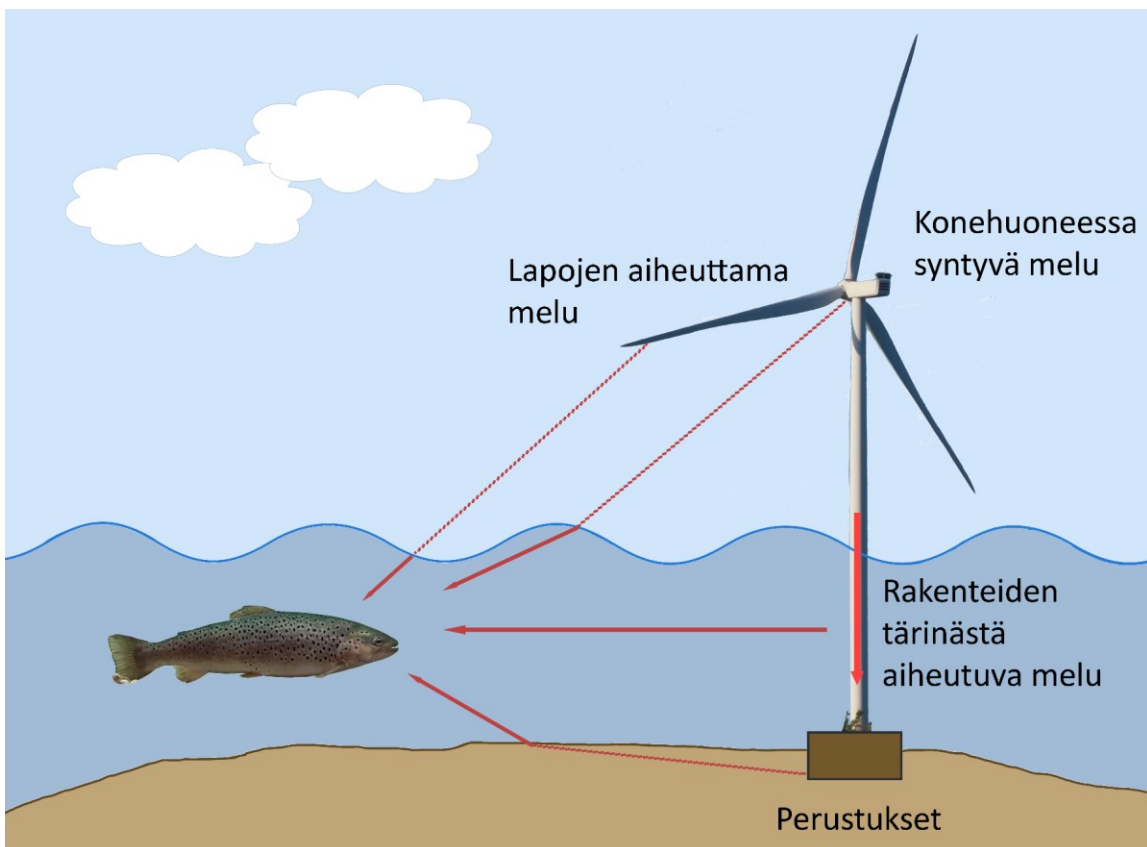
Jos linnut eivät lennä tuulivoima-alueella, ne eivät myöskään altistu törmäysriskille. Törmäyksiä voi ehkäistä pitämällä linnut poissa alueelta tai ainakin olemalla houkuttelematta niitä sinne. Traficomien lentoestemääräysten mukaan voimalat tulee merkitä valolla. Erityisesti yömuutolla olevia maalintuja törmää herkästi valaistuihin torneihin (Hüppop ym. 2006). Tuulivoimaloiden valaistuksen houkutusvaikutusta on mahdollista vähentää käyttämällä jatkuvasti palavan valon sijasta vilkkuvaa valoa (Hüppop ym. 2006, Poot ym. 2008, Marquenie ym. 2013, Rebke ym. 2019). Tasaisesti loistava valkoinen valo on todettu huonoimmaksi vaihtoehdoksi, mutta muiden värien vaikutuksissa on tutkimustulosten välillä jonkin verran ristiriitaa. Nykytiedon mukaan merituulivoimaloissa tulisi valkoisen valon lisäksi välttää sinistä valoa, punaisen värin ollessa vähiten haitallinen (Rebke ym. 2019, Zhao ym. 2020). Useilla tuulivoima-alueilla on otettu käyttöön ns. tarpeenmukainen yömerkintäjärjestelmä (BNK, demand-controlled night marking), jossa estevalot aktivoituvat vain ilma-aluksen lähestyessä (Tutkaohjattu estevalaistusjärjestelmä, Aircraft Detection Lighting System, ADLS). Tämä vähentää valosaastetta ja oletettavasti linnustoon kohdistuvaa häiriötä (Orr ym. 2016). Saksassa tämä on ollut tuulivoimaloissa pakollista vuodesta 2025 alkaen (Weigel ym. 2022). Suomessa vaadittavan valaistuksen väri, kesto ja teho on säädetty lentoestemääräyksissä, joten nykyisten säädösten puitteissa valaistuksen muuttaminen ei kuitenkaan vielä ole mahdollista (Traficom 2020).

Lapojen nopea pyöriminen aiheuttaa liike-epäterävyyttä, joka voi vaikeuttaa liikkuvien lapojen havaitsemista. Ongelmaa voi vähentää maalaamalla yksi lapa tai sen päätyosa mustaksi (Hodos ym. 2003). Norjan Smølan saarella olevan tuulivoima-alueella tehdyn tutkimuksen perusteella menetelmä vähensi petolintujen törmäyksiä 70 % (May ym. 2020). Tutkittujen voimaloiden määrä ja aineiston koko olivat kuitenkin pieniä ja lisätutkimuksia tarvittaisiin tulosten vahvistamiseksi. Menetelmä voisi toimia myös merellä.

Törmäysriskiä voi myös pienentää aktiivisilla toimilla eli pysäyttämällä voimalat tilapäisesti silloin kuin törmäysriski on suurimmillaan. On esimerkiksi mahdollista käyttää kameroilla ja tutkilla toimivia automaattisia havaintolaitteistoja, jotka pysäyttävät voimalat lintujen tai lintu-parvien lentäessä alueen sisälle (Marques ym. 2014, Danovaro ym. 2024). Vuodesta 2023 lähtien Hollannin Borssellessa sijaitsevien merituulivoima-alueiden voimalat on pysäytettävä aina kun läpimuuttavien lintujen määrät roottorikorkeudella ylittävät 500 lintua /km² (Degraer ym. 2021). Myös Tahkoluodossa on kokeiltu vastaavaa järjestelmää, jossa voimaloita on tarpeen mukaan pysäytetty parin minuutin ajaksi, mutta järjestelmän hyödyt on arvioitu vähäisiksi (Mäkelä 2021). Tällaisten järjestelmien kehittäminen, hyötyjen arviointi ja mahdollinen käyttöönoton yleistyminen edellyttäisivät paljon lisätutkimusta ja esimerkiksi todennettua tietoa törmäyskuolleisuudesta.

2.2.2. Vedenalainen melu - kalat ja merinisäkkäät

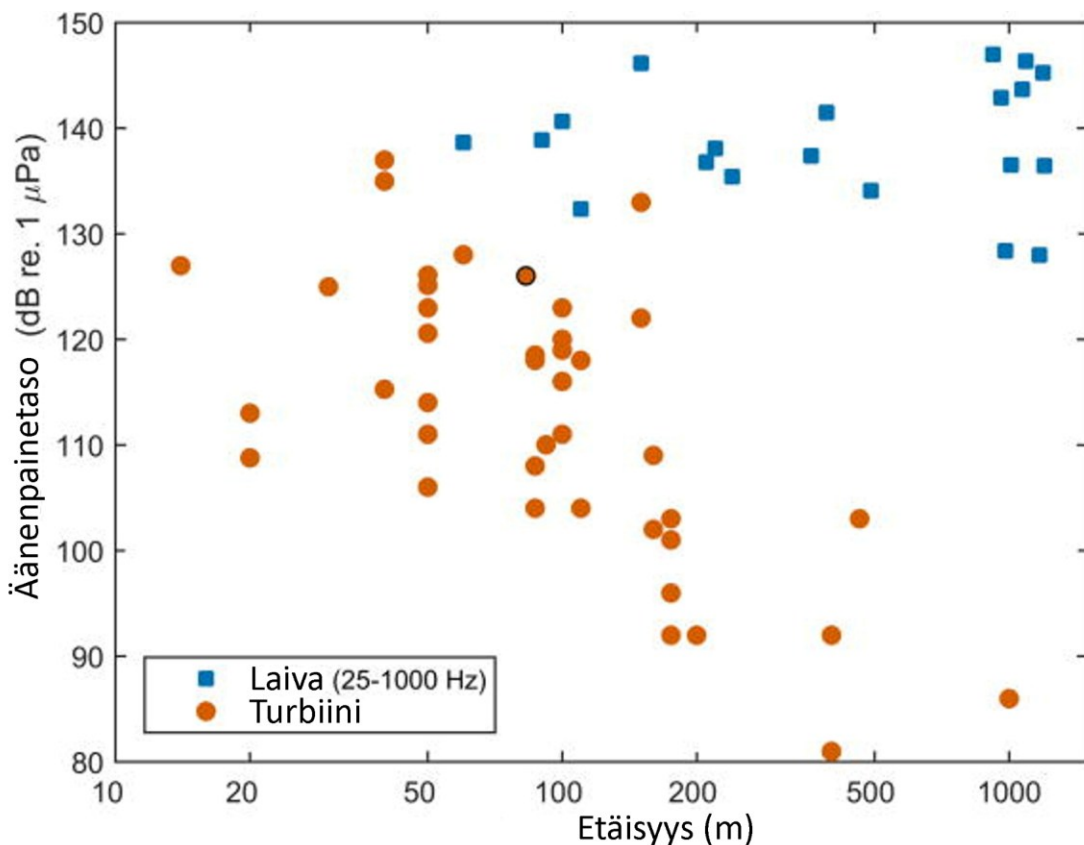
Perustietoa vedenalaisesta melusta ja sen mittaamisesta on esitetty luvun 2.1.2. alussa. Voimaloiden konehuoneessa (nasellissa) liikkuvista osista syntyy mekaanisesti matalataajuisia, alle 1 kHz:n taajuisia ääntä lapojen pyöriessä. Tuulen aiheuttama tornin värinä aiheuttaa myös ääntä, joka kulkeutuu tornin läpi ja säteilee perustuksesta veteen (Tougaard ym. 2020). Ääni kulkeutuu veteen suoraan ilman kautta tai voimalan rungon kautta (Kuva 7). Voimaloiden aiheuttamat vedenalaiset äänet ovat lähes jatkuvia, mutta äänen voimakkuus vaihtelee tuulen ja lapojen pyörimisnopeuden sekä lapojen koon mukana (Mooney ym. 2020). Tuulivoima-alueen melun tasoon vaikuttavat myös mm. voimaloiden perustustyyppi, koko ja lukumäärä, taustamelun taso, veden syvyys ja pohjan laatu (Wahlberg & Westerberg 2005). Voimaloiden koon vaikutus ei kuitenkaan ole yksiselitteinen. Perustuksen mekaaniset resonanssit todennäköisesti kasvavat voimaloiden koon kasvaessa. Toisaalta suurissa voimaloissa myös etäisyys konehuoneesta (pääasiallinen melun lähde) veteen on suurempi kuin pienemmissä voimaloissa. Voimaloiden tornit ovat käytännössä aina terästä, mutta pitkälle vedenpinnan yläpuolelle ulottuvien perustusten materiaalit (teräs, betoni tai niiden yhdistelmä) voivat myös vaikuttaa vedenalaiseen meluun ja sen taajuuteen. Myös tekninen kehitys voi vähentää voimaloiden synnyttämää ääntä (Tougaard ym. 2020).



Kuva 7. Merituulivoimalasta pinnan alle päätyvän melun kulkeutumisreitit.

Tougaard ym. (2020) kokosivat kirjallisuudesta tietoja merituulivoiman tuotantovaiheen aiheuttamasta vedenalaisesta melusta. He löysivät aineistoa 17 tuulivoima-alueelta (voimaloiden teho 0,2–6,15 MW). Voimaloiden aiheuttama äänenpaineen taso, mitattuna 100 metrin etäisyydeltä lähteestä, oli yleensä noin 105–125 dB re 1 μ Pa. Korkein mitattu taso oli 137 dB re 1 μ Pa, 40 metrin päässä voimalasta (Tougaard ym. 2020). Vallitseva äänen taajuus vaihteli eri kohteissa välillä 25–400 Hz. Risch ym. (2023) mittasivat kohtalaisen kovalla tuulella saman

suuruusluokan äänenpainetasoja (148,8 dB ja 145 dB re 1 μ Pa) isojen (6 ja 9,5 MW) kelluvien voimaloiden vierestä ja 600 metrin päässä äänenpaineen mediaanit olivat 95–100 dB ja taajuudet pääasiassa alle 200 Hz. Yksittäisten voimaloiden aiheuttama melutasot olivat vähintään 10–20 dB alempia kuin yksittäisten kaupallisten alusten aiheuttamat melutasot samalta etäisyydeltä mitattuna (Kuva 8) ja laivojen aiheuttama melu heikkeni vähemmän etäisyyden kasvaessa (Tougaard ym. 2020). Toisaalta tuulivoima-alueella voi olla esimerkiksi 100 voimalaa, joten melutaso tuulisella säällä voi nousta muutamien satojen neliökilometrien laajuisella alueella. Tuulivoima-alueen ulkopuolella melu ulottuu muutaman kilometrin päähän, jonka jälkeen se tavallisesti peittyy taustamelun alle (Mooney ym. 2020). Voimaloiden aiheuttaman melun lisäksi, tuulivoimaloita ja muuntaja-asemia huoltavat alukset tuottavat myös melua. Isot tuulivoima-alueet voivat tarvita jopa lähes päivittäistä huoltoa, mikä johtaa alusten aiheuttaman melun lisääntymiseen verrattuna tilanteeseen ennen rakentamista. Toisaalta alukset ovat kauppalaivoja pienempiä ja liikkuvat alueella alhaisella nopeudella, mikä vähentää melun syntymistä. Ja kauppalaivat välttänevät tuulivoima-alueita. Tuulivoiman tuotannosta aiheutuvaa melua ei voida juuri vähentää (Mooney ym. 2020).



Kuva 8. Rahtilaivojen ja merituulivoiman aiheuttaman vedenalaisen melun mittaustuloksia eri etäisyyksillä (Tougaard ym. 2022).

Vaikka rakennusvaiheen melutasot ja riskit eläimille aiheutuville haitallisille vaikutuksille ovat suurempia kuin tuotantovaiheessa, myös tuotannon aikainen pitkäaikainen ja vaihteleva vedenalainen melu voi periaatteessa aiheuttaa kaloille hyvin vaikeasti todennettavia haitallisia vaikutuksia. Kuuloaisti on tärkeä kaloille, koska kuulo tarjoaa kaloille laajasti tietoa niiden ympäristöstä (Popper & Hawkins 2019). Ääni ja kuulo ovat tärkeitä kalojen välisessä viestinnässä (Maiditsch & Ladich 2022), parittelukäyttäytymisessä (Blom ym. 2019), saaliin ja saalistajien havaitsemisessa (Simpson ym. 2016) sekä suunnistuksessa ja kalaparvien uinnin

koordinoinnissa (esim. Herbert-Read ym. 2017, Kim ym. 2024). Periaatteessa mikä tahansa ääni, joka häiritsee kalan kykyä reagoida ympäristöönsä saattaakin heikentää yksilöiden selviytymistä ja populaatioiden elinvoimaa (Popper & Hawkins 2019). Toisaalta ainakin Etelä-Ruotsissa Lillgrundin tuulivoima-alueella ja sen lähiympäristössä tehdyissä tutkimuksissa (Bergström ym. 2013) todettiin, että tuulivoima-alueen pohjakalasto ei poikennut merkittävästi vertailualueiden pohjakalastosta (Bergström ym. 2013). Tuulivoima-alueen sisällä petokalaja (turska, ankerias (*Anguilla anguilla*) ja isosimppu (*Myoxocephalus scorpius*)) havaittiin enemmän voimaloiden välittömässä läheisyydessä kuin muualla. Havainnot viittaisivat siihen, että tuulivoiman melu ja muut vaikutukset eivät merkittävästi haitanneet pohjakalaja.

Myös merinisäkkäille kuulosta on tärkeä (ks. luku 2.1.2.) ja siksi voisi ajatella tuulivoima-alueen tuotantovaiheen äänien mahdollisesti häiritsevän myös niitä, vaikka äänen voimakkuudet jäävät voimaloiden vieressäkin alhaisemmiksi kuin voimakkuudet, joiden arvioidaan voivan aiheuttaa hylkeille kuulovaurioita (ks. Southall ym. 2019). Toisaalta hylkeiden ei ole havaittu välttelevän tuulivoima-alueita, joskin tutkimustietoa aiheesta on rajallisesti. Esimerkiksi McConnel ym. (2012) seurasi viiden hallin ja viiden kirjohylkeen liikkeitä telemetrian avulla Tanskan edustalla, eivätkä havainneet tuulivoima-alueiden vaikuttavan mitenkään hylkeiden käyttäytymiseen. Pohjanmerellä tehdyssä tutkimuksessa on myös havaittu, että hylkeitä voi kertyä voimaloiden läheisyyteen, ilmeisesti ravintoa etsimään (Russel ym. 2014). Kirjallisuustietoa melun vaikutuksesta norpan tai harmaahylkeen pesintävaiheeseen ei ole saatavilla.

Tougaard ym. (2020) korostavat, että merituulivoima-alueiden melun mahdollisia vaikutuksia ei voida arvioida yksittäisten voimaloiden aiheuttamien melutasojen perusteella vaan koko tuulivoima-alueen kumulatiivinen vaikutus äänimaailmaan ja eliöstöön on huomioitava. Myös muut ihmisen aiheuttamat melut on otettava tässä huomioon. Suuret laivat tuottavat matalataajuista ääntä, jotka voivat vedessä kulkea jopa satojen kilometrien päähän ja nostaa melutasoa laajalla alueella. Jos melutaso on alueella erityisen korkea, kuten sataman tai laivaväylän vieressä, voimaloista syntyvä melu voi olla havaittavissa vain hyvin lähellä yksittäisiä voimaloita. Sen sijaan alueilla, joilla luonnollinen melutaso on alhainen ja esimerkiksi laivaliikenne vähäistä, merituulivoimalla on todennäköisesti suurempi vaikutus kaloihin ja merinisäkkäisiin (Tougaard ym. 2020). Tougaard ym. (2020) korostavat, että kumulatiiviset vaikutukset tulisi käsitellä sekä laajamittaisissa ympäristön vaikutusten arvioinneissa merialueiden käytön suunnittelun yhteydessä että yksittäisten hankkeiden ympäristövaikutusten arvioinneissa.

2.2.3. Elektromagneettiset kentät ja vaelluskalat

Vedenalaisten kaapeleiden elektromagneettiset kentät

Veden alla kulkevassa sähkökaapelissa siirtyvä energia synnyttää elektromagneettisen kentän. Se muodostuu sähkökentästä, magneetikentästä ja indusoidusta sähkökentästä. Kaapelia ympäröivä suojakerros estää sähkökentän siirtymisen ympäröivään veteen, mutta magneetikenttä muodostuu myös kaapelin ympäristöön. Tasavirta muodostaa johtimen ympärille staattisen magneetikentän, kun taas vaihtovirta muodostaa muuttuvan magneetikentän, jonka muutokset aiheuttavat myös ympäröivään veteen indusoituvia / indusoituneita sähkökenttiä. Veden tai esimerkiksi kalojen liikkua minkä tahansa magneetikentän läpi syntyy paikallisia indusoituja sähkökenttiä (esim. Gill & Desender 2020). Elektromagneettiset kentät ovat lineaarisesti riippuvaisia kaapelissa virran määrästä. Indusoituvia sähkökenttiä on vaikea mitata ja ne riippuvat hyvin paljon myös ympäristön ja eliöiden ominaisuuksista. Siksi

vedenalaisten kaapelien elektromagneettisten kenttien biologisia vaikutuksia on tavallisesti tarkasteltu suhteessa magneettikenttään (esim. Gill & Desender 2020).

Kaapelin ympärille muodostuvan magneettikentän intensiteettiin ja ominaisuksiin vaikuttaa mm. käytetty sähköjärjestelmä (tasavirta, vaihtovirta ja sen kohdalla myös taajuus ja amplitudi) ja kaapelissa kulkevan virran määrä. Muita kenttiin vaikuttavia tekijöitä ovat mm. kaapelin ominaisuudet ja suojaus, ympäristötekijät kuten sähkönjohtavuus ja virtaukset sekä maan magneettikentän voimakkuus (esim. Gill & Desender 2020, Verhelst ym. 2025). Nykyisin käytössä olevilla merituulivoima-alueilla sähkönsiirtomatkat mantereelle ovat yleensä alle 50 kilometriä, jolloin sähkönsiirto tapahtuu tavallisesti vaihtovirtana (Soares-Ramos ym. 2020). Etäisyyksien kasvaessa tasavirran käytön arvellaan lisääntyvän. Magneettikentällä on suunta (koh-tisuoraan kaapelin suuntaan nähden) ja voimakkuus. Magneettikentän intensiteettiä kuvataan yleisesti magneettivuon tiheydellä (B), jota SI-järjestelmässä mitataan yksiköllä Tesla (T). Magneettivuon tiheys on kääntäen verrannollinen etäisyyteen johtimesta (Dhanak ym. 2016), joten etäisyyden kasvaessa kaksinkertaiseksi tiheys puolittuu.

Myös maapallon sisäosien sähkövirrat synnyttävät magneettikentän, joka maan läheisyydessä vastaa muodoltaan maan keskipisteeseen kuvitellun sauvamagneetin kenttää eli kenttä on pohjoinen-etelä-suuntainen. Maapallon magneettikentän vuon tiheys Etelä-Suomessa on tyyppillisesti 50 μT ja se vaihtelee napojen ja päiväntasaajan välisellä alueella välillä 25–65 μT . Magneettikenttien mittaaminen veden alla meriolosuhteissa vaatii erityistä osaamista ja laitteistoa. Siksi varsinaisia *in situ* mittaustuloksia löytyy kirjallisuudesta vain niukasti. Hermans ym. (2024) etsivät mittaustietoja kirjallisuudesta ja sieltä löytyneet mitatut magneettivuon tiheydet vaihtovirtakaapeleiden yläpuolella vaihtelivat välillä 0.004 μT –6,54 μT ja tasavirtakaapeleiden yläpuolella 0.46–20.7 μT . (jälkimmäiset poikkeamia maan aiheuttaman magneettikentän yläpuolelle). Melko harvalukuiset mittaukset oli pääosin tehty pohjan tasolta, 1–2 metriä pohjan tason alapuolelle kaivettujen kaapeleiden kohdalta. Mittauksia ei tehty voimakkaalla tuulella, jolloin kaapeleissa kulkevan virran määrä olisi ollut suurempi. Hermansin ym. (2024) tekemien mallinnusten perusteella Hollannin edustalla uudehkojen tuulivoima-alueiden pohjan sisään kaivettujen vaihtovirtakaapeleiden kohdalla meren pohjan tasolla magneettivuon tiheys keskimääräisellä talvituuliskenaariolla (80 % kokonaiskapasiteetista) oli noin 10 μT ja vastaavasti tasavirtakaapeleiden kohdalla runsaat 20 μT . Suunnitteilla olevan uuden isoon tuulivoima-alueen kohdalla jopa noin 50 μT . Kirjoittajat totesivat, että mallinnusten ja mittausten tulosten välillä voi olla hyvinkin isoja eroja. Ehkä mielenkiintoisin mallinnuksiin perustuva tulos kuitenkin oli se, että kaikissa mallinnetuissa tapauksissa kaapelin aiheuttaman magneettivuon tiheys oli alle 1 μT jo noin 2,5 metrin etäisyydellä kaapelista. Hyvin vähäisiä tiheyksiä (nT) saattoi mallien mukaan ulottua vaihtovirran ja tasavirran tapauksissa vielä 120 ja 250 metrin päähän kaapelista. Yleisesti ottaen tietoja siirtokaapeleiden aiheuttamista magneettikentistä ja niiden vaimenemisesta löytyy kirjallisuudesta hämmästyttävän vähän. Myös Dhanak ym. (2016) totesivat, että tehdyistä mittauksista ja mallinnoista huolimatta tietämys vedenalaisten kaapeleiden aiheuttamista elektromagneettisista kentistä on puutteellista. Tulevaisuudessa mahdollisesti enemmän rakennettavista kelluvista voimaloista johtimet kulkevat vesipatsaan läpi pohjalla, jolloin elektromagneettisia kenttiä syntyy laajemmalle alueelle myös koko vesipatsaaseen.

Magneettikentät ja kalojen vaellukset

Monien vaelluskalojen tiedetään pystyvän havaitsemaan magneettikenttiä. Ne pystyvät hyödyntämään maapallon magneettikenttää monella tavalla tilatiedon määrittämisessä, esimerkiksi suunnan ja uintikulman arvioimisessa ja paikallisten maan magneettikentän poikkeamien tunnistuksessa. Nämä poikkeamat toimivat kuin ”maamerkkeinä” kalojen vaellusreiteillä ja luovat kaloille magneettisen vedenalaisen kartan (Naisbett-Jones & Lohmann 2022). Lohella tätä on tutkittu myös laboratorio-olosuhteissa, joissa kaloja on altistettu ”magneettiselle siirtymälle” (esim. Putman ym. 2014, Minkoff ym. 2020). Ominaisuus saattaa olla geneettisesti periytyvä yhteinen piirre monille lohikaloille (Scanlan ym. 2018). Maan magneettikentän paikalliset vaihtelut ovat suuruusluokkaa 0.002–0.005 $\mu\text{T}/\text{km}$ (Nyqvist ym. 2020), joten magneettikenttiä käyttävien lajien voidaan olettaa havaitsevan hyvinkin pieniä (nanoteslatason) muutoksia kentissä, kuten on todettu enemmän tutkittuja haikaloja käsittelevissä artikkeleissa (Klimley 1993, Meyer ym. 2005, Anderson ym. 2017). Ihmisen aiheuttamat sähkömagneettiset kentät tuottavat poikkeamia (magneettivuon tiheys ja kentän suunta) maapallon tuottamaan luonnolliseen magneettikenttään ja lajit, jotka hyödyntävät maapallon magneettikenttää suunnistuksessa ja jotka vaeltavat pitkiä matkoja, ovat oletettavasti muita lajeja herkempiä ihmisen tuottamiin sähkökenttien vaikutuksille (Durif ym. 2013).

Havaintoja mahdollisista magneettikenttien haitallisista vaikutuksista vaelluskalojen liikkeisiin on tehty lähinnä vain kalojen nuoruusvaiheille ja koeolosuhteissa, joissa esimerkiksi altistukseen käytetyt magneettikentät ovat voineet olleet voimakkaampia kuin todellisissa tilanteissa ja toisaalta laboratorion keinotekoiset olosuhteet ovat saattaneet vaikuttaa muutenkin tuloksiin (Svendsen ym. 2022, Verhelst ym. 2025). Aidoissa olosuhteissa sähkökaapeleiden vaikutusta lohen vaellukseen on tutkittu San Franciscon lahdella. Siellä Wyman ym. (2018) totesivat, että jotkut kaapelit vetivät puoleensa vaellukselle lähteviä vaelluspoikasia ja toisia kaapeleita ne vaikuttivat välttelevän, mutta kokonaisuudessaan he totesivat, että kaapeleilla ei ollut suurta vaikutusta vaelluskäyttäytymiseen. Vastaavia tutkimuksia aikuisille lohikaloille ei kirjallisuudesta löytynyt. Ankeriaan tiedetään olevan herkkä elektromagneettisille kentille ja sähkökaapeleiden vaikutuksia ankeriaan liikkeisiin on seurattu myös luonnollisissa olosuhteissa. Westerberg ja Lagenfelt (2008) seurasivat telemetrian avulla lähettimillä varustettujen ankerioiden vaellusta Itämerellä Öölannin ja Ruotsin mantereiden välisessä salmessa, jonka poikki kulkee 130 kV:n vaihtovirtakaapeli. He havaitsivat ankerioiden liikkumisen hidastuvan merkittävästi kaapelin kohdalla, mutta totesivat, että tämä viive tuskin vaikuttaa mitenkään ankeriaan yli 7 000 kilometrin kutuvaellukseen. Myös Hutchinson ym. (2021) havaitsivat, että vaelluksella olevat Amerikan ankeriaat (*Anguilla rostrata*) reagoivat meressä olevaan tasavirtakaapeliin liikkumalla nopeammin lähestyessään kaapelia. Myös heidän johtopäätöksensä oli, että kaapelilla ei kuitenkaan ollut mainittavaa vaikutusta vaellukseen eikä se toiminut vaellusesteenä. Merituulivoiman aiheuttamien magneettikenttien vaikutukset vaelluskaloihin onkin edelleen puutteellisesti tutkittu tutkimusaihe (Verhelst ym. 2025). Selkeä ja systemaattinen näyttö siitä, että merituulivoiman magneettikentät vaikuttavat vaelluskalojen käyttäytymiseen, puuttuu edelleen (esim. Honkanen ym. 2025).

2.2.4. Elinympäristöjen rakenteelliset muutokset – kalat ja merinisäkkäät

Pohjalle tehtävät rakenteet peittävät alle jäävää elinympäristöä, ja asiaa on lyhyesti käsitelty rakentamisen aikaisten vaikutusten yhteydessä luvussa 2.1.3. Toisaalta pohjaan kiinnitettävät voimalat luovan pohjalle ja vesipatsaaseen keinotekoista kovaa ympäristöä, johon ajan myötä kiinnittyy ja kertyy eliöstöä. Tätä kutsutaan keinotekoiseksi riuttaefektiksi (esim. Reubens ym.

2013). Muutos pohjan tuntumassa on selvintä silloin, kun voimaloita rakennetaan pehmeille pohjille. Myös kaapeleista ja putkistoista voi muodostua vastaavalla tavalla toimivia rakenteita pohjalle. Tällaisten rakenteiden – samoin kuin esimerkiksi öljynporauslauttojen tiedetään houkuttelevan myös joitakin pohjakalalajeja. Bergström ym. (2013) totesivat tämän Itämeren eteläosassa Lillgrundin tuulivoima-alueella, jossa pohjalla eläviä petokaloja oli enemmän yksittäisten voimaloiden vieressä kuin kauempana niistä. Toisaalta he eivät havainneet pohjakalastossa merkittäviä eroja tuulivoima-alueen ja vertailualueiden välillä eli laajemmassa mitassa riittäväikutusta ei havaittu. Ruotsin mantereen ja Öölannin väliseen salmeen matalikolle (7–9 metrin syvyys) rakennetut voimalat houkuttelivat tavallisesti litoraalissa viihtyviä seitsenruotokkoja (*Pomatoschistus flavescens*) (Andersson ja Öhman 2010). Pohjanmerellä tehtyjä tutkimuksia koskevassa isomman mittakaavan synteesissä (Knorrn ym. 2024) todettiin, että pohjakalojen runsaus oli usein suurempi tuulivoima-alueilla kuin vertailualueilla. He kuitenkin totesivat, että rakenteet voivat lisätä kalojen määrää, mutta ainakin osasyynä saattaa olla se, että tuulivoima-alueilla ei käytännössä voi kalastaa, eli niistä oli tullut pohjakalojen osalta ”no-take” -alueita. Edelleenkin on siis epäselvää, ovatko tuulivoima-alueet lisänneet kalojen biomassaa vain onko alueelle vain kertynyt yksilöitä lähialueilta (Knorrn ym. 2024).

Tuulivoimaloiden perustukset voivat periaatteessa vaikuttaa positiivisesti niihin kalalajeihin, jotka kutevat kovilla pohjilla (Vandendriessche ym. 2016). Esimerkiksi silakan kutu on riippuvainen sopivasta kovasta pohjasta, joten silakka saattaisi hyötyä tuulivoimaloista alueilla, missä merenpohja koostuu pelkästään mudasta tai hiekasta. Toisaalta ainakin Pohjanmerellä pyritään nimenomaan välttämään tuulivoimarakentamista alueilla, joilla tiedetään olevan tärkeitä silakan kutualueita. Kirjallisuudesta löytyy havaintoja siitä, että Pohjanmerellä hylkeitä on kertynyt voimaloiden ja öljynporausrakenteiden lähelle, todennäköisesti ravinnon houkuttelevana, kohonneesta vedenalaisesta melusta huolimatta (Russel ym. 2014, Clausen ym. 2021). Merituulivoiman mahdollisista vaikutuksista hylkeiden pesintään tai lisääntymiseen ei löydy havaintoihin perustuvaa kirjallisuutta.

Usein on myös esitetty, että tuulivoima-alueet rajoitettuine kalastusmahdollisuuksineen voivat toimia eräänlaisina suojelualueina (esim. Ashley ym. 2014) voimakkaan kalastuksen kohteena oleville lajeille. Esimerkiksi Belgian edustalla tuulivoima-alueilla onkin havaittu lähialueita korkeampia punakampelan tiheyksiä (De Backer ym. 2020). Vastaavanlaisia vertailuja löytyy kirjallisuudesta enemmänkin, mutta tulokset eivät aina ole yhtä johdonmukaisia (Gill ym. 2024), eli myös päinvastaisia esimerkkejä löytyy. Suojeluvaikutuksesta voi pitkän ajan kuluttua seurata ns. spill-over-efekti. Ainakin yksi tätä tukeva havainto löytyy kirjallisuudesta. De Backer ym. (2019) havaitsivat, että belgialaiset ja hollantilaiset troolarit pyytävät punakampelaa (*Pleuronectes platessa*) ja kampelakaloihin kuuluvaa merianturaa (*Solea solea*) Belgian edustalla paljon juuri tuulivoima-alueiden läheisyydessä. Ja ainakin merianturasaaliit näyttävät olevan korkeampia toiminnassa olevien tuulivoima-alueiden vieressä.

2.2.5. Vaikutukset kalastukseen

Merituulivoimasta kalastukselle aiheutuvia (taloudellisia) vaikutuksia käsittelevässä systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa ICES:in työryhmä löysi aiheeseen liittyen 47 tieteellistä julkaisua. Noin puolet julkaisuista liittyi erilaisten äyriäisten pyyntiin, ja julkaisuiden tuloiset liikkuvat melko yleisellä tasolla (ICES 2025a). Katsauksessa löytyneet suorat vaikutukset jaettiin viiteen ryhmään: 1) muutokset kalastustoiminnasta saatavissa tuloissa, 2) muutokset kalastuspaikoissa tai alueissa, 3) muutokset saaliiden saantimahdollisuuksissa, 4) muutokset kalastukseen liittyvissä kustannuksissa ja 5) muutokset investoinneissa (tekniset, pyydykset), joilla

sopeudutaan olosuhteisiin (ICES 2025a). Jako on ehkä hieman keinotekoinen, sillä ryhmien sisällöt menevät osittain päällekkäin. Edellä esitettyjen suorien vaikutusten lisäksi kalastukseen ja sen kannattavuuteen vaikuttaa vielä epäsuorat vaikutukset eli lähinnä ekosysteemin muutosten kautta tulevat tuulivoiman vaikutukset, joiden todentaminen ainakin kalakantatasolla on vaikeaa (ICES 2025a). Yllä mainituista suorista vaikutuksista ainakin neljä ensimmäistä tai jopa kaikki liittyvät osittain siihen, että tuulivoimarakentamisen myötä menetetään kalastusalueita tai reitit kalastuspaikoille muuttuvat. Vaikutukset voivat olla myös useisiin tuulivoima-alueisiin liittyviä yhteisvaikutuksia.

Euroopassa tai EU:ssa ei ole yhtenäisiä säädöksiä liikkumisesta ja kalastuksesta merituulivoima-alueilla. Van Hoyen ym. (2021) yhteenvedon perusteella Euroopan maissa navigointi on kielletty pääsääntöisesti 500 metriä lähempänä työkohteita tuulivoimaloiden rakennusvaiheessa. Tuotantovaiheen aikaisissa rajoituksissa on selviä eroja maiden välillä. Belgiassa myös tuotantovaiheessa alusten liikkuminen 500 metriä lähempänä tuulivoima-alueita on pääsääntöisesti kielletty, mutta joillain alueilla voi harjoittaa kalastusta passiivisilla pyydyksillä. Sama rajoitus koski aiemmin Hollannin merialuetta, mutta siellä tilannetta arvioidaan uudelleen ja mahdollisesti kalastusta passiivisilla pyydyksillä sallitaan. Myös Tanskassa ja Saksassa on ainakin mahdollista asettaa osittaisia liikkumis- ja kalastusrajoituksia käytössä olevilla tuulivoima-alueilla, mutta Saksassa rajoitukset ovat lievempiä alle 24 metrin pituisilla aluksilla. Ruotsissa troolikalastus on kielletty tuulivoima-alueilla. Englannissa (UK) on mahdollista asettaa turvavyöhykkeet 50 metrin säteelle voimaloista. Kalastus on siis Englannissa luvallista, mutta käytännössä kalastajat välttävät tuulivoima-alueita turvallisuussyistä (Szostek ym. 2025). Troolikalastuksen osalta kieltojen käytännön merkitys lienee muuallakin vähäinen, sillä kalastajat haluavat välttää riskejä (Van Hoye ym. 2021). Yleisin pelko Pohjanmeren kalastajilla liittyy siihen, että pyydykset takertuisivat tuulivoiman rakenteisiin tai kaapeleihin.

Tuulivoimalle menetetyt kalastusalueet voivat olla arvokkaita. Stelzenmueller ym. (2016) arvioivat, että 90 % Tanskan ja 40 % Saksan vuosittaisista Saksan talousvyöhykkeeltä verkoilla pyytämästä punakampela saaliista on pyydetty alueilta, joille tuulivoimaa on rakennettu tai suunnitellaan rakennettavaksi. Saman artikkelin mukaan Saksan talousvyöhykkeellä Pohjanmerellä harjoitettu kansainvälinen verkkokalastus voi menettää jopa puolet saaliistaan, jos kalastus kokonaan kielletään. Toisaalta De Backer ym. (2019) arvelivat, että tuulivoima ei ole lopulta aiheuttanut Belgian merialueella negatiivisia vaikutuksia belgialaisten ja hollantilaisten beamtrawl-alusten punakampelan ja merianturan pyynnille, vaan kalastus on sopeutunut tuulivoima-alueiden kalastuskieltoihin ja kalastajat ovat siirtyneet kalastamaan muualle.

2.2.6. Merituulivoiman tuotantovaiheen riskit Pohjanlahdella

Pohjanlahdelle nyt suunniteltavilla tuotantoalueilla voimaloiden teho olisi yleisesti 10–25 MW ja enimmäiskorkeus jopa 300–400 metriä. Voimaloiden välinen etäisyys olisi noin yhdestä kilometristä muutamaan kilometriin ja yhdelle alueelle on tyypillisesti suunniteltu enimmillään 100 voimalaa, isoimmille alueille Ruotsin puolelle jopa 200–300 voimalaa. Yksittäisten suunniteltujen tuotantoalueiden pinta-alat ovat muutamia satoja neliökilometrejä. Varsinaisen tuotantoalueen lisäksi myös energian siirto (kaapelit tai vetyputket) voi aiheuttaa hyvin paikallista haittaa esimerkiksi kalastukselle, mutta tässä luvussa keskitytään tuotantoalueisiin liittyviin riskeihin. Lintujen ja merihylkeiden kohdalla keskitytään selkeimpiin tunnistettuihin riskeihin. Samoin kalojen kohdalla keskitytään niihin talouskalalajeihin, joihin mahdollisten riskien arvioidaan selkeimmin kohdistuvan. Lähtökohdana myös tässä luvussa on se, että merituulivoimaa suunnitellaan talousvyöhykkeelle ja aluevesien ulko-osiin, ei saaristoon tai sen lähialueille.

Linnut

Pohjanlahden avomerialueella liikkuu sekä pesiviä lintuja että alueen läpi muuttavia lintuja. Merituulivoimasta linnuille aiheutuvien riskien arviointia vaikeuttaa puutteet perustiedoissa liittyen esimerkiksi Pohjanlahden avomerellä tapahtuvaan muuttoon sekä yleisesti merellä tapahtuvaan törmäyskuolleisuuteen. Pääosa merellä liikkuvista linnuista liikkuu yleisestikin hyvin laajalla alueella ja voivat kohdata tuulivoima-alueita muuttomatallaan myös muualla Euroopassa ja kaloista sekä merinisäkkäistä poiketen myös maa-alueilla. Lintupopulaatioihin vaikuttaa samanaikaisesti hyvin monet tekijät kuten pesimä- ja talvehtimisalueilla tapahtuvat muutokset, ja joidenkin lajien kohdalla myös esimerkiksi metsästys. Tuulivoima on vain yksi mahdollinen vaikuttava tekijä muiden joukossa. Linnustossa voi tapahtua myös muutoksia, joita on vaikea ennakoida. Tässä luvussa nostetaan nykyiseen tilanteeseen perustuen esille joitakin selkeiksi riskeiksi arvioituja tilanteita tai asioita, joissa Pohjanlahdelle suunnitellulla tuulivoimallakin voisi olla linnustolle merkitystä. Samalla tuodaan lyhyesti esille tietopuutteita. Luvussa keskitytään Pohjanlahden avomerialueeseen, jonne merituulivoimaa ollaan suunnittelemassa. Sisempänä saaristoalueella riskit linnustoon kohdistuville merkittäville haittavaikutuksille olisivat huomattavasti suuremmat (Tikkanen ym. 2025). Tehokkain tapa minimoida linnustolle aiheutuvia haittoja onkin tuulivoima-alueiden ja tuulivoimaloiden sijoittaminen linnuston kannalta tärkeiden alueiden ulkopuolelle.

Suomessa pesivien muuttolintujen lisäksi maamme läpi muuttaa runsaasti Venäjällä tai Pohjois-Norjassa pesiviä lintuja. Pohjanlahdella osa linnuista muuttaa rannikoita seuraillen, eli sisempänä kuin ainakin talousvyöhykkeelle suunnitellut tuulivoimahankkeet, mutta osa kaukanakin rannikosta. Tieto perustuu paljolti BirdLife Suomen laatimaan selvitykseen 22 lajin päämuuttoreiteistä Suomessa (Lehtiniemi & Toivanen 2023). Selvityksessä käytetyn lintuhavaintoaineiston heikkous on, että siinä ei huomioida muuttoa sellaisissa paikoissa tai olosuhteissa, joissa lintuja ei voida havaita kiikareilla tai kaukoputkella rannikolta tai ulkosaaristosta. Käytännössä aineisto ei siis kata ulkomerellä tapahtuvaa muuttoa eikä myöskään pimeässä tai huonossa säässä tapahtuvaa muuttoa. Monet linnut välttävät laajojen vesialueiden ylityksiä, ja suurin osa ylityksistä tehdään muuttokäytävissä, jotka ovat mahdollisimman kapeita. Pohjanlahdella tärkeimmät (maalintujen) muuttokäytävät kulkevat Merenkurkun ja Ahvenanmaan yli (Hansson ym. 2019, 2020).

Lintuja kuitenkin muuttaa myös avomerellä. Arktisten vesilintujen muuttoreitit sijoittuvat paikoin yleisen vesialueen ulompiin osiin ja talousvyöhykkeelle. GPS-seurannasta saatujen havaintojen perusteella erityisesti eteläisen Selkämeren läpi (siis myös avomerialueen) puolestaan kulkee taigametsähanhien (*Anser fabalis*) ja merihanhiin (*Anser anser*) tärkeitä muuttoreittejä (Piironen ym. 2022 ja 2023). Olemassa olevan tutkimustiedon mukaan hanhet pääsääntöisesti välttelevät tuulivoima-alueita ja alle 1 % parvista lentää törmäysetäisyydellä voimaloista (Desholm & Kahlert 2005). Suomessa rannikolla muuttavien hanhiin todettiin siirtävän päämuuttoreittejään maa-alueiden tuulivoima-alueiden ulkopuolelle, joskin osa hanhista edelleen lensi tuulivoima-alueiden läpi ja näistä jopa puolet törmäyskorkeudella. Ainoatakaan törmännyt hanhea ei kuitenkaan havaittu (Suorsa 2019). Suurikokoisina, painavina ja parvissa muuttavina lintuina hanhet kuitenkin kuuluvat törmäysalttiisiin lintulajeihin. Maalla tehdyissä selvityksissä törmäyksiin kuolleita hanhia löytyy säännöllisesti voimaloiden alta (Rees 2012). Uhanalaisluokituksessa vaarantuneeksi (VU) luokiteltu pohjoisen Euroopan taigametsähanhipopulaatio on jo muista syistä uhanalainen, joten se voi olla erityisen herkkä mahdolliselle lisäkuolleisuudelle.

GPS-seuranta-aineistojen perusteella myös ainakin kahlaajia (punajalkaviklo (*Tringa totanus*), mustaviklo (*T. erythropus*), suokukko (*Calidris pugnax*), lehtokurppa (*Scolopax rusticola*)) muuttaa säännöllisesti suoraan Pohjanlahden yli (Habitrack-projektin tuloksia). Kahlaajien vasteista tuulivoimaloihin on vain vähän tietoa, mutta muuttavien isokuovien on osoitettu välttelevän merellä tuulivoimaloita (Schwemmer ym. 2023). Monet linnut muuttavat osin tai pääosin yöllä, mutta Pohjanlahdella tapahtuvasta yömuutosta on hyvin vähän tietoa. Säättökien avulla saadaan tietoa Suomen maa-alueilla ja rannikolla liikkuvien ja Pohjanlahdelle suuntaavien lintuparviin koosta, reiteistä ja lentokorkeuksista vuorokaudenajasta riippumatta (Weisshaupt ym. 2021), mutta tietoa törmäyskorkeudella tapahtuvasta muutosta ei tutkien avulla saa kerättyä avomereltä asti. Suomen ja Ruotsin sääasemien ohitusten perusteella muuttovauhti Pohjanlahden yli hyvinä muuttoöinä lokakuussa olisi kilometrin levyisellä kaisalla noin 250 lintua tunnissa (Nilsson ym. 2018). Pohjanmerellä arvioitiin, että yksittäiseen merituulivoimalaan törmäisi 150 lintua vuodessa, joista suurin osa varpuslintuja, ja että törmäysriski on suurin huonolla säällä (Hüppop ym. 2016). Toisessa tutkimuksessa todettiin kuitenkin, että vain 0,02 % öisitä lennoista tapahtui huonon sään aikana (Welcker & Vilela 2019).

Leopold ym. (2014) tekivät Pohjanmerelle laajan mallinnuksen merituulivoimaloiden mahdollisesta kumulatiivisesta merkityksestä alueen paikallisille merilintupopulaatioille. Mallinnuksessa laskettiin, miten suuren lisäkuolevuuden voimat aiheuttaisivat linnuille, ja miten paljon lisäkuolevuutta (PBR, Potential Biological Removal) populaatiot kestäisivät, ennen kuin ne alkaisivat pienentyä. Ensin käytetyllä menetelmällä mikään populaatio ei kärsisi niin suuresta lisäkuolevuudesta, että populaatio lähtisi vähenemään, joskin selkälokkipopulaatio (*Larus fuscus*) alkoi olemaan vaaravyöhykkeessä. Toisella menetelmällä selkälokkipopulaatio olisi jo vähenemässä (PBR = 131 %). Vastaava kumulatiivinen vaikutusarvio olisi syytä tehdä Pohjanlahdelle, vähintään niille paikallisille meri- ja vesilintulajeille, joiden populaatiot ovat eniten riskialttiita. Tässä tulisi ottaa huomioon populaatioiden nykyinen tila, siihen vaikuttavat muut paineet sekä merituulivoimaan liittyvä törmäysriski ja muut vaikutukset. BirdLife Euroopan arvion mukaan Itämeren alueen merilinnuista törmäysriski on hyvin suuri selkälökilla, harmaalokilla (*L. argentatus*) ja merilökilla (*L. marinus*). Suuren riskin lajeja ovat myös naurulokki (*Chroicocephalus ridibundus*), kalalokki (*L. canus*) ja pikkulokki. Suurimmasta siirtymähaitasta kärsivät lapasotka (*Aythya marila*), telkkä (*Bucephala clangula*), mustalintu (*Melanitta nigra*), isokoskelo (*Mergus merganser*), kuikka (*Gavia arctica*) ja kaakkuri (Piggot ym. 2022).

Myös merikotkat kuuluvat erittäin törmäysalttiin lintulajeihin (esim. Dahl ym. 2013). Suomesta on 2020-luvun puoliväliin mennessä kertynyt havainnot yli 60 tuulivoimaloihin törmäyksestä merikotkasta. Luku perustuu maa-alueilta sattumalta löydettyihin yksilöihin, joten todellisuudessa törmäysten uhreja lienee enemmän. Pohjanlahden Suomen puoleisella rannikolla, Saaristomeren ja Ahvenanmaan pohjoispuoli mukaan lukien, pesii noin 300–350 merikotkaparia ja lisäksi alueella liikkuu runsaasti nuoria pesimättömiä merikotkia. Merikotkat ovat paljolti sidoksissa saariston läheisiin alueisiin (Tikkanen ym. 2018). Talvella merikotkat voivat kuitenkin hakeutua avoveden perässä kauemmas merelle, ja kevättalvella ne kerääntyvät ulkomerialueen jälle hylkeiden poikimisaikaan. Etelä- ja Keski-Pohjanmaata koskevassa tuulivoimaselvityksessä laskettiin, että alueen merikotkapopulaatio pienenee, jos aikuisten lisäkuolleisuus on 6 % ja nuorten 7 %. Raportissa todettiin, että jopa tällä hetkellä nopeasti kasvava merikotkakanta voi siis lähteä laskuun, jos tuulivoiman volyyymi kasvaisi suurimpien skenaarioiden mukaisesti ja tuulivoimaloita sijoitetaan huonosti (Tikkanen ym. 2022). Kyseinen selvitys koski maatuulivoimaloita ja merituulivoimaloiden mahdollisesti aiheuttama kuolleisuus kuormittaisi populaatiota lisää. Petolintujen on muuton aikana havaittu jopa hakeutuvan

merituulivoimaloille, erityisesti huonolla säällä, mahdollisesti koska ne voisivat tarjota levähdyspaikan (Skov ym. 2016). Jos tuulivoima-alueita sijoitetaan merellä paikkoihin, joilla merikotkat liikkuvat, kuten sen käyttämiin muuttokäytäviin (Pohjanlahden ylityspaikkoihin), merikotkien törmäyskuolemat tulevat todennäköisesti lisääntymään entisestään.

Ulkomerellä liikkuvat laajasti myös ruokit (Kuva 9) ja selkälokit. Ruokkien ruokailulentojen on Itämerellä havaittu yltävän pisimmillään 73 kilometrin etäisyydelle pesimäalueilta (Isaksson ym. 2019). Selkälökkien ruokailulennot ylsivät Itämerellä tehdyssä tutkimuksessa pisimmillään 50 kilometrin etäisyydelle pesimäalueilta, mutta Isossa Britanniassa mitattiin yli 100 kilometrin etäisyydelle yltäviä ruokailulentoja (Thaxter ym. 2012, Juvaste ym. 2017). Pohjanlahden suurimmat ruokkikeskittymät sijaitsevat Ahvenanmaan pohjoisessa saaristossa, jossa pesii arviolta noin 1 000–2 000 ruokkiparia, ja Merenkurkussa, jossa pesii arviolta noin 1 200–1 600 paria. Yli sadan parin kokoisia kolonioita on lisäksi lissä, Kalajoella ja Uudessakaupungissa. Ruokit välttelevät tuulivoimaloita (Peschko ym. 2020, Grundlehrner ym. 2025) ja niiden populaatioille estevaikutus ja habitaatin menetys ovat todennäköisimmin suurempia uhkia kuin törmäysriski. Laajojen tuulivoima-alueiden rakentaminen niiden tärkeille ruokailualueille tai pesimäsaarten ja ruokailualueiden väliin voisi huonontaa ruokkien pesimämenestystä lisääntyneen energiantarpeen ja ajankäytön takia. Mahdollisesta vaikutuksesta poikastuottoon on hankala arvioida ilman perinpohjaisia todellisessa tilanteessa tehtyjä selvityksiä. Erittäin uhanalainen ja vahvasti vähenevä selkälokki pesii melko harvalukuisena Pohjanlahden rannikolla. Suurimmat keskittymät ovat pohjois-Ahvenanmaan Rannöarneilla (250–300 paria), Pietarsaaren edustalla (noin 250 paria) ja Kalajoen uloimmassa saaristossa (noin 265 paria) (Hario 2025). Myös Merenkurkussa on noin 50 parin kokoisia kolonioita. Selkälökkien vasteet merituulivoimaloihin ovat monimutkaisia: ne näyttävät jossain määrin hakeutuvan merituulivoima-alueille, etenkin niiden reunoille (esim. Vanermen ym. 2017, Johnston ym. 2022). Selkälokit lentelevät tuulivoima-alueilla usein roottorien pyyhkäisykorkeudella (30–150 metriä), mutta välttelevät voimaloita tuulivoima-alueen sisällä (Thaxter ym. 2018). Selkälokki voikin laajan tilankäyttönsä, hakeutumisen, lentokäyttäytymisensä, uhanalaisuutensa sekä heikon poikastuotonsa vuoksi olla Pohjanlahdelle rakennettavan tuulivoiman kannalta kaikkein herkin laji, joten sen huomioimiseen suunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota. Rannikon selkälökkipopulaation alamäkeen ja uhanalaisuuteen on ilmeisesti vaikuttanut myös talvehtimisolosuhteiden muutokset, sillä muista lokeistamme poiketen ne talvehtivat pääosin Afrikassa (Hario ym. 2016). Alamäen syyt ovat edelleen epäselviä, mutta huonon poikastuoton syiksi on esitetty sekä saalistusta että ympäristömyrkyjä, kuten PFAS-yhdisteitä ja DDT:tä, jonka käyttö talvehtimisalueella edelleen on sallittua (Hario 2025). Lökkien määrään avomeri-alueella vaikuttanevat lisäävästi myös lintujen saatavilla olevan jäteravinnon määrän vähenevien (kaatopaikat, turkistarhat) mantereella (Lindén ym. 2025, Tikkanen ym. 2025).



Kuva 9. Ruokki pesii tavallisesti kolonioissa Pohjanlahden ulkosaaristossa. Naaras munii pesään vain yhden munan, joten populaatiot ovat herkkiä lisääntyneelle aikuiskuolleisuudelle. Kuva: Mats Westerborn.

Pohjanlahdella on jonkin verran matalikkoalueita (määritelmästä riippuen syvyys < 20 tai < 30 metriä) aluevesien ulko-osissa ja varsinkin Perämeren pohjoisosissa talousvyöhykkeelläkin (ks. Kuvat 4 ja 5). Nämä matalikkoalueet ovat osittain samoja alueita, mihin tuulivoimaakin on suunnitteilla. Matalikkoalueet ovat tärkeitä ravinnonhankinta, sulkimis- tai levähdysalueita (talvehtiminenkin tulevaisuudessa) esim. simpukkaa tai muuta pohjaelämistöä syöville sorsille, kuten haahkalle ja pilkkasiivelle sekä muuttoaikoina mustalinnulle, allille ja kuikkalinnuille. Matalikot voivat tarjota ympäröiviä alueita enemmän pohjakalaravintoa (esimerkiksi kivinikat (*Zoarces viviparus*), tokot ja simput) kalaa syöville sukeltaville linnuille kuten riskilälle. Matalikoille voi kertyä ainakin ajoittain myös pelagisia kaloja kuten silakkaa, jolloin niillä voi olla ympäröiviä alueita enemmän merkitystä myös tiirojen, lokkien ja ruokkilintujen sekä merimetson ravinnonhankinta-alueina. Matalikkoalueiden ottaminen tuulivoimakäyttöön voisi aiheuttaa habitaatin menettämistä matalikkoja hyödyntäville, etenkin tuulivoima-alueita vältteleville lajeille: ruokeille, riskilöille ja tiiroille (Welcker & Nehls 2016). Samalla törmäyskuolleisuuden riski kasvaa lajeilla, jotka viihtyvät matalikoilla mutta eivät erityisesti välttele tuulivoima-alueita, kuten selkälökilla. Myös tuulivoiman rakentaminen aivan lähelle lintujen suosimaa matalikkoaluetta kasvattaa törmäyskuolleisuuden riskejä näillä lajeilla. Selkämeren matalikkoalueiden merkitystä linnuille selvitetään BIODIVERSEA LIFE IP hankkeesta (2021–2029) mm. lentolaskentojen avulla ja tuloksia on odotettavissa muutaman vuoden kuluessa. Myös muilta Pohjanlahden alueilta on vähitellen kertymässä GPS-seurantaan perustuvaa tietoa useiden lintulajien liikkeistä muutolla. Jäättömien talvien yleisyys ainakin Selkämerellä tulee lähivuosikymmeninä kasvamaan ilmastonmuutoksen seurauksena, jolloin myös matalikoiden merkitys esimerkiksi vesilintujen talvehtimisalueina saattaa kasvaa (Tikkanen ym. 2025).

Tahkoluodossa, Suomen ainoalla merituulivoima-alueella, on lintututkan ja muiden seuranta-menetelmien avulla seurattu alueen linnustoa. Vaikutuksia pesimälinnustoon ei ole havaittu. Pesivien ja levähtävien lintujen ruokailualueet ovat säilyneet samankaltaisina kuin ennen alueen rakentamista. Joidenkin muuttolintujen osalta muuttoreitti on siirtynyt alueen ulkopuolelle, mutta yksilöitä muuttaa edelleen alueen läpi, jossa ne välttelevät voimaloita mesotasolla ja joskus väistäen mikrotasolla (Mäkelä 2021). Suurin osa tarkastelluista lajeista vähensi lentoja riskikorkeudella (25–155 metriä) sen jälkeen, kun voimalat oli rakennettu.

Merinisäkkäät

Tuulivoimarakentaminen Pohjanlahden ulkomerialueille aiheuttaa riskejä erityisesti itämerennorpalle (Kuva 10). Laji on pesinnässään riippuvainen jäädästä ja lumesta, ja on arvoitu, että kuluhan vuosisadan loppupuolella norpalle sopivaa pesimäaluetta löytyy vain Perämereltä, kun Selkämeri, suuret osat Suomenlahdesta ja Riianlahdesta sekä Saaristomeren ulkosaaristo muuttuvat keskimäärin jäättömiksi (Meier ym. 2004). Tietoa tai kokemuksia tuulivoiman vaikutuksista norpan pesintään ei ole saatavissa muiltakaan alueilta maailmassa.



Kuva 10. Valtaosa itämerennorpista erää Perämeren ja Merenkurkun alueella, missä jäätä esiintyy säännöllisesti talvisin. Kuva Mervi Kunnasranta.

Tuulivoimaloiden vaikutuksesta merialueiden jääolosuhteisiin on toistaiseksi vähänlaisesti tietoa, sillä aiempi tutkimus on keskittynyt lähinnä jään vaikutuksiin tuulivoimaloihin ja niiden rakenteisiin. On arvioitu, että tuulivoimalat voivat vaikuttaa jääkenttiin niitä murtaen tai hajottaen, mutta toisaalta tuulivoimalat voivat estää jään liikkeitä ja jopa lisätä jäätymistä läheisyydessään. On todennäköistä, että vaikutus riippuu tuulipuiston sijainnista, paikallisista jääolosuhteista ja esimerkiksi tuulitilanteesta. Vaikka tutkimustietoa on toistaiseksi vähän, olemassa oleva tieto yksittäisten tuulivoimaloiden jääkuormista ja niiden vaikutuksista jääkenttään tarjoaa jo nyt pohjaa karkean tason asiantuntija-arvioille tuulipuistojen vaikutusten arvioinnissa. Suomessa on kehitetty uudenlaisia mallinnustyökaluja tuulivoimaloiden jäävaikutusten arvioimiseksi Aalto-yliopiston, Ilmatieteen laitoksen, CSC:n ja VTT:n toimesta, ja tarkoitus on

tuottaa tietoa ja käytännön työkaluja sekä yksittäisten tuulivoimapuistojen että useiden tuulivoima-alueiden yhteisvaikutusten arvioimiseen (suullinen tiedonanto Arttu Polojärvi, Aalto-yliopisto). Nämä mallit voivat mahdollisesti jo lähitulevaisuudessa auttaa arvioimaan tarkemmin tuulivoimarakentamisesta aiheutuvien jäämuutosten vaikutusta myös itämerennorpan pesintään.

Nykyisistä tietopuutteista huolimatta on selvää, että tuulivoimaloiden rakentaminen alueille, joilla ihmislähtöinen häiriö on ollut toistaiseksi suhteellisen vähäistä ja jotka tulevaisuudessa ovat mahdollisesti ainoita jääolosuhteiltaan norpan pesinnälle suotuisia alueita, on merkittävä riskitekijä itämerennorppakannalle. Populaatiossa kyse tuskin on yksittäisen tuulivoima-alueen rakentamisesta vaan useiden hankkeiden mahdollisista yhteisvaikutuksista. Rakentamisaikaisen häiriövaikutuksen lisäksi tuulivoimalat edellyttävät jatkuvaa ylläpitoa, mikä lisää ihmislähtöistä häiriötä ympärivuotisesti. Häiriön merkitys on suuri erityisesti lisääntymis- ja karvanvaihto-aikaan. Tuulivoimarakentaminen voi myös aiheuttaa muutoksia laivaliikenteen reitteihin myös talvella. Tarkempaa käytännön tietoa häiriövaikutuksista saadaan vasta siinä vaiheessa, kun itämerennorpan keskeisille pesimäalueille rakennetaan ensimmäinen iso tuulivoima-alue. Vasta tämän jälkeen on paremmat edellytykset ennakoida Perämerelle mahdollisesti sijoittuvan laajamittaisemman tuulivoimarakentamisen yhteisvaikutuksia itämerennorpan populaatioon Perämerellä ja koko Itämerellä.

Kalat ja kalastus

Paikalliset pohjakalat

Suunnitelluilla tuotantoalueilla esiintyy ainakin jonkin verran paikallisia pohjakaloja kuten kiviniilkoja ja simppeja, etenkin kovapohjaisille matalikoille rakennettaessa. Pohjakaloja esiintyy myös syvemmällä ja pehmeillä pohjilla. Paikalliset pohjakalat paljolti tottunevat tuulivoimasta aiheutuviin ilmiöihin, jos niistä alun perinkään on merkittävää haittaa. Tätä oletusta tukee aiemmin jo mainittu Etelä-Ruotsissa Lillgrundin tuulivoima-alueella tehty tutkimus (Bergström ym. 2013), jossa pohjakalastossa ei havaittu mainittuja eroja vertailualueisiin. Alue sijaitsee Itämeren puolella, joten lajisto on osittain sama kuin Pohjanlahdella. Osa lajeista voi myös paikallisesti hyötyä tuulivoiman rakenteista eli ns. riuttavaikutuksesta. Mahdollisten riuttavaikutuksesta hyötyviä lajien kuten mustatokkojen (*Gobius niger*) tai kiviniilkojen määrät eivät kuitenkaan olleet Lillgrundissa merkittävästi kasvaneet voimaloiden läheisyydessä. Bergström ym. (2013) arvelivat, että osasyynä saattaa olla lisääntynyt predaatio voimaloiden läheisyydessä. Samoin kuin tuotantovaiheen mahdolliset haitat, myös positiivinen riuttavaikutus jäänee paikallisten pohjakalojen osalta Pohjanlahdella vähäiseksi tai mahdollinen hyöty voisi pahimmillaan kohdistua vieraslajeihin kuten mustatäplätokkoon (*Neogobius melanostomus*). Myös Pohjanlahdella runsaana esiintyvät hylkeet oppisivat nopeasti hyödyntämään voimaloiden ympäristöä, mikäli kaloja paikoille kertyisi enemmän kuin lähialueille.

Pelagiset talouskalalajit

Avomerialueella taloudellisesti hyödynnettävät pelagiset kalat kuten silkka, kilohaili ja muikku liikkuvat tyypillisesti laajoilla alueilla. Etenkin kahden ensin mainitun lajin kantojen kohdalla kaupallinen kalastus on pitkään ollut voimakkaasti kantoihin vaikuttava tekijä. Silakalla on uimarakon ja korvan välillä mekaaninen yhteys, minkä takia sillä on herkkä kuulo, jopa 4 KHz:n taajuuteen ulottuen (ks. Nedwell & Mason 2012). On mahdollista, että silakkaparvien osuessa tuulivoimaa-alueelle, vedenalainen melu ja värinä saattavat vaikuttaa kutuparvien

käyttäytymiseen ja kututapahtumaan, jos tuulivoima-alue on rakennettu esimerkiksi syyskuisen silakan kutupaikalle tai sen välittömään läheisyyteen. Sama ilmiö voisi periaatteessa koskea muikkua. Käytännössä kuitenkin populaatiotason vaikutuksia voisi syntyä vain, jos merkittävä osa esimerkiksi syyskuisen silakan tai muikun kutualueista joutuisi tuulivoimahankkeiden alle. Valitettavasti kutualueet tunnetaan toistaisesti heikosti. Pohjanmerellä silakoiden kutualueasiaan kuitenkin kiinnitetään huomiota tuulivoimarakentamisen yhteydessä.

On myös esitetty, että tuulivoima-alueilla, joilla kalastus ei ole mahdollista, voisi olla myönteisiä vaikutuksia kalakantoihin. Pohjanlahdella kuitenkin silakan ja kilohailin kalastusta säädelään vuosittaisilla merialuekohtaisilla saaliskiintiöillä. Käytännössä se tarkoittaa sitä, että jos jollakin alueella kalastus estyy, kalastuspaine kasvaa vastaavasti jollain toisella alueella. Siksi tuulivoima-alueiden ”suojavaikutusta” ei voida pitää todennäköisenä. Muikun osalta tilanne on epäselvempi, sillä Perämeren muikkukunnalle ei tehdä vastaavanlaisia kanta-arvioita kuin silakalle ja kilohailille. Ei ole myöskään tietoa siitä, kuinka voimakasta nykyinen kalastuspaine on suhteessa siihen kalastuspaineeseen, jolla muikkukannasta saataisiin maksimaalinen kestävä tuotto. Valtaosa Perämeren muikkusaaliista pyydetään Ruotsin puolelta ja siellä kalastuspainetta ja saaliita on rajoitettu. Suomen puolella muikun kalastusta ei säädelä (Lehtonen ym. 2023).

Lohi ja muut vaelluskalat

Varsinaisista vaelluskaloista Pohjanlahdella esiintyy lohta (Kuva 11), meritaimenta (*Salmo trutta*), vaellussiikaa (*Coregonus lavaretus*) ja ankeriasta sekä nahkiaista (*Lampetra fluviatilis*). Kolmen ensin mainitun lajin luonnonkannat ovat Pohjanlahden alueella kärsineet kutujokien rakentamisesta ja jokien tilan heikkenemisestä sekä etenkin aiemmin voimakkaasta kalastuksesta. Jokien rakentaminen on haitannut myös ankeriasta, ja ankerias onkin Suomessa luokiteltu äärimmäisen uhanalaiseksi mutta syyt koko Atlantin alueen ankeriaskannan heikkenemisen ovat huonosti tunnettuja. Lohikannat ovat viime vuosikymmeninä kärsineet myös Itämeren ravintoverkoissa tapahtuneiden muutosten seurauksista. Uutena uhkatekijänä voi olla myös merituulivoiman laajamittainen rakentaminen ja kaapeleista syntyvien magneettikenttien aiheuttamat häiriöt. Perämeren joet ovat tärkeimpiä Itämeren lohien lisääntymisalueita. Lohien luonnonkantojen elvyttämiseksi onkin tehty paljon töitä ja koko Itämeren kattavilla kansainvälisillä ja kansallisilla kalastuksen säätelytoimenpiteillä Perämeren tärkeimpien lohijokien, Tornionjoen sekä Ruotsin puolelle sijaitsevan Kalixjoen lohikannat on saatu muutamien vuosikymmenien ponnisteluiden jälkeen elpymään. Nykyisen noin 70 % koko Itämeren lohisaaliista perustuu näiden kahden joen tuottamiin vaelluspoikasiin (ICES 2025b). Sama kehitys on ollut havaittavissa myös muissa Perämeren luonnonlohikannoissa. Lohi on ollut myös vaelluskaloista tärkein kalastuksen kohde Pohjanlahdella. Näiden syiden takia merituulivoimarakentamisen yhteydessä uhkakuvat liittyvä Pohjanlahdella selkeästi loheen.

Muista lohikaloihin kuuluvista vaelluskaloista poiketen Perämeren joissa kuteva lohi vaeltaa koko kapeahkon Pohjanlahden poikki matkallaan syönnösalueille Itämeren pääaltaalle ja myöhemmin takaisin toiseen suuntaan. Jos tuulivoimaa rakennetaan Pohjanlahdelle (Suomen ja Ruotsin alueelle) paljon, niin Perämeren jokien lohet joutuvat ”pussin pohjalle” ja kulkemaan pääaltaalle suuntautuvan vaelluksen aikana usean tuotantoalueen läheltä tai läpi ja ylittämään siirtokaapeleita, jotka ovat pääasiallisesti itä-länsi-suuntaisia eli poikittaisia vaellusten pääsuuntiin nähden. Lohien nousuvaelluksen reiteistä Pohjanlahdella on hyvin vähän tutkimustietoa saatavilla. Kaloja toki liikkuu ainakin rannikon tuntumassa, jossa niitä perinteisesti pyydetään. Westerberg ym. (1999) keräsivät tietoa kutuvaelluksella olevien lohien liikkeistä

Pohjanlahdella lämpötila- ja syvyystietologgereiden avulla. Yhteensä 75 palautuneen loggerin sekä meren lämpötilatietojen avulla he mallinsivat vaellusreittejä. Tulokset antoivat viitteitä siitä, että lohet kulkevat rannikon edustalla aluevesillä, eivät niinkään talousvyöhykkeellä. Lohen vaelluspoikasten osalta tutkimukset niiden liikkeistä ovat Pohjanlahdella vasta alkamassa. Uintisyvyyden osalta Westerbergin ym. (1999) tulokset olivat selkeitä. Loggereiden antamien syvyyshavaintojen mediaanisyyvyys nousuvaelluksella Pohjanlahdella oli hiukan runsaat kaksi metriä pinnan alapuolella. Kalat viettivät yli 90 % ajasta alle kahdeksan metrin syvyydessä. Lohen vaelluspoikasten ja aikuisten yksilöiden uintisyvyyksiä on tutkittu muuallakin erilaisilla data-loggereilla ja telemetrialla. Newton ym. (2021) havaitsivat, että lohien post-smoltit liikkuvat Skotlannin edustalla mereen siirryttyään pääosin alle metrin syvyydessä. Skotlannissa aikuiset lohet vaelsivat 0–5 metrin syvyydessä 72–86 % seuratusta ajasta (Godfrey ym. 2015). Samansuuruisia tuloksia sai Hedger ym. (2022), kudulle nousevat lohet Norjassa vaelsivat 75 % ajasta alle 5 metrin syvyydessä ja kudusta palaavat lohet vaelsivat pääosin 0,3–6 metrin syvyydessä.



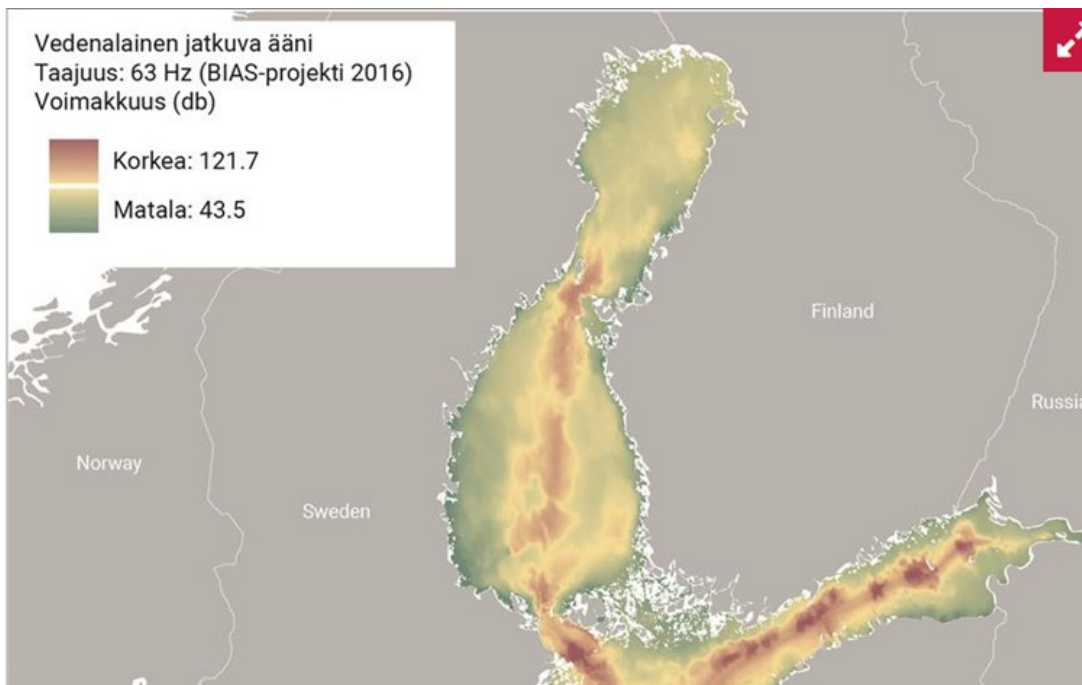
Kuva 11. Perämeren lohet tekevät pitkiä syönnösvaelluksia aina Itämeren eteläosiin asti.

Kuva: Ville Vähä

Lohi on siis merellä pelaginen kala, joka edellisten tulosten valossa pääasiassa liikkuu lähellä pintaa, jossa pohjan kaapeleista aiheutuvat sähkömagneettiset kentät ovat enää heikkoja ehkä rannikon matalimpia alueita (lähellä rantautumiskohtaa) lukuun ottamatta. Heikkoja magneettikenttiä tosin voi Hermansin ym. (2024) mallinnusten perusteella esiintyä Pohjanlahden keskiosienkin syvyyksissä pintakerrokseen asti. Muualla maailmassa tehtyjen tutkimusten perusteella voisi arvioida, että riski merituulivoimarakentamisesta aiheutuville merkittäville vaelluskaloihin kohdistuville haitoille, varsinkin populaatiotasolla havaittaville, on Pohjanlahdella vähäinen, mutta sitä ei voida täysin poissulkea nykyisillä tiedoilla. Asiasta olisi syytä hankkia lisää tietoa. Sama arvio koskee Pohjanlahdella myös meritaimenta, vaellussiikaa ja ankeriasta. Nahkiaisten tiedetään havaitsevan sähkökenttiä ja todennäköisesti ne hyödyntävät kykyä ravinnon etsinnässä. Todisteita siitä, että nahkiaiset aistisivat magneettikenttiä ei ole, mutta ei asiaa ole ilmeisesti myöskään selvitetty (Verhelst ym. 2025).

Lohella kuulo on heikompi kuin silakalla ja rajoittuu alle 400 Hz:n taajuuksille (ks. Nedwell & Mason 2012) ja kutualueet eivät ole merellä, joten riski tuulivoiman tuotantovaiheen melusta aiheutuville haittavaikutuksille lienee vähäinen. Kutuvaelluksella oleva lohi kuten myös vaeluspoikaset liikkuvat pääosin lähellä pintaa, jossa vedenalaista melua myös esiintyy. Pohjanlahden kesäaikainen lämpötilan harppauskerros 10–20 metrin syvyydessä vaikuttanee myös äänen kulkeutumiseen lähellä pintaa, mutta ilman tutkimustietoa asian mahdollista merkitystä on mahdotonta varmistaa.

Kuten Tougaard ym. (2020) ovat todenneet, tuulivoimasta aiheutuvan melun mahdollisia vaikutuksia arvioitaessa on otettava huomioon myös muista ihmistoiminnoista aiheutuva vedenalainen melu. Selkämeren keskiosissa (talousvyöhykkeellä) ja Merenkurkussa laivaliikenteen taustamelutaso on korkeampi kuin lähempänä rannikkoa (Kuva 12), ja siellä tuulivoiman käyttö lisäisi vedenalaista melua suhteellisesti vähemmän kuin useimmilla rannikon läheisillä alueilla.



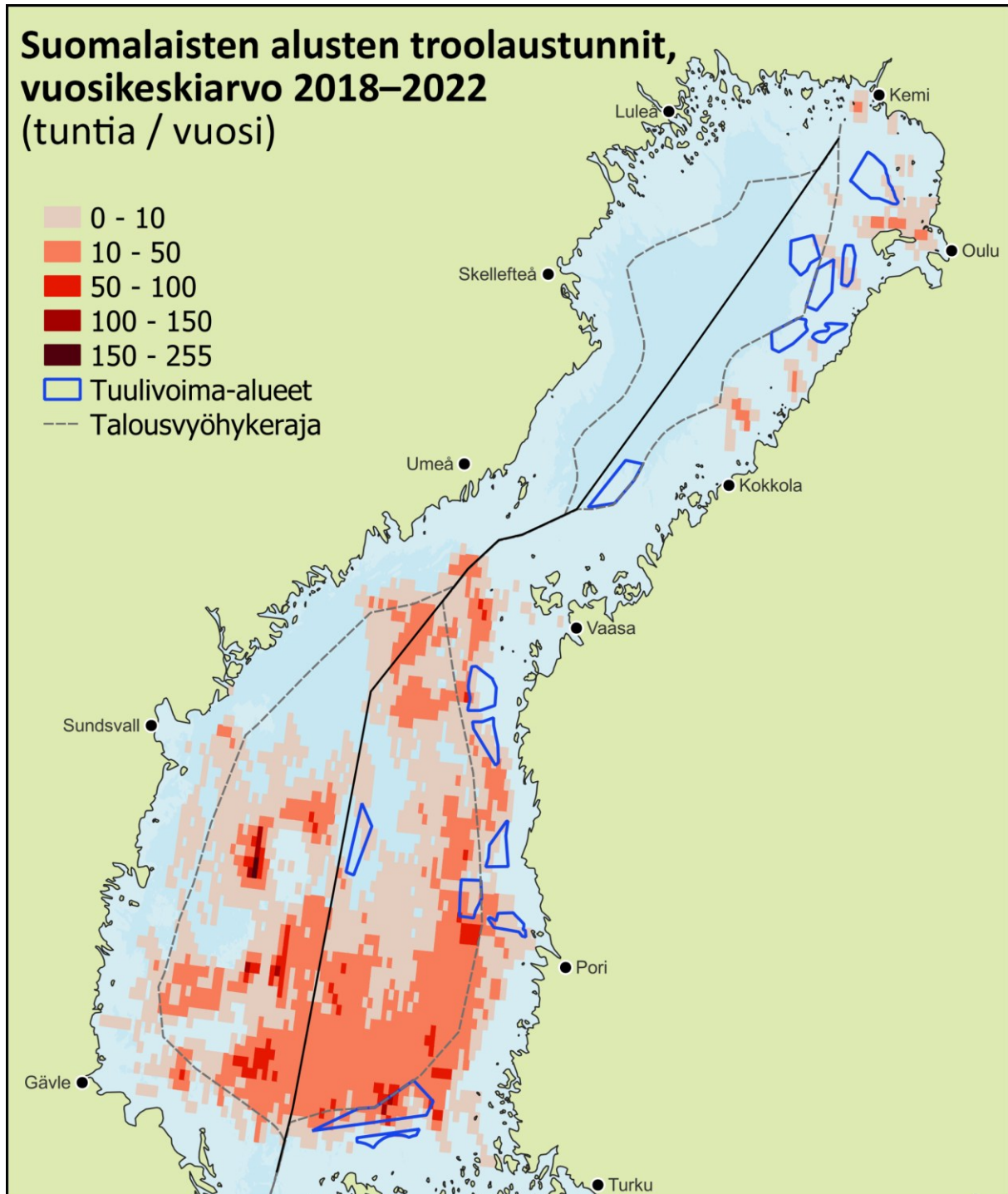
Kuva 12. Vedenalaisen melun määrä (63 Hz) Suomen merialueilla. Kuvakaappaus Itämeri.fi -sivustolta keväällä 2025.

Kalastus.

Tuotantoalueita suunnitellaan Pohjanlahdella avomerelle eli alueille, joilla ei yleensä ole merkitystä verkko- ja rysäkalastukselle. Joillain aluevesillä sijaitsevilla hankealueilla tai niiden osilla voi tuki olla pienimuotoista merkitystä myös seisovilla pyydyksillä tapahtuvalle kalastukselle. Kaapelikäytävät tai putket voivat rannikon lähellä ja saaristossa paikallisesti haitata verkko- ja rysäkalastusta. Haittoja voidaan tarvittaessa tehokkaasti vähentää kaapeleiden tai putkien peittämisellä ainakin mahdollisilla poikkeuksellisen tärkeillä kalastusalueilla niin, että pyydykset tai erityisesti rysien ankkurit eivät joudu niiden kanssa kosketuksiin tai jää niihin kiinni. On kuitenkin huomattava, että meren pohjalla kulkee nykyisinkin paljon erilaisia kaapeleita ja kaasuputkia. Kokonaisuudessaan merkittävimmät merituulivoimasta kalastukselle aiheutuvat suorat vaikutukset kohdistuvatkin oletettavasti troolikalastukseen.

Silakka on sekä saaliin määrässä että sen arvossa mitattuna tärkein saalislaji Suomen kaupalliselle kalastukselle merialueella. Suomalaisten kalastajien vuotuinen silakan kokonaissaalis on vuosina 2020–2024 vaihdellut välillä 54–92 miljoonaa kiloa, saalismääriin on vaikuttanut mm. kalastuskiintiöt. Tärkein silakan kalastusalue on Selkämeri, mistä suomalaiset troolialukset ovat vastaavina vuosina pyytäneet silakkaa 24–56 miljoonaa kiloa eli noin 70–80 % silakan kokonaissaaliista. Suomalaisilla ja ruotsalaisilla kalastusaluksilla on pääsy kummankin maan talousvyöhykkeelle. Kahdenvälisen sopimuksen perusteella ruotsalaisilla aluksilla on päästy myös Suomen aluevesille (4–12 meripeninkulmaa perusviivasta) ja suomalaisilla aluksilla on vastaava pääsy Ruotsin aluevesille. Suomalaiset ja ruotsalaiset troolialukset kalastavatkin Selkämerellä osittain samoilla alueilla, mutta suomalaiset kalastajat ovat pyytäneet runsaat kolme neljäsosaa Selkämeren silakkasaaliista (Lappalainen ym. 2023). Eli Selkämeri on kalastusalueena merkittävämpi suomalaisille troolikalastajille. Lähinnä Selkämeren eteläosissa troolauksen saaliina tulee myös pienempiä määriä kilohailia, suomalaisten alusten saaliissa viime vuosina noin 1,5 miljoonaa kiloa vuodessa.

Silakan troolikalastus Pohjanlahdella on pinta- ja välivesitroolausta. Troolia voidaan vetää myös pohjan tuntumassa, jolloin se ajoittain voi koskettaa pohjaa. Kyse ei kuitenkaan ole varsinaisesta pohjatroolauksesta, jossa nimenomaan pyydetäisiin pohjalla eläviä lajeja, kuten kampelakaloja, troolilla, joka on rakennettu kulkemaan meren pohjalla. Silakan troolausalueista on saatavilla vertailukelpoista satelliittiseurantaan perustuvaa tietoa vajaan 15 vuoden ajalta. Sinä aikana suomalaisten kalastajien troolausalueissa Selkämerellä ei ole tapahtunut isoja muutoksia (Lappalainen ym. 2023). Tietyt hyviksi todetut alueet ovat olleet vakiintuneita ja troolikalastuksen harjoittamiselle tärkeitä alueita (Kuva 10). Näillä alueilla on tyypillisesti troolaukseen soveltuvat hyvin tunnetut pohjat, joissa sopivan kokoista kalaa voidaan pyytää pohjan läheltä ilman riskiä troolien rikkoontumisesta.



Kuva 13. Suomalaisten kalastusalusten keskimääräiset troolaustunnit Pohjanlahdella vuosina 2018–2020 sekä eri asteisesti suunnitteilla olevat merituulivoimahankkeet Suomen merialueilla. Tilanne syksyllä 2025. Lähteet: Lappalainen ym. (2023), Metsähallitus, Työ- ja elinkeinoministeriö, Ahvenanmaan maakuntahallituksen karttapalvelu.

Viimeaikaisissa hankesuunnitelmissa merituulivoimaa ei ole Suomessa kaavailtu tärkeimmille silakan troolausalueille (Kuva 13), ainoastaan Ahvenanmaan pohjoispuolinen suunnittelualue osuu osittain alueelle, jossa troolausta on enemmän harjoitettu. Tilanne on suunnilleen sama Ruotsin merituulivoimasuunnitelmien kohdalla. Kummankin maan YVA-menettelyissä troolausalueet on otettu huomioon (YVA-materiaalit myös Ruotsin hankkeista löytyvät ympäristöhallinnon YVA-sivustolta: ymparisto.fi). Lappalaisen ym. (2023) haastattelemien

kalastusyritysten edustajien mukaan ainakaan isoilla trooleilla, joilla valtaosa saaliista pyydetään, ei voitaisi pyytää silakkaa merituulivoima-alueiden sisällä. Troolien vetäminen edellyttää runsaasti tilaa ja erityisesti troolien mahdollinen osuminen kaapeleihin nähtiin isona riskinä. Merituulivoimarakentamisesta aiheutuvat kalastusalueiden muutokset voivat johtaa mm. pidentyneisiin ajomatkoihin kalastusalueille, kun tuulivoima-alueilla ei voida enää harjoittaa troolikalastusta, tai saaliisvarmuuden heikkenemiseen ja siten mahdollisesti saalistulojen pienemiseen, kun käytössä oleville kalastusalueille tulee aiempaa suurempaa kalastuspainetta. Ajomatkojen pidentyminen puolestaan nostaa polttoainekustannuksia ja muita aluksen operatiivisia kustannuksia ja vaikuttaa kannattavuutta heikentävästi, jos saalistulot eivät samaan aikaan kasva.

Selkämerellä on kalastanut silakkaa 2020-luvun alkupuolella parikymmentä suomalaista troolialusta. Troolilaivastossa on joitakin isoja nykyaikaisia aluksia, jotka pystyvät toimimaan merellä yhtäjaksoisesti päiväkausia ennen saaliiden purkamista. Tämä todennäköisesti mahdollistaa helpommin myös pitkät pyyntimatkat Ruotsin puolelle. Osa aluksista, enimmäkseen pienempiä aluksia, alkaa olla vanhentuneita, joten ne saattavat lähitulevaisuudessa poistua käytöstä ja mahdollisesti korvautua muutamilla isommilla aluksilla. Troolikalastuksen kannattavuus on viime vuosina ollut melko heikkoa, mikä on vähentänyt kalastajien halukkuutta tehdä suuria investointeja ja toisaalta myös vähentänyt toimijoiden määrää. Alusinvestointien rahoituksen saaminen on ollut vaikeaa, ja epävarmuus silakan toimijakohtaisissa kiintiöissä sekä Suomen kiintiön merkittävä pienentyminen ovat entisestään heikentäneet troolikalastajien luottamusta tulevaisuuteen. Troolikalastukseen vaikuttaa tällä hetkellä useita tekijöitä, jotka heikentävät sen taloudellisia toimintaedellytyksiä ja kannattavuutta ja merituulivoimarakentaminen on yksi näistä uusista haasteista. Jos tuulivoimarakentaminen laajassa mittakaavassa käynnistyy vasta 2030-luvulla, niin käytössä oleviin troolausalueisiin voi siihen mennessä tulla muutoksia myös tuulivoimarakentamisesta riippumatta. Siksi 2020-luvun alkupuolen tilannekuva troolausalueista ei sellaisenaan välttämättä ole optimaalinen vertailuaineisto mahdollisten haittojen arvioinnille. Ongelmia voi aiheutua troolikalastukselle tuotantoalueiden lisäksi myös sähkön siirtokäytävien kohdalla. Siksi ainakin tärkeiksi tiedetyillä troolausalueilla olisi suositeltavaa sijoittaa kaapelit turvallisesti pohjan sisään.

Perämerellä on pienimuotoisempaa troolikalastusta. Silakkaa on pyydetty vuosina 2022–2024 troolaamalla vajaat miljoona kiloa vuodessa. Etenkin Perämeren pohjoisosassa troolataan myös muikkua saaliiden ollessa noin puoli miljoonaa kiloa vuodessa. Vuoden 2022 aikana muikun troolaamiseen keskittyi 15 suomalaista alusta, joista valtaosa oli pieniä aluksia, joilla ei ole velvoitetta käyttää satelliittiseurantalaitteita (Lappalainen ym. 2023). Karkeamman tason tietoa kalastusalueista saatiin saalisilmoituksista, joiden mukaan troolausalueet ovat keskittyneet Hailuodon pohjoispuolelle. Myös Ruotsissa muikun troolaus painottui vahvasti Perämeren pohjoisimpiin osiin. Lappalaisen ym. (2023) haastattelemat kalastajat kertoivat, että muikkua troolataan melko laajasti Perämeren pohjoisosien rannikkoalueiden sisäosissa. Pienillä aluksilla troolauspaikkoihin vaikuttavat pohjan tasaisuuden ja syvyyden (optimi 10–15 metriä) lisäksi riittävän lyhyt etäisyys satamasta. Kalastajat olettavat, että parhaat alueet tuulivoimailloille ovat ulompana kuin tärkeimmät, melko suojaiset muikun troolausalueet. Mahdolliset suojaamattomat kaapelit ja ruoppaukset kuitenkin huolettavat kalastajia vaikkakin muikun pyynnissä käytettäviä pieniä trooleja voisi olla mahdollista käsitellä myös tuulivoima-alueiden sisällä.

3. Ympäristövaikutusten huomiointi merituulivoiman sijoittelussa ja YVA-menettelyissä

3.1. Nykyiset käytännöt ja niiden toimivuus Pohjanlahdella

3.1.1. Alueiden varaaminen tuulivoimarakentamiselle

Suomessa sisäisten aluevesien ulko-osat ja ulkoiset aluevedet ovat pääosin Metsähallituksen hallinnassa. Aluevesien huutokaupamallissa Metsähallitus selvittää, että tuulivoimalle suunnitellut (ja kaavoitetut) alueet ovat soveltuvia merituulivoiman kehittämiseen. Valtioneuvosto tekee päätöksen kilpailutettavista alueista ja Metsähallitus hoitaa kilpailuttamisen, jonka tuloksena vesialue vuokrataan yritykselle merituulivoiman hankekehitykseen. Työ- ja elinkeinoministeriö tunnistaa potentiaaliset merituulivoima-alueet talousvyöhykkeeltä laajassa yhteistyössä muiden hallinnonalojen kanssa ja valtioneuvosto tekee niistä päätökset. Energiavirasto järjestää kilpailutuksen, jonka perusteella valittu yritys saa yksinoikeuden hakea hyödyntämislupaa valtioneuvostolta kyseiselle alueelle. Alueiden varauksessa tuulivoimalle otetaan huomioon Suomen merialuesuunnitelma, joka on yleispiirteinen ei-sitova suunnitelma, jossa tunnistetaan esimerkiksi potentiaalisia alueita energiantuotannolle. Suomen nykyinen merialuesuunnitelma päivitetään vuosien 2024–2027 aikana. Päivitystyössä pyritään huomioimaan merituulivoiman muuttunut tilanne- ja kehityskuva (YM 2024) ja tunnistamaan talousvyöhykkeellä merituulivoima-alueita aiempaa kattavammin.

Ruotsin aluevesillä merituulivoiman kaavoitus ja lupaprosessit kuuluvat pääosin lääninhallituksille. Jos hanke on laaja tai kiistanalainen, luvitus siirtyy erilliselle tuomioistuimelle (Havs och vattenmyndigheten 2025). Talousvyöhykkeellä suunnittelu on valtion vastuulla ja perustuu paljolti merialuesuunnitteluun, jossa viranomaisten yhteistyönä määritellään potentiaaliset alueet merituulivoiman tuotantoon. Toistaiseksi hankekehittäjän voivat kuitenkin hakea tutkimuslupia myös alueille, jotka eivät ole merialuesuunnitelmassa energiantuotantoalueina. Ruotsin hallituksen esityksessä ehdotetaan siirtymistä huutokauppajärjestelmään merituulivoiman aluevarausten osalta 1.7.2026 alkaen (SOU2024:89). Mallissa valtio määrittää etukäteen sopivat merialueet tuulivoiman rakentamiseen ja järjestää tarjouskilpailun, jossa valittu toimija saa yksinoikeuden alueen käyttöön samaan tapaan kuin Suomessa talousvyöhykkeellä. Ruotsin päivitetty merialuesuunnitelma odottaa hallituksen hyväksymistä (tilanne syksyllä 2025). Päivitys on tehty yksinomaan merituulivoima-alueiden lisäämiseksi, ja uudessa merialuesuunnitelmassa on osoitettu Pohjanlahdelle 13 aluetta (yhteensä 6 600 km²), jotka mahdollistaisivat toteutuessaan 130 TWh:n vuosittaisen tuotannon. Suomen ja Ruotsin välistä yhteistä suunnittelumekanismia tuulivoiman sijoittamisesta Pohjanlahdella ei ole. Molemmat maat tekevät alueillensa esimerkiksi omat merialuesuunnitelmansa, joiden valmistelu- ja kuumisvaiheessa myös naapurimaalla on mahdollisuus esittää luonnoksista omia näkemyksiä.

Kuten aiemmin on todettu, Luken toimialalla – (talous)kalat, kalastus, merihylkeet ja linnut – mahdolliset haitalliset ympäristövaikutukset syntyisivät yksittäisistä hankkeista, mutta mahdolliset merkittävät vaikutukset muodostuisivat todennäköisesti vasta useiden tuulivoima-alueiden, ja myös muiden tekijöiden, yhteisvaikutuksina, mikäli laajamittainen merituulivoiman rakentaminen sekä Ruotsin että Suomen puolella toteutuu. Edellä mainitut merkittävät yhteisvaikutukset voisivat olla populaatiotasolla havaittavia vaikutuksia, joihin myös Bailey ym. (2014) ja Rezaei ym. (2023) suosittelivat kiinnittämään huomiota. Kalastuksen osalta

vastaavasti yhteisvaikutukset voivat kohdistua yhteen yrittäjään ja laajemmin kokonaiseen kalastussektoriin, eli Pohjanlahden tapauksessa pelagisten lajien troolikalastukseen. Tuulivoima on toki vain yksi ihmistoiminnasta johtuva meriympäristöön kohdistuva paine ja populaatiotason muutoksiin liittyvissä kysymyksissä pitäisi pysyä arvioimaan myös muiden tekijöiden, esimerkiksi kalastuksen tai metsästyksen sekä luonnollisen vaihtelun merkitystä. Lisäksi pitäisi olla olemassa tai järjestettävissä seurantaa, joka tuottaisi tietoa populaatiotason muutoksista. Tällaista Luken ja muiden toimijoiden keräämää seurantatietoa Pohjanlahden ympäristöstä on ainakin hylkeistä, lohesta sekä useista lintulajeista. Päälimmäinen ongelma on kuitenkin se, että tällä hetkellä ei ole riittävästi pohjatietoa (tuulivoiman vaikutusmekanismeista ja Pohjanlahden eri osien merkityksestä ja luontoarvoista), jotta mahdollisia yhteisvaikutuksia pystyttäisiin edes pelkän tuulivoiman osalta ennakoimaan. Tämä on esteenä myös sille, että merituulivoiman sijoittelun suunnittelua voitaisiin tehdä järjestelmällisesti ja yhteisvaikutuksia koskevaan tietoon perustuen.

Laajamittainen merituulivoimarakentaminen ei käynnisty ainakaan lähivuosina, joten aikaa tietopuutteiden täyttämiseen on vielä olemassa. Hyvällä tietopohjalla olisi myös paremmat edellytykset tehdä maiden välistä suunnitelmallista yhteistyötä merituulivoiman sijoittelussa Pohjanlahdelle. Laajamittainen tuulivoimarakentamisen yhteisvaikutusten ennakointi ja arviointi olisi perusteltua ottaa pois yksittäisten hankkeiden YVA:sta ja tehdä isona merialuekohtaisena rajat ylittävänä kokonaisuutena ja kokonaisvaltaisella lähestymistavalla. Saadut tulokset pitäisi vahvasti ottaa mukaan merituulivoiman sijoittelun suunnitteluun. Suomessa tai laajemmin Pohjanlahdella yhteisvaikutusten arviointiin ei ole tällä hetkellä kokonaisvastuullista tahoja.

3.1.2. YVA-menettelyt

YVA-menettelyn tarkoituksena on varmistaa, että suunnitteilla olevan toiminnan ympäristövaikutukset selvitetään riittävällä tarkkuudella silloin, kun hanke todennäköisesti aiheuttaa merkittäviä haitallisia ympäristövaikutuksia. Menettelyssä tarkastellaan mm. vaikutuksia luontoon, ihmisten elinoloihin ja luonnonvarojen käyttöön, ja sen avulla pyritään vähentämään tai estämään haitallisia vaikutuksia, edistämään kestävästä kehityksestä sekä parantamaan päätöksenteon laatua ja avoimuutta. Tavoitteena on myös lisätä eri sidosryhmien mahdollisuuksia vaikuttaa hankkeiden suunnitteluun. YVA-menettelyä sovelletaan myös nykyisiin merituulivoimahankkeisiin. Tuulivoimayhtiöt tyypillisesti tilaavat YVA-selvitykset konsulttitoimistoilta. Ennen arvioinnin toteuttamista laaditaan ympäristövaikutusten arviointiohjelma, joka on suunnitelma arvioinnin toteuttamisesta. Lopputuloksena valmistuu ympäristövaikutusten arviointiselostus, jota kuulemismenettelyn ja yhteysviranomaisen arvioinnin jälkeen (perusteltu päätelmä) käytetään tietolähteenä mm. varsinaisessa lupaprosessissa. Merituulivoimalan rakentaminen niin aluevesillä kuin talousvyöhykkeelläkin vaatii aina vesilain mukaisen vesiluvan, jossa ympäristöasiat otetaan huomioon. Sekä arviointiohjelma- että -selostuksesta järjestetään kuuleminen, jolloin sidosryhmillä ja kansalaisilla on mahdollisuus lausua niistä mielipiteensä ja ehdottaa täydennyksiä tai korjauksia.

EU:n direktiivinkin edellyttämä YVA-menettely merituulivoimahankkeille tehdään myös Ruotsissa. Ruotsissa merituulivoiman YVA-menettely on osa laajempaa ilmasto- ja energiakehystä, jota ohjaa tavoite saavuttaa fossiilivapaa energijärjestelmä vuoteen 2045 mennessä (Naturvårdsverket 2025). Ruotsin hallitus on panostanut strategiseen merialuesuunnitteluun ja pyrkii integroimaan YVA:n tiiviimmin osaksi alueellista energiainfrastruktuurin kehittämistä. Tämä näkyy muun muassa alueellisissa merituulivoimastrategioissa, joissa tunnistetaan sopivimmat alueet sekä teknisistä että ympäristöllisistä näkökulmista.

Luken asiantuntijat ovat perehtyneet ja kirjoittaneet lausuntoja viimeaikaisten merituulivoimamahankkeiden YVA-ohjelmista ja -selostuksista (ELY-keskusten ja Syken pyytämät lausunnot ja YVA-materiaalit löytyvät ympäristöhallinnon YVA-sivustolta: ymparisto.fi). Toteutuneissa tai käynnissä olevissa YVA-menettelyissä on Luken toimialaan liittyen havaittu selkeitä puutteita, koskien Suomen merialueelle suunniteltuja hankkeita sekä myös Ruotsin puolelle suunniteltuja hankkeita, joiden YVA-menettelyyn Suomi on yleisesti osallistunut ns. Espoon sopimuksen perusteella. Päällimmäisenä perussyynä havaittuihin heikkouksiin on se, että aiheeseen liittyvä merialuetta koskeva tietopohja on hyvin vähäinen. Tietoa puuttuu erityisesti merituulivoiman mahdollisista vaikutusmekanismeista (lintuihin, merinisäkkäisiin, kaloihin) ja toisaalta puuttuu myös koko Pohjanlahtea kattavaa perustietoa alueen luontoarvoista. Tätä tietoa tarvittaisiin mm. vertailuaineistoiksi yksittäisille hankkeille. Kun tiedoissa on huomattavia puutteita, ei YVA:n tarkasteluja osata välttämättä kohdistaa oikeisiin asioihin. Toisaalta hankealueella tehdyt selvitykset hyvin toteutettuinaakaan eivät välttämättä ole kovinkaan hyödyllisiä, jos niistä saatua tietoa ei voida suhteuttaa ympäröiviin merialueisiin, koska niistä ei ole saatavilla vastaava tietoa. Tilanne on merialueella tältä osin paljon heikompi kuin maa-alueilla.

Kun tietoa puuttuu mutta jotain pitäisi tehdä, YVA-selostuksiin kerätään usein paljon tarpeetonta taustatietoa (esimerkiksi Pohjanlahden kalalajistosta) ja tehdään turhalta vaikuttavia maastotöitä, esimerkiksi eDNA-selvityksiä tai avomerren verkkokoekalastuksia, joiden tarkoitus jää epäselväksi. Lintujen muuton tarkkailua avomerellä tehdään yleensä vain hyvän sään (heikko tuuli) vallitessa ja yömuuttoa ei edes pyritä selvittämään. Yleisvaikutelman perusteella merituulivoiman YVA-menettelyn tarkoitus näyttää Luken toimialaan liittyvien aiheiden osalta yleensä toteutuvan parhaimmillaankin vain pintapuolisesti, toki eroja yksittäisten selvitysten välillä on. Kuten aiemmin todettiin, YVA-menettelyssä pyritään myös tuulivoimamahankkeiden yhteisvaikutusten arviointiin, mikä on jokseenkin mahdotonta erilaisten tietopuutteiden ja suunniteltujen hankkeiden erilaisten aikataulujen sekä toteutumiseen liittyvien epävarmuuksien takia. Siksi ei liene realistista edes edellyttää yhteisvaikutusten arviointia yksittäisten hankkeiden YVA:ssa.

Erlaisia hankkeita koskevien YVA-menettelyiden tarkasteluissa on yleisemminkin havaittu, että YVA-asiakirjat ovat paisuneet, ja vähäisetkin vaikutukset kuvataan laajasti, kun taas merkittävien vaikutusten tarkastelu jää usein pinnalliseksi (Pölönen & Salonen, 2025). Laajuuden kasvu ei kuitenkaan aina ole tarkoittanut parempaa tarkkuutta tai olennaiseen keskittymistä. Tämä voi heikentää päätöksenteon pohjaksi tarvittavan tiedon selkeyttä ja vaikuttavuutta (Pölönen ja Salonen 2025). Havainnot ovat linjassa kansainvälisten tutkimusten kanssa. Vaikka YVA:lla on tärkeä rooli kestävän kehityksen edistämässä, empiirinen näyttö viittaa sen rajalliseen tehokkuuteen (Jay ym. 2007, Cashmore ym. 2008, da Silva Dias ym. 2017). Monissa tapauksissa voidaan katsoa, että YVA-menettely toteutetaan ennen kaikkea lakisääteisen velvoitteen täyttämiseksi ilman, että välttämättä onnistutaan ympäristövaikutusten vähentämisessä.

4. Kehittämissuosituksen

4.1. Suomen ja Ruotsin yhteistyön lisääminen Pohjanlahdella

Tuulivoimarakentamiseen osoitettavien tai varattavien alueiden osalta Suomen ja Ruotsin välistä yhteistyötä olisi aiheellista tiivistää kokonaiskuvan hallitsemiseksi. Talousvyöhykkeiden lisäksi tässä tulisi huomioida myös aluevesille suunniteltavat hankkeet. Yksi konkreettinen keino yhteistyö tehostamiseksi voisi olla merialuesuunnittelun harmonisointi käytettävien aineistojen ja vaikutusten arvioinnin osalta. Parhaimmillaan yhteistyö olisi merialuesuunnitelmien yhteensovittamista Pohjanlahdella, ja mahdollisesti myös laajemmin Itämerellä. Tämä tukisi myös EU:n linjaa, jossa pyritään siirtymään kohti merialuekohtaisia merialuesuunnitelmia tai ainakin merialuekohtaista suunnittelua. Tiiviin yhteistyön avulla hankkeiden mahdollisten yhteisvaikutusten hallinta olisi tulevaisuudessa paremmin mahdollista, kunhan aiheeseen liittyvää tietopohjaa saadaan samalla vahvistettua.

4.2. Puuttuvan tiedon pikainen täydentäminen

Ympäristövaikutusten arviointiin hanketasolla, yhteisvaikutusten ennakkointiin sekä tulevien tarkkailuiden suunnittelun pohjaksi tarvittaisiin uutta (Pohjanlahdelle sovellettavaa) tietoa. Tiedon avulla myös vietäisiin tilaa mahdollisilta turhilta uhkakuivilta. Tietoa ja osaamista kertyy jatkuvasti muualla maailmassa tehtävistä töistä, esimerkiksi törmäyskuolleisuudesta. Myös mahdollisten haittojen vähentämiseen kehitteillä olevat tekniset ratkaisut ovat hyvin sovellettavissa myös pohjoisille merialueille. Toisaalta jokainen merialue on oma erillinen tapaus sekä luontoarvojen että esimerkiksi kalastustoiminnan osalta. Pohjanlahdella on myös omat erityispiirteensä. Se on matala, vähäsuolainen ja jäätyy talvisin, mikä vaikuttaa sekä merituulivoiman teknisiin ratkaisuihin että ympäristövaikutuksiin. Erityispiirteet asettavat ympäristövaikutusten arviointimenettelylle omat vaatimuksensa. Luken asiantuntijoille on mm. merituulivoimaan liittyvään kirjallisuuteen sekä YVA-asiakirjoihin perehtymisen myötä kertynyt selkeitä näkemyksiä tietopohjan ongelmista. Tämän perusteella on noussut esille viisi Luken toimialaan liittyvää aihekokonaisuutta, joihin liittyvien tietopuutteiden selvittämisellä saataisiin parannettua YVA-menettelyn laatua, päästäisiin ainakin hyvään alkuun merituulivoiman sijoittelun ja yhteisvaikutusten ennakkoinnin osalta ja lisäksi saataisiin arvokasta perustietoa tulevien tarkkailuiden suunnitteluun. Aihekokonaisuudet ovat:

Magneettikenttien vaikutukset vaelluskalojen, erityisesti lohien liikkeisiin. Asiaa käsitellään yleisesti YVA-menettelyssä ja aiheeseen liittyvä huoli nousee esille myös useiden sidosryhmien lausunnoissa. Sähkökaapeleita kulkee nykyisinkin meren pohjalla, joten kyse olisikin mahdollisista yhteisvaikutuksista, jos merituulivoimaa rakennetaan paljon. Tahkoluodossa on toistaiseksi ainoa pohjoisella Itämerellä sijaitseva pieni tuulivoima-alue, jossa voisi hyvin suunnitellulla ja toteutetulla akustista telemetriaa hyödyntävällä tutkimuksella saada vahvaa käytännön näyttöä siitä, onko toimivalla tuulivoima-alueella vaikutusta kutuvaelluksella olevan lohien liikkeisiin. Jos käytössä olevalla tuotantoalueella ei ole havaittavia vaikutuksia lohien liikkeisiin, asia voitaisiin jatkossa sivuuttaa vähemmällä huomiolla (YVA:t, tuulivoiman sijoittelu, tarkkailut), ainakin Tornionjoen suualuetta lukuun ottamatta.

Ulkomatalikoiden merkitys silakan ja muikun kutualueina. Näiden talouskaloinakin merkittävien lajien kutualueista Pohjanlahdella ei ole kerätty järjestelmällistä tietoa. Siksi ei myöskään tunneta ulkomerialueella sijaitsevien matalikoiden merkitystä lajien (silakan kohdalla

syyskutuisille) populaatioille, silakan osalta Selkämerellä ja muikun osalta Perämerellä. Tämän takia olisi perusteltua selvittää huolellisesti muutamalla edustavalla rannikkoalueella ulkomatlikoiden merkitystä lajeille. Jos niiden merkitys kutualueina todettaisiin kokonaisuudessaan marginaaliseksi, asia voitaisiin jatkossa sivuuttaa vähemmällä huomiolla. Päinvastaisessa tapauksessa olisi hyvät perusteet kiinnittää asiaan tosissaan huomiota ja hankkia asiasta lisätieto isompien haittojen vähentämiseksi (erityisesti YVA-menettelyssä)

Troolikalastuksen muutokset ja merituulivoima. Nykyiset troolikalastusalueet tunnetaan hyvin, sillä ainestoa kertyy jatkuvasti alusten satelliittiseurannasta. Tuulivoimarakentaminen tähtää pitkälle tulevaisuuteen eli ison mittakaavan rakentamisen aloittaminen menisi ainakin pitkälle 2030-luvulle. Parin seuraavan vuosikymmenen aikana silakan ja muikun troolauksessa tapahtunee joka tapauksessa muutoksia, jotka heijastunevat myös troolausalueisiin ja toiminnan kannattavuuteen. Troolialusten määrä luultavasti pienenee aluskannan vanhentuessa ja isojen alusten merkitys kasvaa entisestään. Jäätilanteen muutokset aiheuttavat vähittäisiä muutoksia myös kalastusmahdollisuuksissa etenkin Selkämerellä. Samoin mahdolliset kalakannoissa ja kiintiöissä tapahtuvat pitkän aikavälin muutokset. Troolialusten kohdalla pyritään myös tulevaisuudessa siirtymään uusituvan energian käyttöön. Erilaiset muutokset troolikalastuksessa vaikuttavat myös troolikalastuksen ja merituulivoiman yhteiseloon ja niiden ennakointi olisi varautumista intensiivisen tuulivoimarakentamisen vaikutuksiin. Tarvittavan tiedon keruuta tehtäisiin kiinteässä yhteistyössä kalastajien ja heidän etujärjestönsä kanssa.

Merituulivoiman riskit linnuille Pohjanlahden avomerialueella. Lintujen muutosta ulkomerellä tiedetään toistaiseksi melko vähän. Tietoa tarvittaisiin lintujen muuttoreiteistä ja lentokorkeuksista eri sääolosuhteissa ja vuorokaudenaikoina. Myös paikallisten rannikolla ja saaristossa pesivien merilintulajien tilankäytöstä tarvittaisiin lisää tietoa, erityisesti ulkomerialueiden matalikoiden osalta. Tietoa olisi mahdollista järjestelmällisesti hankkia jo olemassa olevista lintujen GPS-seurannoista sekä muutamaa tärkeää kohdelajiin suunnatuilla uusilla seurannoilla. Olemassa olevia säätutka-aineistoja tulisi tehokkaasti hyödyntää ja selvittää myös meriliikenteen valvontatutkien hyödynnettävyyttä. Tutkien lintujen osalta kattamaa aluetta olisi hyvä saada laajennettua myös talousvyöhykkeelle asti, jolloin saataisiin arvokasta tietoa lintujen muutosta myös yöllä. Tässä yhteydessä tulisi huomiota kiinnittää myös varpuslintuihin. Mahdollisille vaikutuksille herkimmiksi todettujen pesivien lintujen (ruokki, selkälokki, merikotka) habitaatinkäyttöä pesimäaikana, ja merikotkan osalta myös muulloin, tulisi mallintaa tarkemmin ympäristömuuttujien avulla, jotta linnuille tärkeimmät alueet saisi tarkennettua. Herkimmiksi katsottujen muuttavien ja pesivien lajien populaatioiden demografiasta tarvittaisiin myös lisätietoa. Yhtenä päämääränä tulisi olla se, että herkimpien lajien osalta pystyttäisiin mallintamaan yhteisvaikutuksia ja myös sitä, miten suurta lisäkuolleisuutta populaatiot kestäisivät.

Merituulivoima ja norpan elinolosuhteet Perämerellä. Merituulivoiman vaikutuksesta erityisesti norppaan tiedetään vähän, sillä muutenkin suhteellisen vähäinen tutkimus on toistaiseksi keskittynyt muihin hyljelajeihin. Vaikka merituulivoimaloiden rakentamisen ja käytön suoria vaikutuksia esimerkiksi norpan käyttäytymiseen voidaan tutkia vasta ensimmäisten tuulivoimaloiden rakentamisen myötä, olisi ennen ensimmäisiä tuulivoimaprojekteja selvitettävä norpan kannalta tärkeimmät alueet Pohjanlahdella. Erittäin tärkeää olisi saada tietoa norpan lisääntymis- ja karvanvaihtoalueista suhteessa jääolosuhteisiin ja tuulivoimaloiden vaikutuksesta jääolosuhteiden muutoksiin erityisesti Perämerellä, jonka merkitys norpalle tulee tulevaisuudessa korostumaan ilmastonmuutoksen myötä. Tietoa tärkeistä lisääntymisalueista voidaan hankkia sekä lentolaskennoilla että muilla menetelmillä, kuten vedenalaisilla äänityksillä.

4.3. Tulevien tarkkailujen ja seurantojen suunnittelun suuntaviivoja

Merituulivoiman rakentaminen edellyttää vesilupaa, ja luvan yhteyteen voidaan asettaa tarkkailuvelvoite. Vesilain 3 luvun 11 §:n uudistetussa 1.1.2026 voimaan tulevassa tekstissä todetaan, että ”Luvassa on määrättävä luvan haltija tarvittaessa tarkkailemaan hankkeen toteuttamista ja sen vaikutuksia. Lupa- ja valvontavirasto, tai sen määräyksestä kalataloustehtäviä hoitava elinvoimakeskus, voi määrätä useat luvan haltijat yhdessä tarkkailemaan toimintojensa vaikutusta (yhteistarkkailu) tai hyväksyä toiminnan tarkkailemiseksi osallistumisen alueella tehtävään seurantaan”. Tarkkailun tavoitteena on tuottaa tietoa hankkeen tai toiminnan toteuttamisen vaikutuksista. Tietojen tulisi olla niin luotettavia, että niiden perusteella voidaan arvioida, onko tarvetta kompensoida haittoja tai muuttaa lupaehdoja. Kyse voi siis olla myös taloudellisestikin merkittävistä asioista. Tarpeettoman tiedon keruuta tulee välttää ja resurssit tulee keskittää oleellisiin asioihin.

Perustietoa merituulivoiman vaikutusmekanismeista ja toisaalta Pohjanlahden alueen luontoarvoista tarvittaisiin lisää myös tarkkailujen suunnitteluun ja kohdentamiseen (ks. luku 3.2.1.). Onkin erittäin tärkeää, että tiedon hankintaan panostetaan ensimmäisten isojen merituulivoimahankkeiden toteutuessa. Ensimmäisistä hankkeista olisi mahdollista saada tarkkailujen tai erillisten tutkimusten avulla arvokasta ja käyttökelpoista tietoa, jota pitäisi pystyä nopeasti ja joustavasti hyödyntämään tarvittaessa jo käynnissä olevien hankkeiden tarkkailuvelvoitteiden päivittämisessä, mutta erityisesti myöhempien hankkeiden ympäristövaikutusten arvioinneissa, luvituksessa ja tarkkailujen suunnittelussa.

Toisaalta Luken toimialaan liittyvät mahdolliset merkittävät vaikutukset olisivat lopulta, jos tuulivoimaa rakennetaan Pohjanlahdelle runsaasti, paljolti eri tuulivoimahankkeiden ja myös muiden paineiden yhteisvaikutuksia. Tämän piirteen takia tarkkailut ja seurannat tulisi suunnitella niin, että tuotetaan tietoa yhteisvaikutuksista eikä pelkästään yksittäisen hankealueen tilanteesta, kuten tarkkailuissa on perinteisesti usein toimittu. Tämä edellyttäisi uudenlaista ajattelutapaa myös tarkkailujen ja seurantojen suunnitteluun ja toteutukseen. Jotkut mahdollisista yhteisvaikutuksista voivat ilmetä hyvin hitaasti ja toisaalta pitkällä aikavälillä voi tapahtua myös palautumista, joten tarkkailujen tulisi olla ainakin keskeisiltä osiltaan pitkäkestoisia kattuen koko toiminnan elinkaaren.

Silloin kun jotain asiaa (vaikutusta) tarkkaillaan tai seurataan yksittäisellä hankealueella tai sen läheisyydessä, seuranta tulisi pääsääntöisesti aloittaa jo hyvissä ajoin ennen rakentamisen aloittamista, jotta saadaan luotettavaa tietoa hankkeen toteuttamista edeltävästä tilanteesta. Ilman tätä tietoa vaikutusten luotettava arviointi voi muodostua mahdottomaksi. Tämä tarve on ainakin osittain huomioitu Vesilain päivityksessä, sillä uudistetussa 3 luvun 11§:ssä todetaan edelleen, että ”Luvan haltija voidaan luvassa velvoittaa esittämään tarkkailusuunnitelma 1 momentissa tarkoitetun tarkkailun tarkemmasta järjestämisestä Lupa- ja valvontaviraston tai sen määräämän viranomaisen hyväksyttäväksi niin ajoissa, että tarkkailu voidaan aloittaa toiminnan alkaessa tai muuna toiminnan vaikutusten kannalta tarkoituksenmukaisena ajankohdantana”.

4.3.1. Rakentamisvaihe

Tarkkailuvelvoitteita asetettaneen jo rakennusvaiheeseen. Kaloja, lintuja ja hylkeitä todennäköisesti karkottuu paikallisesti rakennustöiden aikana ja samoin troolikalastus estyy

lähialueilla, mutta vaikutukset ovat luonteeltaan tilapäisiä. Varta vasten näihin asioihin liittyvillä tarkkailuilla ei ehkä, vaikka ne toteutettaisiin laadukkaastikin, saataisi mitään tärkeää lisätietoa esimerkiksi pelkästään vesien samentumiseen ja vedenalaisen meluun liittyvien tarkkailujen täydentämiseksi. Selkeä poikkeus on kuitenkin se, jos rakennustöitä tehdään itämeren-norpan pesimäalueilla ja pesimäaikaan, eli käytännössä silloin kun merellä on vielä jäätä, mutta todennäköisesti näin ei toimita. Aiheeseen liittyvää tietoa ei ole saatavissa muualla tehdyissä tutkimuksissa. Paaluttamisen mahdollisista isoista vaikutuksista lohen vaellukseen voitaisiin joka tapauksessa saada viitteitä Luken jokiseurannoista, joissa vaikutukset voisivat näkyä esimerkiksi kutuvaelluksen selittämättömänä viivästyksenä. Vastaavasti paaluttamisen mahdollisista laajamittaisista vaikutuksista lohen smolttien liikkeisiin voitaisiin saada tietoa akustisista merkinnöistä ja seurantalinjastoista, joita ainakin lähivuosina toteutetaan Suomen ja Ruotsin tutkimuslaitosten yhteistyönä.

4.3.2. Tuotantovaihe

Luken toimialan kannalta tärkeää olisi keskittyä (pysyvien) tuotantovaiheen vaikutusten tarkkailuun. Alla on esitetty aihekohtaisia alustavia ajatuksia siitä, minkälaisiksi toimivat tarkkailut voisivat muotoutua ja minkä tyyppisiin asioihin huomiota kannattaisi nyt käytettävissä olevien tietojen perusteella tarkkailuissa kiinnittää. Aiheet ovat siis sellaisia, joiden seuranta/tarkkailu on mahdollista vasta kun tuulivoimaa on rakennettu. Osa aiheista on luonteeltaan lähellä tutkimusta. Lähes kaikissa aiheissa työ kannattaisi toteuttaa isoina ja hyvin suunniteltuina kokonaisuuksina eli lajoina yhteistarkkailuina, joihin voisi matkan varrella tulla mukaan uusia hankkeita. Tarkkailut kannattaisi rakentaa niin, että ne tarpeen mukaan hyödyntävät nykyisiä esim. Luken seurantoja ja jopa vahvistavat niitä uudenlaisen yhteistyön kautta. Tähän antaa mahdollisuuden myös Vesilain 3 luvun 11 § tehty uudistus (ks. edellinen sivu). Myös yhteistarkkailujen suunnittelussa tulisi tehokkaasti hyödyntää tutkimuslaitosten asiantuntemusta.

Linnut

Yksi keskeinen asia tulisi olla lintujen törmäyskuolleisuuden vaikutusten seuranta, myös siksi, että törmäyskuolleisuuteen on mahdollista vaikuttaa. Tähän tarvittaisiin vankkaa tietoa törmäyskuolleisuudesta erilaisissa olosuhteissa. Tietoa kertyy muualla maailmassa tehtävissä tutkimuksissa, ainakin maatuulivoiman osalta, mutta asiaa olisi tärkeä seurata myös Pohjanlahden olosuhteissa muutamassa kohteessa. Seurannan toteutus on haastavaa ja olisi suositeltavaa toteuttaa tuulivoimahankkeiden yhteisenä seurantana tai kokonaan erillisellä rahoituksella. Tämä olisi tärkeää toteuttaa jo ensimmäisten toteutuvien hankkeiden yhteydessä, jotta saataisiin nopeasti arvokasta lisätietoa mm. myöhempien hankkeiden ympäristövaikutusten arviointeihin. Lintuja menehtyy paljon mm. liikenteessä ja törmäyksissä voimajohtoihin. Lintuja menehtyy väistämättä myös merellä tapahtuviin törmäyksiin, mutta toki niitä pitäisi pyrkiä välttämään. Erityistä huomiota tulisi kiinnittää tilanteisiin, joissa merellä tapahtuvien törmäysten aiheuttamalla lisäkuolleisuudella voisi olla lajille erityisen haitallisia populaatiotason vaikutuksia. Kyse olisi käytännössä siis useiden tuulivoima-alueiden ja muidenkin paineiden yhteisvaikutuksista. Riskilajeina tässä yhteydessä nykyisen tietämyksen perusteella voisivat olla metsähänhet, selkäloppi sekä merikotka. Törmäyskuolleisuuteen on mahdollista vaikuttaa teknisillä ratkaisuilla, ensisijaisesti jo suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa, mutta tarvittaessa myös rakentamisen jälkeen. Lisäkustannuksia aiheuttavien toimien tarpeellisuus tulisi perustella vakuuttavasti.

Estevaikutus ja habitaatin menetykset voinevat vaikuttaa lähinnä ulkomerta säännöllisesti hyödyntäviin pesiviin lajeihin kuten ruokki, selkälokki ja tiirat sekä merellä levähtäviin ja ruokaileviin lajeihin kuten allit, mustalintu, pilkkasiipi ja kuikkalinnut. Vaikutusten seurannan kannalta olisi tärkeää, että lintujen ulkomeren hyödyntämisestä ruokailuun olisi hyvää ennakkotietoa (mielellään koko rannikolta) jo ennen isomman mittakaavan rakentamisen aloittamista. Vastaava tietoa ei ainakaan nykyisin YVA:ssa kovinkaan tarkkaan kerätä esimerkiksi GPS-lähtemien avulla ja lisäksi YVA:ssa kerätyt tiedot saattavat olla osittain vanhentuneita siinä vaiheessa, kun rakentaminen aloitetaan. Toimijat voisi velvoittaa keräämään tarkkailuissa tai seurannoissa tällaista tietoa jo ennen rakennustöiden aloittamista. Ylempänä mainittujen lajien pesivien paikallispopulaatioiden keskittymiä ja muutoksia Pohjanlahdella seurataan valtakunnallisessa saaristolintuseurannassa. Laskentojen kattavuudessa on selkeitä puutteita. Seurannan ajallista ja alueellista tarkkuutta voisi olla perusteltua lisätä tuulivoimahankkeiden yhteistarkkailuna, uudenlaisena kustannustehokkaana yhteistyönä valtionhallinnon toimijoiden kanssa. Jo toteutuneen estevaikutuksen tai habitaatin menetyksen mahdollisille todetuille haitallisille vaikutuksille on vaikea tuotantoalueella tehdä mitään, mutta ainakin periaatteessa olisi mahdollista tehdä kompensatiotoimia saaristoalueella – esimerkiksi rauhoittaa pesimäluotoja tai muuten kohentaa olosuhteita niillä. Haitallisia estevaikutuksia ja habitaatin menetyksiä pystytään tehokkaasti estämään ainoastaan tuulivoiman sijoitteluun vaikuttamalla.

Lopullisena päämääränä tulisi olla se, että erityisen herkkien lajien osalta (osa) populaatioista ja niihin vaikuttavista paineista olisi niin hyvät tiedot, että pystyttäisiin mallintamaan se, kuinka suurta (tuulivoimasta aiheutuvaa) kuolleisuutta tai poikastuotannon heikkenemistä populaatio kestäisi. Tämä edellyttäisi myös poikastuotannon ja säilyvyyksien seurantoja, mikä olisi toteutettavissa saaristolintuseurantojen yhteydessä tehtävillä poikastuotoseelvityksillä. Tällöin olisi periaatteessa mahdollista arvioida myös yhteisvaikutuksia sekä törmäyskuolleisuuden että estevaikutuksen ja habitaattien menettämisen osalta. Tällaisella tiedolla voisi olla konkreettista merkitystä myös päätöksenteossa. Tämäkin tavoite edellyttäisi uudenlaista yhteistoimintaa toiminnanharjoittajien ja tutkimuslaitosten välillä myös kansainvälisesti.

Hylkeet

Kun ensimmäiset isot tuulivoima-alueet valmistuvat Perämerelle (joko Suomen tai Ruotsin puolelle), on ensiarvoisen tärkeää tarkkailla tuulivoiman ja huoltoliikenteen vaikutuksia itämerennorpan pesintään ja karvanvaihtoon sekä ruokailualueisiin. Menetelminä voidaan käyttää esimerkiksi hydrofoneja, joilla voidaan havainnoida vedenalaista melua ja myös hylkeiden oleskelua alueella. Kattavat lentolaskennat karvanvaihto- ja myös pesintäaikaan ovat välttämättömiä selvittämään kannan alueellisista jakautumista ja siinä mahdollisesti tapahtuvia muutoksia rakentamisen ja käyttöönoton aikana. Merkitsemällä hyljeyksilöitä satelliittilähetimillä saadaan puolestaan tarkkaa tietoa yksilöiden sijoittumisesta suhteessa tuulivoimaloihin ja muihin mahdollisiin häiriölähteisiin. Tällä tavalla on mahdollista saada arvokasta tietoa siitä, miten myöhempien hankkeiden sijoittelussa sekä tarkkailuissa itämerennorpan elinmahdollisuudet tulee ottaa huomioon erityisesti pohjoisella Perämerellä. Itämerennorpan kannalta tärkeää pohjoisinta aluetta ei tulisi laajamittaisesti luvittaa ainakaan ennen kuin luotettavaa tietoa vaikutuksista on saatavilla. Kyse on todennäköisesti muutaman vuosikymmen jälkeen koko itämerennorppapopulaatiolle kriittisistä pesimäalueista. Yhteistyö Ruotsin kanssa on tässä erittäin tärkeää.

Kalat

Tuulivoimat ja niihin liittyvät rakenteet vaikuttanevat jollain tavoin ainakin alueilla esiintyviin paikallisiin pohjakaloihin ja vaikutukset voivat olla positiivisia ns. riuttavaikutuksia, jotka Pohjanlahdella jäänevät hyvin vähäisiksi. Mahdolliset vaikutukset kohdistuisivat muutamaa pohjalla elävään ei-taloukskalalajiin, sillä Pohjanlahdella ei ole käytännössä kalastuksen kohteena olevia pohjakalakantoja. Näihin hyvin paikallisiin vaikutuksiin ei kannattane kiinnittää tarkkailuissa huomiota jo senkin takia, että mahdollisilla tuloksilla ei olisi käytännön arvoa.

Jos ilmenee, että tuulivoimalla (tuotantovaiheessa) on mahdollisesti vaikutusta esimerkiksi lohien kutuvaellukseen, smolttien liikkeisiin tai muikun ja syyskutuisen silakan lisääntymiseen, on mahdollisia populaatiotason vaikutuksia järkevintä seurata Luken nykyisten seurantojen perusteella, tarvittaessa niitä suunnitelmallisesti täydentäen yhteistarkkailujen avulla tai muunlaisessa yhteistyössä. Yksittäisen tekijän vaikutusten erottaminen muiden tekijöiden vaikutuksista voi tuki osoittautua vaikeaksi. Yksityiskohtaisempaa tarkkailua voisi tarvittaessa toteuttaa muutamilla valikoiduilla kohteilla eli tuulivoima-alueilla. Tietojen karttuessa tuloksilla voisi olla merkitystä myöhempien hankkeiden toteutustapoihin.

Merituulivoiman vaikutuksia vapaa-ajankalastukseen tai energiansiirtokäytävien vaikutuksia kalastoon rannikolla on jo muutamissa YVA-selostuksissa ehdotettu tarkkailtavaksi esimerkiksi kalastuskyselyillä ja verkkokoekalastuksilla. Vastaavia lähestymistapoja on vuosikymmenten aikana käytetty hyvin yleisesti monenlaiseen toimintaan liittyvissä vesiluvan yhteydessä määrättyissä kalataloustarkkailuissa sekä merialueella että sisävesillä. Kalataloustarkkailuiden toimivuutta on arvioitu (Lappalainen ym. 2022, Heikkinen ym. 2022) ja todettu selkeästi, että ne eivät ole käytännössä juurikaan tuottaneet todellista aineistoihin perustuvaa tietoa tarkkailtavan toiminnan kalasto- tai kalatalousvaikutuksista. Niissä tyypillisesti käytetyillä aineistonkeruumenetelmillä (koekalastukset ja myös kalastuskyselyt) todennäköisyys havaita todellisia vaikutuksia myös silloin kuin niitä olisi, on pieni johtuen menetelmien heikkouksista ja virhelähteistä. Lopputuloksen todettiin olevan ongelmallinen sekä toiminnanharjoittajien että mahdollisten haitankärsijöiden oikeusturvankin kannalta. Merituulivoiman tarkkailuiden yhteydessä on syytä edellä mainittujen menetelmien helppoudesta aiheutuvista houkutuksista huolimatta kokonaan välttää tällaisen näennäistiedon tuottamista ja keskittyä tuottamaan tietoa, jolla voisi oikeasti olla käytännön vaikuttavuutta.

Kalastus

Troolikalastuslaivastosta, niiden saaliista sekä kalastusalueista ja niiden muutoksista kertyy jatkuvasti tietoa kalataloushallinnon rekistereihin. Luke kokoaa lisäksi osana vuosittaista kalatalouden EU-tiedonkeruuta tietoja kalastusyrytysten taloudellisesta kannattavuudesta. Nämä ovat hyviä lähtötietoja kalastukseen kohdistuvien vaikutusten seurantaan riippumatta siitä, sisältyykö seuranta varsinaisiin tarkkailuihin vai ei.

Kiitokset

Kiitokset arvokkaista kommenteista ja korjausehdotuksista Mari Pohja-Mykrälle (YM), Heikki Lehtiselle (MMM), Annina Hästölle (Metsähallitus) ja hänen tiimilleen sekä Veera Villikarille, joka kokosi ja toimitti Suomen uusiutuvat ry:n kommentteja ja korjausehdotuksia.

Lisäksi Andreas Linden (Luke), Antti Piironen (Luke) ja Hannu Tikkanen (Metsähallitus) ovat antaneet kommentteja ja parannusehdotuksia lintuja käsitteleviin teksteihin ja Harri Kankaanpää (Syke) ja Okko Outinen (Syke) vedenalaista melua käsitteleviin teksteihin. Myös useilta Luken asiantuntijoilta on saatu tukea aiemmin kirjoitusvaiheessa.

Viitteet

- Aarts, G., Brasseur, S. & Kirkwood, R. 2017. Response of grey seals to pile-driving. Wageningen Marine Research (University & Research centre), Wageningen Marine Research report C006/18. 54 s.
- AFRY 2025. Halla Offshore Wind Oy. Hallan merituulivoimahanke, YVA-selostus. Osa A: Merituulivoimapuisto ja energiansiirto. 654 s + liitteet.
- Ainley, D., Porzig, E., Zajanc, D. & Spear, L. 2015. Seabird Flight Behavior and Height in Response to Altered Wind Strength and Direction. *Marine Ornithology* 43: 25–36. <http://doi.org/10.5038/2074-1235.43.1.1098>
- Andersson, M.H. & Öhman, McC 2010. Fish and sessile assemblages associated with wind-turbine constructions in the Baltic Sea. *Marine and Freshwater Research* 61: 642–650
- Anderson, J.M., Clegg, T.M., Véras, L.V.M.V.Q. & Holland, K.N. 2017. Insight into shark magnetic field perception from empirical observations,” *Scientific Reports* 7(1): 11042.
- Andersson, M., Bensow R., Glebe, D., Hassellöv, I.M., Lalander, E., Langlet, D., Larsson, K., Malmberg, L.-G., Sundblad, E.-L. & Svedendahl, M. 2023. Management Measures to Reduce Continuous Underwater Noise from Shipping. Report No. 2023:3. Swedish Institute for the Marine Environment.
- Ashley, M.C., Mangi, S.C. & Rodwell, L.D. 2014. The potential of offshore wind farms to act as marine protected areas – a systematic review of current evidence. *Marine Policy* 45: 301–309. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.09.002>
- Asselin, S., Hammill, M.O. & Barrette, C. 1993. Underwater vocalizations of ice breeding grey seals. *Canadian Journal of Zoology* 71(11): 2211–2219.
- Atmore, L.M., Martínez-García, L., Makowiecki, D., André, C., Lõugas, L., Barrett, J.H. & Star, B. 2022. Population dynamics of Baltic herring since the Viking Age revealed by ancient DNA and genomics. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*. 2022 Nov 8;119(45): e2208703119. doi: 10.1073/pnas.2208703119
- Bailey, H., Brookes, K.L. & Thompson P.M. 2014. Assessing environmental impacts of offshore wind farms: lessons learned and recommendations for the future. *Aquatic Biosystems* 10:8.
- Bailey, H., Senior, B., Simmons, D., Rusin, J., Picken, G. & Thompson, P.M. 2010. Assessing underwater noise levels during pile-driving at an offshore windfarm and its potential effects on marine mammals. *Marine Pollution Bulletin* 60: 888–897
- Band, B. 2012. Using a Collision Risk Model to Assess Bird Collision Risks for Offshore Wind-farms. SOSS Report. The Crown Estate.
- Band, W., Madders, M. & Whitfield, D.P. 2007. Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms. Teoksessa: De Lucas, M., Janss, G.F.E. ja Ferrer, M. (toim.). *Birds and Wind Farms: Risk Assessment and Mitigation*. pp. 259–275. Quercus, Madrid.

- Barrios, L. & Rodríguez, A. 2004. Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at onshore wind turbines. *Journal of Applied Ecology* 41: 72–81. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2004.00876.x>
- Baulaz, Y., Aраignous, E., Perez-Lopez, P., Douziech M., Quillien, N. & Verones, F. 2025. Development of a collision impact indicator to integrate in the life cycle assessment of offshore wind farms. *International Journal of Life Cycle Assessment* 30: 543–561. <https://doi.org/10.1007/s11367-024-02413-8>
- Bekkevold, D., Gross, R., Arula, T., Helyar, S. J. & Ojaveer, H. 2016. Outlier loci detect intraspecific biodiversity amongst spring and autumn spawning herring across local scales. *PLOS ONE* 11: e0148499. Rannikkovyöhykkeen ulkopuolisilla alueilla ei ole juurikaan tehty poikaskartoituksia.
- Bellmann, M.A., Brinkmann, J., May, A., Wendt, T., Gerlach, S. & Remmers, P. 2020. Underwater noise during the impulse pile-driving procedure: Influencing factors on pile-driving noise and technical possibilities to comply with noise mitigation values. Supported by the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)), FKZ UM16 881500. Commissioned and managed by the Federal Maritime and Hydrographic Agency (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)), Order No. 10036866. Edited by the itap GmbH
- Bergström, L., Sundqvist, F. & Bergström, U. 2013. Effects of an offshore wind farm on temporal and spatial patterns in the demersal fish community. *Marine Ecology Progress Series* 485: 199–210.
- Blom, E.L., Kvarnemo, C., Dekhla, I., Schöld, S., Andersson, M.H., Svensson, O. & Amorim, M.C.P. 2019. Continuous but not intermittent noise has a negative impact on mating success in a marine fish with paternal care. *Scientific Reports* 9: 5494. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41786-x>
- Bodini, N., Lundquist, J.K. & Moriarty, P. 2021. Wind plants can impact long-term local atmospheric conditions. *Scientific Reports* 11: 1–12. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-02089-2.pdf>
- Borkenhagen, K., Corman, A.-M. & Garthe, S. 2018. Estimating flight heights of seabirds using optical rangefinders and GPS data loggers: a methodological comparison. *Marine Biology* 165: 17. <https://doi.org/10.1007/s00227-017-3273-z>
- Brabant, R., Vanermen, N., Stienen, E.W. & Degraer, S. 2015. Towards a cumulative collision risk assessment of local and migrating birds in North Sea offshore wind farms. *Hydrobiologia* 756: 63–74. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2224-2>
- Bradarić, M., Kranstauber, B., Bouten, W. & Shamoun-Baranes, J. 2024. Forecasting nocturnal bird migration for dynamic aeroconservation: The value of short-term datasets. *Journal of Applied ecology* 61: 1147–1158. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14651>
- Bradbury, G., Trinder, M., Furness, B., Banks, A., Caldow, R. & Hume, D. 2014. Mapping Seabird Sensitivity to Offshore Wind Farms. *PLoS ONE* 9: e106366. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0106366>

- Busch, M. & Garthe, S. 2016. Approaching population thresholds in presence of uncertainty: Assessing displacement of seabirds from offshore wind farms. *Environmental Impact Assessment Review* 56: 31–42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2015.08.007>
- Carroll, D., Ahola, M.P., Carlsson, A.M., Sköld, M. & Harding, K.C. 2024. 120-years of ecological monitoring data shows that the risk of overhunting is increased by environmental degradation for an isolated marine mammal population: The Baltic grey seal. *Journal of Animal Ecology* 93: 525–539. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.14065>
- Cashmore, M., Bond, A. & Cobb, D. 2008. The role and functioning of environmental assessment: Theoretical reflections upon an empirical investigation of causation. *Journal of Environmental Management* 88(4): 1233–1248.
- Choi, D.Y., Wittig, T.W. & Kluever, B.M. 2020. An evaluation of bird and bat mortality at wind turbines in the Northeastern United States. *PLoS ONE* 15(8): e0238034. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238034>
- Christiansen, N., Daewel, U., Krings, L. & Schrum, C. 2025. Offshore hydrogen production leaves a local hydrographic footprint on stratification in the North Sea. *npj Ocean Sustainability* 4: 19. <https://doi.org/10.1038/s44183-025-00121-w>
- Clausen, K.T., Teilmann, J., Wisniewska, D.M., Balle, J.D., Delefosse, M. & Beest, F.M. 2021. Echolocation activity of harbour porpoises, *Phocoena phocoena*, shows seasonal artificial reef attraction despite elevated noise levels close to oil and gas platforms. *Ecological Solutions and Evidence* 2 (2021). <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12055>
- Cook, A., Humphreys, E., Masden, E. & Burton, N. 2014. The Avoidance Rates of Collision between Birds and Offshore Turbines. *Scottish Marine and Freshwater Science* 5: 16. Edinburgh.
- Cook, A., Humphreys, E., Bennet, F., Masden, E. & Burton, N. 2018. Quantifying avian avoidance of offshore wind turbines: Current evidence and key knowledge gaps. *Marine Environmental Research* 140: 278–288. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.06.017>
- Cook, A., Salkanovic, E., Masden, E., Lee, H. & Holm Kiillerich, A. 2025. A critical appraisal of 40 years of avian collision risk modelling: How have we got here and where do we go next? *Environmental Impact Assessment Review* 110: 107717. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107717>
- Croll, D., Ellis, A., Adams, J., Cook, A., Garthe, S., Goodale, M. & 17 muuta kirjoittajaa. 2022. Framework for assessing and mitigating the impacts of offshore wind energy development on marine birds. *Biological Conservation* 276: 109795.
- da Silva Dias, A.M., Fonseca, A. & Paglia, A.P. 2017. Biodiversity monitoring in the environmental impact assessment of mining projects: A (persistent) waste of time and money? *Perspectives in Ecology and Conservation* 15(3): 206–208. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.06.003>
- Daewel, U., Akthar, N., Christiansen, N. & Schrum, C. 2022. Offshore wind farms are projected to impact primary production and bottom water deoxygenation in the North Sea. *Communications Earth & Environment* 3. article number 292. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00625-0>

- Dahl, E.L., May, R., Hoel, P.L., Bevanger, K., Pedersen, H.C., Røskaft, E. & Stokke, B.G. 2013. White-tailed eagles (*Haliaeetus albicilla*) at the Smøla wind-power plant, Central Norway, lack behavioral flight responses to wind turbines†. *Wildlife Society Bulletin* 37: 66–74. <https://doi.org/10.1002/wsb.258>
- Danovaro, R., Bianchelli, S., Brambilla, P., Brussa, G., Corinaldesi, C., Del Borghi, A., Dell'Anno, A., Frascchetti, S., Greco, S., Grosso, M., Nepote, E., Rigamonti, L. & Boero, F. 2024. Making eco-sustainable floating offshore wind farms: Siting, mitigations, and compensations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 197: 114386. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114386>
- De Backer, A., Polet, H., Sys, K., Vanelslander, B. & Hostens, K. 2019. Fishing activities in and around Belgian offshore wind farms: trends in effort and landings over the period 2006–2017. In *Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: making a decade of monitoring, research and innovation*. *Memoirs on the Marine Environment*. pp. 31–46.
- De Backer, A., Buysse, J. & Hostens, K. 2020. A decade of soft sediment epibenthos and fish monitoring at the Belgian offshore wind farm area. Teoksessa: S. Degraer, R. Brabant, B. Rumes, & L. Vigin (toim.). *Environmental Impacts of Offshore Wind Farms in the Belgian Part of the North Sea: Empirical Evidence Inspiring Priority Monitoring, Research and Management*. Series 'Memoirs on the Marine Environment'. pp. 79–113. https://odnature.naturalsciences.be/downloads/mumm/windfarms/winmon_report_-_2020_final.pdf
- Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B. & Vigin, L. (eds). 2019. *Environmental Impacts of Offshore Wind Farms in the Belgian Part of the North Sea: Marking a Decade of Monitoring, Research and Innovation*. Brussels: Royal Belgian Institute of Natural Sciences, OD Natural Environment. *Marine Ecology and Management*. 134 p.
- Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B. & Vigin, L. (eds.) 2021. *Environmental Impacts of Offshore Wind Farms in the Belgian Part of the North Sea: Attraction, avoidance and habitat use at various spatial scales*. *Memoirs on the Marine Environment*. Brussels: Royal Belgian Institute of Natural Sciences, OD Natural Environment, *Marine Ecology and Management*. 104 pp.
- Desholm, M. & Kahlert, J. 2005. Avian collision risk at an offshore wind farm. *Biology Letters* 1: 296–298. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2005.0336>
- Desholm, M., Fox, A., Beasley, L. & Kahlert, J. 2006. Remote techniques for counting and estimating the number of bird–wind turbine collisions at sea: a review. *Ibis* 148: 76–89. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00509.x>
- Dhanak, M., Coulson, R., Dibiasio, C., Frankenfield, J., Henderson, E., Pugsley, D. & Valdes, G. 2016. Assessment of Electromagnetic Field Emissions from Subsea Cables. Paper presented at 4th Annual Marine Energy Technology Symposium (METS), Washington D.C., USA.
- Diaz, H. & Soares, C.G. 2020. Review of the current status, technology and future trends of offshore wind farms. *Ocean Engineering* 209: 107381.

- Dickey-Collas, M., Nash, R.D.M., Brunel, T., van Damme, C.J.G., Marshall, C.T., Payne, M.R., Corten, A., Geffen, A.J., Peck, M.A., Hatfield, E.M.C., Hintzen, N.T., Enberg, K., Kell, L.T. & Simmonds, E.J. 2010. Lessons learned from stock collapse and recovery of North Sea herring: a review. – *ICES Journal of Marine Science* 67: 1875–1886.
<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsq033>
- Dierschke, V., Furness, R.W. & Garthe, S. 2016. Seabirds and offshore wind farms in Euro-pean 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>
- Drewitt, A. & Langston, R. 2008. Collision effects of wind-power generators and other obstacles on birds. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134(1): 233–266.
<https://doi.org/10.1196/annals.1439.015>
- Durif, C.M., Browman, H.I., Phillips, J.B., Skiftesvik, A.B., Vøllestad, L.A. & Stockhausen, H.H. 2013. Magnetic compass orientation in the European eel. *PLoS ONE* 8(3): e59212
- Dähne, M., Tougaard, J., Carstensen, J., Rose, A. & Nabe-Nielsen, J. 2017. Bubble curtains attenuate noise from offshore wind farm construction and reduce temporary habitat loss for harbour porpoises. *Marine Ecology Progress Series* 580: 221–237.
- Ersalman, M., Kunasranta, M., Ahola, M., Carlsson, A.M., Persson, S., Bäcklin, B.M., Helle, I., Cervin, L. & Vanhatalo, J. 2025. Integrated population model reveals human- and environment-driven changes in Baltic ringed seal *Pusa hispida botnica* demography and behavior. *Marine Ecology Progress Series* 764: 213–236.
- Esteban, M.D., Lopez-Gutierrez, J.S. & Negro, V. 2019. Gravity-Based Foundations in the Off-shore Wind Sector. *Journal of Marine Science and Engineering* 7(3): 64.
<http://dx.doi.org/10.3390/jmse7030064>
- Exo, K., Hüppop, O. & Garthe, S. 2003. Birds and Offshore Wind Farms: A Hot Topic in Marine Ecology. *Wader Study Group Bulletin* 100: 50–53.
- Fijn, R., Krijgsveld, K., Poot, M. & Dirksen, S. 2015. Bird movements at rotor heights measured continuously with vertical radar at a Dutch offshore wind farm. *Ibis* 157: 558–566.
<https://doi.org/10.1111/ibi.12259>
- Floeter, J., van Beusekom, J.E.E., Auch, D., Callies, U., Carpenter, J., Dudeck, T., Eberle, S., ym. 2017. Pelagic effects of offshore wind farm foundations in the stratified North Sea. *Progress in Oceanography* 156: 154–173.
- Fox, A. & Petersen, I.K. 2019. Offshore wind farms and their effects on birds. *Dansk Ornitologisk Forenings Tidsskrift* 113: 86–101
- Frost, M. & Diele, K. 2022. Essential spawning grounds of Scottish herring: current knowledge and future challenges. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 32: 721–744.
<https://doi.org/10.1007/s11160-022-09703-0>

- Furness, R., Wade, H. & Masden, E. 2013. Assessing vulnerability of marine bird populations to off-shore wind farms. *Journal of Environmental Management* 119: 56–66.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.025>
- Garthe, S. & Hüppop, O. 2004. Scaling possible adverse effects of marine wind farms on sea-birds: developing and applying a vulnerability index. *Journal of Applied Ecology* 41: 724e734. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00918.x>
- Garthe, S., Schwemmer, H., Peschko, V., Markones, N., Müller, S., Schwemmer, P. & Mercker, M. 2023. Large-scale effects of offshore wind farms on seabirds of high conservation concern. *Scientific Reports* 13: 4779. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31601-z>
- Gartman, V., Bulling, L., Dahmen, M., Geißler, G. & Köppel, J. 2016. Mitigation measures for wildlife in wind energy development, consolidating the state of knowledge—Part 2: operation, decommissioning. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management* 18(03): 1650014. <https://doi.org/10.1142/S1464333216500149>
- Gill, A.B. & M. Desender. 2020. Risk to Animals from Electromagnetic Fields Emitted by Electric Cables and Marine Renewable Energy Devices. Teoksessa: A.E. Copping and L.G. Hemery (toim.). OES-Environmental 2020 State of the Science Report: Environmental Effects of Marine Renewable Energy Development Around the World. Report for Ocean Energy Systems (OES). pp. 86–103.
- Gill, A.B., Bremner, J., Vanstaen, K., Blake, S., Mynott, F. & Lincoln, S. 2024. Limited Evidence Base for Determining Impacts (Or not) of Offshore Wind Energy Developments on Commercial Fisheries Species. *Fish and Fisheries* 26: 155-170.
<https://doi.org/10.1111/faf.12871>
- Godfrey, J.D., Stewart, D.C., Middlemas S.J. & Armstrong, J.D. 2015. Depth use and migratory behaviour of homing Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Scottish coastal waters. *ICES Journal of Marine Science* 72: 568–575. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu118>
- Grundlehner, A., Leopold, M. & Kersten, A. 2025. This is EPIC: Extensive Periphery for Impact and Control to study seabird habitat loss in and around offshore wind farms combining a peripheral control area and Bayesian statistics. *Ecological Informatics* 85: 102981.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102981>
- Halkka, A. & Tolvanen, P. (toim.) 2017. The Baltic Ringed Seal – An Arctic Seal in European Waters. Maailman Luonnon Säätiön WWF Suomen Rahaston raportteja 36. 32 s.
- Hammar, L., Wikström, A. & Molander, S. 2014. Assessing ecological risks of offshore wind power on Kattegat cod. *Renewable Energy* 66: 414–424.
- Hansson, P. 2019. Koncentrationer av hotade termikflyttande fåglar i Fennoskandia. *Vox Natura*. ARCUM Arctic Research Centre at Umeå University.
- Hansson, P. 2020. Flaskhalsar för flyttande rovfåglar i Fennoskandia. *Vox Natura*. ARCUM Arctic Research Centre at Umeå University.
- Hario, M. & Rintala, J. 2016. Population Trends in Herring Gulls (*Larus argentatus*), Great Black-Backed Gulls (*Larus marinus*) and Lesser Black-Backed Gulls (*Larus fuscus fuscus*) in Finland. *Waterbirds* 39: 10–14.

- Hario, M. 2025. Vuoden lintu 2024: Selkälökin väheneminen jatkuu. – Linnut-vuosikirja 2024: 6–15.
- Hawkins, A.D., Roberts, L. & Cheesman, S. 2014. Responses of free-living coastal pelagic fish to impulsive sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America* 135: 3101–3116.
- Havs- och vattenmyndigheten 2025. Förslag till ändrade havsplaner för Bottniska viken, Östersjön och Västerhavet. Förslag (dnr 00764–2022 <https://www.havochvatten.se/download/18.6ab16f9919457c08995997e2/1737447217129/F%C3%B6rslag%20till%20%C3%A4ndrade%20havsplaner%20f%C3%B6r%20Bottniska%20viken,%20%C3%96stersj%C3%B6n%20och%20V%C3%A4sterhavet%202025-01-20.pdf>). Haettu 25.9.2025.
- Hedger, R.D., Kjellman, M., Thorstad, E.B., Strom J.F. & Rikardsen A.H. 2022. Diving and feeding of adult Atlantic salmon when migrating through the coastal zone in Norway. *Environmental Biology of Fishes* 105: 589–604. <https://doi.org/10.1007/s10641-022-01269-x>
- Heikkinen, J., Rajala, T., Ruokonen, T., Keskinen, T. & Lappalainen, A. 2022. Kalataloustarkkailuiden tilastollinen voima: Esimerkkitarkasteluja koekalastusaineistojen riittävydestä johtopäätösten tekemiseen. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 17/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 39 s.
- Heinänen, S., Žydelis, R., Kleinschmidt, B., Dorsch, M., Burger, C., Morkūnas, J., Quillfeldt, P. & Nehls, G. 2020. Satellite telemetry and digital aerial surveys show strong displacement of red-throated divers (*Gavia stellata*) from offshore wind farms. *Mar. Environ. Res.* 160: 104989. <https://doi.org/10.1016/J.MARENRES.2020.104989>.
- Hengstmann, E., Corella, P., Alter, K., Belzunce-Segarra, M., Booth, A., Castro-Jiménez, J., Czermer, N., De Cauwer, K., Deviller, G., Gomiero, A., Goseberg, N., Hasenbein, S., Kirchengorg, T., Mason, C., Pape, W., Parmentier, K., Plaß, A., Pröfrock, D., Sarhadi, A., Vannavermaete, D., van der Molen, J., Vinagre, P., Wood, D., Weinberg, I., Windt, C., Zonderman, A., Kenyon, J. & De Witte, B. 2025. Chemical emissions from offshore wind farms: From identification to challenges in impact assessment and regulation. *Marine Pollution Bulletin* 215: 19. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117915>
- Herbert-Read, J.E., Kremer, L., Brintjes, R., Radford, A.N. & Ioannou, C.C. 2017. Anthropogenic noise pollution from pile-driving disrupts the structure and dynamics of fish shoals. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 284: 20171627.
- Hermans, A., Winter, H.W., Gill, A.B. & Murk, A.J. 2024. Do electromagnetic fields from subsea power cables affect benthic elasmobranch behaviour? A risk-based approach for the Dutch Continental Shelf, *Environmental Pollution* 346: 123570. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123570>
- Hodos, W. 2003. Minimization of Motion Smear: Reducing Avian Collisions with Wind Turbines. Report NREL/SR-500-33249. Washington, DC.
- Honkanen, H., Moore, I., Roger, J., Adams, C. & Dodd, J. 2025. Diadromous Fish in the Context of Offshore Wind – Review of Current Knowledge & Future Research. Report by Veritas Ecology Limited. Report for Scottish Government.

- Hutchison, Z.L., Sigray, P., Gill, A.B., Michelot, T. & King, J. 2021. "Electromagnetic Field Impacts on American Eel Movement and Migration from Direct Current Cables." Sterling (VA): U.S. Department of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management. OCS Study BOEM 2021-83.
- Hüppop, O., Dierschke, J., Exo, K.-M., 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>
- Hüppop, O., Hüppop, K., Dierschke, J. & Hill, R. 2016. Bird collisions at an offshore platform in the North Sea. *Bird Study* 63: 73–82. <https://doi.org/10.1080/00063657.2015.1134440>
- ICES 2025a. Workshop to compile evidence on the impacts of offshore renewable energy on fisheries and marine ecosystems (WKCOMPORE). *ICES Scientific Reports* 7: 45.
<https://doi.org/10.17895/ices.pub.28759259>
- ICES 2025b. Salmon (*Salmo salar*) in Subdivisions 22–31 (Main Basin and Gulf of Bothnia) and Subdivision 32 (Gulf of Finland). *ICES Stock Annexes*. 70 pp.
<http://doi.org/10.17895/ices.pub.25869088>
- IRENA 2019. Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf
- Isaksson, N., Evans, T.J., Olsson, O. & Åkesson, S. 2019. Foraging behaviour of Razorbills *Alca torda* during chick-rearing at the largest colony in the Baltic Sea. *Bird Study* 66(1): 11–21. <https://doi.org/10.1080/00063657.2018.1563044>
- Jacobsen, E., Jensen, F. & Blew, J. 2019. Avoidance Behaviour of Migrating Raptors Approaching an Offshore Wind Farm. *Teoksessa: Bispo, R., Bernardino, J., Coelho, H. ja Lino Costa, J. (toim.). Wind Energy and Wildlife Impacts*. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-05520-2_3
- Jay, S., Jones, C., Slinn, P. & Wood, C. 2007. Environmental impact assessment: Retrospect and prospect. *Environmental Impact Assessment Review* 27(4): 287–300.
<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2006.12.001>
- Jimenez-Arranz, G., Banda, n N., Cook, S.P. & Wyatt, R. 2020. Review on Existing Data on Underwater Sounds from Pile Driving Activities. [file:///C:/Users/03080969/Downloads/JIP-Proj1.4.2_Review_on_Pile_Driving%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/03080969/Downloads/JIP-Proj1.4.2_Review_on_Pile_Driving%20(1).pdf)
- Johnson, G., Strickland, M., Erickson, W. & Young, D. 2007. Use of data to develop mitigation measures for wind power development impacts to birds. *Teoksessa: Birds and Wind Farms: Risk Assessment and Mitigation*. M. de Lucas, G.F.E. Janss & M. Ferrer (toim.): 241–257. Quercus. Madrid.
- Johnston, A., Cook, A., Wright, L., Humphreys, E. & Burton, N. 2014. Modelling flight heights of marine birds to more accurately assess collision risk with offshore wind turbines. *Journal of Applied Ecology* 51: 31–41. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12191>

- Johnston, D.T., Thaxter C.B., Boersch-Supán P.H., Humphreys, E.M., Bouten, W., Clewley, G.D., Scragg, E.S., Masden, E.A., Barber, L., Conway, G.J., Clark, N.A., Burton, N.H. & Cook, A.S.C.P. 2022. Investigating avoidance and attraction responses in Lesser Black-backed Gulls *Larus fuscus* to offshore wind farms. *Marine Ecology Progress Series* 686:187–200.
- Juvaste, R., Arriero, E., Gagliardo, A., Holland, R., Huttunen, M. J., Mueller, I., Thorup, K., Wikelski, M., Hannila, J., Penttinen, M.-L. & Wistbacka, R. 2017. Satellite tracking of red-listed nominate lesser black-backed gulls (*Larus f. fuscus*): Habitat specialisation in foraging movements raises novel conservation needs. *Global Ecology and Conservation* 10: 220–230.
- Kallasvuo, M., Vanhatalo, J. & Veneranta, L. 2017. Modeling the spatial distribution of larval fish abundance provides essential information for management. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 74 (5): 636-649
- Kim, B., Jin, G., Byeon, Y., Park, S. Y., Lee, C., Lee, J., Noh, J. & Khim, J. S. 2024. Pile driving noise impacts behavioral patterns of important East Asian juvenile marine fishes. *Marine Pollution Bulletin* 207, 116893. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116893>
- Klimley, A.P. 1993. Highly directional swimming by scalloped hammerhead sharks, *Sphyrna lewini*, and subsurface irradiance, temperature, bathymetry, and geomagnetic field. *Marine Biology* 117: 1–22.
- Knorrn, A.; Teder, T.; Kaasik, A. & Kreitsberg, R. 2024. Beneath the blades: Marine wind farms support parts of local biodiversity - a systematic review. *Science of The Total Environment*, 935, 9.
- Koschinski, S., Owen, K., Lehnert, K. & Kamińska, K. 2024. Current Species Protection Does Not Serve Its Porpoise—Knowledge Gaps on the Impact of Pressures on the Critically Endangered Baltic Proper Harbour Porpoise Population, and Future Recommendations for Its Protection. *Ecology and Evolution* 14: e70156.
- Krijgsveld, K., Fijn, R., Heunks, C., van Horssen, P., De Fouw, J., Collier, M., Poot, M., Beuker, D. & Dirksen, S. 2011. Effect studies offshore wind farm Egmond aan Zee. Flux, flight altitude and behaviour of flying birds. Bureau Waardenburg report: 10–219.
- Krüger, T. & Garthe, S. 2001. Flight altitudes of coastal birds in relation to wind direction and speed. *Atlantic Seabirds* 3: 203–216.
- Lane, J., Jeavons, R., Deakin, Z., Sherley, R., Pollock, C., Wanless, R. & Hamer, K. 2020. Vulnerability of northern gannets to offshore wind farms; seasonal and sex-specific collision risk and demographic consequences. *Marine Environmental Research* 162, 105196. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105196>
- Lappalainen, J., Virtanen, E. A., Kallio, K., Junttila, S. & Viitasalo, M. 2019. Substrate limitation of a habitat-forming genus *Fucus* under different water clarity scenarios in the northern Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 218: 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.11.010>

- Lappalainen, A., Ruokonen, T. & Keskinen, T. 2022. Kalataloustarkkailut Suomessa vuonna 2020: Tarkkailuohjelmien ja raportoinnin laatu sekä ehdotuksia toiminnan kehittämiseksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 16/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 39 s.
- Lappalainen, A., Setälä, J., Helminen, J., Lehtonen, T., Niukko, J., Rantanen, P., Saarni, K. & Söderkultalahti, P. 2023. Suomen troolilaivaston kalastusalueet Itämerellä vuosina 2010–2022. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 102/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 23 s.
- Lehtiniemi, T. & Toivanen, T. 2023. Lintujen päämuuttoreitit Suomessa – päivitys 2023. Bird-life–Suomi. <https://tiedostot.birdlife.fi/pdf/lintujen-paamuuttoreitit-raportti-2023-birdlife.pdf>
- Lehtonen, T., Gilljam, D., Veneranta, L., Keskinen, T. & Bergenius-Nord, M. 2023. The ecology and fishery of the vendace (*Coregonus albula*) in the Baltic Sea. *Journal of Fish Biology* 103: 1463–1475. <https://doi.org/10.1111/jfb.15542>
- Leinikki, E. & Leinikki, J. 2020: Syyskutuisen silakan kutualueiden kartoitus ja seuranta Tahkoluodon merituulipuiston laajennushankkeen alueella Porissa 2020. Alleco Oy raportti n:o 24/2020. Alleco Oy 9.12.2020
- Leopold, M., Boonman, M., Collier, M., Davaasuren, N., Fijn, R., Gyimesi, A., de Jong, J., Jongbloed, R., Jonge Poerink, B., Kleyheeg-Hartman, J., Krijgsveld, K., Lagerveld, S., Lensink, R., Poot, M., van der Wal, J. & Scholl, M. 2014. A first approach to deal with cumulative effects on birds and bats of offshore wind farms and other human activities in the Southern North Sea. IMARES Report C166/14.
- Liechti, F., Guélat, J. & Komenda-Zehnder, S. 2013. Modelling the spatial concentrations of bird migration to assess conflicts with wind turbines. *Biological Conservation* 162: 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.03.018>
- Lindén, A., Lappalainen, A., Piha, M. & Seimola, T. 2025. Abundances of breeding seabirds as indicators of the environmental state in the Baltic Sea – challenges and alternative approaches. *Ecological Indicators* 178: 114033. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.114033>
- Lundquist, J.K., DuVivier, K.K., Kaffine, D. & Tomaszewski, J.M. 2019. Costs and consequences of wind turbine wake effects arising from uncoordinated wind energy development, *Nature Energy* 4: 26–34, <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0281-2>
- MacKenzie, B.R. & Ojaveer, H. 2018. Evidence from the past: exploitation as cause of commercial extinction of autumn-spawning herring in the Gulf of Riga, Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science* 75(7): 2476–2487. doi:10.1093/icesjms/fsy028
- Madsen, P.T., Wahlberg, M., Tougaard, J., Lucke, K. & Tyack, P. 2006. Wind turbine underwater noise and marine mammals: Implications of current knowledge and data needs. *Marine Ecology Progress Series* 309: 279–295.
- Maiditsch, I.P. & Ladich, F. 2022. Noise-induced masking of hearing in a labyrinth fish: Effects on sound detection in croaking gouramis. *PeerJ* 10: e14230. <https://doi.org/10.7717/peerj.14230>

- Marquenie, M., Donners, M., Poot, H., Steckel, W. & de Wit, B. 2013. Bird-friendly light sources. Adapting the spectral composition of artificial lightning. *IEEE Industry Applications Magazine* 56–62.
- Marques, A., Batalha, H., Rodrigues, S., Costa, H., Pereira, M., Fonseca, C., Mascarenhas, M. & Bernardino, J. 2014. Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation* 179: 40–52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2014.08.017>
- Martin, G. 2011. Understanding bird collisions with man-made objects: a sensory ecology approach. *Ibis* 153: 239–254.
- Martin, G. 2012. Through birds' eyes: insights into avian sensory ecology. *Journal of Ornithology* 153(Suppl 1): S23–S48.
- Martin, G. & Banks, A. 2023. Marine birds: vision-based wind turbine collision mitigation. *Global Ecology and Conservation*: e02386. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02386>
- Masden, E., Haydon, D., Fox, A., Furness, R., Bullman, R. & Desholm, M. 2009. Barriers to movement: impacts of wind farms on migrating birds. *ICES Journal of Marine Science* 66: 746–753. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp031>
- Masden, E., Haydon, D., Fox, A. & Furness, R. 2010. Barriers to movement: Modelling energetic costs of avoiding marine wind farms amongst breeding seabirds. *Marine Pollution Bulletin* 60: 1085–1091. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.01.016>
- Masden, E. & Cook, A. 2016. Avian collision risk models for wind energy impact assessments. *Environmental Impact Assessment Review* 56: 43–49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2015.09.001>
- Masden, E., Cook, A., McCluskie, A., Bouten, W., Burton, N. & Thaxter, C. 2021. When speed matters: The importance of flight speed in an avian collision risk model. *Environmental Impact Assessment Review* 90:106622. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106622>
- May, R. 2015. A unifying framework for the underlying mechanisms of avian avoidance of wind turbines. *Biological Conservation* 190: 179–187. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.004>
- May, R., Nygård, T., Falkdalen, U., Åström, J., Hamre, Ø. & Stokke, B. 2020. Paint it black: Efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities. *Ecology and Evolution* 10: 8927–8935. <https://doi.org/10.1002/ece3.6592>
- McConnell, B., Lonergan, M. & Dietz, R. 2012. Interactions between seals and offshore wind farms. *The Crown Estate*. 41 p. ISBN: 978-1-906410-34-6.
- Meier, H.E., Döscher, R. & Halkka, A. 2004. Simulated distributions of Baltic Sea-ice in warming climate and consequences for the winter habitat of the Baltic ringed seal. *Ambio* 33(4–5): 249–56.
- Meyer, C.G., Holland, K.N. & Papastamatiou, Y.P. 2005. Sharks can detect changes in the geomagnetic field. *Journal of the Royal Society Interface*. 2: 129–130. <http://doi.org/10.1098/rsif.2004.0021>

- Minkoff, D., Putman, N.F., Atema, J. & Ardren, W.R. 2020. Nonanadromous and anadromous Atlantic salmon differ in orientation responses to magnetic displacements. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 77(11): 1846–1852
- Mooney, T.A., Andersson, M.H. & Stanley, J. 2020. Acoustic impacts of offshore wind energy on fishery resources: An evolving source and varied effects across a wind farm's life-time. *Oceanography* 33(4): 82–95. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.408>
- Mäkelä, P. 2021. Tahkoluodon merituulipuiston linnustovaikutuksista lintututkaprojektin ja Kallioholman muutonseuranta-aineiston perusteella. Suomen Hyötytuuli Oy. 67 s.
- Naisbett-Jones, L.C. & Lohmann, K.J. 2022. Magnetoreception and magnetic navigation in fishes: a half century of discovery. *Journal of Comparative Physiology* 208(1): 19–40. doi: 10.1007/s00359-021-01527-w. Epub 2022 Jan 15. PMID: 35031832
- Naturvårdsverket 2025. Sveriges klimatmål och klimatpolitiska ramverk. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/sveriges-klimatarbete/sveriges-klimatmal-och-klimatpolitiska-ramverk/> (haettu 6.8.2025)
- Nedwell, J.R. & Mason, T.I. 2012. Modelling of Noise during Impact Piling Operations at the Fineart na Gaoithe Offshore Wind Farm in the Firth of Forth. Subacoustech Environmental Ltd.
- Nehls, G., Rose, A., Diederichs, A., Bellmann, M. & Pehlke, H. 2016. Noise Mitigation During Pile Driving Efficiently Reduces Disturbance of Marine Mammals. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 875: 755–762. doi: 10.1007/978-1-4939-2981-8_92. PMID: 26611029.
- Newton, M., Barry, J., Lothian, A., Main, R., Honkanen, H., McKelvey, S., Thompson, P., Davies, I., Brockie, N., Stephen, A., Murray, R. O'H., Gardiner, R., Campbell, L., Stainer, P. & Adams, C. 2021. Counterintuitive active directional swimming behaviour by Atlantic salmon during seaward migration in the coastal zone. *ICES Journal of Marine Science* 78(5): 1730–1743
- Nilsson, C., Dokter, A., Verlinden, L., Shamoun-Baranes, J., Schmid, B., Desmet, P., Bauer, S., Chapman, J., Alves, J., Stepanian, P., Sapir, N., Wainwright, C., Boos, M., Gorsha, A., Menz, M.H., Rodrigues, P., Leijnse, H., Zehindjiev, P., Brabant, R., Haase, G., Weisshaupt, N., Ciach, M. & Liechti, F. 2018. Revealing patterns of nocturnal migration using the European weather radar network. *Ecography* 42: 876–886
- Nyqvist, D., Durif, C., Johnsen, M.G., De Jong, K., Firland, T.N. & Sivle, L.D. 2020. Electric and magnetic senses in marine animals, and potential behavioral effects of electromagnetic surveys. *Marine Environmental Research* 155: 104888
- OSPAR 2024. OSPAR inventory of measures to mitigate the emission and environmental impact of underwater noise. 2024 update (First published 2014). Annex I: Noise Mitigation Measures for pile driving. 34 s. <https://www.ospar.org/documents?d=37745>
- Orr, T., Wood, S., Drunsić, M. & Perkins, G. 2016. Development of Guidance for Lighting of Offshore Wind Turbines Beyond 12 Nautical Miles. US Dept. of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management, Office of Renewable Energy Programs, Sterling, VA. OCS Study BOEM 2016-002. 138 pp.

- Parmanne, R., Rechlin, O. & Sjöstrand, B. 1994. Status and future of herring and sprat stocks in the Baltic Sea. *Dana* 10: 29–59.
- Parvin, S.J. & Nedwell, J.R. 2006. Underwater noise survey during impact piling to construct the Burbo Bank Offshore Wind Farm. COWRIE.
- Peschko, V., Mercker, M. & Garthe, S. 2020. Telemetry reveals strong effects of offshore wind farms on behaviour and habitat use of common guillemots (*Uria aalge*) during the breeding season. *Marine Biology* 167: 118
- Peschko, V., Schwemmer, H., Mercker, M., Markones, N., Borkenhagen, K. & Garthe, S. 2024. Cumulative effects of offshore wind farms on common guillemots (*Uria aalge*) in the southern North Sea -climate versus biodiversity? *Biodiversity Conservation* 276: 1–22. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02759-9>
- Petersen, I., Christensen, T., Kahlert, J., Desholm, M. & Fox, A. 2006. Final results of bird studies at the offshore wind farms at Nysted and Horns Rev. Denmark. Commissioned by DONG energy and Vattenfall A/S NERI/ministry of environment NERI Report 161.
- Petersen, I., MacKenzie, M., Rexstad, E., Wisz, M. & Fox, A. 2011. Comparing pre- and post-construction distributions of long-tailed ducks *Clangula hyemalis* in and around the Nysted offshore wind farm, Denmark: a quasi-designed experiment accounting for imperfect detection, local surface features and autocorrelation. CREEM Technical Report no. 2011-1. University of St Andrews
- Piggot, A., Vuocolano, A. & Mitchell, D. 2022. Impact of offshore wind development on seabirds in the North Sea and Baltic Sea: Identification of data sources and at-risk species. BirdLife Europe.
- Piironen, A., Fox, A., Kampe-Persson, H., Skjellberg, U., Therkildsen, O. & Laaksonen, T. 2022. When and where to count? Implications of migratory connectivity and nonbreeding distribution to population censuses in a migratory bird population. *Population Ecology* 65: 121–132. <https://doi.org/10.1002/1438-390X.12143>
- Piironen, A. & Laaksonen, T. 2023. A gradual migratory divide determines not only the direction of migration but also migration strategy of a social migrant bird. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 290: 20231528. <https://doi.org/10.1098/rspb.2023.1528>
- Poot, H., Ens, H., de Vries, M., Donners, M., Wernand, M. & Marquenie, J. 2008. Green light for nocturnally migrating birds. *Ecology and Society* 13: 47.
- Popper, A.N., & Fay, R.R. 2011. Rethinking sound detection by fishes. *Hearing research* 273(1-2): 25–36.
- Popper, A.N., & Hawkins, A.D. 2018. The importance of particle motion to fishes and invertebrates. *The Journal of the Acoustical Society of America* 143(1): 470–488.
- Popper, A.N. & Hawkins, A.D. 2019. An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes. *Journal of Fish Biology* 94: 692–713. <https://doi.org/10.1111/jfb.13948>

- Prawirasasra, M.S., Mustonen, M. & Klauson, A. 2021. The underwater soundscape at Gulf of Riga marine-protected areas. *Journal of Marine Science and Engineering* 9(8): 915.
- Putman, N.F., Scanlan, M.M., Billman, E.J., O'Neil, J.P., Couture, R.B., Quinn, T.P., Lohmann, K.J. & Noakes, D.L.G. 2014. An inherited magnetic map guides ocean navigation in juvenile pacific salmon. *Current Biology* 24(4): 446–450.
- Pölönen, I. & Salonen, H. 2025. Ympäristövaikutusten arviointimenettelyn asiakirjojen laajuus ja tarkkuus. Selvitys ympäristöministeriölle. Ympäristöministeriön julkaisuja 2025: 18. 106 s.
- Rand, R.W. 2024. "Pile Driving Noise Survey", Rand Acoustics, LLC, 28 March, 2024.
- Rautio, A., Niemi, M., Kunasranta, M., Holopainen, I.J. & Hyvärinen, H. 2009. Vocal repertoire of the Saimaa ringed seal (*Phoca hispida saimensis*) during the breeding season. *Marine mammal science* 25(4): 920–930.
- Rebke, M., Dierschke, V., Weiner, C., Aumüller, R., Hill, K. & Hill, R. 2019. Attraction of nocturnally migrating birds to artificial light: The influence of colour, intensity and blinking mode under different cloud cover conditions. *Biological Conservation* 233: 220–227. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.02.029>
- Rees, E. 2012. Impacts of wind farms on swans and geese: a review. *Wildfowl* 62: 37–72.
- Rennau, H., Schimmels, S. & Burchard, H. 2012. On the effect of structure-induced resistance and mixing on inflows into the Baltic Sea: A numerical model study. *Coastal Engineering* 60: 53–68. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2011.08.002>
- Reubens, J.T., Braeckman, U., Vanaverbeke, J., Van Colen, C., Degraer, S. & Vincx, M. 2013. Aggregation at windmill artificial reefs: CPUE of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and pouting (*Trisopterus luscus*) at different habitats in the Belgian part of the North Sea. *Fisheries Research* 139: 28–34
- Rezaei, F., Contestabile, P., Vicinanza, D. & Azzellino, A. 2023. Towards understanding environmental and cumulative impacts of floating wind farms: Lessons learned from the fixed-bottom offshore wind farms. *Ocean and Coastal Management* 243: 106772.
- Risch, D., Favill, G., Marmo, B., van Geel, N., Benjamins, S., Thompson, P., Wittich, A. & Wilson, B. 2023. Characterisation of underwater operational noise of two types of floating offshore wind turbines. Report by Scottish Association for Marine Science (SAMS). Report for Supergen Offshore Renewable Energy Hub.
- Robinson Willmott, J., Forcey, G. & Kent, A. 2013. The Relative Vulnerability of Migratory Bird Species to Offshore Wind Energy Projects on the Atlantic Outer Continental Shelf. An Assessment Method and Database. OCS Study, Bureau of Ocean Energy Management. <https://espis.boem.gov/final%20reports/5319.PDF>
- Robinson Willmott, J., Forcey, G. & Vukovich, M. 2023. New insights into the influence of turbines on the behaviour of migrant birds: implications for predicting impacts of offshore wind developments on wildlife. *Journal of Physics: Conference Series* 2507:012006 <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2507/1/012006>

- Russell, D.J.F., Brasseur, S.M.J.M., Thompson, D., Hastie, G.D., Janik, V.M., Aarts, G., McClintock, B.T., Matthiopoulos, J., Moss, S.E.W. & McConnell, B. 2014. Marine mammals trace anthropogenic structures at sea. *Current Biology* 24: R638-R639
- Russel, D.J.F., Hastie, G.D., Thompson, D., Janik, V.M., Hammond, P.S., Scott-Hayward, L.A.S., Matthiopoulos, J., Jones, E.L. & McConnell, B.J. 2016. Avoidance of wind farms by harbour seals is limited to pile driving activities. *Journal of Applied Ecology* 53: 1642–1652. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12678>
- Scanlan, M.M., Putman, N.F., Pollock, A.M. & Noakes, D.L. 2018. Magnetic map in nonanadromous Atlantic salmon. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115(43): 10995–10999.
- Schaffeld, T., Ruser, A., Woelfing, B., Baltzer, J., Kristensen, J.H., Larsson, J., Schnitzler J.G. & Siebert, U. 2019. 'The use of seal scarers as a protective mitigation measure can induce hearing impairment in harbour porpoises. *Journal of the Acoustical Society of America* 146(6): 4288–4298. <https://doi.org/10.1121/1.5135303>
- Schwemmer, P., Pederson, R., Haecker, K., Bocher, P., Fort, J., Mercker, M. Jiguet, F., Elts, J., Marja, R., Piha, M., Rousseau, P. & Garthe, S. 2022. Assessing potential conflicts between offshore wind farms and migration patterns of a threatened shorebird species. *Animal conservation* 26: 303–316. <https://doi.org/10.1111/acv.12817>
- Schwemmer, P., Mercker, M., Haecker, K., Kruckenberg, H., Kämpfer, S., Bocher, P., Fort, J., Jiguet, F., Franks, S., Elts, J., Marja, R., Piha, M., Rousseau, P., Pederson, R., Düttmann, H., Fartmann, T. & Garthe, S. 2023. Behavioral responses to offshore windfarms during migration of a declining shorebird species revealed by GPS-telemetry. *Journal of Environmental Management* 342: 118131. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118131>
- Searle, K.R., O'Brien, S.H., Jones, E.L., Cook, A.S.C.P., Trinder, M.N., McGregor, R.M., Donovan, C., McCluskie, A., Daunt, F. & Butler, A. 2025. Framework for improving treatment of uncertainty in offshore wind assessments for protected marine birds, *ICES Journal of Marine Science* 82(4): fsad025, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsad025>
- Shonberg, A., Harte, M., Aghakouchak, A., Brown, C.S.D, Andrade, M.P. & Liingaard, M.A. 2018. Suction bucket jackets for offshore wind turbines: applications from in situ observations. Teoksessa: Shin, Y. (toim.). *Proceedings of TC 209 workshop*. s. 65–77.
- Simpson, S., Radford, A., Nedelec, S., Ferrari, M.C.O., Chivers, D.P., McCormic, M.I. & Meekan, M.G. 2016. Anthropogenic noise increases fish mortality by predation. *Nature Communications* 7: 10544. <https://doi.org/10.1038/ncomms10544>
- Skov, H. & Heinänen, S. 2015. Predicting the Weather-Dependent Collision Risk for Birds at Wind Farms. Teoksessa: Hull, C., Bennett, E., Stark, E., Smales, I., Lau, J. & Venosta, M. (toim.) *Wind and Wildlife*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9490-9_1
- Skov, H., Desholm, .M, Heinänen, S., Kahlert, J.A., Laubek, B., Jensen, N.E., Zydalis, R. & Jensen B.P. 2016 Patterns of migrating soaring migrants indicate attraction to marine wind farms. *Biology Letters* 12: 20160804. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2016.0804>

- Skov, H., Heinänen S, Mortensen L, Månsson, J., Nilsson, L., Thornlov, R. & Zydalis, R. 2025. Flight altitude of common cranes (*Grus grus*) crossing the Arkona Basin (Baltic Sea): implications for offshore wind farm development. Authorea. September 03, 2025. <https://doi.org/10.22541/au.175692142.22513960/v1>
- Soares-Ramos, E.P., de Oliveira-Assis, L., Sarrias-Mena, R. & Fernández-Ramírez, L.M. 2020. Current status and future trends of offshore wind power in Europe. *Energy* 202: 117787.
- SOU2024:89: Vindkraft i havet. En övergång till ett auktionssystem. <https://data.riksdagen.se/fil/71B72699-1CC0-4918-A24B-C208B0112E9E> Haettu 25.9.2025.
- Southall, B., Finneran, J., Reichmuth, C., Nachtigall, P., Ketten, D., Bowle, A., Ellison, W., Nowacek, D. & Tyack, P. 2019. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. *Aquatic Mammals* 45(2): 125–232.
- Stansbury, A., Götz, T., Deecke, V.B. & Janik, V.M. 2015. Grey seals use anthropogenic signals from acoustic tags to locate fish: evidence from a simulated foraging task. *Proceeding of the Royal Society London B*, 282, 20141595
- Stelzenmueller, V., Diekmann, R., Bastardie, F., Schulze, T., Berkenhagen, J., Kloppmann, M., Krause, G., Pogoda, B., Buck, B.H. & Kraus, G. 2016. Co-location of passive gear fisheries in offshore wind farms in the German EEZ of the North Sea: A first socio-economic scoping. *Journal of Environmental Management* 183: 793–805. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.027>
- Stokke, B.G., Dahl, E.L., Kleven, O., May, R., Nygård, T., PavónJordán, D. & Sandercock, B.K. 2024. Long term impacts of Smøla wind farm on the local population of white-tailed eagle (*Haliaeetus albicilla*). NINA Report 2333. Norwegian Institute for Nature Research.
- Suorsa, V. 2019: Linnustovaikutusten seuranta suomalaisissa tuulivoimapuistoissa. – Linnutvuosikirja 2018: 148–155.
- Svendsen, J.C., Ibanez-Erquiaga, B., Savina, E. & Wilms, T. 2022. Effects of operational offshore wind farms on fishes and fisheries. Review report. DTU Aqua Report no. 411-2022. National Institute of Aquatic Resources, Technical University of Denmark, 62 pp
- Szostek, C.L., Watson, S.C.L., Trifonova, N., Beaumont, N.J. & Scott, B.E. 2025. Spatial conflict in offshore wind farms: Challenges and solutions for the commercial fishing industry. *Energy Policy* 200: 114555. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2025.114555>
- TEM 2022. Hiilineutraali Suomi – kansallinen ilmasto- ja energiastategia. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 53.
- TEM 2024. Merituulivoiman edistämisen toimenpidesuunnitelma. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu. *Energia*. 2024:31.
- Thaxter, C., Lascelles, B., Sugar, K., Cook, A., Roos, S., Bolton, M., Langston, R. & Burton, N. 2012. Seabird foraging ranges as a preliminary tool for identifying candidate Marine Protected Areas. *Biological Conservation* 156: 53–61.

- Thaxter, C., Buchanan, G., Can, J., Butchart, S., Newbold, T., Green, R., Tobias, T., Foden, W., O'Brien, S. & Pearce-Higgins, J. 2017. Bird and bat species' global vulnerability to collision mortality at wind farms revealed through a trait-based assessment. *Proceedings of the Royal Society B* 284:20170829. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2017.0829>
- Thaxter, C.B., Ross-smith, V., Bouten, W., Masden, E., Clark, N.A., Conway, G.J., Barber, L., Clewley, G. & Burton, N.H.K. 2018. Dodging the blades: new insights into three-dimensional space use of offshore wind farms by lesser black-backed gulls *Larus fuscus*. *Marine Ecology Progress Series* 587: 247–253.
- Thompson, P.M., Hastie, G.D., Nedwell, J., Barham, R., Brookes, K.L., Cordes, L.S., Bailey, H. & McLean, N. 2013. Framework for assessing impacts of pile-driving noise from offshore wind farm construction on a harbour seal population. *Environmental Impact Assessment Review* 43: 73–85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2013.06.005>
- Tikkanen, H., Balotari-Chiebao, F., Laaksonen, T., Pakanen, V. & Rytönen, S. 2018. Habitat use of flying subadult White-tailed Eagles (*Haliaeetus albicilla*): implications for land use and wind power plant planning. *Ornis Fennica* 95: 137–150.
- Tikkanen, H., Ekblad, C. & Tuohimaa, H. 2022. Tuulivoiman vaikutukset maa- ja merikotkaan sekä sääkseen Pohjanmaalla, Etelä- ja Keski-Pohjanmaalla. Etelä-Pohjanmaan, Keski-Pohjanmaan ja Pohjanmaan liitot. 34 s.
- Tikkanen, H., Below, A., Ekblad, C., Lehtiniemi, T., Lindén, A., Mikkola-Roos, M. & Pöllänen, A. 2025. Itämeren toimintasuunnitelman sensitiiviset lintualueet Suomen merialueella. Linnuston huomiointi tuulivoimala-alueiden suunnittelussa merelle. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 24/2025. 83 s.
- Tougaard, J., Hermannsen, L. & Madsen, P.T. 2020. How loud is the underwater noise from operating offshore wind turbines? *The Journal of the Acoustical Society of America* 148(5): 2885–2893. <https://doi.org/10.1121/10.0002453>
- Traficom 2020. https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Ohje%20tuulivoimaloiden%20p%C3%A4iv%C3%A4merkint%C3%A4nC3%A4n%20lentoestevaloihin-%20sek%C3%A4%20valojen%20ryhmyykseen_07SEP2020.pdf Haettu 05.11.2025
- Tuul Energy OU 2025. Saare 2.1 – ja Saare 2.2 -alueiden merituulipuiston ympäristövaikutusten arviointi. YVA-ohjelman tiivistelmä valtioiden rajat ylittävää osallistumista varten. 29 s.
- van Berkel, J., Burchard, H., Christensen, A., Mortensen, L.O., Petersen, O.S. & Thomsen, F. 2020. The effects of offshore wind farms on hydrodynamics and implications for fishes. *Oceanography* 33: 108–117. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.410>
- Van Hoey, G., Bastardie, F., Birchenough, S., De Backer, A., Gill, A., de Koning, S., Hodgson, S., Mangi Chai, S., Steenbergen, J., Termeer, E., van den Burg, S. & Hintzen, N. 2021. Overview of the effects of offshore wind farms on fisheries and aquaculture. Publications Office of the European Union, Luxembourg. 99 s.
- Van Parijs, S.M., Hastie, G.D. & Thompson, P.M. 2000. Individual and geographical variation in display behaviour of male harbour seals in Scotland. *Animal Behaviour* 59: 559–568

- Vandendriessche, S., Ribeiro da Costa, A.M. & Hostens, K. 2016. Wind farms and their influence on the occurrence of ichthyoplankton and squid larvae. In Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Environmental impact monitoring reloaded. Operationele Directie Natuurlijk Milieu.
- Vanermen, N., Onkelinx, T., Courtens, W., Van de walle, M., Verstraete, H. & Stienen, E.M.W 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>
- Vanermen, N., Courtens, W., Van de walle, M., Verstraete, H. & Stienen, E.W.M. 2017. Seabird monitoring at the Thorntonbank offshore wind farm - Updated seabird displacement results & an explorative assessment of large gull behavior inside the wind farm area. *Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek* 2017(31). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. <https://doi.org/10.21436/inbor.13185344>
- Veneranta, L., Hudd, R. & Vanhatalo, J. 2013. Reproduction areas of sea-spawning coregonids reflect the environment in shallow coastal waters. *Marine Ecology Progress Series* 477: 231–250.
- Verfuss, U., Sparling, C.E., Arnot, C., Judd, A. & Coyle, M. 2015. Review of offshore wind farm impact monitoring and mitigation with regard to marine mammals. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 875: 1175–1182.
- Verhelst, P., Pauwels, I., Pohl, L., Reubens, J., Schilt, B. & Hermans, A. 2025. Electromagnetic fields and diadromous fish spawning migration: An urgent call for knowledge, *Marine Environmental Research* 204: 106857
- Voß, J., Rose, A., Kosarev, V., Vilela, R., Catharina van Opzeeland, I. & Diederichs, A. 2023. Response of harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) to different types of acoustic harassment devices and subsequent piling during the construction of offshore wind farms. *Frontiers in Marine Science* 10(1128322): 1–14.
- Wagenknecht, F. 2021. Assessment of noise mitigation measures during pile driving of larger offshore wind foundations. *EGU Journal of Renewable Energy Short Reviews*. https://doi.org/10.25974/ren_rev_2021_04
- Wahlberg, M. & Westerberg, H. 2005. Hearing in fish and their reactions to sounds from offshore wind farms. *Marine Ecology Progress Series* 288: 295–309.
- Weigel, P., Viebahn, P. & Fishedick, M. 2022. Holistic evaluation of aircraft detection lighting systems for wind turbines in Germany using a multimethod evaluation framework. *Frontiers in Energy Research* 10: 984003. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.984003>
- Weisshaupt, N., Lehtiniemi, T. & Koistinen, J. 2021. Combining citizen science and weather radar data to study large-scale bird movements. *Ibis* 163: 728–736. <https://doi.org/10.1111/ibi.12906>
- Welcker, J. & Nehls, G. 2016. Displacement of seabirds by an offshore wind farm in the North Sea. *Marine Ecology Progress. Series* 554: 173–182.

- Welcker, J. & Vilela, R. 2019. Weather-dependence of nocturnal bird migration and cumulative collision risk at offshore wind farms in the German North and Baltic Seas. ProBIRD report. 63 s. +liitteet.
- Wenger, A.S., Harvey, E., Wilson, S., Rawson, C., Newman, S.J., Clarke, D., Saunders, B.J., Browne, N., Travers, M.J. & Mcilwain, J.L. 2017. A critical analysis of the direct effects of dredging on fish. *Fish and Fisheries* 18: 967–985.
- Wenger, A.S., Rawson, C.A., Wilson, S., ym. 2018. Management strategies to minimize the dredging impacts of coastal development on fish and fisheries. *Conservation Letters*, 11, e12572. <https://doi.org/10.1111/conl.12572>
- Westerberg, H. & Lagenfelt, I. 2008. Sub-sea power cables and the migration behaviour of the European eel. *Fisheries Management and Ecology* 15(5–6): 369–375. doi:10.1111/j.1365-2400.2008.00630.x
- Westerberg, H., Sturlaugsson, J., Ikonen, E. & Karlsson L. 1999. Data storage rag study of salmon (*Salmo salar*) migration in the Baltic: Behaviour and the migration route as reconstructed from SST data. ICES, International Council for the Exploration of the Sea, CM 1999/AA:06
- Whyte, K.F., Russell, D.J.F., Sparling, C.E., Binnerts, B. & Hastie, G.D. 2020. Estimating the effects of pile driving sounds on seals: Pitfalls and possibilities. *The Journal of the Acoustical Society of America* 147(6): 3948–3958. <https://doi.org/10.1121/10.0001408>
- Wyman, M.T., Klimley, A.P., Battleson, R.D., Agosta, T.V., Chapman, E.D. & Pagel, M.D. 2018. Behavioral responses by migrating juvenile salmonids to a subsea high-voltage DC power cable. *Marine Biology* 165: 134. <https://doi.org/10.1007/s00227-018-3385-0>
- Young, M., Nykänen, M., Niemi, M., Kurkilahti, M. & Kunnasranta, M. 2025. Aquatic vocalization activity indicates the timing of the mating season of Saimaa ringed seals. *Marine Mammal Science* 41: 13225.
- YM 2024. Merituulivoiman tilanne- ja kehityskuvan kokonaistarkastelu. Ympäristöministeriön julkaisuja. https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/f2abcca7-500a-4bbc-98af-4980fcdab344/1516d4df-ec95-40c9-8bb0-757110d95e04/JUL-KAISU_20240529073855.pdf
- Zhao, X., Zhang, M., Che, X. & Zou, F. 2020. Blue light attracts nocturnally migrating birds. *The Condor: Ornithological Applications* 122: duaa002, <https://doi.org/10.1093/con-dor/duaa002>



**Löydät meidät
verkosta**

luke.fi



Luonnonvarakeskus (Luke) Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki