

Liite 16

**Merenkulun riskinarviointi, Laineen
merituulivoimapuisto, 150 tuulivoimalan
suunnitelma**

Laineen merituulivoimapuiston merenkulun riskinarviointi

150 tuulivoimalan
suunnitelma



Tekijä: Jens Paulsson
Matkapuhelin: +46
768903146
jens.paulsson@sweco.se

Tekijä: Sara Hammar
Matkapuhelin: +46 733368239
sara.hammar@sweco.se

Tarkastaja: Johan Nimmermark
Matkapuhelin: +46 767665414
johan.nimmermark@sweco.se

Muutosluettelo

Vers. nro	Päivämäärä	Muutoksen kuvaus	Tarkastaja:	Hyväksyjä:
1	11.12.2023	Loppuraportti	Johan Nimmermark	Oscar Lindén

Tekijänoikeudet © Laine Offshore Wind Oy. Tätä asiakirjaa, sen liitteitä tai mitään osaa niistä ei saa kopioida, jäljentää, julkaista, levittää tai muokata milteään osin ilman Laine Offshore Wind Oy:n kirjallista lupaa.

Sweco AB
Tilaustyö
Toimeksiannon nro

Rek. nro 556542-9841
OX2/Navigointiriskien arviointi
25008228

Asiakas
Vers. nro

OX2
1

Controlled by

Päivämäärä
Tekijät
Tehtäväpäällikkö
Document number

11.12.2023
Jens Paulsson ja Sara Hammar
Matti Lindgren

Approved by

Sisällysluettelo

1.	Johdanto	8
1.1	Tarkoitus ja tavoite	8
1.2	Menetelmä.....	9
1.3	Soveltamisala ja rajoitukset.....	13
2.	Kohteen kuvaus.....	15
2.1	Laineen merituulivoimapuisto ja sen ympäristö	15
2.2	Laivaväylät ja liikennemallit.....	17
2.3	Merionnettomuudet	19
2.4	Tuleva liikenne	25
2.5	Turvaetäisyydet.....	26
3.	Vaarojen tunnistaminen.....	29
4.	Taajuudet.....	Error! Bookmark not defined.
5.	Seuraukset	34
6.	Riskianalyysi.....	36
6.1	Törmäys (aluksen törmääminen paikallaan olevaan kohteeseen).....	36
6.2	Yhteentörmäys	43
6.3	Pohjakosketus	48
6.4	Aluksen tutkahäiriö	49
6.5	Talviolosuhteet	55
6.6	Tuulivoimaloista putoavat esineet tai lentävä jää.....	57
6.7	Kaapelit	58
6.8	Kumulatiiviset vaikutukset	59
6.9	Riskimatriisi	63
7.	Riskinhallintatoimenpiteet.....	65
8.	Epävarmuusanalyysi	70
9.	Keskustelu	73
9.1	Aika-asteikko	73
9.2	Riski aluetta kohti	73
9.3	Törmäys	73
9.4	Talveen liittyvät riskit	74
10.	Johtopäätös	76
11.	Viittaukset	78
Liite A.	Calculation of the risk index	81
Liite B.	Radar interference - knowledge overview	83
Liite C.	IWRAP calculation of accident frequencies	87

Lyhenteet ja termit

AIS	Automaattinen tunnistusjärjestelmä
ALARP	As Low As Reasonably Practicable (alue, jolla riskit voidaan sietää, jos kaikki kohtuulliset toimenpiteet toteutetaan)
Törmäys	IWRAP erottaa toisistaan yhteentörmäyksen (jossa kaksi liikkuvaa alusta törmää toisiinsa) ja törmäyksen, jossa liikkuva alus törmää paikallaan olevaan kohteeseen – tuulivoimalaan, siltaan, laituriin tai öljynporauslauttaan. IWRAP kattaa kaksi törmäystyyppiä: • Moottoroitu törmäys (ohjattavissa oleva alus törmää paikallaan olevaan kohteeseen). Tapahtuu joko siksi, että alusta ei ohjata väylän kääntyessä tai siksi, että alus ohjataan väylän ulkopuolelle. • Ajelehtiva törmäys (ajelehtiva laiva törmää paikallaan olevaan kohteeseen).
Syy-yhteystekijä	IWRAPissa oletus syy-yhteyden todennäköisyydestä. Syy-yhteystekijä on inhimillisen tai teknisen virheen ehdollinen todennäköisyys onnettomuudessa, joka muutoin olisi voitu estää.
Yhteentörmäys	Tässä raportissa yhteentörmäyksellä tarkoitetaan alusten välisiä yhteentörmäyksiä, ellei toisin mainita. IWRAP erottaa toisistaan yhteentörmäyksen (jossa kaksi liikkuvaa alusta törmää toisiinsa) ja törmäyksen, jossa liikkuva alus törmää paikallaan olevaan kohteeseen – tuulivoimalaan, siltaan, laituriin tai porauslauttaan. IWRAP kattaa viisi yhteentörmäystyyppiä: • Etutörmäys • Ohitustörmäys • Risteämistörmäys • Liittymistörmäys • Kääntymistörmäys
Konseptisuunnittelu	Sisältää tuulipuiston ja navigointialueiden alustavan suunnittelun, jossa käytetään suunnitteluohjeissa annettuja tietoja ja kaavoja sekä muita aluksiin ja ympäristöön liittyviä asiaankuuluvia tietoja. Ensimmäisessä suunnitteluvaiheessa määritetään vain karkeat arviot turvaetäisyydestä. Prosessin on tarkoitus olla nopea eikä vaatia liiallisia syöttötietoja, jotta vaihtoehtoisia vaihtoehtoja (korvaustutkimuksia varten) voidaan arvioida nopeasti (PIANC, 2018)
Yksityiskohtainen suunnittelu	Tiukempi prosessi, jonka tarkoituksena on validoida, kehittää ja tarkentaa konseptisuunnittelua. Yksityiskohtaisessa suunnittelussa käytetyt menetelmät perustuvat numeeriseen analyysiin (esimerkiksi simulointiin) ja vaativat siksi laajempia ja yksityiskohtaisempia tietoja sekä asianmukaista harkintaa ja kokemusta tietojen tuotosten tulkinnasta. Yksityiskohtaisen suunnittelun tuotosten hyväksyttävyys voidaan edelleen tarkastaa meriliikenneanalyysin, riskianalyysin ja kustannus-hyötyarvioiden avulla. Näiden tarkastusten tulokset voivat johtaa säätöihin ja yksityiskohtaisen suunnittelun seuraavaan sykliin. (PIANC, 2018)
EEZ	Talousvyöhyke
FI	Esiintymistiheysindeksi eli onnettomuustiheyttä edustava luku (Maritime Safety Committee, 2018)
Väylä	Sisävesillä, sisämaassa tai lähellä rannikkoa kulkeva merireitti, jonka meriturvallisuuslaitteet osoittavat tai joka on merkitty karttaan tai merenkulkualan julkaisuun
FSA	Virallinen turvallisuusarviointi
Bruttovetoisuus (GT)	Aluksen koon mitat (aluksen sisäinen kokonaistilavuus)

GW	gigawatti
HEP	Inhimillisen virheen todennäköisyys
HRA	Inhimillisen luotettavuuden arviointi
IALA	International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
IMO	Kansainvälinen merenkulkujärjestö
IWRAP	IALA:n vesiväyläriskien arviointiohjelma (mallintamistyökalu laivojen onnettomuustiheyksien laskemiseen)
kV	kilovoltti
Etappi	merenkulkusegmentti kahden reittipisteen välillä
M	merimaili (1 852 metriä)
MW	megawatti
OWF	Merituuvoimapuisto
Sähköasema/vedyntuotantolaitos	Keskus, jolla tuulivoimaloiden tuottama sähkö kerätään ja muunnetaan. Käsittää tyypillisesti muuntajia, kytkinlaitteita ja tarvittaessa vedyn tuotantoon, varastointiin ja jakeluun tarvittavaa infrastruktuuria.
RI	Riski-indeksi eli riskin suuruutta edustava luku (Maritime Safety Committee, 2018)
SI	Vakavuusindeksi eli onnettomuuden seurauksen vakavuutta edustava luku (Maritime Safety Committee, 2018)
Merenkulkualue	Merialuesuunnittelussa merkittävät liikennealueet tunnistetaan merenkulkualueiksi. Merenkulkualueilla on keskeinen rooli merialueiden nykyisessä ja tulevassa käytössä (Maritime Safety Committee, 2018). Tässä raportissa termiä merenkulkualuetta käytetään meriliikennealueen synonyyminä
Merenkulkureitti	Reitti tai kurssi, jota alukset seuraavat liikkueessaan paikasta toiseen
TSS	Reittijakojärjestelmä (Traffic Separation Scheme) – alue, jolla vastaan tuleva liikenne on jaettu eri liikenneväylille.
Liikenneväylä	Liikenneväylä on määritelty alue, jolla noudatetaan yksisuuntaista liikennettä. Luonnolliset esteet, mukaan lukien erotusvyöhykkeet, voivat muodostaa rajan (IMO, n.d.)
VTs	Alusliikennepalvelu
Reittipiste	Viitepiste navigoinnissa; solmupiste IWRAPissa
WTG	Tuulivoimala

Yleistajuinen yhteenveto

Tässä raportissa esitetään arvio ihmisten terveydelle ja turvallisuudelle ja pohjoisen Merenkurkun laivaliikenteen ympäristölle aiheutuvista riskeistä, joita Laineen merituulivoimapuiston perustaminen voi aiheuttaa.

Nykyolosuhteissa alukset kulkevat Laineen hankealueen läpi tai sen läheisyydessä matkalla Nordvalenin ja Kokkolan, Kalajoen ja Raahen sekä Pietarsaaren, Kemin ja Tornion välillä. Merituulivoimapuiston perustamisen jälkeen valtaosan Laineen hankealueen kautta kulkevasta liikenteestä oletetaan kulkevan uusia pohjoisempia ja eteläisempiä reittejä.

Riskien tunnistaminen suoritettiin HAZID-työpajassa (Hazard Identification workshop), merenkulun riskinarviointiin sisältyvien yleisten riskien lisäksi. Talviolosuhteiden riskit todettiin HAZIDissa tärkeiksi.

Yhteensä 22 meririskiä on tunnistettu, analysoitu ja arvioitu.

Laineen merituulivoimapuisto vaikuttaa Merenkurkun laivaliikenteen riskiprofiiliin seuraavasti:

- **Törmäys:** Laineen merituulivoimapuisto luo riskin tuulivoimaloihin ja alustoihin törmäämiseen. Tämä riski on olemassa myös talviolosuhteissa, jolloin alukset voivat juuttua jäihin ja ajelehtia jään mukana.
- **Yhteentörmäys:** Yhteentörmäysriski kasvaa lähinnä siksi, että Laineen merituulivoimapuiston vuoksi suurempi määrä liikennettä alkaa käyttää eteläisempää Nordvalen – Pietarsaari -merenkulkualuetta, mikä johtaa useampiin yhteentörmäyksiin (yksi ylimääräinen yhteentörmäys kerran 650 vuodessa). Rakennusvaiheessa on myös riski törmätä satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa.
- **Pohjakosketus:** Laineen merituulivoimapuisto ei merkittävästi muuta pohjakosketusriskiä.
- **Aluksen tutka:** Merituulivoimapuistot voivat aiheuttaa häiriöitä aluksen tutkassa.
- **Talviolosuhteet:** Tuulivoimalat voivat vaikuttaa jään muodostumiseen, mikä vaikuttaa talviliikenteen navigointiolosuhteisiin. Laineen merituulivoimapuisto voi tukkia talvinavigointireittejä, mikä pakottaa alukset kulkemaan pidempiä reittejä, joilla ne ovat alttiimpia vaaroille.

Useimmat riskit todettiin merkityksettömiksi tai luokiteltiin *hyväksyttäväksi*. *Kohtuuttomia* riskejä ei havaittu. Riskejä, jotka tietyiltä osin on luokiteltu *ALARP:iksi* eli riskeiksi, jotka voidaan sietää, kunhan kohtuulliset toimenpiteet toteutetaan, ovat seuraavat:

- Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)

- Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)
- Tuulipuiston alueella liikkuva ulkopuolinen alus ohjaa päin tuulivoimalaa
- Rajallinen näkyvyys saa aluksen ohjaamaan päin tuulivoimalaa
- Merituulivoimapuistoa ohittavien alusten yhteentörmäykset
- Törmäys satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa
- Aluksen tutkahäiriö (kohteen menettäminen)
- Vaikutukset etsintä- ja pelastustoimintaan
- Tuulipuisto vaikuttaa jään muodostumiseen
- Merituulivoimapuisto tukkii talvimerenkulkureitit (pidemmät reitit, jotka johtavat pohjakosketukseen, yhteentörmäykseen ja törmäykseen)

Tässä raportissa annetaan suosituksia riskinhallintatoimenpiteistä.

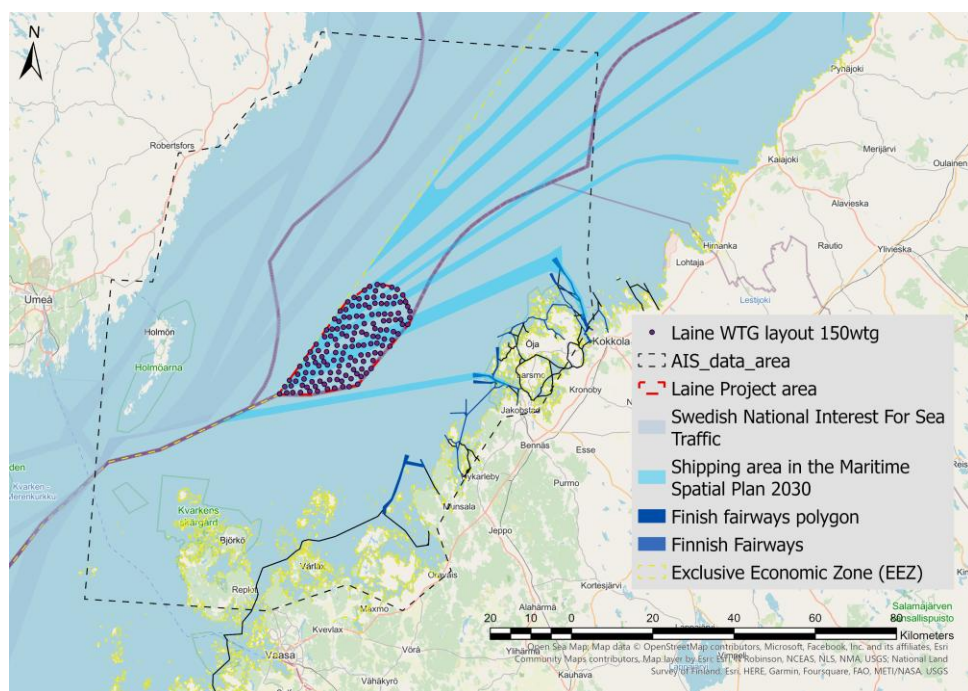
Yleinen johtopäätös on, että Laineen merituulivoimapuiston aiheuttama riski on *hyväksyttävä* olettaen, että lieventäviin toimenpiteisiin ryhdytään.

Talvimerenkulkuun ja jäähän liittyvillä riskeillä ei oleteta olevan vakavia seurauksia ihmisten terveydelle ja turvallisuudelle tai ympäristölle, mutta ne luokitellaan *ALARP-riskiksi*. Näin varmistetaan, että epävarmuustekijät eivät johda riskien aliarviointiin.

1. Johdanto

OX2 suunnittelee hakevansa lupaa Laineen merituulivoimapuiston rakentamiseen alueelle, joka sijaitsee noin 30 kilometrin päässä rannikosta, Pietarsaaren länsipuolella Pohjois-Pohjanmaalla. Merituulivoimapuiston alue on noin 450 km², ja alueelle on suunniteltu 113–150 tuulivoimalaa, joiden enimmäiskorkeus on 370 metriä merenpinnan yläpuolella. Tämä raportti käsittelee 150 tuulivoimalan suunnitelmaa.

Kuva 1 alla kuvaa hankealueen.



Kuva 1. Kartta, joka näyttää Laineen hankealueen ja alueen, jolta AIS-tietoja kerätään eli analyysialueen.

1.1 Tarkoitus ja tavoite

Riskinarvioinnin tarkoituksena on analysoida Laineen merituulivoimapuiston vaikutusta meriliikenteen turvallisuuteen ihmisten terveyden ja ympäristön kannalta.

Tutkimuksen tavoitteena on tunnistaa ja kuvata Laineen merituulivoimapuiston merenkululle mahdollisesti aiheuttamat onnettomuusriskit.

© Laine Offshore Wind Oy 2025.

Sweco | Laineen merituulivoimapuiston merenkulun riskinarviointi

Toimeksianto nro 30046108

Päivämäärä 16.10.2023

Vers. 1

1.2 Menetelmä

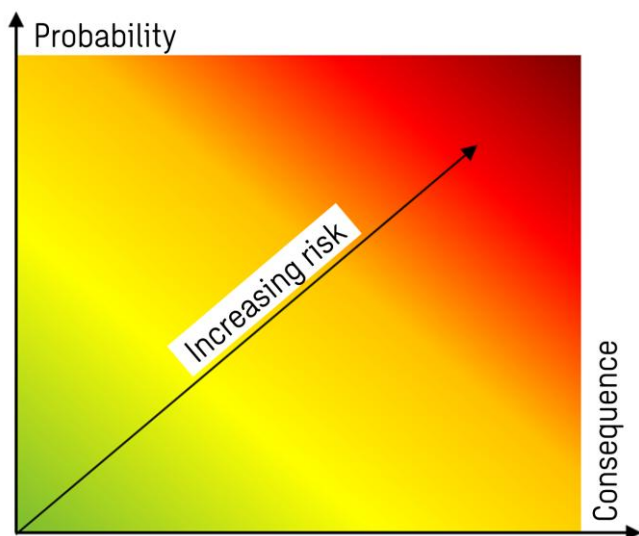
Merenkulun riskinarvioinnissa noudatetaan virallinen turvallisuuden arvioinnin (FSA) menetelmää, joka on kuvattu *Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process* (Maritime Safety Committee, 2018) -ohjeistuksessa. Raportissa ei kuitenkaan käsitellä mahdollisten riskinhallintatoimenpiteiden kustannus-hyötyanalyysiä.

Tämä raportti noudattaa yksityiskohtaista suunnitteluvaihetta, joka on määritetty PIANCin raportissa *MarCom Wg 161: Interaction Between Offshore Wind Farms and Maritime Navigation* (PIANC, 2018). Tämän vaiheen aikana ensisijaisena tavoitteena on tiukasti validoida, parantaa ja tarkentaa konseptisuunnittelua.

1.2.1 Riskin konsepti

Riskin määritelmä on ei-toivotun tapahtuman todennäköisyyden ja kyseisen tapahtuman seurauksen yhdistelmä. Todennäköisyys kuvaa tietyn tapahtuman esiintymistiheyttä, ja seuraus kuvaa mahdollisen vahingon vakavuutta.

Kuva 2 havainnollistaa, miten riski kasvaa tapahtuman todennäköisyyden ja/tai seurauksen kasvaessa.



Kuva 2. Riskin kasvu riippuu todennäköisyydestä ja seurauksista.

1.2.2 Prosessi

Tämä tutkimus noudattaa riskienhallintaprosessin vaiheita:

- **Riskinarviointi** – sisältää vaarojen tunnistamisen, riskianalyysin ja riskinarvioinnin
 - *Vaaran tunnistaminen* – luettelo sellaisista tapahtumista (skenaarioista), joihin voi liittyä ei-toivottuja seurauksia.
 - *Riskianalyysi* – kunkin skenaarion todennäköisyyden ja seurausten laadullinen tai määrällinen arviointi

- *Riskinarviointi* – Riskianalyysin jälkeen arvioidaan, voidaanko riskit hyväksyä vai ei. Osana riskinarviointia voidaan tehdä myös ehdotuksia riskiä vähentäviksi riskinhallintatoimenpiteiksi.
- **Riskin vähentäminen/hallinta** – Riskinarviointiprosessin viimeinen vaihe sisältää päätökset mahdollisista riskinhallintatoimenpiteistä, joilla voitaisiin tehokkaasti saavuttaa hyväksyttävä riskitaso.

Näin ollen riskinhallintaprosessi sisältää riskinarvioinnin (vaarojen tunnistaminen, riskianalyysi ja riskinarviointi) sekä riskin vähentämisen/hallinnan.

Tämä riskianalyysi tehdään eri menetelmillä riippuen analysoitavasta tunnistetusta tapahtumasta. Todennäköisyydet kvantifioidaan pääasiassa mallintamalla IWRAP Mk2 -ohjelmistossa¹. Sellaisten tapahtumien todennäköisyydet, joita ei voida laskea IWRAPissa, kvantifioidaan aineistojen perusteella, laskelmilla tai asiantuntija-arvion avulla.

Niistä tapahtumista, joita ei voida analysoida määrällisesti, tehdään kvalitatiivinen arviointi, joka perustuu kokemuksiin olemassa olevasta aineistosta, kohteen maantieteellisiin olosuhteisiin, aiemmin vastaavissa olosuhteissa tehtyihin tutkimuksiin, muuhun tutkimukseen ja saatavilla oleviin tilastoihin.

1.2.3 Riskinarviointikriteerit

Riskinarviointi suoritetaan käyttämällä riskimatriisia (katso Kuva 3), jossa kukin riski luokitellaan seurausten esiintymistiheyden ja vakavuuden perusteella logaritmisella asteikolla. Luokitus tehdään käyttämällä skenaarioista saatavilla olevia tietoja, joita tuetaan arvioinnilla. Riskitaso lasketaan esiintymistiheysindeksin ja vakavuusindeksin summana. Tämän tyyppisiä matriiseja käytetään yleisesti merenkulun ympäristövaikutusten tai ihmisiin kohdistuvien vaikutusten riskinarvioinnissa.

¹ IWRAP on merenkulku riskianalyysien mallinnustyökalu, ja sitä käytetään arvioimaan yhteentörmäys-, pohjakosketus- ja törmäysten esiintymistiheyttä eri olosuhteiden perusteella.

		Vakavuus			
		1	2	3	4
		<i>Vähäinen</i>	<i>Merkittävä</i>	<i>Vakava</i>	<i>Katastrofaalinen</i>
Esiintymistiheys	6 Todennäköinen <i>Kerran vuodessa</i>	7	8	9	10
	5 Kohtuullisen todennäköinen <i>Kerran 10 vuodessa</i>	6	7	8	9
	4 Odottamaton <i>Kerran 100 vuodessa</i>	5	6	7	8
	3 Etäinen <i>Kerran 1 000 vuodessa</i>	4	5	6	7
	2 Erittäin etäinen <i>Kerran 10 000 vuodessa</i>	3	4	5	6
	1 Äärimmäisen etäinen <i>Kerran 100 000 vuodessa</i>	2	3	4	5

Kuva 3. Riskimatriisi merituulivoimapuiston navigointiriskien arvioimiseksi. RI, Riski-indeksi², saadaan värikoodattujen kenttien arvoista.

- **Punaiset** riskit (tapahtumat, joiden riski-indeksi on ≥ 8) arvioidaan kohtuuttomiksi. Punaiseksi luokiteltuihin skenaarioihin liittyy sellainen riski, että on toteutettava riskinhallintatoimenpiteitä hyväksyttävän riskitason saavuttamiseksi.
- **Keltaiset** riskit (tapahtumat, joiden riski-indeksi on ≥ 5) arvioidaan siedettäväksi, jos ryhdytään teknisesti ja taloudellisesti kohtuullisiin toimenpiteisiin. Tämän luokan riskeihin on puututtava ALARP-periaatteella (*As Low As Reasonably Practicable*). Keltaisiksi luokitelluissa skenaarioissa riskit on huomioitava ja ryhdyttävä kohtuullisiin riskinvähentämistoimenpiteisiin.
- **Vihreät** riskit (tapahtumat, joiden riski-indeksi on < 5) arvioidaan hyväksyttäväksi. Vihreiksi luokitelluissa skenaarioissa riskit ovat niin alhaisia, että riskinhallintatoimenpiteitä ei tarvita.

Todennäköisyys on luokiteltu esiintymistiheysasteikon mukaan, katso Taulukko 1. Kuuden pisteen asteikko ulottuu *erittäin etäisistä todennäköisiin* tapahtumiin. Asteikkoa käytetään yleisesti luokittelemaan erilaisia merenkulutapahtumia (Maritime Safety Committee, 2018).

² Riski-indeksi on taajuusindeksin (FI) ja vakavuusindeksin (SI) summa. Riski ilmaistaan yleensä taajuus x seuraus, ja tässä tapauksessa riski-indeksi on taajuus x seuraus -kaavan kymmenkantainen logaritmi.

Taulukko 1. Riskianalyysissä tehtyyn esiintymistaajuuteen perustuva tapahtumien luokittelu, joka kuvastaa sellaisen tapahtuman odotettua todennäköisyyttä, joka voi vaikuttaa ympäristöön tai turvallisuuteen.

Indeksi (FI)	Esiintymistiheys	Esiintyminen	Määritelmä
6	Kerran vuodessa ($f=1$)	Todennäköinen	Tapahtumat, joiden odotetaan tapahtuvan vuosittain merituulivoimapuistossa
5	Kerran 10 vuodessa ($f=0,1$)	Kohtuullisen todennäköinen	Tapahtumat, joiden odotetaan tapahtuvan vuosittain, jos huomioidaan noin 10 merituulivoimapuistoa, eli tapahtumat, joiden odotetaan tapahtuvan muutaman kerran merituulivoimapuiston elinkaaren aikana.
4	Kerran 100 vuodessa ($f=0,01$)	Odottamaton	Tapahtumat, joiden odotetaan tapahtuvan vuosittain, jos huomioidaan noin 100 merituulivoimapuistoa, eli tapahtumat, joiden odotetaan tapahtuvan vuosittain jossain maailman merituulivoimapuistossa.
3	Kerran 1 000 vuodessa ($f=10^{-3}$)	Etäinen	Tapahtumat, joiden odotetaan tapahtuvan vuosittain, jos huomioidaan noin 1 000 merituulivoimapuistoa, eli tapahtumat, joiden odotetaan tapahtuvan kerran kymmenessä vuodessa, kun kaikki maailman merituulivoimapuistot otetaan huomioon.
2	Kerran 10 000 vuodessa ($f=10^{-4}$)	Erittäin etäinen	Tapahtumat, joiden odotetaan tapahtuvan vuosittain, jos huomioidaan noin 10 000 merituulivoimapuistoa, eli tapahtumat, jotka voivat tapahtua kerran, kun huomioidaan kaikki maailman merituulivoimapuistot ja niiden koko elinkaari.
1	Kerran 10 000 vuodessa ($f=100^{-5}$)	Äärimmäisen etäinen	Tapahtumat, joiden ei odoteta toteutuvan.

Seuraukset on luokiteltu sen mukaan, miten suuren vaaran ne aiheuttavat ihmisille ja ympäristölle, katso Taulukko 2. Tässä tutkimuksessa asteikolla on neljä vaihetta, jotka vaihtelevat *vähäisistä vaikutuksista katastrofaalisiin vaikutuksiin*, ja se perustuu IMO:n FSA-menetelmän esimerkkeihin (Maritime Safety Committee, 2018). Tämänäntyyppisiä asteikkoja käytetään yleisesti erilaisten tapahtumien luokitteluun meriliikenteessä.

Taulukko 2. Tapahtumien luokittelu niiden vakavuuden mukaan, heijastellen tapahtuman pahimpia todennäköisiä seurauksia ympäristölle ja ihmisten turvallisuudelle.

Indeksi (SI)	Vakavuus	Vaikutukset ihmisten turvallisuudelle (kuolemantapaukset)	Vaikutukset ympäristölle (öljyvuoto)
1	Vähäinen	Yksi tai useampia pieniä vammoja (0,01)	1 tonnin vuoto
2	Merkittävä	Useita tai vakavia vammoja (0,1)	10 tonnin vuoto
3	Vakava	Yksi kuolemantapaus tai useita vakavia vammoja (1)	100 tonnin vuoto
4	Katastrofaalinen	Useita kuolemantapauksia (10)	1 000 tonnin vuoto

Kun eri tapahtumat on indeksoitu todennäköisyys- ja seurausindekseillä, voidaan laskea riski-indeksi. Appendix A sisältää lisätietoja aiheesta.

1.3 Soveltamisala ja rajoitukset

Riskinarvioinnin pääpainopisteenä on analysoida riskitasossa merituulivoimapuiston seurauksena tapahtuvaa muutosta.

Tässä tutkimuksessa noudatetaan virallista turvallisuusarviointimenetelmää (FSA) sillä poikkeuksella, että mahdollisten riskinhallintatoimenpiteiden kustannus-hyötyanalyysiä ei suoriteta (se voidaan tehdä tarvittaessa myöhemmin).

Vain merituulivoimapuiston meriliikenteelle aiheuttamat onnettomuusriskit analysoidaan. Analyysissä keskitytään tuulivoimaloihin (WTG).

Ennen kaikkea analysoidaan kauppa-aluksiin ja muihin suuriin aluksiin liittyviä onnettomuusriskejä ja vähäisemmässä määrin kalastus- ja huviveneisiin liittyviä onnettomuusriskejä. Merituulivoimapuiston työaluksien onnettomuusriskit analysoidaan siltä osin kuin ne vaikuttavat puiston kautta kulkeviin kauppa-aluksiin ja ei-kaupallisiin aluksiin.

Tutkimus ei sisällä seuraavia:

- Seuraukset merituulivoimapuiston toiminnalle (esim. omaisuusvahingot tai tuotantotappiot)
- Työhön liittyvät vaarat (mukaan lukien työalusten väliset yhteentörmäykset)
- Työterveysvaarat ja taloudelliset riskit, jotka eivät liity suoraan ihmisten turvallisuuteen ja ympäristöön.
- Merituulivoimapuiston käytöstä mahdollisesti aiheutuvat muut kuin merenkulkuun liittyvät riskit.
- Riskit pienille aluksille, mukaan lukien huvialukset ja pienet kalastusalukset, jotka navigoivat vakiintuneiden reittien ulkopuolella tai tuulipuiston alueella.
- Muut kohteet kuin tuulivoimalat ja perustukset

Tähän raporttiin sisältyvät alustoihin törmäämisten taajuudet. Vedyn aiheuttamien suurien onnettomuuksien riskinarviointi esitetään erillisessä Seveso-raportissa.

Laineen merituulivoimapuiston vaikutusta alusten tutkiin analysoidaan tutkahäiriöitä ja merituulivoimapuistoja koskevan yleisen tiedon perusteella. Aluksen tutkajärjestelmille aiheutuvat tarkat häiriöt ja esiintymisetaisydet voidaan arvioida riittävällä tarkkuudella vasta, kun merituulivoimapuiston ja voimaloiden lopullinen sijoittelusuunnitelma on tiedossa.

2. Kohteen kuvaus

2.1 Laineen merituulivoimapuisto ja sen ympäristö

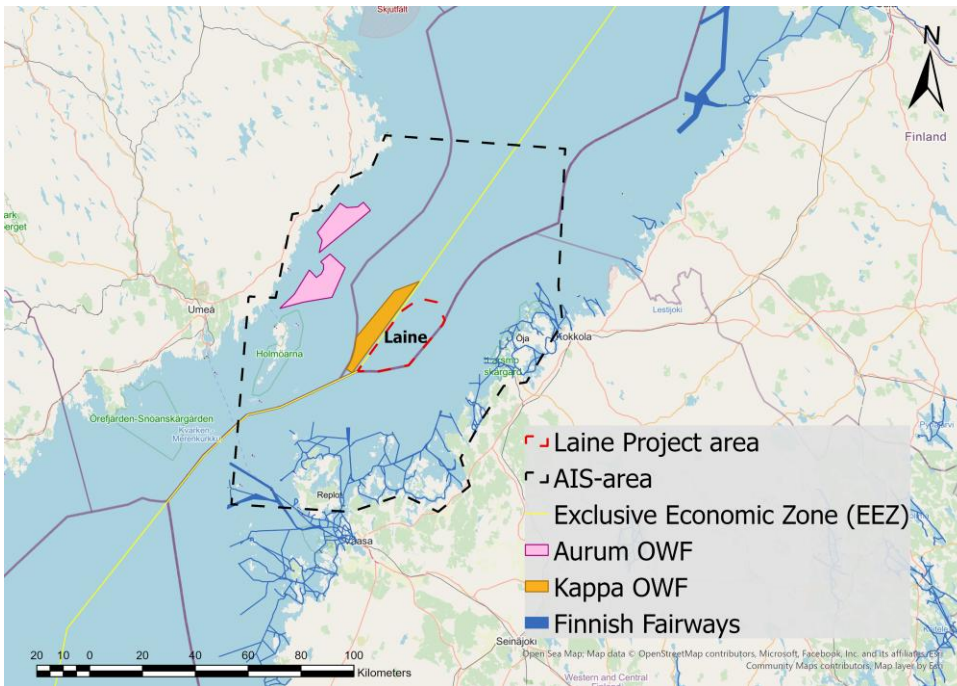
Laine eli tutkinnan kohteena oleva merituulivoimapuisto sijaitsee noin 32 kilometrin päässä rannikosta Pietarsaaren länsipuolella Pohjois-Pohjanmaalla. Merituulivoimapuisto on kooltaan noin 450 km², ja se on suunniteltu 113-150 tuulivoimalalle, joiden kokonaiskorkeus on 370 metriä. Tämä raportti käsittelee 150 tuulivoimalan suunnitelmaa. Puistossa on tarkoitus käyttää pohjaan asennettuja kiinteitä tuulivoimaloita, joiden asennettu kapasiteetti on yhteensä noin 2,25 GW. Merituulivoimapuiston alueella käytetään myös offshore-sähköasemia ja merikaapeleita ja/tai alustoja vedyntuotantoon sekä putkistoja. Vientikaapelit ja/tai putkistot siirtävät voiman tai vedyn maalla olevaan verkkoon.

Riskinarviointi alueelle, jolla AIS-tietoja kerätään. Alue on kooltaan noin 13 410 km², ja se esitetään alla olevassa kartassa (Kuva 4). AIS-tietojen alueesta käytetään tästä lähtien nimitystä analyysialue.

Suunnitelma ei noudata säännöllistä ruudukkokuviota (katso Kuva 1, sivu 8), vaan tuulivoimalat ovat hajallaan. Energiantuotannon maksimoimiseksi tuulivoimaloita ei ole voitu sijoittaa suoriin linjoihin. Se lisäisi katveita huomattavasti ja vähentäisi vuotuista energiantuotantoa sekä lyhentäisi tuulivoimaloiden käyttöikää.

Laineen merituulivoimapuiston lähellä olevalle alueelle on suunniteltu muitakin tuulipuistoja. Kapan merituulivoimapuisto sijaitsee talousvyöhykkeen Ruotsin puolella noin 1 km Laineesta länteen ja Aurum North ja South -tuulipuistot 25 km:n päässä Laineesta. Kuva 4 havainnollistaa Laineen ja muiden lähistölle suunniteltujen merituulivoimapuistojen sijoittelua.

AIS-tietojen alueesta käytetään tästä lähtien nimitystä analyysialue.



Kuva 4. Kartta, joka näyttää Laineen hankealueen ja alueen, jolta AIS-tietoja kerätään eli analyysialueen, sekä lähelle suunnitellut Kapan ja Aurumin merituulivoimapuistot.

Alueella vallitseva tuulensuunta on etelälounaasta (SSW) ja lounaasta (SW). Tuulitietojen katsotaan edustavan koko Laineen hankealuetta. Keskimääräinen tuulen nopeus keskipisteessä 10 metrin korkeudella merenpinnasta on 6,6 m/s ja yleensä välillä 5–10 m/s. Navigointiolosuhteet ovat yleensä sellaiset, että voimakkaat tuulet ja kova merenkäynti voivat aiheuttaa esteitä merenkululle. Hankealueen keskimääräinen veden syvyys on 42,5 metriä, ja syvintä on alueen pohjois- ja lounaisosissa. Matalinta on kaakkoisosissa. Tarkempi kuvaus tuulesta ja veden syvyysolosuhteista löytyy Laineen merituulivoimapuiston liikenneanalyysistä (Sweco, 2023c).

2.1.1 Jääolosuhteet ja jäänhallinta

Merenkulkuun vaikuttaa se, että suuri osa Itämerestä, erityisesti Pohjanlahti, jäätyy vuosittain.

Alukset ovat usein riippuvaisia jäänmurtajan avusta. Jään kertyminen ja jääpeite talvi- ja kevätkausina pakottavat alukset usein kulkemaan eri reittejä kuin jäättöminä kuukausina. Erityyppiset jääpeitteet voivat myös vaikuttaa meriliikenteeseen eri tavoin.

Yleisesti ottaen Laineen hankealueen läheisyydessä jääolosuhteet ovat sellaiset, että ajojää on yleistä ja ajoittain esiintyy ahtojäävalleja, joita on vaikea murtaa ja jotka muodostavat esteen merenkululle. Seuraavassa riskianalyysissä analysoitu jätälvi 2021–2022 oli leuto jätälvi, mutta se kesti Pohjanlahdella tavallista kauemmin. Jääpeitteen ulottuvuus oli laajimmillaan 4.2.2022, jolloin jään pinta-ala oli 93 000 km² (Finnish Transport Infrastructure Agency, 2023). Pisin matka, joka alusten tuli kulkea jäissä Kemistä jääpeitteen reunalle, oli 4.2.2022, 194

© Laine Offshore Wind Oy 2025.

Sweco | Laineen merituulivoimapuiston merenkulun riskinarviointi

Toimeksianto nro 30046108

Päivämäärä 16.10.2023

Vers. 1

merimailia. Lisätietoja jäätalvista ja erityyppisestä jäädä löytyy Laineen merituulivoimapuiston liikenneanalyysistä (Sweco, 2023c).

Alukset ovat usein riippuvaisia jäänmurtajan avusta. Jään kertyminen ja jääpeite talvi- ja kevätkuukausina pakottavat alukset usein kulkemaan eri reittejä kuin jäätöminä kuukausina. Erityyppiset jääpeitteet voivat myös vaikuttaa meriliikenteeseen eri tavoin. Ankarissa sääolosuhteissa jäänhallinnalla on tärkeä rooli navigoinnin turvallisuuden ja sujuvan satamaliikenteen varmistamiseksi.

Jäänmurtajien fyysinen jäänhallinta mahdollistaa toiminnan turvallisuuden koko jääkauden ajan. Jääseuranta ja paikallisten jääolosuhteiden arviointi antavat ratkaisevaa, päätöksentekoa tukevaa tukea jäänmurtajien toiminnalle³. Alueella toimivat jäänmurtajat ovat siten edellytys merenkulun jatkuvuudelle ja turvallisuudelle alueella ja siis jo käytössä oleva riskinvähentämistoimenpide Laineen ympäristössä⁴.

2.2 Laivaväylät ja liikennemallit

Merenkurkussa sijaitsevan Laineen hankealueen vieressä tai kautta kulkee useita merenkulkureittejä, katso Kuva 5. Ruotsin puolella talousvyöhykettä on kolme Ruotsin kansallista merenkulkuun liittyvää etua, jotka ulottuvat pohjoisen Merenkurkun TSS:stä pohjoiseen Pohjanlahdelle. Pohjoinen Merenkurkku on merenkulun kannalta erittäin tärkeä alue, jossa alusten navigointimahdollisuudet ovat rajalliset. Alusliikennettä säätelee IMO:n hyväksymä Pohjoisen Merenkurkun TSS. Suomen puolella talousvyöhykkeen rajaa on useita Suomen merialuesuunnitelma 2030:ssa tunnustettuja merialueita, jotka liittyvät Suomen aluerajan sisällä sijaitseviin Suomen virallisiin väyliin. Suomen puolella läheisiä satama-alueita, joissa suuri osa liikenteestä käy, ovat Pietarsaari ja Kokkola.

³ Jäänmurtajilla on seurantavälineet, joilla ne voivat analysoida olemassa olevia jääolosuhteita ja tulevien jäätilanteiden ennusteita satelliittikuvien, sääennusteiden ja laivaliikenne-ennusteiden perusteella. Jäätä voidaan murtaa tai siirtää eri tavoin, joista optimaalinen riippuu avustettavan toiminnan erityispiirteistä ja käytettävissä olevista aluksista.

⁴ Markku Mylly, Merikapteeni / Turvallisuus,⁷lokakuuta 2023.

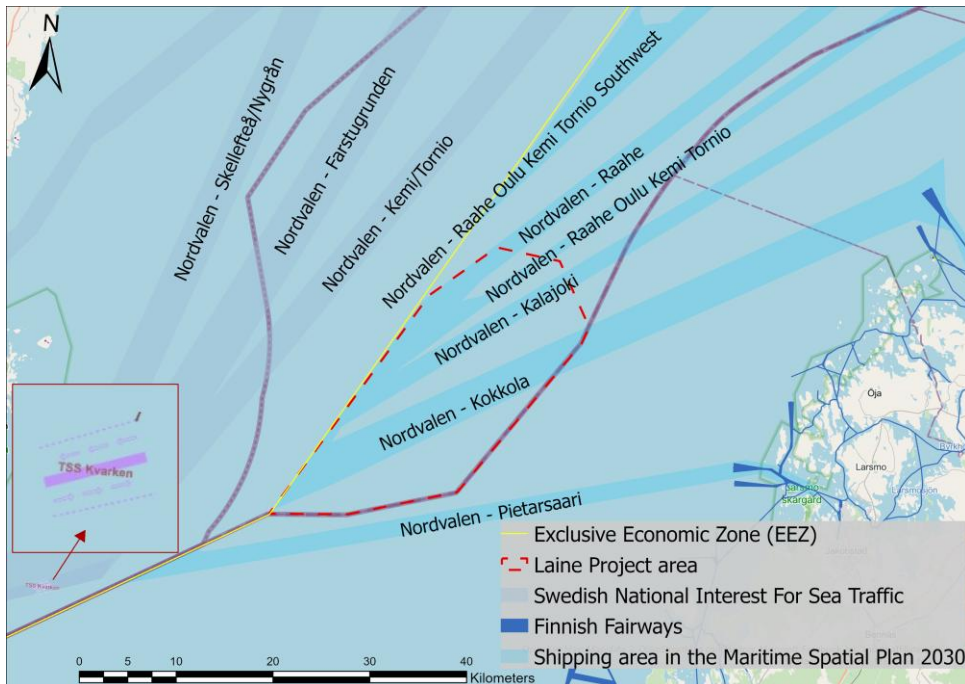
© Laine Offshore Wind Oy 2025.

Sweco | Laineen merituulivoimapuiston merenkulun riskinarviointi

Toimeksianto nro 30046108

Päivämäärä 16.10.2023

Vers. 1



Kuva 5. Kartta Laineen hankealueen viereisistä merenkulkualueista ja liikenneväylistä.

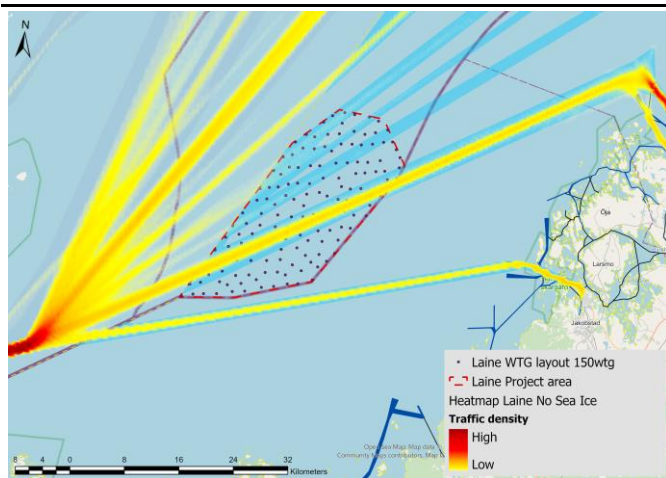
Suomen vesiväylien väyläluokituksessa kuvataan väylän käyttötarkoitus. Merenkulkualueet kulkevat hankealueen läpi, josta reitit liittyvät seuraaviin väyliin Suomen puolella: Nordvalen - Raahen Oulu Kemi Tornio Southwest, Nordvalen - Raahen Oulu Kemi Tornio, Nordvalen - Kalajoki, Nordvalen - Kokkola ja Nordvalen - Pietarsaari. Nämä on merkitty kauppateiksi, mikä tarkoittaa, että väylät on rakennettu ja niitä ylläpidetään ensisijaisesti kauppalaivastolle, joilla tarkoitetaan rannikkoliikenteessä kulkevia, väylämaksuja maksavia aluksia. (Traficom, 2021)

Lainetta lähimpänä oleva Ruotsin kansallinen meriliikenne-etu on Nordvalen – Kemi/Tornio. Meriliikenne-etualueet ovat Trafikverketin⁵ alusliikenteelle tärkeiksi tunnistamia alueita. Nämä reitit eivät ole väyliä, ja ne on määrätty tai merkitty karttaan, paitsi jos ne kuuluvat reittitoimien piiriin (The Swedish Transport Administration, 2022). Meriliikenneväylä on alue, jolla on määritellyt rajat ja noudatetaan yksisuuntaista liikennettä (IMO, n.d.).

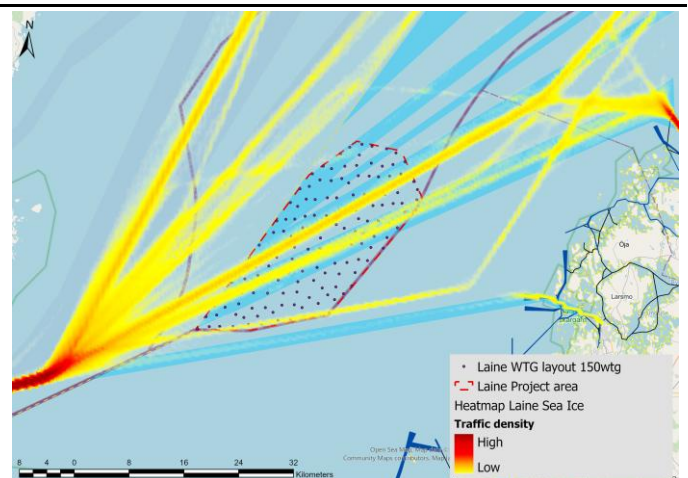
Alueen meriliikennettä analysoidaan Laineen meritulivoimapuiston liikenneanalyysissä. Liikenneanalyysi osoittaa, että eri laivaväylillä kulkee vain muutama alus päivässä, yleensä noin 1-2 alusta päivässä kullakin merenkulkureitillä. (Sweco, 2023c)

Liikenneanalyysissä käytetyt AIS-tiedot ovat vuodelta 2022. Kuva 6 ja Kuva 7 alla kuvaavat liikennemalleja vuonna 2022 jättömien ja merijääkuukausien aikana.

⁵ Eng. Ruotsin liikennevirasto



Kuva 6. Lämpökartta liikennemalleista Laineen merituuvoimapuiston ympärillä jäättöminä kuukausina (1.6.2022 – 31.12.2022).



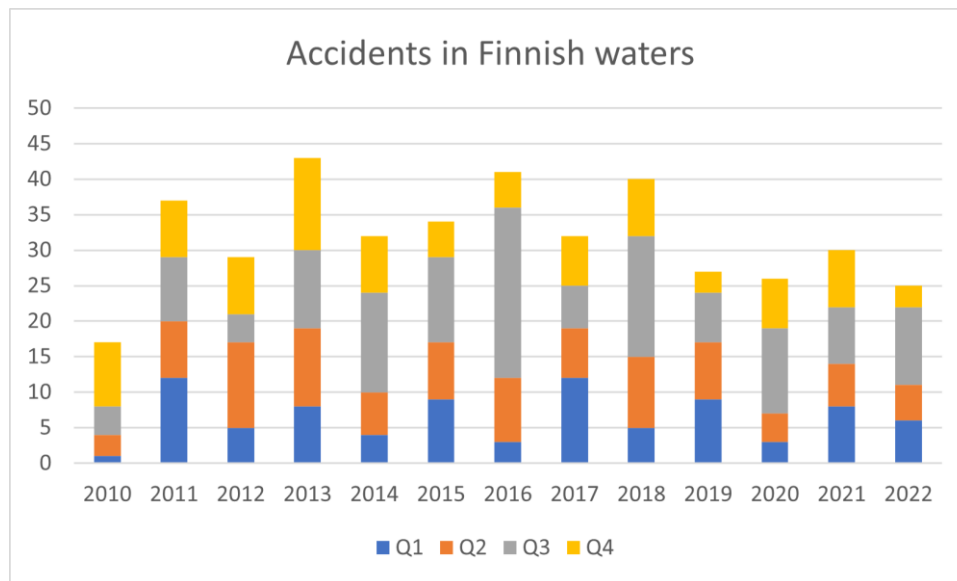
Kuva 7. Lämpökartta liikennemalleista Laineen merituuvoimapuiston ympärillä merijääkuukausina (1.1.2022 – 31.5.2022).

Lainetta lähimmillä merialueilla, mutta kuitenkin hankealueen ulkopuolella, jäättömien kuukausien liikennemäärät koostuvat pääosin Nordvalen – Pietarsaari ja Nordvalen – Raahe Oulu Kemi Tornio Lounas -merenkulkualueiden liikenteestä.

Jos Laineen merituuvoimapuisto perustetaan, hankealueen läpi kulkevan liikenteen on kuljettava tuulipuiston ympäri. Riskimallinnuksessa hankealueen liikenne siirtyy näin ollen puistoalueen ulkopuolisille liikenneväylille. Lisätietoa alueen liikenneolosuhteista löytyy Laineen merituuvoimapuiston liikenneanalyysistä (Sweco, 2023c).

2.3 Merionnettomuudet

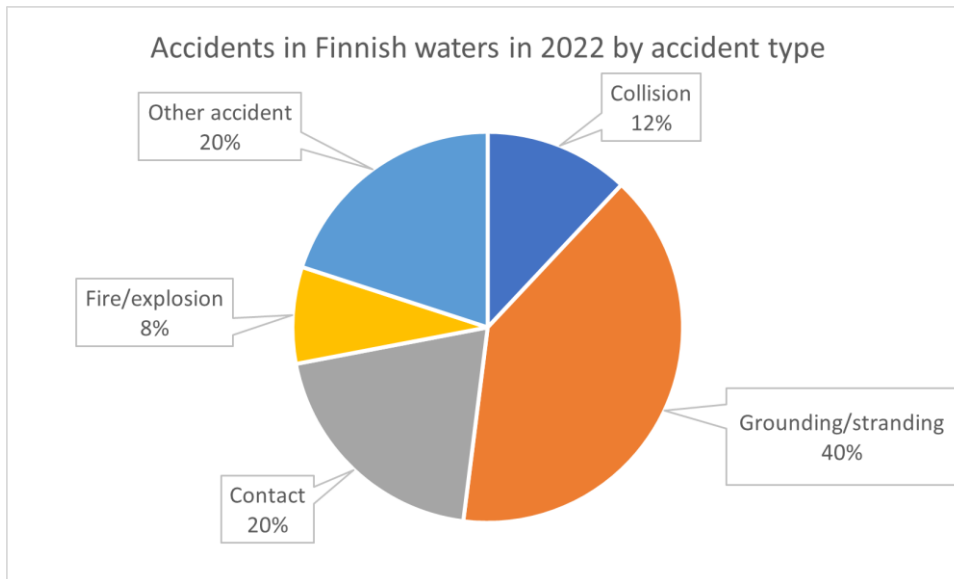
Traficom kokoaa meriturvallisuuteen liittyviä aiheita Suomen vesialueilla ja esittää erilaisia merenkulkuutilastoja Suomen vesistä. Muun muassa Suomen vesialueilla vuosien 2010 ja 2022 välisenä aikana tapahtuneiden onnettomuuksien lukumäärästä on tehty yhteenveto, jota (2023) Kuva 8 havainnollistaa. Yhteenvedon mukaan Suomen vesillä sattui vuosittain keskimäärin 25–43 merionnettomuutta, joihin ei lasketa mukaan kuolonuhreja vaatineita merionnettomuuksia. Vuotuinen vaihtelu on suurta mutta satunnaista, eikä sitä siksi pidä nähdä merionnettomuuksien aiheuttajana.



Kuva 8. Kuvassa näkyvät Suomen vesialueilla vuosina 2010–2022 tapahtuneet onnettomuudet vuosineljänneksittäin. Luvun tiedot on otettu (Traficom, 2023)

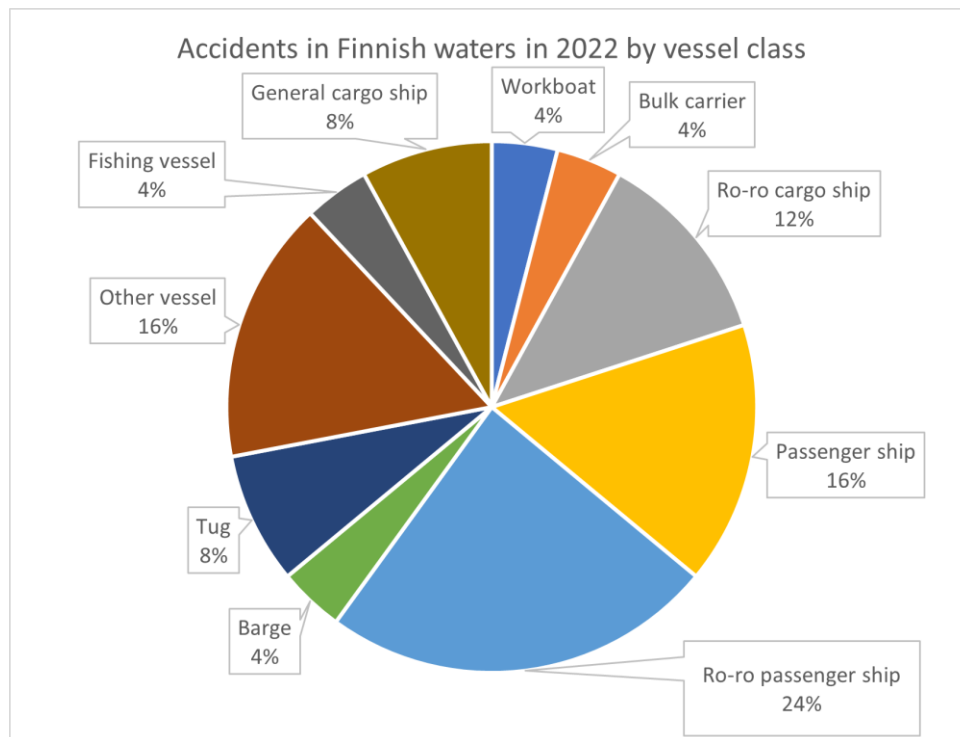
Esitetyt onnettomuudet ovat pohjakosketus/karilleajo, yhteentörmäys, kosketus, tulipalo/räjähdykset ja muut onnettomuudet. Kauden aikana yleisimmät tapaturmatyypit ovat pohjakosketus/karilleajo, ja määrä on pysynyt yleisesti samana vuodesta toiseen.

Vuonna 2022 oli 10 pohjakosketusta/karilleajoa, joiden osuus onnettomuuksista oli 40 %; viisi kosketusta, joiden osuus kaikista onnettomuuksista oli 20 %; ja kolme yhteentörmäystä, joiden osuus kaikista onnettomuuksista oli 12 %. Kuva 9 havainnollistaa Suomen vesialueilla vuonna 2022 sattuneita onnettomuuksia onnettomuusluokittain.



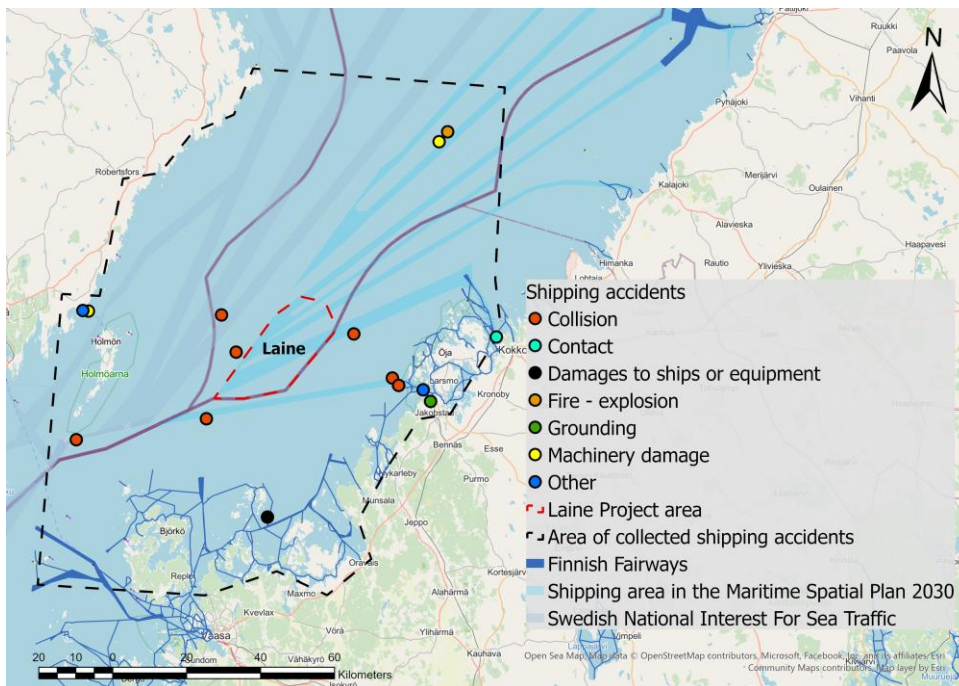
Kuva 9. Kuvassa näkyvät Suomen vesialueilla vuonna 2022 tapahtuneet onnettomuudet onnettomuusluokittain. Todennäköisyysjärjestyksessä luokat ovat: pohjakosketukset/karilleajot, kosketus, tulipalo/räjähdys, muu onnettomuus ja törmäys.

Suurin osa Suomen vesillä tapahtuneista onnettomuuksista koski ro-ro-matkustaja-aluksia (24 %), matkustaja-aluksia (16 %), muita aluksia (16 %) ja ro-ro-rahtialuksia (12 %). Kuva 10 alla esittää Suomen aluevesillä vuonna 2022 tapahtuneet onnettomuudet alusluokittain.



Kuva 10. Kuvassa näkyvät Suomen aluevesillä vuonna 2022 tapahtuneet onnettomuudet alusluokittain.

HELCOM esittää Itämeren onnettomuustilastot ajalta 1989 vuoden 2020 loppuun. Laineen analyysialueella (eli samalla alueella, jolla AIS-tiedot kerättiin) raportoitiin ajanjaksolla 15 onnettomuutta. (2022) Kuva 11 seuraavalla sivulla esittää onnettomuustyyppit ja niiden sijainnit. Onnettomuudet ovat yleensä hajanaisia, mutta sijoittuvat pääosin merenkulkualueiden läheisyyteen, esimerkiksi Pietarsaaren ympärille. Analyysialueella onnettomuuksista suurimman osan muodostavat yhteentörmäykset, joista on raportoitu 7 onnettomuutta.



Kuva 11. Nykyisen hankealueen läheisyydessä kirjatut onnettomuudet 1989–2020, yhteensä 15 onnettomuutta. Alue, jolta onnettomuustilastot on koottu, on merkitty mustalla katkoviivalla. Onnettomuudet on jaettu eri tyypeihin. Tiedot saadaan HELCOMilta (2022).

2.3.1 Merionnettomuudet merituuvoimapaustoissa

Taulukko 3 antaa yleiskuvan raportoiduista tapahtumista, joissa alukset ovat ajautuneet tai navigoineet päin tuulivoimaloita. Onnettomuuksia on tunnistettu tutkimalla erilaisia tietokantoja, artikkeleita ja onnettomuustutkintoja. Yleiskatsauksen tarkoituksena on tutkia onnettomuusskenaarioiden etenemistä ja mahdollisia seurauksia, merituuvoimapaustot mukaan lukien. Luettelo ei ole kattava.

Taulukko 3. Meriliikenteen ja tuulivoimaloiden välillä tapahtuneet onnettomuudet.

Tapahtuma	Kuvaus	Seuraukset ihmisille	Seuraukset ympäristölle
Työalus törmäsi puistossa tuulivoimalaan (MAIB, 2013)	21.11.2012 Henkilöstöalus Island Panther ajoi tuulivoimalan valaisemattomaan osaan Sheringham Shoalin tuulipuistossa 12 solmun nopeudella. Oli yö ja vaikea sää, eikä upseeri luottanut tutkaan häiriöriskin vuoksi.	Sekä henkilökunta että matkustajat saivat vammoja, jotka eivät olleet hengenvaarallisia (aivotärähdys, käsivarren murtuminen, lasin rikkoutumisen aiheuttamat vammat, leukavammat, rinta- ja selkävammat)	Vaurioita keulassa ja rungossa, mutta ei öljyvuotoja.
Työalus törmäsi puistossa tuulivoimalaan (Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation, 2019)	10.4.2018 Huoltoalus Vos Stone törmäsi tuulivoimalaan Arkona Becken Südost -tuulipuiston rakennusvaiheessa Itämerellä. Syynä mainitaan hätätilanteiden hallintajärjestelmän testaus, joka johti aluksen hallinnan menettämiseen.	Kolme laivalla ollutta miehistön jäsentä sai lieviä vammoja.	Alukselle ja perustukselle aiheutuneita vaurioita, mutta ei vuotoja.
Työalus törmäsi puistossa tuulivoimalaan (Jersey Maritime Administration, 2020)	23.4.2020 Huoltoalus Njord Forseti ajoi 20 solmun nopeudella tuulivoimalan perustuksiin Borkum Rifgrundin tuulipuistossa Pohjanmerellä. Kapteenin ilmoitetaan säätäneen VHF:ää (radiotaajuudet) ja siten harhautuneen ensisijaisesta tehtävästään COLREGin säännön 5 vastaisesti.	Kaksi matkustajaa evakuoitiin sairaalaan, ja kolmas kävi myöhemmin lääkärintarkastuksessa. Kaikki kotiutuivat sairaalasta päivässä.	Runko vaurioitui, mutta ei vuotoja.
Rahtialuksen hallinta menetettiin ja alus ajautui päin perustuksia (Vattenfall, 2022)	31.1.2022 Irtolastialus Julietta D ajautui Hollandse Kust Zuidin tuulipuistossa suunnitellun tuulivoimalan paalurakenteisiin perustuksiin ja myös törmäsi perustuksen nostimeen. Alus oli ajelehtinut useita tunteja toisen aluksen kanssa sattuneen yhteentörmäyksen jälkeen.	Aluksen 18 matkustajaa oli evakuoitu helikopterilla ennen törmäystä, eikä kukaan loukkaantunut tuulipuistossa. Henkilökuntaa kuitenkin loukkaantui pelastuksen ja hinauksen aikana.	Alus vaurioitui aiemmassa yhteentörmäyksessä ja hörppäsi vettä, mutta vuotoja ei ole raportoitu.
Alueella liikkuneet alukset törmäsivät tuulivoimalaan (BSU:n, Saksan merionnettomuus-tutkintaviraston tutkinnan kohteena)	5.4.2023 Rahtialus Petra L. ajoi päin tuulivoimalaa. Alustavat tiedot osoittavat, että alus oli väärällä kurssilla ja navigoi päin tuulivoimalaa. Onnettomuustutkinta on käynnissä.	Kuolonuhreista ei ole ilmoitettu.	Runkoon tuli 3 x 5 metrin reikä, mutta vuotoja ei ole raportoitu.

2.4 Tuleva liikenne

Traficom toteaa kansallisten liikenne-ennusteiden raportissaan, että meriliikenteen odotetaan kasvavan. Traficom on tuottanut ennusteita vuoteen 2060 asti. Ulkomaisen meriliikenteen vuoden 2060 ennusteiden mukaan Suomen meriliikenteen kokonaisvienti on vetoisuudeltaan noin 9 prosenttia suurempi kuin vuonna 2021. Vastaavasti kokonaistuonti tulee ennusteen mukaan olemaan noin 19 prosenttia suurempi. Kokonaisviennin odotetaan pysyvän vakaana vuoteen 2035 asti, jonka jälkeen sen odotetaan alkavan kasvaa. Kokonaistuonnin odotetaan kasvavan merkittävästi lähivuosina, kun Venäjältä rautateitse tuleva tuonti korvataan muista maista meritse tulevalla tuonnilla. Tämän jälkeen kokonaistuonnin odotetaan vähenevän muun muassa raakaöljyn tuonnin vähenemisen vuoksi. Liikenne-ennusteiden lähtökohtiin liittyy kuitenkin merkittäviä epävarmuustekijöitä toimintaympäristön suurten muutosten vuoksi. (Traficom, 2022b)

Ruotsin liikenneviraston ennusteiden mukaan merikuljetusten odotetaan kasvavan tonnakilometrimäärällä mitattuna noin +1,7 % vuodessa vuoteen 2040 asti. Tämä tarkoittaa, että tavaraliikenne (tonnikilometreinä mitattuna) kasvaa vuoteen 2040 mennessä noin 33,2 prosenttia vuoteen 2023 verrattuna. (Trafikverket, 2023)

Liikenteen osuuden kasvuun ja suurempiin aluksiin on useita syitä. Traficom huomauttaa, että uuden Oulun salmen syväys ja Kemin Ajoksen väylän syventäminen lisäävät meriliikennettä ja palvelevat suurempia aluksia. Lisäksi tonnimääräinen liikenne Ajokseen lisääntyy merkittävästi ⁶Metsä Groupin uuden biotehtaan valmistuttua, sillä sen alukset tulevat olemaan suurempia. (Traficom, 2022a)

Edellä mainitut tiedot huomioon ottaen on todennäköistä, että Laineen merituulivoimapuiston ympäristössä liikkuvien alusten koko kasvaa, mutta määrät eivät niinkään lisäänty. On kuitenkin epävarmaa, johtaako odotettavissa oleva kuljetusten lisääntyminen suurempaan laivamäärään vai itse laivojen koon ja painon kasvuun. Alueen liikenteen mahdollisen lisääntymisen ennakoimiseksi tässä analyysissä on hyödynnetty varovaista 35 %:n arviota vuodelle 2060.

Kuten liikenneanalyysissä todetaan (Sweco, 2023c), Laineen merituulivoimapuiston perustaminen johtaisi joihinkin muutoksiin liikenteessä ja malleissa. Mahdolliset skenaariot voisivat tarkoittaa sitä, että pohjoisemmaksi Pohjanlahdelle ja sieltä pois kulkeva liikenne eli merenkulkualueella Raahen, Ouluun ja Kemiin ja sieltä pois liikkuva liikenne siirtyy lännen suuntaan. Tässä skenaariossa liikenne keskittyisi Nordvalen - Kemi -merenkulkualueelle. Kalajoelle ja Kokkolaan kulkevien ja niistä lähtevien alusten on muutettava reittejään siten, että ne siirtyvät Laineen hankealueen pohjois- tai eteläpuolelle. Tämä johtaisi ruuhkautuneeseen liikenteeseen Ruotsin puolella talousvyöhykkeen rajaa Merenkurkun pohjoisosissa. Kokkolaan ja Kokkolasta liikennöivälle liikenteelle tämä tarkoittaisi noin 10 kilometriä pidempää reittiä ⁷.

⁶ Meriliikenteen volyymi kasvaa noin 1,3 miljoonalla tonnilla paperisellua, jos tehdas toimii täydellä kapasiteetilla. Viimeisen viiden vuoden aikana paperisellun vuotuinen vienti on ollut noin 200 000 tonnia eli vain 30 % koko 600 000 tonnin kapasiteetista.

⁷ Pohjoisen Merenkurkun reittijakojärjestelmästä (TSS) Kokkolan väylän reunalle on n. 100 km:n matka Nordvalen – Kokkola -reittiä. Pohjoisen Merenkurkun TSS:stä Kokkolan väylän reunalle on n. 110 km:n matka Nordvalen – Kemi -reittiä.

Tässä analyysissä tarkastellaan tulevaa alusliikennettä kahdella tavalla:

- Onnettomuustaajuudet lasketaan perustapaukselle (nykyinen liikenne AIS-tietojen perusteella) ja epävarmuusanalyysitapaukselle, jossa tulevien liikennevirtojen odotetaan kasvavan 35 % ennustevuoteen 2060 mennessä.
- Onnettomuuksien seuraukset valitaan varovaisesti perustuen oletuksiin tulevista, suuremmista aluksista.

2.5 Turvaetäisyydet

Oikeutta viattomaan kauttakulkuun säännellään Yhdistyneiden kansakuntien merioikeusyleissopimuksessa (UNCLOS). Tässä sopimuksessa on muun muassa artikla 60.7 "Keinotekoisia saaria, tiloja ja rakenteita sekä niitä ympäröiviä turvavyöhykkeitä ei saa perustaa sinne, missä ne voivat estää kansainväliselle merenkululle olennaisen tärkeiden tunnustettujen vesiväylien käytön" (United Nations, 1994).

UNCLOSin lisäksi on olemassa myös meriteiden säännöt eli kansainväliset säännöt yhteentörmäämisen ehkäisemiseksi merellä (COLREG). Nämä ovat yleissopimuksen mukaisia sääntöjä, jotka säätelevät alusten velvollisuuksia yhteentörmäysten välttämiseksi. COLREG kuvaa suurempien kauppa-alusten velvollisuudet välttää merellä tapahtuvia yhteentörmäyksiä aiheuttavia liikkeitä. Jotta nämä alukset voisivat täyttää väistöliikkeitä koskevat velvoitteensa, suositellaan usein turvaetäisyyttä meriliikenteen ja merellä olevien kiinteiden perustusten, mukaan lukien tuulivoimalat, välillä (IMO, 1972).

Turvaetäisyys määräytyy tapauskohtaisesti riippuen muun muassa merituulivoimapuiston sijainnista, maantieteellisistä näkökohdista ja alusliikenteestä alueella.

Traficom toteaa, että tämä edellyttää 1,5 kilometrin (0,81 merimailin) turvaetäisyyden varmistamista väyläalueiden ja merituulivoimapuistojen välillä (2022a) .

PIANC on maailmanlaajuinen organisaatio, jonka kehittämillä suosituksilla tähdätään vastuulliseen liikenteeseen merellä ja muilla vesiväylillä (PIANC, 2023). Raportissa *MarCom Wg 161: Interaction Between Offshore Wind Farms and Maritime Navigation* (PIANC, 2018) PIANC esittää suosituksia turvallisista etäisyyksistä tuulivoimaloihin. Suositukset perustuvat muun muassa COLREGiin ja sen sääntöihin, jotka koskevat turvallista läpikulkua merellä.

Turvaetäisyys-suositusten laatimiseen on kaksi menetelmää:

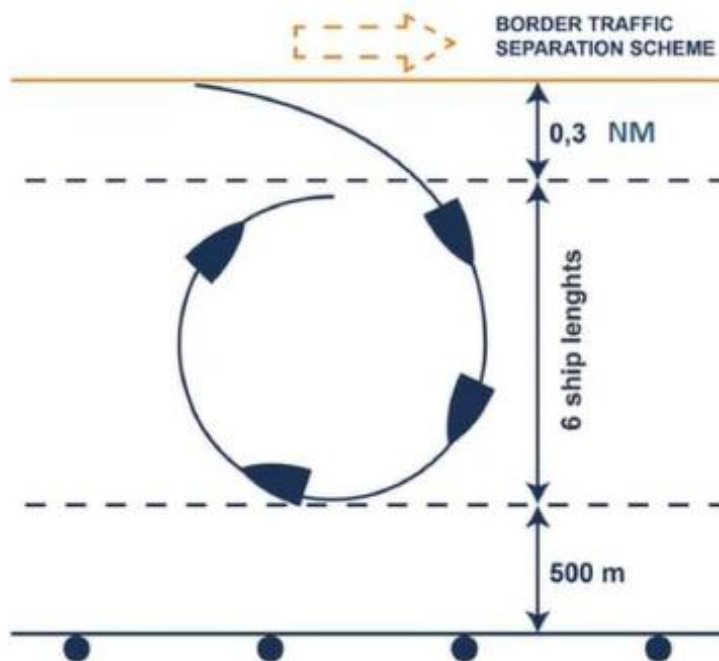
- Konseptisuunnittelu, joka tarjoaa varovaisen suosituksen tuulivoimaloiden ja alusten välisestä turvaetäisyydestä.
- Yksityiskohtainen suunnittelu, jossa turvaetäisyyttä voidaan mahdollisesti muuttaa yksityiskohtaisen meririskianalyysin jälkeen.

Konseptisuunnitelman mukainen suositus tarkoittaa, että aluksen ja merituulivoimapuiston välisen etäisyyden on oltava sellainen, että alus pystyy suorittamaan täydellisen väistöliikkeen (360°:een käännös). Tällainen etäisyys arvioidaan saavutettavan 5 aluksen pituudella. Mahdollisten ongelmien varalta varovainen arvio ohjausestä on noin 6 aluksen pituutta. Lisäksi merituulivoimapuistolle on lisättävä enintään 500 metrin turvavyöhyke (UNCLOS-

turvavyöhyke). Tämä etäisyys voi olla lyhyempi, mutta ei saa ylittää 500 metriä. Tyyrpuurin puolella olevaan turvaetäisyyteen lisätään 0,3 M jolla varmistetaan, että turvallinen väistöliike voidaan tehdä myös suhteessa muihin lähistöllä oleviin aluksiin. Tämä tarkoittaa sitä, että suositus aluksen ja merituulivoimapuiston lähimmän tuulivoimalan väliselle vähimmäisturvaetäisyydelle (turvavyöhykettä lukuun ottamatta) on seuraava (katso myös Kuva 12, missä d on lyhin etäisyys):

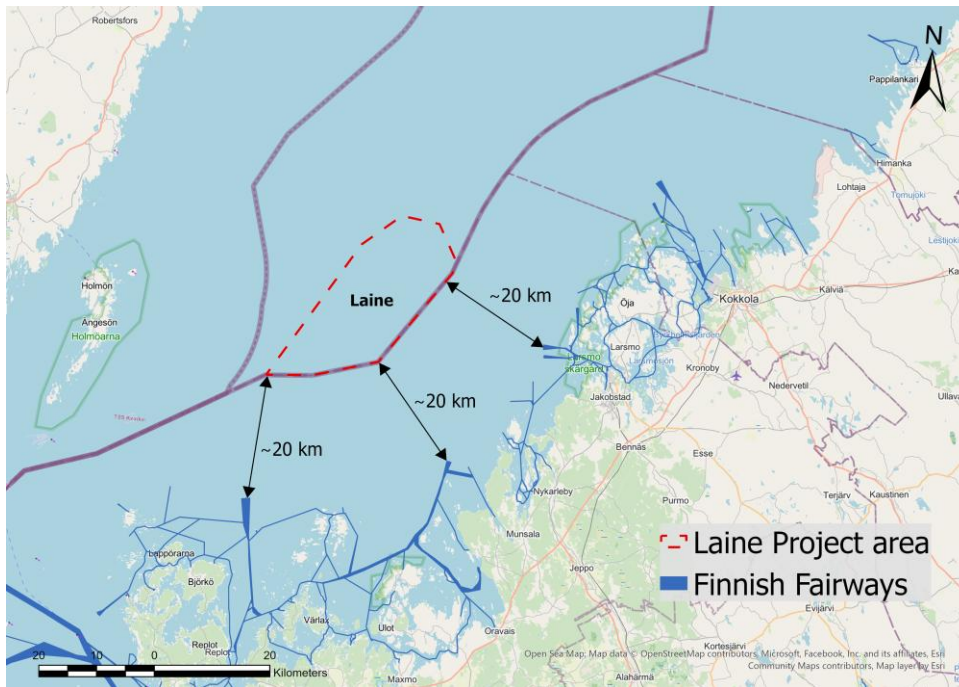
- Aluksen tyyrpuurin puolella $d = 556$ metriä (0,3 M) + 6 aluksen pituutta
- Aluksen paapuurin puolella $d = 6$ aluksen pituutta

Yllä olevaa turvaetäisyyttä suositellaan merituulivoimapuiston lähimmän tuulivoimalan ja lähimmän liikenteenjakojärjestelmän (TSS) välillä. Kuva 12 havainnollistaa etäisyyden. TSS:n ja muiden syvänvedenreitin reititysmittojen osalta on selvää, mistä etäisyys mitataan. Tätä ei kuitenkaan ole määritetty merenkulkureiteille, joilla ei ole tällaisia reititysmittoja.



Kuva 12. Kuva TSS:n ja merituulivoimapuiston välisestä etäisyydestä PIANCin mukaisesti (ympyräkäännös työrpuurin puolelle). (PIANC, 2018)

Koska Laineen merituulivoimapuiston ja lähimmän väyläalueen (ks. Kuva 13) välillä on noin 20 km (10,8 merimailia), tässä riskianalysissä ei pidetä tarpeellisenä ottaa huomioon väylien turvaetäisyyksiä.



Kuva 13. Kartta Laineen merituulivoimapaiston alueen ja Suomen väylien välisestä etäisyydestä.

3. Vaarojen tunnistaminen

Merenkulkuun liittyvään riskinarviointiin sisältyy yleensä törmäys-, yhteentörmäys- ja pohjakosketusriski.

Kohdekohtaiset tiedot Laineen merituulivoimapuistoon liittyvistä mahdollisista vaaroista saatiin digitaalisessa, virallisessa HAZID-työpajassa (Sweco, 2023). HAZID järjestettiin 19. huhtikuuta 2023 yhdessä alan eri sidosryhmiä edustavan tiimin kanssa. Näin varmistettiin, että kaikki asiaankuuluvat riskit tunnistettiin. Virallisen HAZIDin menetelmä perustuu muiden vastaavien tuulivoimahankkeiden HAZIDeihin. Siksi valittiin asiaankuuluvia avainsanoja, joilla osallistujia ohjattiin perehtymään mahdollisiin merenkulkuvaaroihin ja ulkoisiin olosuhteisiin, jotka voivat vaikuttaa alueen riskeihin. Erikseen järjestettiin myös ylimääräinen epävirallinen HAZID, jossa tunnistettiin alueen jääolosuhteisiin liittyviä vaaroja ja keskusteltiin niistä sekä siitä, miten jääolosuhteet voivat vaikuttaa merituulivoimapuistoon ja päinvastoin. Taulukko 4 näyttää HAZID-työpajojen osallistujat.

Taulukko 4. HAZID-työpajojen osallistujat.

Nimi	Organisaatio	Jää-HAZID	Virallinen HAZID
Ilari Rainio	Alfons Håkans		X
Jari Talja	Alfons Håkans		X
Kimmo Lehto	Alfons Håkans		X
Kari Pohjola	Arctia Meritaito		X
Jussi Vaahtikari	ESL-Shipping		X
Amund Lindberg	Isbreakers / Ruotsin merenkululaitos		X
Sami Järvenpää	Rajavartiolaitos / Meripelastuskeskus		X
Markku Mylly	Sea Focus International	X	X
Anneli Borg	Ruotsin merenkululaitos		X
Karl Herlin	Ruotsin merenkululaitos		X
Jani Koironen	Traficom / Liikenne- ja viestintävirasto		X
Laine Valtteri	Traficom / Liikenne- ja viestintävirasto		X
Jarkko Toivola	Väylävirasto / Suomen tie- ja rataverkosta sekä vesiväylistä vastaava virasto		X
Taivi Tuomas	Väylävirasto / Suomen tie- ja rataverkosta sekä vesiväylistä vastaava virasto		X
Frank van der Anker	Wagenborg		X
Mathias H. Arnbert	Wallenius Sol Lines		X
Axel Stenhammar	Wallenius-Sol Lines		X
Carlo Giesecke	OX2	X	X
Ian Bergström	OX2		X

© Laine Offshore Wind Oy 2025.

Sweco | Laineen merituulivoimapuiston merenkulun riskinarviointi

Toimeksianto nro 30046108

Päivämäärä 16.10.2023

Vers. 1

Nimi	Organisaatio	Jää-HAZID	Virallinen HAZID
Janne Lamberg	OX2		X
Malgorzata Zorawinska	OX2	X	X
Mathias Skog	OX2		X
Olli Takalammi	OX2	X	X
Patrick Lees	OX2		X
Sara Jarmander	OX2	X	X
Anna Bjereld	Sweco	X	X
Emelie Lernbom	Sweco	X	X
Johan Nimmermark	Sweco		X
Lars Grahm	Sweco		X
Matti Lindgren	Sweco	X	X
Seppo Virtanen	Sweco		X
Sara Hammar	Sweco	X	

HAZIDien keskeiset havainnot riskeistä, jotka voivat vaikuttaa ihmisten turvallisuuteen ja ympäristöön, ovat seuraavat:

- Talvimerenkulku - käyttökelpoiset reitit (vaihtelevat vuosittain ja koko talvikauden ajan), vaikutus nykyisiin laivareitteihin, merenkulun vapaus
- Tuulivoimaloiden mahdollinen vaikutus jään kertymiseen, suuruusluokka tuntematon. Saattavatko tuulivoimalat esimerkiksi pysäyttää jään liikkeen tai edistää ahtojäävalliin ja jäävöiden syntymistä.
- Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa
- Meritulivoimapuiston vaikutukset etsintä- ja pelastustoimintaan.
- Rahtialusten ympäristöjalanjälki ja turvallisuus
- Kumulatiiviset vaikutukset kaikista Pohjanlahden/Perämeren meritulivoimapuistoista

Kun yleisten vaarojen ja työpajassa tunnistettujen riskien luettelot oli lajiteltu, Taulukko 5:n sisältämät valittiin lisäanalyysin kannalta merkityksellisiksi.

Taulukko 5. Laineen meritulivoimapuistolle tunnistetut merenkulkuriskit ja viittaus tämän raportin osiin, joissa riskiä analysoidaan tarkemmin.

Tunn.	Skenaario	Viittaus
1.1	Laiva ohjaa päin tuulivoimalaa (moottoroitu törmäys)	6.1.1
1.2	Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	6.1.2
1.3	Laiva ohjaa tai ajautuu lähelle tuulivoimalaa ja lapa osuu siihen	6.1.3
1.4	Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	6.1.4
1.5	Laiva ohjaa tai ajautuu päin tuulivoimalan perustusta	6.1.5
1.6	Meritulivoimapuiston läpi kulkeva alus törmää tuulivoimalaan	6.1.6
1.7	Rajallinen näkyvyys saa aluksen ohjaamaan päin tuulivoimalaa	6.1.7
2.1	Yhteentörmäykset yhteensä (kaikki yhteentörmäystyytit)	6.2.1
2.2	Ohitustörmäys	6.2.2
2.3	Etutörmäys	6.2.3
2.4	Risteämistörmäys	6.2.4

© Laine Offshore Wind Oy 2025.

Sweco | Laineen meritulivoimapuiston merenkulun riskinarviointi

Toimeksianto nro 30046108

Päivämäärä 16.10.2023

Vers. 1

Tunn.	Skenaario	Viittaus
2.5	Liittymistörmäys	6.2.5
2.6	Kääntymistörmäys	6.2.6
2.7	Törmäys satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa	6.2.7
3.1	Moottoroitu pohjakosketus	6.3.1
3.2	Ajelehtiva pohjakosketus	6.3.2
4.1	Aluksen tutkahäiriö (kohteen menettäminen)	6.4.1
4.2	Aluksen tutkahäiriö (navigointihäiriö)	6.4.2
4.3	Aluksen tutkahäiriö merituulivoimapuiston alueen sisällä	6.4.3
4.4	Merituulivoimapuisto vaikeuttaa etsintä- ja pelastustoimintaa	6.4.4
5.1	Merituulivoimapuisto vaikuttaa jään kertymiseen	6.5.1
5.2	Merituulivoimapuisto estää talvimerenkulkureitit	6.5.2
5.3	Tuulivoimaloista putoavat esineet tai lentävä jää	6.6
6.1	Yhdyskaapelin vauriot	6.7.1
6.2	Kaapelit estävät hätäankkuroinnin	6.7.2

4. Esiintymistiheydet

Yhteentörmäys-, pohjakosketus- ja törmäyksien esiintymistiheydet on laskettu IWRAPilla. Laskenta perustuu mallintamiseen, joka on tehty nollavaihtoehdolle (ei merituulivoimapuistoa) ja perustapaukselle (esimerkkisuunnitelman mukainen merituulivoimapuisto ja oletukset siitä, miten puisto vaikuttaa liikennemalleihin). Lisäksi on laskettu epävarmuusanalyysitapauksia. Liite C esittää mallinnuksen. Taulukko 6 esittää yhteenvedon riskinarvioinnissa käytetyistä esiintymistiheyksistä. Tulokset voidaan jakaa esiintymistiheyksiin eri alustyypeille, aluskoille ja laivareiteille sekä yksittäisille tuulivoimaloille. Näitä käytetään luvun 6 riskilaskelmissa.

Skenaarioissa, joissa IWRAPia ei voitu käyttää, esiintymistiheydet on arvioitu tai laskettu aiempaan tutkimukseen nojaten. Perustelut sille, miksi tietyt esiintymistiheydet on valittu, löytyvät luvusta 6.

Taulukko 6. Analyysissä käytetyt lasketut tai arvioidut onnettomuuksien esiintymistiheydet. Taulukko 2 osiossa 1.2.3 määrittelee lasketun esiintymistiheyden (vuositodennäköisyys) ja esiintymistiheysindeksin (1–6) välisen suhteen.

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheydet		
		Todennäköisyys (vuodessa)	Toistumisajanjakso (vuotta)	(FI)
1.1	Laiva ohjaa päin tuulivoimalaa (moottoroitu törmäys)	2.1E-05	900	1,3
1.2	Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	1.6E-03	633	3,2
1.3	Laiva ohjaa tai ajautuu lähelle tuulivoimalaa ja lapa osuu siihen	<1.0E-05	>100 000	<1
1.4	Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	3.8E-02	27	4,6
1.5	Laiva ohjaa tai ajautuu päin perustusta	8.4E-05	11 800	1,9
1.6	Merituulivoimapuiston läpi kulkeva alus törmää tuulivoimalaan	8.0E-03	126	3,9
2.1	Yhteentörmäykset yhteensä (kaikki yhteentörmäystyytit) (seurausta merituulivoimapuistosta)	1.5E-03	649	3,2
2.2	Ohitustörmäys (seurausta merituulivoimapuistosta)	9.2E-05	10 800	2,0

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheydet		
		Todennäköisyys (vuodessa)	Toistumisajanjakso (vuotta)	(FI)
2.3	Etutörmäys (seurausta merituulivoimapuistosta)	4.1E-04	2 500	2,6
2.4	Risteämistörmäys (seurausta merituulivoimapuistosta)	3.0E-05	33 000	1,5
2.5	Liittymistörmäys (seurausta merituulivoimapuistosta)	1.1E-03	900	3,0
2.6	Kääntymistörmäys (seurausta merituulivoimapuistosta)	-6.0E-5	-	-
2.7	Törmäys satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa	1.0E-02	100	4,0
3.1	Moottoroitu pohjakosketus (seurausta merituulivoimapuistosta)	-3.0E-03	-	-
3.2	Ajelehtiva pohjakosketus (seurausta merituulivoimapuistosta)	1.2E-03	833	3,1
4.1	Aluksen tutkahäiriö (kohteen menettäminen)	1.0E+00	1	6,0
4.2	Aluksen tutkahäiriö (navigointihäiriö)	1.0E-04	10 000	2,0
4.3	Aluksen tutkahäiriö merituulivoimapuiston alueen sisällä	<1.0E-03	>1 000	<3
5.3	Tuulivoimaloista putoavat esineet tai lentävä jää	<1.0E-05	>100 000	<1

5. Seuraukset

Tässä riskinarvioinnissa keskitytään ihmisten terveydelle ja turvallisuudelle sekä ympäristölle aiheutuviin seurauksiin ja niiden vakavuuteen. Taulukko 2 osiossa 1.2.3 selittää, miten vakavuustasot, jotka vaihtelevat välillä 1-4, määritetään seurausten, kuten kuolemantapausten ja öljyvuotoekvivalenttien, suuruuden perusteella. Vakavuustasot vaihtelevat asteikolla *ei merkittävää vaikutusta - katastrofaalinen vaikutus*.

Ennakoidut seuraukset voivat vaihdella aluksen tyyppin ja tapahtuman luonteen mukaan. Taulukko 7 esittää tässä riskinarvioinnissa oletetut seuraukset. Seurausten valintaan sovellettiin seuraavia sääntöjä:

- Samat seuraukset oletetaan aluksen koosta riippumatta.
- Samat seuraukset oletetaan kaikille tuulivoimaloiden perustustyypeille, mukaan lukien kelluvat perustukset.
- Seuraukset vaihtelevat mukana olevien alusten mukaan:
 - Ihmisten terveydelle ja turvallisuudelle aiheutuvien seurausten oletetaan olevan vakavampia, jos mukana on matkustaja-alus.
 - Ympäristölle aiheutuvien seurausten oletetaan olevan vakavampia, jos kyseessä on säiliöalus.
- Omaisuusvahinkoja (alukset, lasti, tuulivoimalat ja niiden perustukset) ja muita taloudellisia seurauksia ei arvioida.
- Moottoroidun törmäyksen seurausten oletetaan olevan vakavampia kuin ajelehtivan törmäyksen seurausten.⁸
- Seuraukset valitaan konservatiivisesti.

⁸ Syynä on se, että onnettomuus navigoivan aluksen kanssa tapahtuu yleensä suurella nopeudella, mikä johtaa voimakkaaseen törmäysvoimaan. Navigointialuksen suuremman nopeuden vuoksi mahdollisuudet toteuttaa riskinhallintatoimenpiteitä vähenevät. Törmäys ajelehtivan aluksen kanssa tapahtuu todennäköisesti 1-2 solmun nopeudella, jolloin voima on pienempi verrattuna täydellä nopeudella tapahtuvaan törmäykseen. Jos alus ajelehtii, voi olla enemmän aikaa evakuoida miehistö ja matkustajat ja valmistautua mahdollisen vuodon siivoamiseen. Lisäksi toisella aluksella voi olla enemmän aikaa auttaa ajelehtivan aluksen liikkeen pysäyttämiseksi.

Taulukko 7. Seuraukset olettaen pahinta mahdollista todennäköistä skenaariota.

Seuraukset ihmisten terveydelle ja turvallisuudelle (SI)			Seuraukset ympäristölle (SI)
Onnettomuustyyppi			
Moottoroitu törmäys*	Matkustaja-alukset: useita kuolemantapauksia (4)	Säiliöalukset: vastaa yli 1 000 tonnin öljyvuotoa (4)	Muut alukset: vastaa enintään 10 tonnin öljyvuotoa (2)
Tuulivoimalan lapa osuu alukseen	Muut alukset: Yksi kuolemantapaus tai useita vakavia vammoja (3)		
Yhteentörmäys			
Moottoroitu pohjakosketus			
Ajelehtiva törmäys*	Matkustaja-alukset: Yksi kuolemantapaus tai useita vakavia vammoja (3)	Säiliöalukset: vastaa yli 100 tonnin öljyvuotoa (3)	Muut alukset: vastaa enintään 10 tonnin öljyvuotoa (2)
Ajelehtiva pohjakosketus	Muut alukset: useita tai vakavia vammoja (2)		

* Törmäysvoima jakautuu aluksen ja tuulivoimalan välillä siten, että 90 prosentissa tapauksista ei tapahdu öljyvuotoja. Tämä ei heijastu seurauksiin, vaan riskinarviointiin.

Riskienvähentämistoimenpiteitä koskevia suosituksia ei oteta huomioon seurauksia harkittaessa. Seurauksen toteutumisen todennäköisyyteen vaikuttavat kuitenkin seuraavat perusolettamukset:

- Säiliöalukset on varustettu kaksoisrungolla MARPOL-yleissopimuksen mukaisesti.
- Ajelehtivat alukset voidaan käynnistää uudelleen aikariippuvaisella korjaustodennäköisyydellä, kuten Appendix C esittää.
- Tulivoimalat voidaan pysäyttää, kun alus lähestyy⁹.
- Miehistön ja matkustajien evakuointi aloitetaan onnettomuuden sattuessa.
- Onnettomuuden sattuessa aloitetaan valmistelut öljyvuodon hoitamiseksi.

⁹ Jos alus saapuu tuulipuiston alueelle, tuulivoimalat voidaan pysäyttää ja roottorin lavat voidaan asettaa "pupukorva-asentoon" siten, että yksi lapa osoittaa suoraan alaspäin ja kaksi lapaa ylöspäin. Valvonta on käytössä, ja tuulivoimala voidaan pysäyttää lyhyessä ajassa (minuuteissa).

6. Riskianalyysi

Luvussa 3 tunnistetut vaarat on kuvattu ja arvioitu alla olevissa kohdissa keskittyen niiden esiintymisen todennäköisyyteen ja niiden seurauksiin. Todennäköisyys arvioidaan/lasketaan ilman riskinvähentämistoimenpiteitä.

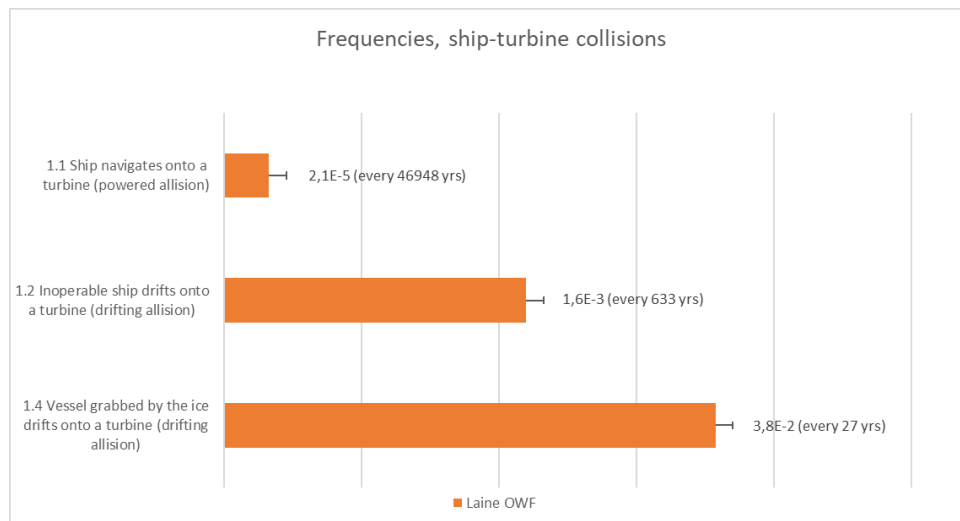
Osiot on jäsennelty siten, että ensin kuvataan tapahtuman tyyppi (onnettomuus), sitten tapahtuman todennäköisyys ja seuraus. Seuraukset kuvataan erikseen sen mukaan, mihin ne vaikuttavat (ihmisten turvallisuus tai ympäristö). Lopuksi raportoidaan syntyvä riski, joka lasketaan kyseisen tapahtuman todennäköisyyden ja seurauksen perusteella. Tapauksissa, joissa riski koostuu useista samaan luokkaan kuuluvista tapahtumista aiheutuvista riskivaikutuksista, joilla on erilaiset seuraukset (esim. öljysäiliöalusten tai matkustaja-alusten moottoroitu pohjakosketus), kokonaisriski lasketaan riskivaikutusten summana.

Kunkin tapahtuman todennäköisyyden ja seurausten perusteella riski arvioidaan merituulivoimapuiston perustamisesta johtuvaksi kohonneeksi riskiksi alueella verrattuna nykyiseen riskitasoon (nollavaihtoehto).

Seuraavassa osassa esitetään arvio luvussa 3 kuvattujen tunnistettujen riskien todennäköisyydestä ja mahdollisista seurauksista. Todennäköisyys on laskettu olettaen, että riskejä vähentäviä toimenpiteitä ei ole toteutettu.

6.1 Törmäys (aluksen törmääminen paikallaan olevaan kohteeseen)

Kun Laineen merituulivoimapuisto perustetaan, erilaisten törmäystyyppien todennäköisyys kasvaa. Törmäyksellä tarkoitetaan tilannetta, jossa alus ohjataan tai ajalehtii päin paikallaan olevaa kohdetta. Laineen merituulivoimapuiston kiinteitä rakenteita ovat perustukset, tuulivoimalat ja niiden pyörivät lavat. Kuva 14 esittää erilaisten törmäystyyppien laskennallisen esiintymistiheyden, jos Laineen merituulivoimapuisto perustetaan. Tyypit kuvataan ja arvioidaan tarkemmin seuraavissa kohdissa.



Kuva 14. Törmäysskenaarioiden laskettu esiintymistiheys vuodessa Laineen merituulivoimapuistossa (sulkeissa olevat arvot ovat toistumisjakso (vuosien lukumäärä) eli keskimääräinen aika kunkin tapahtuman odotetun esiintymisen välillä). Epävarmuuspalkit osoittavat esiintymistiheyttä tulevassa liikenneskenaariossa vuodelle 2060, johon mennessä alusten määrän oletetaan kasvavan 35 %. Huomaa, että asteikko on logaritminen ja todennäköisyys sille, että ohjauskelvoton alus *navigoi* tuulivoimalaan (skenaario 1.1) on useita suuruusluokkia pienempi kuin ohjauskelvottoman aluksen todennäköisyys *ajautua* tuulivoimalaan (ajelehtiva törmäys) eli skenaario 1.2. Huomaa: Vuotuisia taajuuksia ei skaalata kausiluonteiseen osuuteen vuodessa, eli ne edustavat vuotuista esiintymistiheyttä, jos kausiluonteiset olosuhteet (merijää/ei merijäättä) kestäisivät koko vuoden.

Törmäyksien esiintymistiheydet on laskettu laivaväylillä Laineen merituulivoimapuiston ympärillä liikkuville aluksille käytettävissä olevien AIS-tietojen perusteella. Laskelmat perustuvat kesäolosuhteiden liikennemalliin lukuun ottamatta skenaariota 1.4, joka perustuu IWRAPin talvimalliin. Arvioidun riskin oletetaan edustavan törmäysriskiä varovaisesti myös talviolosuhteissa, joissa alusten kauttakulkuliikennettä on vähemmän ja nopeudet usein pieniä (Winter Navigation Research Board, 2005).

Törmäyksen seuraukset on kuvattu luvussa 5.

6.1.1 Laiva ohjaa päin tuulivoimalaa (moottoroitu törmäys)

Laineen merituulivoimapuiston ohi kulkevat alukset voivat inhimillisten, teknisten tai ympäristötekijöiden vuoksi ottaa väärän kurssin kohti tuulivoimalaa. Todennäköisyys sille, että väistöliike ei onnistu tällaisessa tilanteessa, oletetaan mallinnuksessa olevan $1,6 \cdot 10^{-4}$ (Engberg, 2019).

Koska moottoroidut törmäykset tapahtuvat nopeasti, riskinarviointiin ei sisälly korjaavia tai lieventäviä toimenpiteitä.

Seuraavia arvioita on tehty seurauksista ja niistä aiheutuvasta riskistä alukselle, joka navigoi päin tuulivoimalaa (**skenaario 1.1**):

Tuulivoimalaa päin ohjaavien alusten oletetaan osuvan perustuksiin täydellä nopeudella. Laskettu esiintymistiheys on $2,1 \cdot 10^{-5}$ vuodessa (10% on säiliöaluksia, 90% muita aluksia ja 0 % matkustaja-aluksia). Todennäköisin tapahtuma aiheutuu yleisestä rahtialuksesta, joka kulkee Laineen merituulivoimapuiston itäpuolella ja osuu siellä yhteen tuulivoimaloista.

Riski sille, että laiva ohjaa päin tuulivoimalaa (moottoroitu törmäys), lasketaan Appendix An mukaan ja on *hyväksyttävä* sekä ihmisten turvallisuuden että ympäristön kannalta, katso Taulukko 8.

Taulukko 8. Laskettu riski sille, että laiva ohjaa päin tuulivoimalaa. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö ¹⁰	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
1.1	Laiva ohjaa päin tuulivoimalaa (moottoroitu törmäys)	1,3	3,0	3,0	4,3	3,3

6.1.2 Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)

Laineen merituulivoimapuiston ohi kulkevat alukset voivat teknisen vian (esimerkiksi sähkökatko tai peräsinvika) vuoksi menettää ohjattavuutensa ja alkaa ajelehtia. Tuulen suunnasta riippuen alus voi ajautua kohti tuulivoimalaa. Prosessi voidaan keskeyttää, jos vika korjataan tai alus pysäytetään onnistuneella ankkuroinnilla tai hätähinauksella.

Useimmilla aluksilla on noin yksi sähkökatkos vuodessa (yhdeällä aluksella määrä on yleensä 0,1–2 sähkökatkosta vuodessa). Sähkökatkojen todellinen esiintymistiheys riippuu redundanssin asteesta ja aluksen huoltotilasta. Lautoilla ja ro-ro-aluksilla on yleensä suuri sisäänrakennettu redundanssi konehuoneessa (2–4 moottoria) ja siksi niillä on alhainen katkotiheys (~ 0,1 vuodessa). Muissa alustyypeissä katkojen esiintymistiheys on suurempi (~0,75 vuodessa) (Engberg, 2019).

Laineen mallinnuksessa laivan korjausta ja hätäankkurointia on pidetty elvytystoimina, joilla on jonkin verran onnistumisen todennäköisyyttä. Lisätietoja: Appendix C.

Ajelehtivalla aluksella on aikaa ryhtyä toimiin, kuten evakuoida miehistö ja matkustajat ajelehtivalta alukselta ja valmistautua hengenpelastus- ja hätäympäristötoimiin, jos alus ajautuu kohti tuulivoimalaa.

Seuraavia arvioita on tehty seurauksista ja niistä aiheutuvasta riskistä alukselle, joka ajelehtii päin tuulivoimalaa (**skenaario 1.2**): Päin tuulivoimalaa ajautuvan aluksen oletetaan törmäävän tuulivoimalan perustuksiin 1–2 solmun nopeudella. Tämän esiintymistiheyden arvioidaan olevan $1,6 \cdot 10^{-3}$ vuodessa (joista 14% on säiliöaluksia, 0 % matkustaja-aluksia ja 86% muita aluksia). Vallitsevan tuulen suunnan vuoksi oletus on, että pääasiassa puiston länsipuolelta ajelehtivat yleisrahtialukset ajelehtivat päin tulivoimalaa.

Riski sille, että laiva ajelehtii päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys), lasketaan Appendix A:n mukaan ja on *ALARP* ihmisten turvallisuuden kannalta ja *hyväksyttävä* ympäristön kannalta, katso Taulukko 9.

¹⁰ Seurauksia ympäristölle odotetaan kerran kymmenessä onnettomuudessa.

Taulukko 9. Laskettu riski sille, että laiva ajautuu päin tuulivoimalaa. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö ¹¹	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
1.2	Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	3,2	2,0	2,3	5,2	4,5

6.1.3 Laiva ohjaa tai ajautuu lähelle tuulivoimalaa ja lapa osuu siihen

On monia tekijöitä, jotka estävät lapa osumasta alukseen. Kuten osioissa 6.1.1 ja 6.1.2 osoitetaan, alukset, jotka navigoivat tai ajelehtivat lähellä tuulivoimaloita, ovat *odottamattomia* tapahtumia. Vain harvat alukset ovat niin korkeita, että ulottuvat tuulivoimalan pyyhkäisyypinnalle, eli lapa voi osua vain pieneen määrään aluksia. Kun alus lähestyy, tuulivoimalan hätäpysäytystoiminto käynnistyy erittäin luotettavasti, joko paikan päällä tai kauko-ohjauksella. Näin ollen aluksia, jotka ohjaavat tai ajelehtivat voimalan pyörivään lapaan (**skenaario 1.3**), pidetään *äärimmäisen etäisenä* tapahtumana.

Riski siihen, että lapa osuu alukseen, arvioidaan *hyväksyttäväksi* sekä ihmisten turvallisuuden että ympäristön kannalta, ks Taulukko 10.

Taulukko 10. Arvioitu riski sille, että alukset ohjaavat tai ajelehtivat merituulivoimapuistoon ja voimalan pyörivä lapa osuu niihin. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Skenaario	Kuvaus	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö ¹²	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
1.3	Laiva ohjaa tai ajautuu lähelle tuulivoimalaa ja lapa osuu siihen	<1	4	4	<5	<5

6.1.4 Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)

Tuuli, virtaukset tai ajelehtiva jää voivat muodostaa jäälauttoja, joihin alukset voivat jäädä loukkuun ja kulkeutua kohti merituulivoimapuistoa. Merituulivoimapuiston rakentaminen ei vaikuta suoraan tämän skenaarion esiintymistajuuteen, mutta seuraukset voivat olla vakavampia. Skenaario 1.4 edustaa riskiä sille, että jään mukana merituulivoimapuiston alueelle ajautuva alus törmään tuulivoimalaan.

Laiva voi jäädä kiinni ajojäähän, kun meren jääpeitteessä on jäättömiä alueita. Vaikka meri olisi kokonaan jään peitossa, on silti mahdollista, että jääkerros rikkoutuu ja puristuu ahojääksi, jos tuulen (tai virtauksen) nopeus on riittävän

¹¹ Seurauksia ympäristölle odotetaan kerran kymmenessä onnettomuudessa.

¹² Seurauksia ympäristölle odotetaan kerran kymmenessä onnettomuudessa.

suuri. Jään nopeus voi olla noin 2–3 % tuulen nopeudesta (Finnish Maritime Administration & Swedish Maritime Administration, 2005).

IWRAP on tarkoitettu esiintymistiheyden laskemiseen avovedessä, ei jääolosuhteissa. Jotta skenaarion esiintymistiheys voidaan laskea IWRAPissa, parametreja ja asetuksia on mukautettu käytettävissä olevien tietojen perusteella vastaamaan talviolosuhteita, joten ne poikkeavat virallisista parametreista. IWRAPin oletusarvoinen sähkökatkon todennäköisyys kasvaa kertoimella 2, mikä heijastaa sekä sitä, että talviolosuhteet saattavat aiheuttaa enemmän onnettomuuksia ohjattavilla aluksilla, että sitä, että alukset voivat juuttua jäähän odottaessaan jäänmurtajan apua. IWRAPin ajelehtimisnopeutta säädetään 1 solmista 2 solmuun, mikä edustaa jään mukana ajelehtivien alusten nopeutta. 2 solmua on melko konservatiivinen oletus, koska jään nopeuden arvioidaan olevan 2–3 % tuulen nopeudesta. Tällöin 2 solmua tarkoittaa sitä, että tuulen nopeus olisi yli 30 m/s¹³. Keskimääräinen tuulen nopeus alueella on 6,2 m/s, ja tuulen nopeus on usein alhaisempi ankarina talvina. Tuulen suuntajakauman oletetaan olevan jäätöminä kuukausina sama kuin merijääkuukausina. Aluksen palautumista (ankkurointia tai korjausta sähkökatkon jälkeen) ei oteta huomioon, vaikka ankkurointi voi olla mahdollista tapauksissa, joissa jää ei ole kovin paksua eikä vesi liian syvää tai matalaa. Aluksen korjaaminen voi myös olla mahdollista. Näitä oletuksia ja parametrien säätämistä pidetään siksi pahimpana tapauksena, koska jäähän joutunut alus (IWRAPin sähkökatkos) ajelehtii sekä suuremmalla nopeudella että odotettua pidempään. Näin tuulivoimalaa päin ajautumisen todennäköisyys on suurempi. Käytetyt liikennetiedot ovat vuodelta 2022, joka oli leuto talvi ja siten liikennettä ankaraa talvea enemmän. Liikenteen lisääntyminen johtaa suurempaan yhteentörmäyksen, törmäyksen ja pohjakosketuksen todennäköisyyteen. Siksi leudon talven liikenteen käyttö on varovainen vaihtoehto, kun mallinnetaan ja lasketaan jääolosuhteita IWRAPissa.

Tuulivoimalaan törmäämiselle oletetaan samat seuraukset kuin kesäolosuhteissa ajelehtivalle alukselle.

Riski sille, että jään mukana ajelehtiva laiva törmää tuulivoimalaan (ajelehtiva törmäys), lasketaan Appendix An mukaan ja on *ALARP* sekä ihmisten turvallisuuden että ympäristön kannalta, katso Taulukko 11.

Taulukko 11. Laskettu riski sille, että jään mukana ajelehtiva laiva ajautuu päin tuulivoimalaa. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunn.	Skenario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö ¹⁴	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
1.4	Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	4,6	2,0	2,3	6,6	5,9

¹³ 2 solmua $\approx$ 1 m/s

Tuulen nopeus = (2 solmua) / (3 %) = (1 m/s) / (0,03) = 33,33 m/s

¹⁴ Seurauksia ympäristölle odotetaan kerran kymmenessä onnettomuudessa.

6.1.5 Laiva ohjaa tai ajautuu päin perustusta

Edellä mallinnetut alukset voivat ohtaja tai ajautua tuulivoimalan sijaan päin perustusta. Laineen merituulivoimapuisto aikoo perustaa kuusi alustaa Laineen projektialueelle.

Esiintymistiheys moottoroidulle tai ajelehtivalle alustaan törmäämiselle (**skenaario 1.5**), jossa on mukana Laineen merituulivoimapuiston ohittavia aluksia, lasketaan IWRAP:llä. Aluksen alustaa päin ohjaamisen tai ajautumisen vuosittainen todennäköisyys on $8,4 \cdot 10^{-5}$, katso Taulukko 12.

Appendix C sisältää yksityiskohtaiset tiedot taajuudesta. Skenaarion riskinarviointia ei analysoida tarkemmin tässä merenkulun riskianalyyssissä, vaan sen sijaan Laineen Seveso-arvioinnissa.

Taulukko 12. Laskettu riski sille, että laiva törmää alustaan. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Skenaario	Kuvaus	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
1.5	Laiva ohjaa tai ajautuu päin alustaa	1,9	-		Arvioidaan erillisessä Seveso-arvioinnissa	

6.1.6 Merituulivoimapuiston läpi kulkeva alus törmää tuulivoimalaan

Tällä hetkellä laivat kulkevat Laineen hankealueen läpi liikenneanalyysissä kuvatulla tavalla (Sweco, 2023c).

Skenaario 1.6 edustaa tilannetta, jossa merituulivoimapuiston läpi kulkeva alus törmää tuulivoimalaan inhimillisen tai teknisen virheen vuoksi.

Useimmat Laineen hankealueen läpi kulkevat alukset ovat yli 50 metriä pitkiä, ja yli 50 metriä pitkien alusten ei normaalisti odoteta kulkevan merituulivoimapuiston läpi, koska ns. ympyräkäännökselle ei ole riittävästi ohjaustilaa (jotta noudatetaan COLREGia, katso osio 2.5). Merituulivoimapuiston kautta kulkee päivässä alle 1 alusta, joiden pituus on alle 50 metriä.

Pienemmän ulkopuolisen aluksen ja tuulivoimalan välisen törmäyksen todennäköisyyden arvioidaan olevan *odottamaton* (harvemmin kuin kerran 100 vuodessa)¹⁵.

¹⁵ Laskenta perustuu seuraaviin seikkoihin:

- Vuodessa 118 alusta, joiden pituus on <50 metriä, kulkee merituulivoimapuiston läpi (ei muutoksia vuoden 2022 raportoiduista AIS-tiedoista)
- Keskimääräinen nopeus on 8,75 solmua (ei muutoksia vuoden 2022 raportoiduista AIS-tiedoista)
- Pisin kulkureitti on 20 meripeninkulmaa.
- Sähkökatkoksen todennäköisyys on sama kuin IWRAPissa, 1,5 alusvuotta kohden (Engberg, 2019)
- Inhimillisen erehdyksen todennäköisyys on $3 \cdot 10^{-5}$ alusta ja meripeninkulmaa kohti. (SSPA Sweden AB, 2008)
- Inhimillisen tai teknisen virheen esiintymistiheyden lasketaan olevan edellä mainittujen tietojen perusteella $7,1 \cdot 10^{-2}$ ja $8,9 \cdot 10^{-3}$ vuodessa.

Merituulivoimapuiston kautta kulkevan aluksen tuulivoimalaan törmäämisen kokonaisriskin arvioidaan olevan *ALARP* ihmisten turvallisuuden osalta ja ympäristön kannalta hyväksyttävä, katso Taulukko 13.

Taulukko 13. Arvioitu riski sille, että merituulivoimapuiston ohittava alus törmää tuulivoimalaan. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö ¹⁶	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
1.6	Merituulivoimapuiston läpi kulkeva alus törmää tuulivoimalaan	<4	2	1	<6	<4

6.1.7 Rajallinen näkyvyys saa aluksen ohjaamaan päin tuulivoimalaa

Rajallinen näkyvyys lisää riskiä sille, että alus ohjaa päin tuulivoimalaa. Pimeys, sade, sumu, lumisade ja jää heikentävät näkyvyysolosuhteita. Laineen ympäristössä alusten pohjakosketusten määrä on loka-joulukuussa suhteellisesti suurempi kuin muina kuukausina, ja suurin joulukuussa. Tämä on alkutalven pimein kuukausi, jolloin sade ja lumisade usein vaikeuttavat navigointia kapeilla väylillä, joilla on monia käännöksiä. Monissa tapauksissa on huomattu, että lumisade on haitannut sekä näköhavaintoja että tutkan käyttöä, vaikka nämä eivät välttämättä ole ainoita onnettomuuteen vaikuttavia tekijöitä (Finnish Maritime Administration & Swedish Maritime Administration, 2005).

Seurauksista ja seuraavasta riskistä tilanteessa, jossa rajallinen näkyvyys saa aluksen ohjaamaan päin tuulivoimalaa, on tehty seuraava arviointi:

- **Skenaario 1.7** tarkoittaa, että sumu, sade, lumisade, jää ja pimeys rajoittavat tuulivoimalan näkyvyyttä, mikä lisää alusten riskiä ohjata päin tuulivoimalaa.

Alukset on yleensä varustettu AIS-järjestelmällä ja aluksen tutkalla. Rajallinen näkyvyys voi johtaa tuulivoimalaan törmäämisen vain yhdessä inhimillisen tai teknisen virheen kanssa. Skenaario voi siten päättyä muihin törmäysskenaarioihin (katso kohta 6.1.1, 6.1.5 ja 6.1.6).

Näkyvyysvaikutus otetaan huomioon kohdassa 6.1.1 kuvatussa väistöliikkeiden puuttumisen todennäköisyydessä ja sisältyy siten edellä lueteltujen tapahtumien tuulivoimalaan törmäämisen riskiarvioon. Sitä, missä määrin näkyvyys lisää riskiä, ei voida helposti arvioida, mutta riski luokitellaan konservatiivisesti *ALARP*iksi myöhempää käsittelyä varten.

Tuulivoimaloiden aiheuttamat tutkahäiriöt voivat myös vaikuttaa kykyyn navigoida olosuhteissa, joissa näkyvyys on rajallinen. Tätä riskiä käsitellään kuitenkin

-
- Tuulivoimalan perustukset ovat halkaisijaltaan noin 16 metriä ja voimaloiden välinen etäisyys on vähintään kilometri. Aluksen todennäköisyys. Kaikista tapauksista, joissa alus kohtaa inhimillisen tai teknisen virheen merituulivoimapuiston alueella, alle 10 %:n odotetaan siten johtavan yhteentörmäykseen tuulivoimalan kanssa.

¹⁶ Seurauksia ympäristölle odotetaan kerran kymmenessä onnettomuudessa.

tarkemmin osassa 6.4. Taulukko 14 esittää yhteenvedon skenaarion 1.7 arvioituista riskeistä.

Taulukko 14. Rajallisen näkyvyyden aiheuttama arvioitu riski ihmisille ja ympäristölle. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
1.7	Rajallinen näkyvyys saa aluksen ohjaamaan päin tuulivoimalaa	Katso osio 6.1.1, 6.1.5 ja 6.1.6			ALARP	

6.2 Yhteentörmäys

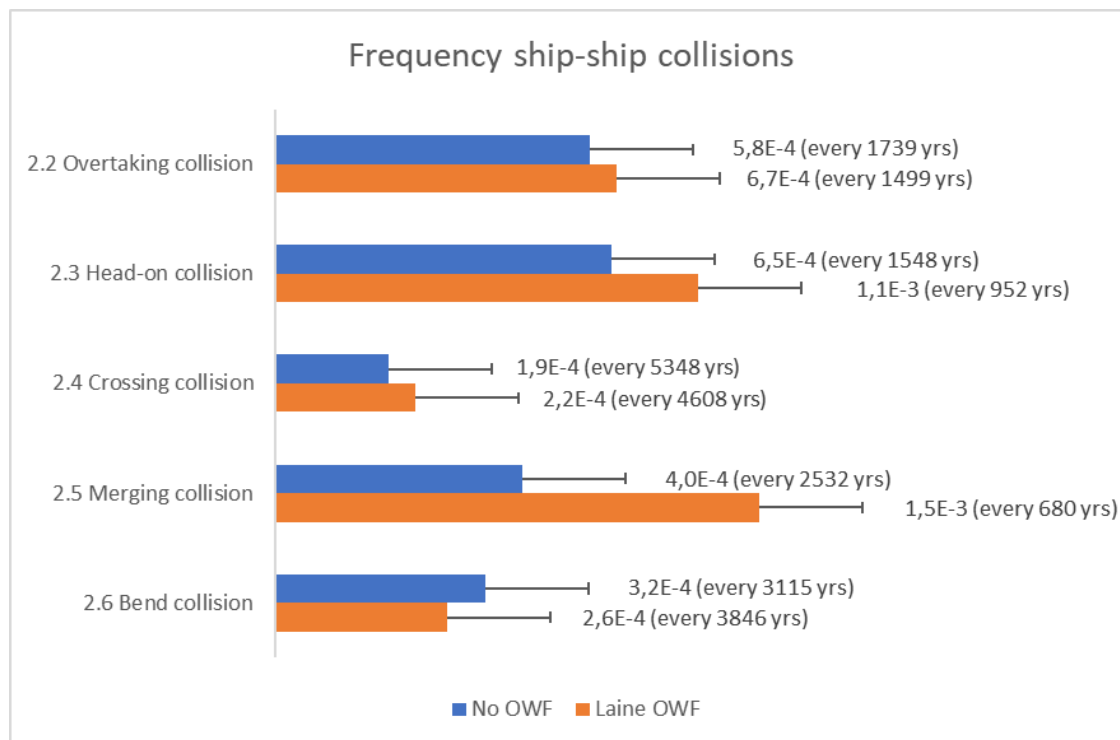
Yhteentörmäyksien esiintymistiheydet on laskettu laivaväylillä Laineen merituulivoimapuiston ympärillä liikkuville aluksille käytettävissä olevien AIS-tietojen perusteella. Laskelmat perustuvat kesäolosuhteiden liikennemalliin. Arvioidun riskin oletetaan konservatiivisesti edustavan myös yhteentörmäysriskiä talviolosuhteissa, jolloin aluksia kulkee alueella vähemmän, nopeudet ovat usein pieniä, ja tapahtumien seuraukset eivät yleensä ole niin vakavia. (Winter Navigation Research Board, 2005)

6.2.1 Yhteentörmäysriski yhteensä

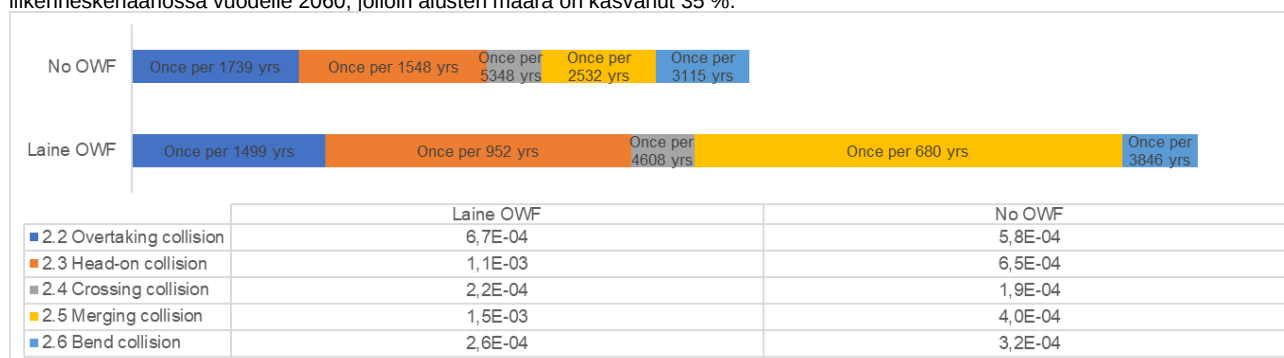
Kun Laine perustetaan, vaikuttaa se liikennemalliin siten, että merituulivoimapuiston alueella ei käytännössä ole liikennettä ja hankealueen ulkopuolella liikenne on tiheämpää. Tämän seurauksena syntyy uusia tilanteita, joissa yhteentörmäyksiä voi tapahtua. Tässä osiossa analysoidaan kaikki alueen säännöllisen liikenteen yhteentörmäystyypit merituulivoimapuiston kanssa ja ilman sitä. Tämän jälkeen jokainen kategoria analysoidaan erikseen.

Skenaario 2.1 Yhteentörmäykset, yhteensä: Eri törmäyskategorioiden esiintymistiheydet merituulivoimapuiston kanssa ja ilman sitä on dokumentoitu (Appendix C), ja myös Kuva 15 ja Kuva 16 havainnollistavat tätä. Kokonaisyhteentörmäysten esiintymistiheys on harvemmin kuin kerran sadassa

vuodessa sekä Laineen kanssa että ilman sitä ja siten luokiteltu *odottamattomaksi* tapahtumaksi.



Kuva 15. Yhteentörmäysten esiintymistiheys vuodessa Laineen ympärillä olevalla alueella logaritmisella asteikolla. Erilaisten yhteentörmäystyyppien todennäköisyys (palkit ja numerot) ilman Laineen merituulivoimapuistoa ja sen kanssa, kesäolosuhteet. Merkit ilmaisevat toistumisjakson (vuosien lukumäärä) eli keskimääräisen ajanjakson kunkin tapahtuman odotetun esiintymisen välillä. Epävarmuuspalkit (mustat viivat) osoittavat esiintymistiheyttä tulevassa liikenneskenaariossa vuodelle 2060, jolloin alusten määrä on kasvanut 35 %.



Kuva 16. Yhteentörmäysten esiintymistiheys vuodessa Laineen ympärillä olevalla alueella lineaarisella asteikolla. Erilaisten yhteentörmäystyyppien todennäköisyys ilman Laineen merituulivoimapuistoa ja sen kanssa, kesäolosuhteet. Kenttien merkit ilmaisevat toistumisjakson (vuosien lukumäärä) eli keskimääräisen ajanjakson kunkin tapahtuman odotetun esiintymisen välillä.

Tulos osoittaa, että ohitustörmäysten, etutörmäysten, risteämistörmäysten ja liittymistörmäysten todennäköisyys kasvaa, vaikka ne luokitellaan edelleen *etäisiksi* tai *odottamattomiksi* tapahtumiksi (katso osio 1.2.3). Liittymistörmäyksen kasvu on huomattavinta, ja se johtuu aluksista, joiden on kierrettävä merituulivoimapuiston kaakkoiskulma, jossa ne kohtaavat Nordvalenin ja

Pietarsaaren välisen liikenteen. Yhteentörmäysriski on luonnollisesti suurempi niillä merenkulkualueilla, joilla on enemmän liikennettä, eli Laineen eteläpuolella.

Kokonaisyhteentörmäysriski lasketaan Appendix A:n mukaisesti ja on siten *ALARP* sekä merituulivoimapuiston kanssa että ilman sitä, katso Taulukko 15.

Taulukko 15. Laskettu alusten yhteentörmäysriski. Taajuus ilmaisee, kuinka usein tapahtuman odotetaan tapahtuvan, myös ilman merituulivoimapuiston perustamista tapahtuvien laivojen yhteentörmäysten **lisäksi**. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunn.	Skenaario	Taajuus (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
2.1	Yhteentörmäykset yhteensä, tuulipuiston aiheuttamat	3,2	3,0	3,2	6,2	6,4

Merituulivoimapuiston merenkulun riskianalyysissä on tärkeää tutkia tuulipuiston perustamisesta aiheutuvan lisäriskin (eli riskin, joka perustuu alusten yhteentörmäyksien esiintymistiheyden eroon verrattuna tilanteeseen, jossa merituulivoimapuistoa ei perusteta) vaikutusta yhteentörmäysriskiin. Merituulivoimapuiston aiheuttamien yhteentörmäysten riskinarviointi löytyy kohdista 6.2.2, 6.2.3, 6.2.4, 6.2.5 ja 6.2.6.

6.2.2 Ohitustörmäys (merituulivoimapuistosta aiheutuva riski)

Nykyisin Nordvalenin ja Kokkolan välisen merituulivoimapuiston alueen ohittavien alusten oletetaan kulkevan uusia reittejä puiston eteläpuolella. Tämän puolestaan odotetaan lisäävän liikennettä Nordvalenin ja Pietarsaaren välisellä merialueella. Näin ollen oletetaan, että ohitustörmäysriski kasvaa (**skenaario 2.2**).

Ohitustörmäysriskin kasvu lasketaan Appendix An mukaan ja on siten hyväksyttävä ihmisten turvallisuuden kannalta, mutta ympäristön kannalta *ALARP*, katso Taulukko 16.

Taulukko 16. Laskettu riski merituulivoimapuiston aiheuttamille ohitustörmäyksille. Taajuus ilmaisee, kuinka usein tapahtuman odotetaan tapahtuvan, myös ilman merituulivoimapuiston perustamista tapahtuvien laivojen yhteentörmäysten **lisäksi**. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
2.2	Ohitustörmäys	2,0	3,0	3,2	5,0	5,2

6.2.3 Etutörmäys (merituulivoimapuistosta aiheutuva riski)

Nykyisin Nordvalenin ja Kokkolan välisen merituulivoimapuiston alueen ohittavien alusten oletetaan kulkevan uusia reittejä puiston eteläpuolella. Tämän puolestaan odotetaan lisäävän liikennettä Nordvalenin ja Pietarsaaren välisellä merialueella. Tuloksena on etutörmäysriskin kasvu (**skenaario 2.3**).

Etutörmäysriskin kasvu lasketaan Appendix An mukaan ja on siten *ALARP* sekä ihmisten että ympäristön turvallisuuden kannalta, katso Taulukko 17.

Taulukko 17. Laskettu riski merituulivoimapaiston aiheuttamille etutörmäyksille. Esiintymistiheys ilmaisee, kuinka usein tapahtuman odotetaan tapahtuvan, myös ilman merituulivoimapaiston perustamista tapahtuvien laivojen yhteentörmäysten **lisäksi**. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
2.3	Etutörmäys	2,6	3,0	3,2	5,6	5,8

6.2.4 Risteämistörmäys (merituulivoimapaistosta aiheutuva riski)

Risteämistörmäyksen riskin kasvu (**skenaario 2.4**) lasketaan Appendix A:n mukaan ja on **hyväksyttävä** ihmisten turvallisuuden ja ympäristön kannalta, katso Taulukko 18.

Taulukko 18. Laskettu riski merituulivoimapaiston aiheuttamille risteämistörmäyksille. Esiintymistiheys ilmaisee, kuinka usein tapahtuman odotetaan tapahtuvan, myös ilman merituulivoimapaiston perustamista tapahtuvien laivojen yhteentörmäysten **lisäksi**. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
2.4	Risteämistörmäys	1,5	3,0	3,2	4,5	4,7

6.2.5 Liittymistörmäys (merituulivoimapaistosta aiheutuva riski)

Merituulivoimapaiston perustaminen tarkoittaa, että alusten on kierrettävä tuulipuiston kaakkoiskulma, mikä johtaa ylimääräiseen liittymistörmäysriskiin (**skenaario 2.5**), jossa odotetut laivareitit liittyvät toisiinsa Laineen kaakkoiskulman ulkopuolella.

Liittymistörmäysriskin kasvu lasketaan Appendix A:n mukaan ja on siten **ALARP** sekä ihmisten että ympäristön turvallisuuden kannalta, katso Taulukko 19.

Taulukko 19. Laskettu riski merituulivoimapaiston aiheuttamille liittymistörmäyksille. Esiintymistiheys ilmaisee, kuinka usein tapahtuman odotetaan tapahtuvan, myös ilman merituulivoimapaiston perustamista tapahtuvien laivojen yhteentörmäysten **lisäksi**. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
2.5	Liittymistörmäys	3,0	3,0	3,3	6,0	6,3

6.2.6 Kääntymistörmäys (merituulivoimapaistosta aiheutuva riski)

Merituulivoimapaiston perustamisen yhteydessä ei ole odotettavissa kääntymistörmäysten lisääntymistä (**skenaario 2.6**), joten lisäriskiä ei lasketa, katso Taulukko 20.

Taulukko 20. Laskettu riski merituulivoimapuiston aiheuttamille kääntymistörmäyksille. Esiintymistiheys ilmaisee, kuinka usein tapahtuman odotetaan tapahtuvan, myös ilman merituulivoimapuiston perustamista tapahtuvien laivojen yhteentörmäysten **lisäksi**. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
2.6	Kääntymistörmäys	-	-	-	Merituulivoimapuisto ei aiheuta riskiä ihmisten turvallisuudelle tai ympäristölle	

6.2.7 Törmäys satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa

Käyttö-, rakennus- ja käytöstäpoistovaiheessa työ- ja huoltoalukset voivat törmätä säännölliseen alusliikenteeseen väylällä tai meriliikennereitillä, kun ne ohjaavat merituulivoimapuiston alueelle tai poistuvat sieltä (**skenaario 2.7**). Taulukko 21 riski näyttää, millaiseksi tämä riski on arvioitu rakentamisen aikana.

Käyttövaiheen huolto liikenne koostuu satunnaisista läpikuluista päivässä, ja se muodostaa hyvin pienen osuuden kokonaisyhteentörmäysriskistä.

Liikenteen odotetaan lisääntyvän rakennus- ja käytöstäpoistovaiheessa, jolloin matkojen arvioitun vuosittaisen määrän arvioidaan olevan alle 1 000 vuodessa. Tämä on vähemmän kuin Kokkolan satamaan ja satamasta kulkevien laivojen määrä vuodessa ja verrattavissa Pietarsaaren satamaan ja satamasta kulkevien laivojen määrään vuodessa. Sataman ja työmaan väliset reitit tulevat molemmissa vaihtoehdoissa mitä todennäköisimmin kulkemaan kaikkien Nordvalenin ja Kokkolan, Kalajoen ja mahdollisesti Raahen välisten reittien poikki. Jos rakentamisen aikana hyödynnetään muita Ruotsin tai Suomen satamia, on riskivaikutus suurempi.

Rajoitetun ajan, merituulivoimapuiston rakennusaikana, työalusten ja säännöllisen liikenteen välisen yhteentörmäystiheyden odotetaan olevan verrattavissa alueella jatkuvasti esiintyvään yhteentörmäysriskiin, joten se luokitellaan *odottamattomaksi*.

Oletuksena seuraukset ovat samoja kuin muille törmäystyypeille.

Satamaan/satamasta matkalla olevien työalusten yhteentörmäysriskin arvioidaan olevan **ALARP**, katso Taulukko 21.

Taulukko 21. Työalusten arvioitu yhteentörmäysriski merituulivoimapuiston rakentamisen aikana. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

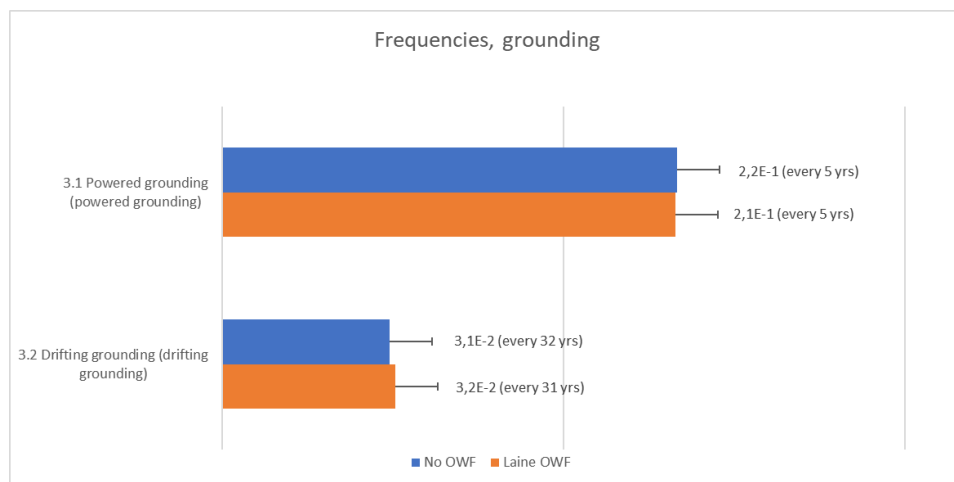
Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
2.7	Törmäys satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa	4	3,0	3,2	ALARP	

Rakennusvaiheen laskelmien odotetaan kattavan myös käytöstäpoistovaiheen törmäysriskin.

6.3 Pohjakosketus

Puiston perustamisesta seuraava uusi liikennemalli voi johtaa entistä useampiin pohjakosketustilanteisiin. Kuva 17 alla näyttää arvioidun pohjakosketusten esiintymistiheyden Laineen meritulivoimapuiston perustamisen kanssa sekä ilman sitä.

Alueella liikkuvien aluksien pohjakosketustaajuudet on laskettu käytettävissä olevilla AIS-tiedoilla ja syvyyskartoitustiedoilla, katso kohta 2.



Kuva 17. Pohjakosketusten esiintymistiheys vuodessa Laineen ympärillä olevalla alueella logaritmisella asteikolla. Erilaisten pohjakosketustyyppien todennäköisyys (palkit ja numerot) ilman Laineen meritulivoimapuistoa ja sen kanssa, kesäolosuhteet. Suluissa olevat arvot ilmaisevat toistumisjakson (vuosien lukumäärä) eli keskimääräisen ajanjakson kunkin tapahtuman odotetun esiintymisen välillä. Epävarmuuspalkit (mustat viivat) osoittavat esiintymistiheyttä tulevassa liikenneskenaariossa vuodelle 2060, jolloin alusten määrä on kasvanut 35 %.

IWRAP-laskelmien mukaan pohjakosketusten esiintymistiheys on korkeampi kuin millään muulla pohjoisen Merenkurkun onnettomuusluokalla. Merkittävä osa taajuudesta on Suomen ja Ruotsin rannikkoalueiden läheisyydessä liikennöivien alusten pohjakosketuksia. Ne keskittyvät Pietarsaaren väylän ja siihen rajoittuvan merenkulkualan ympärille.

6.3.1 Moottoroitu pohjakosketus

Pohjakosketusten esiintymistiheys on melko sama kesäolosuhteissa ennen ja jälkeen Laineen perustamisen. Moottoroidun pohjakosketuksen (**skenaario 3.1**) esiintymistiheyden voidaan havaita hieman laskevan, mikä johtaa pieneen kokonaispohjakosketusten esiintymistiheyden vähenemiseen (<1 %). Siksi Laineen meritulivoimapuisto ei lisää moottoroidun pohjakosketuksen riskiä, katso Taulukko 22. Lisätietoja pohjakosketustuloksista: Appendix C.

Taulukko 22. Laskettu moottoroidun pohjakosketuksen riski, myös ilman merituulivoimapuiston perustamista tapahtuvaksi odotettavien pohjakosketusten **lisäksi**. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
3.1	Moottoroitu pohjakosketus	<1	-	-	Riski pienenee, kun merituulivoimapuisto perustetaan	

6.3.2 Ajelehtiva pohjakosketus

Pohjakosketusten esiintymistiheys on melko sama kesäolosuhteissa ennen ja jälkeen Laineen perustamisen. Ajelehtivan pohjakosketuksen riski kasvaa hieman (**skenaario 3.2**), mutta kun otetaan huomioon moottoroitujen pohjakosketusten esiintymistiheyden väheneminen, kokonaispohjakosketustaajuus laskee hieman (<1 %).

Ajelehtivan pohjakosketuksen riskin kasvu lasketaan Appendix An mukaan ja on siten ALARP sekä ihmisten että ympäristön turvallisuuden kannalta, katso Taulukko 23. Tämä on otettava huomioon yhdessä moottoroidun törmäyksen tulosten kanssa, jossa Laineen merituulivoimapuiston aiheuttama yleinen pohjakosketusten esiintymistiheys on merkityksetön (hieman negatiivinen). Lisätietoja pohjakosketustuloksista: Appendix C.

Taulukko 23. Laskettu ajelehtivan pohjakosketuksen riski, myös ilman merituulivoimapuiston perustamista tapahtuvaksi odotettavien pohjakosketusten **lisäksi**. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
3.2	Ajelehtiva pohjakosketus	3,1	2,0	2,3	5,1	5,4

6.4 Aluksen tutkahäiriö

Tutka- ja navigointijärjestelmien häiriöt voivat johtaa vaikeasti tulkittavaan tai harhaanjohtavaan tilannekuvaan, mikä tarkoittaa monimutkaisempaa ja joskus virheellistä päätöspäätöstä merituulivoimapuiston lähellä navigoitaessa. Keskeisiä tutkan rajoitteita ovat esimerkiksi seuraavat:

- Tutka ei välttämättä havaitse pieniä aluksia, jäätä tai muita pieniä kelluvia esineitä.
- Tutkan sokealla sektorilla ja varjosektorilla olevia kohteita ei näytetä.
- Etäisyydenerottelukyky – kaksi pientä kohdetta samassa suuntimassa ja pienellä etäisyyserolla voidaan näyttää yhtenä kohteena.
- Suuntimanerottelukyky – kaksi pientä kohdetta samalla etäisyydellä ja pienellä suuntimaerolla voidaan näyttää yhtenä kohteena.
- Väärät kaiut.

Jää voi joissakin tapauksissa haitata tutkan käyttöä, ja jopa lumisade ja sumu voivat heikentää tutkan käyttöä, mikä vaikeuttaa alusten ja tuulivoimaloiden näkemistä. Jää voi esimerkiksi vaikeuttaa rantaviivan näkemistä tutkatietojen perusteella. Joissain tapauksissa jäälauttojen tai -lohkareiden kaikuja ei ole pystynyt erottamaan tutkaohjaimen kaiusta, mikä heikentää tutkamonitorin tietojen laatua navigointitarkoituksissa. (Finnish Maritime Administration & Swedish Maritime Administration, 2005)

Merituulivoimapuiston aiheuttamia mahdollisia tutkaan liittyviä riskejä analysoidaan seuraavissa kohdissa.

6.4.1 Aluksen tutkahäiriö (kohteen menettäminen)

Tuulivoimalat voivat heikentää kykyä havaita tuulipuiston läheisyydessä ja sen edessä ja takana olevia aluksia aluksen tutkalla.

Aluksen tutkahäiriöiden riskistä ja seurauksista on tehty seuraava arviointi (**skenaario 4.1**), jossa aluksen tutkahäiriöt (kohdehäviöt) aiheuttavat alusten välisiä yhteentörmäyksiä.

Jos liikenne kulkee lähempää kuin 1,5 merimailin päässä Lainetta, tutkahäiriöitä voi esiintyä. Aluksien tutka voi olla S-alueella, jolloin kohde menetetään¹⁷. Tapahtumaa pidetään *todennäköisenä* (esiintymistiheysindeksi asetettu 6:een). Häiriön ei kuitenkaan odoteta johtavan alusten yhteentörmäyksiin. Tutkahäiriöt ovat kaupallisessa liikenteessä tunnettu ilmiö ja niitä esiintyy säännöllisesti. Häiriöiden minimointiin on rutiinitoimenpiteitä, joista kokenut merenkulkija on tietoinen.

Lisäksi suurissa aluksissa on useita eri tietojärjestelmiä. X-alueen tutka antaa tarkempaa tietoa läheisistä kohteista. Alukset navigoivat yleensä tutkakuvaa täydentävällä AIS-järjestelmällä, jos lähialueella olevat pienet alukset putoavat pois tutkanäytöltä.

Siksi tutkahäiriön pelkästään ei odoteta aiheuttavan yhteentörmäyksiä merituulivoimapuiston kautta kulkevien alusten välillä. Seurauksen arvioidaan olevan *vähäinen* (1).

Lisätietoja tutkahäiriöistä on kohdassa Appendix B.

Satamaan/satamasta matkalla olevien työalusten yhteentörmäysriskin arvioidaan olevan *ALARP*, katso Taulukko 24.

Taulukko 24. Arvioitu aluksen tutkahäiriön riski (kohdehäviö). Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
4.1	Aluksen tutkahäiriö (kohteen menettäminen)	6	1	1	7	7

¹⁷ Myös muita häiriöitä, kuten tutkakaikuja, voi esiintyä tällä etäisyydellä, mutta ne aiheuttavat ilmoitetusti navigointiongelmia vain alle 0,25 meripeninkulman (500 m) etäisyyksillä, eli riskiä ei aiheudu laivaväylien liikenteelle.

6.4.2 Aluksen tutkahäiriö (navigointihäiriö)

Aluksen tutkahäiriön (navigointihäiriön) riskeistä ja siitä aiheutuvien haittojen seurauksista on tehty seuraava arviointi (**skenaario 5.2**):

Skenaariossa merituulivoimapuisto aiheuttaa aluksen tutkalle, AIS-, VHS-, GPS- ja muille navigointi- ja viestintäjärjestelmille sellaisia merkittäviä häiriöitä, että liikenne ohjautuu väärin ja osuu tuulivoimalaan.

Aluksen tutkassa ja muissa navigointilaitteissa on monia esteitä, ennen kuin tutkahäiriöt aiheuttavat sen, että merituulivoimapuistoa ohittava alus ohjaa päin tuulivoimalaa.

1. Laiva ohittaa alle 0,25 merimailin etäisyydeltä ja kärsii aluksen tutkalle ja muille navigointilaitteille aiheutuvista häiriöistä.¹⁸ Kun otetaan huomioon alueen liikenteen määrä ja se, että suurimman osan liikenteestä odotetaan noudattavan COLREGin määräyksiä, arvioidaan, että häiriöt vaikuttavat **<10 ohikulkevaan alukseen vuodessa**.
2. Alus navigoi väärän tiedon perusteella ja suuntaa merituulivoimapuistoon. (Väärä kurssi toiseen suuntaan vähentää merituulivoimapuistosta aiheutuvia häiriöitä ja informaatiokuva palaa yksiselitteiseksi ja oikeaksi.) Alukset on varustettu useilla navigointijärjestelmillä, jotka nojaavat monipuolisiin teknisiin ratkaisuihin. Yhdessä ne tarjoavat riittävät tiedot tuulivoimaloiden kaltaisten esteiden sijainnin, suunnan ja etäisyyden määrittämiseksi, vaikka yksi tai useampi järjestelmä antaisi virheellistä tietoa tai ne olisivat poissa käytöstä. Tilanteen, jossa tutkahäiriöitä kokeva alus kulkee väärää kurssia ja kohti tuulipuistoa, todennäköisyydeksi arvioidaan **1 kerta 100:sta**.¹⁹
3. Aluksen väärän kurssin havaitsemisessa epäonnistutaan, minkä vuoksi toimet viivästyvät tai niihin ei ryhdytä. Puisto on erittäin selkeä navigointipiste ja se merkitään IALAn offshore-rakenteiden merkintäsuositusten mukaisesti. Tämä lisää näkyvyyttä ja suunnistettavuutta myös pimeässä. Joissakin tuulivoimaloissa on myös estevalot. Lisäksi alusliikennettä puiston ympärillä seurataan, ja väärällä kurssilla oleville aluksille voidaan ilmoittaa VTS:n kautta. Tilanteen, jossa laivan miehistö ei huomaa tuulivoimalaa eikä ryhdy toimiin, todennäköisyydeksi arvioidaan **1 kerta 100:sta**.²⁰
4. Laiva ohjaa päin tuulivoimalaa. Tuulivoimaloiden perustukset ovat halkaisijaltaan noin 16 metriä ja voimaloiden välinen etäisyys on vähintään muutama kilometri. Todennäköisyys sille, että puistoon vahingossa ajava alus törmää tuulivoimalaan, on **< 10 %**.

¹⁸ Vaikutukset aluksen tutkaan ja muihin navigointilaitteisiin katsotaan rajallisiksi liikenteelle, joka ei kulje suoraan puiston vieressä. X-alueen tutkan, AIS:n, GPS:n ja VHS-radioiden häiriöt esiintyvät ensin tuulivoimaloiden absoluuttisessa läheisyydessä (0,25 merimailin säteellä). S-alueen tutkan kanssa voi esiintyä häiriöitä, ja tämän riskit on kuvattu osissa 6.4.1. Itse tuulivoimaloiden ei odoteta katoavan tutkasta, mutta ne voivat aiheuttaa väärää kaikua ja välkettä, jolloin käytettävissä olevat tiedot ovat monimutkaisempia. Monitieilmiöitä ja radiovarjoja voi esiintyä paikallisesti, mutta niillä on vain vähän vaikutusta laivaväylien liikenteeseen, koska valtaosa aluksista todennäköisesti ohittaa merituulivoimapuiston yli 0,25 merimailin etäisyydeltä.

¹⁹ 1/100 on melko korkea HEParvo rutiininomaiselle navigoinnille ja tunnettu häiriö, jolle on saatavilla monia vaihtoehtoisia tietolähteitä. Katso lisätietoja kohdasta 8 Epävarmuusanalyysi.

²⁰ 1/100 on melko korkea HEP-arvo miehistön navigointivirheen havaitsemiselle ja sen korjaamiseksi rutiinitoiminnolla. Katso lisätietoja kohdasta 8 Epävarmuusanalyysi.

Kaiken kaikkiaan aluksen tutkahäiriöitä, jotka johtavat aluksen törmäämiseen tuulivoimalaan, arvioidaan esiintyvän harvemmin kuin kerran 10 000 vuodessa²¹.

Seurauksen oletetaan olevan sama kuin skenaariossa 1.1.

Yhteenvetona voidaan todeta, että todennäköisyys sille, että tällä etäisyydellä sijaitsevien voimaloiden aiheuttama häiriö antaa niin harhaanjohtavaa tietoa, että se johtaa epätarkkaan navigointiin ja törmäykseen päin tuulivoimalaa, on merkityksetön verrattuna muihin aiheuttaviin tekijöihin. Törmäykseen johtavassa skenaariossa oletetaan, että alus navigoi merenkulkualueen ulkopuolella, näkyvyys on huono eikä käytössä ole vaihtoehtoisia navigointijärjestelmiä. Tämä johtaa siihen, että alus vahingossa päätyy merituulivoimapuiston alueelle ja ohjaa päin tuulivoimalaa.

Riski siitä, että aluksen tutkan ja muiden navigointilaitteiden häiriöt aiheuttavat merenkulkualueilla olevien alusten tahattoman navigoinnin tuulipuiston alueelle ja tuulivoimalaan törmäämisen, katsotaan näin ollen hyväksyttäväksi.

Lisätietoja tutkahäiriöistä on kohdassa Appendix B.

Aluksen tutkahäiriön (navigointihäiriön) riskin kasvun arvioidaan olevan *hyväksyttävä* ihmisten turvallisuuden ja ympäristön kannalta, ks. Taulukko 25.

Taulukko 25. Arvioitu riski sille, että aluksen tutkahäiriöt (navigointihäiriöt) johtavat tuulivoimalaa päin törmäämiseen. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunnus	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
4.2	Aluksen tutkahäiriö (navigointihäiriö)	<2	3	3	<5	<4

6.4.3 Aluksen tutkahäiriö merituulivoimapuiston alueen sisällä

Tuulivoimaloiden välittömässä läheisyydessä (0,25 merimailin säteellä) liikkuvat alukset voivat kokea häiriöitä aluksen tutkassa, AIS:ssä, VHS:ssä ja GPS:ssä.

Skenaariossa 4.3 merituulivoimapuisto luo tutkaan ja muihin navigointi- ja tietojärjestelmiin häiriöitä, jotka saavat puistossa olevat alukset ohjaamaan päin tuulivoimalaa.

Valtuutetun liikenteen (työ- ja huoltoalukset) osalta tämä seuraus ei sisälly merenkulun riskinarvioinnin soveltamisalaan.

Ulkoisten alusten tuulivoimalaan törmäämisen riski arvioidaan osissa 6.1.6.

Oletus on, että pienempiä aluksia kulkee merituulivoimapuiston alueen poikki. Jos tutkassa ja muissa järjestelmissä esiintyvät häiriöt otetaan huomioon, riski kasvaa eri tavalla aluksen koosta ja laitteistosta riippuen²²:

²¹ $<10 \text{ alusta/vuosi} \cdot 0,01 \cdot 0,01 \cdot 10 \% = 0,0001$.

²² Ammattimaiseen merenkulkuun sovelletaan navigointilaitteita koskevia vaatimuksia, jotka koskevat kaikkia tietyntyyppisiä aluksia sekä kaikkia matkustaja-aluksia ja säiliöaluksia. Vaatimukset on määritetty SOLAS-yleissopimuksen 5. luvussa. Lyhyesti sanottuna vaatimukset tarkoittavat, että suurin osa Ruotsin vesillä liikkuvista aluksista on varustettu muun muassa tavallisella magneettikompassilla, elektronisilla karttajärjestelmillä, GPS-vastaanottimella, AIS:llä ja tutkalla.

- Huviveneet eivät yleensä navigoi tutkan avulla. Jos maallikot kuitenkin kulkevat merituulivoimapuiston läpi tutkan avulla, voivat he tulkita tutkakuvan väärin (aivan kuten saaristossa ja muissa paikoissa, joissa tutkahäiriöitä esiintyy). Koska alueella liikkuu hyvin vähän huviveneitä, on tämä merkityksettömän pieni riskitekijä, jota ei oteta tätä enempää huomioon.
- Aluksilla, joiden bruttovetoisuus on alle 300, ei tarvitse olla redundantteja navigointijärjestelmiä tai AIS-järjestelmää, joten ne voivat huonoissa näkyvyyssolosuhteissa ja tutkahäiriöitä kokiessaan navigoida virheellisten tietojen perusteella.
- Aluksilla, joiden bruttovetoisuus on vähintään 300, on AIS-vaatimuksia. Vielä suuremmille aluksille on lisävaatimuksia itsenäisille tutka- ja kohdeseurantajärjestelmille. Jos tämän kokoisia aluksia kulkee puiston läpi, on niillä edellytykset hyvälle informaatiokuvalle myös huonon näkyvyyden ja minkä tahansa järjestelmän häiriön sattuessa. AIS-, VHS- ja GPS-häiriöt ovat yleensä hyvin paikallisia ja ne ratkeavat, kun alus liikkuu eteenpäin. Koska hyvin harvojen suurten alusten odotetaan kulkevan alueen läpi, ja näillä aluksilla on useita itsenäisiä navigointijärjestelmiä, aiheutuva riski on merkityksetön, eikä sitä huomioida tätä enempää. Merituulivoimapuiston kautta kulkevat suuret alukset aiheuttavat riskin rajallisen liikkumatilan vuoksi, mutta tämä riski ei johdu harhaanjohtavasta tutkakuvasta.

Yhteenvetona voidaan todeta, että riski koostuu merituulivoimapuiston alueelle navigoivista ulkoisista aluksista, joiden bruttovetoisuus on noin 20–300 tonnia, jotka navigoivat huonossa näkyvyydessä vain tutka apunaan ja jotka ajavat päin tuulivoimalaa. Tilanteen, jossa alus kärsii tutkahäiriöstä, joka johtaa väärin päätöksiin, oletetaan tapahtuvan konservatiivisesti **10 kertaa vuodessa** (mikä vastaa yhtä tapahtumaa yhden myrskyn aikana kuukaudessa ja yhtä alusta myrskyä kohti). Kuten skenaariossa 4.2 (osio 6.4.2), aluksen todennäköisyys törmätä tuulivoimalaan on **<10 %**. Kun alus lähestyy tuulivoimalaa, oletetaan, että vika voidaan tunnistaa, mutta tarvittavan väistöliikkeen epäonnistumisen todennäköisyys on silti **$1,6 \cdot 10^{-4}$** (Engberg, 2019). Samankaltaisista onnettomuuksista saatujen kokemusten perusteella vaikutusindeksiksi on asetettu 2 sekä ihmisten turvallisuudelle että ympäristölle kohdistuville vaikutuksille, ks. kohta 2.3.1.

Kaiken kaikkiaan aluksen tutkahäiriöitä, jotka johtavat aluksen törmäämiseen tuulivoimalaan, arvioidaan esiintyvän harvemmin kuin kerran 1 000 vuodessa²³.

Merituulivoimapuiston kautta kulkevan aluksen tuulivoimalaan törmäämisen kokonaisriskin arvioidaan olevan *hyväksyttävä* ihmisten turvallisuuden osalta ja ympäristön kannalta, katso Taulukko 26.

(suuremmat alukset redundanteilla taajuusalueilla ja piirturitoiminnoilla, kuten ARPA) tai vastaavalla. (IMO, 2002).

²³ $<10 \text{ alusta/vuosi} \cdot 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 10\% <10^{-3}$

© Laine Offshore Wind Oy 2025.

Sweco | Laineen merituulivoimapuiston merenkulun riskinarviointi

Toimeksianto nro 30046108

Päivämäärä 16.10.2023

Vers. 1

Taulukko 26. Arvioitu riski sille, että aluksen tutkahäiriöt (navigointihäiriöt) johtavat tuulivoimalaa päin törmäämiseen. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunnus	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
4.3	Aluksen tutkahäiriö merituulivoimapuiston alueen sisällä	<3	2	2	<5	<5

6.4.4 Merituulivoimapuisto vaikeuttaa etsintä- ja pelastustoimintaa

Merituulivoimaloilla voi olla kielteisiä vaikutuksia pelastustoiminnalle, osittain tutka- ja viestintähäiriöiden vuoksi ja osittain siksi, että ne muodostavat fyysisiä esteitä. Hätäkutsut saattavat vaikeutua paikoista, jotka ovat suorassa tuulivoimalan aiheuttamassa radiovarjossa. Tutkahäiriö, vaikutus sijaintiraportointiin (mukaan lukien AIS-raportointi ja vaihtoehtoiset navigointityökalut) yhdistettynä huonoon näkyvyyteen voivat johtaa pelastusaluksessa stressaavaan päätöksentekotilanteeseen etsintä- tai pelastusoperaation tapahtuessa. Radioseuranta voi vaikeutua, katso myös Appendix B.

Seuraava arviointi on tehty tilanteesta, jossa merituulivoimapuisto vaikeuttaa etsintä- ja pelastustoimintaa, sen seurauksista ja syntyvistä riskeistä **skenaario 4.4**). Skenaario itsessään ei ole ensimmäinen tapahtuma, vaan tekijä, joka voi vaikeuttaa etsintä- ja pelastustoimintaa.

Jos merituulivoimapuistossa tai sen läheisyydessä tapahtuu onnettomuus, navigointi voi olla vaikeampaa sekä pelastusaluksille että helikoptereille. Tämä tarkoittaa myös sitä, että onnettomuuden uhrien etsintä voi olla rajallista, koska osan pelastushenkilöstöstä on keskityttävä tuulivoimaloiden välitse navigointiin sen sijaan, että he voisivat keskittyä etsimään onnettomuudessa mukana olleita ihmisiä ja/tai aluksia (PIANC, 2018). Myös apua tarvitsevan aluksen miehistön on keskityttävä enemmän ympäristöönsä, jotta alus ei törmää tuulivoimalaan.

Tuulivoimaloiden ei odoteta olevan aluksille merkittävä etsintä- ja pelastustoiminnan este, koska voimaloiden välinen etäisyys sekä merenpinnan ja lavan alimman kärjen välinen etäisyys (>30 metriä) antavat pelastusveneille tilaa ajaa voimaloiden välillä. Tuulivoimalat voivat myös joissakin tapauksissa yksinkertaistaa meripelastusoperaatiota, koska voimalat ovat selkeitä viitepisteitä. Helikoptereille tuulivoimalan roottorin lavat ovat kuitenkin suurempi este ja myös kaventavat merituulivoimapuiston alueella liikkumiseen käytettävissä olevaa tilaa.

PIANCin mukaan (2018) merituulivoimapuistot tulisi mahdollisuuksien mukaan asettaa säännölliseen ruudukkomuotoon. Tämä ei ole aina mahdollista teknisistä ja rakenteellisista syistä, esim. merenpohjan olosuhteet ja veden syvyydet voivat estää voimaloiden asettamisen säännölliseen kuvioon. Analysoitavia 150 tuulivoimalaa ei ole suunniteltu säännölliseen ruudukkokuvioon, vaan tuulivoimalat ovat hajallaan. Energiantuotannon maksimoimiseksi tuulivoimaloita ei ole voitu sijoittaa suoriin linjoihin. Se lisäksi katveita huomattavasti ja vähentäisi vuotuista energiantuotantoa sekä lyhentäisi tuulivoimaloiden käyttöikää. On vaikea arvioida, kuinka paljon hajalleen sijoitetut tuulivoimalat vaikuttavat etsintä- ja pelastustoiminnan mahdollisuuksiin, mutta on selvää, että säännöllisempi

ruudukkomalli helpottaisi etsintä- ja pelastustoimintaa ja navigointia yleisesti merituulivoimapuiston sisällä.

Koska epävarmuustekijöitä on paljon, todennäköisyyttä tai seurauksia ei voida kvantitatiivisesti arvioida riittävällä tarkkuudella, jotta tästä skenaariosta voitaisiin tehdä johtopäätöksiä. Todennäköisyys riippuu etsintä- ja pelastustoiminnan tarpeesta. Seuraus voi tarkoittaa hieman suurempia ponnistuksia, jos jokin muu kuvattu onnettomuus tapahtuu.

Yhteenvedona voidaan todeta, että riskiä pidetään raskauttavana asianhaarana muissa onnettomuustilanteissa. Sitä ei voida helposti arvioida samassa mittakaavassa kuin muita riskejä, mutta se luokitellaan *ALARP*-tason riskiksi, jota on käsiteltävä tarkemmin (katso Taulukko 27).

Taulukko 27. Arvioitu riski sille, että merituulivoimapuisto vaikeuttaa etsintä- ja pelastustoimintaa. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunnus	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
4.4	Merituulivoimapuisto vaikeuttaa etsintä- ja pelastustoimintaa	-	-	-	ALARP	

6.5 Talviolosuhteet

6.5.1 Merituulivoimapuisto vaikuttaa jään kertymiseen

Merituulivoimalaa perustettaessa alueen jäänmuodostuksessa voi tapahtua muutoksia (**skenaario 5.1**). Tarkkaan ei tiedetä, miltä jäänmuodostuksen ja jääpeitteen muutos saattaa näyttää. Kattavia tutkimuksia merijään suhteesta merituulivoimaan ei ole löydetty.

Kun merituulivoimapuisto on perustettu, muodostuu kiinteitä pisteitä, jotka mahdollistavat jään muodostumisen tuulivoimaloille. Samalla tuulivoimaloiden perustaminen voi tarkoittaa sitä, että puiston ympärillä oleva jää murtuu voimaloiden perustuksia vasten. Tuulivoimalat voivat siten vaikuttaa jääolosuhteisiin lisäämällä jään kerääntymistä (ahtojäävallit ja jäävyöt), murtamalla jäätä ja pysäyttämällä jään liikkeen (jään stabilointi).

Merituulivoimapuiston vaikutus jäähän voi puolestaan vaikuttaa laivaliikenteeseen muissa paikoissa. Tämä voi johtaa heikkeneviin jääolosuhteisiin muualla ja aiheuttaa rajoituksia merenkululle ja käynneille Pohjanlahden satamissa.

Jääolosuhteista riippuen Väylävirasto soveltaa jäänmurtaja-apuun oikeutettuihin aluksiin koko- ja jääluokkarajoituksia. Talviliikenteen rajoituksilla pyritään varmistamaan turvallinen navigointi merellä jääolosuhteissa. Jäänmurtajat avustavat aluksia valvomalla, ohjaamalla, johtamalla ja hinaamalla (Traficom & Swedish Transport Agency, 2019).

Yhteenvedona voidaan todeta, että tuulivoimaloilla voi olla sekä myönteinen että kielteinen vaikutus jääolosuhteisiin. Koska ei tiedetä, miten tuulivoimalat

vaikuttavat jään kertymiseen ja hajoamiseen, oletetaan varovaisesti, että tuulipuisto aiheuttaa haastavampia jääolosuhteita.

Sitä, miten merituulivoimapuisto vaikuttaa jäähän, ei voida helposti arvioida, mutta se luokitellaan *ALARP*-tason riskiksi, joka vaatii lisätoimia; katso Taulukko 28.

Taulukko 28. Arvioitu riski merituulivoimapuiston vaikutuksesta jään kertymiseen. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunnus	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
5.1	Merituulivoimapuisto vaikuttaa jään kertymiseen	-	-	-	ALARP	

Tuulivoimalan roottorin lapojen heittämän jään aiheuttama riski arvioidaan osiossa 6.6.

6.5.2 Merituulivoimapuisto estää talvimerenkulkureitit

Merenkulkuun vaikuttaa se, että suuri osa Itämerestä, erityisesti Pohjanlahti, jäätyy vuosittain. Tämän vuoksi alukset ovat joskus riippuvaisia jäänmurtajan avusta. Jos jääesteitä esiintyy, jääpeitteisiä kuukausina meriliikenne joutuu usein kulkemaan eri reittejä kuin sulan veden aikaan. Erityyppiset jääpeitteet voivat myös vaikuttaa meriliikenteeseen eri tavoin.

Merituulivoimapuistosta talvinavigointireiteille aiheutuvien haittojen seurauksista ja niistä aiheutuvasta riskistä on tehty seuraava arviointi (**skenaario 5.2**):

Jos tuulipuisto estää nopeimmat ja helpoimmat talvimerenkulun reitit, jäänmurtajien tai muiden hinaajien on käytettävä eri reittiä, mikä saattaa viivästyttää tai vaikeuttaa alusten avustamista. Tällä riskillä on ensisijaisesti hallinnollisia ja taloudellisia seurauksia, jotka eivät sisälly tähän merenkulun riskinarviointiin.

Myös seuraukset ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle ovat kuitenkin mahdollisia. Alukset, joiden on kuljettava pidempiä matkoja talviolosuhteissa, saattavat olla alttiimpia pohjakosketus-, yhteentörmäys- ja törmäysriskeille, koska kuljettu matka on pidempi. Massiivisten ahtojäävalliin kohtaamisen todennäköisyys kasvaa ja apua odottavat, paikallaan seisovat alukset altistuvat jään voimille ja rungon vaurioitumisen riskille.

Pidemmät matkaetäisyydet huomioidaan pohjakosketus-, yhteentörmäys- ja törmäystaajuuksien laskemisessa (katso Appendix C), sillä laskelmat perustuvat uudet, pidemmät talvimerenkulkureitit huomioivaan malliin. Riskinarvioinnin osalta katso kohdat 6.1.4, 6.2.1 ja 6.3.2. Sitä, kuinka paljon suljetut reitit vaikuttavat talven kokonaisriskeihin, ei voida helposti kvantifioida, mutta riski luokitellaan varovaisesti *ALARP*:iksi, johon on puututtava tarkemmin.

Talvimerenkulku aiheuttaa aluksiin melko usein jäävaurioita. Winter Navigation Research Boardin mukaisesti näitä tyypillisiä jäävaurioita ei pidetä vakavina (2005). Riski, joka aiheutuu siitä, että merituulivoimapuisto estää

talvimerenkulkureitit, arvioidaan tässä suhteessa *hyväksyttäväksi*, katso Taulukko 29.

Taulukko 29. Arvioitu riski, joka aiheutuu siitä, että merituulivoimapuisto estää talvimerenkulkureitit. 1.2.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tunnus	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
5.2	Merituulivoimapuisto tukkii talvimerenkulkureitit (pidemmät reitit, jotka johtavat pohjakosketukseen, yhteentörmäykseen ja törmäykseen)	Katso osiot 6.1.4, 6.2.1 ja 6.3.2.			ALARP	
5.2	Merituulivoimapuisto estää talvimerenkulkureitit (lisää jäille altistumista)	6	Ei seurauksia ihmisten turvallisuudelle tai ympäristölle		Ei merkittävää riskiä ihmisten turvallisuudelle tai ympäristölle	

6.6 Tuulivoimaloista putoavat esineet tai lentävä jää

Tuulivoimalan rikkoutuminen ja tuulivoimalasta lentävät esineet voivat vahingoittaa Laineen merituulivoimapuiston läpi tai ohi kulkevia aluksia. Raportti *WTG Tower Collapse Cases: A Historical Overview* (Ma, Martinez-Vazquez, & Baniotopoulos, 2018) tunnistaa lavan vikaantumisen yleisimmäksi tuulivoimalan viaksi (18 %). Rakenteellinen vika, joka kattaa voimalan romahtamisen ja vikaantumisen, muodostaa 9 % tapauksista ja voimalan heittäjä jää 2 %. Tuulikuormitus yhdessä inhimillisen tai mekaanisen vian kanssa on yleisin raportoitu taustalla vaikuttava syy.

Vaikka lentävän jään osuus on oletettavasti suurempi kuin 2 % alueilla, joilla jää on huolenaihe, tapaukset ovat silti harvinaisia. Merenkulkureittien ja tuulivoimaloiden välinen etäisyys on merkittävä, mikä johtaa siihen, että vain pieni määrä lavoista lentävää jäätä voi ylettyä alueille, joilla laivat kulkevat.

Skenaario 5.3 Tuulivoimalasta putoavat tai lentävät esineet tarkoittaa, että voimala vioittuu tai tuulivoimalasta lentää muuten jotain, joka osuu ohikulkevaan alukseen.

Tuulivoimaloille ei ole toimialan laajuista onnettomuusraportointia. Usein virheiden todennäköisyyksien määrittämiseen käytetään hollantilaista tilastointia, joka kattaa yli 43 000 tuulivoimalavuotta Saksasta, Tanskasta ja Alankomaista (Braam, van Mulekom, & Smit, 2005). Yhteensä tuulivoimalan keskimääräinen vikaantumisaste on $2,2 \cdot 10^{-3}$ tuulivoimalaa kohti vuodessa²⁴.

Tuulivoimahäiriöissä osat eivät yleensä lennä kauas. Lisäksi etäisyydet merenkulkureiteiltä tuulivoimaloihin ovat niin pitkiä, että lentävä jää voi vain satunnaisesti ulottua alueille, joilla alukset kulkevat, eikä tuulivoimaloiden

²⁴ Lentävä jää ei sisälly havaintoihin, mutta arvoa pidetään silti edustavana, koska lentävä jää muodostaa pienemmän osan raportoiduista tuulivoimalahäiriöistä.

turvavyöhykkeellä tulisi olla luvattomia aluksia. Lisäksi aika, jonka alukset viettävät alueella, johon lentävät esineet voivat osua, on rajallinen.

Todennäköisyyttä sille, että lentävä jää tai muut esineet voisi aiheuttaa vakavan onnettomuuden ohikulkeville aluksille, pidetään siten niin pienenä, että riski on hyväksyttävä, vaikka arvio tehdään varovaisesti ja seuraukset oletettaisiin vakaviksi.

Taulukko 30. Tuulivoimalasta putoaviin tai lentäviin esineisiin liittyvä laskennallinen riski. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Skenaario	Ilman	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
5.3	Tuulivoimalasta putoavat tai lentävät esineet (jää mukaan lukien)	<1	4	4	<5	<5

6.7 Kaapelit

6.7.1 Yhdyskaapelin vauriot

Yhdyskaapeleille aiheutuvien riskien seurauksista ja sen riskeistä on tehty seuraava arviointi (**skenaario 6.1**).

Laivan ankkurit voivat jäädä kiinni merenpohjassa oleviin yhdyskaapeleihin tai muihin kaapeleihin ja repiä tai vahingoittaa niitä. Perusteettomat ankkuroinnit tai hätäankkuroinnit voivat keskeyttää merituulivoimapuiston toiminnan ja vaatia laajoja korjaustöitä.

Seuraukset terveydelle ja ympäristölle on suljettu raportin ulkopuolelle ²⁵:

- Kaapelin rikkoutuessa voimansiirto katkeaa eikä siten vaikuta alukseen.
- Jos kaapelin eristys on vaurioitunut, virta voi kulkea ulos ankkuriin. Koska virta etsii matalinta vastusreittiä palatakseen maahan, sen ei oleteta nousevan ankkurin kautta alukseen ja sitten takaisin alas.
- Jos alus laskee ankkurin ja nostaa vaurioituneen kaapelin lähelle aluksen pohjaa, alukseen voi kohdistua isku tai pieni räjähdys. Tapahtuman ei katsota olevan riittävän voimakas aiheuttamaan vahinkoa suuremmille aluksille, kuten säiliöaluksille tai lastialuksille. Pienemmän aluksen, kuten kalastusveneen, ei odoteta voivan vetää raskaita kaapeleita veneeseen asti.

Riski sille, että kaapelien vauriot vaikuttavat alukseen, arvioidaan merenkulun näkökulmasta merkityksettömäksi. Syvällistä riskianalyysyä ei pidetä tarpeellisena, ks. Taulukko 31.

²⁵ Simon Lindroth, diplomi-insinööri ja sähkötekniikan tohtori, ja Torsten Björn, sähkötekniikkainsinööri, molemmat Sweco Sverige AB:n palveluksessa, 27.1.2022.

Taulukko 31. Arvioitu voimajohtokaapelin vaurioon liittyvä riski. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Skenaario	Kuvaus	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
6.1	Voimansiirtolinjan vauriot	-	-	-	Merkityksetön riski	

6.7.2 Kaapelit estävät hätäankkuroinnin

Merituulivoimapuistossa kulkevat yhdyskaapelit ja kaapelit saattavat johtaa siihen, että hätäankkurointia vältetään (**skenaario 6.2**), jolloin ajelehtiville aluksille voi aiheutua vakavampia seurauksia.

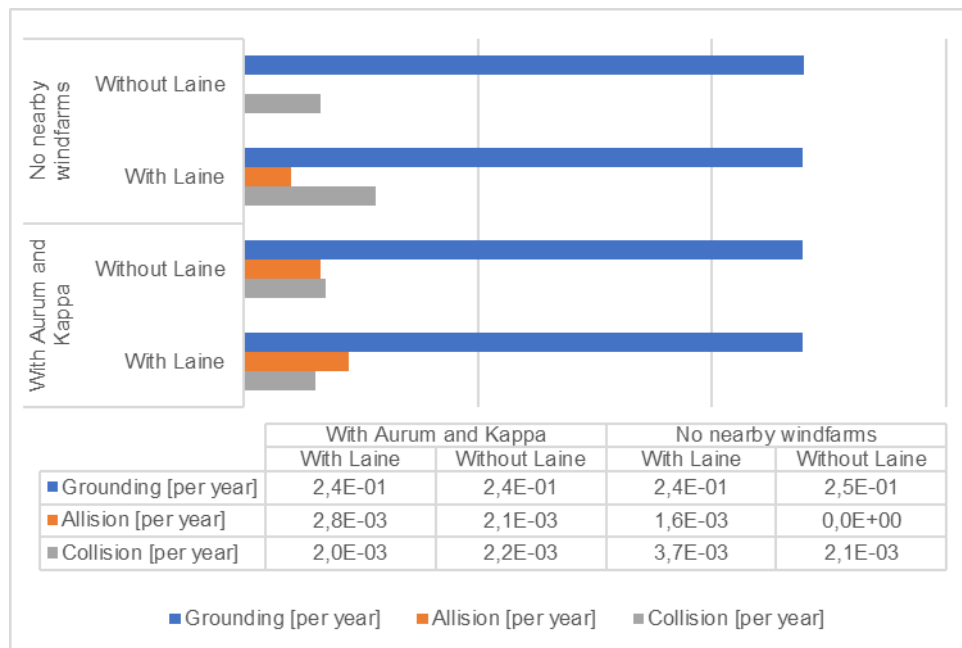
(DNV, 2021) arvioi, että on hyvin epätodennäköistä, että laivan tarvitsee ankkuroitua suoraan kaapelin yläpuolelle. Arvion mukaan ankkurointia yritetään hätätilanteessa myös paikoissa, joissa on kaapeleita. Ajelehtiminen on joka tapauksessa hidas tapahtuma, jossa on paljon aikaa ryhtyä toimiin ja tilaa ankkuroitumiselle kaapelialueiden ohittamisen jälkeen. Kun otetaan huomioon alueen vähäinen liikennemäärä ja se, että on hyvin epätodennäköistä, että alusten tarvitsee ankkuroitua suoraan kaapelin yläpuolelle, riskin ei katsota tarvitsevan tarkempaa analyysiä, katso Taulukko 32.

Taulukko 32. Arvioitu riski sille, että kaapelit estävät hätäankkuroinnin Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Skenaario	Kuvaus	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
6.2	Kaapelit estävät hätäankkuroinnin	-	-	-	Merkityksetön riski	

6.8 Kumulatiiviset vaikutukset

Pohjakosketukselle, törmäykselle ja laivojen yhteentörmäykselle laskettuja onnettomuustaajuuksia, läheiset merituulivoimapuistot huomioiden ja niitä huomioimatta, tutkitaan epävarmuusanalyysitapauksina (Appendix C). Kuva 18 esittää tästä yhteenvedon.



Kuva 18. Lasketut taajuudet pohjakosketukselle (sininen), törmäykselle (oranssi) ja yhteentörmäykselle (harmaa), Laineen kanssa ja ilman sekä Aurumin ja Kapan kanssa ja ilman.

Useiden puistojen kumulatiivinen vaikutus navigoinnin riskiprofiiliin eri tuulipuistoyhdistelmien osalta voidaan näin ollen tiivistää, kuten Taulukko 33, Taulukko 34 ja Taulukko 35 esittävät. Taulukoissa esitetään yhden tai useamman merituuvoimapuiston perustamisesta aiheutuva lisäriski. Huomaa, että pohjakosketusta ei ole esitetty taulukoissa, koska tuulipuistoilla ei ole merkittävää vaikutusta pohjakosketustaajuuteen, katso kohta 6.3.

Taulukko 33. Tästä **aiheutuva riski ihmisten terveydelle ja turvallisuudelle** ottaen huomioon kumulatiiviset vaikutukset, jos sekä Laine, Kappa, Aurum North ja Aurum South rakennetaan tai jos osa niistä rakennetaan. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

OWF	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
Laine	Moottoroitu törmäys	1,3	3,0	3,0	4,3	3,3
Kappa ja Aurum	Moottoroitu törmäys	2,7	3,0	3,1	5,7	4,8
Laine, Kappa ja Aurum	Moottoroitu törmäys	2,5	3,0	3,2	5,5	4,7

Taulukko 34 **Ympäristölle aiheutuva riski** ottaen huomioon kumulatiiviset vaikutukset, jos sekä Laine, Kappa, Aurum North ja Aurum South rakennetaan tai jos osa niistä rakennetaan. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

OWF	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
Laine	Ajelehtiva törmäys	3,2	2,0	2,4	5,2	4,5
Kappa ja Aurum	Ajelehtiva törmäys	3,2	2,0	2,4	5,2	4,6
Laine, Kappa ja Aurum	Ajelehtiva törmäys	3,4	2,0	2,4	5,4	4,8

Taulukko 35. Laivojen yhteentörmäykselle laskettu riski ottaen huomioon kumulatiiviset vaikutukset, jos sekä Laine, Kappa, Aurum North ja Aurum South rakennetaan tai jos osa niistä rakennetaan. Esiintymistiheys ilmaisee, kuinka usein tapahtuman odotetaan tapahtuvan, myös ilman merituulivoimapuiston perustamista tapahtuvien laivojen yhteentörmäysten **lisäksi**. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

OWF	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
Laine	Yhteentörmäykset yhteensä	3,2	3,0	3,2	6,2	6,4
Kappa ja Aurum	Yhteentörmäykset yhteensä	2,1	3,0	3,0	5,1	5,1
Laine, Kappa ja Aurum	Yhteentörmäykset yhteensä	-	-	-	Riski pienenee, kun merituulivoimapuisto perustetaan	Riski pienenee, kun merituulivoimapuisto perustetaan

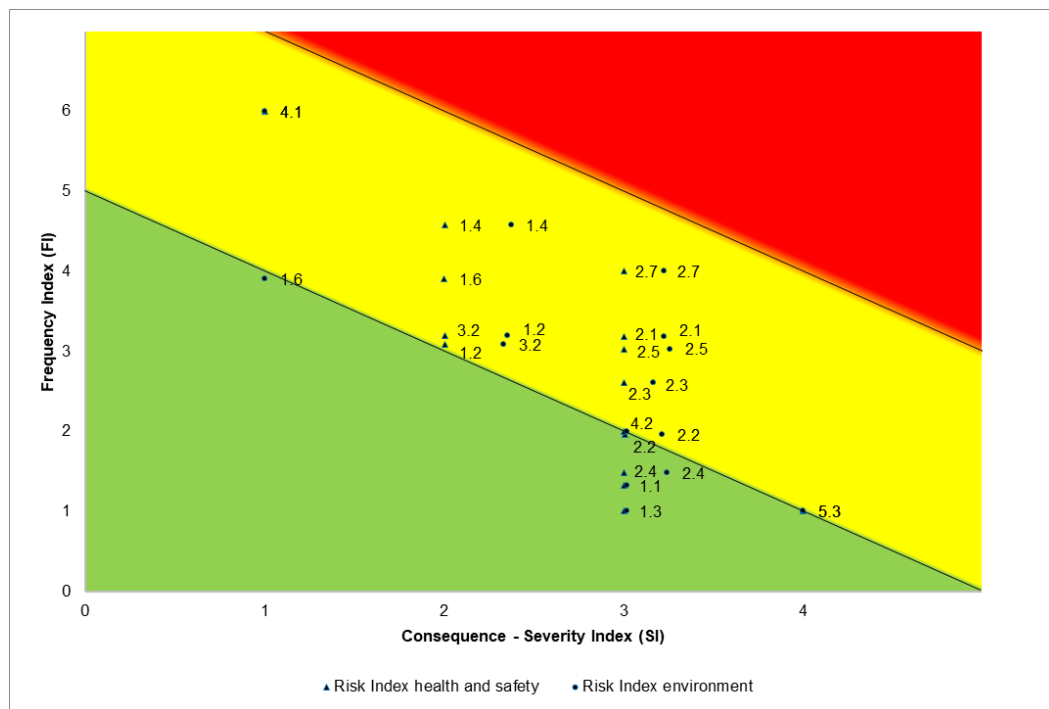
Törmäyksen riskiluokitus on sama kaikille tutkituille tuulivoimapuistoyhdistelmille, lukuun ottamatta ihmisten turvallisuudelle aiheutuvaa riskiä, joka on luokiteltu **hyväksyttäväksi**, jos vain Laine perustetaan, ja **ALARP**-arvoksi, jos Laineen lisäksi myös muita tuulipuistoja perustetaan (selittyy sekä sillä, että voimaloita, joihin laivat voivat törmätä, on enemmän, että odotetuilla liikennemalleilla).

Yhteentörmäykseen liittyvä riskiluokitus on **ALARP**, jos vain Laine perustetaan tai jos vain Aurum ja Kappa perustetaan. Jos kaikki merituulivoimapuistot perustetaan, riskin lasketaan vähenevän verrattuna tilanteeseen, jossa tuulipuistoja ei perusteta lainkaan. Tämä voi tuntua melko epäintuitiiviselta, mutta liikennemalli muuttuu perustettavien tuulipuistojen perusteella (katso Appendix C). Jos kaikki merituulivoimapuistot perustetaan, vaihtoehtoisia laivaväyliä on vähemmän, koska tuulipuistot kattavat suuremman alueen. Etutörmäysten ja ohitustörmäysten arvioidaan tässä tapauksessa lisääntyvän, mutta risteys liittymis- ja kääntymistörmäysten arvioidaan vähenevän. Kokonaisyhteentörmäysriskin arvioidaan kuitenkin laskeman hieman.

Yhteenvetona voidaan todeta, että useiden puistojen perustamisen kumulatiiviset vaikutukset alueelle eivät aiheuta muita riskejä kuin ne, jotka on tunnistettu analysoitaessa puistoja erikseen.

6.9 Riskimatriisi

Tässä luvussa kvantifioidut riskit on esitetty yhteenvedona riskimatriisissa, Kuva 19.



Kuva 19. Riskimatriisi, joka havainnollistaa laskettua riski-indeksiä esiintymistiheyden ja seurausten perusteella. Huomaa, että vakavuusindeksi ilmaisee erityyppisiin aluksiin kohdistuvien seurausten keskiarvon painotettuna riskillä (katso kohta 1.2.3).

Vihreällä vyöhykkeellä olevat riskit luokitellaan *hyväksyttäviksi*. Keltaisella vyöhykkeellä olevat riskit luokitellaan *ALARPiiksi* (As Low As Reasonably Practicable, eli kohtuullisia toimenpiteitä on sovellettava, jotta riski on hyväksyttävä). Punaisella vyöhykkeellä olevat riskit luokitellaan *kohtuuttomiksi*.

Taulukko 36. Riskimatriisi (Kuva 19) esittää Laineelle tunnistetut merenkulkuriskit.

ID	Skenaario
1.1	Laiva ohjaa päin tuulivoimalaa (moottoroitu törmäys)
1.2	Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)
1.3	Laiva ohjaa tai ajautuu lähelle tuulivoimalaa ja lapa osuu siihen
1.4	Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)
1.6	Meritulivoimapuiston läpi kulkeva alus törmää tuulivoimalaan
2.1	Yhteentörmäykset yhteensä Pohjois-Merenkurkussa (kaikki yhteentörmäystyypit)
2.2	Ohitustörmäys (meritulivoimapuistosta aiheutuva riski)
2.3	Etutörmäys (meritulivoimapuistosta aiheutuva riski)
2.4	Risteämistörmäys (meritulivoimapuistosta aiheutuva riski)
2.5	Liittymistörmäys (meritulivoimapuistosta aiheutuva riski)
2.7	Törmäys satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa
3.2	Ajelehtiva pohjakosketus
4.1	Aluksen tutkahäiriö (kohteen menettäminen)
4.2	Aluksen tutkahäiriö (navigointihäiriö)
5.3	Tuulivoimaloista putoavat esineet tai lentävä jää

Tässä kohdassa merkitään vain riskit, jotka on kvantifioitu riskinarvioinnissa.
Kokonaisytteenveto riskeistä ja niiden luokituksista löytyy osiosta 7.

7. Riskinhallintatoimenpiteet

Taulukko 37 luettelee Laineelle tunnistetut riskit sekä esittää yhteenvedon kutakin skenaariota varten arvioidusta tai lasketusta riski-indeksistä. Niissä skenaarioissa, joissa riski luokitellaan ALARPiksi, luetellaan myös suositeltu riskinvähentämistoimi. Toimenpiteitä voidaan toteuttaa kohtuuttomien riskien vähentämiseksi hyväksyttävälle tasolle tai jo hyväksyttävien riskien vähentämiseksi edelleen, jos sitä pidetään kohtuullisena esimerkiksi toimenpiteiden laajuus huomioiden (ALARP). Taulukon toimenpiteitä kuvataan tarkemmin tässä jaksossa.

Kuva 3 sivulla 11 määrittelee, mikä on riski-indeksissä hyväksyttävä taso.

Taulukko 37. Laineelle tunnistetut merenkulkuriskit sekä yhteenvedo kunkin ihmisen terveydelle ja ympäristölle aiheutuvan riskin arvioidusta tai lasketusta riski-indeksistä. Jos eri puistosuunnitelmille tai muille oletuksille lasketaan erilaisia riskejä, tässä esitetään haastavimman tapauksen tulokset. Indeksit ja värikoodit on kuvattu osassa 1.2.3.

Tunn.	Skenaario	Riski (RI)		Suositeltu lieventämisstrategia (kun riskitaso on kohtuuton tai ALARP)
		Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	
Törmäys (aluksen törmäminen paikallaan olevaan kohteeseen)				
1.1	Laiva ohjaa päin tuuli-voimalaa (moottoroitu törmäys)	4,3	3,3	
1.2	Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	5,2	4,5	A. Hätäpysäytysmenettelyt tuulivoimaloille. C. Valmiussuunnitelma hätätilanteita varten. D. Keskustelu merenkulkualan sidosryhmien kanssa. E. Merikoordinaattori. K. Tuulivoimaloiden hätäpysäytystoiminto.
1.3	Laiva ohjaa tai ajautuu lähelle tuulivoimalaa ja lapa osuu siihen	<5	<5	
1.4	Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	6,6	5,9	A. Hätäpysäytysmenettelyt tuulivoimaloille. B. Menettelyt ympäristöonnettomuuksissa. C. Valmiussuunnitelma hätätilanteita varten. D. Keskustelu merenkulkualan sidosryhmien kanssa. E. Merikoordinaattori. I. Jäänhallinta. J. Talviliikenteen yhteistyön, koordinoinnin ja sääntelyn tehostaminen. K. Tuulivoimaloiden hätäpysäytystoiminto. L. Laitteet vuotojen varalta.

Tunn.	Skenaario	Riski (RI)		Suosittelut lieventämisstrategia (kun riskitaso on kohtuuton tai ALARP)
		Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	
1.5	Laiva ohjaa tai ajautuu päin perustusta	Arvioidaan erillisessä Seveso-arvioinnissa		-
1.6	Merituli-voimapuiston läpi kulkeva alus törmää tuulivoimalaan	<6	<4	A. Häätäpysäytysmenettelyt tuulivoimaloille. C. Valmiussuunnitelma hätätilanteita varten. D. Keskustelu merenkulkualan sidosryhmien kanssa. E. Merikoordinaattori. K. Tuulivoimaloiden häätäpysäytystoiminto. M. Visuaalinen merkintä. N. Radio- ja tutkamerkinät. T. Asettelu.
1.7	Rajallinen näkyvyys saa aluksen ohjaamaan päin tuulivoimalaa	Vaikuttava tekijä muissa onnettomuusskenaarioissa. Siksi riskiä ei voida helposti luokitella samalle asteikolle, vaan se luokitellaan ALARP-riskiksi, johon on puututtava.		O. Sumutorvi. Q. Toimenpiteet tutkahäirintää vastaan (kohdehäviö). R. Navigointivalot. S. Virtuaalinen väylä. T. Asettelu. Tutkahäiriöiden vaikutuksia ei voida tässä vaiheessa tutkia yksityiskohtaisesti, vaan ne on analysoitava lopullista suunnittelua laadittaessa. Katso myös skenaariossa 1.6 luetellut toimenpiteet.
Kahden laivan välinen yhteentörmäys				
2.1	Yhteen-törmäykset yhteensä (kaikki yhteen-törmäystyytit)	6,2	6,4	D. Keskustelu merenkulkualan sidosryhmien kanssa. Suurimman riskin aiheuttavat alukset, jotka tällä hetkellä kulkevat Laineen alueen poikki, mutta joiden odotetaan kulkevan uusia reittejä Laineen alueen eteläpuolella.
2.2	Ohitustörmäys	5,0	5,2	Katso skenaariossa 2.1 luetellut toimenpiteet.
2.3	Etutörmäys	5,6	5,8	Katso skenaariossa 2.1 luetellut toimenpiteet.
2.4	Risteämis-törmäys	4,5	4,7	
2,5	Liittymis-törmäys	6,0	6,3	Katso skenaariossa 2.1 luetellut toimenpiteet.
2.6	Kääntymis-törmäys	Meritulivoimapuisto ei aiheuta riskiä ihmisten turvallisuudelle tai ympäristölle		
2.7	Törmäys satamaan/ satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa	7,0	7,2	B. Menettelyt ympäristöonnettomuuksissa. C. Valmiussuunnitelma hätätilanteita varten. D. Keskustelu merenkulkualan sidosryhmien kanssa. E. Merikoordinaattori. F. Rakentamisen riskianalyysi. G. Työalusmenettelyt. H. Tietoisuus. L. Laitteet vuotojen varalta.
Pohjakoetus				
3,1-3,2	Alus ajaa karille (moottoroitu pohjakoetus, ajelehtiva pohjakoetus)	Riski pienenee, kun meritulivoimapuisto perustetaan		

Tunn.	Skenaario	Riski (RI)		Suosittelut lieventämisstrategia (kun riskitaso on kohtuuton tai ALARP)
		Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	
Aluksen tutkahäiriö				
4.1	Aluksen tutkahäiriö (kohteen menettäminen)	7,0	7,0	Q. Toimenpiteet tutkahäirintää vastaan (kohdehäviö). R. Navigointivalot. S. Virtuaalinen väylä. Tutkahäiriöiden vaikutuksia ei voida tässä vaiheessa tutkia yksityiskohtaisesti, vaan ne on analysoitava lopullista suunnittelua laadittaessa.
4.2	Aluksen tutkahäiriö (navigointihäiriö)	<5	<4	-
4.3	Aluksen tutkahäiriö meritulivoima- puiston alueen sisällä	4.2	4.2	
4,4	Meritulivoima- puisto vaikeuttaa etsintä- ja pelastus- toimintaa	Vaikuttava tekijä muissa onnettomuusskenaarioissa. Siksi riskiä ei voida helposti luokitella samalle asteikolle, vaan se luokitellaan ALARP-riskiksi, johon on puututtava.		A. Hätätapahtumamenettelyt tulivoimaloille. K. Tulivoimaloiden hätätapahtumatoiminta. M. Visuaalinen merkintä. N. Radio- ja tutkamerkinnät. P. Tunnisteet. R. Navigointivalot. T. Asettelu.
Talviolosuhteet				
5.1	Meritulivoima- puisto vaikeuttaa jään kertymiseen	Riskiä tutkitaan parhaillaan, eikä sitä voida kvantifioida. Luokitellaan ALARP-riskiksi, joka vaatii käsittelyä.		I. Jäänhallinta. J. Talviliikenteen yhteistyön, koordinoinnin ja sääntelyn tehostaminen.
5.2	Meritulivoima- puisto estää talvimerenkulku reitit	Vaikuttava tekijä muissa onnettomuusskenaarioissa. Siksi riskiä ei voida helposti luokitella samalle asteikolle, vaan se luokitellaan ALARP-riskiksi, johon on puututtava.		I. Jäänhallinta. J. Talviliikenteen yhteistyön, koordinoinnin ja sääntelyn tehostaminen.
5.3	Tulivoima- loista putoavat esineet tai lentävä jää	Merkityksetön riski ihmisille ja ympäristölle		-
Kaapelit				
6.1	Yhdyskaapelin vauriot	Merkityksetön riski ihmisille ja ympäristölle		-
6.2	Kaapelit estävät häätäankku- roinnin	Merkityksetön riski ihmisille ja ympäristölle		-

Toteutettavissa olevien toimenpiteiden kehittäminen luokitellaan hallinnollisiin/organisatorisiin ja teknisiin/fyysisiin toimenpiteisiin.

Hallinnolliset ja organisatoriset toimenpiteet:

- A. Häätöäytysmenettelyt tuulivoimaloille. Häätöäytysmenettelyjä tulee kehittää ja niiden tulee olla käytettävissä paikallisesti ja etänä esimerkiksi ohjauskeskuksesta.
- B. Menettelyt ympäristöonnettomuuksissa. Ympäristöonnettomuuksia ja vuotoja koskevia lieventämistoimenpiteitä ja -menettelyjä tulee kehittää.

- C. Valmiussuunnitelma hätätilanteita varten. Valmiussuunnitelma on laadittava ja sitä on päivitettävä säännöllisesti, jotta operatiivinen organisaatio voi varautua mahdollisiin hätätilanteisiin, kuten yhteentörmäyksiin.
- D. Keskustelu merenkulkualan sidosryhmien kanssa. Riskeihin vaikuttavat merenkulkualan toimijat, kuten matkustaja- ja säiliöaluksia alueella liikennöivät varustamot, tulee ottaa mukaan riskeistä käytävään vuoropuheluun.
- E. Merikoordinaattori. Energiapuistossa tulee olla oma merikoordinaattori, joka vastaa kaikkien merellä tapahtuvien toimintojen seurannasta ja koordinoinnista. Tämä henkilö vastaa alusliikenteen seurannasta energiapuistossa ja sen läheisyydessä tutkan ja AIS:n kaltaisilla työkaluilla. Merikoordinaattori vastaa myös Suomen kansainvälisen pelastuspalvelun koordinoitikeskuksen hälyttämisestä.
- F. Rakentamisen riskianalyysi. Rakennusvaiheelle tehdään täydentävä riskianalyysi.
- G. Työalumenettelyt. Ennen rakentamista kehitetään menettelyt työalusten turvalliseen navigointiin. Nämä menettelyt kehitetään kuullen asiaankuuluvia sidosryhmiä, kuten alusliikennepalvelua (VTS).
- H. Tietoisuus. Laitosta koskevat tiedot on julkistettava ja niistä on tiedotettava hyvissä ajoin asianomaisille osapuolille ennen merituulivoimapuiston rakentamisen tai käytöstä poistamisen aloittamista.
- I. Jäänhallinta. Alukset saattavat joutua odottamaan jäänmurtajan apua turvallisessa paikassa. Viranomaiset määrittelevät, milloin alukset saavat kulkea tiettyjen vaikeiden alueiden läpi yksin tai vain jäänmurtajien avustamina. Nämä alueet muuttuvat ajoittain jääolosuhteiden muuttuessa.
- J. Talviliikenteen yhteistyön, koordinoinnin ja sääntelyn tehostaminen. Viranomaisten ja muiden asianomaisten sidosryhmien olisi osallistuttava vuoropuheluun Itämeren asianmukaisen jäänhallinnan strategioista, esim. jäänmurtajayhteistyön tehostamisesta Suomessa/Ruotsissa, jäänmurtajien valmistelurutiineista, alusten ja jäänmurtajien koordinoinnista, ankkurointi-/odotusalueista kauempana merialueella, jossa ei ole vaaraa ajautua kohti tuulipuistoa, laivareittien suunnittelusta ja alusten hallintaa jääolosuhteissa koskevien sääntöjen ja määräysten parantamisesta.

Tekniset ja fyysiset toimenpiteet:

- K. Tuulivoimaloiden hätäpysäytystoiminto. Hätäpysäytystoiminnon tulee olla käytettävissä paikallisesti ja etänä esimerkiksi ohjauskeskuksesta.
- L. Laitteet vuotojen varalta. Huoltoaluksissa on oltava varusteita, jotka viivästyttävät ja rajoittavat ympäristölle vaarallisia vuotoja.
- M. Visuaalinen merkintä. Varmista, että tuulivoimalat ja perustukset merkitään sovellettavan lainsäädännön tai alan standardien mukaisesti.
- N. Radio- ja tutkamerkinnät. Merituulivoimapuistojen näkyvyyden parantamiseksi valituille tuulivoimaloille on toteutettava AIS- ja Racon-merkinnät²⁶.
- O. Sumutorvi. Sumutorvien asennus kaikkiin tuulivoimaloihin tai valittuihin tuulivoimaloihin.

²⁶ Racon (tutkamajakka) on tunnistus- ja navigointiapuna käytettävä transponderi, joka asennetaan tyypillisesti tuulivoimaloiden tai majakoiden kaltaisiin rakenteisiin.

- P. Tunnisteet. Tuulivoimalat on merkittävä yksilöllisellä tunnisteella pelastustoimien helpottamiseksi.
- Q. Toimenpiteet tutkahäirintää vastaan (kohdehäviö). Vertailupoiijujen asentaminen vakiintuneille laivaväylille ja muut toimenpiteet kadonneiden kohteiden riskin vähentämiseksi ovat toimia, joita harkitaan ja joista päätetään ennen merituulivoimapuiston lopullista suunnittelua.
- R. Navigointivalot. Ylimääräiset navigointivalot tuulipuistossa.
- S. Virtuaalinen väylä. Merituulivoimapuiston lähelle määritetty reitti, jossa alusten on navigoitava puistoa lähestyessään, jotta sumun vaikutus näkyvyyteen voidaan torjua.
- T. Asettelu. Säännöllisempi ruudukkokuvio, jossa tuulivoimalat ovat suorissa riveissä, helpottaisi etsintä- ja pelastustoimia ja navigointia yleisesti merituulivoimapuiston sisällä. Etsintä- ja pelastustoimijoiden tulisi olla mukana asettelua koskevassa keskustelussa.

Koska mitään riskiä ei ole luokiteltu *kohtuuttomaksi*, yksikään ehdotetuista lievennystoimista ei ole riskiperspektiivistä pakollinen. Skenaariot 1.2, 1.4, 1.6, 1.7, 2.1, 2.2, 2.3, 2.5, 2.7, 4.1, 4.4, 5.1 ja 5.2 on kuitenkin luokiteltu ALARP-risikeiksi. Näihin riskeihin kohdistuvien lieventävien toimenpiteiden arvioidaan olevan luonteeltaan sellaisia, että niiden toteuttaminen on perusteltua. Teknisten ja fyysisten toimenpiteiden (K, L, M, N, O, P, Q, R, S ja T) laajuus ja tarkka suunnittelu määritetään, kun päätetään puiston lopullisesta asettelusta. Poikkeuksena on lieventävä toimenpide Q, jossa mahdollisten tutkahäiriöiden tutkimus suoritetaan puiston perustamisen yhteydessä ja selvitetään, onko tarpeen ryhtyä toimenpiteisiin tutkahäiriöiden torjumiseksi.

8. Epävarmuusanalyysi

Tässä osiossa esitetään yhteenveto analyysissä tunnistetuista epävarmuustekijöistä. Johtopäätös on, että vaikka epävarmuustekijöitä on paljon, kokonaistulokset ovat vankkoja. Laskettujen riskien arvioidaan päätyvän oikealle alueelle, vaikka desimaaliluvut kannattaakin tulkita varoen.

- **Kumulatiiviset vaikutukset:** Kokonaisriskiprofiilin epävarmuutta tilanteessa, jossa pohjoiseen Merenkurkkuun rakennetaan useita merituulivoimapuistoja, analysoidaan osiossa 6.8. Riskejä tilanteessa, jossa vierekkäiset suunnitteilla olevat merituulivoimapuistot rakennetaan (Aurum North ja South sekä Kappa), verrataan riskeihin tilanteessa, jos Laineesta tulee alueen ainoa merituulivoimapuisto. Yhteenvetona voidaan todeta, että useiden tuulipuistojen perustamisen kumulatiiviset vaikutukset alueelle eivät aiheuta muita riskejä kuin ne, jotka on tunnistettu analysoitaessa tuulipuistoja erikseen. Johtopäätös on, että tulos on vankka, koska samat riskiluokitukset saadaan oletuksesta riippumatta.
- **Tuleva liikenne:** Epävarmuusanalyysit on tehty (ks. Appendix C) johtopäätöksellä, että tulos on vankka, koska samat johtopäätökset saadaan riippumatta siitä, mitä oletetaan tulevasta liikennemäärästä ja aluskoosta. Johtopäätöksenä on, että epävarmuus alusten tulevasta määrästä vaikuttaa vain vähän numeerisiin riskituloksiin eikä riskiluokitukseen lainkaan. Tulevien rahtimäärien kasvu voi mahdollisesti johtaa suurempiin aluksiin sen sijaan, että kuljetusten määrä kasvaisi. Varovainen lähestymistapa seurausten arvioinnissa huomioi tämän epävarmuuden riskinarvioinnissa.
- **Esiintymistiheyslaskelmat:** Parametreihin, AIS-tietoihin, IWRAP-malliin sekä tulevaisuuden liikennemääriin ja reitteihin liittyvät epävarmuudet on tunnistettu.
- **Liikennemalli:** Se, miten liikennemalli muuttuu merituulivoimapuiston perustamisen myötä, on oletus, jolla on suuri vaikutus tuloksiin. Olettaen, että alukset kulkevat lyhintä reittiä, liikennetiheys merituulivoimapuiston eteläpuolella kasvaa. On myös epävarmaa, millä etäisyydellä alukset ohittavat tuulipuiston. Brittiläisten merituulivoimapuistojen tarkastelusta löytyy esimerkkejä tapauksista, joissa merituulivoimapuistot eivät vaikuta lainkaan laivaliikenteeseen, sekä tapauksista, joissa tuulipuisto vaikuttaa laivaliikenteeseen jopa 1,5 meripeninkulman päässä (Anatec, 2016). Tässä analyysissä tehdyt oletukset reittien ja sivuttaisjakaumien muutoksista vaikuttavat tuloksiin, ensisijaisesti moottoroidun törmäyksen ja moottoroidun pohjakosketuksen laskettuun riskiin (jotka muodostavat pienen osan törmäyksen ja pohjakosketuksen vastaavasta

kokonaistuloksesta). IWRAP-mallinnuksessa 98,5 % liikenteestä oletetaan sijoittuvan sellaiselle etäisyydelle merituulivoimapuistosta, että liikenneanalyysin mukainen referenssialuksen COLREG täyttyy. Sekä moottoroidun törmäyksen että moottoroidun pohjakosketuksen riski (joka on seurausta merituulivoimapuistosta) on luokiteltu hyväksyttäväksi analyysissä, mutta jos alukset sijoittuvat lähemmäs tuulipuistosta, riski voi olla suurempi. Muita esiintymistiheyden arviointiin liittyviä epävarmuustekijöitä käsitellään tarkemmin liitteessä C.

- **Talviliikenne:** Talvimerenkulun ja siihen liittyvien riskien osalta analyysi rajoittuu AIS-tietoihin vuodesta 2022 alkaen. Talviliikennekuvio on joka vuosi erilainen, joten talvimerenkulun tulokset ovat vain esimerkki siitä, miten riskeihin voidaan vaikuttaa. Laivaliikenteen tiheys Laineen ympärillä vaihtelee talvesta toiseen. Siksi arvioitu nollavaihtoehto ei edusta kaikkia talvia. Arvioitu riski siitä, että jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa (skenaario 1.4) oletetaan kuitenkin edustavaksi, koska tuulipuiston perustamisen jälkeisiä mahdollisia reittejä koskevat oletukset ovat helpommin ennakoitavissa (merituulivoimapuiston pohjois- ja eteläpuolella). Parametrit valitaan varovaisesti niin, että ne ovat epävarmuusmarginaalin sisällä (katso osio 6.1.4).
- **Jää:** Tietoa siitä, miten tuulipuistot vaikuttavat ahtojään kertymiseen (skenaario 5.1), on rajallisesti. Tätä pidetään epävarmuutena, koska merituulivoimaloiden mahdollisia vaikutuksia arktisten alueiden jääolosuhteisiin on tutkittu vain vähän, ja vaikutusten ymmärtämiseksi tarvittaisiin paljon lisää tutkimusta. Tarvitaan lisää tietoa siitä, miten merituulivoimapuistot vaikuttavat ahtojään kertymiseen. On myös syytä huomata, että monet muutkin tekijät voivat vaikuttaa ahtojään ja muiden jääolosuhteiden muodostumiseen arktisella alueella, mukaan lukien ilmastonmuutos ja sääolosuhteiden luonnollinen vaihtelu. Aiheesta tarvitaan kohdennettua tutkimusta. Epävarmuustekijöiden vuoksi riskiä pidetään *ALARP-tason* riskinä.
- **Inhimilliset virheet:** Tiettyjen riskien arvioinnissa, mukaan lukien tutkahäiriöiden hallinta (riskit 3.2 ja 3.3), inhimillisten virheiden todennäköisyydet (HEP) on arvioitu yksinkertaistetulla tavalla. Tämä noudattaa FSA:n menetelmää, jossa todetaan: (Maritime Safety Committee, 2018)
"Jos tarvitaan täysin kvantifioitu FSA-lähestymistapa, HRA:n perusteella voidaan kehittää joukko HEP:ejä, jotka sisällytetään todennäköisyysperusteiseen riskinarviointiin. Tätä HRA:n näkökohtaa voidaan kuitenkin korostaa liikaa. Kokeneet ammattilaiset myöntävät, että suurempi hyöty saadaan tehtäväanalyysin varhaisista, laadullisista vaiheista ja inhimillisten virheiden tunnistamisesta. Ponnistelut näillä alueilla maksavat vaivan, koska HRA-harjoitus (kuten FSA- tutkimus) onnistuu vain, jos tutkittavaksi valitaan oikeat huolenaiheet."
 Koska yksityiskohtaista tietoa ei ole, HEP-arvot on valittu varovaisesti. Näin pyritään välttämään analysoitujen riskien aliarvioinnilta.
- **Seuraukset:** Samat seuraukset oletetaan yleensä aluksille koosta riippumatta ja riippumatta siitä, missä onnettomuus tapahtuu. Seurauksiin liittyvän epävarmuuden käsittelemiseksi ne on valittu konservatiivisesti. Kuten kohdassa 2.3.1 on raportoitu, historiallisesti yksikään törmäys tuulivoimalaan ei ole aiheuttanut kuolonuhreja eikä päästöjä. Näitä seurauksia sovelletaan kuitenkin varovaisesti tässä riskianalyysissä.

- **Onnettomuushistoria:** Osion 2.3 onnettomuushistoria vahvistaa tulokset siitä, missä onnettomuuksia todennäköisesti tapahtuu. Aineisto on rajallinen, mikä tarkoittaa, että johtopäätösten tekemiseen on suhteellisen vähän datapisteitä, mutta se osoittaa, että laskettu yhteentörmäysriski saattaa olla aliarvioitu. Koska yhteentörmäysten esiintymistiheys on samaa suuruusluokkaa kaikissa lasketuissa skenaarioissa, tällä epävarmuudella on pieni vaikutus johtopäätöksiin. Historiatiedot osoittavat myös, että pohjakosketusten esiintymistiheys saattaa olla yliarvioitu. Tämä voi selittyä sillä, että onnettomuuksia voi jäädä ilmoittamatta eri syistä (esim. pieni onnettomuus, joka ei aiheuta merkittäviä vahinkoja tai vammoja), tai että IWRAP saattaa yliarvioida pohjakosketustaajuuksia.

Kaiken kaikkiaan on tunnistettu epävarmuustekijöitä, joista tärkeimmät ovat:

- Mitä reittejä alukset kulkevat tulevaisuudessa ja millä etäisyydellä ne ohittavat merituulivoimapuiston.
- Miten merituulivoimapuistot vaikuttavat jään muodostumiseen ja murtumiseen.

Jos epävarmuustekijöitä on, riskinarvioinnissa noudatetaan varovaista lähestymistapaa, jolla varmistetaan, että riskejä ei aliarvioida.

9. Keskustelu

Yhteensä 22 meririskiä on tunnistettu, analysoitu ja arvioitu. Useimmat riskit todettiin merkityksettömiksi tai luokiteltiin *hyväksyttäväksi*. *Kohtuuttomia* riskejä ei havaittu. Riskejä, jotka tietyiltä osin on luokiteltu *ALARP:iksi* eli riskeiksi, jotka voidaan sietää, kunhan kohtuulliset toimenpiteet toteutetaan, havaittiin. Tässä raportissa annetaan suosituksia riskinhallintatoimenpiteistä.

Tuloksia pidetään luotettavina, ja epävarmuustekijät on poistettu käyttämällä analyysissä konservatiivisia oletuksia.

Seuraavissa kohdissa käsitellään seikkoja, jotka vaativat lisäkeskustelua aika-asteikkoon, törmäyksiin ja talveen liittyvistä riskeistä.

9.1 Aika-asteikko

Riskit kvantifioidaan vuosittain, mutta edustavat riskiä olosuhteille, joita ei ole olemassa koko ajan. Lasketut riskit heijastavat siten riskitasoa, jos riski on olemassa koko vuoden ajan (eli laskettu riskitaso aluksille, jotka jäävät kiinni jäähän ja sitten ajelehtivat jääkentän mukana, edustaa riskiä, jos talviolosuhteet vallitsevat ympäri vuoden). Arvoja ei saa käyttää kumulatiivisen riskin arviointiin, ellei riskejä pienennetä riskikautta vastaavalla kertoimella.

9.2 Riski aluetta kohti

Perustason pohjakosketus- ja törmäysriski on pohjoisen Merenkurkun alueella suuri myös ilman Laineen perustamista. Yhtenä syynä tähän on se, että meririskianalyysissä riskiä ei yleensä skaalata aluekohtaiseen riskiin, minkä seurauksena suurista alueista tulee automaattisesti riskialttiimpia. Siksi on tärkeämpää tarkastella merituuvoimapuiston aiheuttamaa lisäriskiä²⁷.

9.3 Törmäys

Moottoroidun törmäyksen riski on luokiteltu *hyväksyttäväksi*. Tulokset ovat herkkiä sille, mitä oletuksia tehdään etäisyydestä, jolla alukset ohittavat tuulipuiston. Jos oletetaan, että alukset ohittavat tuulipuiston hyvin läheltä, moottoroidun törmäyksen riski on paljon suurempi. Riskin tarkka suuruus riippuu siitä, miten liikennemalli muuttuu. Todennäköisyys navigoivien alusten yhteentörmäykseen pienenee, jos liikenne sijoittuu kauemmas tuulipuistosta. Mitä kauemmas puistoa lähin liikenne sijoittuu, sitä pienempi on tuulivoimalaan

²⁷ Skaalausongelma pätee kuitenkin myös tuulipuistoon, kun tuulivoimalakohtainen riski lasketaan vain harvoin.

törmäämisen todennäköisyys, mutta samalla ohitus- ja etutörmäysten todennäköisyys laivaväylillä vastaantulevien alusten kanssa kasvaa, kun liikenne keskittyy pienemmälle alueelle.

Tuulivoimalat tuulipuiston länsipuolella ovat alttiimpia ajelehtiville törmäyksille sekä kesällä että talvella, koska tämä on todennäköisin ajelehtimissuunta. Ajelehtiva alus voi kuitenkin osua mihin tahansa tuulivoimalaan. Huomaa, että pidempi etäisyys merenkulkualueiden ja tuulivoimaloiden välillä ei ole tehokas keino vähentää ajelehtivien alusten aiheuttamaa törmäysriskiä. Mallinnuksen mukaan alukset ajelehtivat ennen törmäystä keskimäärin paljon pidemmälle kuin lähin tuulivoimala. Lähimpänä laivaväyliä olevat voimalat muodostavat vain pienen osan törmäystapahtumien kokonaistodennäköisyydestä.

9.4 Talveen liittyvät riskit

Koska HAZID nosti esille talvimerenkulkuun ja jäähän liittyvät riskit erityisenä huomioalueena, tässä luetellaan joitakin näkökohtia siitä, miten Laineen merituulivoimapuisto vaikuttaa merenkulun riskiprofiiliin talviolosuhteissa.

- **Merituulivoimapuiston vaikutus jään muodostumiseen:** Laineen merituulivoimapuiston perustuksilla voi olla vaikutusta alueen jäänmuodostukseen. Merituulivoimapuisto voi myötävaikuttaa ahtojään ja ahtojäävallien muodostumiseen, mitä edustaa kohdassa 6.5.1 arvioitu riski. Ahtojää voi aiheuttaa ongelmia sekä aluksille että jäänmurtaajille. Valleja on vaikea läpäistä aluksilla, erityisesti kun vallit kerrostuvat ja ovat paksumpia kuin ympäröivä tasaisen jään kenttä. Ahtojäävallit muodostavat suurimman esteen talvimerenkululle. Tarvitaan lisää tietoa siitä, miten merituulivoimapuistot vaikuttavat ahtojään kertymiseen. On myös syytä huomata, että monet muutkin tekijät voivat vaikuttaa ahtojään ja muiden jääolosuhteiden muodostumiseen arktisessa ilmastossa, mukaan lukien ilmastomuutos ja sääolosuhteiden luonnollinen vaihtelu. Aiheesta tarvitaan kohdennettua tutkimusta, eikä sitä ole sisällytetty riskinarviointiin. Riski luokitellaan *ALARP-riskiksi*, joka vaatii käsittelyä.
- **Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa:** Joka vuosi laivoja jää kiinni jäähän ja ajelehtii jääkentän mukana. Jään nopeus voi olla noin 2–3 % tuulen nopeudesta. Merituulivoimapuiston rakentaminen ei vaikuta esiintymistäajuuteen, mutta seuraukset ovat vakavampia. Tätä riskiä tutkitaan osiossa 6.1.4 ja se luokitellaan *ALARP-riskiksi*.
- **Merituulivoimapuisto estää oletusnavigointireitin talvella:** Tällä riskillä on ensisijaisesti hallinnollisia ja taloudellisia seurauksia, jotka eivät sisälly tähän merenkulun riskinarviointiin. Myös ihmisten terveydelle ja turvallisuudelle sekä ympäristölle aiheutuu kuitenkin seurauksia. Alukset, joiden on kuljettava pidempiä matkoja talviolosuhteissa, saattavat olla alttiimpia pohjakosketus-, yhteentörmäys- ja törmäysriskeille, koska kuljettu matka on pidempi. Tätä riskiä tutkitaan osiossa 6.5.2 ja se luokitellaan *ALARP-riskiksi*. Massiivisten jäävallien kohtaamisen todennäköisyys kasvaa. Avunanto voi viivästyä hätätilanteessa, ja apua odottavat, paikallaan olevat alukset altistuvat jäässä oleville voimille ja rungon vaurioitumisen riskille. Tätä riskiä tutkitaan myös osiossa 6.5.2, ja sitä pidetään merkityksettömänä riskinä ihmisille ja ympäristölle.
- **Aluksen rungon jäävauriot:** Puristavassa jääkentässä navigoivat alukset voivat juuttua kiinni, ja jää voi vaurioittaa niiden runkoa.

Talvimerenkulku aiheuttaa aluksiin melko usein jäävaurioita. Kaikki jäisillä vesillä purjehtivat alukset on luokiteltava suomalais-ruotsalaisten jääluokkasääntöjen mukaisesti. Lisäksi niiden on noudatettava FTIA:n asettamia liikennerajoituksia, muuten he eivät saa navigoida alueella eivätkä ole oikeutettuja jäänmurtoapuun. Tyypillisten jäävaurioiden seuraukset eivät ole vakavia, mutta runkolevyjen repeämät voivat aiheuttaa vesivuodon alukseen. Tätä seurausta ei pidetä uhkana ihmisille tai ympäristölle. (Winter Navigation Research Board, 2005)

- **Pohjakosketus:** Talvimerenkulussa jää voi aiheuttaa moottoroidun pohjakosketuksen, jos se estää aiotun ja tarpeellisen liikkeen, joka pitäisi aluksen turvallisella reitillä. Ajelehtiva pohjakosketus on seurausta tilanteesta, jossa alukset jäävät kiinni jäähän ja ajelehtivat jääkentän mukana, mutta merituulivoimapuiston perustamisen ei odoteta vaikuttavan sen vakavuuteen. Kuten kohdassa 6.3 todetaan, Laine ei merkittävästi muuta ajelehtivan pohjakosketuksen riskiä, eli riski Laineen merituulivoimapuiston kanssa on merkityksetön. Tämän johtopäätöksen oletetaan pätevän myös talvella.
- **Yhteentörmäys:** Osion 6.2 yhteentörmäysriskin oletetaan konservatiivisesti edustavan myös yhteentörmäysriskiä talviolosuhteissa, jolloin aluksia kulkee alueella vähemmän, nopeudet ovat usein pieniä, ja tapahtumien seuraukset eivät yleensä ole niin vakavia. Tämä yhteentörmäysriski luokitellaan *ALARP*-riskiksi.
- **Aluksen tutka:** Kun aluksen tutkaa säädetään välkkeen välttämiseksi, myös jää saattaa muuttua huomommin näkyväksi tai näkymättömäksi tutkanäytöllä. Aluksen tutkahäiriöiden riskinarvioinnissa osiossa 6.4 ei tarkastella erityisesti talviajan riskejä. Tätä riskiä arvioidaan tarkemmin tutkatutkimuksessa.

Yhteenvetona voidaan todeta, että tuulipuistot voivat vaikuttaa jään muodostumiseen, mikä vaikuttaa talviliikenteen navigointiolosuhteisiin. Laineen merituulivoimapuisto voi tukkia talvinavigointireittejä, mikä pakottaa alukset kulkemaan pidempiä reittejä, joilla ne ovat alttiimpia vaaroille. Osa talveen liittyvistä riskeistä on luokiteltu *ALARP*-riskeiksi, ja riskinhallintatoimenpiteet niihin puuttumiseksi on lueteltu osiossa 7.

10. Johtopäätös

Yhteensä 22 meririskiä on tunnistettu, analysoitu ja arvioitu. Sovellettavat analyysioletukset olivat tarkoituksella konservatiivisia.

Laineen merituulivoimapuisto vaikuttaa Merenkurkun laivaliikenteen riskiprofiiliin seuraavasti:

- **Törmäys:** Laineen merituulivoimapuisto luo riskin tuulivoimaloihin ja alustoihin törmäämiseen. Tämä riski on olemassa myös talviolosuhteissa, jolloin alukset voivat juuttua jäihin ja ajelehtia jään mukana.
- **Yhteentörmäys:** Yhteentörmäysriski kasvaa lähinnä siksi, että Laineen merituulivoimapuiston vuoksi suurempi määrä liikennettä alkaa käyttää eteläisempää Nordvalen – Pietarsaari -merenkulkualuetta, mikä johtaa useampiin yhteentörmäyksiin (yksi ylimääräinen yhteentörmäys kerran 650 vuodessa). Rakennusvaiheessa on myös riski törmätä satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa.
- **Pohjakosketus:** Laineen merituulivoimapuisto ei merkittävästi muuta pohjakosketusriskiä.
- **Aluksen tutka:** Merituulivoimapuistot voivat aiheuttaa häiriöitä aluksen tutkassa.
- **Talviolosuhteet:** Tuulivoimalat voivat vaikuttaa jään muodostumiseen, mikä vaikuttaa talviliikenteen navigointiolosuhteisiin. Laineen merituulivoimapuisto voi tukkia talvinavigointireittejä, mikä pakottaa alukset kulkemaan pidempiä reittejä, joilla ne ovat alttiimpia vaaroille.
- **Kaapelit:** Riski on arvioitu ihmisille ja ympäristölle merkityksettömäksi.

Useimmat riskit todettiin merkityksettömiksi tai luokiteltiin *hyväksyttäviksi*. *Kohtuuttomia* riskejä ei havaittu. Riskejä, jotka tietyiltä osin on luokiteltu *ALARP:iksi* eli riskeiksi, jotka voidaan sietää, kunhan kohtuulliset toimenpiteet toteutetaan, ovat seuraavat:

- **1.1** Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)
- **1.4** Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)
- **1.6** Merituulivoimapuiston läpi kulkeva alus törmää tuulivoimalaan
- **1.7** Rajallinen näkyvyys saa aluksen ohjaamaan päin tuulivoimalaa
- **2.1, 2.2, 2.3, 2.5** Merituulivoimapuistoa ohittavien alusten yhteentörmäykset
- **2.7** Törmäys satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa
- **4.1** Aluksen tutkahäiriö (kohdehäviö)
- **4.4** Vaikutukset etsintä- ja pelastustoimintaan
- **5.1** Tuulipuisto vaikuttaa jään muodostumiseen

- **5.2** Merituulivoimapuisto tukkii talvimerenkulkureitit (pidemmät reitit, jotka johtavat pohjakosketukseen, yhteentörmäykseen ja törmäykseen)

Tässä raportissa annetaan suosituksia riskinhallintatoimenpiteistä:

Hallinnolliset ja organisatoriset toimenpiteet	Tekniset ja fyysiset toimenpiteet
A. Hätäpysäytysmenettelyt tuulivoimaloille. B. Menettelyt ympäristöonnettomuuksissa. C. Valmiussuunnitelma hätätilanteita varten. D. Keskustelu merenkulkualan sidosryhmien kanssa. E. Merikoordinaattori. F. Rakentamisen riskianalyysi. G. Työalusmenettelyt. H. Tietoisuus. I. Jäänhallinta. J. Talviliikenteen yhteistyön, koordinoinnin ja sääntelyn tehostaminen.	K. Tuulivoimaloiden hätäpysäytystoiminto. L. Laitteet vuotojen varalta. M. Visuaalinen merkintä. N. Radio- ja tutkamerkinnät. O. Sumutorvi. P. Tunnisteet. Q. Toimenpiteet tutkahäirintää vastaan (menetetty kohde). R. Navigointivalot. S. Virtuaalinen väylä. T. Suunnitelman muodostaminen

Useiden puistojen perustamisen kumulatiiviset vaikutukset alueelle eivät aiheuta muita riskejä kuin ne, jotka on tunnistettu analysoitaessa puistoja erikseen.

Yleinen johtopäätös on, että Laineen merituulivoimapuiston aiheuttama riski on *hyväksyttävä* olettaen, että kohtuullisiin lieventäviin toimenpiteisiin ryhdytään. Talvimerenkulkuun ja jäähän liittyvillä riskeillä ei oleteta olevan vakavia seurauksia ihmisten terveydelle ja turvallisuudelle tai ympäristölle, mutta ne luokitellaan *ALARP-riskeiksi*. Näin varmistetaan, että epävarmuustekijät eivät johda riskien aliarviointiin.

11. Viittaukset

- Anatec. (2016). *Influence of UK Offshore Wind Farm Installation on Commercial Vessel Navigation: A Review of Evidence*. Anatec Limited.
- Braam, H., van Mulekom, G., & Smit, R. (2005). *Handboek Risicozonering Windturbines, version 2*.
- BWEA. (2007). *Investigation of Technical and Operational Effects on Marine Radar Close to Kentish Flats Offshore Wind farm*.
- Committee on Wind Turbine Generator Impacts to Marine Vessel Radar. (2022). *Wind Turbine Generator Impacts to Marine Vessel Radar. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine*. Retrieved from <https://doi.org/10.17226/26430>
- DNV. (2021). *Navigational Risk Analysis of Frederikshavn offshore wind farm*. DNV.
- Engberg, P. (2019). *IWRAP Mk2*. project44 A/S. Retrieved from https://www.iala-aism.org/wiki/ialawiki/images/5/5a/20191201_lwrap_mk2.pdf
- Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation. (2019). *Allision between VOS STONE and a wind turbine on 10 April 2018 in the Baltic Sea. Investigation Report 118/18*. Hamburg: Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation.
- Finnish Maritime Administration & Swedish Maritime Administration. (2005). *A Preliminary Risk Analysis of Winter Navigation in The Baltic Sea*. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Finnish Transport Infrastructure Agency. (2023). Retrieved from <https://vayla.fi/en/service-providers/merchant-shipping/navigating/fairway-cards> [2023-07-04]
- HELCOM. (2022). *HELCOM Map and data service*. Retrieved from <https://maps.helcom.fi/website/mapservice/index.html> [2023-09-11]
- Howard, M. (2004). *The effects of offshore wind farms on marine radar, navigation and communication systems*. MNA 53/10/366.
- IMO. (1972). *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea*.
- IMO. (2002). *SOLAS (Safety of Life at Sea) Convention Chapter V*. IMO (International Maritime Organisation).
- IMO. (2002). *SOLAS (Safety of Life at Sea) Convention Chapter V*. IMO (International Maritime Organisation).
- IMO. (2015). *IMO Revised Guidelines for the Onboard Operation Use of Shipborne AIS – A. 1106(29)*. International Maritime Organization.
- IMO. (n.d.). *Ship's routeing*. Retrieved from <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/ShipsRouteing.aspx> [2023-09-25]

- Jersey Maritime Administration. (2020). *Investigation into the Causes of an Allision between the Windfarm Support Vessel Njord Forseti and a Windfarm Tower in the Southern North Sea on 23rd April 2020. Final Report*. Jersey Maritime Administration.
- Ma, Y., Martinez-Vazquez, P., & Baniotopoulos, C. (2018). *Wind Turbine Tower Collapse Cases: A Historical Overview*. ICE Proceedings Structures and Buildings. 172. 10.1680/jstbu.17.00167.
- MAIB. (2013). *Accident report No 23/2013*. Southampton: MAIB (Marine Accident Investigation Branch).
- Maritime Safety Committee. (2018). *Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process*. London: IMO (International Maritime Organization).
- MCA. (2008). *Offshore Renewable Energy Installations (OREIs): Guidance to Mariners Operating in the Vicinity of UK OREIs (MGN 372 (M+F))*. (U. M. Agency, Ed.) Retrieved from MNA/053/010/0626: <https://www.gov.uk/government/publications/mgn-372-guidance-to-mariners-operating-in-vicinity-of-uk-oreis>
- NCEI. (2022, oktober 19). *Digital Elevation Model*. Retrieved from NOAA National Centers for Environmental Information (NCEI): <https://www.ncei.noaa.gov/maps/bathymetry/>
- NOAA. (2022). *Bathymetric Data Viewer*. Retrieved from <https://www.ncei.noaa.gov/maps/bathymetry/> [2023-02-22]
- PIANC. (2018). *MarCom Wg 161: Interaction Between Offshore Wind Farms and Maritime Navigation*. PIANC.
- PIANC. (2023). *The World Association for Waterborne Transport Infrastructure*. Retrieved from <https://www.pianc.org/about> [2023-06-16]
- Sjöfartsverket. (2021). *Sjöfartsverkets referensstationsnät. IALA/DGPS*. Retrieved from DGPS - Differential Global Positioning System: <https://www.sjofartsverket.se/contentassets/ef2f62594e4b4214bd4dc9268117cb89/iala-dgps-2016.pdf>
- Sjöfartsverket. (2022). *Ufs A. Underrättelser för sjöfarande. Allmänna upplysningar*.
- Snöberg, J. (2002). *Nautisk instrumentteknik Radar (utbildningskompendium Kalmar Maritime Academy)*.
- SSPA Sweden AB. (2008). *Methodology for Assessing Risks to Ship Traffic from Offshore Wind Farms. VINDPILOT-Report to Vattenfall AB and Swedish Energy Agency*. Report 2005 4028.
- Sweco. (2023). *Hazard Identification Workshop on Nautical Risks for Halla and Laine Wind Farms – Minutes of Meeting*. Teams: Sweco.
- Sweco. (2023c). *Traffic Analysis Laine Offshore Wind Farm*.
- The Swedish Transport Administration. (2022). *Funktionsbeskrivningar för trafiklagens anläggningar*.
- Traficom & Swedish Transport Agency. (2019). *Guidelines for the Application of the 2017 Finnish-Swedish Ice Class Rules*.
- Traficom. (2021). *Farledsklassificering*.
- Traficom. (2022a). *Environmental impact assessment programme for the Halla offshore wind farm project*.
- Traficom. (2022b). *Valtakunnalliset liikenne-ennusteet*.
- Traficom. (2023). *Safety in Finnish waters*. Retrieved from <https://tieto.traficom.fi/en/statistics/safety-finnish-waters> [2023-09-07]
- Trafikverket. (2023). *Prognos för godstransporter 2040 - Trafikverkets Basprognoser 2023*.

- Transportstyrelsen & Sjöfartsverket. (2009). *Vägledning vid projektering och riskanalys av vindkraftsetablering utmed svenska kusten*.
- United Nations. (1994). *United Nations Convention on the Law of the Sea*.
- Vattenfall. (2022). *Vattenfall*. Retrieved from Schade aan windpark Hollandse Kust Zuid na aanvaring door vrachtschip Julietta D:
<https://group.vattenfall.com/nl/newsroom/persbericht/2022/schade-aan-windpark-hollandse-kust-zuid-na-aanvaring-door-vrachtschip-julietta-d>
[2022-02-02]
- Väylävirasto. (2021). *Finland's Winter Navigation. Instructions for winter navigation operators*.
https://vayla.fi/documents/25230764/35601620/Suomen_talvimerenkulku_2021-2022_EN.pdf/1a28d2ef-d667-99be-0efc-8408e28ff5d1/Suomen_talvimerenkulku_2021-2022_EN.pdf.
- Winter Navigation Research Board. (2005). *A Preliminary Risk Analysis of Winter Navigation in the Baltic Sea. Research Report No 57*. Helsinki: Finnish Maritime Administration and Swedish Maritime Administration.

Appendix A. Calculation of the risk index

In a risk analysis, it is well established to define risk as a product of probability and severity of the consequence:

$$\text{Risk} = \text{probability} \times \text{consequence}$$

Equation 1

According to the FSA methodology, it is advisable to define the severity index (SI) and frequency index (FI) on a logarithmic scale. The definitions are found in the main report (section 1.2.3). A risk index (RI) is established by adding frequency and severity indices. (Maritime Safety Committee, 2018)

$$\text{RI} = \text{FI} + \text{SI}$$

Equation 2

The risk index for an event ranked as *remote* (FI=3) and with a severity of *significant* (SI=2) is then given the risk index RI=5 (see the risk matrix in Kuva 3. Riskimatriisi merituulivoimapuiston navigointiriskien arvioimiseksi. RI, Riski-indeksi, saadaan värikoodattujen kenttien arvoista.).

The relationship between risk and risk index can be expressed as follows:

$$\log_{10}(\text{Risk}) = \log_{10}(\text{probability}) + \log_{10}(\text{consequence})$$

Equation 3

For some events, different consequences are expected depending on the type of ship(s) involved (e.g. collision with a passenger ship may lead to more fatalities while collision with an oil tanker may lead to more oil spillage). For such events, the risk index is calculated as the sum of the risk contributions from each type of event:

$$\text{RI} = \log_{10}(f_1 c_1 + \dots + f_n c_n) + K$$

Equation 4

where RI is the risk index as assessed above, f_i is the frequency (per year) of event i , c_i is the consequence (expressed in safety index) of event i , and K is a constant integer for the calculated risk index to correspond to the correct risk level in the matrix in Kuva 3.

Example

Suppose that a certain type of accident occurs with a frequency of $f = 5 \cdot 10^{-5}$ per year. This corresponds to a return time of 20,000 years (that is, an accident is expected to occur on average once every 20,000 years). The frequency includes all accidents of a certain type, regardless of the ship category. In this example, it is assumed that oil tankers (oil) account for 10% of all accidents, passenger ships (pass) account for 1% and cargo ships (cargo) for 89% of this type of accidents. Depending on the type of vessel, the accident leads to different consequences. An accident involving an oil tanker is assumed to result in an oil spill of 1,000 tonnes of oil, while an accident involving other types of vessels is assumed to result in a spill of 10 tonnes of oil. The environmental risk for the individual categories of vessels is then calculated as follows:

$$Risk_{oil} = f_{oil} \cdot C_{oil} = 10\% \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 1,000 = 5.0 \cdot 10^{-3} \text{ [tonnes of oil per year]}$$

$$Risk_{pass} = f_{pass} \cdot C_{pass} = 1\% \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 10 = 5.0 \cdot 10^{-6} \text{ [tonnes of oil per year]}$$

$$Risk_{cargo} = f_{cargo} \cdot C_{cargo} = 89\% \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 10 = 4.45 \cdot 10^{-4} \text{ [tonnes of oil per year]}$$

To move the environmental risk to fit into the risk matrix in Kuva 3, $K_{environment}=7$ is applied and, using the expression in Equation 4, risk index concerning environment is calculated:

$$RI = \log_{10}(Risk_{oil} + Risk_{pass} + Risk_{cargo}) + K_{environment} = \log_{10}(5.45 \cdot 10^{-3}) + 7 \approx 4.7$$

The calculated risk in this example, $RI=4.7$, is less than 5 and would thus be placed slightly below the ALARP level in the risk matrix in Kuva 3. Riskimatriisi merituulivoimapuiston navigointiriskien arvioimiseksi. RI, Riski-indeksi, saadaan värikoodattujen kenttien arvoista. in the main report. When plotting the risk in the risk matrix, $f = 5 \cdot 10^{-5}$ per year is applied, which on the frequency axis is less than 1 time in 10,000 years, but more than 1 time in 100,000 years.

Exactly calculated, the occurring index $FI=\log_{10}(5 \cdot 10^{-5})+6 \approx 1.7$. The "typical" consequence of an accident can be expressed as a risk-frequency ratio, $SI = RI - FI \approx 4.7 - 1.7 \approx 3.03$ which on the impact axis would be placed in the left part of the consequence "Severe impact" corresponding to an oil spill of just over 100 tonnes of oil. Thus, the typical frequency does not represent any individual case but is an average of several sub-scenarios, weighted according to the proportion of different vessel types in the total accident rate.

Appendix B. Radar interference - knowledge overview

In addition to radar, modern ships are often equipped with navigation systems where radio signals, satellite navigation systems and signals from other sensors on board are linked to the radar image on ARPA or separately on an electronic chart display (ECS or ECDIS). OWFs can have an impact on these navigation systems as well as on visual sight.

The Chapter V of SOLAS (IMO, 2002) details the carriage requirement of Radar and ARPA onboard ships.

- All ships of 300 GRT and above and all passenger vessels shall be fitted with a 9 GHz Radar and an electronic plotting aid.
- All ships of 500 GRT and above shall be fitted with an automatic tracking aid to plot the range and bearing of other targets.
- All ships of 3,000 GRT and above, a 3 GHz Radar or a second 9 GHz Radar which are functionally independent of the first 9 GHz Radar. A second automatic tracking aid to plot the range and bearing of other targets, which is functionally independent of the first electronic plotting aid.

Ship radar

Ship radar is an important tool for maritime safety and navigation at sea. There are two main types of ship radar: X-band radar and S-band radar. These two radar systems complement each other.

X-band radar is a high-frequency radar (9 GHz) commonly used for short-range detection of objects and to assist in navigation and positioning of the ship.

S-band radar (3 GHz) is effective at longer distances and can be used to detect both objects that are close to the ship and objects that are far away.

Alongside AIS, ship radar is an important tool for both navigation and collision avoidance, especially in poor visibility.

WTGs can reflect radar signals and can thus interfere with radar systems in the immediate area. It is well known that offshore wind power has an impact on ship radar, which can affect the ability to locate, detect and identify signals in the vicinity of WTG. Blind areas can occur in the shadow of a WTG.

The most common impact is an increase in signals that are reflected and cause strong echoes on the radar display, which complicates the decision basis for navigation. Within 1.5 M of WTGs there is a risk of multiple echoes, indirect echoes and side lobe echoes. **Multiple echoes** occur when the radar signal bounces between the WTG and the ship a few times before it is picked up by the radar antenna. Multiple echoes can also arise from many different targets in the same direction as the ship's main target. **Indirect echoes** occur when the radar pulse is reflected off several objects before reaching back to the radar antenna. **Side lobe echoes** are echoes that exist outside the main lobe of the radar antenna, i.e. echoes from radar targets that are in the antenna's side lobes. (Committee on Wind Turbine Generator Impacts to Marine Vessel Radar, 2022)

The radar equipment is adjusted by the person navigating the vessel to minimize interference. Echoes can be reduced by adjusting the settings (gain, range or anti-clutter sea). The OOW should be able to set-up and configure the radar settings if needed. Some of the important basic radar controls are:

- A) Clutter controls – Rain, Gain, Sea
- B) Pulse controls, Range controls
- C) Performance monitor
- D) Manual tuning

Since the measure at the same time reduces the possibility of detecting weak echoes such as smaller boats and buoys, there is a trade-off to make between too much and too little echoes (Snöberg, 2002).

Radars can also be adjusted to remove clutter and make ice tracks visible on the radar screen, to find a navigable route through the ice field (Väylävirasto, 2021).

Newer vessels are equipped with navigation aids such as ARPA (Automatic Radar Plotting Aid) or radar plotters that provide information about the direction of movement of other objects such as ships. A modern ARPA includes a set of features to determine the risk of collision, including information on CPA (closest point of approach) and TCPA (time to closest point of approach). For example, the system can alert when TCPA falls below a threshold set by the user. When ARPA is used to follow radar targets near a OWF, the ARPA can lose its target (lost target) or jump to another target (target swap).

Studies conducted on the OWF at Kentish flats, England, show that sailors were able to observe and follow other vessels that were both inside and on the other side of the OWF using radar despite the above effects (BWEA, 2007).

PIANC (2018) indicates that there is a high probability²⁸ of **ghost echoes** on X-band radar at distances shorter than 0.25 M (500 m). There is also a high probability²⁸ that loss of target (smaller targets) can occur at distances shorter than 1.5 M (2,778 m). Safety distances to avoid interference have been set by naval officers to 0.8 M. Overall, PIANC recommends a minimum distance of 1.5 NM between vessel traffic and OWFs to minimize interference to ship radar and ARPA. The report emphasizes that anyone navigating the vessel should adjust their radar equipment to obtain accurate results when using ARPA.

In radar watch keeping, it is essential to understand the limitations of the equipment. Over reliability on radar and ARPA has been a reason for many accidents at sea. The radar users should understand the fact that it is equipment that has its own limitations and troubleshooting, and the accuracy of the data largely depends on the performance standard of the equipment. Timely check on the performance of the radar is of high priority. In case of incorrect setting on the radar, echoes and lost targets can occur, regardless of distance from the OWF, according to PIANC (2018).

Satellite navigation

Reflections from buildings and other large, massive objects can lead to precision problems with GPS. The phenomenon when the GPS signal from the satellite is reflected in a tall building before it reaches the receiver is called multipath, and it occurs on merchant ships even without WTGs nearby. Disturbances resulting

28

from the multipath are generated by cranes and masts on the ships at sea. It is possible to minimize interference on the receiver through specific settings, see (Sjöfartsverket, 2022) and (PIANC, 2018).

For better positional accuracy, a Differential Global Positioning System (DGPS) receiver can be installed. The Swedish Maritime Administration has, in cooperation with neighbouring countries and following IALA's recommendations, established a reference station network for GPS. According to PIANC, a safety distance between WTGs and ships as well as between WTGs and DGPS reference station is needed to maintain the accuracy of the DGPS. For 160m high WTGs, the distance is given as 1.2km. This distance is calculated based on conditions regarding angles and WTG heights that may deviate slightly from the current project area and can therefore be seen as an indication. The safety distance only applies to interference with the signal from the reference station, which means that the position accuracy with GPS is expected to be maintained even within this distance (Sjöfartsverket, 2021).

Radiocommunication

VHF are radio frequencies that are used in shipping for communication, including distress calls.

AIS uses two channels on the VHF band for the transmission of digital information. AIS is an autonomous system that makes it possible to identify and follow vessel movements from a ship and from land. Position, heading and speed are retrieved from the same system used for the ship's navigation, normally a GPS or DGPS receiver (Sjöfartsverket, 2022). IMO requires AIS use by all vessels >500GT, for any vessel >300GT that is on an "international voyage" and for all passenger vessels (IMO, 2002). AIS should always be in operation when ships are underway or at anchor (IMO, 2015).

The global maritime emergency radio system, GMDSS, has been mandatory for all commercial shipping since 1999. Equipment requirements depend on the waters to be operated. The current project area is within VHF coverage from a coastal station with continuous fitting of digital distress calls via the VHF system (over so-called DSC). Maritime and air rescue centres are alerted either by VHF radio, telephone, or satellite (Sjöfartsverket, 2022).

According to PIANC (PIANC, 2018), the establishment of OWFs affects the coverage area of VHF when ships are beyond an OWF. There are studies confirming interference with VHF, which under certain circumstances can affect not only analog voice communication, but also DSC and AIS signals. However, the significance of the interference with VHF communication including AIS is considered to be insignificant according to studies that have been done. Experiences from, among others, North Hoyle show that communication works well over VHF and mobile phones inside the park. However, problems with direction finding of the VHF signal occurred when the sounding ship was closer than 50 meters to a WTG that shaded the radio transmitter (Howard, 2004).

Terrestrial navigation

The construction of a OWF means that the visual information changes. The WTGs act as clear navigation signs at sea, which facilitates navigation in general and when conducting sea rescue operations. The WTGs will be equipped with flood lights according to IALA's recommendations. At the same time, the WTGs

risk obscuring existing navigation marks. Out at sea, there are no nautical signs or other solid objects to navigate by within the nearest kilometres from the park. The WTGs are thus not expected to immediately obscure any navigation mark.

Compasses are not expected to be significantly affected by the energy park. According to PIANC, it is unlikely that the WTGs and power lines could affect magnetic compasses. Larger vessels generally have gyrocompasses that are not affected by magnetic interference (PIANC, 2018).

Appendix C. IWRAP calculation of accident frequencies

This liite presents the frequency calculations that form the basis for the risk assessment for OWF Laine regarding collision risk, risk of grounding and risk of ships colliding with a WTG.

Frequency calculations for allision with a platform are also reported. These results are used in the Seveso report.

Purpose

The following probabilities are calculated:

- The probability of ships navigating into a WTG
- The probability of ships drifting into a WTG
- The probability of ships drifting with ice into a WTG in sea ice conditions (henceforth referred to as winter)
- Probability of collision between ships
- Probability of grounding
- The probability of ships drifting into a platform (input to the Seveso report)

The calculations are made for an example layout for Laine with 150 WTGs. 57 WTGs have jacket structure with a width of 25 metres and are used where the waters deeper than 50 metres, and 93 WTGs monopiles with a diameter of 16 metres for waters less than 50 metres deep.

An uncertainty analysis studies the risk scenario for Laine both with and without adjacent OWF's Kappa and Aurum North and South.

Boundaries

Accident rates for traffic outside established shipping routes, including recreational and fishing boats, as well as larger vessels taking their own routes, are not calculated. The reason is that the accident rate for such traffic cannot be easily quantified. This limited traffic contributes very little to the overall risk.

Method

Quantitative estimates of frequencies for navigation risks are made in accordance with the *Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process* (Maritime Safety Committee, 2018). For the calculations, IWRAP is used, which is a tool for applying FSA methodology. IWRAP calculates collision and allision frequencies for vessels travelling along defined routes. The input data is based on historical AIS data as well as expert estimates where data are missing.

The calculations are made using a probabilistic model that is developed for vessel traffic in the area in question. The model is based partly on the probability that ships lose steering or maintain a course and speed that could result in an accident if no avoiding action is performed, and partly on the probability that all measures to avoid an accident will fail when the ship is in such a position*. Using the model, the probability of collision and collision with and without WTGs is calculated.

IWRAP

Frequencies are calculated using the commercial version of the IWRAP Mk II software.

In IWRAP, ship routes are modelled in the form of sections called *legs*. For traffic along each leg, the probability of collisions between ships of the type frontal collision and overtaking collision is calculated.

Points where the ship paths change direction, merge or cross are modelled in IWRAP with a *waypoint*. For traffic through a waypoint, the probability of a turn collision, interweaving collision and intersection collision respectively is calculated.

A detailed description of the theory and working methods is given in the IWRAP manual (Engberg, 2019).

Analysis cases

A summary of analysis cases is presented in Table 38.

* 29 * 30

© Laine Offshore Wind Oy 2025.

Sweco | Laineen merituuvoimapuiston merenkulun riskinarviointi

Toimeksianto nro 30046108

Päivämäärä 16.10.2023

Vers. 1

Table 38. Analysis cases and description of modeling.

#	Description	Modelled structures	Traffic model
0.S	Accident frequencies with no OWF (summer)	none	ZERO (summer)
0.W	Accident frequencies with no OWF (winter)	none	ZERO (winter)
1.S	Accident frequencies with Laine (summer)	Laine (57 WTG of D=25m and 93 WTGs of D=16m)	EXPC (summer)
1.W	Accident frequencies with Laine (winter)	Laine (57 WTG of D=25m and 93 WTGs of D=16m)	EXPC (winter)
2.S	Accident frequencies with Laine platforms (summer)	Laine incl. platforms (57 WTG of D=25m and 93 WTGs of D=16m and 6 rectangular platforms with dimensions 100 x 250 m ²)	EXPC (summer)
0.S-UNC1	Uncertainty analysis case with nearby OWFs, without Laine	Kappa, Aurum N and S (WTGs of D=16 m)	UNC (Kappa and Aurum, summer)
1.S-UNC1	Uncertainty analysis case with nearby OWFs, with Laine	Kappa, Aurum N and S (WTGs of D=16 m) and Laine (57 WTG of D=25m and 93 WTGs of D=16m)	UNC (Laine, Kappa and Aurum, summer)

Uncertainty analysis

Uncertainty analysis is performed to study how different assumptions affect the result:

- **Cumulative effects:** Assumption about establishment of additional OWFs (Kappa and Aurum North and South). IWRAP analysis cases 0.S-UNC1 and 1. S-UNC1 are set up to study the impact of nearby OWFs.
- **Future traffic volumes:** Assumption about future traffic volumes (unchanged versus +35%) according to section 2.4 Future traffic in the main report on traffic forecast for year 2060. This uncertainty is quantified by re-scaling IWRAP results for analysis cases #0.S, #0.W, #1.S and #1.W. The factor represents an increase in number of vessels by 35% compared to the AIS data.

Note that none of the uncertainty analysis cases represents the most likely outcome. Given the fairly conservative assumptions that are made, the uncertainty cases present a worst case, not a probable worst case, thus showing an outer limit for what to expect about the risks after the OWF establishment.

Traffic data

AIS data for the period 1 January - 31 December 2022 is used as input to create the model of the extent and traffic patterns of the shipping routes. The dataset includes data on 1,105 vessels and a total of 9,397 voyages in the area between the following coordinates:

20.6685717°E 64.4722034°N

22.9769348°E 63.1877484°N

The traffic is described in the traffic analysis (Sweco, 2023c).

Validation

IWRAP Mk2 is a software that is validated by IALA. The accuracy of this OWF specific model is ensured by performance review and comparison with statistics of the accident history in the area.

Modelling assumptions – summer conditions

All IWRAP models for traffic during periods with no sea ice (referred to as "summer conditions") are based on the following principles:

- Default parameters and settings in IWRAP have been used (ensuring that expert assessments by IALA underlie several choices made).
- Frequencies are calculated for the following events:
 - Powered grounding
 - Drifting grounding
 - Powered allision (ship-WTG collision)
 - Drifting allision (ship-WTG collision)
 - Ship-ship collision

Modelling assumptions – winter conditions

All IWRAP models for traffic during periods with sea ice (referred to as "winter conditions") are based on the following principles:

- Parameters and settings in IWRAP have been adjusted to reflect winter conditions:
 - Blackout probability increased by a factor 2
 - Winter drift speed increased to 2 knots, representing vessels drifting with the ice
 - Same wind conditions are assumed for summer and winter
 - Recovery of vessel (anchoring or repair after blackout) is not credited
- Frequencies are calculated for the following events²⁹:
 - Drifting grounding (for vessels drifting with the ice)
 - Drifting allision (ship-WTG collision) (for vessels drifting with the ice)

Bathymetry

Water depth is modelled using polygons based on open bathymetry data from NOAA National Centers for Environmental Information (2022), see Figure 20.

²⁹ * 30

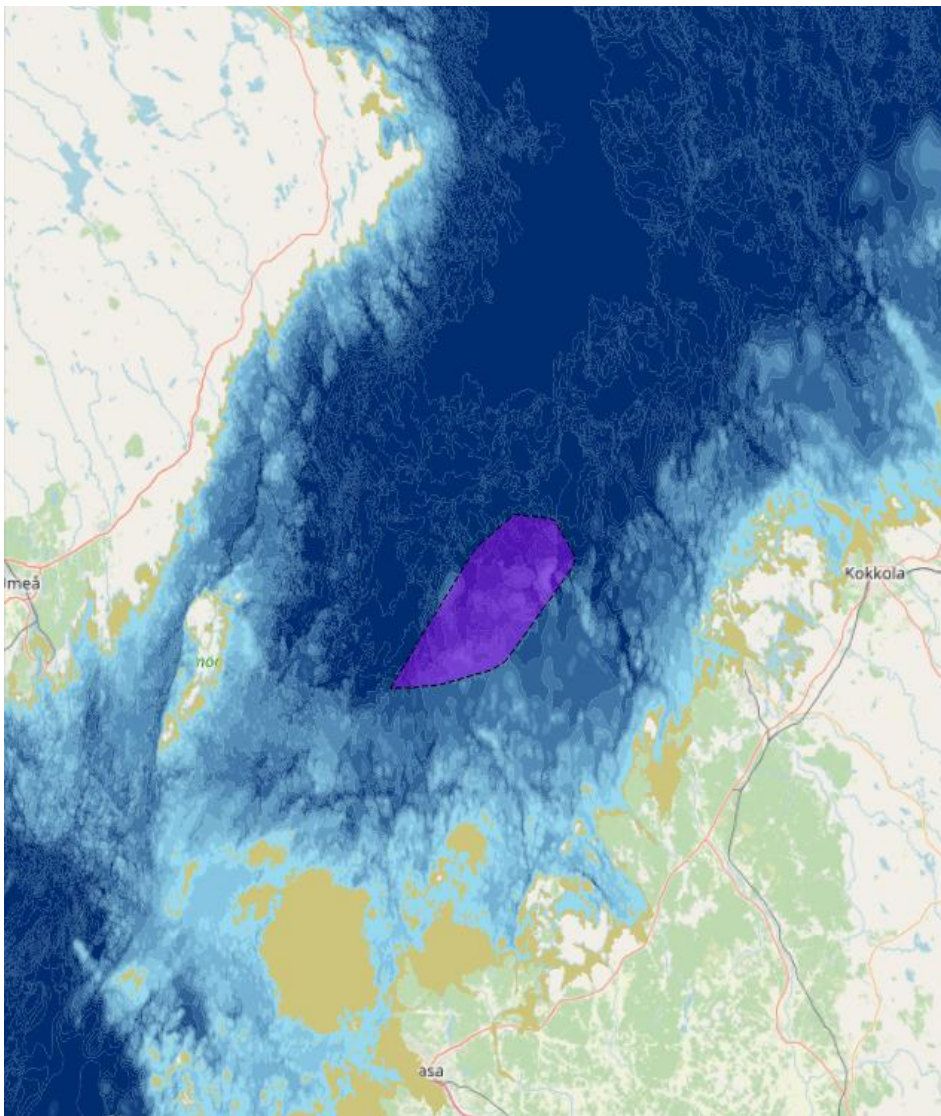


Figure 20. Representation of bathymetry in IWRAP (NCEI, 2022).

Modelled structures

Different areas are used in IWRAP representing the OWF and other structures that cause collision if struck by vessels:

- No OWF Figure 21
- Laine Figure 22
- Nearby OWFs Figure 23
- Laine with platforms Figure 24

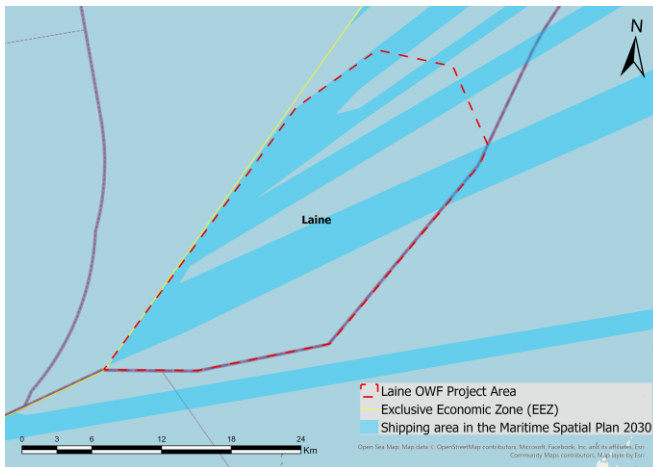


Figure 21. #0.S: No areas represent the case with no OWF.

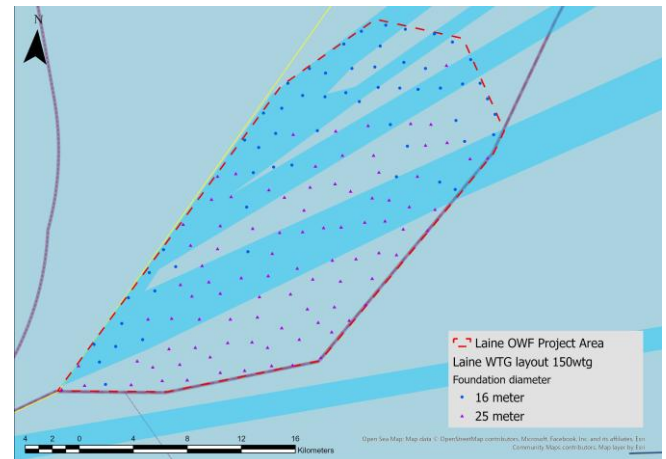


Figure 22. #1.S: Laine is represented by a layout with 150 WTGs. 57 WTGs have jacket structure with a width of 25 metres and are used where the waters deeper than 50 metres, and 93 WTGs monopiles with a diameter of 16 metres where the water is less than 50 metres deep. (The WTGs are enlarged in the figure to be visible).

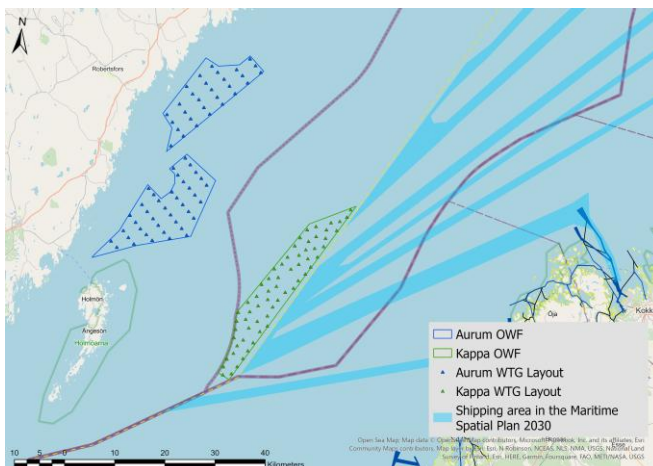


Figure 23. The reference risk for nearby OWFs is represented by analysis cases #0.S-UNC and #1.S-UNC where nearby OWFs (Kappa and Aurum) are represented with WTGs with a foundation diameter of $\varnothing=16$ m at sea level (The WTGs are enlarged in the figure to be visible). Traffic model UNC is used.

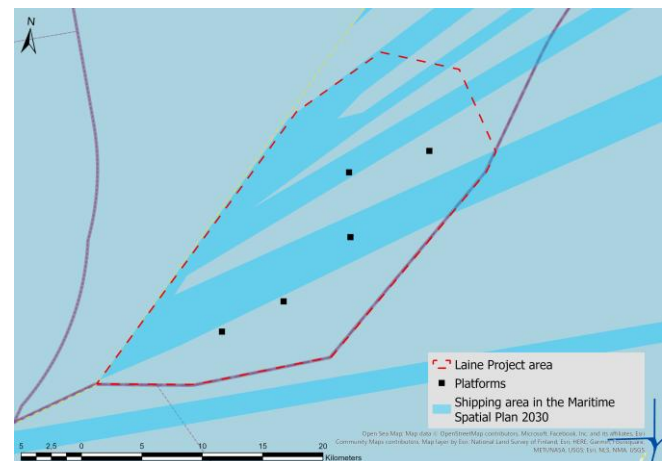


Figure 24. Platforms are represented by a layout with [5] rectangular areas of 100×250 m² in analysis case #2.S (The WTGs are enlarged in the figure to be visible). Traffic model EXPC is used.

Traffic models

Models of ship traffic for different scenarios are set up in IWRAP. The models include lateral distributions for the ships based on AIS data and assumptions about future traffic and are used to calculate frequencies for ship grounding, ship-ship collision and ship-WTG collision.

- Present traffic from AIS data (ZERO model)

The present traffic in the area, without an OWF, is modelled in IWRAP by defining legs that represent important ship routes in the area, see Figure 25 and Figure 26. Differences in traffic pattern for summer and winter conditions are modelled by varying legs and traffic volumes.

Routes that will not affect Laine due to long distance, and routes with less than 1 passage per day, are generally not modelled.

IWRAP summer model

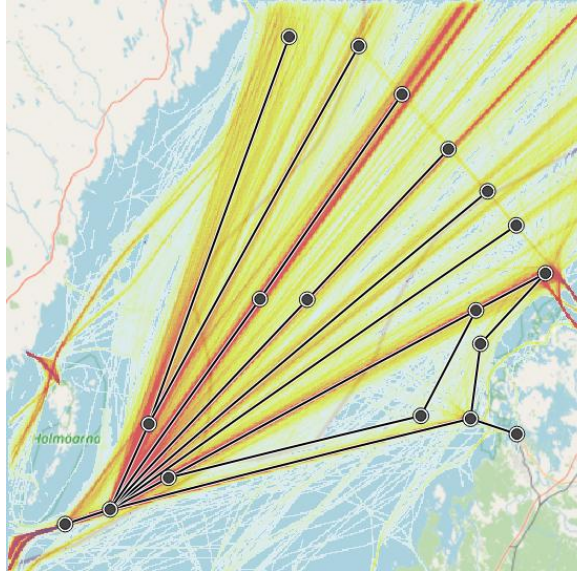


Figure 25. IWRAP model representation of current ship traffic, summer conditions. The density plot represents 2022 summer AIS data. The traffic distributions are modelled with curve fitting of AIS data from the period June 1st – December 31st, 2022.

IWRAP winter model

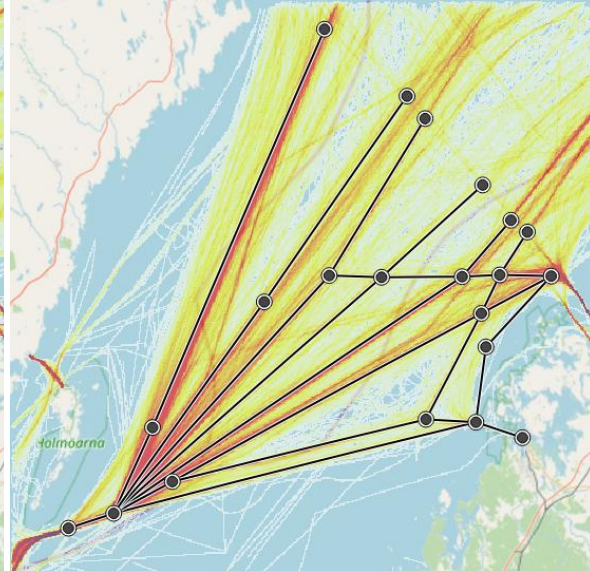


Figure 26. IWRAP model representation of current ship traffic, winter conditions. The density plot represents 2022 winter AIS data. The traffic distributions are modelled with curve fitting of AIS data from the period January 1st – May 30th, 2022.

- **Expected traffic after Laine establishment (EXPC model)**

Traffic through Laine project area is assumed to take new routes further north and south after OWF establishment. Differences in traffic pattern before and after windfarm establishment are modelled by varying legs and traffic volumes, based on the assumptions in (Sweco, 2023c), mainly achieved by relocating traffic from impacted legs to legs north and south (see Figure 27 and Figure 28). The "ZERO" state traffic volumes are modified to represent expected traffic after OWF establishment.

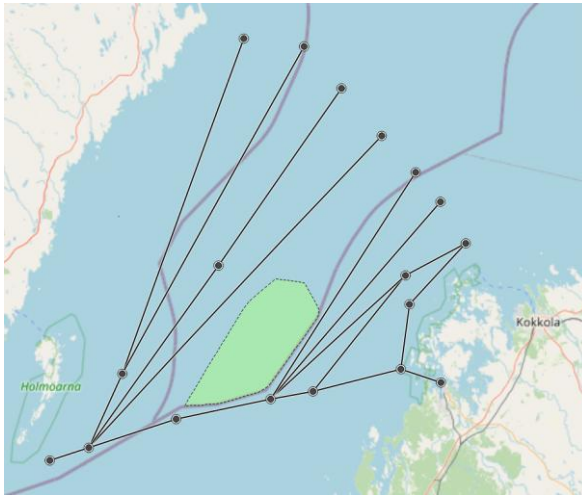


Figure 27. Expected traffic after Laine OWF establishment, summer conditions.

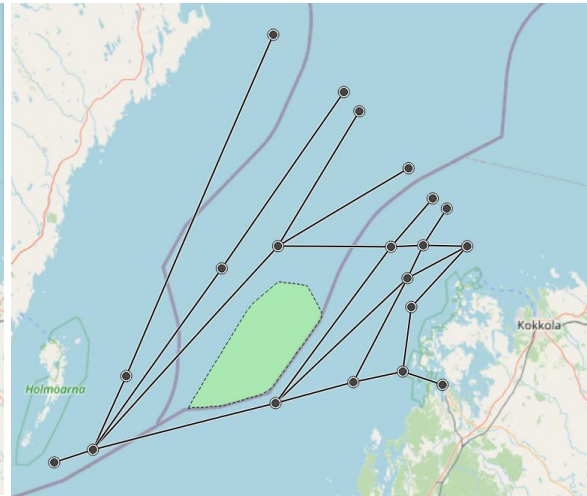


Figure 28. Expected traffic after Laine OWF establishment, winter conditions.

The lateral distributions within the legs that remain after OWF establishment are not assumed to change. Traffic passing along the eastern side of Laine is assumed to take routes far enough from the OWF to have manoeuvre space for a safety 360° turn.

- Traffic after establishment of nearby OWFs (UNC models)

The establishment of nearby OWFs (Kappa, Aurum North and South) will impact the risk profile for OWF Laine since traffic will take different routes than if no OWF or only Laine will be established (Figure 25 and Figure 27). This possibility is modelled as uncertainty analysis cases to study their impact. Differences in traffic pattern with and without nearby OWFs and with and without Laine (Figure 29 and Figure 30) are modelled according to description in the traffic analysis (Sweco, 2023c).

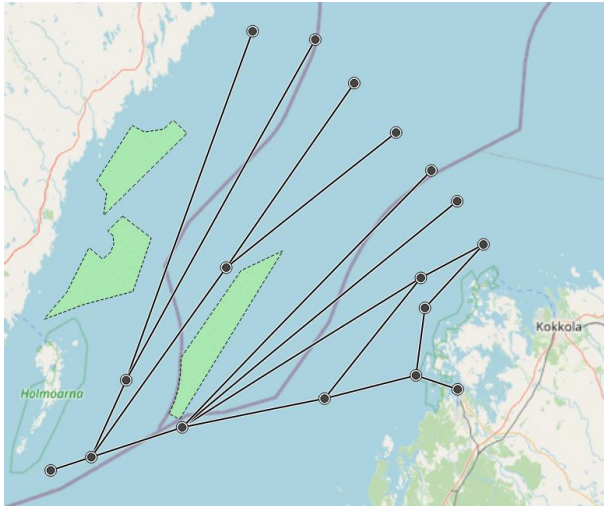


Figure 29. Expected traffic after establishment of nearby OWFs without Laine OWF, summer conditions.

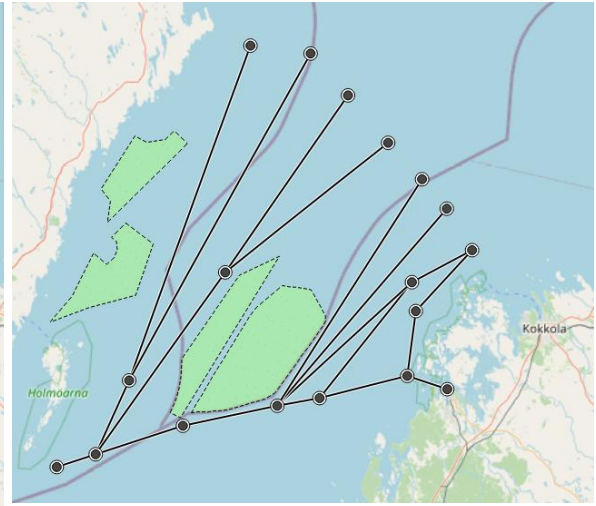


Figure 30. Expected traffic after establishment of nearby OWFs together with Laine OWF, summer conditions.

Sensitivity analysis

No sensitivity analysis is performed.

IWRAP result

Following section presents the calculated probabilities for grounding, collision, and ship collision based on the models in IWRAP. A result overview is found in Table 39.

Table 39. Results for grounding, collision and allision. Calculated accident frequencies for alternative ZERO (no OWF) and EXPC (Laine), summer and winter. Note that the frequencies are yearly probabilities. Considering that the risks are not relevant all around the year, the frequencies should be re-scaled accordingly.

Analysis case	Summer		Winter	
	No OWF (traffic model ZERO) 0.S	With Laine (traffic model EXPC) 1.S	No OWF (traffic model ZERO) 0.W	With Laine (traffic model EXPC) 1.W
Total Groundings	2.5E-01	2.4E-01	1.2E+00	1.3E+00
Powered Grounding	2.2E-01	2.1E-01	---	---
Drifting Grounding	3.1E-02	3.2E-02	1.2E+00	1.3E+00
Total Allisions	---	1.6E-03	---	3.8E-02
Powered Allision	---	2.1E-05	---	---
Drifting Allision	---	1.6E-03	---	3.8E-02
Total Collisions	2.1E-03	3.7E-03	---	---
Overtaking	5.8E-04	6.7E-04	---	---
Head-on	6.5E-04	1.1E-03	---	---
Crossing	1.9E-04	2.2E-04	---	---
Merging	4.0E-04	1.5E-03	---	---
Bend	3.2E-04	2.6E-04	---	---

The figures illustrated of grounding, allision, and collision (both legs and waypoints), further down in this liite, are represented by different colours/gradients. The colour/gradient for the relative difference of allision for different WTGs are represented in Figure 31, see also Figure 38 for example of how allision is presented. The colour/gradient for the relative difference of collision is also represented in Figure 31 and Figure 32, see also Figure 40 for example of how collision is presented. The colour/gradient for the relative difference of where grounding occurs is represented in Figure 32, see also Figure 34 for example of how grounding is presented.

Note that the colours/gradients in Figure 31 and Figure 32 are not relatable to the risk assessment criteria in section 1.2.3 in the main report. The colours/gradients in the figures are only a way to compare the relative frequency of grounding, allision, and collision separately. For example, to see which WTGs that have a higher or lower frequencies of being struck by a vessel.

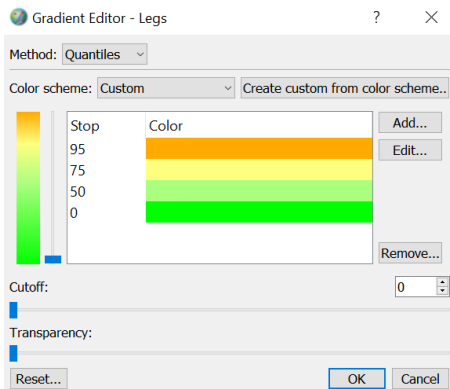


Figure 31. Color/gradient of allision and collision.

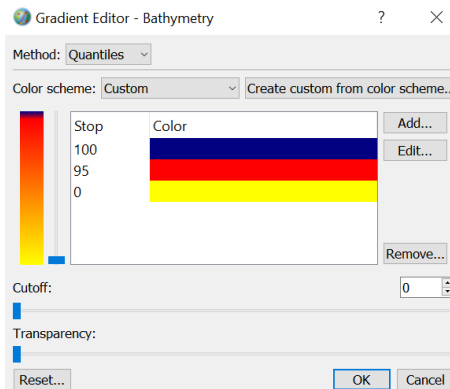


Figure 32. Color/gradient of grounding.

Grounding

Grounding makes up the highest accident frequency in the area. A major part of the frequency is powered grounding for vessels travelling close to the grounds around the Finnish and Swedish coastal areas, concentrated around the fairway to Jakobstad and adjacent shipping areas, see Figure 33. Drifting grounding stands for a smaller part of the frequency but drifting vessels can run aground all around northern Kvarken, see Figure 34.

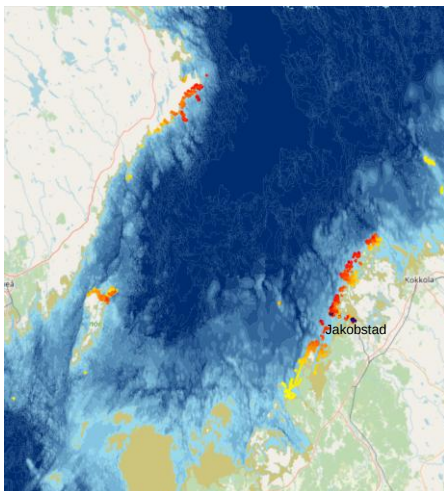


Figure 33. Powered grounding, with Laine (traffic model EXPC), summer conditions.

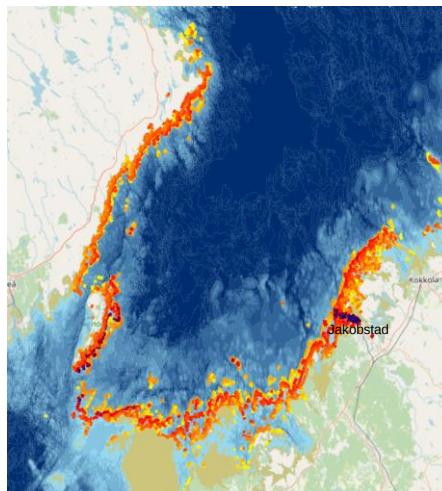


Figure 34. Drifting grounding, with Laine (traffic model EXPC), summer conditions.

The grounding frequency is quite constant during summer conditions before and after establishment of Laine (illustrated in Figure 35 and Figure 36). A small decrease in powered grounding frequency and a small increase in drifting grounding can be noted, resulting in a small total decrease (<1%) in overall grounding frequency.

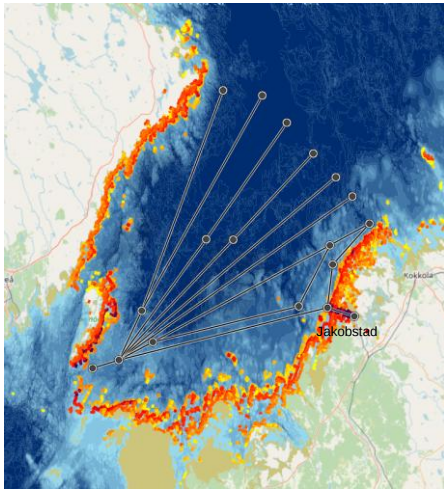


Figure 35. Total grounding result, no OWF (traffic model ZERO), summer conditions.

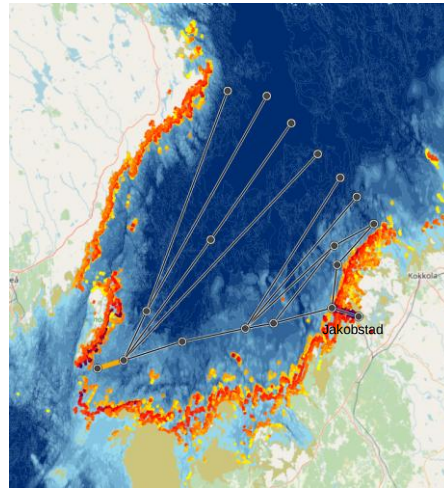


Figure 36. Total grounding result, with Laine (traffic model EXPC), summer conditions.

For winter conditions, the ice drifting grounding frequency is calculated. For the same reason as for summer conditions, establishment of Laine results in a non-significant reduction of grounding frequency.

The results for powered grounding are very sensitive to what assumptions that are made about the traffic south of the OWF, and the changes are within the uncertainty margins. The frequency of drifting grounding decreases with OWF establishment since traffic is assumed to take routes further south where the drift distance is generally longer before vessels run aground, considering the distribution of probable wind directions.

Allision (with WTG)

The frequency for a vessel to strike a WTG can be read from Table 39, analysis case 1.S. Note that the result represents the frequency if summer conditions would exist all year.

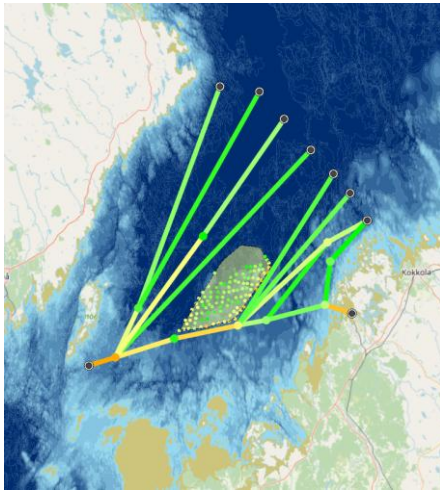


Figure 37. Powered allision, with Laine (traffic model EXPC), summer conditions.

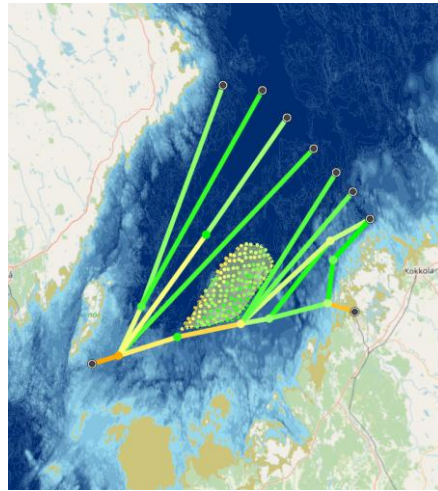


Figure 38. Drifting allision, with Laine (traffic model EXPC), summer conditions.

The results for powered allision are very sensitive to what assumptions that are made about at what distance vessels will pass the OWF. If the vessels are assumed to pass the OWF very closely, meaning that the distance from the vessels to the OWF is smaller than what most vessels need to complete an evasive manoeuvre (360° turn), the frequency for powered allision is much higher.

The WTGs on the western side of the OWF are more exposed to drifting allision, considering the most probable wind direction, and thus drift direction. Any OWF can however be struck by a drifting vessel.

Collision

When establishing the OWF, it is assumed that ships will take new routes and position themselves at greater distances from the OWF. For Laine, the probability of collision for ships in the area will increase since traffic will be more concentrated outside the OWF.

The probability of two vessels colliding in the area can be read from Table 40.

Table 40. Results collision frequency and difference without and with OWF.

Collision type [per year]	No OWF	Laine	Δf	$\Delta\%$
Overtaking	5.8E-04	6.7E-04	9.2E-05	16%
Head-on	6.5E-04	1.1E-03	4.0E-04	63%
Crossing	1.9E-04	2.2E-04	3.0E-05	16%
Merging	4.0E-04	1.5E-03	1.1E-03	272%
Bend	3.2E-04	2.6E-04	-6.1E-05	-19%
TOTAL	2.1E-03	3.7E-03	1.5E-03	73%

How different shipping areas and waypoints contribute to the result is indicated in Figure 39 and Figure 40. The southern shipping areas have the highest collision frequency, especially after OWF establishment when the traffic density in the southern shipping areas to Jakobstad is assumed to increase.

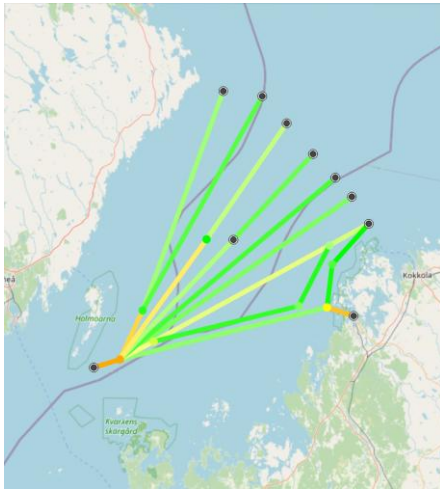


Figure 39. Total collision frequency, no OWF.

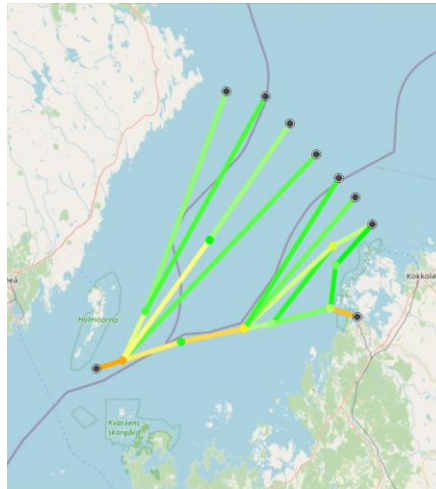


Figure 40. Total collision frequency, with Laine.

The increase in merging collision is most significant in both absolute and relative terms, resulting from vessels that need to round the southeast corner of the OWF.

Allision (with platform)

The yearly probability for a vessel striking a platform is found in Table 41 and illustrated in Figure 41.

Table 41. Calculated probability for a vessel to strike a platform. The total results correspond to the difference between analysis case 2.S and 1.S.

Platform	Powered allision [per year]	Drifting allision [per year]
5	9.1E-14	7.1E-05
4	3.4E-17	6.0E-05
3	2.2E-12	6.1E-05
2	4.9E-15	8.1E-05
1	1.1E-11	9.5E-05
TOTAL	<<1E-6	3.7E-04



Figure 41. Frequency for allision with platforms (summer conditions).

As indicated in Table 41, drifting allision makes up a major part of the result. The result is dominated by ships experiencing blackout in the shipping area south of the OWF and drifting northward.

The contribution from powered allision events is negligible.

Uncertainties and uncertainty analysis cases

The following sections describe the sources of uncertainty regarding data, parameters, programs and models that have been identified linked to the analysis.

Most of the uncertainties are known in the industry and are handled in a similar way (e.g. through uncertainty analysis cases), which ensures comparability between different OWFs and analyses. It can also be noted that the accidents reported for the area and reported in the main report are in line with the calculated frequencies, which indicates that the model result gives a good approximation.

The conclusion is that although there are many uncertainties, the overall results are robust and the calculated frequencies are judged to end up in the right range, although the numbers on the decimal place may be interpreted with some caution. For some choices in modelling, uncertainty analysis cases have been produced with the conclusion that the significance of most assumptions is small.

However, assumptions about changes in traffic patterns have a major impact on the likelihood that a manoeuvrable vessel will steer aground (powered grounding) or steer into a WTG (powered collision). However, the calculated frequencies for such events are small.

Parameters

In IWRAP, many assumptions are made, including probabilities of human error and malfunction on ships as well as conditions for repair and emergency anchoring. A selection of assumptions made is presented at the end of this document together with brief justifications for why they have been chosen.

For most values, the default settings in IWRAP have been used. Thus, IALA expert assessments are behind several choices made, which ensures that the right skills are behind the decisions and thus reduced margin of uncertainty. Using the default settings also means that industry standards are followed, which ensures that there is comparability between different studies. Where the default settings have been deviated from, this is reported and justified (see section *Assumptions and parameters in IWRAP* below).

Tests have been done to study the significance of the uncertainty of different assumptions in IWRAP. Several of the parameters are in direct proportion to the analysis results, which means that uncertainty about the parameters leads to just as much uncertainty in the result. The conclusion is that for those parameters that have a major impact on the result (such as *blackout frequency*), the impact strikes proportionally on all layouts. This means that even if the calculated absolute risk is associated with some uncertainty, the relative result is more reliable. For those parameters that have little impact on the result, the uncertainty is of little importance to the result.

AIS data

The information on vessel traffic on which the analysis is based, the AIS data, has a high time resolution (5 minutes) and is based on both satellite and terrestrial information. The uncertainty of the data on ships and their positions is therefore considered to be very low. Instead, the uncertainty is that the AIS data

lacks data on smaller, non-commercial traffic. The risk of accidents for and by merchant vessels and other large vessels is mainly analysed, and to a lesser extent the risk of accidents relating to fishing and recreational craft is studied. The routes of fishing and recreational craft are difficult to assess and predict. However, recreational craft and local fishing boats may disrupt commercial traffic and thus pose an indirect risk and may affect the ability of a larger vessel to make an evasive manoeuvre. The significance of the lack of data on the (Transportstyrelsen & Sjöfartsverket, 2009) movements of small boats is considered to be small, as it is heavy traffic that constitutes the primary threat in the nautical risk analysis.

Bathymetry

The probability of grounding has been calculated based on depth data from open sources, which have been processed and simplified for use as bathymetric layers in the IWRAP model. (NOAA, 2022) Based on this information, the probability of successfully anchoring a drifting vessel has also been calculated. The data lacks the level of detail needed to draw conclusions about how grounding occurs in individual locations and should only be seen as a knowledge base for understanding the overall risk profile.

IWRAP model

The results in IWRAP are sensitive to the definition of legs. Small variations in assumptions can have a major impact on results for powered *grounding* and *powered allision*. Therefore, great care has been taken to define legs so that their width and distribution match the traffic.

The results for overtaking collision and head-on collision are sensitive to curve alignment of the lateral distributions. Careful examination of the distribution functions is therefore carried out. However, the sum of the two collision types is more robust.

Traffic that does not follow established shipping routes (less than 1 passage per day) is excluded from the model.

The assumptions about the new routes that traffic across Laine is expected to take after the establishment of the OWF are a source of uncertainty. When the park is built, traffic is expected to move north and south, leading to a higher accident rate at the established crossings of the shipping routes, but a lower accident rate at the informal crossing points.

The result for powered grounding and powered collision are sensitive to how the model has been defined with respect to the width of legs. Regardless of this, frequency is estimated to be at low levels and thus make a small contribution to the overall accident frequency, which reduces the significance of this uncertainty.

Uncertainty analysis cumulative effects

Calculated accident frequencies for grounding, allision, and ship collision when nearby OWFs are considered versus not considered are given in Table 42 illustrated Figure 42, Figure 43, Figure 44, and Figure 45.

Table 42. IWRAP results for grounding, collision and allision with and without nearby OWFs.

Calculated accident frequencies for alternative ZERO (no OWF) and EXPC (Laine), summer conditions.

Analysis case	Baseline model		Uncertainty model: Cumulative effects	
	No OWF (traffic model ZERO) 0.S	With Laine (traffic model EXPC) 1.S	No OWF (traffic model ZERO) 0.S-UNC1	With Laine (traffic model EXPC) 1.S-UNC1
Total Groundings	2.5E-01	2.4E-01	2.4E-01	2.4E-01
Powered Grounding	2.2E-01	2.1E-01	2.1E-01	2.1E-01
Drifting Grounding	3.1E-02	3.2E-02	3.1E-02	3.1E-02
Total Allisions	---	1.6E-03	2.1E-03	2.8E-03
Powered Allision	---	2.1E-05	5.1E-04	3.1E-04
Drifting Allision	---	1.6E-03	1.6E-03	2.5E-03
Total Collisions	2.1E-03	3.7E-03	2.2E-03	2.0E-03
Overtaking	5.8E-04	6.7E-04	6.3E-04	6.3E-04
Head-on	6.5E-04	1.1E-03	8.5E-04	8.3E-04
Crossing	1.9E-04	2.2E-04	2.0E-04	1.4E-04
Merging	4.0E-04	1.5E-03	2.8E-04	1.9E-04
Bend	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	2.4E-04

The results show that the cumulative effects of several OWFs have no significant impact on the frequency of grounding.

The allision frequency increases with a higher number of OWFs. The cumulative effects from Laine, Aurum and Kappa are however not linear. While the drifting allision frequency increases with more OWFs, the traffic configuration with Laine, Kappa and Aurum leads to a reduction in powered allision frequency compared to only Kappa and Aurum.

The collision frequency depends on the assumed routes for each configuration of parks. Considering the cumulative effects of Laine, Kappa and Aurum together, the collision frequency decreases compared to the frequency without OWFs, mainly because crossing, merging and bend collisions decrease.

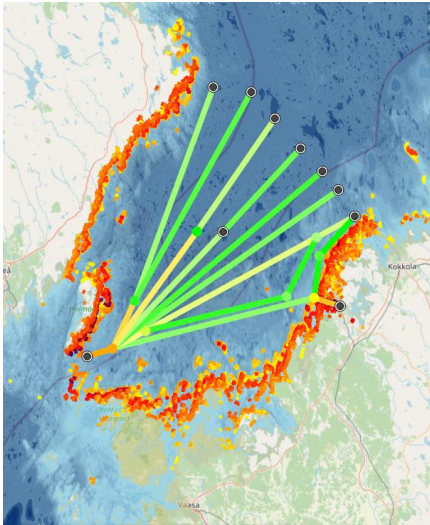
No nearby OWFs

Figure 42. Without Laine, without nearby OWFs (ZERO-S). IWRAP model representation of current ship traffic, summer conditions.

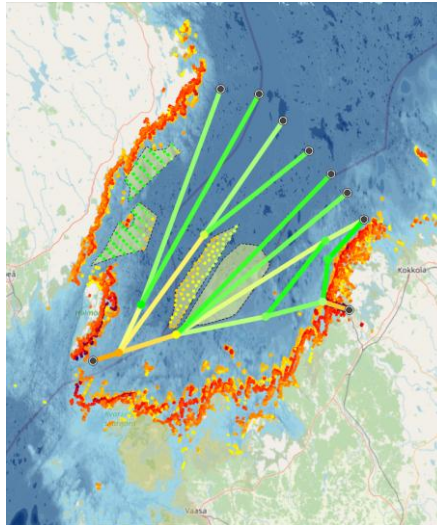
Aurum and Kappa

Figure 43. Without Laine, with nearby OWFs (ZERO-S-UNC). IWRAP model representation of expected ship traffic around Aurum and Kappa, summer conditions.

Laine, without nearby OWFs

Figure 44. With Laine, without nearby OWFs (EXP-S). IWRAP model representation of expected ship traffic around Laine, summer conditions.

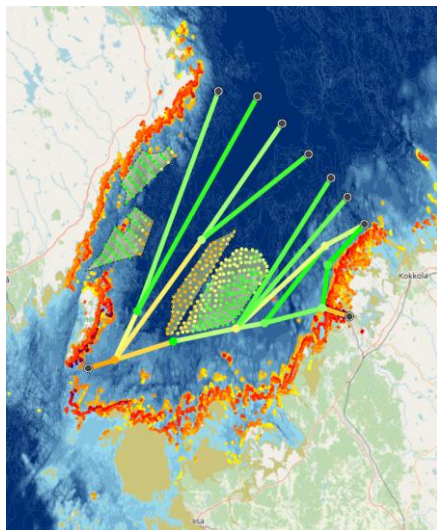
Laine, Aurum and Kappa

Figure 45. With Laine, with nearby OWFs (EXP-S-UNC). IWRAP model representation of expected ship traffic around Laine, Aurum and Kappa, summer conditions.

In conclusion, the cumulative effects of the establishment of several parks in the area do not entail any additional risks beyond those identified when analysing the parks individually.

Uncertainty analysis future traffic flows

The results are presented in Table 43 and can be summarized as follows:

- The probability of allision increases by 35% when traffic increases by 35%. This only applies if a park is established because the risk of allision does not exist without a park.
- The probability of grounding increases by 35% when traffic increases by 35%. This applies regardless of whether a park is established or not.
- The probability of collision increases by 82% when traffic increases by 35%. This applies regardless of whether a park is established or not.

The result is intuitive because grounding and allision are events that affect ships individually. The frequency is expected to be proportional to the amount of traffic, which the result also indicates. The probability of collision, on the other hand, involves two vessels. The frequency is therefore expected to increase proportionally to the square of the increase in traffic, which the result also indicates.

Table 43. Results for uncertainty analysis of future traffic volumes. Current traffic (2022) and 35% increase in traffic volumes. Probability per year with the energy park and the zero alternative, represented by analysis case 1.S (Laine, summer), and analysis case 0.S (no OWF, summer). The percentages in parentheses show the difference in results for a configuration when traffic increases by 35%.

	Traffic volumes 2022		Maximum traffic volumes 2040 (+35%)	
	No OWF	With Laine	No OWF	With Laine
	0.S	1.S	0.S-UNC2	1.S-UNC2
Grounding [per year]	2.5E-01	2.4E-01	3.3E-01 (+35%)	3.3E-01 (+35%)
Allision [per year]	-	1.6E-03	-	2.2E-03 (+35%)
Collision [per year]	2.1E-03	3.7E-03	3.9E-03 (+82%)	6.7E-03 (+82%)

The conclusion is that the increase in the number of collisions and groundings due to increased traffic flows is to be expected regardless of whether the energy park is built or not. The number of allisions depends on the assumption of future traffic volume where the frequency is directly proportional to the amount of traffic.

The risk for the different types of accidents (grounding, allision and collision) are not significantly affected by traffic change of this size (35%), as can be seen in Table 44. Since collision is the accident that increases most (82%) from traffic changes it is shown as an example for how it affects the risk with and without OWF. The risk for collision increases with less than 5%. This implies that grounding and allision will increase by even less than 5%, hence not presented in Table 44 or assessed further.

Table 44. Result for risk of collision for uncertainty analysis of future traffic volumes. Current traffic (2022) and 35% (2060) increase in traffic volumes. The percentages in parentheses show the difference in results for a configuration when traffic increases.

Risk health and safety	Traffic volumes 2022		Maximum traffic volumes 2060 (+35%)	
	No OWF	With Halla	No OWF	With Halla
	0.S	1.S	0.S- FuturTr	1.S-FuturTr
Collision [per year]	6.5	6.8	6.8 (<5%)	7.0 (<5%)

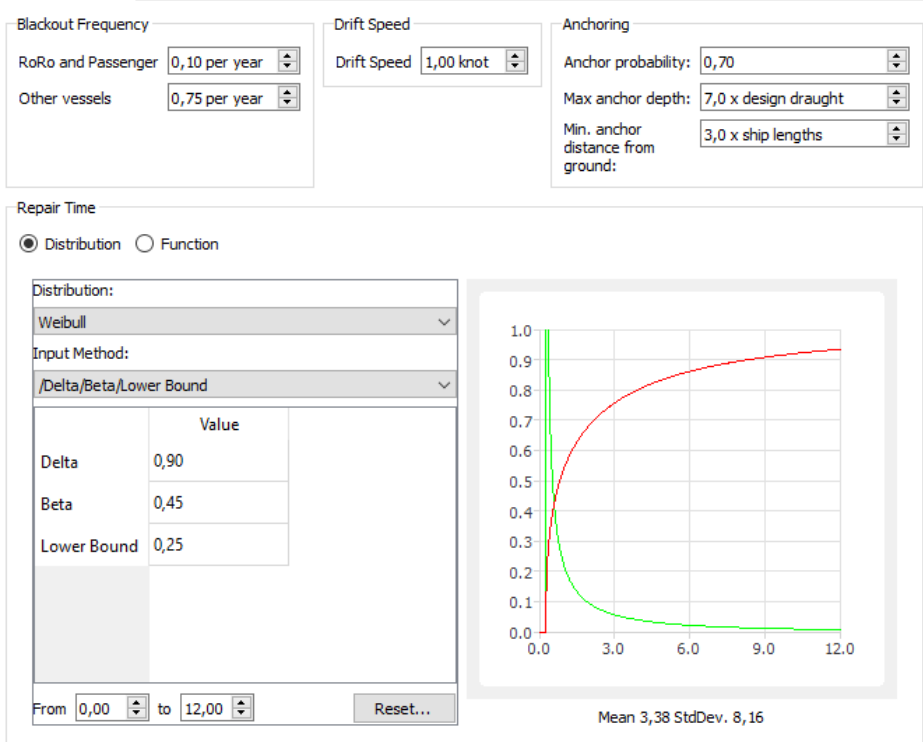
References

See main report.

Assumptions and parameters in IWRAP

- Drift parameters

In the analysis for summer conditions, IWRAP's default parameters are used for the probability that a ship will blackout or regain manoeuvrability*, see Figure 46.



Blackout Frequency

RoRo and Passenger: 0,10 per year

Other vessels: 0,75 per year

Drift Speed

Drift Speed: 1,00 knot

Anchoring

Anchor probability: 0,70

Max anchor depth: 7,0 x design draught

Min. anchor distance from ground: 3,0 x ship lengths

Repair Time

☒ Distribution ☐ Function

Distribution: Weibull

Input Method: /Delta/Beta/Lower Bound

	Value
Delta	0,90
Beta	0,45
Lower Bound	0,25

From 0,00 to 12,00

Reset...

Mean 3,38 StdDev. 8,16

Figure 46. Drift parameters in IWRAP (summer). The value of the parameters affects the probability that the ship will start drifting and how far it is drifting.

The drift speed is in reality determined by many parameters such as currents and wind speed. However in IWRAP is determined in accordance with IWRAP's default parameter values to maintain a constant drift speed of 1 knot.

For winter conditions, IWRAP's default parameters have been adjusted to reflect winter conditions. Blackout probability has been adjusted up by a factor of 2, which represents the probability of a ship getting stuck in the ice. Winter drift speed is set to 2 knots, see Figure 47. Repair and emergency anchoring are not credited.

* 30

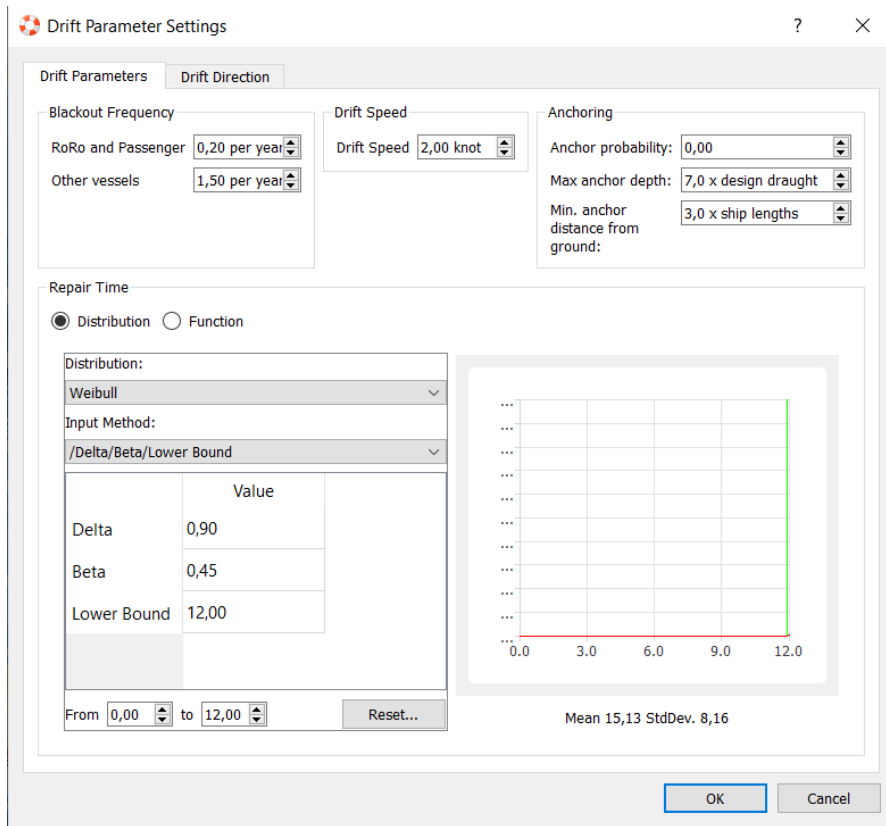


Figure 47. Drift parameters in IWRAP (winter). The value of the parameters affects the probability that ships will start drifting with the ice and how far it is drifting.

• Drift direction

The main report presents wind data for Laine. According to the data, the average wind speed in the region is 6.6 m/s and the prevailing wind direction is from the southwest. Consequently, the most likely drift direction for unmanoeuvrable ships is to the northeast. Figure 48 shows the drift direction set in IWRAP for both summer and winter. Each drift direction has a probability based on how often that drift direction has been observed in the wind data, and a maximum drift distance that is weighted against the average wind strength in the current drift direction.

The maximum drift distance is on average 50 km, which is considered very conservative. However, conservatism is compensated by the fact that the drifting speed in IWRAP can be somewhat low. According to a study reported in PIANC, 90% of vessels drift for an hour, resulting in an average drift distance of 1.7 M (just over 3 km) (PIANC, 2018).

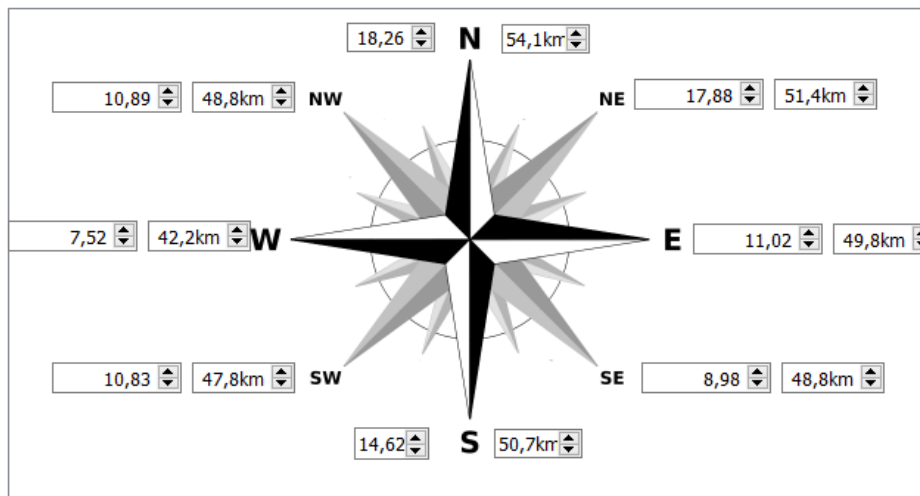


Figure 48. Drift direction with weighting of probability based on observation outcome and maximum drift distance. Note that the figure does not represent a wind rose but a "drift rose" where the direction of drift is the reverse of the wind direction. The values on the left indicate the probability that a ship drifts in that direction.

- **Causation factors**

IWRAP uses the default parameter values for all *causation factors*, i.e. the probability that an evasive manoeuvre will fail. The values are presented in Figure 49. The magnitude of the factors is derived by IALA, supported inter alia by expert judgements. See for a more detailed description of the derivation. (Engberg, 2019)

Status:

Default Causation Factors

Merging:	1,300 E-4	Powered Grounding, on route	1,600 E-4
Crossing:	1,300 E-4	Powered Grounding, no turn	1,600 E-4
Bend:	1,300 E-4	Drifting, grounding	1,000
Headon:	0,500 E-4	Powered Allision, on route	1,600 E-4
Overtaking:	1,100 E-4	Powered Allision, no turn	1,600 E-4
Area moving:	0,500 E-4	Drifting, allision	1,000
Area stationary:	0,500 E-4		

Default Causation Reduction Factors

Passenger Ship: Fast Ferry:

Mean Time Btw. Checks:

Figure 49. Default values of Causation Factors in IWRAP.

The analysis is made for summer and winter traffic, as the traffic pattern changes during the year. In winter, ice formations affect ship traffic. Ships that get stuck and drift with the ice into a WTG are modelled as a particular accident risk.

As described in the main report, traffic flow can be expected to increase by 35% by 2060. How such an increase affects the frequencies is studied with a sensitivity analysis.

In IWRAP, so-called legs are defined, which are distances along which traffic is modelled. Only the traffic represented in legs is included in the calculation of accident risks in IWRAP. For Laine OWF, legs are defined for ship routes and where the risk of accidents can be affected by the establishment of the park through, for example, changed traffic patterns or the risk of allision. Routes with fewer than 1 passage per day are not modelled as separate legs.

• Distribution

The lateral distribution of traffic in the shipping routes around Laine is assumed to follow a normal distribution in each direction. In IWRAP it is possible to make even more detailed curve adjustments. In the case of Laine OWF, deviations from the normal curve in the dataset are estimated to be temporary variations that are not part of future traffic patterns.

The lateral distributions are determined based on the traffic pattern, which means that they are defined independent of fairways and other traffic routes shown in charts. The lateral distributions for legs that go close to the OWF are assumed to be 1,900 meters from the WTGs as ships are not allowed to travel too close to an OWF³⁰. Traffic that currently passes through the OWF area is assumed to move north and south from Laine and position itself according to the current lateral distribution.

