

Merenkulun riskinarviointi Hallan merituulivoimapuisto

160 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

Yhteenveto muutoksista

Vers.	Päivämäärä	Kuvaus	Tarkastaja:	Hyväksyjä:
1	11.12.2023	Loppuraportti	Johan Nimmermark	Oscar Lindén

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

Sweco AB
Projekti
Projektin numero

Rek.nro 556542-9841
OX2/Navigointiriskien arviointi
25008228

Asiakas
Vers.

OX2
1

Kontrollerad av

Päivämäärä
Laatija:
Projektipäällikkö
Hankenumero

11.12.2023
Jens Paulsson ja Sara Hammar
Matti Lindgren
30046108

Godkänd av

Sisällysluettelo

1.	Johdanto	8
1.1	Tarkoitus	8
1.2	Tavoite	9
1.3	Menetelmä	9
1.4	Soveltamisala ja rajoitukset	13
2.	Kohteen kuvaus	15
2.1	Merituulivoimapuisto ja sen ympäristö	15
2.2	Laivaväylät ja liikennemallit	19
2.3	Merionnettomuudet	20
2.4	Tulevaisuuden liikenne	25
2.5	Turvaetäisyydet	26
3.	Vaaran tunnistaminen	30
4.	Esiintymistiheydet	33
5.	Seuraukset	35
6.	Riskianalyysi	37
6.1	Törmäys (aluksen törmäminen paikallaan olevaan kohteeseen)	37
6.2	Kahden laivan välinen yhteentörmäys	45
6.3	Pohjakosketus	52
6.4	Aluksen tutkahäiriö	54
6.5	Talviolosuhteet	60
6.6	Tuulivoimalasta putoavat tai lentävät esineet, jää mukaan lukien	62
6.7	Kaapelit	63
6.8	Kumulatiiviset vaikutukset	65
6.9	Riskimatriisi	65
7.	Riskinhallintatoimenpiteet	67
8.	Epävarmuusanalyysi	72
9.	Keskustelu	75
9.1	Aika-asteikko	75
9.2	Riski aluetta kohti	75
9.3	Törmäys	75
9.4	Yhteentörmäys	76
9.5	Pohjakosketus	76
9.6	Jäähän liittyvät riskit	77
9.7	Turvaetäisyydet	78
10.	Johtopäätös	79
11.	Viittaukset	81

Lyhenteet ja käsitteet

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 – 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 – siltaan, laituriin tai öljynporauslauttaan. 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
Väylä	Sisävesillä, sisämaassa tai lähellä rannikkoa kulkeva merireitti, jonka meriturvallisuuslaitteet osoittavat tai joka on merkitty karttaan tai merenkulkualan julkaisuun
FI	Taajuusindeksi eli onnettomuustiheyttä edustava luku (Maritime Safety Committee, 2018)
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
jalka	Purjehdussegmentti kahden reittipisteen välillä
M	Merimaili (1 852 metriä)
MW	Megawatti
OWF	Merituulivoimapuisto
Perustus	Keskus, jolla tuulivoimaloiden tuottama sähkö kerätään ja muunnetaan. Käsittää tyypillisesti muuntajia, kytkinlaitteita ja tarvittaessa vetyä ja 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)
Meriliikennealue	Merten aluesuunnittelussa merkittävät liikennealueet tunnistetaan merenkulkualueiksi. Merenkulkualueilla on keskeinen rooli merialueiden nykyisessä ja tulevassa käytössä (Maritime Spatial Plan 2030). Tässä raportissa termiä meriliikennealue käytetään merenkulkualueen synonyyminä.
TSS	Liikennejakojärjestelmä – alue, jolla vastaantuleva 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.)
Reittipiste	Viitepiste navigoinnissa; solmupiste IWRAPissa
WTG	Tuuliturbiinigeneraattori eli tuulivoimala

Yleistajuinen yhteenveto

Tässä raportissa tarkastellaan Hallan merituulivoimapuiston käyttöönoton yhteydessä mahdollisesti ilmeneviä tapahtumia, jotka voivat vaarantaa navigointiturvallisuuden ja siten ympäristön ja ihmisten turvallisuuden.

Hallan merituulivoimapuiston hankealue sijaitsee noin 60 kilometrin päässä Oulun rannikosta Pohjois-Pohjanmaalla. Hallan viereisellä alueella eri reiteillä kulkee pääsääntöisesti 1-3 alusta päivässä, ja laivaliikenne koostuu pääosin rahtialuksista. Talvisin Pohjanlahden meriliikenteen malleihin vaikuttavat jääolosuhteet, jotka vaativat jatkuvaa jäänmurtajatoimintaa ja alusten avustamista. Hallan merituulivoimapuiston käyttöönoton myötä navigointimallien oletetaan muuttuvan.

Vaarojen tunnistaminen suoritettiin HAZID-työpajassa (Hazard Identification workshop), merenkulun riskinarviointiin sisältyvien yleisten vaarojen lisäksi. Talviolosuhteiden vaarat todettiin HAZIDissa tärkeiksi.

Useita erilaisia tapausanalyysseja on suoritettu ja verrattu, ja painopisteenä on ollut analysoida sitä, miten riskitaso alueella muuttuu riippuen siitä, otetaanko käyttöön Hallan merituulivoimapuisto (ei oteta käyttöön = nollavaihtoehto). Riskitason muutosten kokoamisessa on painotettu tilannetta, jossa Hallan, Polargrundin ja Omegan merituulivoimapuistot kaikki otetaan käyttöön. Näin on toimittu siksi, että kaikkien kolmen puiston käyttöönotto merkitsee ylimääräisiä riskikohteita alueella sekä muuttaa navigointiolosuhteita, mikä puolestaan vaikuttaa liikennemalleihin ja ruuhkauttaa liikennettä kapeammalla reitillä.

Yhteensä 25 merivaaraa on tunnistettu, analysoitu ja arvioitu.

Hallan merituulivoimapuisto vaikuttaa Perämeren laivaliikenteen riskiprofiiliin seuraavasti:

- **Törmäys:** Hallan merituulivoimapuisto luo riskin tuulivoimaloihin ja perustuksiin törmäämiseen. Tämä riski on olemassa myös talviolosuhteissa, jolloin alukset voivat juuttua jäihin ja ajelehtia jään mukana.
- **Yhteentörmäys:** Yhteentörmäysriski kasvaa lähinnä siksi, että Hallan merituulivoimapuiston vuoksi suurempi määrä liikennettä alkaa käyttää Nordvalen – Kemi/Ajos -meriliikennealuetta, mikä johtaa useampiin yhteentörmäyksiin. Rakennusvaiheessa on myös riski törmätä satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa.
- **Pohjakosketus:** Hallan merituulivoimapuisto ei merkittävästi muuta ajelehtivan pohjakosketuksen riskiä, mutta moottoroidun pohjakosketuksen riski kasvaa.
- **Aluksen tutka:** Merituulivoimapuistot voivat aiheuttaa häiriöitä aluksen tutkassa.

- **Talviolosuhteet:** Merituulivoimapuistot voivat vaikuttaa jään muodostumiseen, mikä vaikuttaa talviliikenteen navigointiolosuhteisiin. Hallan 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, havaittiin seuraavasti:

- Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)
- Merituulivoimapuiston läpi kulkeva alus törmää tuulivoimalaan
- Rajallinen näkyvyys saa aluksen ohjaamaan päin tuulivoimalaa
- Yhteentörmäykset yhteensä (kaikki yhteentörmäystyytit)
- Etutörmäys
- Kääntymistörmäys
- Törmäys satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa
- Aluksen tutkahäiriö (kohteen menettäminen)
- Merituulivoimapuisto vaikeuttaa etsintä- ja pelastustoimintaa
- Merituulivoimapuisto vaikuttaa jään kertymiseen
- Merituulivoimapuisto tukkii talvimerenkulkureitit (pidemmät reitit, jotka johtavat pohjakosketukseen, yhteentörmäykseen ja törmäykseen)

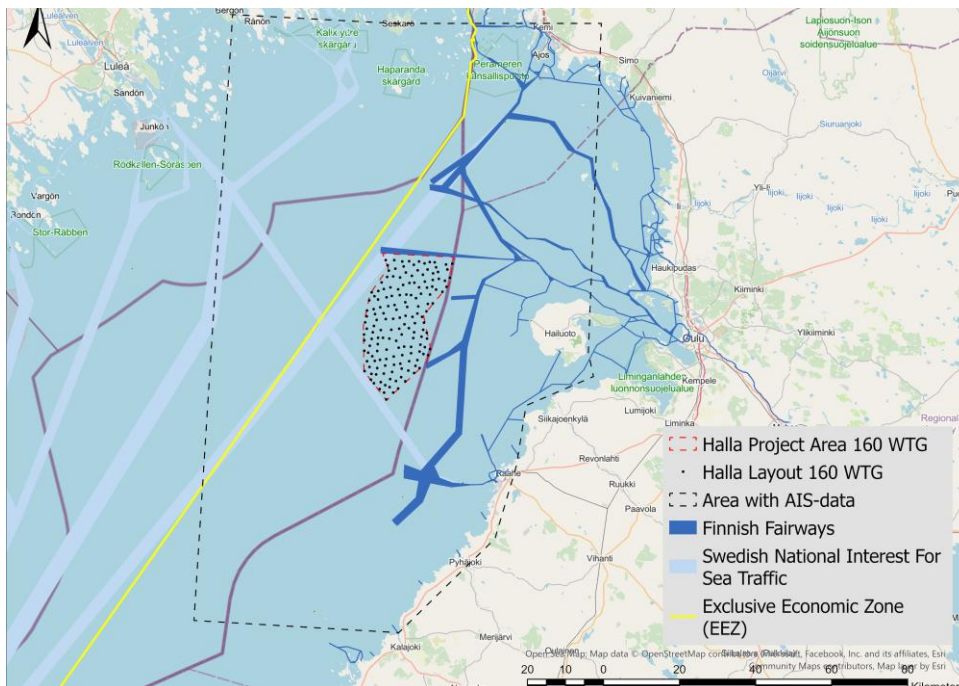
Tässä raportissa annetaan suosituksia riskinhallintatoimenpiteistä.

Yleinen johtopäätös on, että Hallan 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-riskeiksi*. Näin varmistetaan, että epävarmuustekijät eivät johda riskien aliarviointiin.

1. Johdanto

OX2 suunnittelee hakevansa lupaa Hallan merituulivoimapuiston rakentamiseen alueelle, joka sijaitsee noin 60 kilometrin päässä Oulun rannikosta Pohjois-Pohjanmaalla. Rannikon ja tuulipuiston välissä sijaitsee Hailuodon saari. Saari on noin 20 km päässä tuulipuistosta. Tuulipuistoalue on kooltaan noin 550-575 km² ja se on suunniteltu noin 120–160 tuulivoimalalle, joiden korkeus on enintään 370 metriä. Tämä raportti kattaa suuremman hankealueen, jonka pinta-ala on 575 km² ja johon sisältyy 160 tuulivoimalaa.

Kuva 1 alla kuvaa hankealueen.



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

1.1 Tarkoitus

Riskinarvioinnin tarkoituksena on analysoida, miten Hallan merituulivoimapuiston käyttöönotto vaikuttaa navigointiturvallisuuteen ympäristön ja ihmisten turvallisuus huomioiden.

Hallan merituulivoimapuiston käyttöönotonriskejä analysoidaan Traficom ja Väyläviraston aluesuunnitteluohjeiden perusteella (Traficom and Väylävirasto, 2023)¹.

1.2 Tavoite

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tunnistaa ja kuvata vaarat, joita voi ilmetä Hallan merituulivoimapuiston käyttöönoton yhteydessä ja jotka voivat haitata merenkulun turvallisuutta ja siten aiheuttaa riskin ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle. Painopiste on analysoida riskitasossa merituulivoimapuiston seurauksena tapahtuvaa *muutosta*.

Riskinarviointi kattaa tuulipuiston rakennusvaiheen, käyttövaiheen ja käytöstäpoistovaiheen.

Riskinarvioinnin rakenne noudattaa ohjausasiakirjoista ja kohdekohtaisista olosuhteista nousevaa kysymyksenasettelua. Raportissa noudatetaan seuraavaa kokonaisrakennetta:

- Kohteen kuvaus
- Vaaran tunnistaminen
- Riskinarviointi (riskianalyysi ja -arviointi)
- Riskinhallintatoimenpiteet
- Epävarmuusanalyysi
- Johtopäätökset

Kohteen kuvaus tarjoaa tiedot, joita käytetään vaarojen tunnistamisen perustana. Riskit ovat ei-toivottuja tapahtumia, joiden arvioidaan tapahtuvan jossain vaiheessa ja jotka voivat vaikuttaa navigointiturvallisuuteen, eli ihmisten turvallisuuteen, sekä ympäristöön. Tunnistettujen tapahtumien, merionnettomuuksia koskevien tietojen sekä merituulivoimapuistojen navigointilaitteille aiheuttamien seurausten perusteella arvioidaan seuraukset, joita tapahtumat voivat aiheuttaa, ja niiden toteutumisen todennäköisyys. Riski määritellään tietyn tapahtuman todennäköisyyden ja seurauksen yhdistelmänä. Arvioituista riskeistä ja mahdollisista riskinhallintatoimenpiteistä käydään keskustelua.

Riskinarvioinnin lähtötietoihin, kuten tilastoihin ja asiantuntija-arviointeihin, kohdistuu aina erityyppistä epävarmuutta. Tästä syystä kuvataan epävarmuustekijät, joita pidetään merkityksellisinä tämän analyysin kannalta ja miten ne voivat vaikuttaa tuloksiin.

1.3 Menetelmä

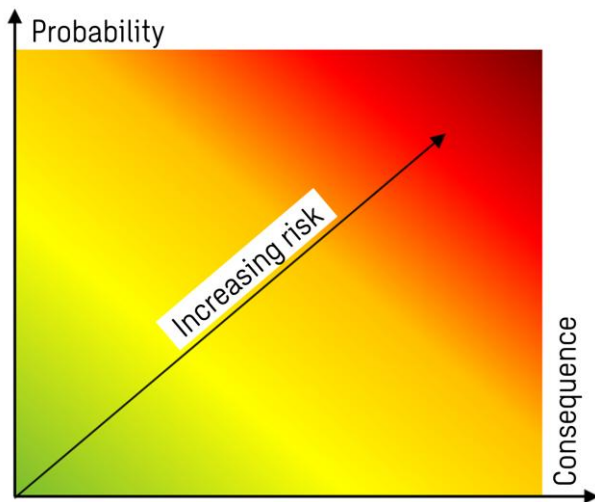
Merenkulun riskinarvioinnissa noudatetaan virallinen turvallisuuden arvioinnin (FSA) menetelmää, joka on kuvattu *Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process* (Maritime Safety Committee, 2018) -ohjeistuksessa. Raportissa ei kuitenkaan käsitellä mahdollisten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

¹ Merituulivoiman ja merenkulun sekä merenkulun infrastruktuurin yhteensovittaminen.

1.3.1 Riskin konsepti

Riskin määritelmä on ei-toivotun tapahtuman todennäköisyyden ja kyseisen tapahtuman seurauksen yhdistelmä. Todennäköisyys kuvaa tietyn tapahtuman esiintymistäajuutta, 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.

1.3.2 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 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. Esiintymistiheydet kvantifioidaan pääasiassa mallintamalla IWRAP Mk2 -ohjelmistossa². Sellaisten tapahtumien

² IWRAP on merenkulku riskianalyysien mallinnustyökalu, ja sitä käytetään arvioimaan yhteentörmäys-, pohjakosketus- ja törmäystaajuutta eri olosuhteiden perusteella.

esiintymistiheydet, 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 paikkakohtaisiin maantieteellisiin olosuhteisiin, aiemmin vastaavissa olosuhteissa tehtyihin tutkimuksiin, muuhun tutkimukseen ja saatavilla oleviin tilastoihin.

1.3.3 Riskinarviointikriteerit

Riskinarviointi suoritetaan käyttämällä riskimatriisia (Kuva 3), jossa kukin riski luokitellaan seurausten esiintymistiheyden ja vakavuuden perusteella logaritmisella asteikolla. Matriisi perustuu IMO:n ehdottaman FSA-metodologian osiin (Maritime Safety Committee, 2018). Luokitus tehdään käyttämällä skenaarioista saatavilla olevia tietoja, joita tuetaan arvioinnilla. Riskitaso lasketaan taajuusindeksin ja vakavuusindeksin summana. Tämän tyyppisiä matriiseja käytetään yleisesti merenkulun ympäristövaikutusten tai kolmansien osapuoliin (sivullisiin) kohdistuvien vaikutusten riskinarvioinnissa.

		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 navigointirisien arvioimiseksi. RI, Riski-indeksi³, 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

³ Riski-indeksi on taajuusindeksin (FI) ja vakavuusindeksin (SI) summa. Riski ilmaistaan yleensä todennäköisyys x seuraus, ja tässä tapauksessa riski-indeksi on todennäköisyys x seuraus -kaavan kymmenkantainen logaritmi.

toimenpiteisiin. Tämän tason riskeihin on puututtava ALARP-periaatteella (*As Low As Reasonably Practicable*). Keltaisiksi luokitelluissa skenaarioissa riskit on huomiotava huolellisesti ja ryhdyttävä kohtuullisiin riskinvähentämistoimenpiteisiin.

- **Vihreät** riskit (tapahtumat, joiden riski-indeksi on <5) arvioidaan hyväksyttäväksi. Vihreiksi luokitelluissa skenaarioissa riskitasoja pidetään niin alhaisina, että riskinhallintatoimenpiteitä ei tarvita.

Todennäköisyys on järjestetty esiintymistaajuusasteikon mukaan, katso Taulukko 1. Kuusisakarainen asteikko vaihtelee *äärimmäisen etäisestä* aina tapahtumien *todennäköisyyteen*. Asteikkoa käytetään yleisesti erilaisten tapahtumien luokitteluun merenkulussa ja se on myös IMO:n hyväksymä (Maritime Safety Committee, 2018).

Taulukko 1. Taulukossa esitetään tapahtumien järjestys, joka perustuu riskianalyyssissä tehtyyn esiintymistaajuuteen, ja se kuvastaa sellaisen tapahtuman odotettua todennäköisyyttä, joka voi vaikuttaa ympäristöön tai heikentää ihmisten turvallisuutta.

Indeksi (FI)	Esiintymistiheys	Esiintyminen	Määritelmä
6	Kerran vuodessa ($f=1$)	Todennäköinen	Tapahtumat, joiden odotetaan tapahtuvan vuosittain.
5	Kerran 10 vuodessa ($f=0,1$)	Kohtuullisen todennäköinen	Tapahtumat, joiden odotetaan tapahtuvan vuosittain, jos huomioidaan 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 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 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 10 000 merituulivoimapuistoa, eli tapahtumat, jotka voivat tapahtua kerran, kun huomioidaan kaikki maailman merituulivoimapuistot ja niiden koko elinkaari.
1	Kerran 100 000 vuodessa ($f=10^{-5}$)	Äärimmäisen etäinen	Tapahtumat, joiden ei odoteta toteutuvan.

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

Taulukko 2. Taulukossa esitetään tapahtumien järjestys, joka heijastaa seurauksen ympäristövaikutusten ja ihmisten turvallisuudelle aiheutuvien haittojen vakavuutta.

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.

1.4 Soveltamisala ja rajoitukset

Riskinarviointi kattaa meriliikenteen riskit merituulivoimapuiston rakennus-, käyttö- ja käytöstäpoistovaiheen aikana. Painopiste 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 vaarat analysoidaan. Analyysissä keskitytään tuulivoimaloihin ja vedyntuotantolaitoksiin.

Analyysin kohteena ovat lähinnä kauppa-aluksiin ja muihin suuriin aluksiin liittyvät onnettomuudet ja vähäisemmässä määrin kalastus- ja huviveneisiin liittyvät onnettomuudet. Merituulivoimapuiston työaluksista aiheutuvat riskit 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 huviveneet ja pienet kalastusalukset, jotka navigoivat vakiintuneiden reittien ulkopuolella tai tuulipuiston alueella.
- Muut kohteet kuin tuulivoimalat ja perustukset

Tähän raporttiin sisältyvät perustuksiin törmäämisten esiintymistiheydet. Vedyn aiheuttamien vaarojen riskinarviointi esitetään erillisessä Seveso-raportissa.

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

2. Kohteen kuvaus

2.1 Merituulivoimapuisto ja sen ympäristö

Hallan merituulivoimapuiston suunniteltu sijainti on noin 60 kilometrin päässä Oulun rannikosta Pohjois-Pohjanmaalla. Tuulipuisto on kooltaan noin 550–575 km², ja se on suunniteltu noin 120–160 tuulivoimalalle, joiden suurin korkeus on 370 metriä. Tämä raportti kattaa suuremman hankealueen, jonka pinta-ala on 575 km² ja johon sisältyy 160 tuulivoimalaa. Puistossa on tarkoitus käyttää pohjaan asennettuja kiinteitä merituulivoimaloita, joiden asennettu kapasiteetti on yhteensä noin 2,4 GW. Merituulivoimapuiston alueella käytetään myös vedyntuotantolaitoksia, putkistoja sekä merikaapeleita.

Suunnitelma ei noudata säännöllistä ruudukkokuviota (katso Kuva 1, sivu 8), 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.

Hallan merituulivoimapuiston lähellä olevalla alueella on useita suunniteltuja tuulipuistoja (ks. Kuva 4). Näiden tuulipuistojen kumulatiivisia vaikutuksia on tutkittu, ja niitä arvioidaan hankkeen ympäristövaikutusten arvioinnissa (YVA). Vain osalla niistä oletetaan (yhdessä Hallan kanssa) olevan kumulatiivisia vaikutuksia merenkulkuriskeihin, ja ne esitellään jäljempänä.

Polargrund Offshore (jäljempänä Polargrundin merituulivoimapuisto) on suunnitteilla, ja se sijaitsee noin 2,8 kilometriä Hallan merituulivoimapuistosta luoteeseen. Se on siis hanketta lähin merituulivoimapuisto. Huomaa, että tässä 160 voimalan Hallan merituulivoimapuiston suunnitelmassa kaksi Polargrundin tuulipuistoa lähimpänä olevaa tuulivoimalaa sijaitsevat Hallan luoteiskulmassa, noin 4,7 ja 5,8 kilometrin etäisyydellä. Nordvalen – Kemi/Tornio -väylä sijaitsee Hallan ja Polargrundin merituulivoimaloiden välissä ja on alueen eniten liikennöity väylä. Hallan ja Polargrundin merituulivoimapuistojen käyttöönoton oletetaan johtavan suurempaan liikennetiheyteen (enemmän liikennettä ja ruuhkautumista), koska tällä hetkellä merituulivoimapuistojen liikenneväylälle kautta kulkevan liikenteen on siirryttävä käyttämään tätä väylää sekä pidettävä turvallinen etäisyys merituulivoimapuistoihin. Näin ollen Polargrundin tuulipuiston kumulatiiviset vaikutukset sisällytetään merenkulkuriskien arviointiin.

Bothnia Offshore Omega (jäljempänä Omegan merituulivoimapuisto) on suunnitteilla, ja se sijaitsee noin 19 kilometriä lounaaseen Hallan merituulivoimapuistosta. Se sijaitsee myös lähellä Nordvalen – Kemi/Tornio -meriliikenneväylää, ja on mahdollista, että liikenne voi sen vaikutuksesta siirtyä lähemmäs Hallan merituulivoimapuistoa. Tällä hetkellä Omegan

merituulivoimapuiston kautta kulkevan liikenteen täytyy senkin käyttää Nordvalen – Kemi/Tornio -väylää, mikä lisää liikenneväylälle liikennettä. Näin ollen Omegan tuulipuiston kumulatiiviset vaikutukset sisällytetään merenkulkuriskien arviointiin.

Bores Krona 1, 2, 3 -merituulivoimapuisto on suunnitteilla, ja se sijaitsee noin 33 kilometriä Hallan merituulivoimapuistosta länteen. Bores Krona 1, 2, 3 -merituulivoimapuisto sijaitsee kaukana Hallasta, joten sen kumulatiiviset vaikutukset merenkulkuriskeihin arvioidaan vähäisiksi.

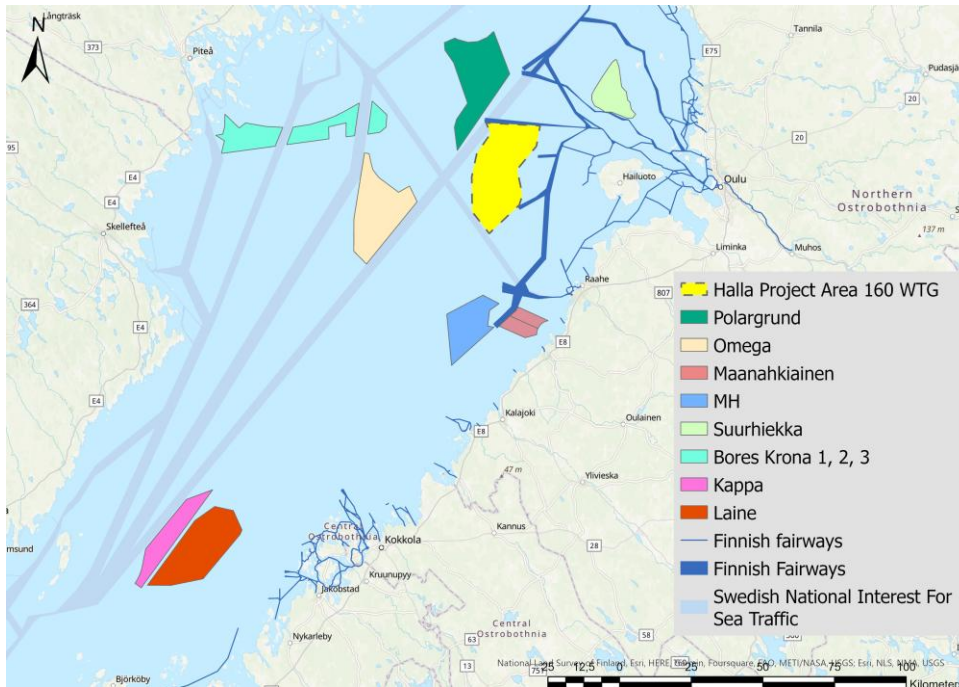
Suurhiekan merituulivoimapuisto on suunnitteilla, ja se sijaitsee noin 20 kilometriä Hallan merituulivoimapuistosta koilliseen. Suurhiekan ja Hallan välissä kulkee 3-4 väylää. Tällä hetkellä merituulivoimapuistojen alueen kautta kulkeva liikenne siirtyy puistojen käyttöönnoton jälkeen todennäköisesti käyttämään lähintä väylää alueen ulkopuolella. Koska väylät kulkevat merituulivoimapuistojen välillä, Hallan merituulivoimapuistosta johtuvien liikennemuutosten ei arvioida vaikuttavan Suurhiekan alueen merenkulkuriskeihin tai päinvastoin. Näin ollen Suurhiekan tuulipuiston kumulatiiviset vaikutukset arvioidaan merkityksettömiksi merenkulkuriskien osalta.

MH:n merituulivoimapuisto on suunnitteilla, ja se sijaitsee noin 20 kilometriä Hallan merituulivoimapuistosta etelään. Farstugrunden – Raahe -väylä sijaitsee MH:n ja Hallan merituulivoimapuistojen välissä. MH:n sijainnin ei odoteta vaikuttavan Farstugrunden – Raahe -reitin liikenteeseen merkittävästi, joten MH:n merituulivoimapuiston kumulatiiviset vaikutukset arvioidaan vähäisiksi merenkulun riskinarvioinnissa.

Maanahkiaisen merituulivoimapuisto on suunnitteilla, ja se sijaitsee noin 27 kilometriä Hallan merituulivoimapuistosta etelään. Maanahkiaisen merituulivoimapuisto sijaitsee lähellä MH:n merituulivoimapuistoa, mutta kauempana Hallan merituulivoimapuistosta. Näin ollen Maanahkiaisen tuulipuiston kumulatiiviset vaikutukset arvioidaan merkityksettömiksi merenkulkuriskien osalta.

Kapan merituulivoimapuisto on suunnitteilla, ja se sijaitsee noin 130 kilometriä Hallan merituulivoimapuistosta lounaaseen. Kapan merituulivoimapuiston

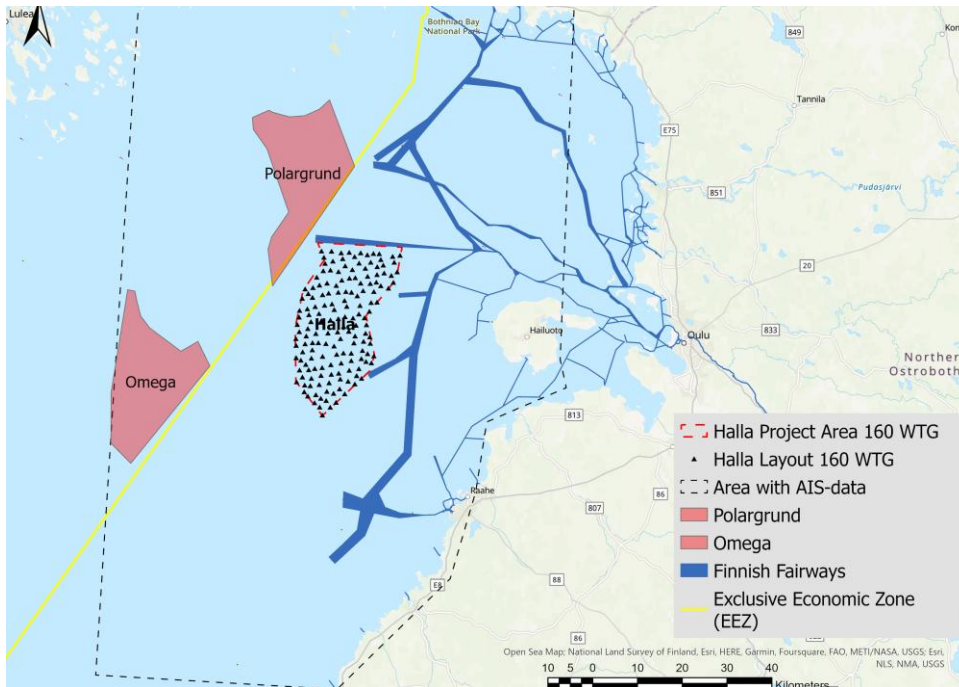
kumulatiiviset vaikutukset arvioidaan vähäisiksi merenkulun riskinarvioinnissa, sillä se sijaitsee kaukana Hallasta.



Kuva 4. Kartta, jossa näkyy Hallan hankealue ja lähellä olevat merituulipuistohankkeet (tämän meririskinarvion kannalta merkitykselliset).

Riskinarviointi alueelle, jolla AIS-tietoja kerätään. Alue on kooltaan noin 14 300 km², ja se esitetään alla olevassa kartassa (Kuva 5).

AIS-tietojen alueesta käytetään tästä lähtien nimitystä analyysialue.



Kuva 5. Kartta, jossa näkyy Hallan hankealue, lähellä olevat merituulipuistohankkeet (tämän meririskinarvion kannalta merkitykselliset) ja alue, josta on AIS-tietoja, analyysialue.

Alueen vallitseva tuulensuunta on etelä-lounas (SSW), ja keskimääräinen tuulennopeus on 6,8 m/s. Hankealueen pohjoisosan keskimääräinen veden syvyys on noin 53 metriä ja sen ympärillä on syvempiä alueita pohjoisempaan Pohjanlahden suunnassa. Keskimääräinen veden syvyys hankealueella on keskimäärin 31 metriä, ja syvyys on suurempi länsiosissa ja matalampi itäosissa. Tarkempi kuvaus tuuliolosuhteista ja veden syvyysolosuhteista, katso Liikenneanalyysi: Merituulivoimapuisto, Halla (Sweco, 2023a).

2.1.1 Jääolosuhteet ja jäänhallinta

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

Yleisesti ottaen Hallan hankealueen läheisyydessä jääolosuhteet ovat sellaiset, että ajojää on yleistä ja ajoittain esiintyy ahtojäävalleja, joita on Väyläviraston mukaan vaikea murtaa ja jotka muodostavat esteen merenkululle (Finnish Transport Infrastructure Agency, 2023). Seuraavassa riskianalyysissä analysoitu jäätälvi 2021–2022 oli leuto jäätälvi, mutta se kesti Pohjanlahdella tavallista kauemmin. Jääpeitteen ulottuvuus oli laajimmillaan 4.2.2022, jolloin jään pinta-ala oli 93 000 km². Lisätietoja jäätälvista ja erityyppisistä jäistä on kohdassa Liikenneanalyysi: Merituulivoimapuisto, Halla (Sweco, 2023a).

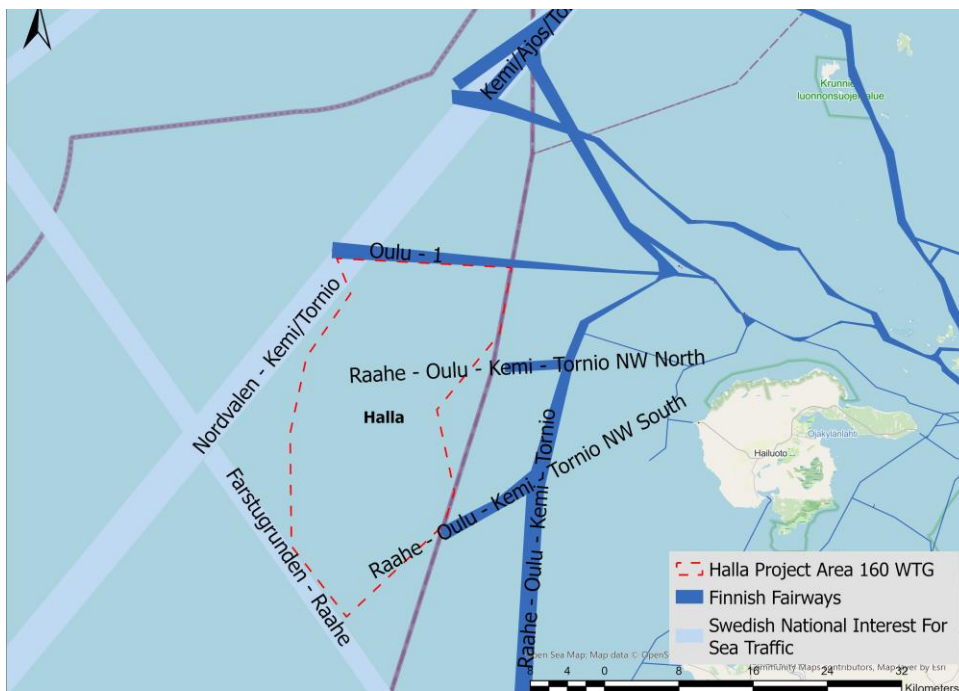
Alukset ovat usein riippuvaisia jäänmurtajan avusta. Jään kertyminen ja jääpeite talvi- ja kevätkausina pakottavat alukset usein kulkemaan eri reittejä kuin jäättöminä kaucina. Erityyppiset jääpeitteet voivat myös vaikuttaa meriliikenteeseen eri tavoin. Ankarissa sääolosuhteissa jäänhallinnalla on tärkeä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

Jäänmurtajien fyysinen jäänhallinta mahdollistaa toiminnan turvallisuuden koko jääkauden ajan. Jääseuranta ja lähialueiden jääolosuhteiden arviointi antavat

ratkaisevaa, päätöksentekoa tukevaa tukea jäänmurtajien toiminnalle⁴. Alueella toimivat jäänmurtajat ovat siten edellytys merenkulun jatkuvuudelle ja turvallisuudelle alueella ja siis jo käytössä oleva riskinvähentämistoimenpide Hallan ympäristössä⁵.

2.2 Laivaväylät ja liikennemallit

Suunniteltua merituulivoimapaistoa ympäröivät useat liikenneväylät (katso Kuva 6). Hankealueen pohjoisreunalla kulkee Oulu 1 -väylä. Pohjoisempaan kulkee Kemi/Ajos/Tornio, joka johtaa Nordvalen – Kemi/Tornio -väylälle (Ruotsin kansallisen meriliikenneintressin mukaisesti tunnustettu), joka kulkee myös suoraan hankealueen vieressä luoteessa. Hallan merituulivoimapaistosta lounaaseen kulkee Farstugrunden – Raahe -laivaväylä (jonka myös Ruotsin kansallinen meriliikenneintressi tunnustaa). Hailuodon ulkopuolella ja Hallan hankealueen itäpuolella Raahe-Oulu-Kemi -väylät kulkevat luoteen suunnassa.



Kuva 6. Kartta Hallan hankealueen viereisistä liikenneväylistä.

Lisäksi Traficomin mukaan Hallan merituulivoimapaiston läpi kulkee ns. luotsausreitti, jolla ei kuitenkaan ole julkista kulkuoikeutta (Traficom, 2022a). Koska se ei ole vakiintunut yhteys, Kuva 6 yllä ei kuvaa sitä. Luotsausreitti on tarkoitettu syväykseltään suurimpien aluksien luotsaamiseen, koska alueen vedensyvyys on varmistettu.

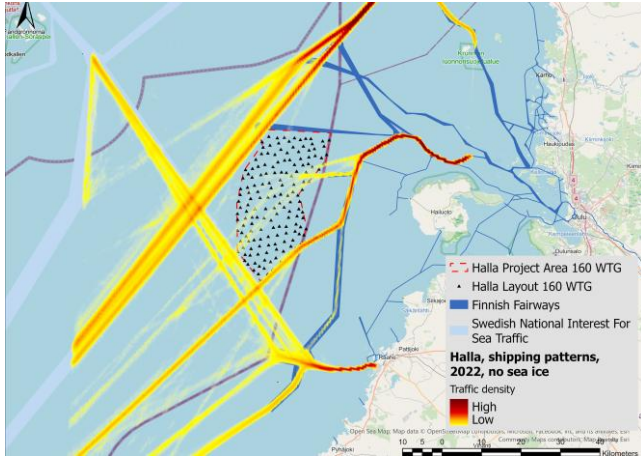
Alueen meriliikennettä analysoidaan Hallan merituulivoimapaiston liikenneanalyysissä (Sweco, 2023a). Liikenneanalyysi osoittaa, että analysoitavan

⁴ 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.

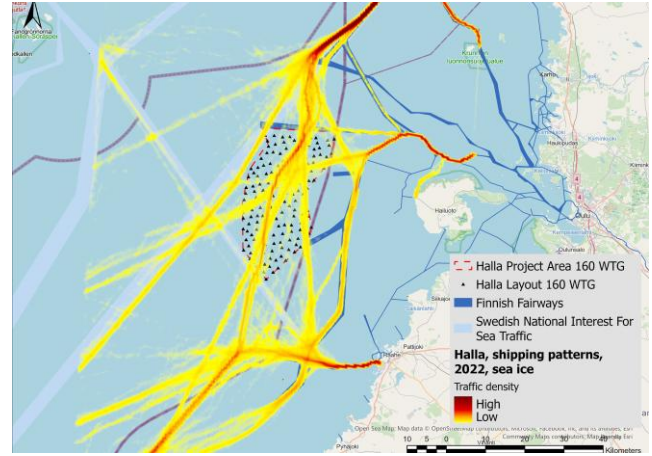
⁵ Markku Mylly, Merikapteeni / Turvallisuus,⁷lokakuuta 2023.

alueen liikenneväylillä kulkee suhteellisen vähän aluksia, yleensä noin 1–3 alusta päivässä kullakin liikenneväylällä.

Liikenneanalyysissä käytetyt AIS-tiedot ovat vuodelta 2022. Kuva 7 ja Kuva 8 alla kuvaavat liikennemalleja vuonna 2022 jäätömien ja merijääkuukausien aikana.



Kuva 7. Lämpökartta liikennemalleista Hallan ympärillä jäätöminä kuukausina (1.6.2022 – 31.12.2022).



Kuva 8. Lämpökartta liikennemalleista Hallan ympärillä merijääkuukausina (1.1.2022 – 31.5.2022).

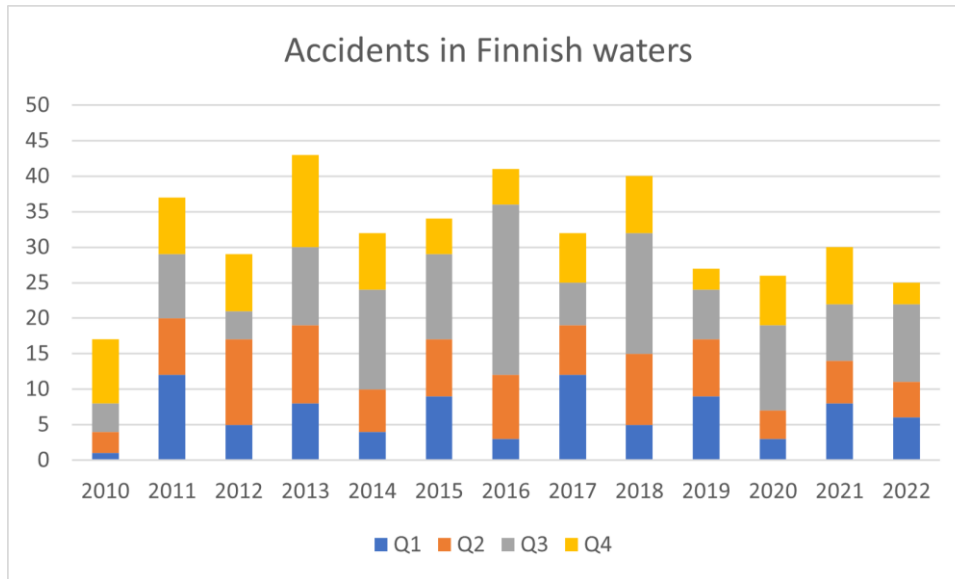
Hallan merituulivoimapuiston käyttöönoton myötä hankealueen läpi kulkeva liikenne vaihtaa useimmissa tapauksissa oletettavasti reittiin, joka kulkee hankealueen ulkopuolelle. Näin ollen riskimallinnuksessa hankealueen sisäistä liikennettä siirretään hankealueen ulkopuolisille liikenneväylille. Etelä-pohjoissuunnassa kulkeva epävirallinen luotsausreitti siirtyy Nordvalen – Kemi/Tornio -väylälle ja Raahe – Oulu – Kemi – Tornio NW North -reittiä kulkeva liikenne siirtyy Raahe – Oulu – Kemi – Tornio NW South -reitille.

Lisätietoa alueen liikenneolosuhteista ja -malleista löytyy liikenneanalyysistä (Sweco, 2023a).

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 Kuva 9 havainnollistaa. Yhteenvedon mukaan Suomen vesillä sattui vuosittain keskimäärin 25–43 merionnettomuutta, joihin ei lasketa mukaan kuolonuhreja vaatineita onnettomuuksia. Vuotuinen

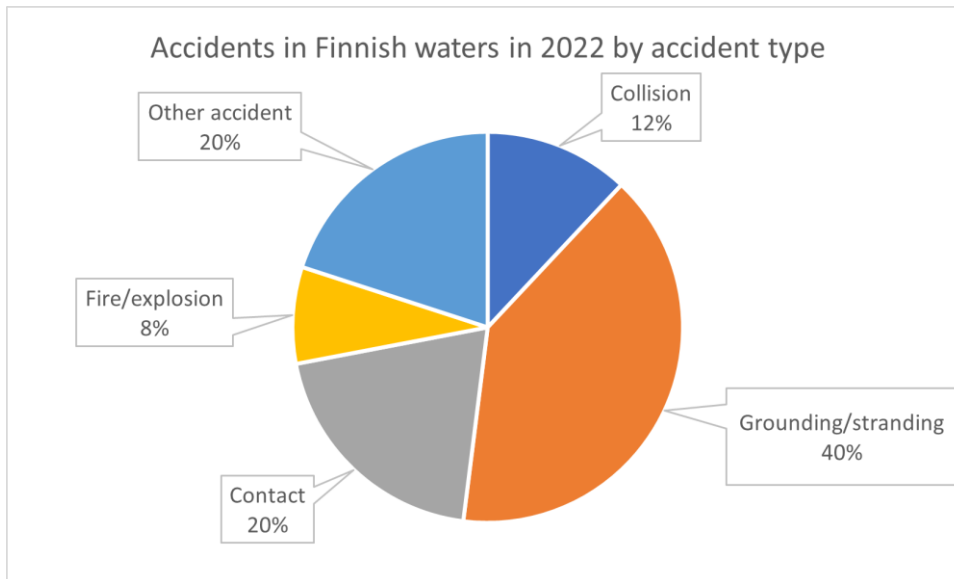
vaihtelu on suurta mutta satunnaista, eikä sitä siksi pidä nähdä merionnettomuuksien aiheuttajana.



Kuva 9. Kuvassa näkyvät Suomen vesillä vuosina 2010–2022 tapahtuneet onnettomuudet. Luvun tiedot on otettu Traficomilta (2023a).

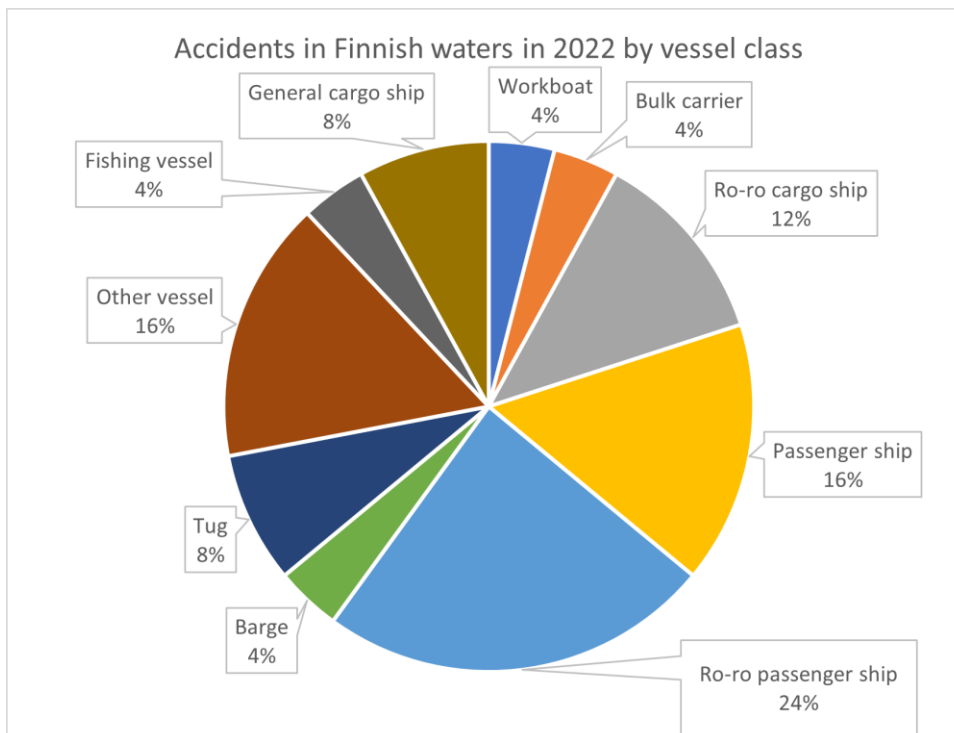
Esitetyt onnettomuudet ovat pohjakosketus/karilleajo, yhteentörmäys, kosketus, tulipalo/räjähdykset ja muut onnettomuudet. Kauden aikana yleisimmät tapaturmatyypit ovat pohjakosketus/karilleajo, ja määrä on pysynyt yleisesti samana vuodesta toiseen.

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 10 havainnollistaa Suomen vesialueilla vuonna 2022 sattuneita onnettomuuksia onnettomuusluokittain.



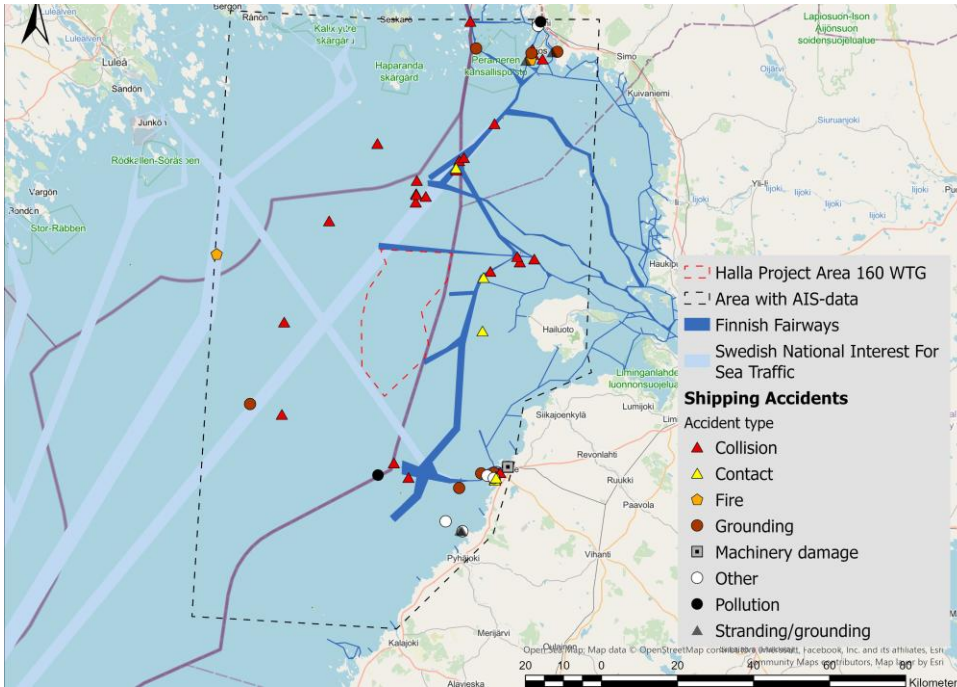
Kuva 10. Kuvassa näkyvät Suomen vesillä vuonna 2022 sattuneet onnettomuuden onnettomuustyypeittäin.

Suurin osa Suomen vesillä tapahtuneista onnettomuuksista koski ro-ro-matkustaja-aluksia (24 %), matkustaja-aluksia (16 %), muita aluksia (16 %) ja ro-ro-rahtialuksia (12 %). Kuva 11 alla esittää Suomen aluevesillä vuonna 2022 tapahtuneet onnettomuudet alusluokittain.



Kuva 11. Kuvassa näkyvät Suomen aluevesillä vuonna 2022 tapahtuneet onnettomuudet alusluokittain.

HELCOM (2022) esittää Itämeren onnettomuustilastot ajalta 1989 vuoden 2020 loppuun. Hallan analyysialueella (eli samalla alueella, jolla AIS-tiedot kerättiin) raportoitiin ajanjaksolla 60 onnettomuutta. Kuva 12 seuraavalla sivulla esittää vuoden 2022 onnettomuustyyppit ja niiden sijainnit. Onnettomuudet eivät ole keskittyneet tietylle alueelle, mutta tapahtuvat pääosin meriliikennealueita tai niiden lähellä, esimerkiksi Kemi/Ajos/Tornio -väylän ja satamien läheisyydessä. Analyysialueella 29 raportoiduista onnettomuuksista on yhteentörmäyksiä ja 7 raportoiduista onnettomuuksista pohjakosketuksia.



Kuva 12. Hallan hankealueen läheisyydessä kirjatut onnettomuudet 1989–2020, yhteensä 60 onnettomuutta. Alue, jolta onnettomuustilastot on koottu, on merkitty mustalla katkoviivalla. Onnettomuudet on jaettu eri tyypeihin. Tiedot saadaan HELCOMilta (2022).

2.3.1 Merionnettomuudet merituulivoimapaistoissa

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, merituulivoimapaistot mukaan lukien. Luettelo ei ole kattava.

Taulukko 3. Onnettomuudet, joissa mukana meriliikennettä ja tuulivoimala

Tapahtuma	Kuvaus	Seuraus ihmisten turvallisuudelle	Seuraus ympäristölle
Työalus törmäsi puistossa tuulivoimalaan (MAIB, 2013)	21.11.2012 Henkilöstöalus Island Panther navigoi 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 (aivotärhdys, käsivarren murtuminen, lasin rikkoutumisen aiheuttamat vammat, leukavammat, rinta- ja selkävammat)	Vaurioita keulassa ja perässä, 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 Perustuksille 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 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 törmäsi Perustuksen nostimeen. Alus oli ajalehtinut 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 raportoitu.
Navigoivat alukset törmäsivät tuulivoimalaan (BSU:n, Saksan merionnettomuustutkintaviraston tutkinnan kohteena)	5.4.2023 Rahtialus Petra L. ohjasi 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 Tulevaisuuden liikenne

Traficom toteaa kansallisten liikenne-ennusteiden raportissaan (Traficom, 2022b), että meriliikenteen odotetaan kasvavan. Traficom on tuottanut ennusteita vuoteen 2060 asti. Ulkomaisen meriliikenteen vuoden 2060 ennusteiden mukaan Suomen meriliikenteen kokonaisvienti on vuoteen 2060 mennessä 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 tulevalle tuonnilla. Tämän jälkeen kokonaistuonnin odotetaan vähenevän muun muassa raakaöljyn tuonnin vähenemisen vuoksi. Liikenne-ennusteiden lähtökohtiin liittyy kuitenkin merkittäviä epävarmuustekijöitä toimintaympäristön suurten muutosten vuoksi.

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

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

Kuten liikenneanalyysissä todetaan (2023a), Hallan merituulivoimapuiston käyttöönotto johtaisi joihinkin muutoksiin liikenteessä ja malleissa. Mahdolliset skenaariot voisivat merkitä sitä, että entistä enemmän liikennettä keskittyy Nordvalen – Kemi/Tornio -reitille ja Raahe – Oulu – Kemi/Tornio NW South -reitille.

Edellä mainitut tiedot huomioon ottaen on todennäköistä, että Hallan 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.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan tulevaa alusliikennettä kahdella tavalla:

- Esiintymistiheydet 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 kauttakulkua säännellään Yhdistyneiden kansakuntien merioikeusyleissopimuksessa (UNCLOS) (United Nations, 1994). 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".

UNCLOSin lisäksi on olemassa myös meriteiden säännöt eli kansainväliset säännöt yhteentörmäämisen ehkäisemiseksi merellä (COLREG)(IMO, 1972). 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.

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

PIANC on maailmanlaajuinen organisaatio, jonka kehittämällä suosituksilla tähdätään vastuulliseen liikenteeseen merellä ja muilla vesiväylillä (PIANC, 2023). PIANCin määritysten mukainen etäisyysuositusten ja tilavaatimusten varovainen arviointi voidaan saavuttaa hahmottelemalla niille suositukset ja esittelemällä avovedessä käytettävissä oleva liikkumatila. Talvella jääolosuhteiden vallitessa viranomaiset voivat asettaa erityisiä liikennerajoituksia. Jääolosuhteista riippuen Väylävirasto soveltaa jäänmurtaja-apuun oikeutettuihin aluksiin koko- ja jääluokkarajoituksia (Traficom & Swedish Transport Agency, 2019). Lisäksi Traficom sulkee meriliikennelain perusteella talvikaudella tiettyjä väyliä varmistaakseen liikenneyhteydet saaristossa silloin, kun väylät ovat jään peitossa. (Traficom, 2023b). Turvaetäisyyksistä jääolosuhteissa ei kuitenkaan ole annettu virallisia ohjeita tai suosituksia.

Raportissa *MarCom Wg 161: Interaction Between Offshore Wind Farms and Maritime Navigation* (2018) PIANC esittää suosituksia turvallisista etäisyyksistä tuulipuistoihin. Suositukset perustuvat muun muassa COLREGiin ja sen sääntöihin, jotka koskevat turvallista läpikulkua merellä. Turvaetäisyysuositusten laatimiseen on kaksi menetelmää:

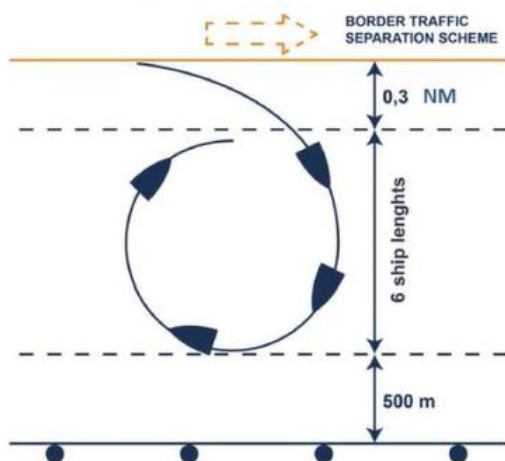
- Konseptisuunnittelu, joka tarjoaa varovaisen suosituksen tuulipuistojen ja alusten välisestä turvaetäisyydestä.
- Yksityiskohtainen suunnittelu, jossa turvaetäisyyttä voidaan mahdollisesti muuttaa syvällisen meririskianalyysin jälkeen.

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 komplikaatioiden

varalta varovainen arvio ohjausetäisyydestä on noin 6 aluksen pituutta. Lisäksi tuulipuistolle 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 13, missä d on lyhin suositeltu 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 13 havainnollistaa etäisyyden. Jos kyseessä on TSS, on selvää, mistä etäisyys on mitattava. Tätä ei kuitenkaan ole määritelty merenkulun kansallisille eduille tai liikenneväylille, joilla ei ole TSS:ää.



Kuva 13. Kuva TSS:n ja merituulivoimapuiston välisestä etäisyydestä PIANCin mukaisesti (pyöreä käänös tyyrpuurin puolelle) (PIANC, 2018).

PIANC antaa esimerkkejä siitä, kuinka leveä liikenneväylä voisi olla. Liikenneväylälle tulee määrittää sopiva leveys väylän liikennemäärän perusteella (PIANC, 2018). Liikenneväylän sopiva leveys riippuu reitillä liikennöivien alusten lukumäärästä:

Reittiä käyttävien alusten lukumäärä, mahdollistaa 2 aluksen pituutta alusta kohti:

< 4 400 alusta vuodessa	2 alusta rinnakkain
> 4 400 alusta ja <18 000 alusta vuodessa	3 alusta rinnakkain
> 18 000 alusta vuodessa	4 alusta rinnakkain

Aluksen pituus perustuu reittiä käyttävien alusten suurimpaan pituuteen, tuleva liikenne ja aluskoon kehitys huomioiden⁶.

Myös Alankomaiden infrastruktuuri- ja ympäristöministeriö(2014) mainitsee soveltuvina edellä mainittujen ohjeiden mukaiset väylänleveydet. Ministeriö toteaa, että kun referenssialuksen pituus vastaa 98,5 prosenttipistettä (eli vain 1,5 % muista aluksista on sitä pidempiä), väylän käyttöä on tarkoituksenmukaista käyttää väylän leveydestä päätettäessä.

Merenkulun turvallisuuden ja toimintakyvyn varmistamiseksi on tärkeää ottaa huomioon reunaehdot. Traficom (2022a) toteaa, että tämä edellyttää 1,5 kilometrin turvaetäisyyden varmistamista väyläalueiden ja merituulivoimapuistojen välillä. Traficom ja Väylävirasto (2023) viittaavat asiakirjassaan merituulivoiman aluesuunnittelun riskinarviointiohjeisiin ”The Spatial Planners’ guide to distance between Shipping & Offshore Renewable Energy Installations”, joka sisältää muun muassa PIANCin suositukset sekä hollantilaiset ohjeet.

PIANCin(2018) ja Alankomaiden infrastruktuuri- ja ympäristöministeriöön(2014) perustuvien väylän leveyttä koskevien ohjeiden mukaan Perämerelle ja Perämereltä kulkevien tulevien laivaväyliä leveys tulee olla noin 916 metriä⁷. Analyysialueella on yhteensä 4 052 kauttakulkua (2023a), mikä edellyttää kahta rinnakkaista alusta (reittiä käyttäviä aluksia on alle 4 400 vuodessa). Näin ollen laskelmassa otetaan huomioon kauttakulumäärien mahdollinen kasvu. Kutakin väylää tai reittiä käyttäviä aluksia ei siis saa olla yli 4 400 alusta vuodessa Traficom (2022b) ja Liikenneviraston (2023) ennusteet huomioiden.

Turvaetäisyyden määrittämiseen on erilaisia tapoja. Traficom (2022a) ja PIANCin (2018) menetelmät esitetään alla. Lisätietoja siitä, miten turvaetäisyydet on laskettu, on liikenneanalyysissä (Sweco, 2023a).

Traficomin turvaetäisyys

Traficom (2022a) toiveena on 1,5 km:n turvaetäisyys väyläalueiden ja merituulivoimapuistojen välillä. Kun tämä yhdistetään suositeltuun meriliikennealueen leveyteen 916 metriä, Hallan ja Polargrundin merituulivoimapuistojen välisen kokonaisetaisyyden tulisi olla 3 916 metriä.

PIANCin turvaetäisyys

PIANCin ohjeiden (2018)mukaan suositeltu turvaetäisyys on 1 930 metriä⁸. Kaiken kaikkiaan suositeltu leveys, mukaan lukien laivaväylä ja turvaetäisyys laivaväylän kummallakin puolella, johtaa noin 4 776 metrin vähimmäisetaisyyteen⁹.

Yhteenvedona voidaan todeta, että merituulivoimapuistojen käyttöönoton arvioidaan vaikuttavan Hallan ja Polargrundin tuulipuistojen väliin sijoittuvaan Nordvalen – Kemi/Tornio -laivaväylään, koska Hallan ja Polargrundin toisiaan lähimpien tuulivoimaloiden välinen etäisyys on 4 725 metriä. Suositeltu

⁶ Esimerkki: jos liikenneväylää käyttää 18 000 alusta vuodessa ja alusten enimmäiskoko on 400 metriä, väylän tulee olla vähintään 3 200 metriä leveä (= 4 x 2 x pituus = 4 x 2 x 400).

⁷ $2 \times 2 \times 229$ (98,5 prosenttipistettä) = 916. 98,5 prosenttipiste perustuu kaikkeen analyysialueen liikenteeseen (kuvas: (Sweco, 2023a)).

⁸ PIANCin suositeltu turvaetäisyys = 556 metriä (0,3 M tyyrpuurinpuoleisissa liikkeissä) + 229 (98,5 persenttiin alus) x 6 = 1 930 metriä.

⁹ Kokonaisleveys = Laivaväylä + turvaetäisyys laivaväylän molemmin puolin = 916 + 1 930 x 2 = 4 776 metriä.

turvaetäisyys ei tällöin täyty, mutta tämä voidaan tehdä poistamalla uloin tuulivoimala Hallan merituulivoimapuiston luoteiskulmasta (koska seuraavaksi lähin tuulivoimala on noin 5,8 kilometrin etäisyydellä). Näin toimimalla sekä Traficom(2022a) että PIANCin(2018) turvaetäisyyttä koskevat suositukset täyttyvät. Tämä pätee myös tulevien liikennemäärien ja aluskokojen osalta. Huomaa, että suositeltu turvaetäisyys on avovedelle. Jääolosuhteiden turvaetäisyyksistä ei ole ohjeistusta.

Huomaa, että *yksityiskohtaisen suunnittelun* PIANC(2018) avulla voidaan osoittaa, että *konseptisuunnittelulla* saavutettua turvaetäisyyttä lyhyempi etäisyys on hyväksyttävä. Tämä raportti ja sen liitteet muodostavat tällaisen *yksityiskohtaisen suunnittelun*.

3. Vaaran tunnistaminen

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

Kohdekohtaiset tiedot Hallan merituulivoimapuistoon liittyvistä mahdollisista vaaroista saatiin digitaalisessa, virallisessa HAZID-työpajassa (Sweco, 2023b). HAZID järjestettiin 19. huhtikuuta 2023 yhdessä alan eri sidosryhmiä edustavan tiimin kanssa. Näin varmistettiin, että kaikki asiaankuuluvat vaarat 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 Vahtikari	ESL-Shipping		X
Amund Lindberg	Isbreakers / Ruptsin 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 Toumas	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
Janne Lamberg	OX2		X
Malgorzata Zorawinska	OX2	X	X

Nimi	Organisaatio	Jää-HAZID	Virallinen HAZID
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 Grahn	Sweco		X
Matti Lindgren	Sweco	X	X
Seppo Virtanen	Sweco		X
Sara Hammar	Sweco	X	

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

- Luvaton liikenne tuulipuistossa talviolosuhteissa
- Avun tarve (jäänmurtajat) hätätilanteessa
- Lisää ahtojäätä tuulivoimaloiden vuoksi
- Hallintansa menettäneet laivat, talviolosuhteet
- Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa
- Merituulivoimapuisto estää oletusnavigointireitin talvella
- Epäsuotuisimmat talvet, jolloin vähemmän jäätä ja enemmän tuulta
- Suuremmat, pienitehoisemmat alukset

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

Taulukko 5. Hallan merituulivoimapuistolle tunnistetut merenkulkuvaarat ja viittaus tämän raportin osiin, joissa vaaroja ja riskejä analysoidaan tarkemmin.

Tunn.	Vaara	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 perustusta	6.1.5
1,6	Merituulivoimapuiston 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 yhteentörmäystyypit: 2.2-2.6) (merituulivoimapuisto lisänä)	6.2.1
2,2	Ohitustörmäys (merituulivoimapuisto lisänä)	6.2.2
2,3	Etutörmäys (merituulivoimapuisto lisänä)	6.2.3
2,4	Risteämistörmäys (merituulivoimapuisto lisänä)	6.2.4
2,5	Liittymistörmäys (merituulivoimapuisto lisänä)	6.2.5
2,6	Kääntymistörmäys (merituulivoimapuisto lisänä)	6.2.6
2,7	Törmäys satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa (merituulivoimapuisto lisänä)	6.2.7
3,1	Moottoroitu pohjakosketus	6.3.1

Tunn.	Vaara	Viittaus
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 törmäystaajuudet 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. Appendix 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 onnettomuustaajuudet. Taulukko 2 osiossa 1.3.3 määrittelee lasketun esiintymistiheyden (vuositodennäköisyys) ja taajuusindeksin (1–6) välisen suhteen.

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheys		
		Todennäköisyys (vuodessa)	Toistumisajanjakso (vuotta)	(FI)
1,1	Laiva ohjaa päin tuulivoimalaa (moottoroitu törmäys)	3.8E-05	25 984	1,6
1,2	Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	3.0E-04	3 299	2,5
1,3	Laiva ohjaa tai ajautuu lähelle tuulivoimalaa ja lapa osuu siihen	1.0E-05	100 000	1,0
1,4	Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	1.4E-02	71	4,1
1,5	Laiva ohjaa tai ajautuu päin perustusta	1.6E-04	6 327	2,2
1,6	Merituulivoimapuiston läpi kulkeva alus törmää tuulivoimalaan	1.5E-03	673	3,2
1,7	Rajallinen näkyvyys saa aluksen ohjaamaan päin tuulivoimalaa	-	-	-
2,1	Yhteentörmäykset yhteensä (kaikki yhteentörmäystyytit) (merituulivoimapuisto lisänä)	5.6E-04	1 792	2,7
2,2	Ohitustörmäys (merituulivoimapuisto lisänä)	4.0E-05	25 231	1,6
2,3	Etutörmäys (merituulivoimapuisto lisänä)	3.4E-04	2 943	2,5
2,4	Risteämistörmäys (merituulivoimapuisto lisänä)	Esiintymistiheys pienempi	-	-

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheys		
		Todennäköisyys (vuodessa)	Toistumisajanjakso (vuotta)	(FI)
		merituulivoimapuiston kanssa		
2,5	Liittymistörmäys (merituulivoimapuisto lisänä)	3.5E-05	28 888	1,5
2,6	Kääntymistörmäys (merituulivoimapuisto lisänä)	3.0E-04	3 297	2,5
2,7	Törmäys satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa	1.8E-04	5 470	2,3
3,1	Moottoroitu pohjakosketus (merituulivoimapuisto lisänä)	Esiintymistiheys pienempi merituulivoimapuiston kanssa	-	-
3,2	Ajelehtiva pohjakosketus (merituulivoimapuisto lisänä)	Esiintymistiheys pienempi merituulivoimapuiston kanssa	-	-
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	1.6E-04	6300	2,2
4,4	Merituulivoimapuisto vaikeuttaa etsintä- ja pelastustoimintaa	-	-	-
5,1	Merituulivoimapuisto vaikuttaa jään kertymiseen	-	-	-
5,2	Merituulivoimapuisto estää talvimerenkulkureitit	-	-	-
5,3	Tuulivoimaloista putoavat esineet tai lentävä jää	1.0E-05	100 000	1,0
6,1	Yhdyskaapelin vauriot	-	-	-
6,2	Kaapelit estävät häätäankkuroinnin	-	-	-

5. Seuraukset

Tässä riskinarvioinnissa keskitytään seurauksiin ihmisten terveydelle ja turvallisuudelle sekä ympäristölle. Taulukko 2, osio 1.3.3 selittää, miten seurauksen suuruus, ilmaistuna kuolonuhrien lukumääränä ja vastaavina tonneina öljyvetoja, on kartoitettu vakavuustasolle 1-4, joka vaihtelee *vähäisestä vaikutuksesta katastrofaalisiin vaikutuksiin*.

Erityyppisille aluksille ja tapahtumille odotetaan erilaisia seurauksia. 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.
- 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 ja tuulivoimalat) ja muita taloudellisia seurauksia ei arvioida.
- Moottoroidun törmäyksen seurausten oletetaan olevan vakavampia kuin ajelehtivan törmäyksen seurausten.¹⁰
- Seuraukset valitaan konservatiivisesti.

¹⁰ 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 pysäyttämisessä.

Taulukko 7. Seuraukset olettaen pahinta mahdollista todennäköistä skenaariota.

Onnettomuus	Seuraukset ihmisten terveydelle ja turvallisuudelle (SI)	Seuraukset ympäristölle (SI)
Moottoroitu törmäys* Tuulivoimalan lapa osuu alukseen Yhteentörmäys Moottoroitu pohjakosketus	Matkustaja-alukset: useita kuolemantapauksia (4) Muut alukset: Yksi kuolemantapaus tai useita vakavia vammoja (3)	Säiliöalukset: vastaa yli 1 000 tonnin öljyvuotoa (4) Muut alukset: vastaa enintään 10 tonnin öljyvuotoa (2)
Ajelehtiva törmäys* Ajelehtiva pohjakosketus	Matkustaja-alukset: Yksi kuolemantapaus tai useita vakavia vammoja (3) Muut alukset: useita tai vakavia vammoja (2)	Säiliöalukset: vastaa yli 100 tonnin öljyvuotoa (3) Muut alukset: vastaa enintään 10 tonnin öljyvuotoa (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 lähestyy¹¹.
- Miehistön ja matkustajien evakuointi aloitetaan onnettomuuden sattuessa.
- Onnettomuuden sattuessa aloitetaan valmistelut öljyvuodon hoitamiseksi.

¹¹ 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. Koko miehistö ja valvonta ovat asemassa, 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.

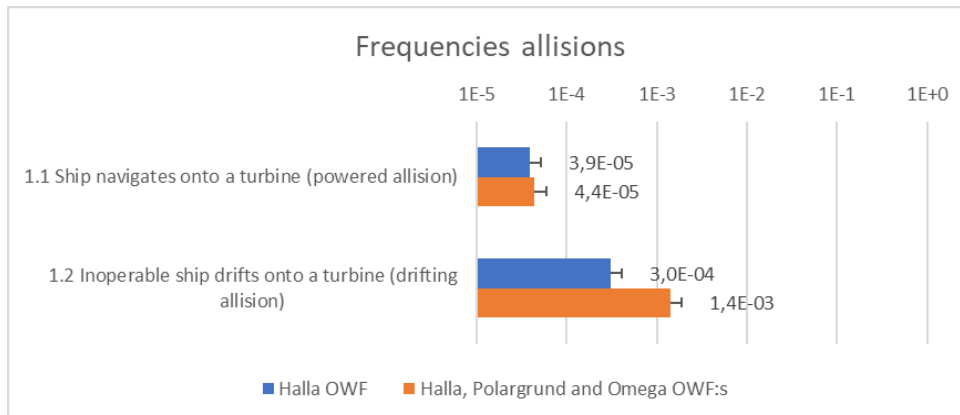
Osiot on jäsennelty siten, että ensin kuvataan tapahtuman tyyppi (onnettomuus), sitten tapahtuman todennäköisyys ja seuraus. Seuraukset kuvataan erikseen sen mukaan, mihin ne vaikuttavat (ihmisten turvallisuus tai ympäristö). Lopuksi raportoidaan syntyvä riski, joka lasketaan kyseisen tapahtuman todennäköisyyden 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 käyttöönotosta johtuvaksi kohonneeksi riskiksi alueella verrattuna nykyiseen riskitasoon (nollavaihtoehto).

Jäljempänä kuvataan ja arvioidaan kohdassa 2.5 yksilöityjen vaarojen esiintymisen todennäköisyys ja seuraukset. Todennäköisyys arvioidaan/lasketaan olettaen, että riskejä vähentäviä toimenpiteitä ei toteuteta.

6.1 Törmäys (aluksen törmääminen paikallaan olevaan kohteeseen)

Kun Hallan merituulivoimapuisto otetaan käyttöön, erilaisten törmäystyyppien todennäköisyys kasvaa. Törmäyksellä tarkoitetaan tilannetta, jossa alus ohjataan tai ajelehtii päin paikallaan olevaa kohdetta. Hallan merituulivoimapuistoon liittyviä paikallaan olevia kohteita ovat perustukset, tuuliturbiinigeneraattorit ja pyörivät lavat. Kuva 14 kuvaa erityyppisten törmäysten laskettua todennäköisyyttä Hallan merituulivoimapuiston ja Hallan, Omegan ja Polargrundin merituulivoimapuistojen käyttöönoton yhteydessä, ja aihetta kuvataan ja arvioidaan tarkemmin kohdissa 6.1.1 ja 6.1.2.



Kuva 14. näyttää törmäyskenaarioiden esiintymistaajuuden vuodessa (palkit ja numerot), kun Hallan merituulivoimapuisto ja Hallan, Omegan ja Polargrundin merituulivoimapuistot otetaan käyttöön. Epävarmuuspalkit (mustat viivat) osoittavat esiintymistiheyttä tulevassa liikenneskenaariossa vuodelle 2060, johon mennessä alusten määrän oletetaan kasvavan 35 %. Huomaa, että asteikko on logaritminen, toistumisaika ja tarkemmat tiedot esiintymistiheydestä, katso luku 1.3.3

6.1.1 Laiva ohjaa päin tuulivoimalaa (moottoroitu törmäys)

Hallan merituulivoimapuiston ympärillä navigoivat alukset voivat inhimillisten, teknisten tai ympäristötekijöiden vuoksi navigoida vahingossa puiston alueelle. 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 (moottoroitu törmäys).

- Skenaario 1.1 Laiva ohjaa päin tuulivoimalaa (moottoroitu törmäys):**
 Päin tuulivoimalaa ohjaavan aluksen (halkaisijaltaan 16 metriä) oletetaan törmäävän tuulivoimalaan täydellä nopeudella. Tämän tapahtuman esiintymistiheys, jos Hallan merituulivoimapuisto otetaan käyttöön, on arviolta $3,8 \cdot 10^{-5}$ vuodessa (josta 7 %:ssa mukana öljytuotesäiliöaluksia ja 93 %:ssa muita aluksia (lähinnä yleisrahtialuksia)). Jos Hallan, Omegan ja Polargrundin merituulivoimapuistot otetaan käyttöön, tapahtuman esiintymistaajuudeksi arvioidaan $4,4 \cdot 10^{-5}$ (josta 8 %:ssa mukana öljytuotesäiliöaluksia ja 92 %:ssa muita aluksia (lähinnä yleisrahtialuksia)).

Tapahtuman esiintymisen odotetaan olevan *äärimmäisen etäinen* tai *hyvin etäinen* (taajuusindeksi = 1,6), mutta jos se tapahtuu, se johtaa *yksittäiseen kuolemantapaukseen tai useisiin vakaviin vammoihin* (ihmisen turvallisuuden vakavuusindeksi = 3). Joka kymmenes kerta tapahtuman odotetaan johtavan öljyvuotoon, jonka laajuus on *10 tonnia* mutta enintään *100 tonnia*, jos Halla otetaan käyttöön (ympäristön vakavuusindeksi = 2,9). Vastaavat arviot on tehty myös tilanteesta, jossa sekä Hallan, Omegan että Polargrundin tuulipuistot otetaan käyttöön.

Tästä aiheutuva riski arvioidaan *hyväksyttäväksi* kaikissa lasketuissa skenaarioissa.

Taulukko 8 vetää yhteen skenaarion 1.1 esiintymistaajuuden, vakavuuden ja riski-indeksin.

Taulukko 8. Laskettu riski yhteentörmäyksille yhteensä (kaikki yhteentörmäystyytit). 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tunnus	Skenario	Vaara	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
1,1	Halla	Laiva ohjaa päin tuulivoimalaa (moottoroitu törmäys)	1,6	3	2,9	4,6	3,5
1,1	Halla, Omega ja Polargrund	Laiva ohjaa päin tuulivoimalaa (moottoroitu törmäys)	1,6	3	2,9	4,6	3,5

6.1.2 Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)

Hallan merituulivoimapuiston ohi kulkevat alukset voivat teknisen vian vuoksi menettää ohjattavuutensa ja alkaa ajelehtia (esimerkiksi sähkökatko tai peräsinvika). 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 (yhdellä aluksella määrä on yleensä 0,1–2 sähkökatkosta vuodessa). Sähkökatkojen todellinen esiintymistaajuus 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 katkotaaajuus (~ 0,1 vuodessa). Muissa alustyypeissä katkojen esiintymistiheys on suurempi (~0,75 vuodessa) (Engberg, 2019).

Hallan 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 öljyntorjuntatoimenpiteisiin, jos alus ajautuu kohti tuulivoimalaa.

Seuraavia arvioita on tehty seurauksista ja niistä aiheutuvasta riskistä hallitsemattomalle alukselle, joka ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys).

- Skenario 1.2 Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys):** Päin tuulivoimalaa ajautuvan aluksen (halkaisijaltaan 16 metriä) oletetaan törmäävän tuulivoimalaan 1–2 solmun nopeudella. Jos Halla otetaan käyttöön, tämän esiintymistiheydeksi on laskettu $3,0 \cdot 10^{-4}$ vuodessa (josta 9 % öljysäiliöaluksia ja 91 % muita aluksia). Jos Halla, Omega ja Polargrund otetaan käyttöön, taajuudeksi on laskettu $1,4 \cdot 10^{-3}$ (josta 9 % öljysäiliöaluksia ja 91 % muita aluksia).

Jos Halla otetaan käyttöön, tapahtuman esiintymisen odotetaan olevan *hyvin etäinen* tai *etäinen* (taajuusindeksi = 2,5), mutta jos se tapahtuu, se johtaa *useisiin tai vakaviin vammoihin* (ihmisen turvallisuuden vakavuusindeksi = 2). Jos tapahtuma sattuu, joka kymmenes kerta tapahtuman odotetaan johtavan öljyvuotoon, jonka laajuus on *10 tonnia* mutta enintään *100 tonnia*, jos Halla otetaan käyttöön (ympäristön vakavuusindeksi = 2,3). Vastaavat arviot on tehty myös tilanteesta, jossa sekä Hallan, Omegan että Polargrundin tuulipuistot otetaan käyttöön, mutta niille on laskettu suurempi esiintymistiheys (taajuusindeksi = 3.1).

Tästä aiheutuva riski arvioidaan *hyväksyttäväksi* suurimmassa osassa lasketuista skenaarioista. Skenaariossa, jossa Halla, Omega ja Polargrund otetaan käyttöön, ihmisten turvallisuuteen kohdistuva riski arvioidaan *ALARP:iksi*.

Taulukko 9 vetää yhteen skenaarion 1.2 esiintymistaajuuden, vakavuuden ja riski-indeksin.

Taulukko 9. Laskettu riski ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle skenaariossa 1.2 Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajalehtiva törmäys): 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tun n.	Skenaario	Vaara	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
1,2	Halla	Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajalehtiva törmäys)	2,5	2	2,3	4,5	3,8
1,2	Halla, Omega ja Polargrund	Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajalehtiva törmäys)	3,1	2	2,4	5,1	4,5

6.1.3 Laiva ohjaa tai ajautuu lähelle tuulivoimalaa ja lapa osuu siihen

On monia tekijöitä, jotka estävät lapa osumasta alukseen. Vain harvat alukset ovat niin korkeita, että ulottuvat tuulivoimalan pyyhkäisypinnalle, eli lapa voi osua vain pieneen määrään aluksia. Kun alus lähestyy, tuulivoimalan hätäpysäytystoiminto käynnistyy erittäin luotettavasti, joko paikan päällä tai kauko-ohjauksella. Siinä ajassa, jossa ajalehtiva alus saavuttaa tuulitornin, ehditään yleensä turvatoimiin, esimerkiksi matkustajien evakuointiin tai öljyvuotojen hallintaan.

Seurauksista ja niistä aiheutuvasta riskistä alukselle, joka ohjaa tai ajalehtii lähelle tuulivoimalaa ja joutuu lavan iskemäksi, on tehty seuraava arviointi:

- **Skenaario 1 Laiva ohjaa tai ajautuu lähelle tuulivoimalaa ja lapa osuu siihen:** Lavan alukseen osumisen esiintymisen odotetaan olevan *erittäin etäinen* (taajuusindeksi < 1), mutta jos se tapahtuu, se johtaa *yksittäiseen kuolemantapaukseen tai useisiin vakaviin vammoihin* (ihmisen turvallisuuden vakavuusindeksi = 3). Matkustaja-aluksiin

liittyvien tapahtumien seurausten ihmisten turvallisuudelle odotetaan johtavan *useisiin kuolemantapauksiin* (ihmisten turvallisuuden vakavuusindeksi = 4). Jos tapahtuma sattuu, joka kymmenes kerta tapahtuman odotetaan johtavan öljyvuotoon, jonka laajuus on *10 tonnia* (ympäristön vakavuusindeksi = 2). Öljysäiliöaluksiin liittyvien tapahtumien¹² odotetaan johtavan öljyvuotoon joka kymmenes kerta, jolloin laajuus on 1 000 tonnia (ympäristön vakavuusindeksi = 4).

Tästä aiheutuva riski arvioidaan *hyväksyttäväksi*.

Taulukko 10 vetää yhteen skenaarion 1.3 esiintymistajuuden, vakavuuden ja riski-indeksin.

Taulukko 10. Laskettu riski ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle skenaariossa 1.3 Laiva ohjaa tai ajautuu lähelle tuulivoimalaa ja lapa osuu siihen. 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tunn.	Skenario	Vaara	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
1,3	Halla	Laiva ohjaa tai ajautuu lähelle tuulivoimalaa ja lapa osuu siihen	<1	4	4	Hyväksyttävä	

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

Tuulen, virtausten tai ajojään kuljettamat jäälautat voivat aiheuttaa sen, että alus jää kiinni jäihin ja vuorostaan ajautuu tuulipuistoon. Ajelehtimista voi tapahtua, kun meren jääpeitteessä on jäättömiä alueita. Vaikka meri olisi kokonaan jään peitossa, on silti mahdollista, että jääkerros rikkoutuu ja puristuu ahtojääksi, jos tuulen (tai virtauksen) nopeus on riittävän suuri. Jään nopeus voi olla noin 2–3 % tuulen nopeudesta. Jäälautat kuljettavat laivaa todennäköisesti hitaalla ajelehtimisnopeudella ankarissa jääolosuhteissa (Merenkulkulaitos, 2005).

IWRAP on tarkoitettu taajuuden laskemiseen avovedessä, ei jääolosuhteissa. Jotta skenaarion taajuus 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 jäänmurtaajan 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

¹² Tietoaineistossa luokkaan "öljysäiliöalukset" kuuluvat myös muun muassa kemikaalisäiliöalukset ja nesteytetyn maakaasun kuljetukset.

¹³ 2 solmua ≈ 1 m/s

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

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) ajalehtii 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.

Seuraava arvio on tehty seurauksista ja niistä aiheutuvasta riskistä, kun jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa (ajalehtiva törmäys).

- **Skenaario 1.4 Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa (ajalehtiva törmäys):** Merituulivoimapuiston rakentaminen ei vaikuta suoraan tämän tapahtuman esiintymistäajuuteen, mutta seuraukset voivat olla vakavampia. Jos Halla otetaan käyttöön, tämän tapahtuman esiintymistiheydeksi on laskettu $1,4 \cdot 10^{-2}$ vuodessa (josta 9 % öljysäiliöaluksia ja 91 % muita aluksia).

Lavan alukseen osumisen esiintymisen odotetaan olevan *odottamaton* (taajuusindeksi= 4,1), mutta jos se tapahtuu, se johtaa *useisiin tai vakaviin vammoihin* (ihmisen turvallisuuden vakavuusindeksi = 2). Jos tapahtuma sattuu, joka kymmenes kerta tapahtuman odotetaan johtavan öljyvuotoon, jonka laajuus on *10 tonnia* (ympäristön vakavuusindeksi = 2,3).

Tästä aiheutuva riski arvioidaan *ALARPiksi*.

Taulukko 11 vetää yhteen skenaarion 1.4 esiintymistäajuuden, vakavuuden ja riski-indeksin.

Taulukko 11. Laskettu riski ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle skenaariossa 1.4 Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa (ajalehtiva törmäys): 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tunn.	Skenaario	Vaara	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
1,4	Halla	Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa (ajalehtiva törmäys)	4,1	2	2,3	6,1	5,4

6.1.5 Laiva ohjaa tai ajautuu päin perustusta

Hallan merituulivoimapuisto aikoo perustaa kuusi perustusta Halla-projektialueelle. Tässä skenaariossa mallinnetaan ja arvioidaan aluksen todennäköisyyttä navigoida tai ajautua tuulivoimalan sijaan päin perustusta.

Seuraava arvio on tehty seurauksista ja niistä aiheutuvasta riskistä alukselle, joka ohjaa tai ajautuu päin perustusta.

- **Skenaario 1.5 Laiva ohjaa tai ajautuu päin perustusta:** Jos alus ajautuu puistoon, mutta ei ajaudu päin mitään rakenteita, ei synny inhimillisiä tai ympäristöllisiä seurauksia. Aluksen perustusta päin ohjaamisen tai ajautumisen vuosittainen todennäköisyys on $1,6 \cdot 10^{-4}$. Todennäköisyyden sille, että alus ohjaa tai ajautuu päin perustusta, odotetaan olevan *hyvin etäinen* (taajuusindeksi = 2.2). Skenaarion riskinarviointia ei analysoida tarkemmin tässä merenkulun riskianalyyssissä, vaan sen sijaan Hallan Seveso-arvioinnissa.

Taulukko 12 vetää yhteen skenaarion 1.5 esiintymistaajuuden, vakavuuden ja riski-indeksin.

Taulukko 12. Laskettu riski vaikutuksista ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle skenaariossa 1.5 Laiva ohjaa tai ajautuu päin perustusta: 1.3.3 kuvaa indeksit.

Tunn.	Skenaario	Vaara	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
1,5	Halla	Laiva ohjaa tai ajautuu päin perustusta	2,2	-		Arvioidaan erillisessä Seveso-arvioinnissa	

6.1.6 Merituulivoimapuiston läpi kulkeva alus törmää tuulivoimalaan

Liikenne alueella, jolle tuulivoimalat on suunniteltu, on tällä hetkellä kevyttä (keskimäärin alle 4 alusta päivässä) ja sen odotetaan olevan vielä vähäisempää, kun Hallan merituulivoimapuisto on otettu käyttöön.

Tuulipuiston kautta kulkevien alusten ja tuulivoimaloiden yhteentörmäyksen seurauksista ja siitä aiheutuvasta riskistä on tehty seuraava arviointi:

- **Skenaario 1.6 Merituulivoimapuiston läpi kulkeva alus törmää tuulivoimalaan:** Tässä skenaariossa alus ohjaa tarkoituksellisesti puiston läpi ja törmää tuulivoimalaan inhimillisen tai teknisen virheen vuoksi. Vain pienten alusten odotetaan kulkevan puiston läpi. Useimpien Hallan hankealueen läpi kulkevien alusten pituus on enintään 50 metriä, ja yli 50 metriä pitkien alusten ei normaalisti odoteta kulkevan merituulivoimapuiston läpi, koska ns. pyöreälle käännökselle ei ole riittävästi ohjaustilaa (COLGERin noudattamiseksi, katso osa 2.5). Merituulivoimapuiston kautta kulkee kuukaudessa alle 2 alusta, joiden pituus on alle 50 metriä.

Pienemmän ulkoisen aluksen ja tuulivoimalan välisen törmäyksen todennäköisyydeksi arvioidaan $1,5 \cdot 10^{-3}$, joten esiintymistä pidetään *odottamattomana* (taajuusindeksi = <4)¹⁴.

Pienen aluksen törmäys tuulivoimalaan johtaa *useisiin tai vakaviin vammoihin* (ihmisten turvallisuuden vakavuusindeksi = 2). Seuraus ympäristölle vastaa yhtä tonnia öljyvuotoa joka kymmenes kerta (ympäristön vakavuusindeksi = 1).

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

Taulukko 13 vetää yhteen skenaarion 1.6 esiintymistaajuuden, vakavuuden ja riski-indeksin.

Taulukko 13. Laskettu riski vaikutuksista ihmisten turvallisuuteen ja ympäristöön skenaariossa 1.6 Merituulivoimapuiston läpi kulkeva alus törmää tuulivoimalaan: 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tu nn	Skenaario	Vaara	Esiintym istiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvalli- suus	Ympäristö	Ihmisten turvalli- suus	Ympäristö
1,6	Halla	Merituuli- voimapuiston läpi kulkeva alus törmää tuulivoimalaan	<4	2	1	<6	4

6.1.7 Rajallinen näkyvyys saa aluksen ohjaamaan päin tuulivoimalaa

Pimeyden, sateen, sumun, lumisateen ja jään aiheuttamat rajalliset näkyvyysolosuhteet voivat lisätä aluksen tuulivoimalaan törmäämisen riskiä. On havaittu, että alusten pohjakosketusten määrä on huomattavasti suurempi loka-joulukuussa verrattuna muuhun vuoteen, ja joulukuussa tapauksia on eniten. Joulukuulle on tyypillistä alkutalven pimeys, ja sade ja lumisade vaikeuttavat usein navigointia kapeilla väylillä, joilla on monia käännöksiä. Lumisateen on havaittu

¹⁴ Laskenta perustuu seuraaviin seikkoihin:

- Vuodessa 22 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 merimailia.
- Sähkökatkoksen todennäköisyys on sama kuin IWRAPissa, 1,5 alusvuotta kohden (Engberg, IWRAP Mk2, 2019).
- Inhimillisen erehdyksen todennäköisyys on $3 \cdot 10^{-5}$ alusta ja merimailia 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.
- Tuulivoimalan perustukset ovat halkaisijaltaan noin 16 metriä ja tornien välinen etäisyys on vähintään kilometri. Kaikista tapauksista, joissa alus kohtaa inhimillisen tai teknisen virheen merituulivoimapuiston alueella, alle 10 %:n odotetaan siten johtavan yhteentörmäykseen tuulivoimalan kanssa.

haittaavan sekä näköhavaintoja että tutkan käyttöä, vaikka myös muut tekijät voivat vaikuttaa onnettomuuksiin (Merenkulkulaitos & Ruotsin merenkulkulaitos, 2005).

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

- **Skenaario 1.7 Rajallinen näkyvyys saa aluksen ohjaamaan päin tuulivoimalaa:** tuulivoimalat ovat heikommin näkyviä sumun, sateen, lumisateen, jään ja pimeyden aikana, mikä lisää alusten riskiä törmätä tuulivoimalaan.

Alukset on yleensä varustettu AIS-järjestelmällä ja tutkalla, mikä tarkoittaa, että sääolosuhteista johtuva rajallinen näkyvyys edellyttää lisäksi inhimillistä tai teknistä virhettä, jotta alus törmää tuulivoimalaan. Skenaario voi siten myötävaikuttaa muihin yhteentörmäysriskeihin, kuten kohdissa 6.1.1, 6.1.5 ja 6.1.6 on kuvattu.

Näkyvyyden vaikutus otetaan huomioon väistöliikkeen epäonnistumisen todennäköisyyttä laskettaessa, kuten kohdassa 6.1.1 kuvataan, ja sisällytetään siksi tuulivoimalatörmäyksiin liittyvien tapahtumien riskinarviointiin. Sitä, missä määrin näkyvyys lisää riskiä, ei voida helposti arvioida, ja riski luokitellaan konservatiivisesti ALARPiksi myöhempää käsittelyä varten.

Tuulivoimaloiden aiheuttamat tutkahäiriöt voivat myös vaikuttaa kykyyn navigoida olosuhteissa, joissa näkyvyys on rajallinen. Tätä riskiä käsitellään kuitenkin tarkemmin raportin osassa 6.4.

Taulukko 14 vetää yhteen skenaarion 1.7 esiintymistaajuuden, vakavuuden ja riski-indeksin.

Taulukko 14. Laskettu riski vaikutuksista ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle skenaariossa 1.7 Rajallinen näkyvyys saa aluksen ohjaamaan päin tuulivoimalaa. 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

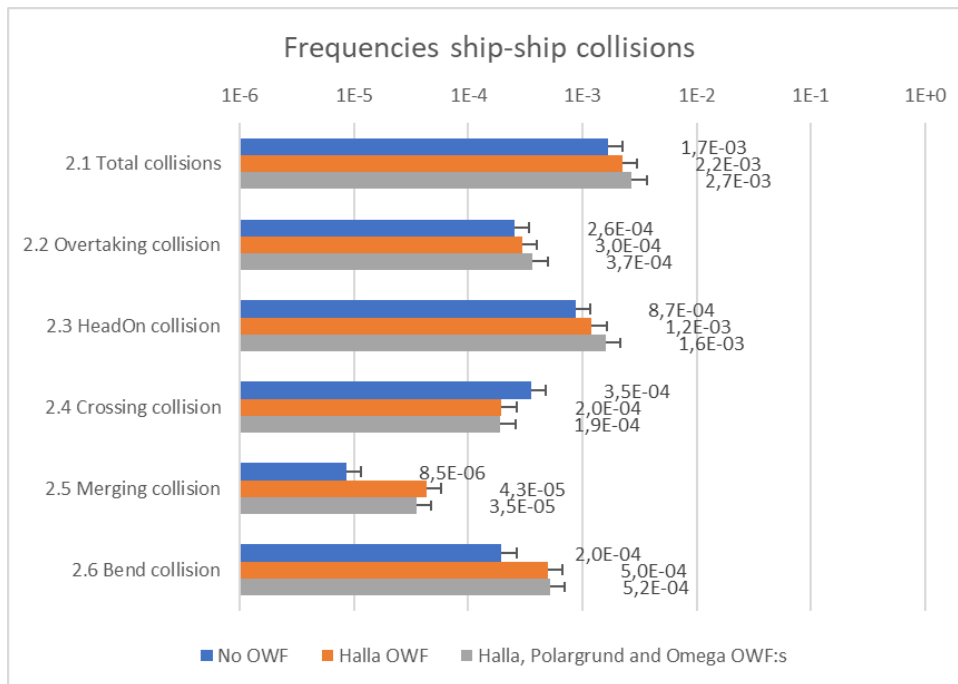
Tunn.	Skenaario	Vaara	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
1,7	Halla	Rajallinen näkyvyys saa aluksen ohjaamaan päin tuulivoimalaa.	Katso kohdat 6.1.1, 6.1.5 ja 6.1.6			ALARP	

6.2 Kahden laivan välinen yhteentörmäys

Törmäystaajuudet on laskettu laivaväylillä Hallan merituulivoimapuiston ympärillä liikkuville aluksille käytettävissä olevien AIS-tietojen perusteella. Laskelmat perustuvat jäätömien ja merijääkuukausien liikennemalliin, jossa esitetään konservatiivisimmat ("huonoimmat") tulokset. Arvioidun riskin oletetaan konservatiivisesti edustavan myös yhteentörmäysriskiä merijään aikana, jolloin aluksia kulkee alueella vähemmän, nopeudet ovat usein pieniä ja tapahtumien

seuraukset eivät yleensä ole liian vakavia (Winter Navigation Research Board, 2005).

Eri törmäyskategorioiden esiintymistaajuuudet lasketaan ja niitä verrataan kolmessa eri mallinnusskenaariossa: ei merituulivoimapuistoa, Hallan merituulivoimapuisto ja Hallan, Omegan ja Polargrundin merituulivoimapuistot. Nämä on myös dokumentoitu kohdassa Appendix C ja kuvattu kohdassa Kuva 15.



Kuva 15. Yhteentörmäystaajuus vuodessa (palkit ja numerot) Hallan ympärillä olevalla alueella logaritmisella asteikolla. Erilaisten yhteentörmäystyyppien todennäköisyys ilman merituulivoimapuistoa, jos Hallan merituulivoimapuisto otetaan käyttöön ja jos Hallan, Polargrundin ja Omegan merituulivoimapuistot kaikki otetaan käyttöön. Epävarmuuspalkit (mustat viivat) osoittavat esiintymistiheyttä tulevassa liikenneskenaariossa vuodelle 2060, jolloin alusten määrä on kasvanut 35 %. Katso toistumisjakso ja tarkemmat tiedot esiintymistiheydestä luvusta 1.3.3

Tulokset osoittavat, että ohitus-, etutörmäys-, liittymis- ja kääntymistörmäysten todennäköisyys kasvaa, mutta todennäköisyystaso pysyy muuttumattomana *erittäin etäisenä* ja *etäisenä* absoluuttisesti katsottuna (katso 1.3.3). Liittymistörmäyksen kasvu on huomattavinta. Risteämistörmäykset näyttävät vähenevän.

Merituulivoimapuiston merenkulun riskianalyysissä on tärkeää tutkia tuulipuiston käyttöönotosta aiheutuvan lisäriskin (eli riskin, joka perustuu alusten yhteentörmäystaajuuden eroon verrattuna tilanteeseen, jossa merituulivoimapuistoa ei oteta käyttöön) vaikutusta yhteentörmäysriskiin. Merituulivoimapuiston aiheuttamien yhteentörmäysten riskinarviointi löytyy kohdista 6.2.1, 6.2.2, 6.2.3 6.2.4, 6.2.5 ja 6.2.6.

6.2.1 Yhteentörmäykset yhteensä (kaikki yhteentörmäystyyppit)

Kun Hallan merituulivoimapuisto otetaan käyttöön, se vaikuttaa liikennemalliin siten, että merituulivoimapuiston kautta kulkevaa liikennettä on vähemmän ja sen

ympärillä tiheämpää liikennettä. Tämän seurauksena syntyy uusia tilanteita, joissa yhteentörmäyksiä voi tapahtua.

Seuraava arvio on tehty seurauksista ja niistä aiheutuvasta riskistä yhteentörmäykselle yhteensä (kaikki yhteentörmäystyypit):

- **Skenaario 2.1 Yhteentörmäykset yhteensä (kaikki yhteentörmäystyypit):** Tämän tapahtuman esiintymistiheys, jos Hallan merituulivoimapuisto otetaan käyttöön, on arviolta $5,6 \cdot 10^{-4}$ vuodessa (josta 16 %:ssa mukana öljytuotesäiliöaluksia ja 84 %:ssa muita aluksia (lähinnä yleisrahtialuksia)). Jos Hallan, Omegan ja Polargrundin merituulivoimapuistot otetaan käyttöön, tapahtuman esiintymistaajuudeksi arvioidaan $1,0 \cdot 10^{-4}$ (josta 17 %:ssa mukana öljytuotesäiliöaluksia ja 83 %:ssa muita aluksia (lähinnä yleisrahtialuksia)).

Tapahtuman esiintymisen odotetaan olevan *hyvin etäinen* tai *etäinen* (taajuusindeksi = 2,7), mutta jos se tapahtuu, se johtaa *yksittäiseen kuolemantapaukseen tai useisiin vakaviin vammoihin* (ihmisen turvallisuuden vakavuusindeksi = 3). Jos tapahtuma sattuu, tapahtuman odotetaan johtavan öljyvuootoon, jonka laajuus on *100 tonnia*, jos Halla otetaan käyttöön (ympäristön vakavuusindeksi = 3). Vastaavat arviot on tehty myös tilanteesta, jossa sekä Hallan, Omegan että Polargrundin tuulipuistot otetaan käyttöön, mutta niille on laskettu suurempi esiintymistiheys (taajuusindeksi = 3,0).

Tästä aiheutuva riski arvioidaan *ALARPiksi* riippumatta siitä, otetaan käyttöön merituulivoimapuistot vai ei.

Taulukko 15 vetää yhteen skenaarion 2.1 esiintymistaajuuden, vakavuuden ja riski-indeksin.

Taulukko 15. Laskettu riski ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle kohdistuvista vaikutuksista skenaariossa 2.1 yhteentörmäykset yhteensä (kaikki yhteentörmäystyypit). 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tu nn.	Skenaario	Vaara	Esiintym istiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvalli- suus	Ympäristö	Ihmisten turvalli- suus	Ympäristö
2,1	Halla	Yhteen- törmäykset yhteensä, tuulipuiston aiheuttamat	2,7	3	3	5,7	5,7
2,1	Halla, Omega ja Polargrund	Yhteen- törmäykset yhteensä, tuulipuiston aiheuttamat	3,0	3	3,2	6,0	6,2

6.2.2 Ohitustörmäys

Kun Hallan merituulivoimapuisto otetaan käyttöön, oletus on, että syntyy enemmän tilanteita, joissa ohitustörmäyksiä voi tapahtua. Riski on vieläkin välittömämpi kahden erillisen merituulivoimapuiston välisillä laivareiteillä, joissa liikenne kulkee pienemmässä tilassa.

Ohitustörmäysten seurauksista ja niistä seuraavasta riskistä on tehty seuraava arviointi:

- **Skenaario 2.2 Ohitustörmäys:** Tämän tapahtuman esiintymistiheys, jos Hallan merituulivoimapuisto otetaan käyttöön, on arviolta $4 \cdot 10^{-5}$ vuodessa (josta 16 %:ssa mukana öljytuotesäiliöaluksia ja 84 %:ssa muita aluksia (lähinnä yleisrahtialuksia)). Jos Hallan, Omegan ja Polargrundin merituulivoimapuistot otetaan käyttöön, tapahtuman esiintymistaajuudeksi arvioidaan $1,1 \cdot 10^{-4}$ (josta 17 %:ssa mukana öljytuotesäiliöaluksia ja 83 %:ssa muita aluksia (lähinnä yleisrahtialuksia)).

Tapahtuman esiintymisen odotetaan olevan *äärimmäisen etäinen* tai *hyvin etäinen* (taajuusindeksi = 1,6), mutta jos se tapahtuu, se johtaa *yksittäiseen kuolemantapaukseen tai useisiin vakaviin vammoihin* (ihmisen turvallisuuden vakavuusindeksi = 3). Jos tapahtuma sattuu, tapahtuman odotetaan johtavan öljyvuotoon, jonka laajuus on *100 tonnia*, jos Halla otetaan käyttöön (ympäristön vakavuusindeksi = 3,1). Vastaavat arviot on tehty myös tilanteesta, jossa sekä Hallan, Omegan että Polargrundin tuulipuistot otetaan käyttöön, mutta niille on laskettu suurempi esiintymistiheys (taajuusindeksi = 2,0).

Tästä aiheutuva riski arvioidaan *hyväksyttäväksi*, jos pelkkä Hallan merituulivoimapuisto otetaan käyttöön, mutta *ALARPiksi*, jos sekä Hallan, Omegan että Polargrundin merituulivoimapuistot otetaan käyttöön.

Taulukko 16 vetää yhteen skenaarion 2.2 esiintymistaajuuden, vakavuuden ja riski-indeksin.

Taulukko 16. Laskettu riski ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle kohdistuvista vaikutuksista skenaariossa 1 Ohitustörmäys: 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tunnus	Skenaario	Vaara	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
2,2	Halla	Ohitustörmäys	1,6	3	3,1	4,6	4,7
2,2	Halla, Omega ja Polargrund	Ohitustörmäys	2,0	3	3,2	5,1	5,2

6.2.3 Etutörmäys

Kun merituulivoimapuisto otetaan käyttöön, yleisoletus on, että alukset kulkevat lähempänä toisia, vastakkaiseen suuntaan liikkuvia aluksia mikä voi johtaa useampiin potentiaaliisiin etutörmäyksiin. Hallan merituulivoimapuiston käyttöönotto tarkoittaa myös sitä, että hankealueen poikki tällä hetkellä kulkevien alusten on kuljettava uusia reittejä merituulivoimapuiston ympäri. Tämä lisää hieman liikennettä Hallan ympärillä olevilla reiteillä ja siten teoreettisesti lisää etutörmäyksen todennäköisyyttä.

Etutörmäysten seurauksista ja niistä seuraavasta riskistä on tehty seuraava arviointi:

- **Skenaario 2.3 Etutörmäys:** Tämän tapahtuman esiintymistiheys, jos Hallan merituulivoimapuisto otetaan käyttöön, on arviolta $3,4 \cdot 10^{-4}$ vuodessa (josta 16 %:ssa mukana öljytuotesäiliöaluksia ja 84 %:ssa muita aluksia (lähinnä yleisrahtialuksia)). Jos Hallan, Omegan ja Polargrundin merituulivoimapuistot otetaan käyttöön, tapahtuman esiintymistaajuudeksi arvioidaan $7,3 \cdot 10^{-4}$ (josta 17 %:ssa mukana öljytuotesäiliöaluksia ja 83 %:ssa muita aluksia (lähinnä yleisrahtialuksia)).

Tapahtuman esiintymisen odotetaan olevan *hyvin etäinen* tai *etäinen* (taajuusindeksi = 2,5), mutta jos se tapahtuu, se johtaa *yksittäiseen kuolemantapaukseen* tai *useisiin vakaviin vammoihin* (ihmisen turvallisuuden vakavuusindeksi = 3). Jos tapahtuma sattuu, tapahtuman odotetaan johtavan öljyvuotoon, jonka laajuus on *100 tonnia*, jos Halla otetaan käyttöön (ympäristön vakavuusindeksi = 3,1). Vastaavat arviot on tehty myös tilanteesta, jossa sekä Hallan, Omegan että Polargrundin tuulipuistot otetaan käyttöön, mutta niille on laskettu suurempi esiintymistiheys (taajuusindeksi = 2,9).

Tästä aiheutuva riski arvioidaan *ALARPiksi* riippumatta siitä, otetaanko käyttöön pelkkä Hallan merituulivoimapuisto vai sekä Hallan, Omegan että Polargrundin merituulivoimapuistot.

Taulukko 17 vetää yhteen skenaarion 2.3 esiintymistaajuuden, vakavuuden ja riski-indeksin.

Taulukko 17. Laskettu riski ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle kohdistuvista vaikutuksista skenaariossa 2.3 Etutörmäys: 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tunnus	Skenaario	Vaara	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
2,3	2.3 Halla	Etutörmäys	2,5	3	3,1	5,5	5,6
2,3	2.3 Halla, Omega ja Polargrund	Etutörmäys	2,9	3	3,2	5,9	6,1

6.2.4 Risteämistörmäys

Kun Hallan merituulivoimapuisto otetaan käyttöön, jotkin alusten tällä hetkellä merituulivoimalan alueella käyttämät reittipisteet (risteykset) jäävät pois käytöstä. Niiden tilalle merituulivoimapuiston ympärille luodaan uusia reittipisteitä, joissa voi tapahtua yhteentörmäyksiä.

Risteämistörmäyksen laskelma (**skenaario 2.4**) osoittaa, että Hallan merituulivoimapuiston käyttöönoton ei odoteta lisäävän riskiä vaan jopa pienentävän riskiä hieman.

Taulukko 18 Laskettu riski ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle kohdistuvista vaikutuksista skenaariossa 2.4 Risteämistörmäys: 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tunn.	Skenaario	Vaara	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
2,4	Halla	Risteämistörmäys	-	-	-	Merituulivoimapuisto ei aiheuta riskiä ihmisten turvallisuudelle tai ympäristölle	

6.2.5 Liittymistörmäys

Kun Hallan merituulivoimapuisto otetaan käyttöön, jotkin alusten tällä hetkellä merituulivoimalan alueella käyttämät liittymiskohdat jäävät pois käytöstä. Niiden tilalle syntyy Hallan käyttöönoton yhteydessä uusia kohtia, joissa aluksen liittyvät liikenteeseen.

Liittymistörmäysten seurauksista ja niistä seuraavasta riskistä on tehty seuraava arviointi:

- **Skenaario 2.5 Liittymistörmäys:** Tämän tapahtuman esiintymistiheys, jos Hallan merituulivoimapuisto otetaan käyttöön, on arviolta $3,5 \cdot 10^{-5}$ vuodessa (josta 16 %:ssa mukana öljytuotesäiliöaluksia ja 84 %:ssa muita aluksia (lähinnä yleisrahtialuksia)). Jos Hallan, Omegan ja Polargrundin merituulivoimapuistot otetaan käyttöön, tapahtuman esiintymistajuuksi arvioidaan $2,7 \cdot 10^{-5}$ (josta 17 %:ssa mukana öljytuotesäiliöaluksia ja 83 %:ssa muita aluksia (lähinnä yleisrahtialuksia)).

Tapahtuman esiintymisen odotetaan olevan *äärimmäisen etäinen* tai *hyvin etäinen* (taajuusindeksi = 1,5), mutta jos se tapahtuu, se johtaa *yksittäiseen kuolemantapaukseen tai useisiin vakaviin vammoihin* (ihmisen turvallisuuden vakavuusindeksi = 3). Jos tapahtuma sattuu, tapahtuman odotetaan johtavan öljyvuotoon, jonka laajuus on *100 tonnia*, jos Halla otetaan käyttöön (ympäristön vakavuusindeksi = 3,3). Vastaavat arviot on tehty myös tilanteesta, jossa sekä Hallan, Omegan että Polargrundin tuulipuistot otetaan käyttöön.

Tästä aiheutuva riski arvioidaan *hyväksyttäväksi* kaikissa lasketuissa skenaarioissa.

Taulukko 19 vetää yhteen skenaarion 2.5 esiintymistajuuuden, vakavuuden ja riski-indeksin.

Taulukko 19. Laskettu riski ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle kohdistuvista vaikutuksista skenaariossa 1 Liittymistörmäys: 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tu nn.	Skenaario	Vaara	Esiintym istiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvalli- suus	Ympäristö	Ihmisten turvalli- suus	Ympäristö
2,5	Halla	Liittymistörmäys	1,5	3	3,4	4,5	4,9
2,5	Halla, Omega ja Polargrund	Liittymistörmäys	1,4	3	3,4	4,4	4,8

6.2.6 Kääntymistörmäys

Kun Hallan merituulivoimapuisto otetaan käyttöön, hankealueen läpi kulkevan liikenteen on kuljettava uusia reittejä. Joskus uudet reitit voivat olla pidempiä kuin nykyiset, ja alusten on käännättävä useammin merituulivoimapuiston ympärillä. Tämä voi mahdollisesti lisätä laivojen välisten kääntymistörmäysten todennäköisyyttä.

Kääntymistörmäysten seurauksista ja niistä seuraavasta riskistä on tehty seuraava arviointi:

- **Skenaario 2.6 Kääntymistörmäys:** Tämän tapahtuman esiintymistiheys, jos Hallan merituulivoimapuisto otetaan käyttöön, on arviolta $3,0 \cdot 10^{-4}$ vuodessa (josta 16 %:ssa mukana öljysäiliöaluksia ja 84 %:ssa muita aluksia (lähinnä yleisrahtialuksia)). Jos Hallan, Omegan ja Polargrundin merituulivoimapuistot otetaan käyttöön, tapahtuman esiintymistaajuudeksi arvioidaan $3,3 \cdot 10^{-4}$ (josta 17 %:ssa mukana öljysäiliöaluksia ja 83 %:ssa muita aluksia (lähinnä yleisrahtialuksia)).

Tapahtuman esiintymisen odotetaan olevan *äärimmäisen etäinen* tai *hyvin etäinen* (taajuusindeksi = 2,5), mutta jos se tapahtuu, se johtaa *yksittäiseen kuolemantapaukseen tai useisiin vakaviin vammoihin* (ihmisen turvallisuuden vakavuusindeksi = 3). Jos tapahtuma sattuu, tapahtuman odotetaan johtavan öljyvuotoon, jonka laajuus on *100 tonnia*, jos Halla otetaan käyttöön (ympäristön vakavuusindeksi = 3,1). Vastaavat arviot on tehty myös tilanteesta, jossa sekä Hallan, Omegan että Polargrundin tuulipuistot otetaan käyttöön.

Tästä aiheutuva riski arvioidaan *ALARPiksi* riippumatta siitä, otetaanko käyttöön pelkkä Hallan merituulivoimapuisto vai sekä Hallan, Omegan että Polargrundin merituulivoimapuistot.

Taulukko 20 vetää yhteen skenaarion 2.6 esiintymistaajuuden, vakavuuden ja riski-indeksin.

Taulukko 20. Laskettu riski ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle kohdistuvista vaikutuksista skenaariossa 2.6 Kääntymistörmäys: 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tunnus	Skenaario	Vaara	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
2,6	Halla	Kääntymistörmäys	2,5	3	3,1	5,5	5,6
2,6	Halla, Omega ja Polargrund	Kääntymistörmäys	2,5	3	3,2	5,5	5,7

6.2.7 Törmäys satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa

Käyttö-, rakennus- ja käytöstäpoistovaiheessa työ- ja huoltoalukset voivat törmätä säännölliseen alusliikenteeseen, kun ne ohjaavat merituulivoimapuiston alueelle tai poistuvat sieltä. Taulukko 21 arvioi rakennus- ja käytöstäpoistovaiheen riskit.

Käyttövaiheen huoltoliikenne koostuu satunnaisista läpikuluista päivässä, ja sen arvioidaan muodostavan hyvin pienen osuuden kokonaisyhteentörmäysriskistä. Arvioitu vuotuisten kauttakulkujen määrä käyttövaiheen aikana on noin 300¹⁵.

Liikenteen odotetaan lisääntyvän rakennus- ja käytöstäpoistovaiheessa, ja vuosittaisten matkojen määräksi arvioidaan varovaisesti 500. Näihin toimintoihin käytetään Raahen satamaa¹⁵.

Noin 2–3 vuoden aikana¹⁵, jolloin merituulivoimapuistoa rakennetaan, työalusten ja säännöllisen liikenteen välisten yhteentörmäysten esiintymistajuuden odotetaan siten olevan jonkin verran suurempi kuin normaali yhteentörmäysriski alueella. Oletuksena seuraukset ovat samoja kuin muille törmäystyypeille.

Kääntymistörmäysten seurauksista ja niistä seuraavasta riskistä on tehty seuraava arviointi:

- **Skenaario 2.7 Törmäys satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa:** Tämän tapahtuman esiintymistajuuden arvioidaan olevan $1,8 \cdot 10^{-4}$. Tapahtuman esiintymisen odotetaan olevan *hyvin etäinen* (taajuusindeksi = 2,3), mutta jos se tapahtuu, se johtaa *yksittäiseen kuolemantapaukseen tai useisiin vakaviin vammoihin* (ihmisen turvallisuuden vakavuusindeksi = 3). Jos tapahtuma sattuu, tapahtuman odotetaan johtavan öljyvuotoon, jonka laajuus on *100 tonnia*, jos Halla otetaan käyttöön (ympäristön vakavuusindeksi = 3,1).

Rakennus- ja käytöstäpoistovaiheessa syntyvä riski arvioidaan *ALARPiksi*. Käyttövaiheen aikana yhteentörmäysriskin odotetaan olevan *ALARP* (katso 6.2.1).

Taulukko 21 vetää yhteen skenaarion 2.7 esiintymistajuuden, vakavuuden ja riski-indeksin.

Taulukko 21. Laskettu riski vaikutuksista ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle skenaariossa 2.7 Törmäys satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa merituulivoimapuiston rakennus- ja käytöstäpoistovaiheessa. 1.3.3 kuvaa indeksejä ja värikoodit.

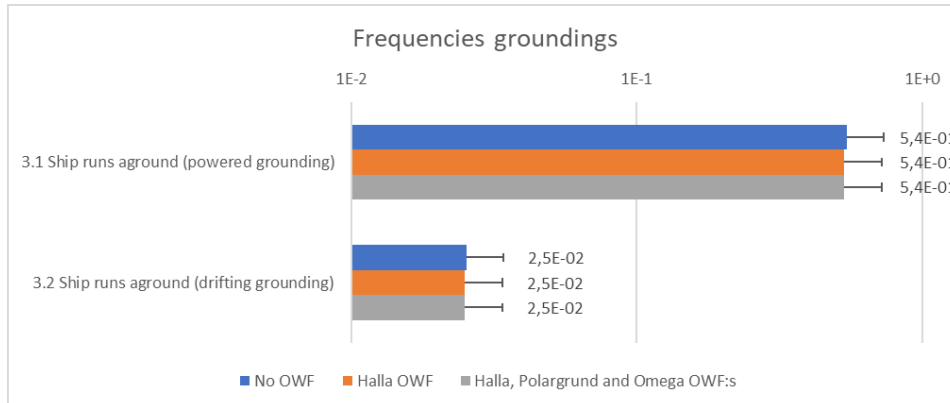
Tu nn.	Skenaario	Vaara	Esiintymis- tiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvalli- suus	Ympäristö	Ihmisten turvalli- suus	Ympäristö
2,7	Halla	Törmäys satamaan/ satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa	2,3	3	3,1	5,3	5,4

6.3 Pohjakosketus

Tuulivoimapuiston käyttöönotosta seuraava uusi liikennemalli voi johtaa entistä useampiin pohjakosketustilanteisiin. Kuva 16 näyttää lasketun pohjakosketustajuuden kolmessa eri skenaariossa. Jos merituulivoimapuistoa ei oteta käyttöön, jos Hallan merituulivoimapuisto otetaan käyttöön tai jos Hallan, Polargrundin ja Omegan merituulivoimapuistot otetaan käyttöön alueelle.

¹⁵ Sähköpostiviestintä Carlo Giesecken, Hallan merituulivoimapuiston projektikehittäjän kanssa, 27.9.2023.

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



Kuva 16. Pohjakosketustaajuus vuodessa (palkit ja numerot) Hallan ympärillä olevalla alueella logaritmisella asteikolla. Erilaisten pohjakosketustyyppien todennäköisyys kesäolosuhteissa, jos merituulivoimapuistoja ei otetaan käyttöön, jos Hallan merituulivoimapuisto otetaan käyttöön ja jos Hallan, Polargrundin ja Omegan merituulivoimapuistot otetaan käyttöön. Epävarmuuspalkit (mustat viivat) osoittavat esiintymistiheyttä tulevassa liikenneskenaariossa vuodelle 2060, jolloin alusten määrä on kasvanut 35 %. Katso toistumisjakso ja tarkemmat tiedot esiintymistiheyttä luvusta 1.3.3

IWRAP-laskelmien mukaan pohjakosketusten esiintymistiheys on korkeampi kuin millään muulla alueen onnettomuusluokalla. Merkittävä osa esiintymistiheydestä tulee Suomen ja rannikkoalueiden lähellä matalissa vesissä kulkevien alusten moottoroiduista pohjakosketuksista. Vain murto-osa pohjakosketuksista tapahtuu Hallan merituulivoimapuiston vieressä, ja suurin osa Hallan merituulivoimapuiston itäpuolella, lähempänä rannikkoa. Jos haluat verrata alueen todellisiin onnettomuustilastoihin, katso osio 2.3.

6.3.1 Moottoroitu pohjakosketus

Moottoroitujen pohjakosketusten seurauksista ja niistä seuraavasta riskistä on tehty seuraava pohjakosketus)

- **Skenaario 3.1 Moottoroitu pohjakosketus:** Pohjakosketustaajuus on melko sama kesäolosuhteissa ennen ja jälkeen Hallan käyttöönoton. Moottoroidun pohjakosketuksen esiintymistiheyden voidaan havaita hieman laskevan, mikä johtaa pieneen kokonaispohjakosketustaajuuden vähenemiseen (<1 %). Siksi Hallan merituulivoimapuisto ei lisää moottoroidun pohjakosketuksen riskiä, katso Taulukko 22. Jos sekä Halla, Omega että Polargrund otetaan käyttöön, esiintymistiheyden ei muutu verrattuna käyttöönottoa edeltäneeseen aikaan. Lisätietoja pohjakosketustuloksista: Appendix C.

Taulukko 22 vetää yhteen skenaarion 3.1 esiintymistaajuuden, vakavuuden ja riski-indeksin.

Taulukko 22. Laskettu riski vaikutuksista ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle skenaariossa 3.1 Navigoiva alus ajaa karille (moottoroitu pohjakosketus) 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Seuraus (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
3,1	Moottoroitu pohjakosketus	<1	-		Riski pienenee, kun merituulivoimapuisto otetaan käyttöön	

6.3.2 Ajelehtiva pohjakosketus

Ajelehtivien pohjakosketusten seurauksista ja siitä seuraavasta riskistä on tehty seuraava arviointi.

- **Skenaario 3.2 Ajelehtiva pohjakosketus:** IWRAPin laskelmien mukaan syntyvä riski on sama riippumatta siitä, otetaanko käyttöön Halla, kaikki kolme tuulipuistoa tai ei lainkaan tuulipuistoja.

Taulukko 23 Laskettu riski ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle kohdistuvista vaikutuksista skenaariossa 2.4 Ajelehtiva pohjakosketus. 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Seuraus (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
3,2	Ajelehtiva pohjakosketus	<1	-		Riski on sama riippumatta siitä, otetaanko käyttöön merituulivoimapuisto vai ei.	

6.4 Aluksen tutkahäiriö

Tutkan ja navigointijärjestelmien häiriöt voivat johtaa tutkan vaikeasti tulkittavaan tai jopa harhaanjohtavaan tuotokseen. Tämä tarkoittaa, että päätöksiä voidaan joutua tekemään monimutkaisempien ja joskus virheellisten tietojen perusteella, kun navigoidaan merituulivoimapuiston alueella.

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. Jopa lumisade ja sumu voivat heikentää tutkan käyttöä, mikä vaikeuttaa alusten ja tuulivoimaloiden näkemistä. Jää voi 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).

6.4.1 Aluksen tutkahäiriö (kohteen menettäminen)

Tuulivoimalat voivat heikentää aluksen tutkan kykyä havaita merituulivoimapuiston läheisyydessä sekä sen edessä ja takana olevia aluksia.

Aluksen tutkahäiriön (kohteen menettäminen) seurauksista ja siitä aiheutuvasta riskistä on tehty seuraava arvio:

- **Skenaario 4.1 Aluksen tutkahäiriö (kohteen menettäminen):**
Skenaario kattaa aluksen tutkahäiriön, jossa kohde menetetään ja joka aiheuttaa kahden aluksen yhteentörmäyksen.

Jos liikenne kulkee lähempää kuin 1,5 merimailin päässä Hallaa, tutkahäiriöitä voi esiintyä. Aluksien tutka voi olla S-alueella, jolloin kohde menetetään¹⁶. Tapahtumaa pidetään *todennäköisenä* (taajuusindeksi 6 = kerran vuodessa).

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.

Suuret alukset on varustettu useilla eri järjestelmillä, joiden tarkoituksena on kerätä tietoja. Lisätietoja on kohdassa Appendix B. X-alueen tutka antaa tarkempaa tietoa lähellä olevista kohteista, samoin AIS:n käyttäminen täydentävänä tutkana, jos lähellä olevat pienet alukset katoavat tutkanäytöltä. Lisäksi Hallan merituulivoimapuiston ympärillä kulkevilla eri laivareiteillä liikkuu keskimäärin 1–3 alusta päivässä. Alusten pieni määrä vähentää entisestään tutkan vaikutuksesta seuraavan alusten yhteentörmäyksen todennäköisyyttä.

Siksi tutkahäiriön ei odoteta aiheuttavan yhteentörmäyksiä merituulivoimapuiston kautta kulkevien alusten välillä. Seurauksen arvioidaan olevan *vähäinen* (1). Lisätietoja aluksen tutkahäiriöistä on kohdassa Appendix B.

Tästä aiheutuva riski arvioidaan *ALARP*-arvoksi.

Taulukko 24 vetää yhteen skenaarion 4.1 esiintymistaajuuden, vakavuuden ja riski-indeksin.

¹⁶ Myös muita häiriöitä, kuten tutkakaikuja, voi esiintyä tällä etäisyydellä, mutta ne aiheuttavat ilmoitetusti navigointiongelmia vain alle 0,25 merimailin (500 m) etäisyyksillä, eli riskiä ei aiheudu laivaväylien liikenteelle.

Taulukko 24. Arvioidut riskit ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle kohdistuvista vaikutuksista skenaariossa 4.1 Aluksen tutkahäiriö (kohteen menettäminen). 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tunn.	Skenaario	Vaara	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
4,1	Halla	Aluksen tutkahäiriö (kohteen menettäminen)	6,0	1,0	1,0	7,0	7,0

6.4.2 Aluksen tutkahäiriö (navigointihäiriö)

Aluksen tutkahäiriön (navigointihäiriö) seurauksista ja aiheutuvasta riskistä on tehty seuraava arviointi (skenaario 4.2).

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. Alus kulkee alle 0,25 merimailin etäisyydellä ja kokee häiriöitä aluksen tutkassa ja muissa navigointilaitteissa.¹⁷
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 virheellisten tietojen perusteella ja suuntaa tuulipuistoon. (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**.¹⁸
3. Aluksen väärän kurssin havaitsemisessa epäonnistutaan, minkä vuoksi toimet viivästyvät tai niihin ei ryhdytä.
Puisto on erittäin selkeä navigointipiste ja se merkitään IALAn suositusten mukaisesti. Päiväsaikaan puisto on normaaleissa

¹⁷ 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 tornien absoluuttisessa läheisyydessä (0,25 merimailin säteellä). S-alueen tutkan kanssa voi esiintyä häiriöitä, ja tämän riskin on kuvattu osissa 6.4.1. Itse tuulivoimaloiden ei odoteta katoavan tutkasta, mutta ne voivat aiheuttaa väärää kaikuja ja välkettä, jolloin käytettävissä olevat tiedot ovat monimutkaisempia. Moniteilmiöitä ja radiovarjoja voi esiintyä paikallisesti, mutta niillä on vain vähän vaikutusta laivaväylien liikenteeseen, koska valtaosa aluksista todennäköisesti ohittaa merituulivoimapuiston yli 0,25 merimailin etäisyydeltä.

¹⁸ 1/100 on melko korkea HEP-arvo rutiinomaiselle navigoinnille ja tunnettu häiriö, jolle on saatavilla monia vaihtoehtoisia tietolähteitä. Katso lisätietoja kohdasta 8 Epävarmuusanalyysi.

olosuhteissa hyvin nähtävissä ympäröiviä laivaväyliä käyttäviltä aluksilta. Tuulivoimalat varustetaan myös julkisivuvalaistuksella, joka lisää näkyvyyttä ja suunnistettavuutta myös pimeässä. Joissakin torneissa on myös estevalot. Lisäksi alusliikennettä puiston ympärillä seurataan, ja väärällä kurssilla oleville aluksille voidaan ilmoittaa VHS:n kautta. Tilanteen, jossa laivan miehistö ei huomaa tuulivoimalaa eikä ryhdy toimiin, todennäköisyydeksi arvioidaan **1 kerta 100:sta**.¹⁹

4. Tuulivoimalaan ohjaava alus.

Tuulivoimaloiden perustukset ovat halkaisijaltaan noin 16 metriä ja tornien välinen etäisyys on vähintään 1 kilometri. Todennäköisyys, että alus navigoi vahingossa tuulipuiston alueelle ja törmää sen jälkeen tuulivoimalaan, on arviolta **<10 %**.

Kaiken kaikkiaan aluksen tutkahäiriöitä, jotka johtavat aluksen törmäämiseen tuulivoimalaan, arvioidaan esiintyvän harvemmin kuin **kerran 10 000 vuodessa**.²⁰

Seurauksen oletetaan olevan sama kuin skenaariossa 1.1.

Yhteenvedon voidaan todeta, että todennäköisyys, että tällä etäisyydellä sijaitsevien tornien aiheuttama häiriö antaa niin harhaanjohtavaa tietoa, että se johtaa epätarkkaan navigointiin ja sen jälkeen törmäykseen päin tuulivoimalaa, on merkityksetön verrattuna muihin aiheuttaviin tekijöihin. Törmäykseen johtavassa skenaariossa oletetaan, että alus navigoi meriliikennealueen 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.

Taulukko 25 vetää yhteen skenaarion 4.2 esiintymistaajuuden, vakavuuden ja riski-indeksin.

Taulukko 25. Arvioidut riskit ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle kohdistuvista vaikutuksista skenaariossa 4.2 Aluksen tutkahäiriö (navigointihäiriö) 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tunn.	Skenaario	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
			Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
4,2	Aluksen tutkahäiriö (navigointihäiriö)	<2	3	2,9	<5	<5

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

¹⁹ 1/100 on melko korkea HEP-arvo miehistön navigointivirheen havaitsemiselle ja sen korjaamiseksi rutiinitoiminnolla. Katso lisätietoja kohdasta 8 Epävarmuusanalyysi.

²⁰ <10 alusta/vuosi · 0,01 · 0,01 · 10 % = 0,0001.

tietojärjestelmiin niin suuria häiriöitä, että puistossa olevat alukset ohjaavat päin tuulivoimalaa.

Valtuutetulle liikenteelle (työ- ja huoltoalukset) aiheutuvat seuraukset on rajattu merenkulun riskianalyysin rajojen ulkopuolelle.

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 riippuen²¹:

- 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 on samanaikaisesti 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 näkyvyysolosuhteissa 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 kokoiset alukset päättävät navigoida merituulivoimapuiston kautta, on niillä hyvät edellytykset saada riittävästi tietoa ympäristöstä myös huonossa näkyvyydessä ja minkä tahansa järjestelmähäiriön 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 tutkainformaatiosta.

Yhteenvedon 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 navigoida päin tuulivoimalaa on **<10 %**. Kun alus lähestyy tuulivoimalaa, oletetaan, että vika voidaan tunnistaa, mutta tarvittavan väistöliikkeen epäonnistumisen todennäköisyys on silti **1,6·10⁻⁴** (Engberg, 2019). Samankaltaisista onnettomuuksista saatujen kokemusten perusteella

²¹ Ammattimaiseen merenkulkuun sovelletaan navigointilaitteita koskevia vaatimuksia, jotka koskevat kaikkia tietyntyyppisiä aluksia sekä kaikkia matkustaja-aluksia ja säiliöaluksia. Vaatimukset on määritetty SOLAS-yleissopimuksen 5. luvussa (IMO, 2002). Lyhyesti sanottuna vaatimukset tarkoittavat, että suurin osa Ruotsin vesillä liikuvista aluksista on varustettu muun muassa tavallisella magneettikompassilla, elektronisilla karttajärjestelmillä, GPS-vastaanottimella, AIS:llä ja tutkalla (suuremmat alukset redundantteilla taajuusalueilla ja piirturitoiminnoilla, kuten ARPA) tai vastaavalla. (IMO, 2002)

vakavuusindeksiksi on asetettu 2 sekä ihmisten turvallisuudelle että ympäristölle kohdistuville vaikutuksille, ks. kohta 2.3.

Taulukko 26 vetää yhteen skenaarion 4.3 esiintymistajuuden, vakavuuden ja riski-indeksin.

Taulukko 26. Arvioidut riskit ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle kohdistuvista vaikutuksista skenaariossa 4.3 Aluksen tutkahäiriö merituulivoimapuiston sisällä. 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tu nn.	Skenaario	Vaara	Esiintymisti heys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvalli- suus	Ympäristö	Ihmisten turvalli- suus	Ympäristö
4,3	Halla	Aluksen tutkahäiriö merituuli-voimapuiston alueen sisällä	2,2	2	2	4,2	4,2

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 (PIANC, 2018). Hätäkutsuja saattaa olla vaikeampaa kuulla paikoista, jotka ovat merituulivoimapuiston vuoksi varjossa. Tutkahäiriö, vaikutus sijaintiraportointiin (mukaan lukien AIS-raportointi ja vaihtoehtoiset navigointityökalut) yhdistettynä huonoon näkyvyyteen voivat johtaa pelastusaluksessa stressaavaan päätöksentekotilanteeseen etsintä- tai pelastusoperaation tapahtuessa. Radioseuranta voi olla vaikeampaa, katso myös Appendix B.

Seuraava arviointi on tehty tilanteesta, jossa merituulivoimapuisto vaikeuttaa etsintä- ja pelastustoimintaa, sen seurauksista ja syntyvistä riskeistä:

- **Akenario 4.4 Merituulivoimapuisto vaikeuttaa etsintä- ja pelastustoimintaa:** Skenaario itsessään ei ole ensimmäinen tapahtuma, vaan tekijä, joka voi vaikeuttaa etsintä- ja pelastustoimintaa. Tällä hetkellä on yleistä, että alueella tarvitaan jäänmurtaja-apua ja luotsausta. Ottaen huomioon hypoteesin siitä, että merituulivoimapuiston rakentaminen lisää onnettomuusriskiä, myös pelastustoiminnan tarve voi kasvaa.

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

Tästä huolimatta tuulivoimaloiden ei odoteta muodostavan suurta estettä etsintä- ja pelastustoiminnalle, koska voimaloiden välinen etäisyys on vähintään 1 kilometri ja merenpinnan ja alimman siipikärjen välinen etäisyys on yli 30 metriä. Pelastusaluksilla on näin tilaa liikkua tuulivoimaloiden välillä ja niiden alapuolella.

Tuulivoimalat voivat myös joissakin tapauksissa yksinkertaistaa meripelastusoperaatiota, koska tornit ovat selkeitä viitepisteitä.

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 160 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 on ehdollinen etsintä- ja pelastustoiminnan skenaariolle. Jos samaan aikaan sattuu toinen onnettomuusskenaario, seurauksena voi olla etsintä- ja pelastustoiminnan hienoinen vaikeutuminen.

Yhteenvedona voidaan todeta, että riskiä pidetään raskauttavana asianhaarana joillekin muille tässä raportissa esiin tuoduille onnettomuusskenaarioille. Sitä ei voida helposti arvioida samassa mittakaavassa kuin muita riskejä, mutta se luokitellaan ALARP-tason riskiksi, jota on käsiteltävä tarkemmin (katso riskin yhteenvedo, Taulukko 27).

Taulukko 27. Arvioitu riski sille, että merituulivoimapuisto vaikeuttaa etsintä- ja pelastustoimintaa. Värikoodit on kuvattu kohdassa 1.3.3.

Tunn.	Skenaario	Vaara	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
4,4	Halla	Merituulivoimapuisto vaikeuttaa etsintä- ja pelastustoimintaa	-	-	-	ALARP	

6.5 Talviolosuhteet

6.5.1 Merituulivoimapuisto vaikuttaa jään kertymiseen

Merituulivoimalaa otettaessa käyttöön alueen jäänmuodostuksessa voi tapahtua muutoksia. Vielä ei kuitenkaan tiedetä, miltä jäänmuodostuksen ja jääpeitteen muutos saattaa näyttää. Tiedossa ei ole tutkimuksia siitä, miten merituulivoima voi muuttaa merijään muodostumista.

Merituulivoimapuistosta aiheutuvista jäänmuodostuksen muutoksista ja sen riskistä on tehty seuraava arviointi:

- **Skenaario 5.1 Merituulivoimapuisto vaikuttaa jään kertymiseen:** Kun merituulivoimapuisto otetaan käyttöön, mereen syntyy uusia kiinteitä pisteitä, joihin jäätä voi kerääntyä tuulivoimalan pinnalle. Samalla tuulivoimaloiden käyttöönotto voi johtaa siihen, että ajojaa murtuu

voimaloiden perustuksia vasten.

Ruotsin liikennevirasto (2022) luettelee seuraavat merijäättä ja merituulivoimapuiston käyttöönottoa koskevat skenaariot:

- Tuulivoimalan perustukset voivat rikkoa jään ja ajojää voi juuttua alueelle. Ahtojäävalleja voi muodostua, kun jääkenttä työntyy takaapäin ja puristaa jään.
- Tuulivoimalan perustukset voivat rikkoa merituulivoimapuiston ohi kulkevaa jäätä, mikä johtaa jään puristumiseen ja suurien ahtojäävallialueiden muodostumiseen.
- Jää voi ajelehtia edestakaisin merituulivoimapuiston alueella, mikä johtaa jään toistuvaan rikkoutumiseen ja puristumiseen ja muodostaa paksun jäävallin, joka juuttuu alueelle.

Lisäksi jää, johon tuulipuisto on vaikuttanut, voi myös ajelehtia ja haitata laivaliikennettä 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).

Tuulivoimalan lavoista lentävän jään riski käsitellään osiossa 6.6.

Yhteenvedon voidaan todeta, että riskiä pidetään raskauttavana asianhaarana joillekin muille tässä raportissa esiin tuoduille onnettomuusskenaarioille. Sitä ei voida helposti arvioida samassa mittakaavassa kuin muita riskejä, mutta se luokitellaan *ALARP*-tason riskiksi, jota on käsiteltävä tarkemmin (katso riskin yhteenvedo, Taulukko 28).

Taulukko 28. Arvioitu riski merituulivoimapuiston vaikutuksesta jään kertymiseen. Värikoodit on kuvattu kohdassa 1.3.3.

Tunn.	Skenaario	Vaara	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
5,1	Halla	Merituulivoimapuisto vaikuttaa jään kertymiseen	-			ALARP	

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.

Energiapuistosta 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 ahtojäävallien kohtaamisen todennäköisyys kasvaa ja apua odottavat, paikallaan seisovat alukset altistuvat jään voimille ja rungon vaurioitumisen riskille.

Pidemmät matkaetäisyydet huomioidaan pohjakosketus-, yhteentörmäys- ja törmäysriskien laskemisessa, sillä laskelmat perustuvat uudet, pidemmät talvimerenkulkureitit huomioivaan malliin. Riskinarvioinnin osalta katso kohdat 6.1.4, 6.2.1 ja 6.3.1. 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.
1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tunn.	Skenaario	Vaara	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
5,2	Halla	Merituulivoimapuisto tukkii talvimerenkulkureitit (pidemmät reitit, jotka johtavat pohjakosketukseen, yhteentörmäykseen ja törmäykseen)	Katso osiot 6.1.4, 6.2.1 ja 6.3.1.			ALARP	
5,2	Halla	Merituulivoimapuisto estää talvimerenkulkureitit (lisää jäälle altistumista)	6	Ei seurauksia ihmisten turvallisuudelle tai ympäristölle		Ei merkittävää riskiä ihmisten turvallisuudelle tai ympäristölle	

6.6 Tuulivoimalasta putoavat tai lentävät esineet, jää mukaan lukien

Tornin rikkoutuminen ja tuulivoimalasta lentävät esineet voivat vahingoittaa Hallan merituulivoimapuiston läpi tai ohi kulkevia aluksia. Raportti *Wind Turbine Tower Collapse Cases: A Historical Overview* (Ma, Martinez-Vazquez, & Baniotopoulos, 2018) tunnistaa lavan vikaantumisen yleisimmäksi tuulivoimalan viaksi (18 %). Rakenteellinen vika (mukaan lukien tornin romahtaminen ja turbiinin rikkoutuminen) muodostaa 9 % kaikista vikatilanteista. Lavasta lentävän jään osuus on 2 %. Tuulikuormitus yhdessä inhimillisen tai mekaanisen vian kanssa on yleisin raportoitu taustalla vaikuttava syy.

Vaikka lentävän jään osuuden voidaan odottaa olevan suurempi kuin 2 % alueilla, joilla ilmasto on kylmempi ja kosteampi (kuten Pohjanlahdella), lentävästä jäästä aiheutuvat onnettomuudet ovat yleensä harvinaisia.

Tuulivoimalasta putoavien tai lentävien esineiden, jää mukaan lukien, seurauksista ja riskeistä on tehty seuraava arviointi:

- **Skenaario 5.3 Tuulivoimalasta putoavat tai lentävät esineet, jää mukaan lukien** tarkoittaa, että torni vioittuu tai tuulivoimalasta lentää muuten jotain, joka osuu ohikulkevaan alukseen.

Merenkulkualalla ei ole yleistä tuulivoimaloita koskevaa onnettomuusraportointia. Vikatodennäköisyyksien määrittämiseen käytetään hollantilaista kokoelmaa, joka kattaa 43 000 turbiinivuoden tilastot Saksassa, Tanskassa ja Alankomaissa olevista voimaloista (Braam, van Mulekom, & Smit, 2005). Turbiinihäiriöiden keskimääräinen todennäköisyys on yhteensä $2,2 \cdot 10^{-3}$ turbiinia kohti vuodessa²².

Tuulivoimahäiriöissä osat eivät yleensä lennä kauas. Lisäksi laivaväylien ja merituuvoimaloiden välinen etäisyys on niin pitkä, että mahdollisesti vain muutama yksittäinen lentävä esine voisi lentää tuulipuistoa ohittavaan alukseen asti, eikä tuulivoimaloiden turvavyöhykkeellä pitäisi olla luvattomia aluksia. Kun otetaan huomioon alueen vähäinen liikennemäärä (1–3 alusta päivässä jokaisella Hallan ympärillä kulkevalla laivaväylällä ja yksi alus joka toinen viikko Hallan läpi kulkevalla laivaväylällä), on vielä pienempi todennäköisyys, että alus olisi alueella, jossa tuulivoimalasta lentävät kohteet voisivat osua alukseen.

Todennäköisyyttä sille, että lentävä jää tai muut esineet voisivat aiheuttaa vakavan onnettomuuden ohikulkeville aluksille, pidetään siten niin pienenä, että riski on *hyväksyttävä*, vaikka seuraukset oletettaisiin vakaviksi.

Taulukko 30. Arvioidut riskit ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle kohdistuville skenaariossa 5.3 Tuulivoimalasta putoavat tai lentävät esineet, jää mukaan lukien. 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tu nn.	Skenaario	Vaara	Esiintymis tiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvalli- suus	Ympäristö	Ihmisten turvalli- suus	Ympäristö
5,3	Halla	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 Yhdyskaapelin vauriot:**

²² Lentävä jää ei sisälly havaintoihin, mutta aineistoa pidetään silti edustavana, koska lentävä jää muodostaa pienemmän osan raportoiduista tuulivoimalahäiriöistä.

Laivan ankkurit voivat kiinnittyä merenpohjassa oleviin voimansiirtojohtoihin 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 ²³:

- Kaapelin rikkoutuessa voimansiirto katkeaa eikä siten vaikuta alukseen.
- Jos kaapelin eristys vaurioituu, sähkövirta voi kulkea ankkurin läpi. Koska sähkövirta etsii matalinta vastusreittiä palatakseen maahan, sen ei nousevan ankkurin kautta alukseen ja sitten takaisin alas.
- Jos alus ankkuroituu ja vetää vaurioitunutta kaapelia kohti alusta aluksen pohjan välittömässä läheisyydessä, voi tapahtua isku tai vähäinen räjähdys, joka voi vaikuttaa alukseen. Tällaisen iskun/räjähdysen ei katsota olevan riittävän voimakas aiheuttamaan vahinkoa suuremmille aluksille, kuten säiliöaluksille tai lastialuksille. Pienemmän aluksen, kuten kalastusveneen, ei odoteta vetävän raskaita kaapeleita veneeseen asti.

Riski sille, että voimansiirtokaapelien vauriot vaikuttavat alukseen, arvioidaan merenkulun näkökulmasta merkityksettömäksi. Laajennettua riskianalyysiä ei pidetä tarpeellisena, ks. Taulukko 31.

Taulukko 31. Yhdyskaapelin vaurioitumisen arvioitu riski. Värikoodit on kuvattu kohdassa 1.3.3.

Tu nn.	Skenaari o	Vaara	Esiintymis tiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmiste n turvalli suus	Ympäristö	Ihmiste n turvalli suus	Ympäristö
6,1	Halla	Yhdyskaapelin vauriot	-	-	-	Merkityksetön riski	-

6.7.2 Kaapelit estävät hätäankkuroinnin

Hätäankkuroinnin estävien kaapeleiden seurauksista ja siitä seuraavasta riskistä on tehty seuraava arviointi.

- **Skenaario 6.2 Kaapelit estävät hätäankkuroinnin:**
Skenaariossa yhdyskaapeleiden läsnäolo voi vaikuttaa hätäankkurointihalukkuuteen, mikä vaikeuttaa alusten ajelehtimisen estämistä.

(DNV, 2021) arvioi, että on hyvin epätodennäköistä, että laivan tarvitsee ankkuroitua suoraan yhdyskaapelin yläpuolelle. Arvion mukaan ankkurointia yritetään hätätilanteessa myös paikoissa, joissa on kaapeleita. Ajelehtiminen on myös hidas tapahtuma, mikä tarkoittaa, että ankkuroitumiselle on paljon aikaa ja tilaa myös kaapelialueiden ohittamisen jälkeen. SSPA:n viittaaman tutkimuksen mukaan (2008) alukset ajelehtivat keskimäärin yhden tunnin ennen osumista kohteeseen tai uudelleenkäynnistystä. Kun otetaan huomioon alueen vähäinen liikennemäärä ja se, että on hyvin epätodennäköistä, että alusten tarvitsee ankkuroitua suoraan yhdyskaapelin yläpuolelle, riskin ei katsota tarvitsevan tarkempaa analyysiä, katso taulukko 32.

²³ Simon Lindroth, diplomi-insinööri ja sähkötekniikan tohtori, ja Torsten Björn, sähkötekniikkainsinööri, molemmat Sweco Sverige AB:n palveluksessa, 27.1.2022.

Taulukko 33 Arvioitu riski sille, että kaapelit estävät hätäankkuroinnin Väriskoodit on kuvattu kohdassa 1.3.3.

Tunn.	Skenaario	Vaara	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
6.2	Halla	Kaapelit estävät hätäankkuroinnin		-		Merkityksetön riski	

6.8 Kumulatiiviset vaikutukset

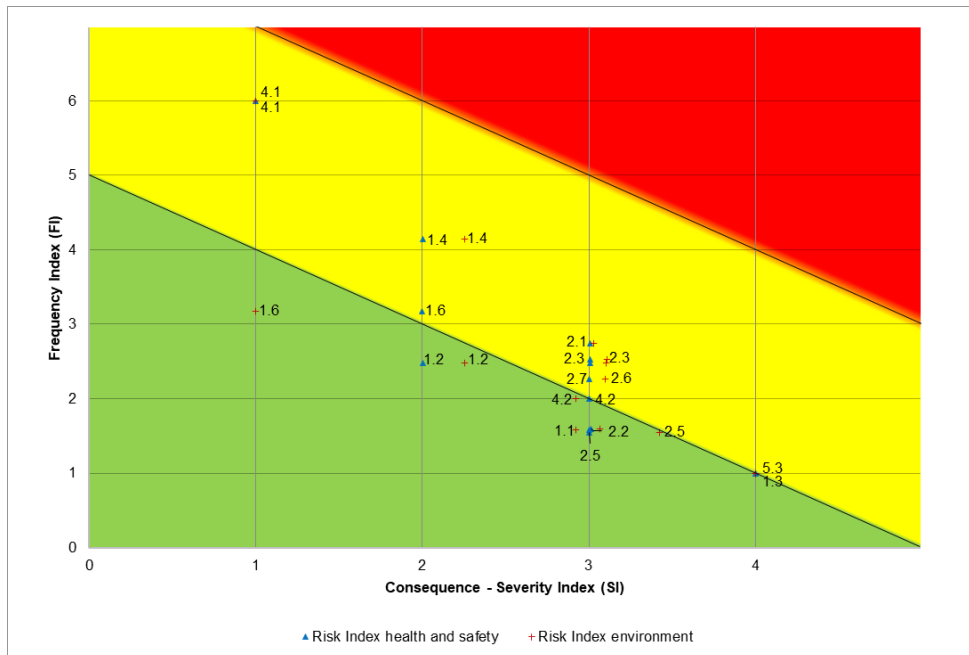
Lasketut onnettomuustaaajuudet pohjakosketukselle, törmäykselle ja alusten yhteentörmäykselle Halla ja läheiset tuulipuistot (Omega ja Polargrund) huomioiden verrattuna siihen, että niitä ei huomioida, tutkitaan epävarmuusanalyysitapauksina (lisätietoa läheisten merituulivoimapuistojen kumulatiivisista vaikutuksista alueella: katso 2.1). Pohjakosketus-, törmäys- ja alusten yhteentörmäystaaajuudet on esitetty luvun 6 kohdissa Kuva 14, Kuva 15 ja Kuva 16. Taajuusindeksi (FI), vakavuusaste (SI) ja siitä johtuva Hallan, Omegan ja Polargrundin kumulatiivisten vaikutusten riski esitetään taulukoissa luvuissa 6.1, 6.2 ja 6.3.

Useiden merituulivoimapuistojen kumulatiivinen vaikutus verrattuna vain Hallan tuulipuistoon on se, että navigointiriski alueella kasvaa, mikä on myös intuitiivista. Suurin osa riskeistä kasvaa kuitenkin vain hieman ja riskiluokitus on siten sama. Selvyyden vuoksi todettakoon, että suurin osa Hallalle *hyväksyttäväksi* tai *ALARPiiksi* arvioituista riskeistä saa saman arvion myös Hallan, Omegan ja Polargrundin tapauksessa. Poikkeuksia on kaksi. Ajelehtivasta törmäyksestä ihmisten terveydelle ja turvallisuudelle aiheutuva riski ja ohitustörmäyksestä ympäristölle aiheutuva riski luokitellaan *hyväksyttäväksi*, jos vain Halla rakennetaan, mutta *ALARPiiksi*, jos myös muita tuulipuistoja rakennetaan. Ajelehtivan törmäyksen riski selittyy odotetuilla liikennemalleilla sekä sillä, että aluksilla on useampi tuulivoimala, johon törmätä. Ohitustörmäyksen riski selittyy suuremmalla liikennetiheydellä (sekä enemmän liikennettä että ruuhkautunutta liikennettä) yleisesti, mutta erityisesti Hallan ja Polargrundin välisellä laivaväylällä. Mitään kumulatiivisista vaikutuksista ei ole arvioitu kohtuuttomaksi.

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

6.9 Riskimatriisi

Luvussa 6 esitettyjen kvantifioitujen riskien suuruus on esitetty yhteenvedon riskimatriisissa Kuva 17



Kuva 17. Riskimatriisi, joka kuvaa sekä ympäristölle että ihmisten terveydelle ja turvallisuudelle laskettua riski-indeksiä taajuuden ja seurausten perusteella.

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

Taulukko 34 Kuva 17 Kuva esittää Hallalle tunnistetut merenkulkuriskit riskimatriisissa.

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	Merituulivoimapuiston läpi kulkeva alus törmää tuulivoimalaan
2.1	Yhteentörmäykset yhteensä (kaikki yhteentörmäystyytit) (merituulivoimapuisto lisänä)
2.2	Ohitustörmäys (merituulivoimapuisto lisänä)
2.3	Etutörmäys (merituulivoimapuisto lisänä)
2.5	Liittymistörmäys (merituulivoimapuisto lisänä)
2.6	Kääntymistörmäys (merituulivoimapuisto lisänä)
2.7	Törmäys satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa (merituulivoimapuisto lisänä)
4.1	Aluksen tutkahäiriö (kohteen menettäminen)
4.2	Aluksen tutkahäiriö (navigointihäiriö)
5.3	Tuulivoimaloista putoavat esineet tai lentävä jää

Tämän kohdan riskimatriisiin merkitään vain riskit, jotka on kvantifioitu riskinarvioinnissa. Kokonaisyhteenveto riskeistä ja niiden luokituksista löytyy luvusta 7.

7. Riskinhallintatoimenpiteet

Taulukko 35 luettelee Hallalle tunnistetut vaarat sekä esittää yhteenvedon kutakin skenaariota varten arvioidusta tai lasketusta riski-indeksistä (RI). Niissä skenaarioissa, joissa riski luokitellaan ALARPiiksi, luetellaan myös suositeltu riskinvähentämisstrategia. Toimenpiteitä voidaan toteuttaa kohtuuttomien riskien vähentämiseksi hyväksyttävälle tasolle tai jo hyväksyttävien riskien vähentämiseksi edelleen, jos sitä pidetään kohtuullisena esimerkiksi toimenpiteiden laajuus huomioiden (ALARP). Taulukossa suositellut lieventämisstrategiat on kuvattu tarkemmin jäljempänä tässä luvussa.

Kuva 3 sivulla 11 havainnollistaa, mitkä riski-indeksit (RI) on määritelty *hyväksyttäviksi*, mitkä *ALARPiiksi* ja mitkä *kohtuuttomiksi*.

Taulukko 35. Hallalle tunnistetut merenkuluriskit sekä yhteenvedo kunkin ihmisen turvallisuudelle ja ympäristölle aiheutuvan riskin arvioidusta tai lasketusta riski-indeksistä. 1.3.3 kuvaa indeksit ja värikoodit.

Tu nn.	Skenaario	Riski (RI)		Suositteltu lieventämisstrategia (kun riskitaso on kohtuuton tai ALARP)
		Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	
Törmäys (aluksen törmäminen paikallaan olevaan kohteeseen)				
1.1	Laiva ohjaa päin tuulivoimalaa (moottoroitu törmäys)	4,6	3,5	
1.2	Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	4,5	3,8	
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)	6,1	5,4	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. Hätäpysäytystoiminto tuulivoimaloille. L. Laitteet vuotojen varalta.

Tu nn.	Skenaario	Riski (RI)		Suositeltu lieventämisstrategia (kun riskitaso on kohtuuton tai ALARP)
		Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	
1.5	Laiva ohjaa tai ajautuu päin perustusta	Arvioidaan erillisessä Seveso- arvioinnissa		-
1.6	Merituulivoimapuiston läpi kulkeva alus törmää tuulivoimalaan	<6	<4	A. Hätätörmäysmenettelyt tuulivoimaloille C. Valmiussuunnitelma hätätilanteita varten. D. Keskustelu merenkulkualan sidosryhmien kanssa. E. Merikoordinaattori. K. Hätätörmäystoiminto tuulivoimaloille. M. Visuaalinen merkintä. N. Radio- ja tutkamerkinnät. T. Turbiinisijoittelu
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 (kadonnut kohde). R. Navigointivalot. S. Virtuaalinen väylä. T. Turbiinisijoittelu 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	Yhteentörmäykset yhteensä (kaikki yhteentörmäystyypit)	5,7	5,7	D. Keskustelu merenkulkualan sidosryhmien kanssa. Suurimman riskin aiheuttavat alukset, jotka tällä hetkellä kulkevat Hallan alueen poikki, mutta joiden odotetaan kulkevan uusia reittejä Halla-alueen eteläpuolella.
2.2	Ohitustörmäys	4,6	4,7	
2.3	Etutörmäys	5,5	5,6	Katso skenaariossa 2.1 luetellut toimenpiteet.
2.4	Risteämistörmäys	Merituulivoimapuisto ei aiheuta riskiä ihmisten turvallisuudelle tai ympäristölle		
2.5	Liittymistörmäys	4,5	4,9	Katso skenaariossa 2.1 luetellut toimenpiteet.
2.6	Kääntymistörmäys	5,5	5,6	Katso skenaariossa 2.1 luetellut toimenpiteet.
2.7	Törmäys satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa	5,3	5,4	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.
Pohjakosketus				
3.1	Alus ajaa karille (moottoroitu pohjakosketus)	Riski pienenee, kun merituulivoimapuisto otetaan käyttöön		
3.2	Alus ajaa karille (ajelehtiva pohjakosketus)	Riski pienenee, kun merituulivoimapuisto otetaan käyttöön		

Tu nn.	Skenaario	Riski (RI) Ihmisten turvallisuus Ympäristö		Suositteltu lieventämisstrategia (kun riskitaso on kohtuuton tai ALARP)
Aluksen tutkahäiriö				
4.1	Aluksen tutkahäiriö (kohteen menettäminen)	7,0	7,0	Q. Toimenpiteet tutkahäirintää vastaan (kadonnut kohde). 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	<5	-
4.3	Aluksen tutkahäiriö merituulivoimapuiston alueen sisällä	4.2	4.2	
4.4	Merituulivoimapuisto vaikeuttaa etsintä- ja pelastustoimintaa	Vaikuttava tekijä muissa onnettomuusskenaarioissa. Siksi riskiä ei voida helposti luokitella samalle asteikolle, vaan se luokitellaan ALARP-riskiksi, johon on puututtava.		A. Hätätöäytösmenettelyt tuulivoimaloille K. Hätätöäytöstoiminto tuulivoimaloille. M. Visuaalinen merkintä. N. Radio- ja tutkamerkinnät. P. Tunnisteet. R. Navigointivalot. T. Turbiinisijoittelu
Talviolosuhteet				
5.1	Merituulivoimapuisto vaikuttaa 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	Merituulivoimapuisto estää talvimerenkulkureitit	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	Tuulivoimaloista putoavat esineet tai lentävä jää	<5	<5	-
Kaapelit				
6.1	Yhdyskaapelin vauriot	Merkityksetön riski ihmisille ja ympäristölle		-
6.2	Kaapelit estävät hätäaankkuroinnin	Merkityksetön riski ihmisille ja ympäristölle		-

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

Hallinnolliset ja organisatoriset toimenpiteet:

- Häätöäytysmenettelyt tuulivoimaloille Häätöäytysmenettelyjä tulee kehittää ja niiden tulee olla käytettävissä paikallisesti ja etänä esimerkiksi ohjauskeskuksesta.
- Menettelyt ympäristöonnettomuuksissa. Ympäristöonnettomuuksia ja vuotoja koskevia lieventämistoimenpiteitä ja -menettelyjä tulee kehittää.
- Valmiussuunnitelma hätätilanteita varten. Valmiussuunnitelma on laadittava ja sitä on päivitettävä säännöllisesti, jotta operatiivinen organisaatio voi varautua mahdollisiin hätätilanteisiin, kuten yhteentörmäyksiin.
- 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 energiapuiston 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. Hätätysäytystoiminto tuulivoimaloille. Hätätysäytystoiminnon 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. Energiapuisto näkyvyyden parantamiseksi valituille tuulivoimaloille on toteutettava AIS- ja Racon-merkinnät²⁴.
- O. Sumutorvi. Sumutorvien asennus kaikkiin tuulivoimaloihin tai valittuihin tuulivoimaloihin.
- P. Tunnisteet. Tuulivoimalat on merkittävä yksilöllisellä tunnisteella pelastustoimien helpottamiseksi.
- Q. Toimenpiteet tutkahäirintää vastaan (menetetty kohde). Vertailupoijujen asentaminen vakiintuneille laivaväylille ja muut toimenpiteet kohteen menettämisen riskin vähentämiseksi ovat toimia, joita harkitaan ja joista päätetään ennen energiapuiston lopullista suunnittelua.
- R. Navigointivalot. Ylimääräiset navigointivalot tuulipuistossa.

²⁴ Racon (tutkamajakka) on tunnistus- ja navigointiapuna käytettävä transponderi, joka asennetaan tyypillisesti tuulivoimaloiden tai majakoiden kaltaisiin rakenteisiin.

- S. Virtuaalinen väylä. Merituulivoimapuiston lähelle määritetty reitti, jossa alusten on navigoitava puistoa lähestyessään, jotta sumun vaikutus näkyvyyteen voidaan torjua.
- T. Turbiinisijoittelu Säännöllisempi ruudukkokuvio, jossa tuulivoimalat ovat suorissa riveissä, helpottaisi etsintä- ja pelastustoimia ja navigointia yleisesti merituulivoimapuiston sisällä. Etsintä- ja pelastustoimijoiden tulisi olla mukana Turbiinisijoittelu koskevassa keskustelussa.

Koska mitään riskiä ei ole luokiteltu *kohtuuttomaksi*, yksikään ehdotetuista toimista ei ole riskiperspektiivistä pakollinen. Skenaariot 1.4, 1.6, 1.7, 2.1, 2.3, 2.6, 2.7, 4.1, 4.4, 5.1 ja 5.2 on kuitenkin luokiteltu ALARP-riskeiksi. 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 turbiinisijoittelusta. Poikkeuksena on lieventävä toimenpide Q, jossa mahdollisten tutkahäiriöiden tutkimus suoritetaan puiston käyttöönoton yhteydessä ja selvitetään, onko tarpeen ryhtyä toimenpiteisiin tutkahäiriöiden torjumiseksi.

PIANC (2018) -konseptisuunnittelun mukainen konservatiivinen suositus turvaetäisyydestä ei täyty tässä turbiinisijoittelussa. Hallan ja Polargrundin lähimpien tuulivoimaloiden välinen etäisyys on 4 725 metriä ja laskettu turvaetäisyys 4 776 metriä (katso lisätietoja osiosta 2.5). Tässä raportissa ja tässä turbiinisijoittelussa tehty yksityiskohtainen suunnittelu osoittaa, että Hallan merituulivoimapuiston aiheuttama riski on *hyväksyttävä*, jos lieventäviin toimenpiteisiin ryhdytään. Johtopäätös siitä, että yksityiskohtaisen suunnittelun riskitaso arvioidaan hyväksyttäväksi (mukaan lukien lieventävät toimenpiteet), tarkoittaa, että suunnitelma voidaan hyväksyä riskin näkökulmasta, vaikka suositeltu turvaetäisyys ei täyty.

Vaikka merenkulun näkökulmasta on edelleen suositeltavaa poistaa tai siirtää lähin tuulivoimala (luoteisin tuulivoimala), jolloin saadaan noin 5,8 kilometrin pituinen käytävä Hallan ja Polargrundin merituulivoimapuistojen välille. Koska on paljon epävarmuutta siitä, miten tuulipuistojen käyttöönotto vaikuttaa talvimerenkulkuun, voisi olla jopa perusteltua poistaa tai siirtää kaksi luoteisinta tuulivoimalaa, jolloin Halla ja Polargrundin tuulipuistojen välille saataisiin noin 6,4 kilometrin pituinen käytävä 4 725 metrin sijasta.

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:** Jos Pohjanlahdelle rakennetaan useita merituulivoimapuistoja, yleisessä riskiprofiilissa on epävarmuutta moottoroituja törmäyksiä, ajelehtivia törmäyksiä, kaikkia yhteentörmäystyyppisiä sekä moottoroitua ja ajelehtivaa pohjakosketusta tarkasteltaessa. Vertailun kohteena ovat aiheutuvat riskit, jos vierekkäiset suunnitellut tuulipuistot rakennetaan (Polargrund ja Omega), sekä riskit tilanteessa, jossa vain Hallan tuulipuisto rakennetaan. Yhteenvetona voidaan todeta, että useiden tuulipuistojen käyttöönoton 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 käyttöönoton myötä, on oletus, jolla on suuri vaikutus tuloksiin. Liikennemallin muutoksen laajuudesta ei ole varmuutta. Brittiläisten merituulivoimapuistojen tarkastelusta löytyy esimerkkejä tapauksista, joissa merituulivoimapuistot eivät vaikuta lainkaan laivaliikenteeseen, sekä tapauksista, joissa tuulipuisto vaikuttaa laivaliikenteeseen jopa 1,5 merimailin päässä. Tässä analyysissä tehdyt oletukset reittien ja sivuttaisjakaumien muutoksista vaikuttavat tuloksiin, ensisijaisesti moottoroidun törmäyksen ja moottoroidun pohjakosketuksen laskettuun riskiin. IWRAP-mallinnuksessa 98,5 % liikenteestä oletetaan olevan sellaisella etäisyydellä merituulivoimapuistosta, että liikenneanalyysin mukainen referenssialuksen turvaetäisyys täyttyy (2023a). Sekä moottoroidun törmäyksen että moottoroidun pohjakosketuksen riski (joka

on seurausta merituulivoimapuistosta) on luokiteltu *ALARP*-riskiksi analyysissä, mutta jos alukset sijoittuvat kauemmas tuulipuistosta, riski voi olla pienempi. 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 Hallan 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 käyttöönoton jälkeisiä mahdollisia reittejä koskevat oletukset ovat helpommin ennakoitavissa (Hallan merituulivoimapuiston ympärillä). Parametrit valitaan varovaisesti niin, että ne ovat epävarmuusmarginaalin sisällä (katso osio 6.1.4).
- **Jää:** Tietoa siitä, miten tuulipuistot vaikuttavat ahtojään kertymiseen (skenaario 3.5), on rajallisesti. Tätä pidetään epävarmuutena, koska merituulivoimaloiden mahdollisia vaikutuksia arktisten alueiden jääolosuhteisiin on tutkittu vain vähän, ja vaikutusten ymmärtämiseksi tarvittaisiin kattavampaa 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.
- **Pohjakosketus:** Pohjakosketuksen todennäköisyys on laskettu avoimista lähteistä saatujen syvyystietojen perusteella. Ne on edelleen käsitelty ja yksinkertaistettu, jotta niitä voidaan käyttää syvyyskartoituskirroksina IWRAP-mallissa. (NOAA, 2022) Näiden tietojen perusteella on laskettu myös ajalehtivan aluksen onnistuneen ankkuroinnin todennäköisyys. Tiedoista puuttuu navigointiin tarvittava yksityiskohtaisuuden taso ja esimerkiksi tieto siitä, paljonko pohjakosketuksia tietyillä alueilla tapahtuu. Mallinnustarkoituksia varten tietoja pidetään kuitenkin riittävinä, jotta yleisistä pohjakosketusmalleista voidaan tehdä johtopäätöksiä.
- **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 samantyyppisille 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 riskianalysissä.

- **Onnettomuushistoria:** Osion 2.3.1 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 yhteentörmäystaajuus on samaa suuruusluokkaa kaikissa lasketuissa skenaarioissa, tällä epävarmuudella on pieni vaikutus johtopäätöksiin. Historiatiedot osoittavat myös, että pohjakosketustaajuus 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

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

9. Keskustelu

Yhteensä 25 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 Pohjanlahdella suuri myös ilman Hallan käyttöönottoa. Yhtenä syynä tähän on se, että meririskianalyyseissä riskiä ei yleensä skaalata aluekohtaiseen riskiin, minkä seurauksena suurista alueista tulee automaattisesti riskialttiimpia. Siksi on tärkeämpää tarkastella merituulivoimapuiston aiheuttamaa lisäriskiä. Ongelma pätee myös tuulipuistoon, kun tuulivoimalakohtainen riski lasketaan vain harvoin.

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 törmäämisen todennäköisyys, mutta samalla ohitus- ja etutörmäysten todennäköisyys laivaväylillä vastaantulevien alusten kanssa kasvaa.

Ajelehtivan törmäyksen riski luokitellaan *ALARP*-tasolle, johon liittyy riski ihmisten turvallisuudelle skenaariossa, jossa Halla, Polargrund ja Omega kaikki otetaan käyttöön. Kaikissa muissa lasketuissa skenaarioissa ajelehtimisriski luokitellaan *hyväksyttäväksi*. Hallan pohjois-, länsi- ja lounaispuolella sijaitsevilla tuulivoimaloilla on suurempi riski ajelehtivaan törmäykseen sekä kesällä että talvella. Tämä viittaa pääasiassa skenaarioon, jossa Halla, Omega ja Polargrund kaikki otetaan käyttöön ja ihmisten turvallisuudelle aiheutuva riski on *ALARP*-tasolla. Hallan länsipuolella kulkee eniten liikennöity laivaväylä, Nordvalen – Kemi/Ajos, jossa liikenne ruuhkautuu skenaariossa, jossa sekä Halla, Polargrund että Omega otetaan käyttöön verrattuna vain Hallan käyttöönottoon ja nollavaihtoehtoon. Sitä vastoin ajelehtivan törmäyksen esiintymistiheys merituulivoimapuiston itäpuolella on suhteellisesti alhaisempi. Lisäksi Hallan itäpuolella on matalampi alue, jossa ajelehtivat alukset yleensä ajelehtivat karille sen sijaan, että törmäisivät merkittävässä määrin tuulivoimaloihin. Jokainen kohde on kuitenkin riskitekijä ajelehtiville aluksille, tuulivoimaloiden sijainnista riippumatta.

9.4 Yhteentörmäys

Kokonaistörmäysriskiksi luokitellaan *ALARP* sekä skenaariossa, jossa vain Halla otetaan käyttöön, että skenaariossa, jossa sekä Halla, Omega että Polargrund otetaan käyttöön. Yleensä riskitaso useimmissa yhteentörmäystyypeissä luokitellaan *ALARP*-tasolle, ja mallinnuksesta johtuen liittymistörmäys on yleisin yhteentörmäystyyppi. Risteämistörmäykset näyttävät vähenevän tuulipuistojen käyttöönoton myötä, mikä voisi johtua siitä, että liikennemallien muutosten vuoksi risteämistilanteita mallinnetaan vähemmän. Risteämistörmäysten riski katsotaan *hyväksyttäväksi*.

Yhteentörmäystaajuus on korkein Nordvalen – Kemi/Ajos -reitillä ja lähellä reittipistettä, josta Raahe – Oulu – Kemi – Tornio johtaa Ouluun ja edelleen kohti Nordvalen – Kemi/Ajos -reittiä Oulu 1:n suuntaisesti sekä pohjoiseen kohti Kemi/Ajos/Tornio -reittiä johtavalla väylällä.

Kaiken kaikkiaan törmäysten seurausten esiintymistaajuuden ja vakavuuden pitäisi vähentyä, jos luvussa 7 luetellut riskinhallintatoimenpiteet toteutetaan.

9.5 Pohjakosketus

Sekä moottoroidun että ajelehtivan pohjakosketuksen riskiä pidetään hyväksyttävänä tuulipuistojen käyttöönoton yhteydessä, koska suhteellinen riski ei ole laskennallisesti lisääntynyt tuulipuistoihin liittyen. Pohjakosketukseen liittyvää yleistä riskiä pidetään siksi *hyväksyttävänä*.

Halla on suhteellisen lähellä rannikkoa ja useita väyläalueita, jotka on ruopattu matalikkojen viereen. Kun tarkastellaan mallinnettujen tapahtumien sijaintia, Hallan merituulivoimapuisto ei näytä vaikuttavan merkittävästi moottoroitujen pohjakosketusonnettomuuksien yleiseen riskitasoon. On kuitenkin huomattava, että mallinnuksessa moottoroidut pohjakosketukset tapahtuvat Hallan luoteisreunalla, lähellä Oulu 1 -laivaväylän ulkopuolista matalikkoa Nordvalen – Kemi/Ajo -laivaväylän vieressä. Siksi mahdollisten onnettomuuksien estämiseksi tulee tällä alueella olla valppaana ja muistaa moottoroidun pohjakosketuksen riski. Appendix C sisältää lisätietoja.

9.6 Jäähän liittyvät riskit

Koska HAZID nosti esille talvimerenkulkuun ja jäähän liittyvät riskit erityisenä huomioalueena, tässä luetellaan joitakin näkökohtia siitä, miten Hallan merituulivoimapaisto vaikuttaa merenkulun riskiprofiiliin jääolosuhteissa.

- **Merituulivoimapauston vaikutus jään muodostumiseen:** Hallan merituulivoimapauston perustuksilla voi olla vaikutusta alueen jäänmuodostukseen. Merituulivoimapaisto voi myötävaikuttaa ahtojään ja ahtojäävalliin muodostumiseen, mitä edustaa kohdassa 6.5.1 arvioitu riski. Ahtojää voi aiheuttaa ongelmia sekä aluksille että jäänmurtajille. 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 merituulivoimapaistot vaikuttavat ahtojään kertymiseen. On myös syytä huomata, että monet muutkin tekijät voivat vaikuttaa ahtojään ja muiden jääolosuhteiden muodostumiseen arktisella alueella, mukaan lukien ilmastomuutos ja sääolosuhteiden luonnollinen vaihtelu. Aiheesta tarvitaan kohdennettua tutkimusta, eikä sitä ole sisällytetty riskinarviointiin. Riski luokitellaan *ALARP-riskiksi*, joka vaatii käsittelyä.
- **Laivat jäävät kiinni jäihin ja ajelehtivat jääkentän mukana:** Joka vuosi laivoja jää kiinni jäähän ja ajelehtii jääkentän mukana. Jään nopeus voi olla noin 2–3 % tuulen nopeudesta. Merituulivoimapaiston rakentaminen ei vaikuta esiintymistajuuteen, mutta seuraukset ovat vakavampia. Tätä riskiä tutkitaan osiossa 6.1.4 ja se luokitellaan *ALARP-riskiksi*.
- **Merituulivoimapaisto 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 jäävalliin 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 merituulivoimapaiston käyttöönoton ei odoteta vaikuttavan sen yleisyyteen. Kuten kohdassa 6.3 todetaan, Halla ei merkittävästi muuta pohjakosketusriskiä, eli riski Hallan

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 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. Hallan 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.

9.7 Turvaetäisyydet

PIANC (2018) -konseptisuunnittelun mukainen konservatiivinen suositus turvaetäisyydestä ei täyty tässä turbiinisijoittelu. Hallan ja Polargrundin lähimpien tuulivoimaloiden välinen etäisyys on 4 725 metriä ja laskettu turvaetäisyys 4 776 metriä (katso lisätietoja osiosta 2.5). Tässä raportissa ja tässä turbiinisijoittelu tehty yksityiskohtainen suunnittelu osoittaa, että Hallan merituulivoimapuiston aiheuttama riski on *hyväksyttävä*, jos lieventäviin toimenpiteisiin ryhdytään. Johtopäätös siitä, että yksityiskohtaisen suunnittelun riskitaso arvioidaan hyväksyttäväksi (mukaan lukien lieventävät toimenpiteet), tarkoittaa, että suunnitelma voidaan hyväksyä riskin näkökulmasta, vaikka suositeltu turvaetäisyys ei täyty.

Vaikka merenkulun näkökulmasta on edelleen suositeltavaa poistaa tai siirtää lähin tuulivoimala (luoteisin tuulivoimala), jolloin saadaan noin 5,8 kilometrin pituinen käytävä Hallan ja Polargrundin merituulivoimapuistojen välille. Koska on paljon epävarmuutta siitä, miten tuulipuistojen käyttöönotto vaikuttaa talvimerenkulkuun, voisi olla jopa perusteltua poistaa tai siirtää kaksi luoteisinta tuulivoimalaa, jolloin Halla ja Polargrundin tuulipuistojen välille saataisiin noin 6,4 kilometrin pituinen käytävä 4 725 metrin sijasta.

10. Johtopäätös

Hallan merituulivoimapuisto vaikuttaa Perämeren laivaliikenteen riskiprofiiliin seuraavasti:

- **Törmäys:** Hallan merituulivoimapuisto luo riskin tuulivoimaloihin ja perustuksiin törmäämiseen. Tämä riski on olemassa myös talviolosuhteissa, jolloin alukset voivat juuttua jäihin ja ajelehtia jään mukana.
- **Yhteentörmäys:** Yhteentörmäysriski kasvaa lähinnä siksi, että Hallan merituulivoimapuiston vuoksi suurempi määrä liikennettä alkaa käyttää Nordvalen – Kemi/Tornio -meriliikennealuetta, mikä johtaa useampiin yhteentörmäyksiin (yksi ylimääräinen yhteentörmäys kerran 1792 vuodessa). Rakennus- ja käytöstäpoistovaiheessa on myös riski törmätä satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa.
- **Pohjakosketus:** Hallan merituulivoimapuisto ei merkittävästi muuta pohjakosketusriskiä.
- **Aluksen tutka:** Hallan merituulivoimapuisto voi aiheuttaa häiriöitä aluksen tutkassa.
- **Talviolosuhteet:** Tuulivoimalat voivat vaikuttaa jään muodostumiseen, mikä vaikuttaa talviliikenteen navigointiolosuhteisiin. Hallan 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 *hyväksyttäväksi*. *Kohtuuttomia* riskejä ei havaittu. Riskejä, jotka tietyiltä osin on luokiteltu *ALARP:iksi* eli riskeiksi, jotka voidaan sietää, kunhan kohtuulliset toimenpiteet toteutetaan, ovat seuraavat:

- Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)
- Merituulivoimapuiston läpi kulkeva alus törmää tuulivoimalaan
- Rajallinen näkyvyys saa aluksen ohjaamaan päin tuulivoimalaa
- Yhteentörmäykset yhteensä (kaikki yhteentörmäystyypit)
- Etutörmäys
- Kääntymistörmäys
- Törmäys satamaan/satamasta matkalla olevan työaluksen kanssa
- Aluksen tutkahäiriö (kohteen menettäminen)
- Merituulivoimapuisto vaikeuttaa etsintä- ja pelastustoimintaa
- Merituulivoimapuisto vaikuttaa jään kertymiseen
- 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. Häätäpysäytysmenettelyt 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 häätäpysäytystoiminto. L. Laitteet vuotojen varalta. M. Visuaalinen merkintä. N. Radio- ja tutkamerkinäät. O. Sumutorvi. P. Tunnisteet. Q. Toimenpiteet tutkahäirintää vastaan (menetetty kohde). R. Navigointivalot. S. Virtuaalinen väylä. T. Turbiinisijoittelu

Useiden puistojen käyttöönoton kumulatiiviset vaikutukset alueelle eivät yleisesti aiheuta muita riskejä kuin ne, jotka on tunnistettu analysoitaessa puistoja erikseen. *Ihmisen turvallisuudelle* aiheutuva riski siitä, että toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys), kuitenkin kasvaa, jos Halla, Omega ja Polargrund otetaan kaikki käyttöön, verrattuna tilanteeseen, jossa vain Halla otetaan käyttöön.

Yleinen johtopäätös on, että Hallan merituulivoimapuiston aiheuttama riski on *hyväksyttävä* olettaen, että lieventäviin toimenpiteisiin ryhdytään. Talvimerenkulkuun ja jään 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.

11. Viittaukset

- 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. (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>
- Merialeusuunnittelu. (2023). *Maritime Spatial Plan 2030*. Retrieved from <https://meriskenaariot.info/merialuesuunnitelma/en/suunnitelma-johdanto-eng/> [2023-09-28]
- 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. (2018). *MarCom Wg 161: Interaction Between Offshore Wind Farms and Maritime Navigation (2018)*. PIANC.
- PIANC. (2018). *MarCom Wg 161: Interaction Between Offshore Wind Farms and Maritime Navigation (2018)*. 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. (2023a). *Traffic analysis: Offshore Wind Farm, Halla*.
- Sweco. (2023b). *Hazard Identification Workshop on Nautical Risks for Halla and Laine Wind Farms – Minutes of Meeting*. Teams: Sweco.
- The Ministry of Infrastructure and the Environment, Netherlands. (2014). *White Paper on Offshore Wind Energy*.
- Traficom & Swedish Transport Agency. (2019). *Guidelines for the Application of the 2017 Finnish-Swedish Ice Class Rules*.
- Traficom. (2022a). *Environmental impact assessment programme for the Halla offshore wind farm project*.
- Traficom. (2022a). *Environmental impact assessment programme for the Halla offshore wind farm project*.
- Traficom. (2022b). *Valtakunnalliset liikenne-ennusteet*.
- Traficom. (2023a). *Safety in Finnish waters*. Retrieved from <https://tieto.traficom.fi/en/statistics/safety-finnish-waters> [2023-09-07]
- Traficom. (2023b). *Waterway maintenance - general*. Retrieved from <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/merenkulku/vesivaylanpito-yleista>
- Traficom and Väylävirasto. (2023). *Merituulivoiman ja merenkulun sekä merenkulun infrastruktuurin yhteensovittaminen*.
- Trafikverket. (2023). *Prognos för godstransporter 2040 - Trafikverkets Basprognoser 2023*.
- Transportstyrelsen; Sjöfartsverket. (2009). *Vägledning vid projektering och riskanalys av vindkraftseTaulukkoring 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]

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 1.3.3). 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:

$$\text{RI} = \log_{10}(f_1c_1 + \dots + f_nc_n) + K$$

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 merituulivoimapaiston 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) (MCA, 2008)

The radar equipment is adjusted by the OOW navigating the vessel to minimize interference. Echoes can be reduced by adjusting the settings. 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)

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 an 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 indicates that there is a high probability²⁵ of **ghost echoes** on X-band radar at distances shorter than 0.25 M (500 m). There is also a high probability²⁵ 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 case of incorrect setting on the radar, echoes and lost targets can occur, regardless of distance from the OWF, according to PIANC (2018).

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

²⁵ Not defined

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 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. (Sjöfartsverket, 2022) (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). The 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 analogue 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 appendix presents the frequency calculations that form the basis for the risk assessment for Halla OWF (henceforth referred to as Halla) regarding collision risk, risk of grounding and risk of ships navigating or drifting into Halla and colliding with a wind turbine generator (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 that ships in sea ice conditions (henceforth referred to as winter) drift with the ice and drift into a WTG
- 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 Halla with 160 WTGs of 20 MW.

There is a possibility that two other OWFs close to and adjacent to Halla might be established. These are Omega OWF and Polargrund OWF (henceforth referred to as Omega and Polargrund).

The main purpose is to calculate the OWF-induced risk for Halla, but also to calculate the OWF-induced risk for Halla, Omega and Polargrund as a “possible worst-case”-scenario.

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, allision and grounding 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, allision and grounding 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 head-on collision and overtaking collision is calculated.

Points where the ship paths change direction, merging or crossing are modelled in IWRAP with a *waypoint*. For traffic through a waypoint, the probability of a bend collision, merging collision and crossing collision respectively is calculated.

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

Analysis cases

A summary of the analysis cases is presented in Table 36.

* The likelihood that ships lose ability to steer or maintain a course and speed that can end in an accident is modelled with lateral distributions that represent traffic and that bases on statistics in the form of AIS data of actual vessel traffic, taking into account position, size and other relevant parameters. The conditions for avoiding an accident are based on assumptions about the chances of succeeding with, for example, evasive maneuvers where required (so-called Causation Factor) or emergency anchoring. These assumptions are made in IWRAP and are presented at the end of this appendix.

Table 36. Analysis cases and description of modelling.

ID#	Description	Modelled structures	Traffic model
0.S	Accident frequencies with no OWF (summer)	No parks	ZERO (summer)
0.W	Accident frequencies with no OWF (winter)	No parks	ZERO (winter)
1.S	Accident frequencies with Halla (summer)	Halla (160 WTGs of D=16 m)	EXPC (summer)
1.W	Accident frequencies with Halla (winter)	Halla (160 WTGs of D=16 m)	EXPC (winter)
2.1.S	Accident frequencies with Polargrund and Omega (summer)	Polargrund (160 WTGs of D=16 m) and Omega (70 WTGs of D=16 m)	UNC1 (Polargrund and Omega, summer)
2.1.W	Accident frequencies with Polargrund and Omega (winter)	Polargrund (160 WTGs of D=16 m) and Omega (70 WTGs of D=16 m)	UNC1 (Polargrund and Omega, winter)
2.2.S	Accident frequencies with Polargrund, Omega and Halla (summer)	Halla (160 WTGs of D=16 m), Polargrund (160 WTGs of D=16 m) and Omega (70 WTGs of D=16 m)	UNC2 (Halla, Polargrund and Omega, summer)
2.2.W	Accident frequencies with Polargrund, Omega and Halla (winter)	Halla (160 WTGs of D=16 m), Polargrund (160 WTGs of D=16 m) and Omega (70 WTGs of D=16 m)	UNC2 (Halla, Polargrund and Omega, winter)
3.S	Accident frequencies with Halla platforms (summer)	Halla incl. platforms (160 WTGs of D=16 m and 6 rectangular platforms with dimensions 100 x 250 m ²)	EXPC (summer)
3.W	Accident frequencies with Halla platforms (winter)	Halla incl. platforms (160 WTGs of D=16 m and 6 rectangular platforms with dimensions 100 x 250 m ²)	EXPC (winter)
4.0.W	Accident frequencies with no OWF, ice drifting (winter)	No parks. Blackout probability increased by 2. Winter drift speed increased from 1 to 2 knots, representing drifting with ice. Recovery of vessel (anchoring or repair after blackout) is not credited	ZERO-ICE (Zero, ice, winter)
4.1.W	Accident frequencies with Halla, ice drifting (winter)	Halla (160 WTGs of D=16 m). Blackout probability increased by 2. Winter drift speed increased from 1 to 2 knots, representing drifting with ice. Recovery of vessel (anchoring or repair after blackout) is not credited	EXPC-ICE (Halla ice, winter)

Uncertainty analysis

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

- Cumulative effects: Assumption about establishment of additional OWFs (Omega and Polargrund). IWRAP analysis cases #2.1.S, #2.1.W, #2.2.S and #2.2.W, 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, #1.W, #2.2.S and #2.2.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 already made, the

uncertainty cases present a worst case, thus showing an outer limit of what is reasonable 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 areas. The dataset includes data on 658 vessels and a total of 4 052 transits in the area between the following coordinates:

24,8986082°E, 65,7460629°N

22,7946669°E, 64,2928896°N

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

Validation

IWRAP Mk2 is a software that is validated by International Association of marine aids to navigation and Lighthouse Authorities (IALA). The accuracy of this project specific model is ensured by performance review and comparison with statistics of actual accidents that has occurred in the area.

Modelling assumptions – summer conditions

All IWRAP models for traffic during periods with no sea ice (1st June – 31st December 2022, referred to as "summer conditions") are based on the following principles:

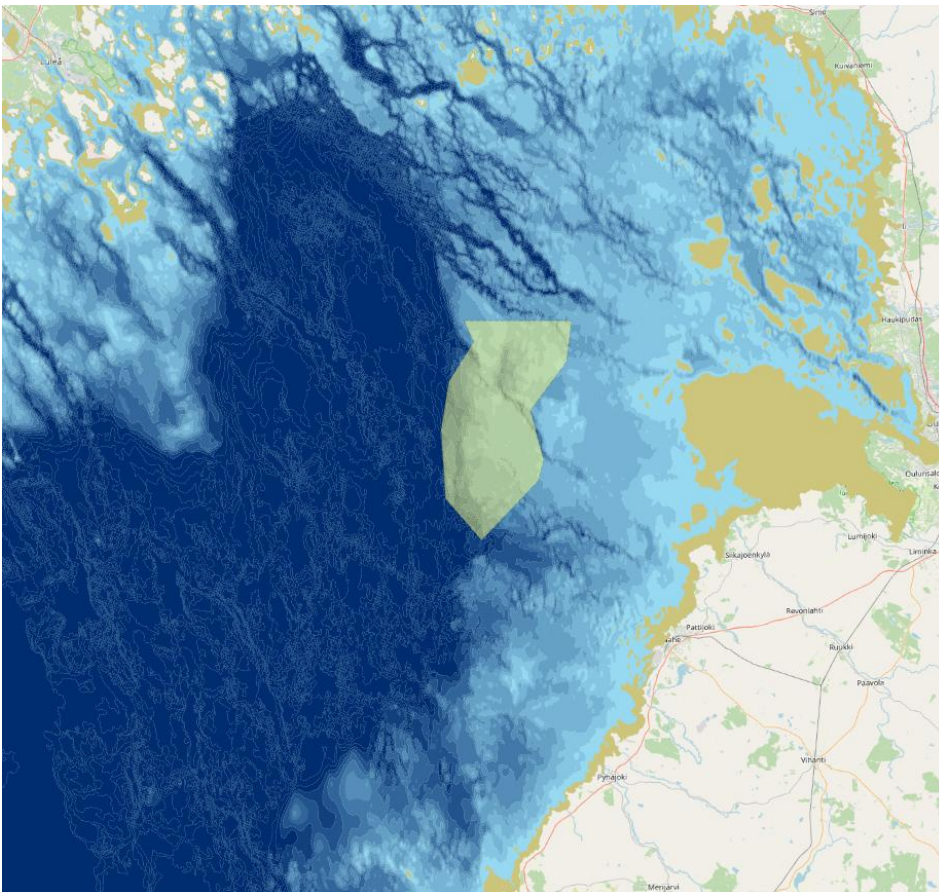
- Default parameters and settings in IWRAP have been used (ensuring that expert assessments by IALA underlie several choices made).
- Frequencies are calculated for the following events:
 - Powered grounding
 - Drifting grounding
 - Powered allision (ship-WTG collision)
 - Drifting allision (ship-WTG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

Modelling assumptions – winter conditions

All IWRAP models for traffic during periods with sea ice (1st January – 31st May 2022, 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 events²⁶:
 - Drifting grounding (for vessels drifting with the ice)
 - Drifting allision (ship-WTG collision) (for vessels drifting with the ice)

Water depth is modelled using polygons based on open bathymetry data from NOAA National Centres for Environmental Information (2022), see Kuva 18 below.



Kuva 18. Representation of bathymetry in IWRAP (NCEI, 2022).

Frequencies are not calculated for powered grounding, ship-WTG collision, or ship-ship collision since the IWRAP rules for calculating those probabilities are not applicable in winter traffic and results would thus be misleading.

Modelled structures

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

- No OWF Figure 19
- Halla OWF Figure 20
- Halla, Omega, Polargrund OWFs Figure 21
- Halla with platforms Figure 22

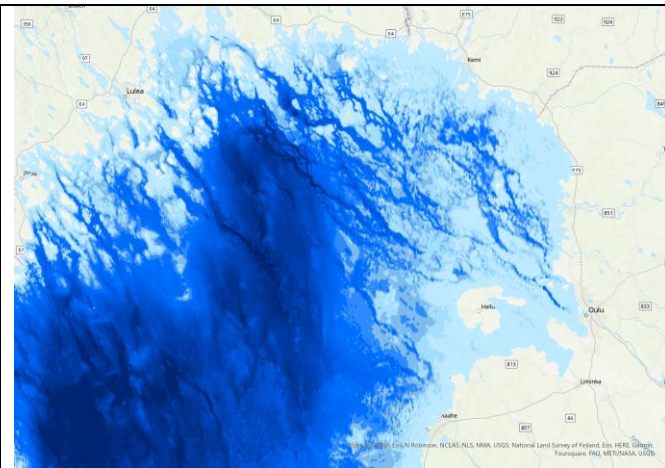


Figure 19. No areas represent the case with no OWF.

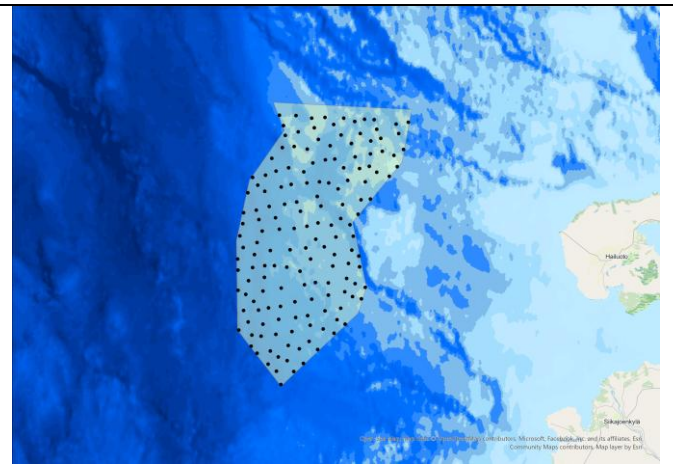


Figure 20. Halla is represented by a layout with 160 WTGs with a foundation diameter of $\varnothing=16$ m at sea level. (The WTGs are enlarged in the Figure to be visible).

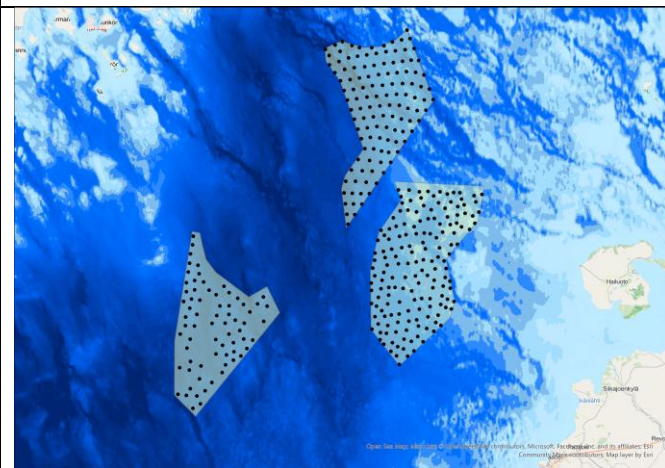


Figure 21. The reference risk for nearby OWFs is represented by analysis case #2.2.S and #2.2.W where nearby OWFs (Polargrund and Omega) are represented with WTGs with a foundation diameter of $\varnothing=16$ m at sea level. (The WTGs are enlarged in the Figure to be visible.) Traffic model UNC2 (summer and winter) is used.

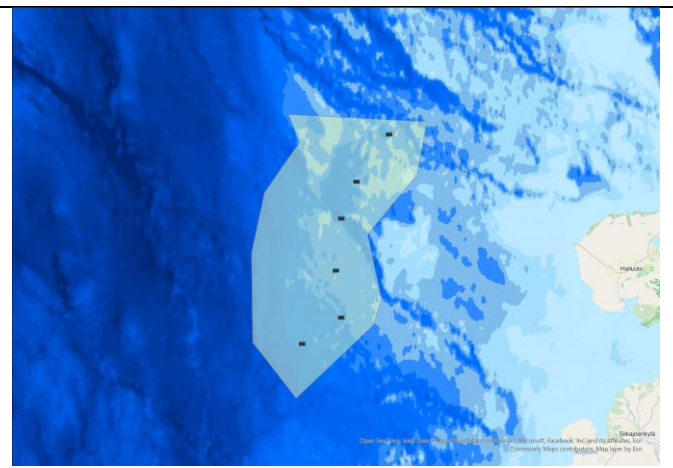


Figure 22. Platforms are represented by a layout with [6] rectangular areas of 100×250 m² in analysis case #3.S and #3.W. Traffic model EXPC is used. (The platforms are enlarged in the Figure to be visible.)

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 ship routes in the area, see Figure 23 and Figure 24. Differences in traffic pattern for summer and winter conditions are modelled by varying legs and traffic volumes.

IWRAP summer model

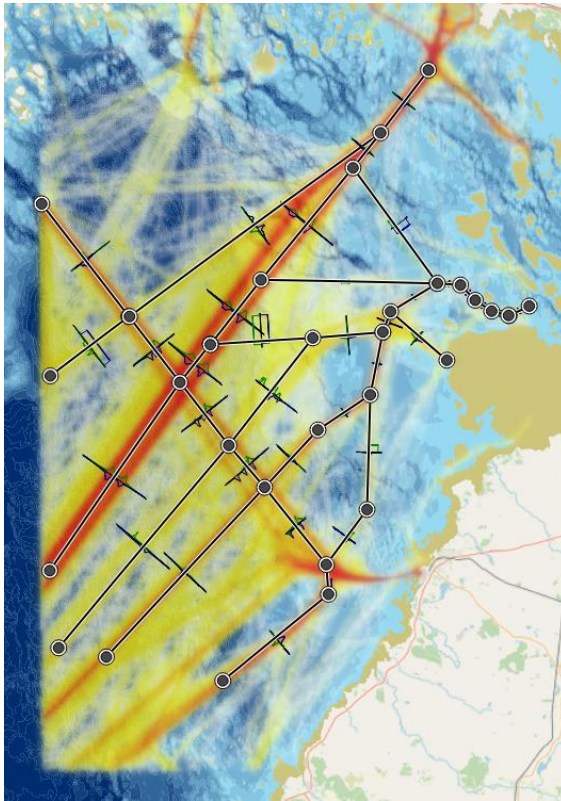


Figure 23. IWRAP model representation of current ship traffic, summer conditions. The density plot represents 2022 **summer** AIS data. The traffic distributions are modelled with curve fitting of AIS data from the period June 1st – December 31st, 2022.

IWRAP winter model

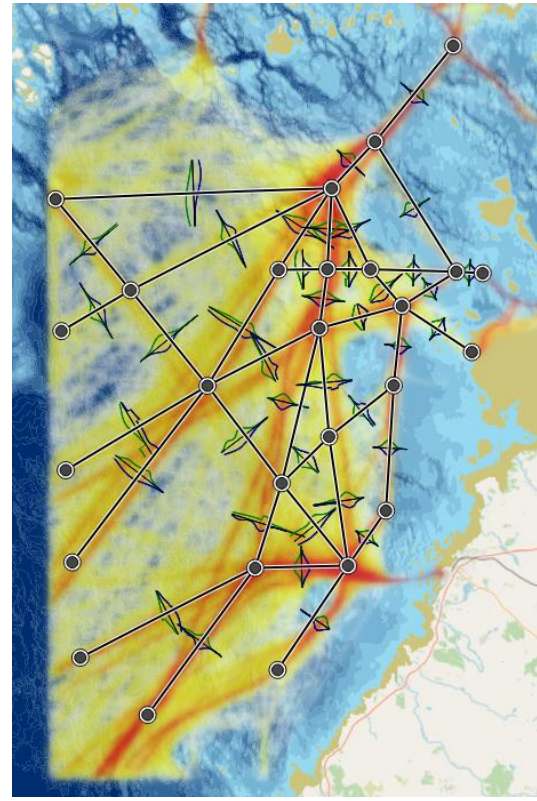


Figure 24. IWRAP model representation of current ship traffic, winter conditions. The density plot represents 2022 **winter** AIS data. The traffic distributions are modelled with curve fitting of AIS data from the period January 1st – May 31st, 2022.

- Expected traffic after Halla establishment (EXPC model)

Traffic over the Halla project area is assumed to mostly take new routes north and west of Halla after OWF establishment. Differences in traffic pattern after Halla establishment are modelled by varying legs and traffic volumes, based on the assumptions in Traffic analysis (Sweco, 2023a, mainly achieved by relocating traffic from impacted legs to legs north and west of Halla. The lateral distributions within the legs adjacent to Halla are assumed to congest, and thus the standard deviation modelled to decrease after OWF establishment, based on the assumption that vessels will want to keep a safe distance to Halla and therefore congesting traffic. The “EXPC” state traffic volumes and pattern are consequently modified to represent traffic after Halla establishment, see Figure 25 and Figure 26.

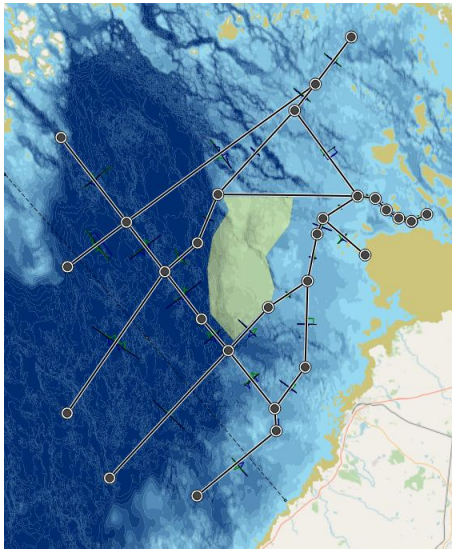


Figure 25. With Halla (traffic model EXPC), summer conditions.

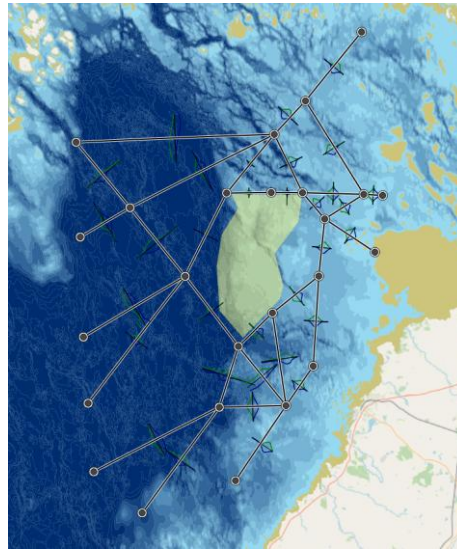


Figure 26. With Halla (traffic model EXPC), winter conditions.

- Traffic after establishment of nearby OWFs (UNC2 models)

The establishment of nearby OWFs (Omega and Polargrund) will impact the risk level for Halla since more traffic in the area will have to take routes between the OWFs. Differences in traffic pattern with Halla, Omega and Polargrund OWFs are modelled according to description in Traffic analysis (Sweco, 2023a). The lateral distributions within the legs adjacent to Halla, Omega and Polargrund are assumed to congest, and thus the standard deviation modelled to decrease after OWF establishment, based on the assumption that vessels will want to keep a safe distance to Halla and therefore congesting traffic. The traffic is assumed to congest even more between Halla and Polargrund for “UNC2” state than “EXPC” state. The “UNC2” state traffic volumes, density and pattern are therefore modified to represent traffic after Halla, Omega and Polargrund establishment.



Figure 27. With Halla, Polargrund and Omega (traffic model EXPC), summer conditions.



Figure 28. With Halla, Polargrund and Omega (traffic model EXPC), winter 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, for the main analysis cases. A result overview is found in Table 37. For all analysis cases, see Table 40 in *Uncertainty analysis cumulative effects* further down in Appendix C.

Table 37. Results for grounding, collision and allision. Calculated accident frequencies for alternative ZERO (no OWF) and EXPC (Halla), summer and winter. Note that the frequencies are yearly probabilities.

Analysis case	Summer			Winter		
	No OWF (traffic model ZERO) 0.S	With Halla (traffic model EXPC) 1.S	With Halla, Polargrund and Omega (Traffic model UNC2) 2.2.S	No OWF (traffic model ZERO) 0.W	With Halla (traffic model EXPC) 1.W	With Halla, Polargrund and Omega (Traffic model UNC2) 2.2.W
Total Groundings	5.7E-01	5.6E-01	5.6E-01	2.4E-01	2.6E-01	3.2E-01
Powered Grounding	5.4E-01	5.4E-01	5.4E-01	2.3E-01	2.4E-01	2.9E-01
Drifting Grounding	2.5E-02	2.5E-02	2.5E-02	1.9E-02	2.0E-02	2.2E-02
Total Allisions	---	3.0E-04	1.4E-03	---	3.4E-04	1.4E-03
Powered Allision	---	1.6E-05	2.0E-05	---	3.9E-05	4.4E-05
Drifting Allision	---	2.9E-04	1.4E-03	---	3.0E-04	1.4E-03
Total Collisions	1.7E-03	2.2E-03	2.7E-03	9.8E-04	1.2E-03	1.5E-03
Overtaking	2.6E-04	3.0E-04	3.7E-04	5.5E-05	1.3E-04	1.7E-04
HeadOn	8.7E-04	1.2E-03	1.6E-03	5.5E-04	8.9E-04	1.1E-03
Crossing	3.5E-04	2.0E-04	1.9E-04	1.7E-04	7.3E-05	6.4E-05
Merging	8.5E-06	4.3E-05	3.5E-05	7.8E-05	3.5E-05	3.1E-05
Bend	2.0E-04	5.0E-04	5.2E-04	1.3E-04	1.1E-04	1.1E-04

The Figures illustrated of grounding, allision, and collision (both legs and waypoints), further down in this appendix, are represented by different colours/gradients. The colour/gradient for the relative difference of allision for different WTGs are represented in Figure 29, see also Figure 36 for example of how allision is presented. The colour/gradient for the relative difference of collision is also represented in Figure 29, see also Figure 38 for example of how collision is presented. The colour/gradient for the relative difference of where grounding occurs is represented in Figure 30, see also Figure 32 for example of how grounding is presented.

Note that the colours/gradients in Figure 29 and Figure 30 are not relatable to the risk assessment criteria in section 1.3.3 in the main report. The colours/gradients in the Figures are only a way to compare the relative frequencies of grounding, allision and collision separately. For example, to see which WTGs that have higher or lower frequencies of being struck by a vessel.

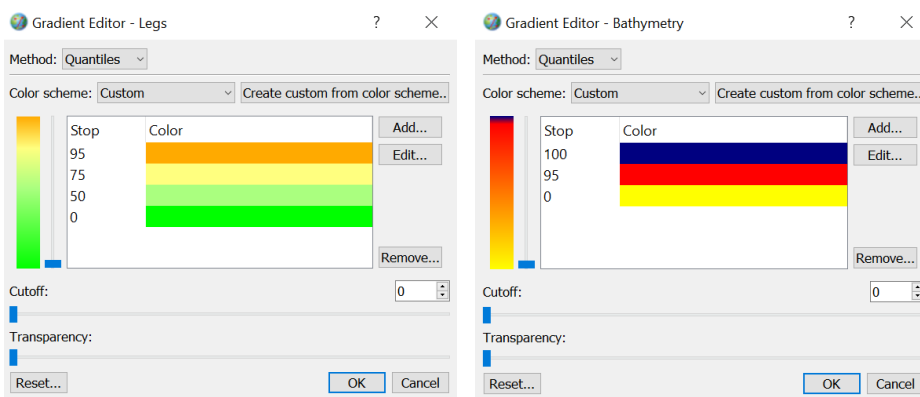


Figure 29. Colour/gradient of allision and collision.

Figure 30. Colour/gradient of grounding.

Grounding

Grounding makes up the highest accident frequency in the area, see Table 37. A major part of the frequency is constituted by powered grounding for vessels travelling close to the grounds around the Finnish and Swedish coastal areas, see Figure 31. Some of the powered grounding appears in the northwest corner of Halla (near Oulu 1 fairway) and east of Halla (near Rahe-Oulu-Kemi-Tornio waterway). For the northwest corner precautions have been made by removing the first line of WTGs in the north part of Halla, making more room for traffic in Oulu 1 fairway. Regarding grounding east of Halla, the groundings occur between Halla and Rahe-Oulu-Kemi-Tornio waterway, therefore establishment of Halla has no major impact on grounding in this area (compare Figure 33 and Figure 34).

Drifting grounding stands for a smaller part of the frequency but as can be seen in Figure 32, drifting vessels can run aground all around Bothnian Bay.

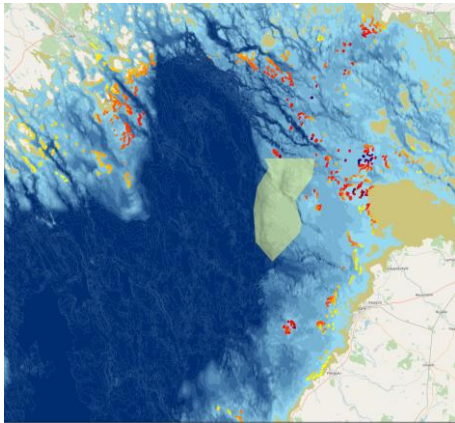


Figure 31. Powered grounding, with Halla (traffic model EXPC), winter conditions.

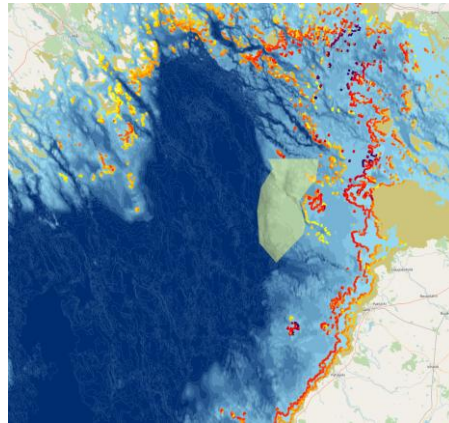


Figure 32. Drifting grounding, with Halla (traffic model EXPC), winter conditions.

The grounding frequency is quite constant before and after establishment of Halla (see Figure 33 and Figure 34), even if grounding occurs on more different locations after establishment of Halla. Frequency of grounding is higher for summer condition than winter condition, but after establishment of Halla there is a small total decrease (<1%) in overall grounding frequency.

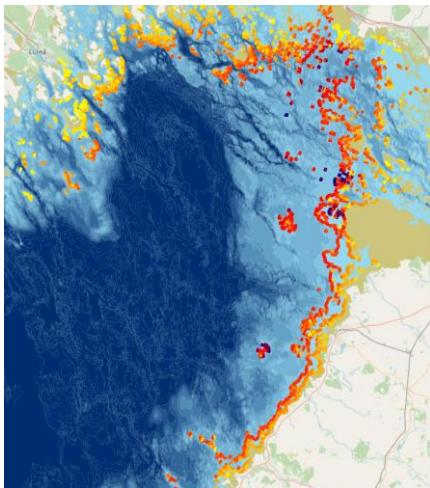


Figure 33. Total grounding result, no OWF (traffic model ZERO), winter conditions.

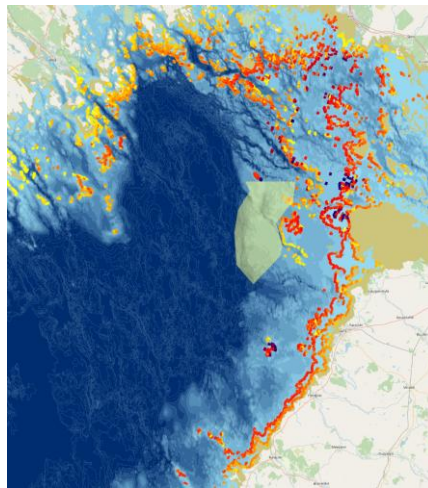


Figure 34. Total grounding result, with Halla (traffic model EXPC), winter conditions.

Allision (with WTG)

The frequency for a vessel to strike a WTG can be read from Table 37, analysis case 1.S. Note that the result represents the frequency if winter conditions would exist all year.

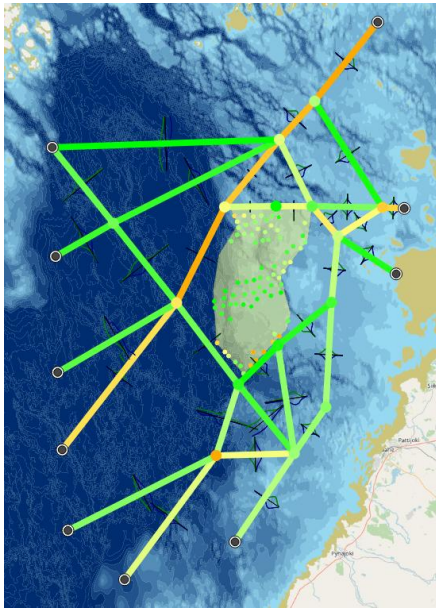


Figure 35. Powered allision, with Halla (traffic model EXPC), winter conditions.

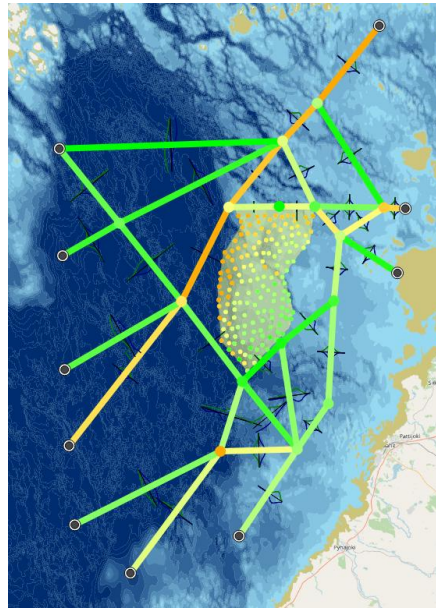


Figure 36. Drifting allision, with Halla (traffic model EXPC), winter conditions.

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, the frequency for powered allision is much higher, as can be seen in the south corner of Halla.

The WTGs on the western sides of the OWF are more exposed to drifting allision, considering the most probable wind direction, and thus drift direction. It should be noted that the frequency of drifting allision has decreased on the east side due to shallower sea depth, leading to drifting vessels being more likely to run aground than drift into a WTG. Any WTGs 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 Halla, the probability of collision for ships in the area will increase slightly since traffic will be more concentrated outside the OWF.

The probability of two vessels colliding in the area can be read from Table 38.

Table 38. Results collision frequency and difference without and with OWF.

Collision type [per year]	No OWF	Halla	Δf	$\Delta\%$
Overtaking	2.6E-04	3.0E-04	4.0E-05	16%
Head-on	8.7E-04	1.2E-03	3.4E-04	39%
Crossing	3.5E-04	2.0E-04	-1.6E-04	-45%
Merging	8.5E-06	4.3E-05	3.5E-05	407%
Bend	2.0E-04	5.0E-04	3.0E-04	155%
TOTAL	1.7E-03	2.2E-03	5.6E-04	33%

How different shipping areas and waypoints contribute to the result is indicated in Figure 37 and Figure 38. The shipping area Nordvalen – Kemi/Tornio and the fairway at Kemi/Ajos/Tornio have the highest collision frequency, especially after OWF establishment when the traffic density is assumed to increase due to traffic in the project area is moved to shipping areas around the project area and therefore be congested. Before establishment of Halla, collisions mostly occur in shipping areas and fairways closer to the ports.

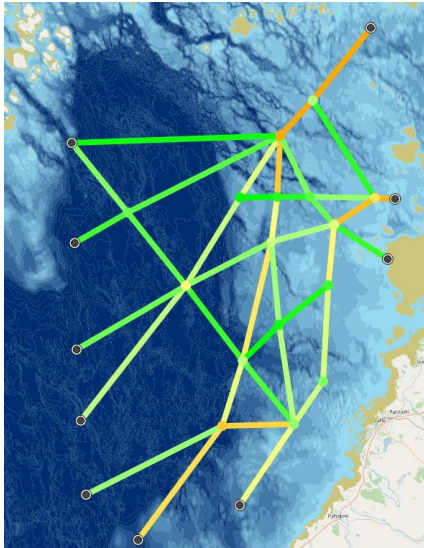


Figure 37. Total collision frequency, no OWF, (traffic model ZERO), winter conditions

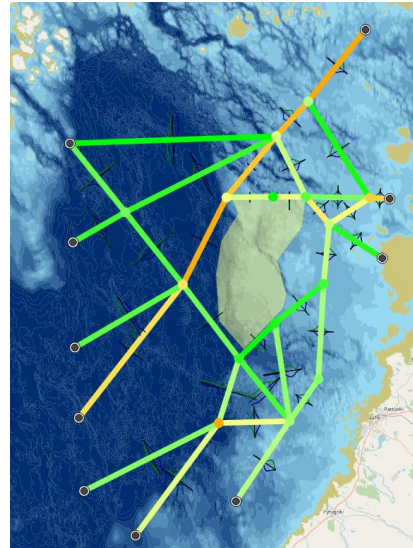


Figure 38. Total collision frequency, with Halla, (traffic model EXPC), winter conditions. The traffic currently going through the project area has been moved to shipping areas adjacent to Halla.

The increase in head-on collision is most significant in both absolute and relative terms, resulting from vessels in the shipping area Nordvalen – Kemi/Tornio and fairway at Kemi/Ajos/Tornio. The traffic density has been increased for these areas as a precaution if Omega and Polargrund OWF were established northwest of Nordvalen – Kemi/Tornio (scenario 2.2.S). In case that Omega and Polargrund would not be established the traffic can keep a larger distance from Halla and spread out more, decreasing the risk for head-on collisions.

Allision (with platform)

The yearly probability for a vessel striking a platform is found in Table 39 and illustrated in Figure 39. What kind of platforms are not decided upon completion of this report but they could for instance be platforms for hydrogen production.

Table 39. Calculated frequency for a vessel to navigate into a platform. The total results correspond to the difference between analysis case 3.S and 1.S. To be clear, modelling includes 120 WTGs as they in this case may be a mitigating measure for ships navigating into WTGs instead of the platforms.

Platform	Powered allision [per year]	Drifting allision [per year]
1	0	1.92E-05
2	0	1.45E-05
3	6.97E-13	1.73E-05
4	1.42E-13	3.82E-05
5	4.88E-11	2.13E-05
6	6.77E-12	4.75E-05
TOTAL	<<1E-06	1.58E-04

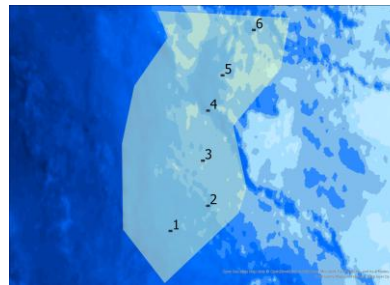


Figure 39. Frequency for allision with platforms (winter conditions). Shipping areas through the project area are not used. The traffic has been moves to shipping areas adjacent to Halla.

As indicated in Table 39, drifting allision makes up a major part of the result. 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 to be 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 OWF 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 of the reality.

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 exact numbers 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 navigate aground (powered grounding) or navigate into a WTG (powered allision). 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.

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 boats is studied. The routes of fishing and recreational boats are difficult to assess and predict. However, recreational boats 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 movements of small boats is considered to be small (Transportstyrelsen; Sjöfartsverket, 2009), as it is heavy traffic that constitutes the primary threat in the nautical risk analysis.

IWRAP model

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

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.

The assumptions about the new routes that traffic across Halla 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 west and north of Halla, leading to a higher accident rate at the established crossings of the shipping areas, but a lower accident rate at the informal crossing points.

The result for navigating with a manoeuvrable vessel is 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 rate, which reduces the significance of this uncertainty.

Uncertainty analysis cumulative effects

Calculated accident frequencies for grounding, allision, and ship collision for all scenarios are represented in Table 40.

The cumulative effects of several OWFs are illustrated in Figure 39, Figure 40, Figure 41, Figure 42 and Figure 43. The results in Table 40 show that the cumulative effects of several OWFs have no significant impact on the frequency of grounding.

The allision frequency consists of powered or drifting allision. Drifting allision increases with a higher number of OWFs. The cumulative effects of Halla, Polargrund and Omega are however not linear. The powered allision frequency both increases and decrease with more OWFs, assumed to depend on the traffic configuration which differ for both summer and winter conditions. As brought up before, IWRAP is very sensitive to placement of legs, and it might have had an effect on the results.

The collision frequency depends on the assumed routes for each configuration of parks. Considering the cumulative effects of Halla, Polargrund and Omega together, the collision frequency increases compared to the frequency without OWFs, mainly because head-on collisions increase.

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

Table 40. IWRAP results for grounding, collision and allision with and without nearby OWFs.

Calculated accident frequencies for alternative ZERO (no OWF) and EXPC (Halla) UNC1 (Polargrund and Omega) and UNC2 (Halla, Polargrund and Omega) summer and winter conditions.

Analysis case	No OWF (traffic model ZERO) (summer)	No OWF (traffic model ZERO) (winter)	With Halla (traffic model EXPC) (summer)	With Halla (traffic model EXPC) (winter)	With Polargrund and Omega (traffic model UNC1) (summer)	With, Polargrund and Omega (traffic model UNC1) (winter)	With Halla, Polargrund and Omega (traffic model UNC2) (summer)	With Halla, Polargrund and Omega (traffic model UNC2) (winter)	Platforms and Halla (traffic model EXPC) (summer)	Platforms and Halla (traffic model EXPC) (winter)	Zero alternative, ice drifting (traffic model ZERO) (winter)	Halla, ice drifting (traffic model EXPC) (winter)
#ID	0.S	0.W	1.S	1.W	2.1.S	2.1.W	2.2.S	2.2.W	3.S	3.W	4.0.W	4.1.W
Total Groundings	5.7E-01	2.4E-01	5.6E-01	2.6E-01	6.0E-01	2.5E-01	5.6E-01	3.2E-01	5.7E-01	2.6E-01	8.2E-01	8.2E-01
Powered Grounding	5.4E-01	2.3E-01	5.4E-01	2.4E-01	5.8E-01	2.3E-01	5.4E-01	2.9E-01	5.5E-01	2.4E-01	---	---
Drifting Grounding	2.5E-02	1.9E-02	2.5E-02	2.0E-02	2.5E-02	1.9E-02	2.5E-02	2.2E-02	2.6E-02	2.0E-02	8.2E-01	8.2E-01
Total Allisions	---	---	3.0E-04	3.4E-04	1.1E-03	1.3E-03	1.4E-03	1.4E-03	1.5E-04	5.8E-04	---	1.4E-02
Powered Allision	---	---	1.6E-05	3.9E-05	3.1E-17	7.5E-04	2.0E-05	4.4E-05	3.5E-05	6.8E-05	---	---
Drifting Allision	---	---	2.9E-04	3.0E-04	1.1E-03	5.4E-04	1.4E-03	1.4E-03	1.2E-04	5.1E-04	---	1.4E-02
Total Collisions	1.7E-03	9.8E-04	2.2E-03	1.2E-03	2.4E-03	1.0E-03	2.7E-03	1.5E-03	1.8E-03	1.1E-03	---	---
Overtaking	2.6E-04	5.5E-05	3.0E-04	1.3E-04	3.4E-04	6.2E-05	3.7E-04	1.7E-04	2.6E-04	8.7E-05	---	---
HeadOn	8.7E-04	5.5E-04	1.2E-03	8.9E-04	1.4E-03	5.8E-04	1.6E-03	1.1E-03	9.1E-04	7.0E-04	---	---
Crossing	3.5E-04	1.7E-04	2.0E-04	7.3E-05	2.2E-04	1.7E-04	1.9E-04	6.4E-05	3.8E-04	1.6E-04	---	---
Merging	8.5E-06	7.8E-05	4.3E-05	3.5E-05	8.2E-05	7.7E-05	3.5E-05	3.1E-05	8.5E-06	7.3E-05	---	---
Bend	2.0E-04	1.3E-04	5.0E-04	1.1E-04	3.5E-04	1.3E-04	5.2E-04	1.1E-04	2.0E-04	1.2E-04	---	---

No nearby OWFs

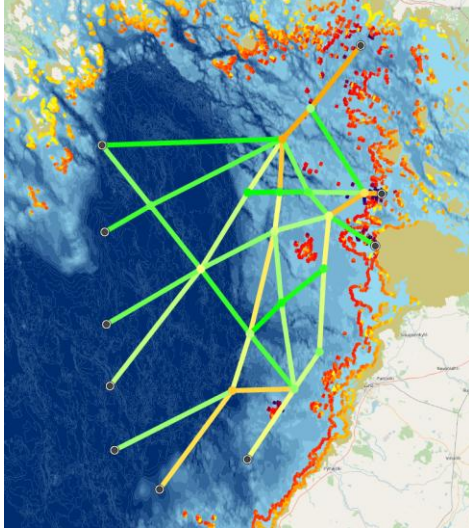


Figure 40. Without Halla, without nearby OWFs (ZERO, 0.W). IWRAP model representation of current ship traffic, winter conditions.

Omega and Polargrund

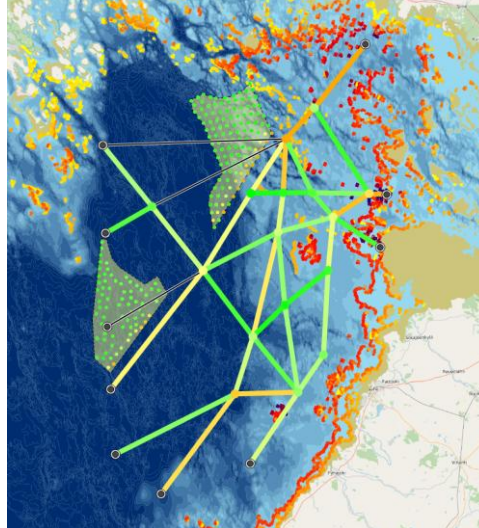


Figure 41. Without Halla, with nearby OWFs (UNC1, 2.1.W). IWRAP model representation of expected ship traffic around Polargrund and Omega, winter conditions.

Halla, without nearby OWFs

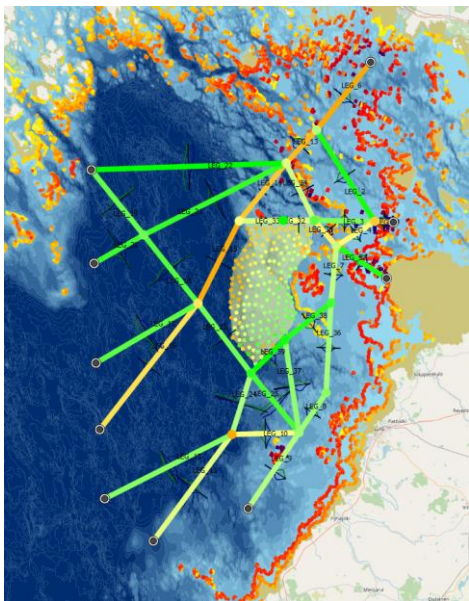


Figure 42. With Halla, without nearby OWFs (EXPC, 1.W). IWRAP model representation of expected ship traffic around Halla, winter conditions.

Halla, Polargrund and Omega

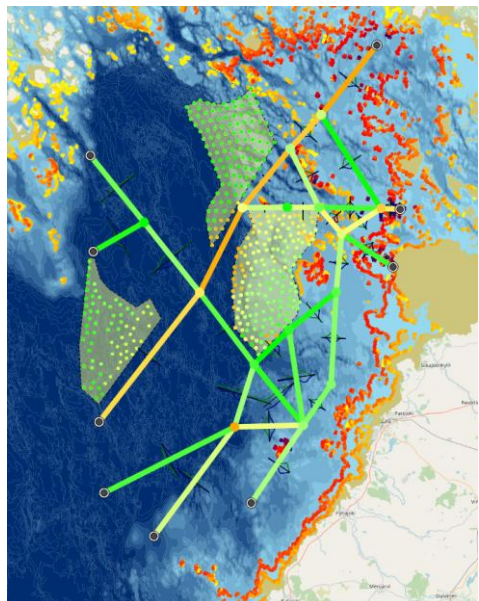


Figure 43. With Halla, with nearby OWFs (UNC2, 2.2.W). IWRAP model representation of expected ship traffic around Halla, Polargrund and Omega, winter conditions.

Uncertainty analysis future traffic flows

Transport freight volumes in the Baltic Sea are expected to increase and Traficom has produced forecasts until 2060 (for more information, see 2.4 in the

report). The increase regards both larger and heavier vessels, and an increase in number of vessels:

- Heavier vessels that have worse consequences in the event of a allision or collision. This uncertainty is already considered in all the modelling cases, and thus in the calculated risks since consequences have been chosen conservatively.
- Increase in the number of transports is studied through uncertainty analysis cases and is described below.

The uncertainty in the assumption of future traffic flows is investigated through uncertainty analysis cases where the risk addition for the OWF at today's traffic flow is compared with the risk addition at 35% more traffic. Traficom estimate an increase in number of transports to 19%, but to be conservative, 35% is studied and assessed in the uncertainty analysis cases.

The results are presented in Table 41 and can be summarized as follows:

- The probability of grounding increases by 35% when traffic increases by 35%.
- 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 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 is an event that affects 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 41. Results of frequencies for uncertainty analysis of future traffic volumes. Current traffic (2022) and 35% (2060) increase in traffic volumes. Frequencies per year with the OWF and the zero alternative, represented by analysis case 1.S (Halla, 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%.

<u>Frequencies</u>	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
Grounding [per year]	5.7E-01	5.6E-01	7.7E-01 (+35%)	7.6E-01 (+35%)
Allision [per year]	---	3.0E-04	---	4.1E-04 (+35%)
Collision [per year]	1.7E-03	2.2E-03	3.1E-03 (+82%)	4.1E-03 (+82%)

The conclusion is that the increase in the number of collisions due to increased traffic flows is to be expected regardless of whether the OWF is built or not. The amount of traffic 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 42. Since collision is the accident that increases most (82%) from traffic

changes it is shown as an example for how it affects the risk. The risk for collision increases with less than 5%. This imply that grounding and allision will increase by even less than 5%, hence not presented in Table 42 or assessed further.

Table 42. 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 by 35%.

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]	6.2	6.4	6.5 (<5%)	6.6 (<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 44.

The screenshot displays the IWRAP software interface for drift parameters. It includes several input fields and a graph.

- 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
 - Delta: 0,90
 - Beta: 0,45
 - Lower Bound: 0,25
 - From: 0,00 to 12,00
 - Reset...
- Graph:** A line graph showing the probability of drifting (Y-axis, 0.0 to 1.0) over time (X-axis, 0.0 to 12.0). The curve starts at (0,0) and rises to a plateau near 1.0. The Mean is 3,38 and StdDev is 8,16.

Figure 44. Operating 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 values are based on expert judgements which are assumed to be taken from the methodological study at Kriegers Flak (SSPA Sweden AB, 2008).

The operating speed is in reality determined by many parameters such as currents and wind speed. However, IWRAP is determined in accordance with IWRAP's default parameter values to maintain a constant operating 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 45. Repair and emergency anchoring are not credited.

Drift Parameter Settings

Drift Parameters Drift Direction

Blackout Frequency

RoRo and Passenger: 0,20 per year

Other vessels: 1,50 per year

Drift Speed

Drift Speed: 2,00 knot

Anchoring

Anchor probability: 0,00

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	12,00

From 0,00 to 12,00 Reset...

Mean 15,13 StdDev. 8,16

OK Cancel

Figure 45. Operating 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 Halla. According to the data, the average wind speed in the region is 6.2 m/s and the prevailing wind direction is from the south to southwest. Consequently, the most likely drift direction for vessels is to the north to northeast. Figure 46 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 drifting distance that is weighted against the average wind strength in the current drifting direction.

The maximum drifting 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 (2018), 90% of vessels drift for an hour, resulting in an average operating distance of 1.7 M (just over 3 km).

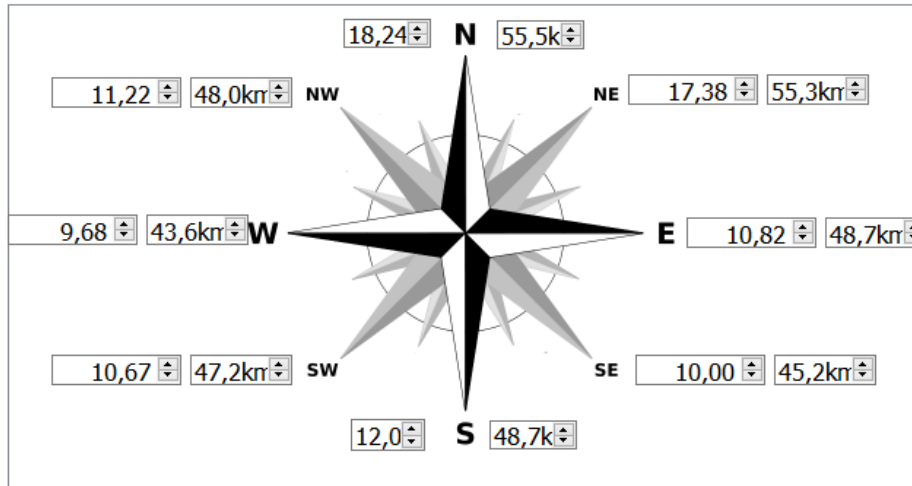


Figure 46. Drift direction with weighting of probability based on observation outcome and maximum drift distance. Note that the Figure does *not* represent a wind rose but a "drift rose" where the direction of drift is the reverse of the wind direction. The values on the left indicate the proportion of times a ship drifts in each 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 46. The magnitude of the factors is derived by IALA, supported inter alia by expert judgements. See (Engberg, 2019) for a more detailed description of the derivation.

Status: Using IALA definitions

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: 20,00 Fast Ferry: 20,00

Mean Time Btw. Checks: 180 s

Figure 47. 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 affects 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 stretches along which traffic is modelled. Only the traffic represented in legs is included in the calculation of accident risks in IWRAP.

- **Distribution**

The lateral distribution of traffic in the shipping areas around Halla is assumed to follow a normal distribution in each direction of travel. In IWRAP it is possible to make even more detailed curve adjustments. In the case of Halla, deviations from the normal curve in the dataset are estimated to stem from 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 mean value of the normal distributions for legs adjacent to the OWF are not assumed to be closer than approximately 1 550 meters from the WTGs as ships are not

allowed to travel too close to an OWF²⁷. When it is possible, regarding sea depths, the mean value is set to 2000 meters and with a standard deviation of 750 meters. For the leg between Halla and Polargrund, the main value is right between the OWFs, and the standard deviation is 250 meters since it is assumed that it is more likely that vessels will choose a route closer to the middle of the shipping area. This mean value and standard deviation is kept when modelling only Halla, which is fairly conservative as vessels will have the possibility to keep an even further distance without establishment of Polargrund.

Traffic that currently passes over the OWF area is assumed to move north and west of Halla and position itself according to the current lateral distribution.

²⁷ Lateral distributions are chosen so that its center line runs at a distance of $D=6L+0.3$ M from the foundation area to follow COLREG where L is the length of the area's "representative vessels" according to the traffic analysis. Standard deviation σ is chosen so that $\sigma=D/2.8$ whereby 98.5% of traffic ends up outside the OWF. (For Halla, the representative vessel is $L=229$ m long according to the traffic analysis, which gives $D=1541$ m and $\sigma=550$ m.)