

Merenkulun riskinarviointi Hallan merituulivoimapuisto

Vertailu 120 ja 160 tuulivoimalan
skenaarion välillä



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:
1,0	11.12.2023	Loppuraportti	Johan Nimmermark	Oscar Lindén
2.0	13.12.2023	Loppuraportti – pieniä muutoksia	Jens Paulsson	Oscar Lindén
3.0	19.12.2023	Loppuraportti – pieniä muutoksia	Jens Paulsson	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	Rek.nro 556542-9841
Projekti	OX2/Navigointiriskien arviointi
Projektin numero	25008228
Asiakas	OX2
Vers.	3.0
Päivämäärä	19.12.2023
Laatija:	Sara Hammar ja Jens Paulsson
Projektipäällikkö	Matti Lindmark

Sisällysluettelo

	Vertailu 120 ja 160 tuulivoimalan skenaarion välillä.....	1
1.	Johdanto	4
2.	Riskitasojen vertailu, 120 ja 160 tuulivoimalaa	6
2.1	Törmäys	6
2.2	Yhteentörmäys	10
2.3	Pohjakosketus	12
2.4	Talvimerenkulku	13
2.5	Etsintä ja pelastus	15
3.	Keskustelu ja johtopäätös	16
4.	Viittaukset	19

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)

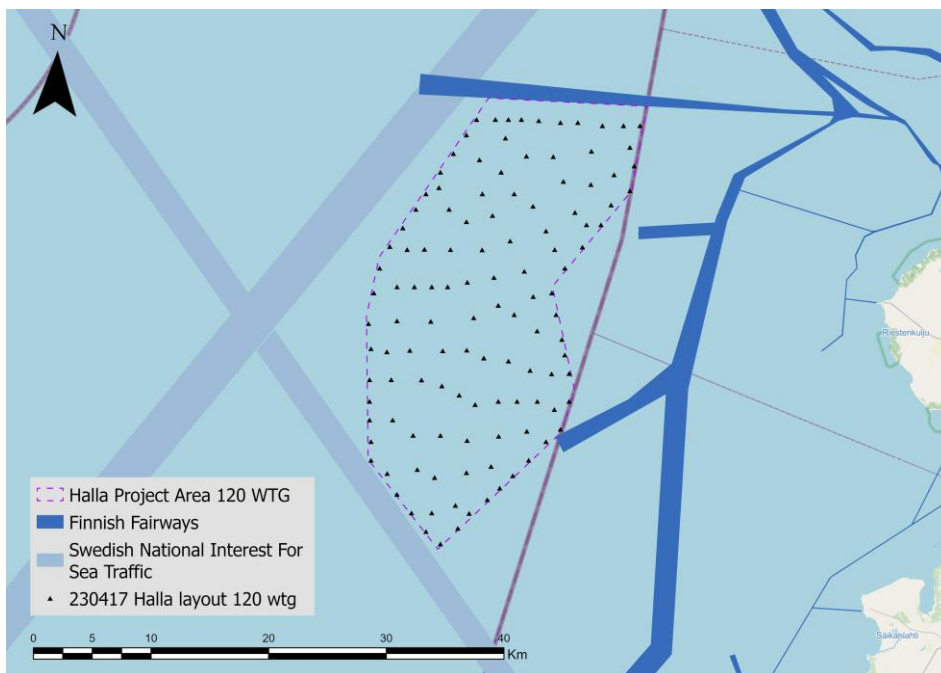
GW	Gigawatti
HEP	Inhimillisen virheen todennäköisyys
HRA	Inhimillisen luotettavuuden arviointi
IALA	International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
IMO	Kansainvälinen merenkulkujärjestö
IWRAP	IALA:n vesiväyläriskien arviointiohjelma (mallintamistyökalu laivojen onnettomuustiheyksien 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

1. Johdanto

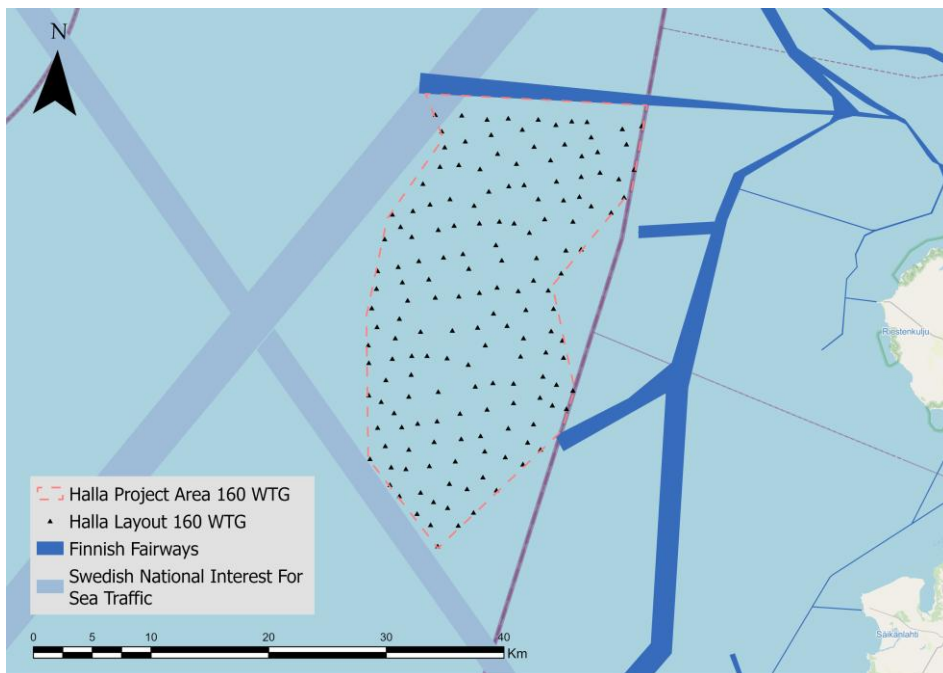
OX2 suunnittelee hakevansa lupaa Hallan merituulivoimapuiston rakentamiseen alueelle, joka sijaitsee noin 60 kilometrin päässä Oulun rannikosta Pohjois-Pohjanmaalla. Rannikon ja tuulipuiston välissä sijaitsee Hailuodon saari. Saari on noin 20 km päässä tuulipuistosta. Tuulivoimapuistoalue on kooltaan noin 550-575 km² ja se on suunniteltu noin 120–160 tuulivoimalalle, joiden korkeus on enintään 370 metriä.

Riskianalyysi ja arviointi on tehty kahdelle vaihtoehtoiselle skenaariolle, 120 tuulivoimalalle ja 160 tuulivoimalalle Tässä raportissa vertaillaan näiden kahden skenaarion riskitasoa.

Kuva 1 havainnollistaa 120 tuulivoimalan skenaariota ja Kuva 2 160 tuulivoimalan skenaariota.



Kuva 1. Hallan hankealue, 120 tuulivoimalan skenaario



Kuva 2. Hallan hankealue, 160 tuulivoimalan skenaario

160 tuulivoimalan skenaario vaatii hieman suuremman alueen kuin 120 tuulivoimalan skenaarioa. Erona on, että 160 tuulivoimalan skenaariossa alue ulottuu kauemmas luoteissuuntaan, ja hankealue on luoteiskulmastaan hieman päällekkäin Nordvalen – Kemi/Tornio -meriliikennealueen kanssa. 160 tuulivoimalan skenaariossa voimalat sijoitetaan tiiviimmin hankealueen sisälle. Alueen reunoilla voimalat pystytetään kuitenkin hieman väljemmin kuin 120 tuulivoimalan skenaariossa.

120 tuulivoimalan skenaariossa turbiinit on järjestetty rivimäisempään muodostelmaan, kun taas 160 tuulivoimalan skenaariossa ne on sijoitettu epäsäännöllisemmin hankealueelle.

2. Riskitasojen vertailu, 120 ja 160 tuulivoimalaa

Tässä luvussa verrataan Hallan kahta skenaariota, 120 ja 160 tuuliturbiinin vaihtoehtoa. Vain merkittäviä tuloksia ja eroja skenaarioiden välillä verrataan liittyen törmäyksiin, yhteentörmäyksiin, pohjakosketuksiin ja talvimerenkulkuun.

Meririskien IWRAPin laskelmat on tehty alusliikenteelle jättöminä ja merijääkuukausina. Tässä raportissa esitetään vain korkeimman riskitason skenaario.

2.1 Törmäys

Kun Hallan merituulivoimapuisto perustetaan, erityyppisten törmäysten esiintymistiheys kasvaa. Törmäyksellä tarkoitetaan tilannetta, jossa alus ohjataan tai ajelehtii päin paikallaan olevaa kohdetta. Hallan merituulivoimapuistoon liittyviä paikallaan olevia kohteita ovat alustat, tuuliturbiinigeneraattorit ja pyörivät lavat.

Seveso-arvioinnissa analysoidaan tarkemmin vetyperustukseen törmäämisen riskiä, eikä sitä siksi esitetä tässä asiakirjassa. Riski törmätä roottorin lapaan on arvioitu hyväksyttäväksi sekä 120 että 160 tuulivoimalan skenaariossa, pääasiassa siksi, että tapahtumaa pidetään erittäin epätodennäköisenä. Siksi tässä esitetään vain riskit, jotka liittyvät moottoroituun tai ajelehtivaan törmäykseen itse tuulivoimalan kanssa.

Kun lasketaan 160 tuulivoimalan skenaarion esiintymistiheydet, arvioidaan Hallasta länteen suuntautuvan liikenteen siirtyvän hieman luoteissuuntaan ja muuttuvan hieman ruuhkaisemmaksi. Tämä johtuu pääasiassa merituulivoimapuiston luoteiskulmassa olevista tuulivoimaloista ja siitä, että Hallan hankealue kattaa suuren osan meriliikennealueesta (Nordvalen – Kemi/Tornio), ks. Kuva 2. Tämän seurauksena törmäysriski on sama tai jopa hieman pienempi Hallan 160 tuulivoimalan skenaariossa verrattuna 120 voimalan skenaarioon.

Törmäysriski kuitenkin kasvaa, mitä kuvataan tarkemmin kohdassa 2.1.

Taulukko 1, Taulukko 2 ja Taulukko 3 alla havainnollistavat riskitason muutosta Hallan 120 ja 160 tuulivoimalan skenaarioiden välillä. Moottoroidun ja ajelehtivan törmäyksen osalta riski on laskettu myös skenaarioissa, joissa myös Polargrundin ja Omegan merituulivoimapuistot perustetaan.

Taulukko 1. Lasketut riskit moottoroidulle törmäykselle tuulivoimalaan (laiva törmää voimalaan)
Hallan 120 ja 160 tuulivoimalan skenaarioille.

Tuuli- voima- laiden määrä	Skenaario	Vaara	Taajuus (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvalli- suus	Ympäristö	Ihmisten turvalli- suus	Ympäristö
120	Halla	Laiva ohjaa päin tuulivoimalaa (moottoroitu törmäys)	1,8	3	2,9	4,8	3,7
160	Halla	Laiva ohjaa päin tuulivoimalaa (moottoroitu törmäys)	1,6	3	2,9	4,6	3,5
120	Halla, Omega ja Polargrund	Laiva ohjaa päin tuulivoimalaa (moottoroitu törmäys)	1,9	3	2,9	4,9	3,8
160	Halla, Omega ja Polargrund	Laiva ohjaa päin tuulivoimalaa (moottoroitu törmäys)	1,6	3	2,9	4,6	3,5

Taulukko 2. Lasketut riskit ajelehtivalle törmäykselle tuulivoimalaan (toimimaton laiva ajautuu päin voimalaa) Hallan 120 ja 160 tuulivoimalan skenaarioille.

Tuuli- voima- laiden määrä	Skenaario	Vaara	Esiintymisti heys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvalli- suus	Ympäristö	Ihmisten turvalli- suus	Ympäristö
120	Halla	Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	2,5	2	2,3	4,5	3,8
160	Halla	Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	2,5	2	2,3	4,5	3,8
120	Halla, Omega ja Polargrund	Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	3,2	2	2,4	5,2	4,6
160	Halla, Omega ja Polargrund	Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	3,1	2	2,4	5,1	4,5

Taulukko 3. Lasketut riski ajelehtivalle törmäykselle tuulivoimalaan jääolosuhteissa (alus jää kiinni jäihin ja ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa) Hallan 120 ja 160 voimalan skenaarioille.

Tuulivoimaloiden määrä	Skenaario	Vaara	Taajuus (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
120	Halla	Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	4,2	2	2,3	6,2	5,4
160	Halla	Jäihin kiinni jäänyt alus ajautuu jääkentän mukana päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	4,1	2	2,3	6,1	5,4

Yllä olevat tulokset perustuvat ja lasketaan käyttäen olettamusta, että liikennemalli Hallan merituulivoimapuiston länsipuolella muuttuu riippuen siitä, kumpaa skenaariota tarkastellaan. Jotta ymmärrettäisiin paremmin useampien tuulivoimaloiden vaikutus riskiin, on tehty herkkyysanalyysi, jossa Hallan 120 voimalan skenaariossa käytettyä liikennemallia käytettiin myös 160 voimalan skenaarioon. Koska 160 voimalan skenaario kattaa suuremman osan meriliikennealueesta Hallan länsipuolella, tämä analyysi tarkoittaa, että useampien alusten odotetaan kulkevan hyvin lähellä hankealuetta tai jopa sen sisällä. Huomaa, että herkkyysanalyysiä pidetään konservatiivisena verrattuna realistisempaan skenaarioon, joka on laskettu ja jonka Taulukko 1 ja Taulukko 2 esittävät.

Herkkyysanalyysi osoittaa, että moottoroidun törmäyksen riski on suurempi 160 tuulivoimalan skenaariossa 120 voimalan skenaarioon verrattuna (katso Taulukko 4). Erityisesti kaksi luoteisinta tuulivoimalaa aiheuttavat tässä tapauksessa suuremman moottoroidun törmäyksen riskin. Tämän tuloksen lisätutkimus osoittaa, että nämä kaksi luoteisinta tuulivoimalaa muodostavat noin 92 % analyysialueen moottoroitujen törmäyksien esiintymistiheydestä yhteensä. Jos tarkastellaan vain liikennettä Nordvalen Kemin/Tornio -meriliikennealueella, nämä kaksi tuulivoimalaa muodostavat noin 99 % moottoroiduista törmäyksistä. Huomaa, että tämä on konservatiivinen herkkyysanalyysi. Vertailun vuoksi voidaan kuitenkin todeta, että nämä kaksi tuulivoimalaa muodostavat myös noin 24 % moottoroiduista törmäyksistä peruslaskelman realistisemmassa liikenneskenaariossa, johon viittaa Taulukko 1 sivulla 7.

Taulukko 4. Herkkyysanalyysi moottoroidun törmäyksen lasketuille riskeille 160 tuulivoimalan skenaariossa (alus ohjaa päin tuulivoimalaa) verrattuna 120 tuulivoimalan skenaarioon, kun 120 tuulivoimalan liikennekuviota on käytetty molemmille skenaarioille.

Tuuli-voimailoiden määrä	Skenaario	Vaara	Taajuus (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
120	Halla	Laiva ohjaa päin tuulivoimalaa (moottoroitu törmäys)	1,8	3	2,9	4,8	3,7
160	Halla	Laiva ohjaa päin tuulivoimalaa (moottoroitu törmäys)	2,8	3	3,1	5,8	4,9

Ajelehtivan törmäyksen taajuus ei vaihtelee merkittävästi kahden vaihtoehtoisen skenaarion, 120 ja 160 tuulivoimalan välillä. Tämä tarkoittaa sitä, että jos kaksi luoteisinta tuulivoimalaa poistetaan Hallan 160 voimalan skenaariosta, sekä yhteentörmäysriski (kahden aluksen välinen törmäys) että törmäysriski (aluksen ja tuulivoimalan välinen törmäys) on suunnilleen sama 120 ja 160 tuulivoimalan skenaariossa.

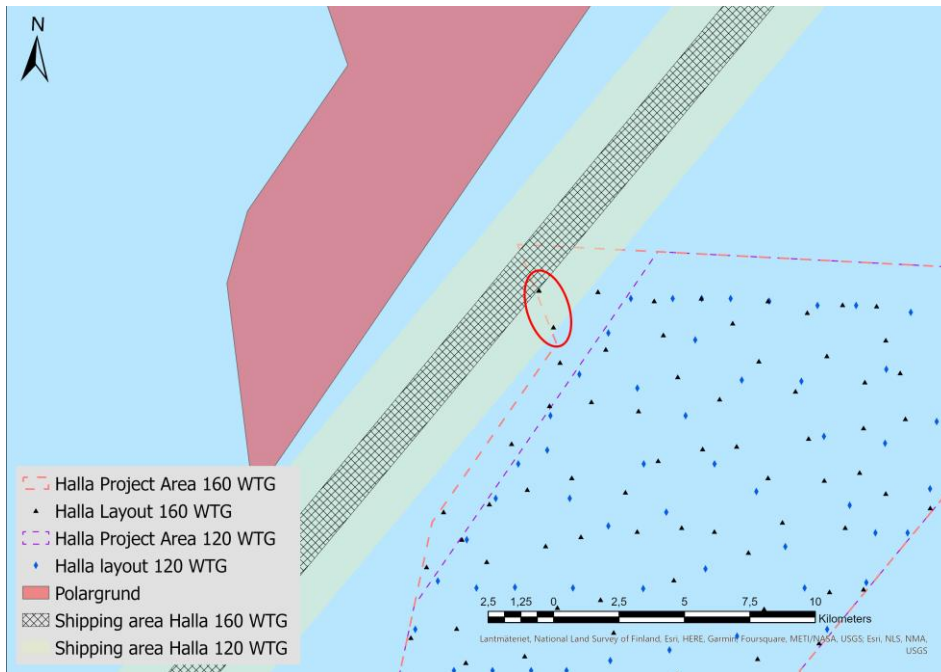
Taulukko 5. Herkkyysanalyysi ajelehtivan törmäyksen lasketuille riskeille 160 tuulivoimalan skenaariossa (alus ohjaa päin tuulivoimalaa) verrattuna 120 tuulivoimalan skenaarioon, kun 120 tuulivoimalan liikennekuviota on käytetty molemmille skenaarioille.

Tuuli-voimailoiden määrä	Skenaario	Vaara	Taajuus (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
120	Halla	Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	2,5	2	2,3	4,5	3,8
160	Halla	Toimimaton alus ajautuu päin tuulivoimalaa (ajelehtiva törmäys)	2,5	2	2,3	4,5	3,8

Yhteenvedon voidaan todeta, että 158 tuulivoimalan skenaario (vrt. Kuva 2, mutta kaksi korostettua tuulivoimalaa jätetty pois, vrt. Kuva 3) aiheuttaa suunnilleen yhtä suuren riskin kuin 120 tuulivoimalan skenaario (Kuva 1).

Kuva 3 havainnollistaa Hallan 120 ja 160 tuulivoimalan skenaarion onnettomuustiheyslaskelmissa oletettuja meriliikennealueita. 160 tuulivoimalan skenaariossa alusliikenteelle on varattu pienempi alue kuin 120 voimalan skenaario, kuten Kuva 3 osoittaa. Tämä johtuu siitä, että 160 voimalan skenaariossa hankealue häiritsee osia alkuperäisestä meriliikennealueesta (kuvassa vihreä alue). Vihreä alue kuvaa 120 voimalan skenaariossa alusliikenteelle varattua aluetta. Kuvassa näkyy myös, että vain kaksi 160

voimalan skenaarion voimaloista häiritsee suurempaa meriliikennealuetta (vihreä alue).



Kuva 3. Kuva siitä, mitä alueita eri puistoskenaariot jättävät alusliikenteelle ja mitkä kaksi 160 voimalan vaihtoehtoon voimaloista lisäävät eniten moottoroidun törmäyksen riskiä kahta skenaariota verrattaessa (tuulivoimalat punaisen ympyrän sisällä).

Yhteenvedona voidaan todeta, että nämä kaksi tuulivoimalaa muodostavat suurimman osan Hallan 160 tuulivoimalan moottoroitujen törmäysten esiintymistiheydestä (merkitty yllä olevassa kuvassa punaisella ympyrällä). Jos nämä kaksi voimalaa poistetaan, moottoroidun törmäyksen riski pienenee merkittävästi (kymmenesosaan alkuperäisestä riskistä 160 voimalan skenaariossa). Tämä muutos vähentää myös yhteentörmäysriskiä, koska aluksille jää suurempi navigointialue. Huomaa, että törmäysriski on hyväksyttävä peruslaskennassa ja ALARP konservatiivisessa herkkyyssanalyyysissä, vaikka molemmat voimalat asennettaisiinkin. Näiden voimaloiden sijoittelu tulisi kuitenkin kyseenalaistaa navigoinnin näkökulmasta.

2.2 Yhteentörmäys

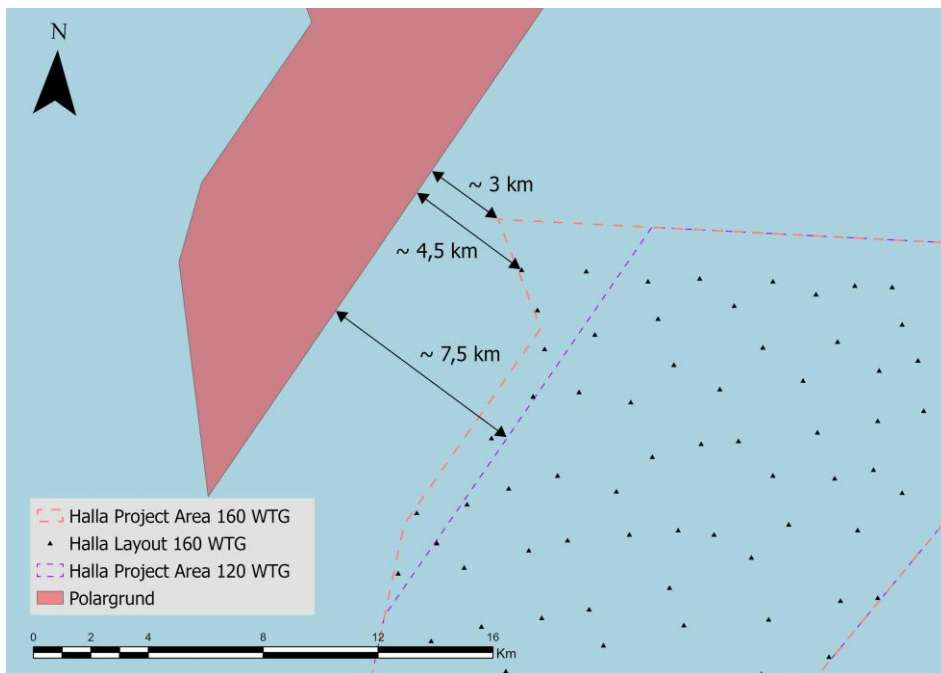
Yhteentörmäyksien esiintymistiheys Hallan merituulivoimapuiston ympärillä liikkuville aluksille on laskettu laivaväylillä käytettävissä olevien AIS-tietojen perusteella. Laskelmat perustuvat jäättömien ja merijääkuukausien liikennemalliin, jossa esitetään konservatiivisimmat ("huonoimmat") tulokset. Eri yhteentörmäyskategorioiden taajuuudet lasketaan ja niitä verrataan kahteen eri mallinnusskenaarioon: Hallan merituulivoimapuisto ja Hallan, Omegan ja Polargrundin merituulivoimapuistot (ympäröivät tuulipuistot).

Taulukko 6 esittää kokonaisyhteentörmäysriskin Hallan 120 ja 160 voimalan skenaariolle sekä Hallan tuulipuistolle, kun huomioidaan myös lähialueen merituulivoimapuistot.

Taulukko 6. Laskettu riski ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle kohdistuvista vaikutuksista yhteentörmäyksissä yhteensä (kaikki yhteentörmäystyypit). Indeksit ja värikoodit kuvataan pääraporteissa. Taulukossa verrataan Hallan 120 ja 160 voimalan skenaarioiden riskitasoja.

Tuuli-voimailoien määrä	Skenaario	Vaara	Esiintymis tiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvalli-suus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
120	Halla	Yhteen-törmäykset yhteensä, tuulipuiston aiheuttamat	2,5	3	3	5,5	5,5
160	Halla	Yhteen-törmäykset yhteensä, tuulipuiston aiheuttamat	2,7	3	3	5,7	5,7
120	Halla, Omega ja Polargrund	Yhteen-törmäykset yhteensä, tuulipuistojen aiheuttamat	2,8	3	3,2	5,8	6,0
160	Halla, Omega ja Polargrund	Yhteen-törmäykset yhteensä, tuulipuistojen aiheuttamat	3,0	3	3,2	6,0	6,2

Molempien skenaarioiden laskelmien mukaan törmäysriski kasvaa, jos suurempi, Hallan 160 tuulivoimalan vaihtoehto, perustetaan. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että liikenne ruuhkautuu todennäköisesti enemmän Hallan länsipuolella, koska hankealuetta laajennetaan lännen suuntaan. Tämä käy erityisen selväksi, jos myös Polargrund perustetaan. Siinä tapauksessa käytettävissä oleva käytävä Hallan ja Polargrundin hankealueiden välillä kaventuu noin 7,5 kilometrin leveydestä (120 voimalaa) noin 3 kilometriin (160 voimalaa), katso Kuva 4. Polargrundin ja Hallan lähimpien tuulivoimaloiden välinen etäisyys 160 voimalan vaihtoehdossa on noin 4,5 km.



Kuva 4. Polargrundin ja Hallan 120 ja 160 voimalan välinen etäisyys. Kuva havainnollistaa myös 160 voimalan skenaarion ja Polargrundin lähimpien voimaloiden välistä etäisyyttä.

Vaikka Polargrundin merituulivoimapuistoa ei rakennettaisi, on silti todennäköistä, että laivaliikenne kulkee Hallan ohi kapeammalla reitillä, koska aluksilla on taipumus valita lyhin mahdollinen reitti. Siksi Hallan 160 voimalan skenaarion oletetaan lisäävän liikennesuhteita myös skenaariossa, jossa Polargrundia ei perusteta.

Yhteentörmäysten esiintymistiheydessä ero näiden kahden vaihtoehdon välillä on kuitenkin suhteellisen pieni, mikä johtuu pääasiassa meriliikennealueen pienestä liikennemäärästä (2–3 alusta päivässä). Hallan 120 voimalan skenaariossa yhteentörmäyksen toistumisajaksi on laskettu yksi yhteentörmäys noin 880 vuodessa ja 160 voimalan suunnitelmassa yksi yhteentörmäys noin 810 vuodessa.

2.3 Pohjakosketus

Hallan perustamisella ei yleisesti ole suuria vaikutuksia pohjakosketuksen riskiin. Laskelmien mukaan pohjakosketusriski voi jopa laskea hieman. Syy tähän ei ole intuitiivinen, mutta teoria on, että tuulivoimalat lieventävät pohjakosketusriskiä, koska jotkut alukset törmäävät tuulivoimaloihin sen sijaan, että ne ajaisivat karille.

Hallan 160 voimalan vaihtoehdon perustaminen merkitsee pienempää riskiä sekä moottoroidulle että ajalehtivalle pohjakosketukselle, kun taas 120 voimalan tapauksessa riski moottoroidulle pohjakosketukselle kasvaa hieman, mutta ajalehtivan pohjakosketuksen riski laskee. Useampien voimaloiden vaihtoehto pienentää riskiä mahdollisesti siksi, että on useampi tuulivoimala, joka voi estää pohjakosketuksen tapahtumisen eli törmäys tapahtuu ennen kuin alus koskettaa pohjaa.

Huomaa kuitenkin, että ero pohjakosketuksissa 160 ja 120 voimalan vaihtoehtojen välillä on hyvin pieni. Ero pohjakosketusriskissä on hyvin pieni.

myös vertailtaessa tilannetta, jossa merituulivoimapuistoa ei perusteta lainkaan tai jos se perustetaan.

2.4 Talvimerenkulku

Hallan hankealue ja sen ympäristö ovat jään peitossa joka talvi. Yleisesti ottaen jääolosuhteet ovat sellaiset, että ajojäää on yleistä ja ahtojäävalleja esiintyy satunnaisesti. Alukset ovat usein riippuvaisia jäänmurtajan avusta. Jään kertyminen ja jääpeite talvi- ja kevätkausina pakottavat alukset usein kulkemaan eri reittejä kuin jäättöminä kuukausina. Erityyppiset jääpeitteet voivat myös vaikuttaa meriliikenteeseen eri tavoin. 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 toiminnalle¹. Alueella toimivat jäänmurtajat ovat siten edellytys alueen merenkulun jatkuvuudelle ja turvallisuudelle.

Merituulivoimalaa perustettaessa 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:

- **Merituulivoimapuisto vaikuttaa jään kertymiseen:** Kun merituulivoimapuisto perustetaan, mereen syntyy uusia kiinteitä pisteitä, joihin jäätä voi kerääntyä tuulivoimalan pinnalle. Samalla tuulivoimaloiden perustaminen voi johtaa siihen, että ajojää murtuu voimaloiden perustuksia vasten.

Ruotsin liikennevirasto ja Ruotsin merenkululaitos luettelevat (2023) seuraavat merijäättä ja merituulivoimapuiston perustamista koskevat skenaariot:

- Tuulivoimalan perustukset voivat rikkoa jään ja ajojäää 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 ahtojäävalli-alueiden muodostumiseen.
- Jää voi ajalehtia edestakaisin merituulivoimapuiston alueella, mikä johtaa jään toistuvaan rikkoutumiseen ja puristumiseen ja muodostaa paksun jäävallin, joka juuttuu alueelle.

Lisäksi jää, johon merituulivoimapuisto on vaikuttanut, voi myös ajalehtia ja haitata laivaliikennettä muissa paikoissa. Tämä voi johtaa heikkeneviin jääolosuhteisiin muualla ja aiheuttaa rajoituksia merenkululle ja käynneille

¹ 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.

Pohjanlahden satamissa. Ilman lieventäviä toimia tämä voi johtaa vaikeampiin jääolosuhteisiin Pohjanlahdella.

Yhteenvedona voidaan todeta, että riskiä pidetään raskauttavana asianhaarana joillekin muille riskiarvioinneissa 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 7). Tämä koskee sekä 120 että 160 tuulivoimalan skenaarioita. Kahden skenaarion välillä ei ole pystytty tunnistamaan merkittäviä eroja tässä riskissä. Koska 160 voimalan vaihtoehdossa on enemmän kiinteitä kohteita merellä, jäällä on enemmän pisteitä, joita vastaan hajota. Vaikutus alueen jääolosuhteisiin voi siis olla suurempi kuin 120 voimalan vaihtoehdossa.

Kahden skenaarion välisten riskitasojen erojen odotetaan kuitenkin olevan vähäisiä, ja molempien katsotaan edelleen olevan ALARP-kriteerien mukaisia.

Taulukko 7. Arvioitu riski siitä, miten merituulivoimapuisto vaikuttaa jään kertymiseen.

Tuulivoimaloiden määrä	Skenaario	Vaara	Taajuus (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
120	Halla	Merituulivoimapuisto vaikuttaa jään kertymiseen		-		ALARP	
160	Halla	Merituulivoimapuisto vaikuttaa jään kertymiseen		-		ALARP	

Merituulivoiman käyttöönotto voi myös vaikuttaa alusten kykyyn navigoida talvella, sillä puisto voi tukkia normaalit talviliikennereitit. 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. Huomaa, että jäihin kiinni jääneen ja tuulivoimalaa päin ajautuneen aluksen riski lasketaan ja luokitellaan ALARP:iksi, katso kohta 2.1, Taulukko 3.

Myös seuraukset ihmisten turvallisuudelle ja ympäristölle ovat kuitenkin mahdollisia. Alukset, joiden on kuljettava pidempiä matkoja talviolosuhteissa, saattavat olla alttiimpia pohjakosketus-, yhteentörmäys- ja törmäysriskeille, koska kuljettu matka on pidempi. Massiivisten ahtojäävalliin kohtaamisen todennäköisyys kasvaa ja apua odottavat, paikallaan seisovat alukset altistuvat jään voimille ja rungon vaurioitumisen riskille. Sitä, kuinka paljon suljetut reitit vaikuttavat talven kokonaisriskeihin, ei voida helposti kvantifioida, mutta riski luokitellaan varovaisesti ALARP:iksi, johon on puututtava tarkemmin.

Tuulivoimaloiden määrä	Skenaario	Vaara	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
120	Halla	Merituulivoimapuisto tukkii talvimerenkulkureitit (pidemmät reitit, jotka johtavat pohjakosketukseen, yhteentörmäykseen ja törmäykseen)		-		ALARP	

Tuulivoimaloiden määrä	Skenaario	Vaara	Esiintymistiheys (FI)	Vakavuusaste (SI)		Riski (RI)	
				Ihmisten turvallisuus	Ympäristö	Ihmisten turvallisuus	Ympäristö
160	Halla	Merituulivoimapuisto tukkii talvimerenkulkureitit (pidemmät reitit, jotka johtavat pohjakosketukseen, yhteentörmäykseen ja törmäykseen)		-		ALARP	

Vaikka molemmat skenaariot on luokiteltu ALARP:iksi, on todennäköistä, että talvimerenkulkureittien tukkeutumisen riski on hieman suurempi 160 voimalan suunnitelmassa. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että hankealue on suurempi ja vie siten alusliikenteeltä suuremman merenkulkukelpoisen alueen. Ensisijaisesti tämä voi vaikuttaa jäänmurtajan kykyyn päästä eteenpäin. Jos myös Polargrundin merituulivoimapuisto rakennetaan, käytettävissä oleva käytävä Hallan ja Polargrundin välillä on kapeampi, mikä vaikuttaa mahdollisuuteen valita sopiva reitti talviolosuhteissa merellä.

2.5 Etsintä ja pelastus

Vain pienemmät alukset ja työalukset saavat liikkua merituulivoimapuiston alueella, mutta se ei tarkoita, että suuret alukset eivät voisi vahingossa päätyä puiston alueelle. Ne voivat joko navigoida väärin tai ajelehtia puiston alueelle. Jos merituulivoimapuiston alueella tapahtuu onnettomuus, pelastustoimet voivat muuttua hieman monimutkaisemmiksi ja alusten ohjaaminen vaikeutua, jos 120:n sijasta rakennetaan 160 voimalaa. Tämä johtuu siitä, että 160 voimalan skenaariossa voimalat ovat lähempänä toisiaan. Navigointi merituulivoimapuiston alueella voi olla vaikeaa, eikä kumpikaan suunnitelmista noudata säännöllistä ruudukkoa, mikä helpottaisi navigointia sekä etsintä- ja pelastustoimintaa. 120 voimalan skenaariossa voimalat ovat paremmin linjassa kuin 160 voimalan skenaariossa, mikä helpottaa alusten ja helikoptereiden navigointia.

Kummassakaan skenaariossa olosuhteet eivät ole optimaaliset etsintä- ja pelastusalusten ja muiden alusten alueella navigoinnin kannalta. Energiantuotannon maksimoimiseksi tuulivoimaloita ei ole voitu sijoittaa suoriin linjoihin. Se lisäisi katvealueita huomattavasti ja vähentäisi vuotuista energiantuotantoa sekä lyhentäisi tuulivoimaloiden käyttöikää. On edelleen suositeltavaa tutkia, voisiko voimalat asetella paremmin linjaan ja keskustella asiasta etsintä- ja pelastustoimijoiden kanssa ennen lopullisen turbiinisijoittelun päättämistä.

3. Keskustelu ja johtopäätös

Hallan 120 ja 160 tuulivoimalan vaihtoehtojen välisessä vertailussa riskitasossa ei ole merkittäviä eroja. Voidaan todeta, että jos 160 voimalan vaihtoehto perustetaan, ensisijaisesti törmäysriski kasvaa. Tämä johtuu siitä, että Hallan lännenpuolisella alusliikenteellä on käytössään pienempi alue.

Kahden tuulivoimalaskenaarion välinen törmäysriskiero on hyvin pieni. Se voi tuntua oudolta, koska 160 voimalan vaihtoehdossa voimaloita on enemmän ja siten myös enemmän kiinteitä pisteitä, joihin alus voi törmätä. Törmäysriski on lähes muuttumaton siksi, että alusliikenteen on skenaariosta riippumatta oletettu kulkevan hankealueen ulkopuolelle. Lisäksi 120 voimalan skenaariossa hankealueen reunojen läheisyydessä on enemmän voimaloita. 120 voimalan skenaariossa voimalat on sijoitettu lähemmäs toisiaan lähellä alueen reunoja ja kauemmas toisistaan hankealueen keskellä. Tämä tarkoittaa, että lyhyemmällä etäisyydellä on enemmän voimaloita, joihin hankealueen länsipuolella liikkuvat alukset voivat törmätä. 160 voimalan skenaariossa voimalat on sijoitettu väljemmin alueen reunoille. Siksi törmäysriski on vielä jonkin verran pienempi 160 voimalan skenaariossa, vaikka voimaloita perustetaankin enemmän. Tästä voidaan päätellä, että voimaloiden sijoittelulla on riskitasoon suurempi vaikutus kuin niiden lukumäärällä.

Myös herkkyysanalyysi Hallan 120 ja 160 voimalan välillä muuttumattomalla liikennekuviolla (ja siten myös muuttumattomalla yhteentörmäysriskillä) on tehty. Tässä analyysissä törmäyksen riski kasvaa 160 voimalan vaihtoehdossa, koska liikenne on mallinnettu kulkemaan hankealueen luoteiskulman kautta. Tämä analyysi osoittaa, että juuri kaksi tähän nurkkaan sijoitettua voimalaa vastaavat lähes koko 160 tuulivoimalan aiheuttamasta törmäysriskin kasvusta analyysitapauksessa, jossa liikennemalli on sama kuin 120 voimalan skenaariossa. Jos nämä kaksi tuulivoimalaa poistetaan tai siirretään, sekä törmäys- että yhteentörmäysriski ovat 120 ja 160 voimalan skenaariossa vastaavat. Tämä tarkoittaa, että 160 voimalan skenaario, josta kaksi luoteisinta tuulivoimalaa on poistettu, aiheuttaa suunnilleen saman riskin kuin 120 tuulivoimalan sijoittelu.

Voidaan myös todeta, että Hallan 160 voimalan skenaarioon voi liittyä hieman korkeampi riskitaso talvimerenkulun osalta, koska suurempi hankealue estää enemmän mahdollisia talvimerenkulun reittejä. Myös navigointiin käytettävissä oleva alue Hallan merituulivoimapuiston länsipuolella pienenee, varsinkin jos myös Polargrundin merituulivoimapuisto perustetaan, mikä pienentää talviliikenteen turvallista kulkualuetta. Pienempi merenkulkuun käyvä alue vähentää myös jäänmurtajien mahdollisuuksia valita hyviä luotsausreittejä. Jälleen kerran, 160 voimalan skenaariossa luoteiskulma vie suurimman merenkulkualan. Jos tämän kulman voimalat voidaan poistaa tai siirtää,

talviliikenteellä ja jäänmurtajilla on enemmän mahdollisuuksia kulkea turvallisesti.

Useammilla tuulivoimaloilla voi myös olla suurempi vaikutus tiettyihin riskeihin talvikuukausina, kun meri on jään peitossa. Kun voimaloita on enemmän, on myös enemmän pisteitä, joita vastaan jää voi murtua ja joilla voi olla suurempi vaikutus alueen jääolosuhteisiin. Suurempi voimalamäärä samalla alueella voi myös vaikeuttaa mahdollisia hätätilanteita hankealueella, koska avustus- ja turva-alusten on navigoitava useampien kiinteiden kohteiden ympärillä. Lisäksi kumpikaan skenaarioista ei noudata säännöllistä ruudukkoa, mikä helpottaisi navigointia sekä etsintä- ja pelastustoimintaa. 120 voimalan skenaariossa voimalat ovat paremmin linjassa kuin 160 voimalan skenaariossa, mikä helpottaa alusten ja helikoptereiden navigointia. On suositeltavaa tutkia, voisiko voimalat asetella paremmin linjaan ja keskustella asiasta etsintä- ja pelastustoimijoiden kanssa ennen lopullisen turbiinisijoittelun päättämistä.

Lopuksi voidaan todeta, että riskitaso ei muutu Hallan 120 ja 160 voimalan skenaarioiden vertailussa. Selvyyden vuoksi todettakoon, että jos riski on luokiteltu hyväksyttäväksi 120 voimalan osalta, se on hyväksyttävää myös 160 voimalan osalta. Sama pätee ALARP-luokiteltuihin riskeihin. Huomaa, että tämä sisältää kaksi luoteisinta tuulivoimalaa. Näiden voimaloiden sijoittelu tulisi kuitenkin kyseenalaistaa navigoinnin näkökulmasta.

Mitään riskiä ei ole luokiteltu kohtuuttomaksi 120 tai 160 voimalan skenaariossa. On kuitenkin olemassa useita riskejä, jotka on luokiteltu ALARP:iksi molemmissa skenaarioissa (katso pääraportin luku 7). 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 turbiinien sijoittelusta. Poikkeuksena on lieventävä toimenpide Q, jossa mahdollisten tutkahäiriöiden tutkimus suoritetaan puiston perustamisen yhteydessä ja selvitetään, onko tarpeen ryhtyä toimenpiteisiin tutkahäiriöiden torjumiseksi.

Tekniset ja fyysiset riskinhallintatoimenpiteet ovat seuraavat:

- K. Tuulivoimaloiden hätäpysäytystoiminto. Hätäpysäytystoiminnon tulee olla käytettävissä paikallisesti ja etänä esimerkiksi ohjauskeskuksesta.
- L. Laitteet vuotojen varalta. Huoltoaluksissa on oltava varusteita, jotka viivästyttävät ja rajoittavat ympäristölle vaarallisia vuotoja.
- M. Visuaalinen merkintä. Varmista, että tuulivoimalat ja perustukset merkitään sovellettavan lainsäädännön tai alan standardien mukaisesti.
- N. Radio- ja tutkamerkinnät. Merituulivoimapuistojen näkyvyyden parantamiseksi valituille tuulivoimaloille on toteutettava AIS- ja Racon-merkinnät².
- O. Sumutorvi. Sumutorvien asennus kaikkiin tuulivoimaloihin tai valittuihin tuulivoimaloihin.
- P. Tunnisteet. Tuulivoimalat on merkittävä yksilöllisellä tunnisteella pelastustoimien helpottamiseksi.
- Q. Toimenpiteet tutkahäirintää vastaan (kadonnut kohde). Vertailupoiijujen asentaminen vakiintuneille laivaväylille ja muut toimenpiteet kadonneiden kohteiden riskin vähentämiseksi ovat toimia, joita

² Racon (tutkamajakka) on tunnistus- ja navigointiapuna käytettävä transponderi, joka asennetaan tyypillisesti tuulivoimaloiden tai majakoiden kaltaisiin rakenteisiin.

harkitaan ja joista päätetään ennen merituulivoimapuiston lopullista suunnittelua.

- R. Navigointivalot. Ylimääräiset navigointivalot tuulipuistossa.
- S. Virtuaalinen väylä. Merituulivoimapuiston lähelle määritetty reitti, jossa alusten on navigoitava puistoa lähestyessään, jotta sumun vaikutus näkyvyyteen voidaan torjua.
- T. Turbiinien sijoittelu. Säännöllisempi ruudukkokuva, jossa tuulivoimalat ovat suorissa riveissä, helpottaisi etsintä- ja pelastustoimia ja navigointia yleisesti merituulivoimapuiston sisällä. Etsintä- ja pelastustoimijoiden tulisi olla mukana turbiinien sijoittelua koskevassa keskustelussa.

4. Viittaukset

- IMO. (n.d.). *Ship's routeing*. Retrieved from <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/ShipsRouteing.aspx> [2023-09-25]
- Maritime Safety Committee. (2018). *Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process*. London: IMO (International Maritime Organization).
- Merialeusuunnittelu. (2023). *Maritime Spatial Plan 2030*. Retrieved from <https://meriskenaariot.info/merialuesuunnitelma/en/suunnitelma-johdanto-eng/> [2023-09-28]
- PIANC. (2018). *MarCom Wg 161: Interaction Between Offshore Wind Farms and Maritime Navigation (2018)*. PIANC.
- The Ministry of Infrastructure and the Environment, Netherlands. (2014). *White Paper on Offshore Wind Energy*.
- Traficom. (2022a). *Environmental impact assessment programme for the Halla offshore wind farm project*.
- Transportstyrelsen; Sjöfartsverket. (2023). *Sjöfartsverkets och Transportstyrelsens rekommendationer vid projektering och eTaulukkoring av havsbaserad vindkraft*.

Yhdessä asiakkaidemme
kanssa ja 18 500
arkkitehdin, insinöörin ja
muun asiantuntijan
kollektiivisen osaamisen
voimin tartumme
kaupungistumisen
haasteisiin ja digitalisaation
mahdollisuuksiin ja luomme
ratkaisuja, jotka edistävät
kestävämmän yhteiskunnan
kehittämistä.

Sweco – Transforming
society together