

Machine translation for the purpose of ESPOO consultation.

Please note that only Chapter 15 of the EIA (Sw. MKB) has been reviewed by a Finnish speaker; the other chapters and documents have been translated by machine.

Please contact Madelene.Andersson@yinge.se if there are any unclarities regarding the translations.



toukokuu 2024

Liite 3.3 - Merenkulun riskianalyysi

Bothnia Offshore Sigma

Valmistellut

RISE Research Institute of Sweden AB

Antopäivä

14. toukokuuta 2024

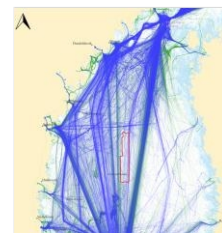
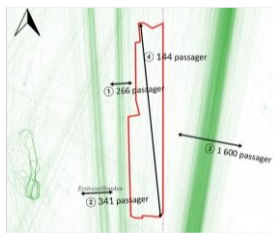




Bothnia Offshore Sigma

Nro: RE20231873-01-00-A

Vaikutus merenkulun riskeihin ja meriliikenteen saavutettavuuteen



Statkraft Sverige AB

RAPORTTI

Päivämäärä

2024-05-14

RISE Raportin numero:

RE20231873-01-00-A

Projektipäällikkö:

Nelly Forsman

Kirjoittaja

Nelly Forsman

+46 (730) 729160

Nelly.forsman@ri.se

Bothnia Offshore Sigma

Vaikutus merenkulun riskeihin ja meriliikenteen saavutettavuuteen

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Research Institutes of Sweden AB

Jonny Nisbet

Yksikön päällikkö

Maritime Consulting



Nelly Forsman

Projektipäällikkö

Maritime Consulting

RISE Research Institutes of Sweden AB: Org No: 556464-6874 - Vat No: SE556464687401 - Web: www.ri.se - E-mail: info@ri.se

Päähkonttori: PL 857, SE-501 15 BORÅS - Puhelin: +46 10-516 50 00 - Faksi: +46 33-13 55 02.

Merenkulkuosasto: PL 24001, SE-400 22 Göteborg - Internet: www.sspa.se - Puhelin: +46 31 772 90 00.

Käyntiosoite Göteborg: Chalmers Tvärgata 10, SE-412 58 Göteborg.

Käyntiosoite Tukholma: Fiskargatan 8, SE-116 20 Tukholma.

Tarkistushistoria

Rev.	Päivämäärä	Kuvaus	Allekirjoitus
A	2024-05-14	Tarkistettu ja korjattu koko versio.	NEF

Julkaisulupakaavion tausta: © Sjöfartsverket lisenssinumero 24-02691.

Tiivistelmä

Statkraft (aiemmin Njordr Offshore Wind) aikoo hakea lupaa Sigma-tuulipuiston rakentamiseen ja toimintaan Perämerellä, Ruotsin talousvyöhykkeellä. Hankealue on pohjois-eteläsuunnassa noin 34 metriä pitkä ja sijaitsee Suomen talousvyöhykkeen rajalla noin 55 metriä (110 km) Hudiksvallin itäpuolella ja noin 52 metriä (100 km) Sundsvallin itäpuolella. Tuulipuiston on suunniteltu koostuvan enintään 143 tuulivoimalasta.

Suunnitellun tuulipuiston alueelle on tyypillistä merenkulku, ja laivaväyliä on sekä hankealueen länsi- että itäpuolella. Tästä syystä on analysoitava tuulipuiston mahdolliset vaikutukset merenkulkuun ja sen aiheuttamat merenkulkuriskit.

Hankealueen länsipuolella kulkee liikennettä Husumiin ja Örnköldsvikiin ja sieltä pois. Liikennemäärät näillä kahdella reitillä ovat hyvin vähäiset, noin 300-400 kulkua vuodessa kummallakin reitillä. Hankealueen länsipuolen ja Husumin liikenteen välinen etäisyys on noin 1 M. Etäisyys Örnköldsvikin liikenteeseen on noin 3 M - 5,5 M. Södra Kvarnenin ja Norra Kvarnenin välinen laivaväylä kulkee noin 3 M:n päässä hankealueen kaakkoiskulmasta. Tällä reitillä kulkee yhteensä noin 1 600 laivavuoroa vuodessa.

Monet vaarojen tunnistamistyöpajassa tunnistetuista vaaroista johtuvat siitä, että tuulivoimapuiston länsipuolella kulkeva alusliikenne kulkee lähellä tuulivoimapuistoa, ja näin ollen on olemassa törmäysriski eli alusten ajautuminen tai purjehtiminen tuulivoimapuistoon. Alusliikenteen ja tuulipuiston välinen pieni etäisyys merkitsee myös sitä, että aluksilla on vain vähän tilaa tehdä tarvittaessa väistöliikkeitä. Tämä voi johtaa joko alusten yhteentörmäykseen tai vaihtoehtoisesti törmäykseen, kun väistöliikkeen tekevä alus ajaa tuulipuistoon. Tuulivoimapuiston länsipuolella sijaitsevien laivaväylien vähäinen liikennemäärä rajoittaa kuitenkin törmäyksen todennäköisyyttä.

Yhteentörmäys- ja törmäystodennäköisyyksiä on laskettu jäättömissä olosuhteissa IWRAP Mk2 -työkalulla. Laskelmat osoittavat, että törmäystodennäköisyys kasvaa hieman, kun tuulipuisto on perustettu. Lisäys on kuitenkin hyvin pieni, 1,6 prosenttia. Kun tuulipuisto on perustettu, syntyy uusi vaara, törmäysvaara, joka lisää kaikenlaisten onnettomuuksien todennäköisyyttä alueella. *Tuulivoimapuiston kohdalla ajelehtiva törmäys* eli tuulipuistoon ajautuva pimeä alus lisää eniten kaikenlaisten onnettomuuksien/tapahtumien kokonaistodennäköisyyttä. Laskelmat osoittavat, että *ajelehtivan törmäyksen* voidaan odottaa tapahtuvan keskimäärin kerran 52 vuodessa. Törmäyksen seuraukset ovat kuitenkin useimmissa tapauksissa lievemmät kuin törmäyksen. Laskelmat perustuvat hankealueeseen, ja laskettu törmäystodennäköisyys viittaa siten todennäköisyyteen, että alus purjehtii tai ajautuu hankealueelle. Hankealueen tuulivoimaloiden välinen etäisyys on kuitenkin suuri, mikä tarkoittaa, että osa hankealueelle purjehtivista tai ajautuvista aluksista pystyy välttämään törmäyksen johonkin tuulivoimalaan. Tämä tarkoittaa, että todennäköisyys törmätä yhteen tuulivoimalaan on huomattavasti pienempi kuin laskennallinen törmäystodennäköisyys, joka vastaa 52 vuoden törmäystodennäköisyyttä.

Skenaariossa, jossa Sigma on alueen ainoa tuulivoimapuisto, tuulivoimapuisto ei edellytä laivaliikenteen uudelleenohjausta alueen laivaväylillä. Ei myöskään talvella

Liikenteeseen odotetaan kohdistuvan merkittäviä vaikutuksia, koska vakavat jääolosuhteet ovat kyseisellä alueella suhteellisen harvinaisia. Tämän perusteella tuulipuiston ei odoteta vaikuttavan merenkulun saavutettavuuteen.

Sigman lisäksi lähialueelle on suunnitteilla useita muita tuulipuistoja. Jos nämäkin rakennetaan, voi syntyä merenkulkuun vaikuttavia kumulatiivisia vaikutuksia. Tämä pätee erityisesti, jos Eystrasalt perustetaan Sigman länsipuolelle nykyisen hakemuksen mukaisen laajuuden mukaisesti. Tämä merkitsisi Husumiin ja Örnköldsvikiin suuntautuvan ja sieltä lähtevän liikenteen reitin pidentämistä. Vaikutukset talvimerenkulkuun ja jäänmurtajatoimintaan ovat myös konkreettisempia, jos alueelle perustetaan useita tuulipuistoja. Kun tuulipuistoja on useita, vaihtoehtoisten reittien mahdollisuudet ovat rajalliset, kun Perämerellä on jäätä, ja nykyistä useammat alukset saattavat siksi tarvita apua, jotta ne pääsevät liikkumaan ilman törmäysriskiä. Vaikeina ja mahdollisesti myös tavanomaisina jäätalvina useat tuulivoimalat alueella voivat siten ajoittain johtaa jäänmurtajaresurssien puutteeseen, jos jäänmurtajalaivastoa ei vahvisteta.

Törmäysvaaran aiheuttaman lisävaaran vuoksi tuulipuiston katsotaan lisäävän merenkulun kokonaisriskiä alueella. Olosuhteet, joissa liikenne voi ohittaa tuulipuiston riittävän turvallisen etäisyyden päästä, katsotaan kuitenkin useimmissa tapauksissa hyväksi. Koska tuulivoimapuiston alueella ja sen ympäristössä on jäätä vain muutaman vuoden ajan, Sigman tuulivoimapuiston merkittävän vaikutuksen todennäköisyyttä talvimerenkulkuun pidetään hyvin pienenä. Tuulivoimapuiston muita vaikutuksia merenkulkuun reittien pidentämisen ja satamiin pääsyn muodossa pidetään vähäisinä.

Lyhenne/käsite		Selitys
AIS		<i>Automaattinen tunnistusjärjestelmä</i> , suuremmille aluksille pakollinen tietojärjestelmä, joka välittää tietoja henkilöllisyydestä, sijainnista, kurssista jne. VHF-verkkoon kytketyn transponderin välityksellä.
ALARP		<i>Niin alhainen kuin kohtuudella toteutettavissa</i> . Termi, jota käytetään usein riskianalyysin yhteydessä riskin tason arvioimiseksi ja joka viittaa siihen, mitä voidaan pitää kohtuullisesti toteutettavissa olevana tasona.
Allision		Alukset, jotka purjehtivat tai ajelivat kiinteään rakenteeseen tai alueelle, jossa on kiinteä rakenne, esim. tuulipuisto ja tuuliturbiini. Eroaa törmäyksestä, jolla tarkoitetaan kahden aluksen purjehtimista toisiinsa. <i>Moottorikäyttöinen törmäys</i> : alus purjehtii tuulipuistoon propulsiovoimalla. <i>Ajelehtiva törmäys</i> : alus ajautuu tuulipuistoon ilman käyttövoimakoneistoa.
Puskurivyöhyke		Kansallista etua palvelevan laivaväylän laivaväylän/rannan ulkopuolella oleva etäisyysvyöhyke, joka on tarkoitettu tulevaa mahdollista kehitystä varten. /väylän laajentamistarpeet esimerkiksi suuremman tonniston vuoksi. Ruotsin merenkululaitos on määritellyt väyläluokan 1 puskurivyöhykkeeksi 200 metriä väylän pinnan molemmin puolin merenkulun kansallisten etujen määrittelyn yhteydessä.
DWT		Kantavuus, aluksen kokonaiskuljetuskapasiteetin mittayksikkö (tonnia).
Värillinen		Vesiväylä, joka on merkitty merikarttaan mustalla katkoviivalla tai merkitty opastetaululla, SSA.
Merenkulkuväylät		Sivusuunnassa rajattu reitti, jonka sisäpuolella on monia alusten reittivalintoja ja AIS-paikannuksia (laivareitti).
Alustyyppit	Kontti	Konttien kuljettamiseen suunniteltu alus.
	Kappaletavara	Rahtialus, joka on suunniteltu erityyppisten, itsenäisesti pakattujen tai kuormalavoille pakattujen tavaroiden kuljettamiseen.
	Bulk	Rahtialus, joka on suunniteltu irtolastin, kuten hiilen ja malmin, kuljettamiseen.
	Säiliöalukset	Säiliöalus, joka on suunniteltu lastisäiliöillä nestemäisen lastin tai kaasun kuljetukseen.
	Risteily	Risteilyalukset.
	Ro-Ro	Roll-on-roll-off, alukset, joilla kuljetetaan tavaroita liikkuvilla kuljetusaluksilla, kuten perävaunuilla.
	Ro-Pax	Roll-on/roll-off-matkustaja-alus, alus, joka kuljettaa sekä rahtia että matkustajia.
	Ro-Con	Roll-on/roll-off-konttialus, alus lastin ja konttien vierittämiseen.
FSA		<i>Formal Safety Assessment</i> , IMO:n kehittämä jäsennelty ja järjestelmällinen menetelmä riskianalyysijä varten, jonka tarkoituksena on parantaa meriturvallisuutta.

Lyhenne/käsite		Selitys
IMO		Kansainvälinen merenkulkujärjestö, YK:n kansainvälinen merenkuluviranomainen.
Tuottopiste		Reittipiste, piste, jossa alukset vaihtavat kurssia.
IWRAP		IALA Waterway Risk Assessment Program, merenkulun mallinnustyökalu törmäys-, törmäys- ja karilleajolukujen laskemiseksi.
Nappi		Laivojen nopeusyksikkö; 1 solmu = 1 M/h = 0,514 m/s.
Törmäystyyppit	Head-on	vastaantulevien alusten yhteentörmäys
	Ohittaminen	yhteentörmäys ohitettaessa samalla ajokaistalla
	Crossing	törmäys laivaväyliä ylityksessä
	Yhdistäminen	yhteentörmäys solmukohdissa, joissa laivaväylät kohtaavat toisensa
	Bend	yhteentörmäys solmukohdissa, joissa laivaväylät mutkittelevat.
Jalka (kausi I IWRAP)		Ilmaisee alusten kulkeman reitin, joka näkyy IWRAP-mallissa yhtenäisenä mustana viivana.
M		merimaili (etäisyysminuutti), merellä käytetty etäisyyden yksikkö; 1M = 1,852 m.
NtM		Merenkulkijoille tarkoitetut ilmoitukset, merikarttojen korjaukset ja muut merenkulun kannalta tärkeät tiedot englanniksi.
Matkustajalinja		Liikenneanalyysissä määritelty linja, jonka avulla voidaan määrittellä määrällisesti ja laadullisesti linjan ylittävä ja aluetta palveleva liikennevirta. Perustuu tallennettuihin AIS-tietoihin ja tilastoidaan yleensä vuosittain.
Pisteestä pisteeseen -kurssi		Laivan keulan suunta. Käytetään, kun aluksen keula osoittaa jotakin kohti, esim. kiinteää rakennetta, matalikkoa tai tuulipuistoa.
PIANC		World Association for Waterborne Transport Infrastructure on kansainvälinen järjestö, joka antaa ohjeita ja suosituksia vesiliikenteen infrastruktuuriin liittyvistä teknisistä, taloudellisista ja ympäristökysymyksistä. Näihin kuuluvat muun muassa suositukset tuulipuistojen ja laivaväyliä turvallisista etäisyyksistä, <i>MarCom WG Report n° 161 - 2018, Interaction between offshore wind farms and maritime navigation</i> .
Varoalue		Erityishuomiota vaativat esimerkiksi alueet, joilla erilaiset liikenteen erottelujärjestelmät kohtaavat.
(Onnettomuuden/) vaaratilanteen todennäköisyys		Ilmaistaan tapauksina/vuosi ja edustaa ei-toivotun tapahtuman, vaaratilanteen tai onnettomuuden laskennallista tai arvioitua todennäköisyyttä. Vaaratapahtuman todennäköisyys on yleensä alle 1 tapaus/vuosi, ja siksi se ilmaistaan desimaalilukuna, jossa E ilmaisee desimaalisen tehokertoimen, esimerkiksi E-04 = 10 ⁻⁴ .
Paluu aika		Ilmaistaan vuosina ja edustaa kahden tapahtuman väliin jäävien vuosien odotettua lukumäärää. Lasketaan tapahtuman todennäköisyyden käänteislukuna eli palautumisaika = 1/tapahtuman todennäköisyys.

Lyhenne/käsite	Selitys
Riski	Epätoivotun tapahtuman todennäköisyyden ja sen mahdollisten seurausten punnitseminen.
Kansallinen etu meriliikenteessä - farled	Ruotsin liikenneviraston nimeämä ohjeellinen vaatimus. <i>RI-laivaväylät</i> eivät ole merikartoissa väyliä, eikä niillä siten ole käytännön merkitystä meriliikenteen kannalta.
Reitti	Aluksen reitin valinta määränpäähän useiden <i>reittipisteiden</i> kautta.
SOLAS	<i>Kansainvälinen yleissopimus ihmishengen turvallisuudesta merellä.</i> Kansainvälinen yleissopimus ihmishengen turvallisuudesta merellä. Yleissopimuksessa määrätään muun muassa siitä, miten alukset olisi rakennettava ja varustettava, miten lastia olisi käsiteltävä ja miten matka olisi suunniteltava ja johdettava. Useimpia SOLAS-yleissopimuksen sääntöjä sovelletaan vain kansainvälisessä liikenteessä oleviin aluksiin, jotka joko luokitellaan matkustaja-aluksiksi tai joiden bruttovetoisuus on vähintään 500.
SSA	Merenkulun turvalaitteet, kuten majakat, poijut, poijumerkit ja monolinjat.
Turvaetäisyys	Laivaväylän ulkoreunan ja tuulipuiston ulkoreunan välinen etäisyys.
Turvavyöhyke	Etäisyys tai säde tuulivoimaloista, jonka sisällä meriliikennettä ei sallita tuulivoimaloille ja aluksille aiheutuvan riskin välttämiseksi.
TSS	<i>Liikenteen erottelujärjestelmä:</i> Liikenteen erottelujärjestelmä, jossa alukset ohjataan liikenneväylille, joilla vastaantuleva liikenne on erotettu toisistaan valvotuilla liikenteen erotteluvyöhykkeillä.
Ufs	<i>Ilmoitukset merenkulkijoille.</i> Ruotsin merenkulkulaitoksen julkaisemat merikartat ja muut merenkulun kannalta tärkeät tiedot Ruotsin vesillä.
VTS	<i>Alusliikennepalvelut.</i> Alusliikenteen tietopalvelu. Alusliikenteen seuranta-, organisointi-, tiedotus- ja avustuspalvelu, jonka tarkoituksena on parantaa alusliikenteen turvallisuutta ja suojella ympäristöä määritellyllä VTS-alueella.
Reittipiste (tässä termi IWRAPissa)	Käytetään IWRAP-ohjelmassa terminä käännöspisteelle eli pisteelle, jossa alus kääntyy uudelle kurssille.

Sisällysluettelo

1	Johdanto ohjelmaan	8
1.1	Taustatiedot	8
1.2	Ohjelman tarkoitus	9
1.3	Ohjelman soveltamisala	9
1.3.1	Rajaukset	9
1.4	Menetelmä	10
1.4.1	Hallinnolliset asiakirjat ja suuntaviivat	10
2	Alueen kuvaus ja meriliikenteen analyysi	14
2.1	Onko	15
2.1.1	Tulevat jääolosuhteet	17
2.2	Liikennemallit	19
2.3	Matkustajatilastot	22
2.3.1	Matkustajalinja 1 - Liikenne Södra kvarkenin ja Husumin välillä.	23
2.3.2	Matkustajalinja 2 - Liikenne Södra kvarkenin ja Örensköldsvikin välillä	24
2.3.3	Kulkulinja 3 - Liikenne Södra Kvarkenin ja Norra Kvarkenin välillä	25
2.3.4	Kulkuyhteys 4 - Liikenne hankealueen läpi	25
2.3.5	Vuosien väliset vaihtelut	26
3	Tuulipuiston vaikutus merenkulun saavutettavuuteen	28
3.1	Örensköldsvik	29
3.1.1	Kuvaus nykyisestä toiminnasta ja tulevasta kehityksestä	29
3.1.2	Vaikutus Sigman saavutettavuuteen	29
3.2	Husum	29
3.2.1	Kuvaus nykyisestä toiminnasta ja tulevasta kehityksestä	29
3.2.2	Vaikutus Sigman saavutettavuuteen	30
3.3	Useiden tuulipuistojen perustamisen kumulatiiviset vaikutukset	30
3.3.1	Reitin pidennykset/matka-ajan pidennys Husum ja Ö-vik.	31
3.3.2	Talvimerenkulku ja jäänmurto	32
4	Riskien tunnistaminen	35
4.1	Hazid	35
4.1.1	Liikenne Sigman itäpuolella	35
4.1.2	Liikenne Sigman länsipuolella	36
4.1.3	Talvimerenkulku ja jää	37
4.1.4	Kumulatiiviset vaikutukset	37
4.1.5	Pelastustoimien edellytykset	39

4.1.6	Muu meriliikenne / Yleistä.....	39
4.1.7	Rakennusliikenne	39
5	Riskinarvioinnin operatiivinen vaihe	40
5.1	Karilleajon, törmäyksen ja törmäyksen todennäköisyyden laskeminen	40
5.1.1	Bothnia Offshore Sigma -tuulipuiston vuoksi muuttunut liikennemalli	41
5.1.2	Matemaattinen malli	42
5.1.3	Tulos	43
5.2	Muiden tunnistettujen vaarojen todennäköisyyksien arviointi	44
5.2.1	Laivaväylien yli kulkevat huolto/huoltoalukset	44
5.2.2	Rakennusliikenne	45
5.2.3	Muu liikenne Bothnia Offshore Sigman tuulipuiston alueella ja sen ympäristössä.....	46
5.2.4	Häiriöt meritutkan kanssa.....	46
5.2.5	Vaikeudet mahdollisen vuodon torjunnassa	47
5.2.6	Talvinen navigointi	48
5.2.7	Kumulatiiviset vaikutukset - merenkulun riskit.....	49
5.3	Vaikutusten arviointi	50
5.3.1	Vuorovaikutus tuulipuiston kanssa ja törmäys tuulivoimaloiden kanssa.....	51
5.3.2	Turvaetäisyydet ja hätäkiinnitys	52
6	Riskinarviointi	55
7	Riskien lieventämistoimenpiteet.....	58
8	Epävarmuus ja herkkyysanalyysi.....	61
8.1	Tuleva liikenteen intensiteetti	61
8.2	Tulevat liikennemallit	61
8.3	IWRAP	61
9	Päätelmät	63
10	Viitteet.....	65

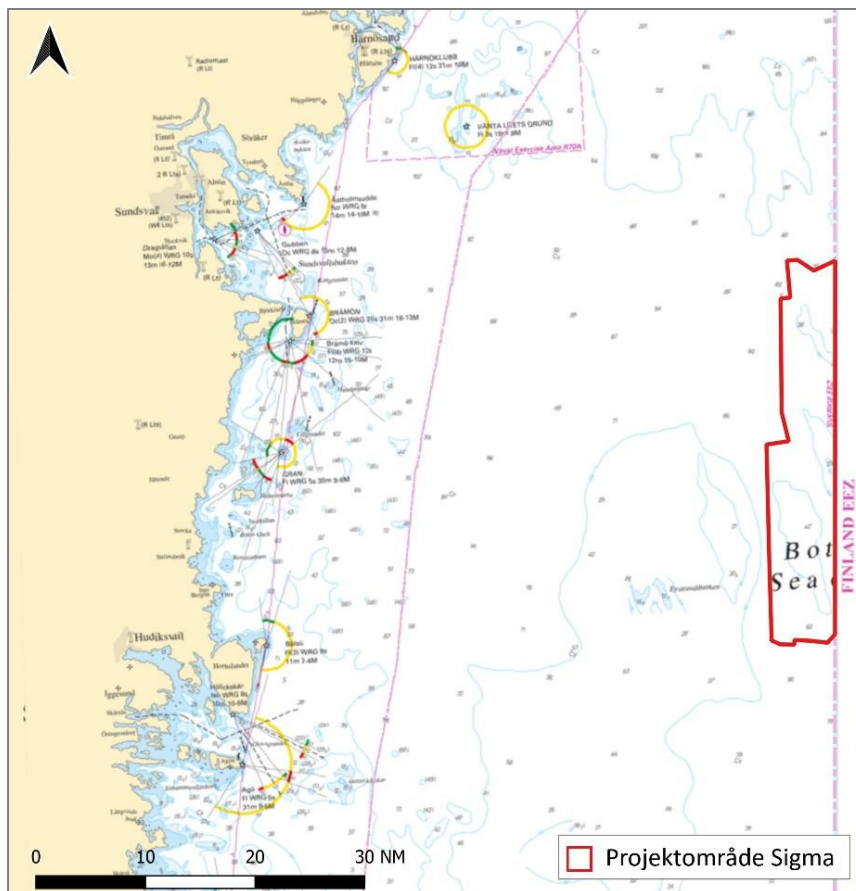
Liite 1 - Hazid-pöytäkirja

1 Johdanto

Statkraft (aiemmin Njodr Offshore Wind) aikoo hakea lupaa merituulipuiston rakentamiseen ja toimintaan Perämerellä, Ruotsin talousvyöhykkeellä. Tuulipuiston nimi on Bothnia Offshore Sigma (Sigma).

1.1 Tausta

Sigman tuulipuiston hankealue sijaitsee noin 55 m (110 km) Hudiksvallin itäpuolella ja noin 52 m (100 km) Sundsvallin itäpuolella Suomen talousvyöhykkeen rajalla, ks. kuva 1.1.



Kuva 1.1 Sigman tuulipuiston hankealue sijaitsee Perämerellä, noin 50 metrin päässä Ruotsin rannikosta ja Suomen talousvyöhykkeen rajalla.

Hankealueen kokonaispinta-ala on noin 640 kilometriä², ja tuulipuiston on suunniteltu koostuvan enintään 143 tuulivoimalasta, joiden kokonaiskorkeus on enintään 370 metriä. Kokonaiskapasiteetin arvioidaan olevan noin 3,4 GW, ja sen odotetaan tuottavan 13,6 TWh vuodessa. Tuulipuiston odotetaan olevan toiminnassa noin vuosina 2032-2033.

Tuulipuiston tarkkaa suunnittelua, mukaan lukien tuulivoimaloiden ja kaapeleiden tai johtojen sijainti, ei ole vielä viimeistely, ja siitä päätetään myöhemmin. Taulukossa 1.1 esitetään tuulipuiston suunnittelua koskevat alustavat tiedot.

Taulukko 1.1 Sigman tuulipuiston alustavat tiedot

	Mitat/määrä, alustavat tiedot
Tuulivoimaloiden kokonaiskorkeus merenpinnasta	Jopa 370 metriä
Roottorin enimmäishalkaisija	350 m
Odotettu korkeus vedenpinnan yläpuolella	Vähintään 25 metriä
Tuulivoimaloiden lukumäärä	Max 143
Tuulipuiston pinta	380 neliökilometriä
Etäisyys rannasta	noin 50 m (90 km)
Yksittäisten kasvien välinen etäisyys	noin 1 - 1,2 M (1,8 - 2,0 km).
Säätion tyyppi	Pohja kiinteä
Asennettu kokonaiskapasiteetti	Noin 3 354 MW
Vuotuinen sähköntuotanto	13,6 TWh
Odotettu käyttöaika	Jopa 40 vuotta

Suunnitellun tuulipuiston alueelle on tyypillistä merenkulku, ja laivaväyliä on sekä hankealueen länsi- että itäpuolella. Tästä syystä on analysoitava tuulipuiston mahdolliset vaikutukset merenkulkuun ja sen aiheuttamat merenkulkuriskit.

1.2 Ohjelman tarkoitus

Tutkimuksessa pyritään selvittämään Sigman tuulipuiston perustamisen mahdollisia vaikutuksia merenkulkuun. Tutkimuksessa pyritään ensisijaisesti arvioimaan ja analysoimaan, miten tuulipuisto vaikuttaa merenkulun riskeihin laskemalla karilleajon todennäköisyys, alusten yhteentörmäyksen todennäköisyys ja todennäköisyys, että alukset purjehtivat tai ajautuvat tuulipuistoon, niin sanottu allision. Tutkimuksessa analysoidaan myös tuulipuiston vaikutusta merenkulun saavutettavuuteen.

Raportti on tarkoitettu toimilupahakemusta tukevaksi raportiksi ja liitettäväksi hakemukseen.

1.3 Ohjelman soveltamisala

Analyysi sisältää sekä suorat vaikutukset, jotka voivat vaikuttaa merenkulun turvallisuuteen, että epäsuorat vaikutukset, joita voi syntyä, kun merenkulun saavutettavuutta rajoitetaan ja muutetaan. Se sisältää myös analyysin siitä, miten tuulipuiston perustaminen vaikuttaa merenkulun ja satamien saavutettavuuteen.

Riskianalyysissä käsitellään ja kvantifioidaan pääasiassa tuulipuiston toimintavaiheen riskejä.

Onnettomuustodennäköisyyksien laskeminen karilleajojen, alusten välisten törmäysten ja yhteentörmäysten osalta tehdään IWRAP¹-työkalun avulla. Tuulipuiston rakentamiseen liittyvät merenkulkuun liittyvät riskit tunnistetaan ja arvioidaan kokonaisuudessaan.

Saavutettavuusanalyysissä käsitellään muita vaikutuksia merenkulkuun ja satamiin, lähinnä liikennemallien muutosten ja mahdollisten uudelleenreititysten kautta. Mahdolliset kumulatiiviset vaikutukset, jotka liittyvät Sigman tuulivoimapuistoon ja muihin suunniteltuihin tuulivoimapuistoihin, on yksilöity.

1.3.1 Rajaukset

Analyysi rajoittuu merenkulkuun kohdistuvien mahdollisten riskien analysointiin suunnitellun tuulipuiston merialueella ja sen ympäristössä, ja siinä käsitellään pääasiassa riskejä, joiden lopullisina seurauksina oletetaan olevan karilleajo, alusten yhteentörmäys tai tuulipuiston alueelle purjehtivat tai ajelehtivat alukset. Kvantitatiiviset laskelmat seurauksista vahinkokustannuksina tai uhrien lukumääränä, jos onnettomuus tapahtuu

¹IWRAP: IALA Waterway Risk Assessment Program, merenkulun mallinnustyökalu törmäys-, törmäys- ja karilleajolukujen laskemiseksi.

onnettomuusskenaario ei ole katettu. Analyysi ei sisällä laskelmia seurauksista, joita törmäystilanteessa aiheutuu asennetulle tuuliturbiinille tai asennetulle alukselle.

Saavutettavuusanalyysi rajoittuu paikallisiin vaikutuksiin, jotka kohdistuvat tuulipuiston läpi ja sen ympärillä kulkeviin reitteihin sekä satamiin, joihin mahdollinen uudelleenreititys vaikuttaa. Merenkulkuun kohdistuvien vaikutusten lieventämistoimenpiteiden kustannus-hyötyarviointia ei käsitellä.

1.4 Menetelmä

Tämän tutkimuksen menetelmät perustuvat merenkulun riskianalyysiä varten vakiintuneisiin menetelmiin, joita ovat ISO-standardit 31000 ja 31010, sekä IMO:n suosittelemaan FSA-menetelmään, jos se katsotaan mahdolliseksi. Kuvassa 1.2 esitetään tämän tutkimuksen osatekijät. Ne vastaavat hyvin myös vaiheita, jotka olisi sisällytettävä merenkulkuhallituksen ja Ruotsin liikenneviraston suositusten mukaan, jotka koskevat merellisten riskianalyyysien laajuutta merituulipuistojen perustamista varten (Merenkulkuhallitus ja Ruotsin liikennevirasto, 2023).



Kuva 1.2 Nykyisen riskianalyyysin osatekijöiden rakenne.

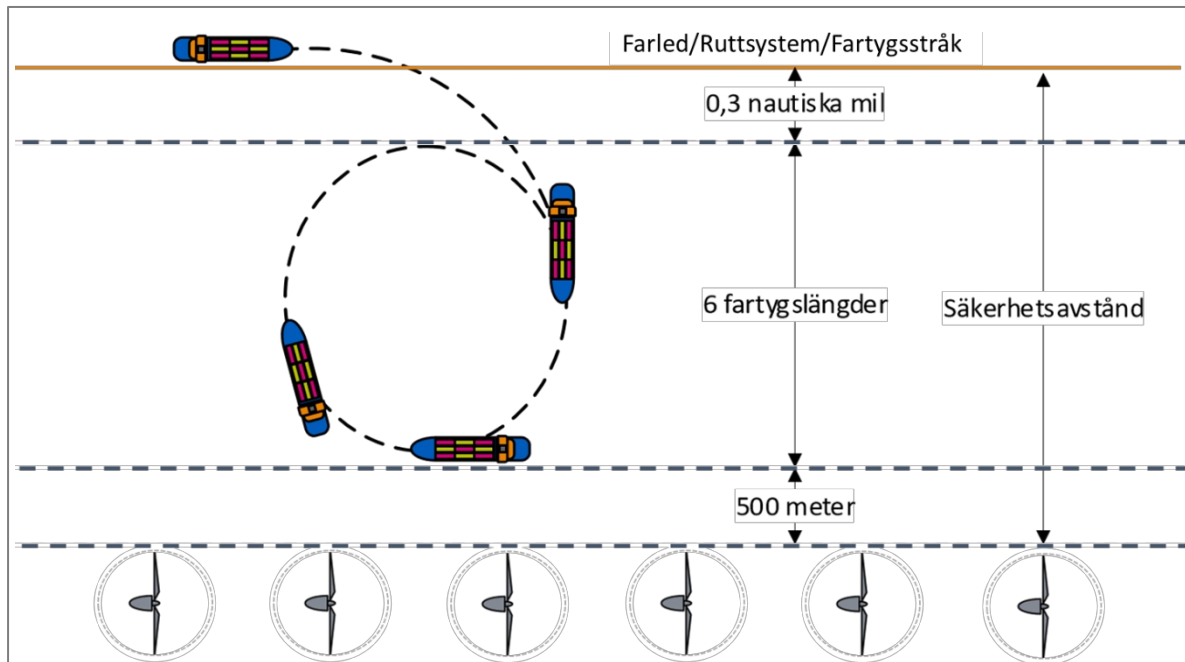
1.4.1 Hallinnolliset asiakirjat ja ohjeet

Tällä hetkellä ei ole olemassa sääntöjä, jotka koskisivat tuulivoimaloiden hyväksyttäviä riskitasoja tai tuulivoimaloiden ja laivaväylien välistä vähimmäisetäisyyttä, niin sanottuja turvaetäisyyksiä. Kesäkuusta 2023 lähtien Ruotsin merenkululaitos ja Ruotsin liikennevirasto ovat kuitenkin antaneet suosituksia. Suosituksissa kuvataan, mitä merenkulun riskianalyyysin tulisi sisältää tuulivoiman sijoittamisesta Ruotsin vesille, ja annetaan suuntaviivat hyväksyttävälle vähimmäisturvallisuusetäisyyksille.

Suosituksen mukaan turvaetäisyys olisi määriteltävä suunnittelualukselle kolmen kriteerin perusteella: ohjailutila, liikenteen intensiteetti ja monimutkaisuus sekä navigointilaitteiden häiriöt. Vaadittu turvaetäisyys määritetään sen kriteerin perusteella, joka tarjoaa suurimman turvaetäisyyden.

Tilaa liikkua

Manööveritilaa koskevan kriteerin edellyttämä turvaetäisyys perustuu siihen, että alusten olisi voitava ryhtyä toimenpiteisiin törmäyksen välttämiseksi toisiin aluksiin merenkulun sääntöjen mukaisesti. Kriteeri määritellään siten siten, että aluksen raiteen ulkoreunan ja tuulipuiston rajan välinen etäisyys on riittävä, jotta mitoitettu alus voi tehdä 360 asteen käännöksen. Jotta alus voisi suorittaa tämän manööverin, tarvitaan etäisyys, joka vastaa 0,3 M + 6 aluksen pituutta + 500 m, ks. kuva 1.3. Tämä on yhdenmukainen useiden muiden kansallisten ohjeiden ja PIANC:n kansainvälisten ohjeiden kanssa; *MarCom WG Report no 161 - 2018, Interaction between offshore Wind farms and maritime navigation* (PIANC, 2018), joihin Ruotsin merenkululaitos ja Ruotsin liikennevirasto viittaavat.



Kuva 1.3 Tuulivoimaloiden ja laivaväylien väliset turvaetäisyydet manööveritilakriteerin mukaisesti.

Suosituksen mukaan suunnittelualus voidaan yleensä määritellä suurimmaksi alukseksi, joka on 98. prosenttipisteessä kaikista yli 70 metriä pitkien alusten läpikulkuosuuksista.

Liikenteen intensiteetti ja monimutkaisuus

Viereisten laivaväylien, väylien tai reittijärjestelmien liikenteen intensiteetillä ja niiden monimutkaisuudella on suuri merkitys onnettomuuksien todennäköisyyteen, ja siksi ne olisi otettava huomioon arvioitaessa suositusten mukaista vaadittua turvaetäisyyttä. Jos liikenne on vilkasta, voidaan vaatia suurempaa turvaetäisyyttä kuin manööveritilakriteeri antaa. Suositusten mukaan väylien, reittijärjestelmien ja laivaväylien liikennemäärät voidaan luokitella taulukon 1.2 mukaisesti.

Taulukko 1.2 Laivaväylien liikennemäärän arvioinnissa käytettävä luokitus, joka perustuu laivojen vuotuisten ohikulkujen määrään. (Ruotsin merenkululaitos ja Ruotsin liikennevirasto, 2023).

Luokitus	Liikenteen intensiteetti	Matkustajat vuodessa
1	Erittäin alhainen	0 - 2 000
2	Matala	2 000 - 5 000
3	Tarkoittaa	5 000 - 10 000
4	Korkea	10 000 - 20 000
5	Erittäin korkea	Yli 20 000

Väylien, reititysjärjestelmien tai laivaväylien ja tuulipuistojen välinen vähimmäisturvaetäisyys voidaan määrittää kuvan 1.4 matriisin avulla ottaen huomioon liikenteen voimakkuus. Keltaiset pylväät osoittavat ALARP-arvoa ja osoittavat, että turvaetäisyyttä voidaan soveltaa vain silloin, kun riskinarviointi kokonaisuutena osoittaa, että tuulipuiston perustamiseen liittyvät riskit ovat vähäisiä, esimerkiksi kun luonnonesteet rajoittavat törmäysriskiä tuulipuistoon suurelle osalle merialueella liikkuvista aluksista. Punaiset kentät osoittavat, että turvaetäisyys on liian pieni ja että siihen oletetaan liittyvän riskejä, joita ei voida hyväksyä. Jos tuulivoimapuiston ympäristössä on monimutkainen liikennetilanne ja muutkin tekijät vaikuttavat meriturvallisuuteen, voidaan vaatia suurempia turvaetäisyyksiä, jotta niitä voidaan pitää hyväksyttävänä. Myös sellaiset tekijät kuin väylä, reittijärjestelmä tai laivaväylä, joka osoittaa suoraan kohti tuulivoimapuistoa, eli aluksilla on niin sanottu osoittava kurssi kohti tuulivoimapuistoa, voivat aiheuttaa tarpeen suuremmille turvaetäisyyksille.

Trafikintensitet	5					
	4					
	3					
	2					
	1					
		Över 2	1,5-2	1-1,5	0,5-1	0-0,5
Säkerhetsavstånd (M)						

Kuva 1.4 Matriisi turvavälien arvioimiseksi liikenteen intensiteetin perusteella (Ruotsin merenkululaitos ja Ruotsin liikennevirasto, 2023).

Navigointilaitteet

Alukset käyttävät tutkaa navigointiin ja havaitsemaan muita aluksia lähistöllään. Tuulivoimalat voivat aiheuttaa häiriöitä alusten tutkiin, mikä voi johtaa siihen, että aluksia ei havaita ajoissa, jotta ne voisivat ryhtyä toimiin törmäyksen välttämiseksi. Häiriöt voivat myös aiheuttaa

maamerkit eivät ole näkyvissä, mikä voi vaikeuttaa navigointia. Ruotsin merenkulkuhallitus ja Ruotsin liikennevirasto viittaavat PIANC:n ohjeisiin (PIANC, 2018), joiden mukaan häiriöitä laivatutkin voi esiintyä jopa 1,5 metrin etäisyydellä tuulivoimaloista ja että häiriöiden todennäköisyys kasvaa meriliikenteen ja tuulivoimaloiden välisen etäisyyden pienentyessä. Alle 0,25 M:n etäisyyksillä voi esiintyä myös haamukaikuja tai niin sanottuja vääriä kaikuja. PIANC:n mukaan tämä on erittäin suuri riski.

Tuulipuisto voi häiritä myös muita navigointilaitteita, kuten AIS-, GPS- ja radiolaitteita, ja ne olisi otettava huomioon riskinarvioinnissa.

Ruotsin merenkululaitos ja Ruotsin liikennevirasto suosittelevat, että tuulivoimaloita suunniteltaessa on otettava oikeasuhteisesti huomioon navigointilaitteisiin kohdistuvat häiriöriskit. Huomioon tulisi ottaa merialueen liikenteen intensiteetti ja navigoinnin vaikeudet, kuten käännökset ja matalat alueet tuulipuiston läheisyydessä.

Muut suuntaviivat

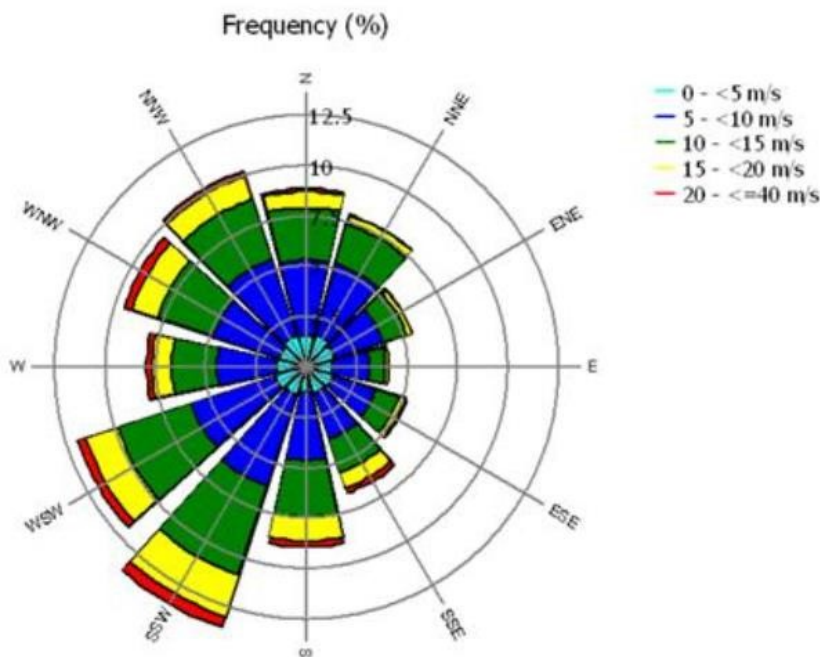
Ruotsin viranomaiset viittaavat monilta osin kansainvälisiin PIANC:n ohjeisiin turvaetäisyyksistä, mutta kuvissa 1.3 ja 1.4 esitetyt ruotsalaiset suositukset ovat Ruotsin vesillä käytettäviä ohjeita. Myös monien muiden maiden, kuten Yhdistyneen kuningaskunnan ja Alankomaiden, kansalliset ohjeet perustuvat PIANC:n ohjeisiin, ja riittävä manööveritila 360 asteen käännöstä varten on tärkeä kriteeri useimmissa ohjeissa (Maritime & Coastguard Agency, 2021), (Government of Netherlands, 2014). Kuvassa 1.5 esitetään yleiset ohjeet turvaetäisyyksistä ja näkökohdista, jotka olisi otettava huomioon PIANC:n mukaisten tuulipuistojen suunnittelussa.

Distance in miles of the first wind generator row from the shipping route	Factors for consideration	risk	Tolerability for SOLAS ships
< 0.25 NM (500 m)	Inter-turbine spacing only recommended for small craft	VERY HIGH	Intolerable Unless for very small craft (small leisure craft)
0.5 NM (926 m)	Distance between a high traffic navigation route, used by ships covered by the SOLAS Convention and a wind farm	VERY HIGH	
1 NM (1,852 m)	Distance between a high traffic navigation route, used by ships covered by the SOLAS Convention and a wind farm	HIGH	Tolerable if ALARP (As Low As Reasonably Practicable)
2 NM (3,704 m)	Compliance with COLREGs becomes less challenging	MEDIUM	
5 NM (9,260 m)	Distance between shipping route and a wind farm in restricted waters	LOW	Acceptable
10 NM (18,520 m)	Ideal distance between a TSS and a wind farm	VERY LOW	

Kuva 1.5 Yleiset ohjeet meriväylän ja tuulipuiston välisten turvaetäisyyksien suunnitteluun (PIANC, 2018).

2 Alueen kuvaus ja meriliikenteen analyysi

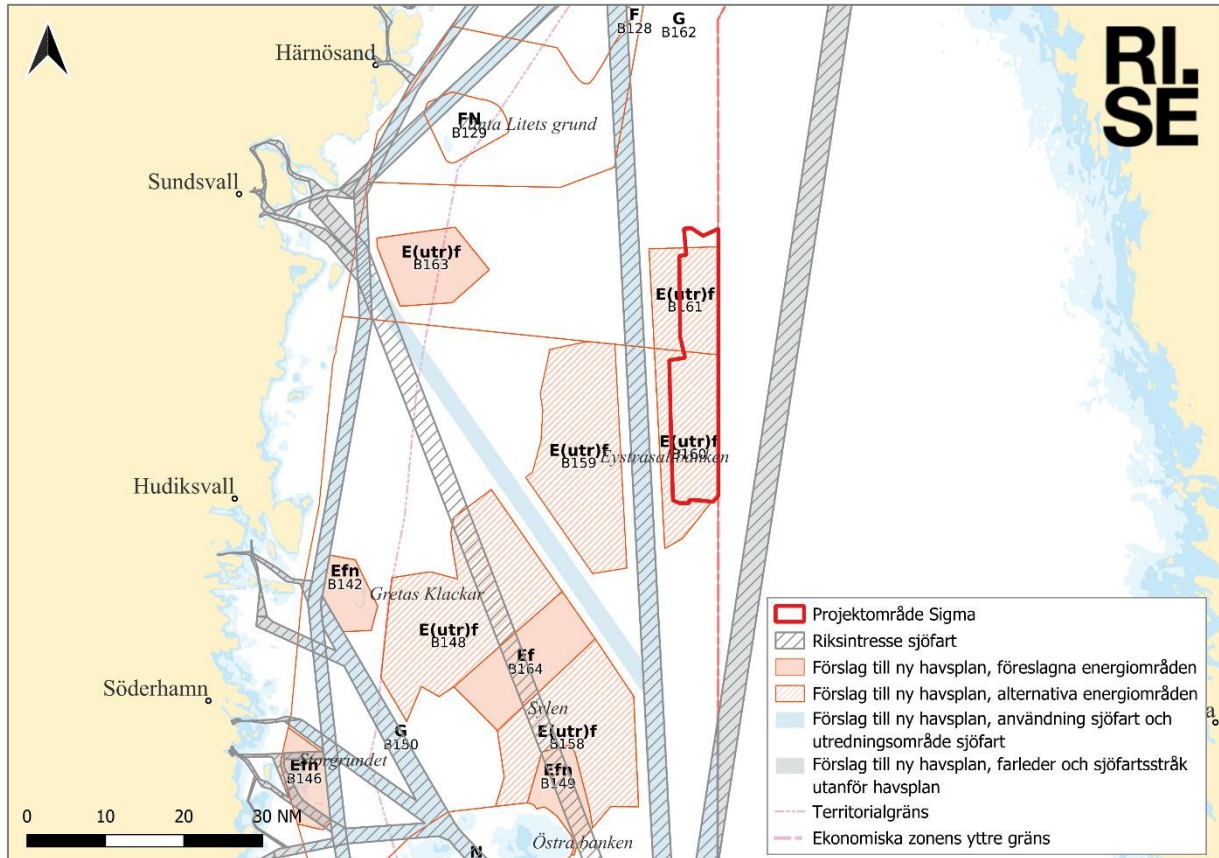
Suunniteltu tuulipuisto sijaitsee alueella, jonka syvyys vaihtelee 40-75 metrin välillä. Hankealueen länsipuolella, noin 9 m:n etäisyydellä, sijaitsee Eystrasalt Bank, jonka vähimmäissyvyys on merikartan mukaan 12,7 metriä, ks. kuva 1.1. Vallitseva tuulensuunta kyseisellä merialueella on etelä-lounas - länsilounas, ks. kuva 2.1, jossa on esitetty alueen tuulitilastoihin perustuva tuuliruusu. Kyseisellä alueella ei katsota vallitsevien virtaussuhteiden vaikuttavan aluksi merkittävästi, vaan tuulen suunnalla oletetaan olevan suurempi merkitys.



Kuva 2.1 Tuulen suunnan ja nopeuden taajuusjakauma tarkastelualueella, joka perustuu ME-WAM-mallilla (Keck & Sondell, 2000) tehtyihin pitkän aikavälin korjattuihin korkean resoluution simulaatioihin paikallisista tuuliolosuhteista.

Sigman tuulipuiston hankealue sijaitsee Ruotsin talousvyöhykkeellä Perämerellä. Hankealueen itäpuoli sijaitsee Suomen talousvyöhykkeen rajalla. Länsipuolella on merenkulun kannalta valtakunnallisesti tärkeäksi merkitty osuus *Grundkallen - Skagsudde*, ks. kuva 2.2. Sama osuus on merkitty *merenkulun käyttöön* sekä voimassa olevassa merialuesuunnitelmassa että muutettuja merialuesuunnitelmia koskevissa ehdotuksissa. Myös hankealueen itäpuolella on osa *Grundkallen-Bottenhavet*, joka on merkitty kansallisesti tärkeäksi merenkulun kannalta. Tämä osuus on kuitenkin suurelta osin Suomen vesillä.

SwAMin vuonna 2023 laatimaan ehdotukseen uusiksi merten aluesuunnitelmiksi sisältyy uusia energiantuotantoalueita, joiden tavoitteena on mahdollistaa 90 TWh:n vuotuinen sähköntuotanto merituulivoimalla. Sigma sijaitsee alueilla, jotka Perämeren uutta merten aluesuunnittelualuetta koskevassa ehdotuksessa ovat nimeltään B160 ja B161 ja joiden nimitys on E(utr)f (ks. kuva 2.2), mikä tarkoittaa *energiantuotannon tutkimusaluetta, vaihtoehtoista aluetta, jossa on otettu huomioon erityisesti puolustuksen edut*.



Kuva 2.2 Sigma sijaitsee alueilla, kuten B160 ja B161, jotka on merkitty energiantuotannon tutkimusalueeksi, vaihtoehtoisesti. Hankealueen länsipuolella on merenkulkukäyttöön osoitettu alue. Tämä alue on myös valtakunnallisesti merkittävä merenkulun kannalta.

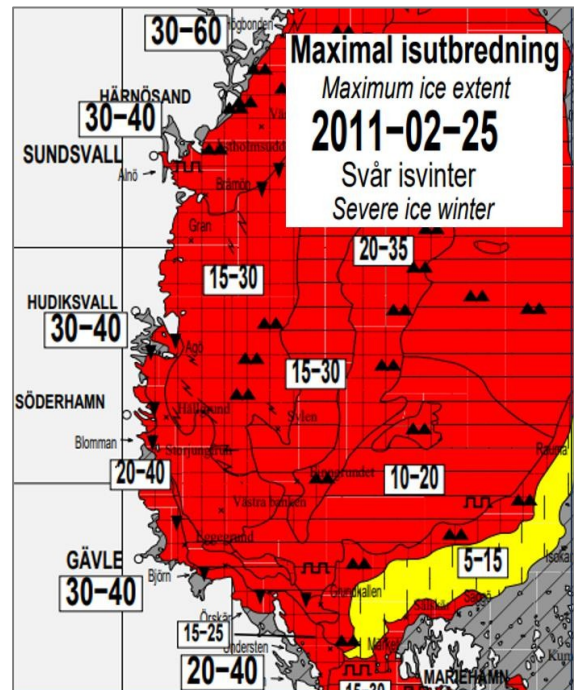
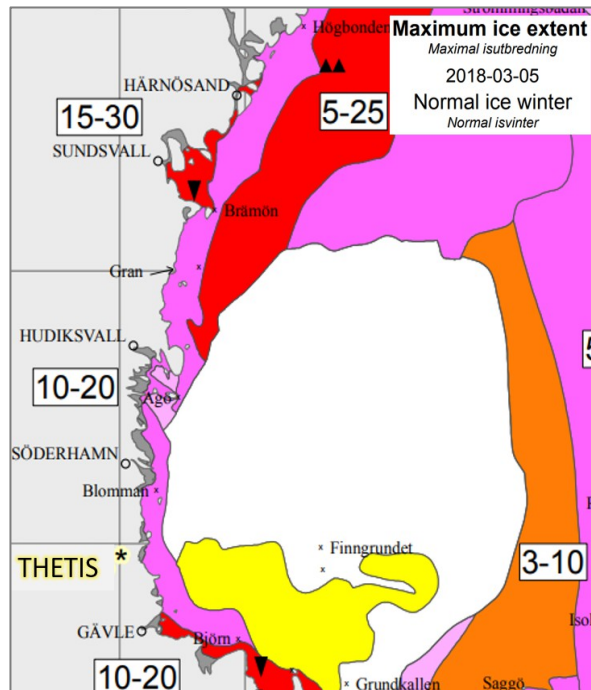
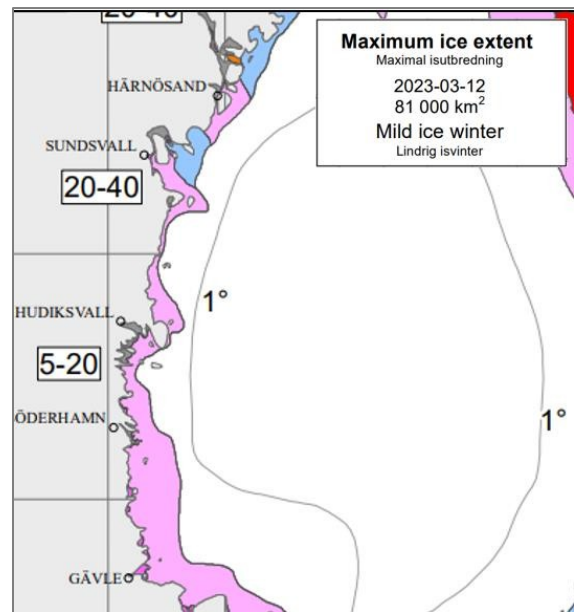
Kansalliset intressit ovat Ruotsin liikenneviraston nimeämiä ohjeellisia väyliä (viimeksi päätetty 26. syyskuuta 2022), mutta ne eivät ole merikarttoihin merkittyjä väyliä, eli kansallisella intressillä itsessään ei ole käytännön merkitystä aluksen navigoinnin kannalta, mutta kansallisen intressin reitti voi olla päällekkäinen, ja usein se vastaa kokonaan tai osittain todellisia laivareittejä. Myöskään merten aluesuunnitelmissa *merenkulun käyttöön* osoitetuilla alueilla ei ole käytännön merkitystä alusten navigoinnin kannalta.

2.1 Onko

Perämeren jään laajuus vaihtelee vuosittain. Perämeren nykyisellä alueella ei yleensä ole jäätä leutoina tai tavanomaisina jäätalvina. Joinakin talvina Perämerellä voi kuitenkin olla merijäätä laajemminkin, mikä voi vaikuttaa alueen merenkulkuun ja alukset voivat tarvita jäänmurtaajien apua. Kun jäätä on, vakiintuneet laivaväylät ovat poissa käytöstä, koska alukset valitsevat helpoimman ja parhaan reitin jään läpi, mikä voi poiketa tavanomaisesti käytetyistä reiteistä. Jää liikkuu tuulen mukana, ja jääolosuhteet voivat siten muuttua nopeasti ja merkitä erilaisia olosuhteita merenkululle päivästä toiseen. Tämä tarkoittaa myös sitä, että "paras reitti" vaihtelee ja että liikennemuodot vaihtelevat suuresti jään ollessa läsnä.

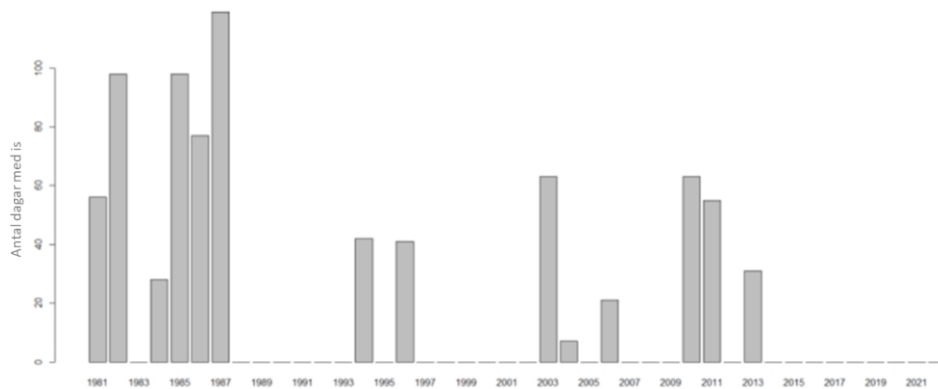
Jäätälvi 2022/2023 on luokiteltu leudoksi, ja suurin jään laajuus mitattiin 12. maaliskuuta 2023. Edellisen kerran jäätälvi 2010/2011 oli luokiteltu ankaraksi. Helmikuun 25. päivänä 2011 mitattiin Itämeren suurin jään laajuus sitten vuoden 1987, noin 300 000 km². Kuvassa 2.3 esitetään esimerkkejä jään laajuudesta Selkämerellä leutoina (2023), tavanomaisina (2018) ja ankarina (2011) jäätalvina.

Ice type Istyp	Concentration Koncentration	Symbols Symboler
Jäätyyppi	Peittävyys	Merkinnät
Ice free Isfritt	-	Jammed brash barrier Stampsvall
Avovesi		Sohjovyö
New ice (< 5 cm) Nyis (< 5 cm)	7 - 10/10	Rafted ice Hopskjueten is
Uusi jää (< 5 cm)		Päällekkäin ajutunut jää
Nilas, grey ice (5-15 cm) Tunn jämn is (5-15 cm)	9 - 10/10	Ridged or hummocked ice Vällar eller upptornad is
Ohut tasainen jää (5-15 cm)		Ahtautunut tai rökkiöitynyt jää
Fast ice Fastis	10/10	Strips and patches Strängar av drivis
Kiintojää		Ajojänauhoja
Rotten fast ice Rutten fastis	-	Floe-bit, floeberg Isbumling
Hauras kiintojää		Ahtojää - tai rökkiölautta
Open water Öppet vatten	< 1/10	Fracture Spricka
Avovesi		Repeämä
Very open ice Mycket spridd drivis	1 - 3/10	Fracture zone Område med sprickor
Hyvin harva ajojää		Repeämävyöhyke
Open ice Spridd drivis	4 - 6/10	Estimated ice edge Uppskattad iskant
Harva ajojää		Arvioitu jään reuna
Close ice Tät drivis	7 - 8/10	Icebreaker (* coordinating) Isbrytare (* koordinerande)
Tiheä ajojää		Jäänmurtaja (* koordinointori)
Very close ice Mycket tät drivis	9 - 9+/10	Water temperature isotherm (°C) Vattentemperaturisoterm (°C)
Hyvin tiheä ajojää		Veden lämpötilan tasa-arvokäyrä (°C)
Consolidated ice Sammanfrusen drivis	10/10	Mean water temperature Ytvattnets medeltemperatur
Yhteenjääntynyt ajojää		Meriveden pintalämpötilan keskiarvo (1971 - 2000)
Ice thickness (cm) Jään paksuus (cm)		

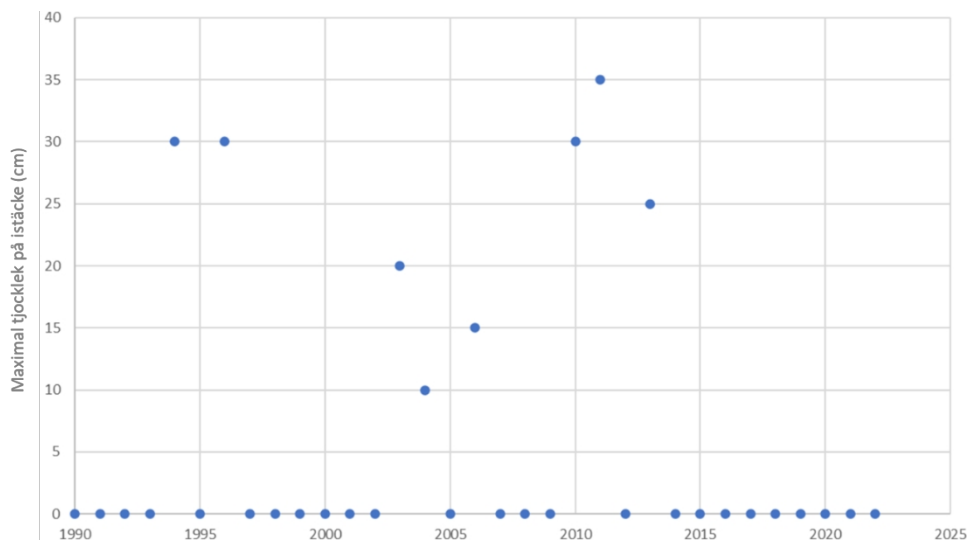


Kuva 2.3 Perämeren jääkarta suurimman jääpeitteen aikaan vuonna 2023 (lievä jäätalvi), 2018 (normaali jäätalvi) ja 2011 (ankara jäätalvi).

Kuvassa 2.4 esitetään, kuinka monta päivää vuodessa kyseisellä alueella on ollut jäätä EU:n Copernicus Marine Service Information -palvelun tietojen perusteella (Copernicus Marine, 2023). Kuvasta käy ilmi, että alueella on ollut jäätä 14 vuotta yhteensä 42 vuodesta (1981-2022). Alueella on ollut jäätä yhteensä 788 päivänä, mikä tarkoittaa keskimäärin 18 päivää vuodessa 42 vuoden aikana. Edellisen kerran alueella oli jäätä vuonna 2013 ja silloin 30 päivää. Jään paksuus näinä päivinä oli enimmillään 25 cm, ks. kuva 2.5.



Kuva 2.4 Niiden päivien lukumäärä vuodessa, jolloin alueella on jäätä (Copernicus Marine, 2023).

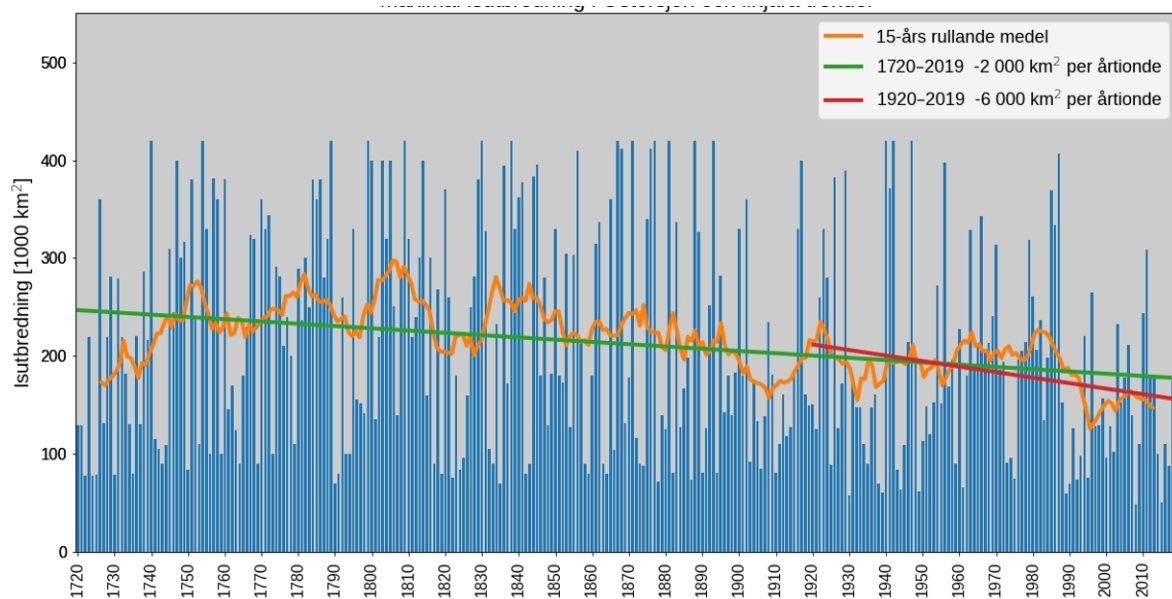


Kuva 2.5 Jääpeitteen suurin paksuus vuodessa (Copernicus Marine, 2023).

2.1.1 Tulevat jääolosuhteet

Itämeren ja Selkämeren jään keskimääräinen enimmäispinta-ala todennäköisesti pienenee tulevaisuudessa ilmaston lämmetessä. Myös jäätalven pituus todennäköisesti vähenee, samoin kuin jään keskimääräinen paksuus. Mikään ei kuitenkaan viittaa siihen, että merijää katoaisi kokonaan Itämeren alueelta tällä vuosisadalla. Vuosittaiset vaihtelut pysyvät tulevaisuudessa suurina (SMHI, 2024).

Itämeren alueen (mukaan lukien Perämeri ja Pohjanlahti) jäätilanne on kartoitettu vuosittain 1950-luvulta lähtien. Tutkijat ovat luoneet uudelleen jään suurinta laajuutta koskevat tietosarjat 1700-luvun alusta lähtien. Kuvassa 2.6 esitetään, miten Itämeren havaittu jään enimmäislaajuus vaihteli vuosina 1720-2020. 100 viime vuoden aikana on havaittavissa selkeä lasku, joka on noin 6 000 km²vuosikymmenessä.



Kuva 2.6 Ilmatieteen laitokselta saatuihin tietoihin perustuva havaittu vuotuinen jään enimmäislaajuus (siniset pylväät), sen liukuva keskiarvo 15 vuoden välein (oranssi) ja lineaarinen trendi koko ajanjaksolla (vihreä) ja viimeisen sadan vuoden ajalta (punainen) (SMHI, 2024).

Helpottaakseen sen arviointia, miten odotettavissa oleva ilmastonmuutos vaikuttaa talvimerenkulun olosuhteisiin, SMHI on yhteistyössä Ruotsin merenkulkulaitoksen kanssa määritellyt useita täydentäviä indikaattoreita jään enimmäislaajuuden ja jääkauden pituuden perinteisten mittareiden lisäksi (SMHI, 2021). Näihin täydentäviin indikaattoreihin kuuluvat sileän jään paksuus, muodoltaan muuttuneen jään jääpitoisuus, jään paksuusjakauma, jään ajelehtiminen ja jääluokkiin perustuvat laivaliikenteen rajoitukset. Lisämuuttujien arvioinnissa on käytetty historiatietohavaintoja ja vakiintuneita ilmastoskenaariomalleja, mutta epävarmuutta pidetään suurempana kuin perinteisten indikaattorien ennustamisessa.

Indikaattorit on arvioitu vuosien 1975-2004 viiteajanjakson perusteella, ja tulokset on koottu kahdelle eri ajanjaksolle. Ensinnäkin 20 vuoden ja toiseksi 50 vuoden aikajänteellä. Laskelmat esitetään kahdelle eri ilmastoskenaariomallille, jotka antavat erilaisia odotettavissa olevia muutoksia (Representative Concentration Pathway, RCP 4.5 ja RCP 8.5). Perämeren jään keskimääräistä paksuutta koskevia lukuja ei esitetä, koska jään laajuus vähenee niin jyrkästi, että 50 vuoden kuluttua jäätä on vain tietyillä rannikkoalueilla.

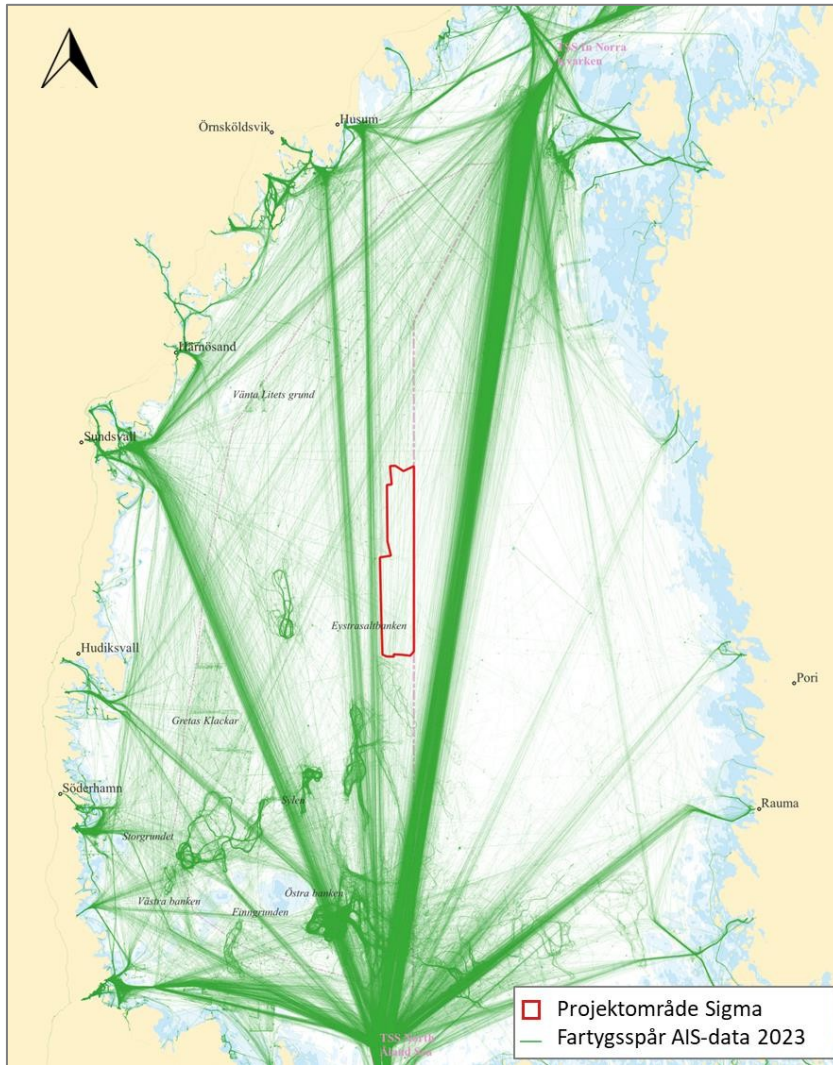
Taulukossa 2.1 esitetään Perämeren indikaattorit 20 ja 50 vuoden aikajänteellä ja kahden ilmastomallin edustamalla hajonnalla. Raportti sisältää myös indikaattoreita useille satamille (Luulaja, Skellefteå, Holmsund, Sundsvall ja Gävle). Taulukkoon 2.1 on sisällytetty Sundsvallin sataman indikaattorit, koska se on hankealuetta lähimpänä olevista satamista.

Taulukko 2.1 Perämeren odotettavissa olevat jääolosuhteet tulevaisuudessa eri indikaattoreiden mukaan 20 vuoden ja 50 vuoden päähän ulottuvalla ajanjaksolla. Kahden eri ilmastoskenaarion (RCP 4.5 ja RCP 8.5) arvot heijastavat epävarmuutta. Taulukon arvot on koottu SMHI 2021:n raporttoimien tulosten perusteella.

Indikaattori	Valvontajakso (1975-2004) viitearvo	20 vuoden kuluttua (2025-2054)		50 vuoden kuluttua (2025-2054)	
		RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Jään enimmäislaajuus Koko Itämeren keskiarvo	179 000 km ²	114 000 km ² (-36 %)	97 000 (-36 %)	106 000 (-41 %)	67 000 (-63 %)
Jääkauden pituus Selkämeri	179 päivää	156 päivää (-13 %)	146 päivää (-18 %)	146 päivää (-18 %)	122 päivää (-32 %)
Sundsvallin sataman laiturin enimmäispaksuus	48 cm	31 cm (-25 %)	27 cm (-44 %)	27 cm (-44 %)	17cm (-65 %)
Jääpitoisuus deformatunut jää*, (yli 1,5 m paksu jää)	2-3 %	1-2 %	-	-	-
Jääluokkapohjainen liikenteen rajoittaminen Sundsvall Jääkauden päivien lukumäärä	1C/II	42		35 (-7 päivää)	23 (-19 dgr)
	1B	32		13 (-19 dgr)	6 (-24 päivää)
	1A	48		13 (-35 dgr)	5 (-43 päivää)
	Kuollut	122		61 (-61 dgr)	34 (-88 päivää)

2.2 Liikennemallit

Kuvassa 2.7 on esitetty Perämeren nykyisen osan liikennekuvio, joka perustuu AIS-tietoihin vuodelta 2023. Hankealueen länsipuoli sijaitsee pienen laivaväylän varrella, jota alukset käyttävät TSS:n eteläisen Ahvenanmeren ja pohjoisen Husumin välillä. Hankealueen ja pääosan liikenteen välinen etäisyys on noin 1 M. Hieman kauempana hankealueen länsipuolelta länteen, noin 3 - 5,5 M, on toinen pienempi reitti. Sitä liikennöivät alukset TSS Etelä-Ahvenanmeren ja Örnköldsvikin välillä. Puiston itäpuolella, noin 3 metrin päässä kaakkoiskulmasta, alukset kulkevat Etelä-Ahvenanmeren ja Norra Merenkurkun TSS:n välistä reittiä.



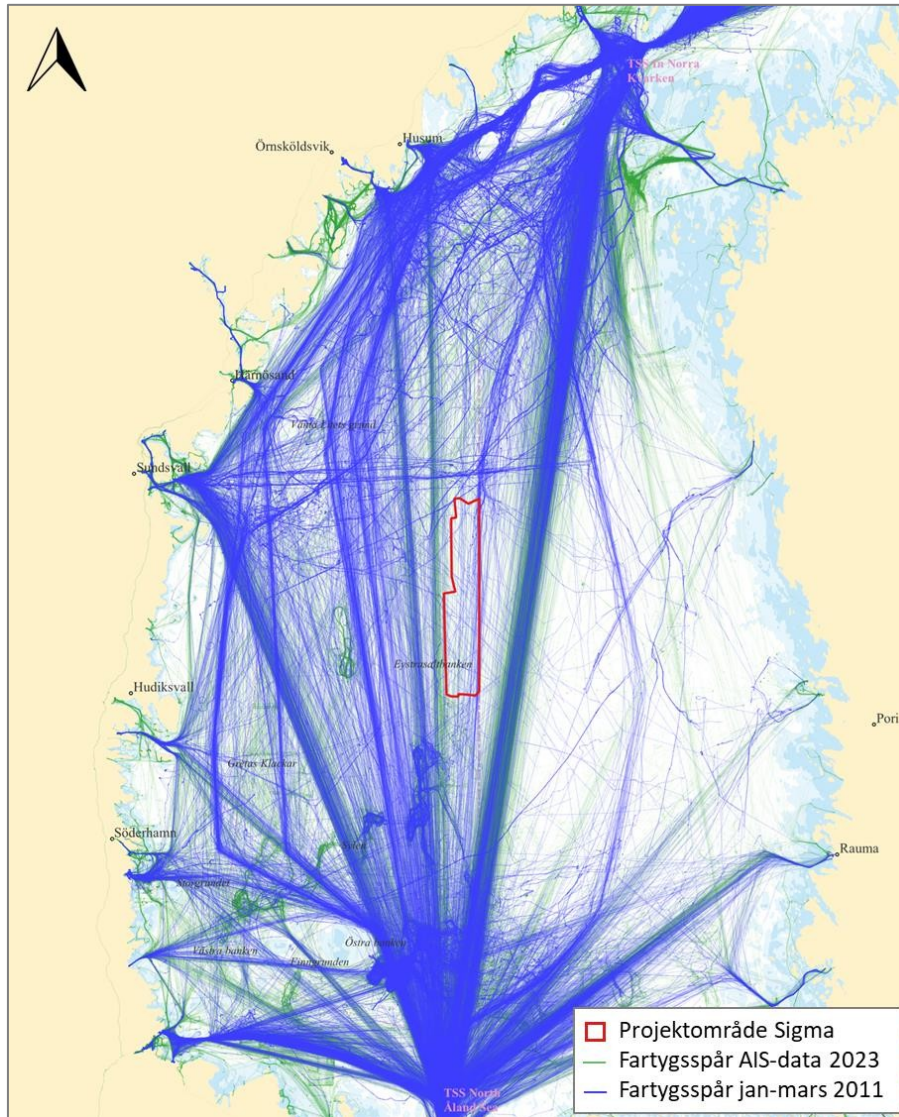
Kuva 2.7 Perämeren liikennemallit AIS-tietojen perusteella vuodelta 2023². Hankealue sijaitsee Södra Kvarkenin ja Husumin sekä Örnköldsvikin välisen laivaväylän itäpuolella.

Jäässä alukset käyttävät eri reittejä kuin jäätömissä olosuhteissa, ja liikennemallit jäätälven ja jäättömän kauden välillä ovat siksi hyvin erilaisia. Käytetyt reitit vaihtelevat suuresti myös saman talven aikana, koska jääolosuhteet vaihtelevat kauden aikana ja liikenne mukautuu kulloinkin helpoimman ja parhaan reitin mukaan. Tuuli vaikuttaa merijäähän. Tämä tarkoittaa sitä, että kun esimerkiksi länsituulet ovat olleet jonkin aikaa vallitsevia, jää pakkautuu ja kerääntyy Perämeren itäpuolelle, jolloin käytetään länsipuolen reittejä. Vastaavasti Perämeren itäpuolelle syntyy helpompia reittejä, kun on ollut itätuulta.

Kuvassa 2.8 on esitetty laivojen kulkureitit tammikuun ja maaliskuun 2011 väliseltä ajalta³, jolloin suuressa osassa Perämeren oli jäätä. Kuvassa näkyy reittien suuri vaihtelu, ja alukset ovat kulkeneet muitakin reittejä kuin normaalisti käytettyjä suoria reittejä. Liikenne Husumiin ja Örnköldsvikiin ja takaisin on monissa tapauksissa kulkenut normaalia läntisempiä reittejä. Kuvasta käy myös selvästi ilmi, että Sundsvallin liikenne on ajoittain kulkenut huomattavasti tavanomaista pidempiä reittejä, joskus Sigman hankealueen itäpuolella.

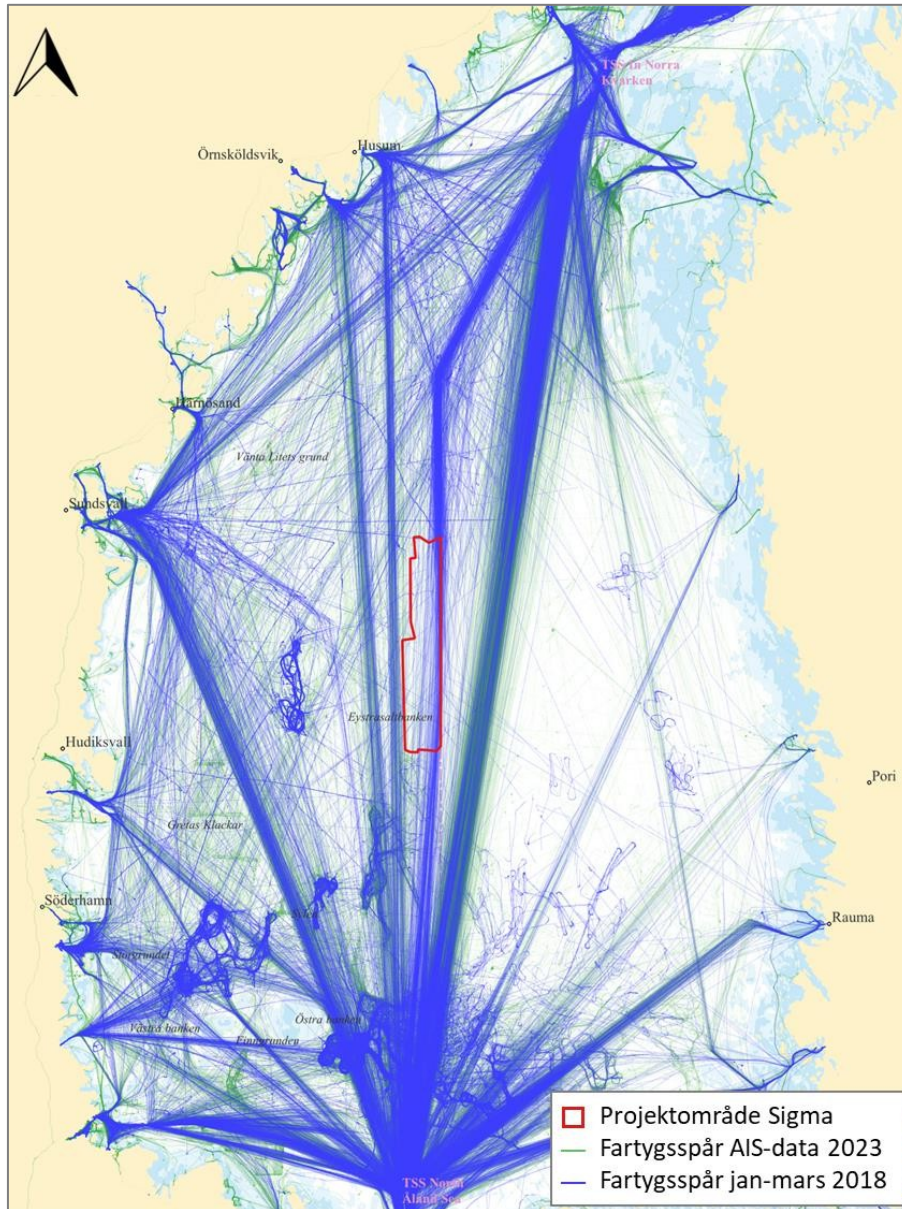
²Analyysi perustuu Ruotsin merenkulkulaitoksen AIS-tietoihin, joiden kattavuus Ruotsin vesillä on hyvä. Itäisemmällä Suomen vesillä kattavuus on jonkin verran puutteellinen, mikä tarkoittaa sitä, että osa aluslajista puuttuu Perämeren itäosasta.

³Vuoden 2011 osalta AIS-tiedot puuttuvat joiltakin päiviltä, joten tiedot eivät ole täydellisiä edes Perämeren Ruotsin puolella. Tietoja pidetään kuitenkin riittävinä antamaan kuva likimääräisestä liikennemallista.



Kuva 2.8 Alusjäljet tammi-maaliskuussa 2011, jolloin jää oli suuressa osassa Perämeren (sininen). Jaksolla liikennekuvi poikkesi "normaalista" liikennekuviosta (vihreä, taustalla).

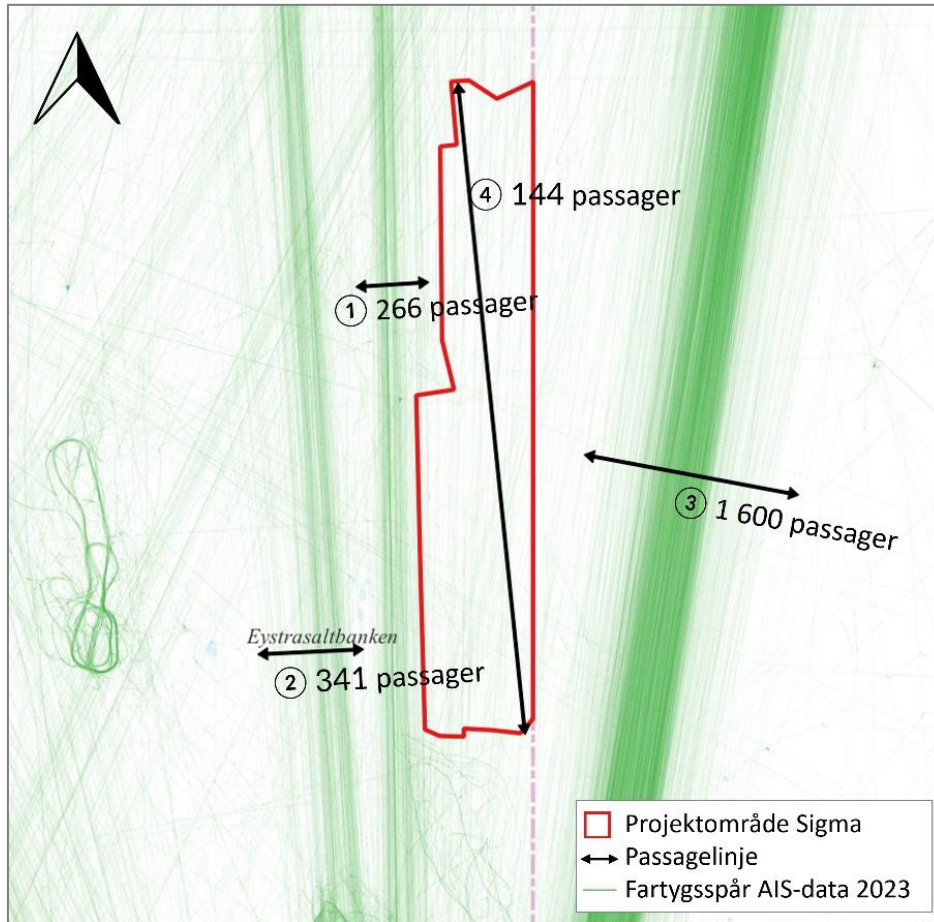
Leutoina ja tavanomaisina jäätalvina, jolloin Perämeren rannikolla on pääasiassa jäätä, liikennemalliin ei ole samanlaista vaikutusta, koska alukset voivat silloin monissa tapauksissa liikennöidä tavanomaisia reittejä. Kuvassa 2.9 on esitetty alusten reitit talvella 2018 (tammi-maaliskuu), joka on luokiteltu normaaliksi jäätalveksi jään enimmäislaajuuden perusteella. Kuvasta käy ilmi, että Norra ja Södra Kvarkenin välinen liikenne on ajoittain kulkenut normaalia läntisempää reittiä, jossa on ollut ylimääräinen kääntopaikka ja kulku Sigman hankealueen läpi.



Kuva 2.9 Alusjäljet talvella 2018 sinisellä (tammi-maaliskuu), joka on luokiteltu normaaliksi jäätalveksi 2018. Aluskuvio poikkeaa joiltakin osin "normaalista" liikennekuviosta (vihreä, taustalla).

2.3 Matkustajatilastot

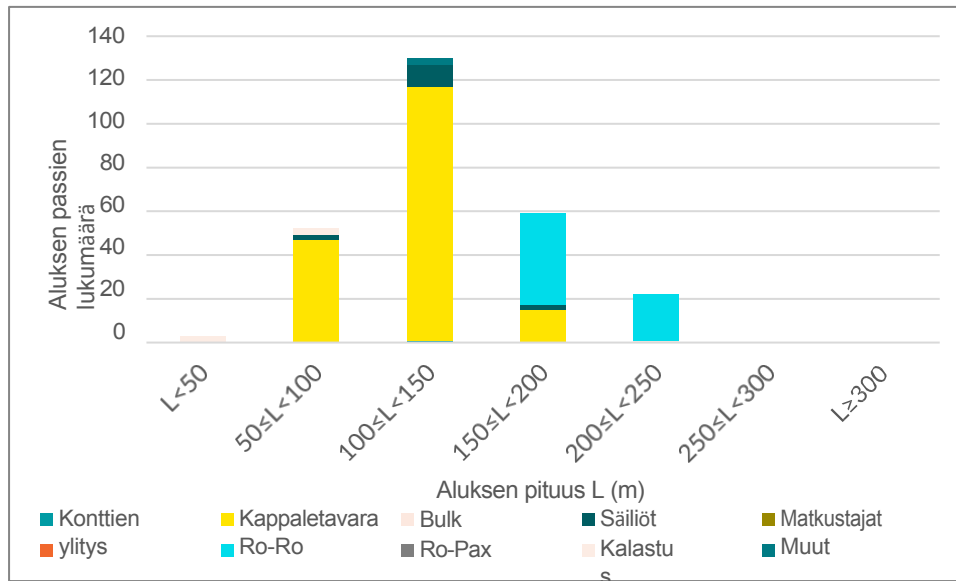
Perämeren nykyisen osan liikenteen analysoimiseksi on määriteltä viisi hankealueeseen liittyvää läpikulkuliikennelinjaa, ks. kuva 2.10. Kuvassa 2.10 esitetään kunkin linjan rekisteröityjen läpikulkujen määrä vuonna 2023.



Kuva 2.10 Sigman hankealueella on määritelty neljä kulkureittiä kulkutilastojen analysoimiseksi.

2.3.1 Linja 1 - Liikenne Södra Kvarkenin ja Husumin välillä.

Kulkulinjalla 1 tarkoitetaan hankealueen länsipuolella kulkevaa liikennettä Husumiin ja Husumista. Vuonna 2023 kulkulinjan 1 kautta kirjattiin yhteensä 266 kulkua, joista suuri osa oli 100-150 metrin pituisia kappaletavaralauttoja. Reittiä liikennöivät myös ro-ro-alukset, joiden koko on 150-250 m, ks. kuva 2.11. Suurimmat vuonna 2023 ohitetut alukset olivat Wallenius SOLin uudet ro-ro-alukset (/Con-Ro, yhdistetyt kontti- ja ro-ro-alukset) Baltic Enabler ja Botnia Enabler, jotka ohittivat reitin yhteensä 21 kertaa. Molemmat ovat 242 metriä pitkiä, niiden jääluokka on korkein: 1A Super, ja ne palvelevat useita satamia sekä Selkämerellä että Pohjanlahdella.

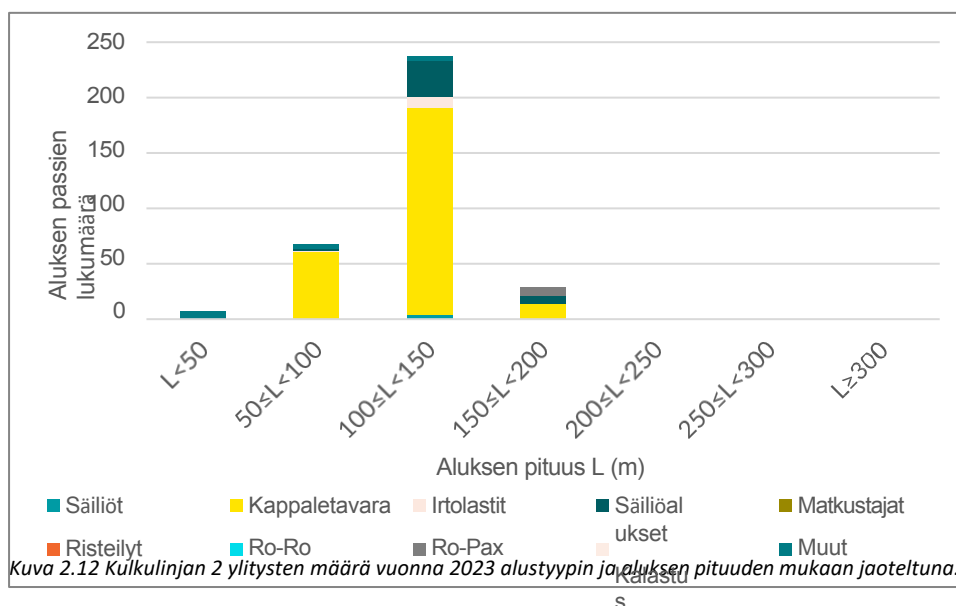


Kuva 2.11 Kulkulinjan 1 ylitysten määrä vuonna 2023 alustyyppin ja aluksen pituuden mukaan jaoteltuna.

Ruotsin merenkululaitoksen ja Ruotsin liikenneviraston manööveritilan arviointikriteerien perusteella mitoitettu alus reitillä on 242 metriä pitkä (suurin alus 98. prosenttipisteessä kaikista yli 70 metriä pitkien alusten suorittamista laivamatkoista).

2.3.2 Matkustajalinja 2 - Liikenne Södra kvarkenin ja Örnköldsvikin välillä.

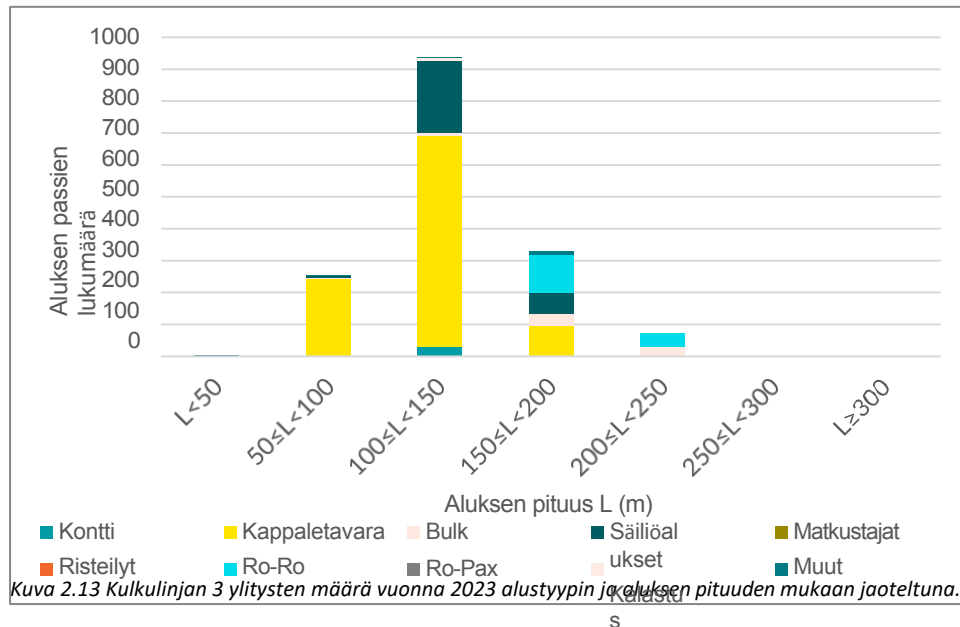
Södra Kvarkenin ja Örnköldsvikin välinen laivaliikenne kulkee noin 3-5,5 m hankealueesta länteen. Läpikulkuyhteyden 2 kautta kulki vuonna 2023 yhteensä 341 alusta. Suurin osa liikenteestä koostui 100-150 m:n kokoisista kappaletavara-aluksista, ks. kuva 2.12. Yleisin alus oli 119 m:n pituinen kappaletavara-alus Nyland, joka kulki 13 kertaa vuonna 2023. Suurin ohikulkeva alus oli Ro-Pax-alus Viking Cinderella, joka kulki kahdeksan kertaa.



Kuva 2.12 Kulkulinjan 2 ylitysten määrä vuonna 2023 alustyyppin ja aluksen pituuden mukaan jaoteltuna.

2.3.3 Ohituslinja 3 - Liikenne Södra Kvarkenin ja Norra Kvarkenin välillä

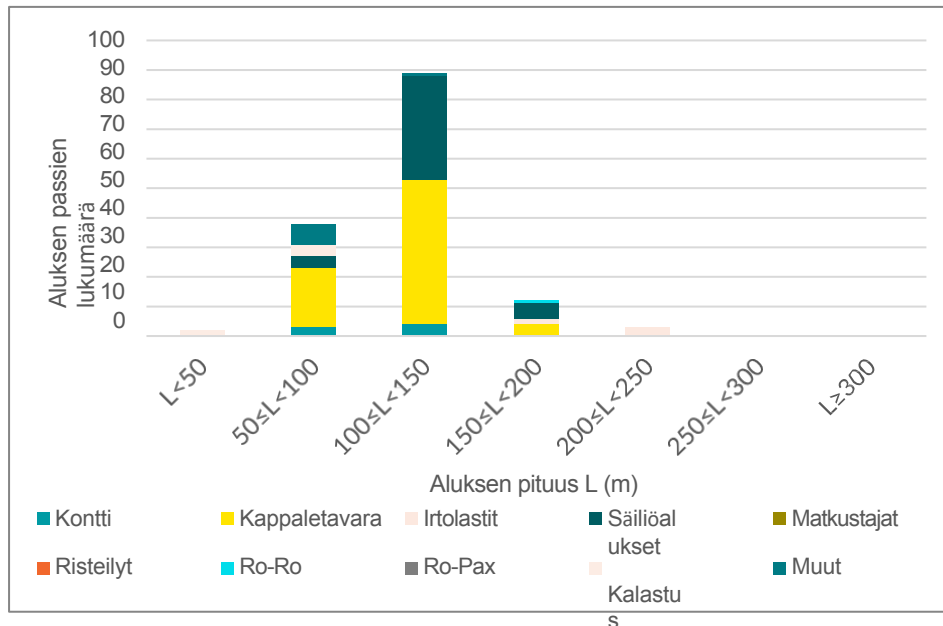
Hankealueen itäpuolella, noin 3 metrin etäisyydellä kaakkoiskulmasta, kulkee laivaväylä, jonka kautta kulkee alusliikennettä Pohjanlahdelle ja Pohjanlahdelta, eli Södra Merenkurkun ja Norra Merenkurkun välillä. Vuonna 2023 kulkuväylän 3 kautta kulki yhteensä 1 600 alusta. 100-150 metrin pituiset kappaletavaralautat ovat yleisimpiä, ks. kuva 2.13. Yli 150 metrin pituisia aluksia oli 405 kappaletta, joista 162 oli ro-ro-aluksia.



Ohjailutilaa varten mitoitettu aluksen pituus on 242 metriä, joka perustuu yli 70-metrinen alusten 98. prosenttipisteen suurimman aluksen kriteeriin.

2.3.4 Läpikulkuyhteys 4 - Liikenne hankealueen kautta

Hankealue ei ole päällekkäinen minkään varsinaisen laivaväylän kanssa, ja hankealueella on vain hajanaista alusliikennettä vaihtelevilla reiteillä. Vuonna 2023 yhteensä 144 alusta kulki hankealueen läpi kulkevan linjan 4 kautta. Liikenne koostui pääasiassa kappaletavara-aluksista ja säiliöaluksista, ks. kuva 2.14.



Kuva 2.14 Kulkulinjan 4 ylitysten määrä vuonna 2023 alustyypeittäin ja aluksen pituuden mukaan jaoteltuna.

2.3.5 Vaihtelut eri vuosien välillä

Taulukoissa 2.2, 2.3 ja 2.4 esitetään yhteenvedot reitillä 1 (Södra Kvarken - Husum), reitillä 2 (Södra Kvarken - Örnköldsvik) ja reitillä 3 (Södra Kvarken - Norra Kvarken) vuosina 2019-2023 tapahtuvien alusten kulkujen määrästä.

Taulukko 2.2 Alusliikennöintien määrä reitillä 1 (Södra Merenkurkun ja Husumin välinen liikenne) jakautuu pituussegmenteittäin vuosina 2019-2023.

Aluksen pituus L (m)	2019	2020	2021	2022	2023
L<50	10	10	0	7	3
50≤L<100	72	65	66	64	52
100≤L<150	178	183	134	153	130
150≤L<200	61	75	120	76	59
200≤L<250	0	1	0	1	22
250≤L<300	0	0	0	0	0
L≥300	0	0	0	0	0
Yhteensä	321	335	320	301	266

Taulukko 2.3 Alusliikennöintien määrä reitillä 2 (liikenne Södra Kvarnenin ja Örnköldsvikin välillä) jakautuneena pituussegmenteittäin vuosina 2019-2023.

Aluksen pituus L (m)	2019	2020	2021	2022	2023
L<50	3	2	4	58	7
50≤L<100	52	86	67	49	68
100≤L<150	332	343	350	150	237
150≤L<200	50	40	38	57	29
200≤L<250	0	10	5	2	0
250≤L<300	0	0	0	0	0
L≥300	0	0	0	0	0
Yhteensä	436	481	465	316	341

Taulukko 2.4 Alusliikenteen määrä reitillä 3 (Merenkurkun eteläisen ja pohjoisen osan välinen liikenne) pituussegmenteittäin vuonna 2019.
- 2023.

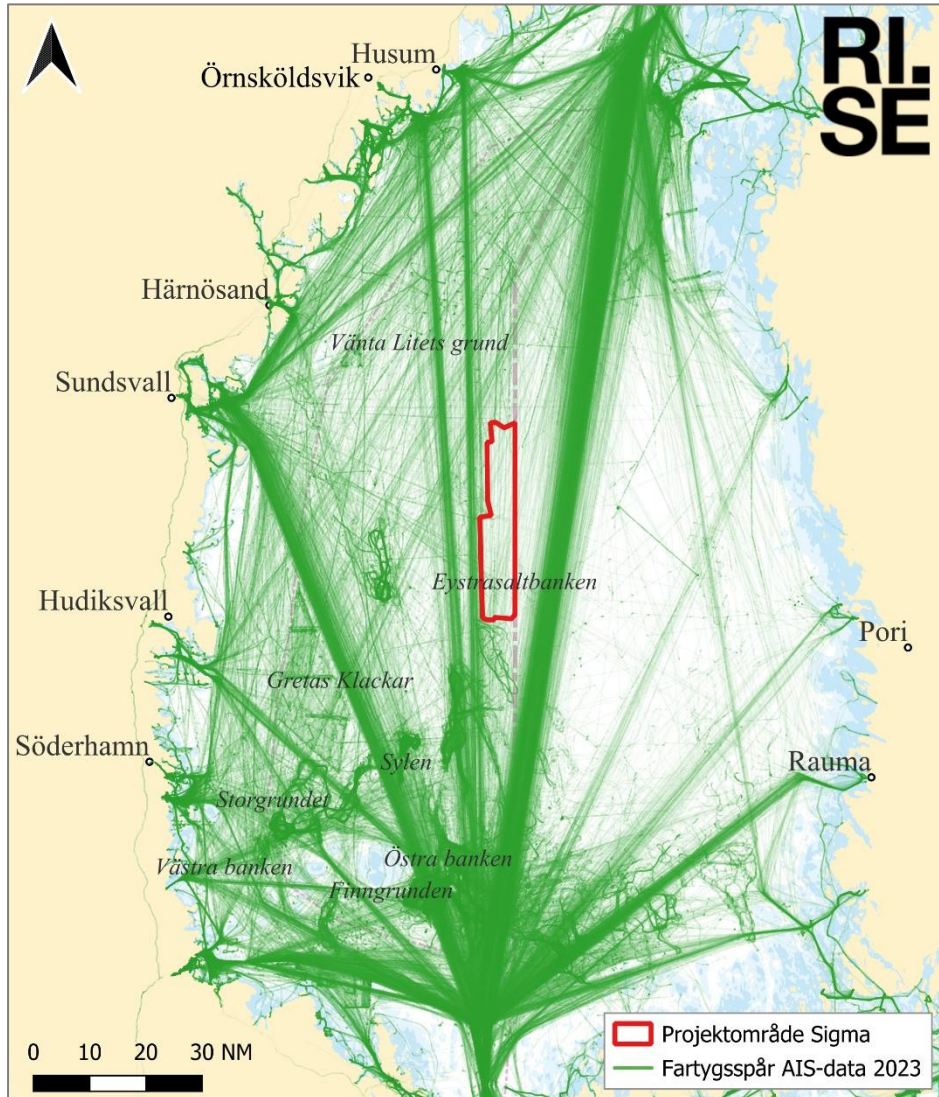
Aluksen pituus L (m)	2019	2020	2021	2022	2023
L<50	6	4	14	16	3
50≤L<100	220	322	324	303	255
100≤L<150	692	995	999	962	937
150≤L<200	427	447	469	417	330
200≤L<250	74	62	61	57	73
250≤L<300	2	2	14	5	2
L≥300	0	1	0	0	0
Yhteensä	1421	1834	1880	1760	1600

Linjan 1 läpikulkujen määrä oli vuonna 2023 huomattavasti pienempi kuin edellisinä vuosina, noin 17 prosenttia pienempi kuin neljän edellisen vuoden keskiarvo. Myös linjan 2 matkustajamäärä oli vuonna 2023 pienempi kuin neljän edellisen vuoden keskiarvo, noin 20 % pienempi. Linjalla 3 matkustajamäärä vuonna 2023 oli suunnilleen sama kuin neljän edellisen vuoden keskiarvo.

3 Tuulipuiston vaikutus merenkulun saavutettavuuteen

Sen lisäksi, että tuulipuisto voi vaikuttaa merenkulkuun lisääntyneiden riskien muodossa, se voi vaikuttaa merenkulkuun myös reitin pidentymisenä ja mahdollisesti satamien saavutettavuuden heikkenemisenä.

Sigman tuulipuiston oletetaan vaikuttavan ensisijaisesti Husumin ja Örnsköldsvikin satamiin ja satamista tulevaan laivaliikenteeseen, sillä nykyinen liikenne näihin satamiin kulkee hankealueen läheltä, ks. kuva 3.1.



Kuva 3.1 Sigman tuulipuiston ja lähisatamien sijainti.

Hankealue sijaitsee avomerellä, huomattavan kaukana sataman lähestymisalueista. Tämä tarkoittaa, että tuulipuisto ei vaikuta luotsin nousupaikkoihin tai määrättyihin ankkurointialueisiin. Hankealueen läheisyydessä ei myöskään ole VTS-alueita, joihin vaikutukset voisivat kohdistua.

Seuraavassa kuvataan Husumin ja Örnsköldsvikin satamatoimintoja sekä Sigman perustamisen mahdollisia vaikutuksia näiden satamien laivaliikenteeseen. Lisäksi kuvataan kumulatiivisia vaikutuksia, joita useampien tuulipuistojen perustamisella alueelle voidaan odottaa olevan merenkulkuun reittien pidentymisen ja polttoaineen kulutuksen lisääntymisen muodossa, sekä kuvataan, miten talvimerenkulkuun voi vaikuttaa, jos lähialueelle perustetaan useita tuulipuistoja.

3.1 Örnköldsvik

Jäljempänä esitetyt tiedot nykyisestä ja tulevasta satamatoiminnasta on saatu Örnköldsvikin sataman verkkosivustolla (Örnköldsvik Hamn & Logistik AB, 2024) saatavilla olevien julkisten tietojen lisäksi ottamalla yhteyttä Örnköldsvik Hamn & Logistik AB:n satamapäällikköön Karin Erlandssoniin 4. maaliskuuta 2024.

3.1.1 Kuvaus nykyisestä toiminnasta ja tulevasta kehityksestä

Örnköldsvik Port & Logistics vastaa Örnköldsvikin kunnan toiminnasta, ja sillä on useita satamia: Alfredshem, Domsjö, Framnäs, Hörneborg, Köpmanholmen, Järvedin öljysatama, Tankfarmen (entinen Shellin laitur) ja Stadskajen. Örnköldsvikin satamissa käy tällä hetkellä hieman yli 200 satamakävijää vuodessa, ja purettujen/lastattujen tavaroiden määrä on hieman alle 1 miljoona tonnia. Örnköldsvikiin johtavan yleisen väylän suurin sallittu syväys on 10 metriä.

Tulevaisuudessa liikenteen ja tavaroiden odotetaan lisääntyvän. Hörneborgin satamaa laajennetaan lähiaikoina, mikä merkitsee aluksi säännöllisen konttiliikenteen lisääntymistä vähintään yhdellä laivalla viikossa. Örnköldsvikiin on suunnitteilla uusi suuri sähköpolttoaineiden tuotantolaitos, FlagshipONE. Tuotetut tuotteet on tarkoitus laivata pois Tankfarmenista, minkä oletetaan merkitsevän liikenteen kasvua noin yhdellä käyntikerralla kuukaudessa.

Köpmanholmenissa Cinis Fertiliser -yritys on aloittamassa mineraalilannoitteiden tuotantoa. Tämä merkitsee Köpmanholmenin liikenteen lisääntymistä noin 1-2 puhelua viikossa, kun raaka-aineita ja tuotteita kuljetetaan laivoilla.

Köpmanholmenin ja Tankfarmenin arvioidun liikenteen kasvun perusteella Örnköldsvikin satamiin suuntautuvien käyntien määrän voidaan olettaa kasvavan nykyisestä 200 käyntikerrasta vuodessa noin 260-300 käyntiin vuodessa tulevaisuudessa.

3.1.2 Vaikutus saavutettavuuteen osoitteessa Sigma

Sigman tuulipuiston ei odoteta vaikuttavan kulkuyhteyksiin Örnköldsvikiin ja Örnköldsvikistä jäättömissä olosuhteissa. Sigman hankealue sijaitsee noin 3-4 metriä itään nykyisestä laivaväylästä, jolla kulkee liikennettä Örnköldsvikiin ja Örnköldsvikistä. Sigman tuulipuiston ei siis odoteta lisäävän Örnköldsvikiin ja Örnköldsvikistä kulkevan liikenteen reittiä jäättömissä olosuhteissa, joten reitin laajentamisesta ei odoteta aiheutuvan lisäkustannuksia tai lisääntyviä päästöjä.

3.2 Husum

Alla olevat tiedot nykyisestä ja tulevasta satamatoiminnasta on saatu ottamalla yhteyttä Husumin satamapäällikköön Peter Strömbergiin Metsä Board Sverige AB:n puolesta 11.3.2024.

3.2.1 Kuvaus nykyisestä toiminnasta ja tulevasta kehityksestä

Metsä Board Sverige AB:llä on paperitehdas ja siihen liittyvä satama Husumissa, ja satamatoimintoihin kuuluu saapuvien raaka-aineiden purku ja valmiiden tuotteiden lastaus. Käyntien määrä on vaihdellut viime vuosina. Vuonna 2023 satamassa tehtiin jälleenrakennustöitä, minkä vuoksi satamatoiminta oli ajoittain pysähdyksissä. Tämä johti siihen, että vuonna 2023 käyntejä oli huomattavasti vähemmän kuin aiempina vuosina; noin 325 käyntiä vuonna 2023, kun ennen pandemiaa käyntejä oli noin 500 vuodessa ja vuonna 2022 noin 400 käyntiä.

Husumiin saapuvien alusten kokoa rajoittavat pääasiassa Ruotsin merenkululaitoksen ohjeet ja rajoitukset, joiden mukaan Husumiin johtavan väylän enimmäispituus on 200 metriä. Varustamo Wallenius SOLille on kuitenkin myönnetty poikkeuslupa - edellyttäen, että olosuhteet ovat riittävän hyvät - tulla 242-metrisillä aluksillaan Baltic Enabler ja Botnia Enabler, ja ne pääsevätkin aikataulun mukaisesti. Husumissa on tällä hetkellä yhteensä noin 650 metriä laituria.

Muun muassa paperitehtaan tuotannon lisäämiseen tähtäävien investointien yhteydessä suunnitellaan lähivuosina myös sataman laajentamista 200-250 metrin lisälaiturilla.

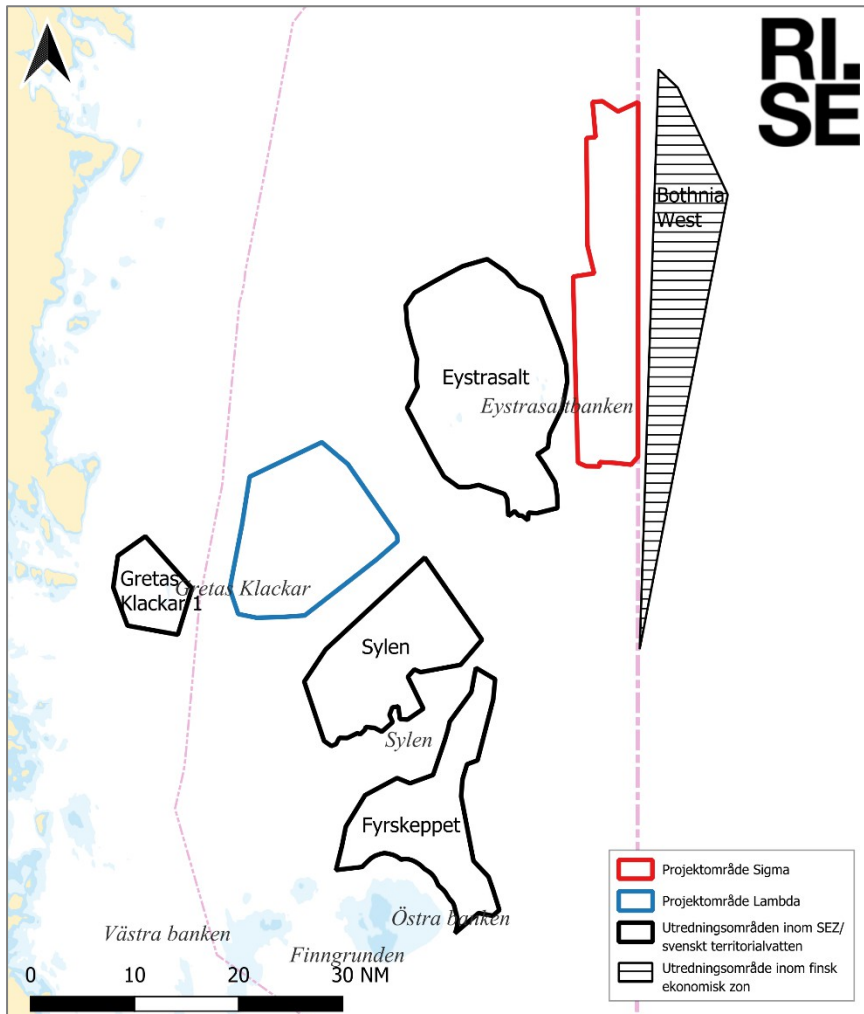
Koska enimmäispituutta on rajoitettu 200 metriin, laiturin pidentämisen odotetaan merkitsevän pikemminkin enemmän käyntejä kuin suurempia aluksia. Nykyistä satamalupaa, joka sallii enintään 750 käyntiä vuodessa, ei kuitenkaan tarvitse laajentaa.

3.2.2 Vaikutus saavutettavuuteen osoitteessa Sigma

Husumin ja Södra Kvarkenin välinen laivaväylä kulkee Sigman länsipuolella. Reitin alusliikenteen odotetaan voivan useimmissa tapauksissa kulkea periaatteessa samoja reittejä kuin nykyisin myös perustamisen jälkeen. Pieniä reittikorjauksia voidaan kuitenkin odottaa tapahtuvan, kun alukset valitsevat hieman läntisemmän reitin alueen ohi säilyttääkseen tietyn etäisyyden tuulipuistoon. Näiden korjausten odotetaan kuitenkin olevan pieniä, ja reitin pidentymisen oletetaan olevan vähäistä. Näin ollen reitin pidentämisen ei odoteta lisäävän kustannuksia tai päästöjä.

3.3 Useiden tuulipuistojen perustamisen kumulatiiviset vaikutukset

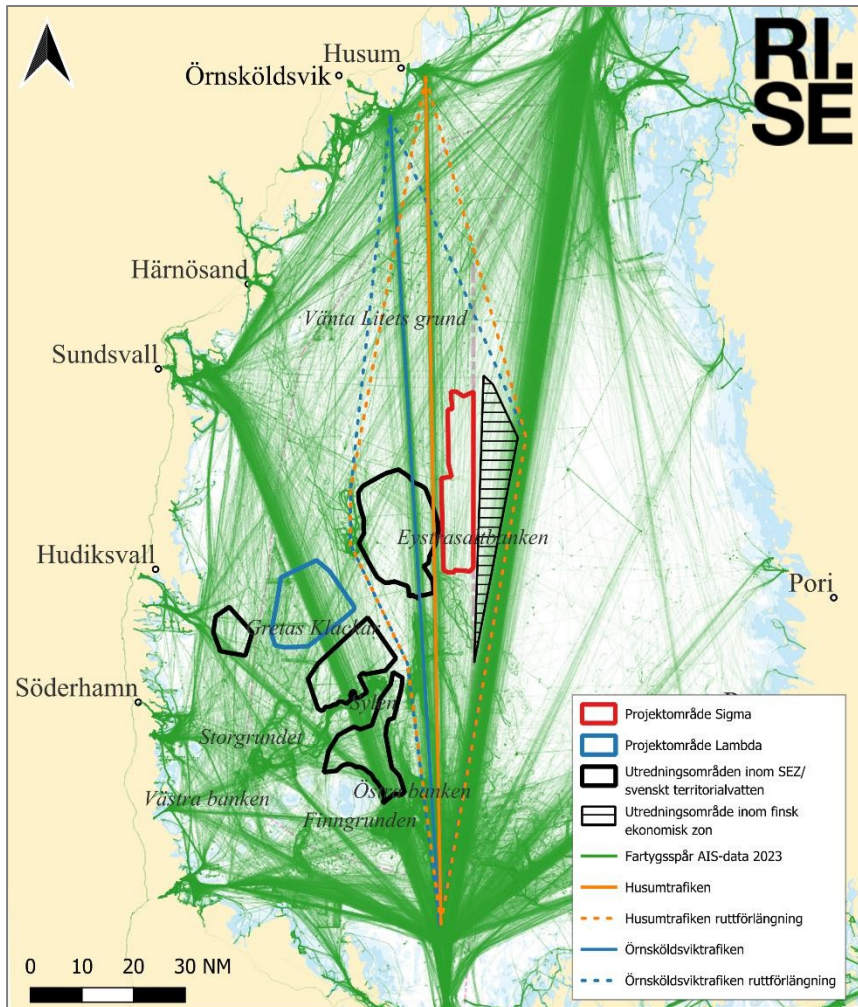
Perämerellä suunnitellaan ja kehitetään parhaillaan useita tuulivoimahankkeita. Mahdollisten kumulatiivisten vaikutusten arvioinnissa Sigman kanssa tarkastellaan Statkraftin Lambda-hanketta ja lähistöllä sijaitsevia hankkeita, joihin lupahakemus on jätetty, ks. kuva 3.2.



Kuva 3.2 Tuulivoimatutkimusalueet Sigman ympäristössä. Gretas Klackar 1:n, Sylenin ja Fyrskäppetin laajuus on peräisin Vindbrukskollenista (Vindbrukskollen, 2024). Lambdan laajuus on saatu Statkraftilta. Bothnia Westin laajuus ja sijainti on likimääräinen ja perustuu 4C Offshore-yhtiön karttaan (4C Offshore, 2024).

3.3.1 Reitin pidennykset/matka-ajan pidennykset Husum ja Örnköldsvik.

Jos Sigman, Eystrasaltin ja Bothnia Westin tuulivoimapaistot rakennetaan, Örnköldsvikin ja Husumin sekä Södra Kvarkenin välillä kulkeva liikenne ei voi kulkea samaa reittiä kuin nykyisin, ks. kuva 3.3. Muilla neljällä tuulivoimapaistolla ei odoteta olevan merkittäviä kumulatiivisia vaikutuksia reitin pidennyksiin yhdessä Sigman kanssa, koska nämä tuulivoimapaistot eivät vaikuta samoihin laivaväyliin kuin Sigma.



Kuva 3.3 Tuulivoimatutkimusalueet Sigman läheisyydessä sekä vaihtoehtoiset reitit Örnköldsvikiin (sininen) ja Husumiin (oranssi) suuntautuvalle ja sieltä lähtevälle liikenteelle. Bothnia Westin laajuus ja sijainti on likimääräinen ja perustuu 4COffshore karttaan (4C Offshore, 2024).

Södra Merenkurkun ja Husumin välinen liikenne pidentää reittiä arviolta noin 4 M riippumatta siitä, valitaanko Eystrasaltin, Sigman ja Bothnia Westin itä- vai länsipuolinen reitti. Södra Kvarkenin ja Örnköldsvikin välisen liikenteen reitti pitenee arviolta noin 3 M, jos valitaan Eystrasaltin, Sigman ja Bothnia Westin länsipuolinen reitti, kun taas mainittujen tuulipuistojen itäpuolisen reitin arvioidaan olevan noin 6 M nykyistä reittiä pidempi. Se, minkä reitin Södra Kvarkenin ja Örnköldsvikin välinen liikenne valitsee, riippuu todennäköisesti muun muassa sääolosuhteista. Esimerkiksi kovalla lounais-länsituulella voidaan suosia pidempää reittiä Bothnia Westin itäpuolella, kun taas rauhallisemmalla säällä voidaan käyttää lyhyempää reittiä Eystrasaltin länsipuolella.

Reitin pidennykset vaikuttavat polttoaineen kulutukseen, jonka oletetaan olevan verrannollinen reitin pidennykseen, kun oletetaan, että nopeus pysyy samana. Myös hiilidioksidipäästöjen oletetaan kasvavan suhteessa reitin pidentymiseen. Lisääntynyt polttoaineenkulutus merkitsee myös lisääntyneitä polttoainekustannuksia asianomaisille aluksille.

Taulukossa 3.1 esitetään arvioituja laskelmia siitä, mitä Södra Merenkurkun ja Husumin sekä Örnköldsvikin välisen liikenteen reitin pidennykset voisivat merkitä polttoaineen kulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen kasvun kannalta. Laskelmat perustuvat MRV-direktiivin⁴ mukaisesti raportoituun keskimääräiseen polttoaineenkulutukseen (kg polttoainetta/M) ja keskimääräisiin vuotuisiin hiilidioksidipäästöihin (kg CO₂/M) kunkin reitin tiheimmin liikennöivän aluksen osalta.

Taulukko 3.1 Arvio kumulatiivisten vaikutusten ja reitin pidennysten aiheuttamasta polttoaineenkulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen lisääntymisestä Södra Merenkurkun ja Husumin sekä Örnköldsvikin välisessä liikenteessä.

	Södra Kvarken - Husum	Södra Kvarken - Örnköldsvik
Reitillä vuosittain tehtyjen matkojen kokonaismäärä	300	350
Reitin laajentaminen	4 M	4,5 miljoonaa euroa (oletus 50 % 3 miljoonaa euroa, 50 % 6 miljoonaa euroa).
Alustyyppi	Ro-Ro	Kappaletavara
Esimerkkialus	Botnia Enabler	Uusi-Seelanti
Polttoaineen kulutus	123 kg/M	40 kg/M
Päästöt	389 kg CO ₂ /M	127 kg CO ₂ /M
Polttoaineen kulutuksen kasvu	147 600 kg/vuosi	63 000 kg/vuosi
CO ₂ -päästöjen kasvu (kg)	466 800 kg	200 025 kg

Kunkin aluksen polttoaineen lisäys on pieni verrattuna alusten vuotuisen polttoaineen kulutukseen. Södra Kvarken - Örnköldsvik -reitillä 13 kertaa kulkeneen ja reitillä eniten liikennöivän Nylandin polttoaineen kokonaiskulutus oli 1 742 tonnia vuonna 2022. Nylandin osalta tuulivoimapuisto merkitsisi teoreettisesti 58,5 M:n vuosittaista reitin pidentämistä (13 kulkua x 4,5 M) ja siten Sigman tuulivoimapuiston aiheuttamaa 7,4 tonnin polttoaineen kulutuksen lisäystä, mikä tarkoittaa 0,4 prosentin lisäystä.

3.3.2 Talvimerenkulku ja jäänmurtotoiminta

Kun jää vaikuttaa laivaliikenteeseen, liikenne ohjataan tai avustetaan kulkemaan kulloinkin parhaita reittejä eli helpoimmin ja turvallisimmin navigoitavia reittejä. Tuulipuisto pienentää laivaliikenteelle käytettävissä olevaa tilaa ja voi tietyissä tilanteissa merkitä sitä, että reitti, joka muuten olisi ollut paras, on tukossa tai sitä ei voida käyttää, koska se kulkee lähellä tuulipuistoa. Tietyissä tilanteissa tuulipuisto voi siten rajoittaa jääavustustoimien mahdollisuuksia ohjata laivoja turvallisille reiteille. Sigman tuulipuiston ei katsota vaikuttavan merkittävästi jääavustustoimintaan. Jos Perämerelle kuitenkin perustetaan useita tuulipuistoja, jäänmurtaja-avun tarpeen voidaan olettaa lisääntyvän ankarina jäätalvina, ja olosuhteet, joissa jäänmurtajat ohjaavat ja avustavat parhaille reiteille, heikkenevät, kun tuulipuistot tukkivat laajoja alueita.

Ruotsilla on tällä hetkellä viisi valtion jäänmurtajaa. Pohjanlahden ja Selkämeren jäänmurtotoiminnassa Ruotsin merenkululaitos tekee tiivistä yhteistyötä Suomen viranomaisten ja niiden jäänmurtotoiminnan kanssa.

Jäänmurtajakapasiteetti on kuitenkin rajallinen, ja ankarina jäätalvina, jolloin jäät ovat suuressa osassa Selkämeren, kapasiteetista voi olla ajoittain pulaa, mikä johtaa pitkiin odotusaikoihin avun saamiseksi.

Tuulipuistot voivat merkitä sitä, että alukset tarvitsevat apua aiempaa pidemmillä matkoilla, sillä tuulipuistot voivat pakottaa alukset käyttämään vaikeampia tai pidempiä reittejä. Ilman tuulipuistoja alusten juuttumisen vaara on pienempi, ja niiden voidaan antaa ajalehtia jään mukana odottaessaan jäänmurtaja-apua.

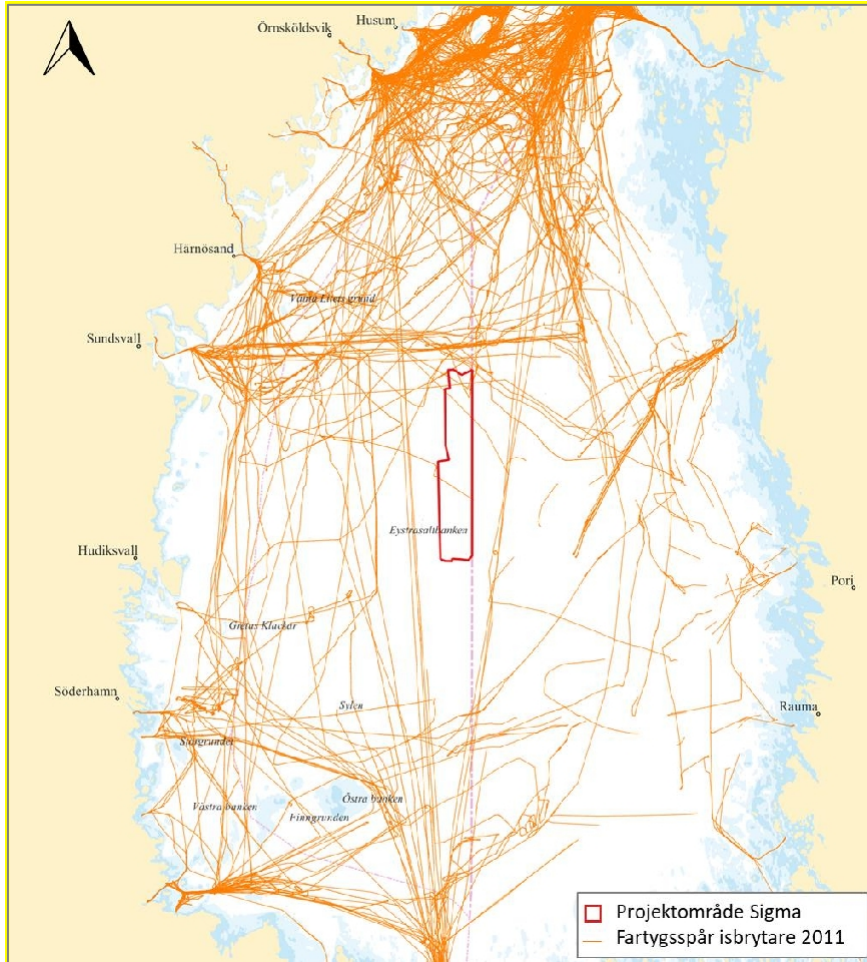
⁴Seuranta, raportointi ja todentaminen (MRV) <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02015R0757-20161216>

irrottautuminen jumiutumisesta. Tuulipuistojen ja tuulipuistoon ajelehtivien alusten vaaran vuoksi apu voi olla tarpeen, tai vaihtoehtoisesti jäänmurtajat voivat olla valmiustilassa lähistöllä aluksen juuttumisen varalta. Tuulipuistot voivat myös merkitä sitä, että jäänmurtajien kauttakulkureitit pitenevät, kun ne eivät voi liikennöidä tuulivoimaloita sisältävien alueiden kautta, vaan joutuvat käyttämään pidempiä reittejä. Kaiken kaikkiaan tämä voi johtaa jäänmurtajakapasiteetin käytön lisääntymiseen, mikä voi joinakin aikoina johtaa kapasiteettiongelmiin ja pitkiin odotusaikoihin avun saamiseksi. Pitkät odotusajat voivat aiheuttaa viivästyksiä laivaliikenteelle ja aiheuttaa ongelmia myös satamissa.

Tuulivoimaloiden vaikutusta talvimerenkulkuun ja jäänmurtajatoimintaan on vaikea arvioida määrällisesti. Ankarat jäätalvet, jolloin merijään laajuus Perämerellä on suuri, ovat kuitenkin suhteellisen harvinaisia, ja useimpina talvina Sigman ja sen läheisyydessä sijaitsevat tuulipuistot eivät näin ollen vaikuta jäänmurtotoimintaan ja talvimerenkulkuun. Tilastot, jotka koskevat jään esiintymistä kyseisellä alueella kuvassa 2.4 esitetyllä alueella, osoittavat, että alueella on ollut jäätä 14 viimeisen 42 vuoden aikana.

Kuvassa 3.4 esitetään jäänmurtajien toiminta talvella 2011, kun Perämerellä oli jäätä⁵. Kuvasta käy ilmi, että ne liikennöivät usein Husumin ja Örnköldsvikin välillä. Jäänmurtajat liikennöivät myös Härnösandin ja Sundsvallin edustalla. Suurin osa näistä liikkeistä on kuitenkin tapahtunut hankealueen pohjoispuolella tai luoteispuolella, ja vain pieni osa liikkeistä on tapahtunut hankealueen kautta.

⁵Vuoden 2011 osalta AIS-tiedot puuttuvat joiltakin päiviltä, joten tiedot eivät ole täydellisiä edes Perämeren Ruotsin puolella. Perämeren länsiosien osalta tietoja pidetään kuitenkin riittävinä, jotta ne antaisivat todellisen kuvan jäänmurtajien liikkeistä vuonna 2011. Itäpuolella AIS-tietojen kattavuus on riittämätön, joten Perämeren itäosista puuttuu vieläkin enemmän laivojen jälkiä. Näiden osien osalta kuva ei siis anna oikeaa kuvaa.



Kuva 3.4 Ruotsalaisten ja suomalaisten jäänmurtajien alusreitit vuonna 2011. Perämeren Suomen puoleisen osan kattavuus on kuitenkin heikko, ja alusjäljet puuttuvat erityisesti Perämeren itäisimmistä osista.

4 Riskien tunnistaminen

Liikenneanalyysi on tärkeä perusta riskien tunnistamiselle, jossa liikennemalleilla, liikenteen intensiteetillä ja alusten ominaisuuksilla on suuri merkitys.

Tämän ja aiempien merituulivoimalaitosten yhteydessä tehtyjen riskianalyyysien perusteella on tunnistettu mahdolliset vaaratekijät. Kyse on pääasiassa vaaratekijöistä, jotka voivat lisätä merenkulun törmäys- ja karilleajoriskiä, sekä vuorovaikutusriskistä puistoalueen kanssa, niin sanotusta törmäysriskistä, ja siten mahdollisesta törmäysriskistä tuulivoimaloiden kanssa. Myös välilliset vaarat, kuten meripelastusmahdollisuudet ja ympäristöpelastusmahdollisuudet sekä mahdolliset vaikutukset hätäankkurointimahdollisuuksiin, on yksilöity.

4.1 Hazid

Hazid-työpaja, jonka tarkoituksena oli tunnistaa kaikki mahdolliset vaarat, joita Sigman tuulipuistosta voi aiheutua, pidettiin 30. tammikuuta 2024. Työpaja käsitteli myös Statkraftin toisen hankkeen, Lambdan tuulipuiston, riskien tunnistamista, jota suunnitellaan niin ikään Perämerelle, noin 20 meripeninkulmaa Sigmasta lounaaseen. Kokoukseen osallistuivat Statkraftin ja RISE:n lisäksi rannikkovartioston, Sundsvallin sataman, Admare Ship Managementin (joka vastaa SCA:n alusten operoinnista) ja Ruotsin merenkululaitoksen edustajat, jotka osallistuivat kokoukseen infrastruktuurin koordinoinnin ja jäänmurron edustajien kanssa. Lisäksi Suomen liikenneinfrastruktuuriviraston edustajat osallistuivat ja antoivat lisäasiantuntemusta jäädä ja talvimerenkulusta. Wallenius-SOL, Örnköldsvikin satama- ja logistiikkayhtiö ja Ruotsin liikennevirasto olivat kutsuttuja, mutta eivät voineet osallistua.

Työpaja koostui yhteensä kymmenestä eri osasta, joista kaksi koski erityisesti Sigman ympärillä tapahtuvaa liikennettä ja viisi oli yleisiä ja molempiin tuulipuistoihin sovellettavia osia: liikenne Sigman itäpuolella, liikenne Sigman länsipuolella, pelastustoiminnan olosuhteet, mahdolliset kumulatiiviset vaikutukset, talvimerenkulku, muu meriliikenne/yleinen meriliikenne ja rakennusvaihe.

Kaikki tunnistetut mahdolliset vaarat, niiden ensisijaiset syyt, mahdolliset ennaltaehkäisevät turvallisuustoimenpiteet sekä välittömät ja lopulliset seuraukset dokumentoitiin vaaratilannepöytäkirjaan (ks. liite 1).

Seuraavassa esitetään Sigman tuulipuistoon liittyvät tärkeimmät vaaratekijät sekä niiden tausta ja perustelut työpajassa käytyjen keskustelujen perusteella.

4.1.1 Liikenne Sigman itäpuolella

Hankealueen kaakkoiskulma sijaitsee noin 3 metriä länteen laivaväylästä, jonka kautta kulkee vuosittain noin 1 600 laivavuoroa Södran ja Norra Merenkurkun välillä. Alueen koilliskulmassa etäisyys laivaväylään on noin 5 m. Laivaväylän ja puiston välissä on siis riittävästi tilaa, jotta alukset voivat tehdä väistöliikkeen. Vallitseva lounaistuulen suunta tarkoittaa, että puomilla kulkevat alukset, jotka kokevat pimennyksen ja alkavat ajelehtia, ajelehtivat useimmissa tapauksissa pois päin tuulipuistosta. 3-5 metrin etäisyys tuulipuistoon tarkoittaa myös sitä, että tuulipuistoa kohti ajelehtivalla aluksella on aikaa ja mahdollisuus saada takaisin ohjailukyky tai vaihtoehtoisesti onnistua hätäankkuroitumaan törmäyksen estämiseksi.

Osan Sigman tuulivoimapuiston alueen kautta aiemmin koillis-lounaissuunnassa kulkeneesta liikenteestä (144 kulkua vuonna 2023) oletetaan valitsevan reitit tuulivoimapuiston kaakkoispuolelle, kun ne eivät voi enää käyttää aiempia reittejä tuulivoimapuiston kautta. Tämä voi tarkoittaa, että Sigman itäpuolen ja Norra ja Södra Kvarkenin välisen laivaväylän välille syntyy uusi laivaväylä. Kun liikenne, joka aiemmin kulki alueen läpi hajallaan olevia reittejä pitkin, kulkee sen sijaan rajoitetumpaa reittiä, tämä merkitsee tiettyä liikenteen ahtautumista, mikä tarkoittaa hieman suurempaa törmäystodennäköisyyttä. Alueen läpi kulkeva liikenne on kuitenkin vähäistä, mikä tarkoittaa, että liikenteen intensiteetti lisäreitillä on hyvin pieni ja siten myös törmäystodennäköisyys reitillä. Puiston läpi kulkevan liikenteen uudelleenreititys merkitsee useimmissa tapauksissa myös ylimääräistä kääntöpaikkaa nykyiseen verrattuna, mikä voi myös lisätä jonkin verran törmäystodennäköisyyttä. Osa liikenteestä, joka valitsee reitin

tuulipuiston kaakkoispuolella voi kulkea tuulipuiston kaakkoiskulman läheltä, mikä tarkoittaa, että voi tapahtua törmäys tuulipuistoon ja mahdollisesti törmäys, jos törmäysskenaario toteutuu ja lounaaseen suuntautuvilla aluksilla ei ole riittävästi tilaa väistöliikkeeseen.

4.1.2 Liikenne Sigman länsipuolella

Sigman hankealue sijaitsee noin 1 metrin päässä Södra Merenkurkun ja Husumin välisen laivaväylän itäpuolella. 1 M:n etäisyys tarkoittaa, että PIANC:n manööveritilakriteerin mukaan tilaa ei ole riittävästi. Tuulipuisto voi siten muodostaa esteen tilanteessa, jossa vaaditaan 360 asteen käännöstä, ja voi siten merkitä törmäystä tai vaihtoehtoisesti törmäystä, jos alus tekee 360 asteen käännöksen siitä huolimatta, että etäisyys tuulipuistoon on riittämätön.

Todennäköisyys, että törmäystilanteessa jouduttaisiin kääntymään 360 astetta, on kuitenkin hyvin pieni, koska liikenteen intensiteetti reitillä on hyvin alhainen.

Kun etäisyys tuulipuistoon on 1 m, tuulipuistoa kohti ajelehtivalla aluksella on vain vähän aikaa onnistua hätäankkuroitumaan tai palauttamaan ohjattavuutensa. Vallitseva lounaistuulen suunta on epäsuotuisa, mikä tarkoittaa, että tuulipuiston länsipuolella kulkevat ja ajelehtimaan lähtevät alukset ajelehtivat monissa tapauksissa kohti tuulipuistoa, mikä tarkoittaa, että *ajelehtivat alukset voivat törmätä toisiinsa*.

Mahdollisuuksia onnistuneeseen hätäankkurointiin *ajelehtivan törmäyksen* välttämiseksi rajoittaa myös veden syvyys, joka suuressa osassa hankealueen länsipuolta on yli 50 metriä, mikä vaikeuttaa hätäankkuroinnin onnistumista.

Tuulivoimapuiston lähellä, alle 1,5 metrin etäisyydellä, kulkevat alukset ovat vaarassa joutua tutkahäirinnän kohteeksi. Jos tutkahäirinnän vuoksi toista alusta ei havaita ajoissa, seurauksena voi olla törmäys.

Tuulivoimaloiden läheisyydessä kulkeminen voi aiheuttaa myös radiohäiriöiden riskin.

Tuulivoimapuiston perustamisen jälkeen osa reitillä kulkevasta liikenteestä saattaa muuttaa reittiään säilyttääkseen tietyn turvaetäisyyden tuulivoimapuistoon. Tämä tarkoittaa, että liikenne reitillä voi ruuhkautua, jolloin törmäyksen todennäköisyys kasvaa.

Osa liikenteestä, joka on aiemmin kulkenut Sigman tuulipuiston läpi koillis-lounaissuunnassa, saattaa valita reitin tuulipuiston luoteispuolelta. Tällainen uudelleenreititys edellyttää uutta kääntöpaikkaa, ja osa liikenteestä saattaa kulkea Sigman luoteiskulman lähellä. Tämä liikenne risteää sitten Husumin liikenteen kanssa lähellä tuulipuiston kulmaa. Tuulivoimapuiston kapeampi ulottuvuus pohjoisessa tarkoittaa kuitenkin sitä, että Husumin liikenteen ja tuulivoimapuiston luoteiskulman välinen etäisyys on useimmissa tapauksissa yli 1,5 metriä, joten pohjoiseen suuntautuvalla Husumin liikenteellä on tilaa väistöliikkeeseen tilanteessa, jossa risteävät alukset kulkevat lounaaseen, ks. kuva 4.1. Tuulivoimapuiston pohjoispuolinen liikenne voi väistää.



Kuva 4.1 Pohjoiseen menevien alusten on annettava etelä-länteen meneville aluksille tietä. Tuulivoimapuiston laajuus rajoittaa tilaa väistöliikelle.

4.1.3 Talvimerenkulku ja on

- Tuulipuiston läheisyydessä jäihin jääneet alukset voivat ajautua jään mukana, mikä voi johtaa törmäykseen.
- Tuulipuisto saattaa tukkia parhaan reitin, jolloin alukset joutuvat käyttämään hankalampia reittejä, jolloin ne saattavat juuttua jäähän ja ajautua tuulipuistoon, jos niitä ei auteta ajoissa.
- Alukset voivat kulkea tuulipuiston länsipuolen lähellä, ja tilanteita, joissa alukset ovat törmäyskurssilla, voi esiintyä. Vaikeissa jääolosuhteissa ja kun alukset kulkevat väylällä, alus voi kääntyä jäälle pysähtyäkseen ja välttää näin mahdollisen törmäyksen. Lievemmissä jääolosuhteissa, kun jää ei ole tarpeeksi paksua tai tiivistä pysäyttääkseen/jarruttaakseen alusta, jää voi kuitenkin vähentää aluksen ohjattavuutta ja vaatia 360 asteen käännöksen tekemiseen enemmän tilaa kuin jäättömissä olosuhteissa. Jos tila ei ole riittävä, voi tapahtua törmäys tai törmäys.
- Tuulipuisto saattaa lisätä jäänmurtajakapasiteetin tarvetta, kun alukset tarvitsevat apua ohittaakseen tuulipuiston, koska on olemassa törmäysvaara, jos ne juuttuvat jäähän. Jos jäänmurtajakapasiteetti on riittämätön ja avun odotusajat ovat pitkiä, voi tapahtua yhteentörmäyksiä tai törmäyksiä, kun alukset ajalehtivät jäässä apua odottaessaan.
- Tuulivoimalat voivat aiheuttaa ajojään hajoamista, mikä voi johtaa jään muodostumiseen ja myös jään muodostumiseen, koska rikkoutunut jää jäätyy ja kerääntyy helpommin. Tämä voi johtaa vaikeampiin jääolosuhteisiin ja joissakin tapauksissa voi merkitä pidempiä jääjaksoja merialueella. Vaikeammat jääolosuhteet merkitsevät suurempaa törmäysten todennäköisyyttä ja suurempaa todennäköisyyttä jäänmurtajakapasiteetin puutteeseen, mikä johtaa pidempiin odotusaikoihin.

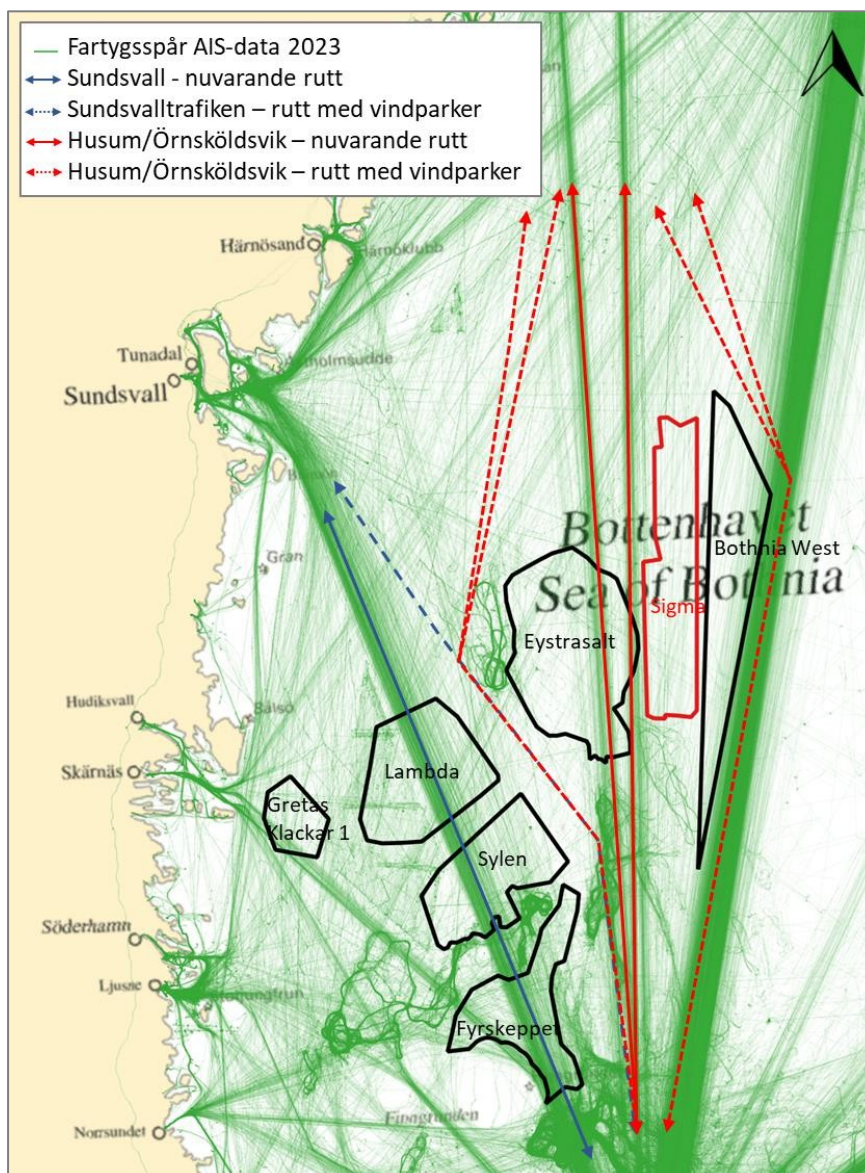
4.1.4 Kumulatiiviset vaikutukset

Useiden viereisten tuulipuistojen myötä merenkulkuun käytettävissä oleva tila vähenee. Kuvassa 4.2 esitetään, miten liikenteen oletetaan muuttuvan, jos Sigma, Lambda, Bothnia West ja kaikki muut lähialueen tuulipuistot, jotka ovat hakeneet lupaa, perustetaan. Seuraavat vaarat tunnistettiin:

- Oletetaan, että Sigman ja Bothnia Westin välillä ei ole tilaa, mikä tekee Sigman itäpuolella kulkevan reitin mahdottomaksi, jos Bothnia West perustetaan. Sigman ja Eyrasaltin välinen etäisyys on hyvin pieni, noin 0,8 M. Tilaa pidetään liian pienenä, jotta laivaliikenne voisi hyödyntää sitä. Jos laivaliikenne kulkee puistojen välistä ja syntyy sähkökatkos, on hyvin pieni mahdollisuus, että

Tilanteessa, jossa kaksi alusta kohtaa käytävällä, alusten välinen etäisyys on pieni ja etäisyys tuulipuistoon on molemmin puolin hyvin pieni, mikä tarkoittaa, että väistöliikkeisiin ei ole tilaa. Useimpien alusten oletetaan valitsevan jonkin pidemmistä reiteistä Sigman ja Bothnia Westin itäpuolella tai Eystrasaltin länsipuolella välttääkseen ohittamasta tuulivoimaloiden välistä 0,8 metrin levyistä tilaa.

- Jos Sigman, Eystrasaltin ja Botnia Westin lisäksi perustetaan myös Sigman lounaispuolelle suunnitellut tuulipuistot, laivaliikenteen tilaa alueella rajoitetaan huomattavasti, ja suuri osa liikenteestä keskittyy samalle reitille, joka kulkee pitkin Valolaivan itäpuolta sekä Sylenin ja Lambdan ja Eystrasaltin välillä. Liikenteen keskittyminen samalle reitille merkitsee nykyistä suurempaa törmäystodennäköisyyttä. Tuulivoimaloiden välinen kulku merkitsee myös sitä, että törmäyksiä voi tapahtua. Lambdan ja Eystrasaltin välinen etäisyys on noin 7 m. Husumiin ja Örnköldsvikiin suuntautuvalle liikenteelle skenaario, jossa kaikki tuulipuistot ovat mukana, merkitsee myös ylimääräisiä kääntöpaikkoja ja vaikeampaa navigointia, jos se valitsee reitin Eystrasaltin länsipuolella. Botnia Westin itäpuolella oleva reitti on pidempi, mutta navigointi on helpompaa ja törmäysten todennäköisyys on pienempi.



Kuva 4.2 Nykyinen liikenne perustuu AIS-tietoihin vuodelta 2023. Jos kaikki puistot perustetaan, syntyy kumulatiivisia vaikutuksia, ja liikenne Sundsvallin, Örnköldsvikin ja Husumin suuntiin ja suunnasta joutuu muuttamaan reittejään.

4.1.5 Pelastustoimien edellytykset

- Tuulivoimalat haittaavat alueen kulkua ja saavutettavuutta. Tuulipuiston tornit vaikuttavat ilmassa liikkuvien yksiköiden olosuhteisiin erityisesti huonolla säällä/näkyvyyden heikentyessä. Tuulipuisto haittaa etsintä- ja pelastustoiminnan (SAR) olosuhteita. Tämä voi johtaa pelastustoimien viivästymiseen.

4.1.6 Muu meriliikenne / Yleistä

Asianomaisen otsikon alla on yhteenveto tunnistetuista vaaroista, joita ei voida yhdistää tiettyyn alueeseen tai meriväylään. Seuraavat vaarat tunnistettiin:

- Huviveneiden liikenne laivaväylien poikki tuulipuiston läheisyydessä, mikä voi johtaa törmäykseen tai moottorilla tapahtuvaan yhteentörmäykseen, koska väistötilaa on vähän. Huviveneily on merialueella hyvin harvinaista.
- Huviveneet voivat päästä tuulipuistoon, ja roottorin lavat voivat osua mastoihin, joiden alin kohta vedenpinnan yläpuolella on noin 25 metriä (vähintään 25 metriä keskivedenkorkeudella). Huviveneily on kuitenkin hyvin harvinaista tuulipuiston alueella.
- Inhimillinen erehdys: vahtipäällikkö epäonnistuu kallistuksessa, mikä voi johtaa moottoroidun aluksen törmäykseen.
- Tuulipuistoon saapuvat ja sieltä lähtevät alukset (tuulivoimaloiden huoltoa varten tai miehistön siirtoalukset) poikkeavat todennäköisesti vakiintuneilta reiteiltä ja aiheuttavat ylimääräistä risteävää liikennettä suurnopeusyksiköiden kanssa. Tuulipuiston aiheuttama rajallinen väistötila voi johtaa törmäykseen tai moottoroidun aluksen törmäykseen.
- Roottorin lapojen jäätyminen voi johtaa jääheittoihin, jotka voivat osua tuulipuistoon tai tuulipuiston sisällä oleviin tai sieltä pois matkustaviin aluksiin. Jään heiton arvioidaan olevan 500-700 metrin luokkaa.
- Kalastusalukset ja jotkin pienemmät alukset valitsevat reitit tuulipuiston läpi. Tuulipuiston ulkopuolella vakiintuneita reittejä kulkevat alukset eivät ole valmistautuneet tuulipuiston risteäville reiteille saapuviin aluksiin, ja jos niitä ei havaita ajoissa, seurauksena voi olla törmäys.
- Tuulivoimalan vikaantuminen voi johtaa osien putoamiseen ja osien leviämiseen laajemmalle alueelle, mikä voi osua tuulipuiston alueella oleviin aluksiin/aluksiin.
- Tuulipuisto häiritsee tai vaimentaa rannikon radiosignaaleja, mikä voi johtaa siihen, että alukset menettävät tietoja, mikä pahimmassa tapauksessa voi johtaa törmäykseen.

4.1.7 Rakennusliikenne

- Kuljetukset tapahtuvat tuulipuistoon ja sieltä pois. Liikenteen intensiteetti kasvaa, kun suuret alukset ja rakennusalukset poikkeavat vakiintuneilta reiteiltä ja ylittävät laivaväyliä. Tämä voi johtaa siihen, että laivaväylillä olevien alusten on käsiteltävä risteävää liikennettä tai annettava sille tietä, mikä voi johtaa laivaväylillä olevien alusten ja tuulipuistoon saapuvien tai sieltä lähtevien alusten yhteentörmäyksiin.
- Työskentely alusten/alustojen kanssa rajalla/tuulipuiston ulkopuolella: jos rakennusalus/alusta on sijoitettu laivaväylän välittömään läheisyyteen, väistöliikkeitä on vain rajoitetusti mahdollista tehdä törmäyksen välttämiseksi.
- Työveneet laivaväylillä kaapelinlaskun yhteydessä: alukset/hitaasti liikkuvat alukset, jotka liikkuvat pois kurssilta, lisäävät törmäyksen todennäköisyyttä.
- Perustuksen/turbiinin vaurioituminen asennuksen aikana voi johtaa öljy- tai kemikaalivuotoihin. Rakennusvaiheen aikana pääsy alueelle on rajoitettu, mikä voi vaikuttaa mahdollisuuteen puhdistaa tai imeyttää mahdolliset vuodot.

5 Riskinarviointi toimintavaihe

Riskit arvioidaan onnettomuusskenaarion toteutumisen todennäköisyyden ja kunkin onnettomuusskenaarion seurausten vakavuuden perusteella. Tunnistettujen vaarojen ja onnettomuuksien todennäköisyys lasketaan ja kvantifioidaan mahdollisuuksien mukaan. Kunkin onnettomuusskenaarion mahdollisten seurausten vakavuus arvioidaan ja arvioidaan kvalitatiivisesti. Tässä yhteydessä on otettu huomioon väistöliikkeiden turvaetäisyydet ja hätäankkurointimahdollisuudet.

5.1 Karilleajon, törmäyksen ja törmäystodennäköisyyden laskeminen.

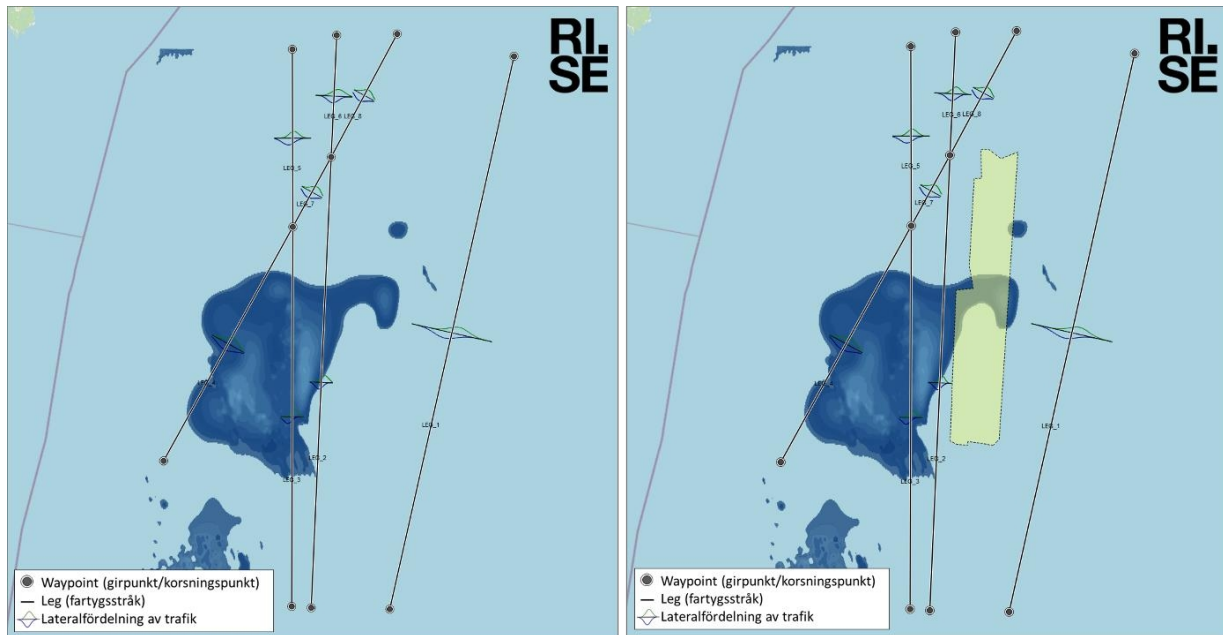
IWRAP Mk2 -ohjelmaa (*IALA Waterway Risk Assessment Program*) käytetään sen arvioimiseksi, voiko tuulipuisto vaikuttaa alusten karilleajojen ja törmäysten todennäköisyyteen ja miten se voi vaikuttaa niihin, sekä sen arvioimiseksi, kuinka todennäköisesti alukset purjehtivat tai ajautuvat tuulipuistoon.

Kiinnostava merialue mallinnetaan AIS-tietojen perusteella määrittelemällä *osuudet* ja *reittipisteet*, jotka muistuttavat todellista meriliikennemallia. Reitit kulkevat kahden *reittipiste* välillä, ja kuhunkin *reittipisteeseen* voidaan liittää useita reittejä, jotta voidaan määritellä, missä alusreitit risteävät tai yhtyvät. Tämän jälkeen ohjelmisto laskee AIS-tietueiden perusteella kullekin *osuudelle* tilastollisen jakauman, joka kuvaa, kuinka kaukana keskilinjasta alukset kulkevat (sivujakauma).

Ohjelma käyttää AIS-tietoja laskeakseen törmäysten todennäköisyyden kullakin *osuudella* ja määritellyissä *reittipisteissä*. Mallinnetaan kahta eri tapausta; toisessa mallinnetaan liikenne ilman tuulipuistoa, jolloin liikenne mallinnetaan nykyisten liikennemallien perusteella, ja toisessa mallia täydennetään tuulipuistolla hankealueen rajojen perusteella, jotta voidaan laskea törmäysten todennäköisyys tuulipuiston kanssa (vuorovaikutus tuulipuiston kanssa). Mallissa, jossa on mukana tuulipuisto, *reittiosuudet* ja *reittipisteet* mukautetaan siten, että ne edustavat todennäköistä liikennemallia, kun tuulipuisto on perustettu.

Karilleajon todennäköisyys voidaan laskea myös IWRAP-ohjelmalla. Sigman hankealueen ympäristössä ei kuitenkaan ole matalia alueita, joilla alukset voisivat ajaa karille, joten karilleajon todennäköisyys on laskelmissa nolla. Hankealueen länsipuolella sijaitseva Eyrasalt Bank on mallinnetun alueen matalin alue, jonka vähimmäissyvyys on 12,7 m. Tämä syvyys riittää kuitenkin siihen, ettei yksikään kyseisillä reiteillä vuonna 2023 liikennöivä alus ole vaarassa ajaa karille.

Laskelmat on tehty sen osoittamiseksi, miten tuulipuisto vaikuttaa onnettomuus- ja vaaratilanteiden todennäköisyyksiin alueella, ja siksi kahta laskentatapausta verrataan toisiinsa sen selvittämiseksi, miten törmäystodennäköisyys muuttuu. Tuulipuiston tapauksessa lisätään myös törmäystodennäköisyys, joka vaikuttaa myös onnettomuuden/onnettomuuden kokonaistodennäköisyyteen. Kuvassa 5.1 esitetään IWRAP-mallit, joihin laskelmat ilman tuulipuistoa ja tuulipuiston kanssa perustuvat. Mallinnusalueen rajausta perustuu merialueeseen, jolla alusliikenteeseen kohdistuvat vaikutukset ilmenevät.



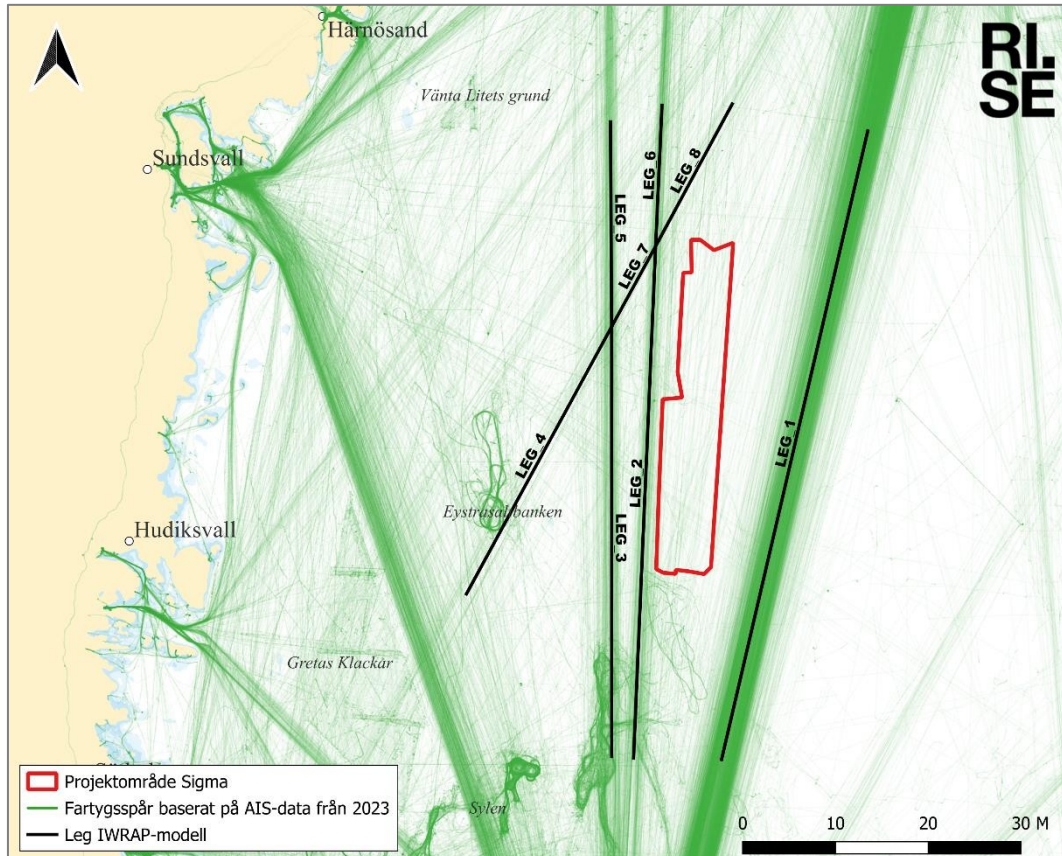
Kuva 5.1 IWRAP-malli häiriötodennäköisyyslaskelmia varten ilman Bothnia Offshore Sigma -tuulipuistoa ja sen kanssa. Tummansinisellä on merkitty alueet, joilla veden syvyys on alle 50 metriä.

IWRAP määrittelee todennäköisyysjakauman eri ajosuunnille aluksille, joihin vaikuttaa sähkökatkos ja ajelehtiminen. Aluksen ajelehtimissuunta määräytyy tuulen suunnan mukaan ja alueilla, joilla on voimakkaita virtauksia, virtaussuunnan mukaan. Kyseisellä merialueella virtausolosuhteiden ei katsota olevan sellaiset, että ne vaikuttaisivat merkittävästi ajelehtimissuuntaan. Tämän vuoksi oletetaan, että ajelehtimissuunta määräytyy ensisijaisesti tuulen suunnan mukaan. Mallissa ajelehtimissuunnan jakautuminen on siksi perustunut kuvan 2.1 tuuliruusuun. Vallitseva lounaasta tuleva tuulen suunta tarkoittaa, että ajelehtivat alukset ajelehtivat monissa tapauksissa koilliseen.

5.1.1 Bothnia Offshore -tuulipuiston vuoksi muuttunut liikennesuunnitelma Sigma

Sigman tuulipuiston perustamisen jälkeen oletetaan, että kauppalaivat, jotka ovat aiemmin kulkeneet lähialueen reittejä, voivat jatkaa suunnilleen samoja reittejä kuin nykyisin. Sigman länsipuolta lähimpänä kulkevan liikenteen (Husumin liikenne) oletetaan ruuhkautuvan jonkin verran, mikä mallinnetaan IWRAP-mallissa vähentyneenä sivuttaisjakautumana ja *osuuden 2* ja *osuuden 6* keskipisteen siirtymisenä, ks. kuva 5.2. Muutoin nykyiseen alusliikenteeseen perustuvan IWRAP-mallin *osuuksiin* ja *reittipisteisiin* ei tehdä muutoksia.

Joitakin pienempiä aluksia, kuten kalastusveneet, pienet työ- ja huoltoveneet sekä huviveneet, kulkevat todennäköisesti tuulipuiston tuulivoimaloiden välistä. Nykyisissä IWRAP-malleissa tuulipuisto on mallinnettu suljetuksi alueeksi, mikä tarkoittaa, etteivät alukset voi kulkea alueen läpi. Sen vuoksi vaaratilanteiden ja onnettomuuksien todennäköisyyslaskelmissa kaiken liikenteen oletetaan kulkevan tuulipuiston ulkopuolisia reittejä pitkin.



Kuva 5.2 Nykyiset liikennemallit, jotka perustuvat AIS-tietoihin vuodelta 2023 ja IWRAP-mallissa määriteltyyn jalkaan.

5.1.2 Matemaattinen malli

Matemaattinen malli perustuu todennäköisyysmalliin, jossa geometriset olosuhteet määrittelevät joukon niin sanottuja törmäys- tai karilleajokandidaatteja eli mallin, jolla lasketaan todennäköisyys sille, että alukset ajavat karille tietyssä paikassa, jos mitään ei tehdä, ja todennäköisyys sille, että kaksi alusta törmää toisiinsa tietyssä reittipisteessä tai jollakin määritellyistä reittiosuoksista, jos alukset eivät tee mitään. Ehdokkaiden lukumäärä kerrotaan empiirisesti määritellyillä syy-yhteyksillä, jotka kuvaavat todennäköisyyttä, että teknisestä tai inhimillisestä virheestä johtuvaa vaarallista kurssia ei korjata ajoissa ja että se johtaa törmäykseen tai karilleajoon. Erilaisiin törmäys- ja karilleajoskenaarioihin käytetään erilaisia syy-yhteyksiä, joita kuvaillaan seuraavasti:

Törmäys (kahden aluksen välillä) - riippuen siitä, missä se tapahtuu, luokitellaan seuraavasti:

headOn - törmäys vastaantulevien alusten välillä

ohitus - törmäys samalla ajokaistalla tapahtuvassa ohituksessa.

risteys - törmäys laivaväylien risteyksessä

sulautuminen - törmäykset solmukohdissa, joissa laivaväylät yhtyvät toisiinsa.

mutka - törmäykset solmupisteissä, joissa väylä kaartaa.

Maadoitukselle on ominaista joko:

konekäyttöinen karilleajo - kun alus ajetaan karille inhimillisen erehdyksen vuoksi työntövoiman aikana tai

ajopurjehdus - kun alus ajetaan karille teknisen vian ja sähkökatkoksen vuoksi ilman, että työntövoimakoneisto on käynnissä.

Törmäyksiä luonnehditaan samalla tavoin maahansyöksyiksi:

moottorilla tapahtuva törmäys - kun alus purjehtii inhimillisen erehdyksen vuoksi tuulivoimapuistoon propulsiovoimalla tai

ajelehtiva törmäys - kun alus ajautuu teknisen vian ja sähkökatkoksen vuoksi tuulipuistoon ilman käyttökoneistoa.

Törmäys-, karilleajo- ja törmäystodennäköisyyksien numeeriset arvot on laskettu käyttäen eri *syytekijöiden* oletusarvoja, ks. luku 8.3. Koska kyseiseltä merialueelta ei ole kattavia rekisteröityjä vaaratilannetilastoja, oletusarvoja ei ole mukautettu siten, että ne vastaisivat laskettuja tuloksia. Tämä tarkoittaa, että ilmoitettuja arvoja ei pidä tulkita absoluuttisina lukuina, vaan niitä on analysoitava ainoastaan vertailevasta näkökulmasta, jotta voidaan tunnistaa mahdolliset merkittävät erot onnettomuuksien todennäköisyyksien välillä nykytilanteessa ja niiden todennäköisyyksien välillä, joita voidaan odottaa esiintyvän, kun tuulipuisto on perustettu.

Laskelmat tehdään alueen nykyiselle liikennemäärälle, ja malli käyttää vuoden 2023 AIS-tietoja törmäysten ja yhteentörmäysten todennäköisyyden laskemiseksi. Laskelmat tehdään kahdelle eri tapaukselle:

- *A: Ilman tuulipuistoa*
Edustaa nollavaihtoehtoa, ja se lasketaan, jotta voidaan vertailla, miten toimipaikka vaikuttaa onnettomuustodennäköisyyksiin. Mallin on tarkoitus kuvastaa merialueen nykyisiä liikennemalleja.
- *B: Bothnia Offshore Sigma -tuulipuiston ja mukautetun liikennekaavion kanssa.*
Tarkoittaa tapausta, jossa tuulipuisto on perustettu. Tapaukseen A verrattuna sivuttaista hajontaa on pienennetty *osuudella 2* ja *osuudella 6*, koska oletetaan, että 98 prosenttia *osuuden 2* liikenteestä kulkee vähintään 0,5 metrin etäisyydellä tuulipuiston länsireunasta.

5.1.3 Tulos

Taulukossa 5.1 esitetään arvioidut törmäys- ja törmäystodennäköisyydet sekä kaikenlaisten vaaratilanteiden kokonaistodennäköisyys kahdessa eri tapauksessa.

Taulukko 5.1 Lasketut onnettomuustodennäköisyydet (vaaratilanteet/vuosi) ja vastaavat toistumisjaksot (vaaratilanteiden väliset vuodet). E tarkoittaa kymmenen potenssikertoimen arvoa, esim. E-04 = 10^{-4} .

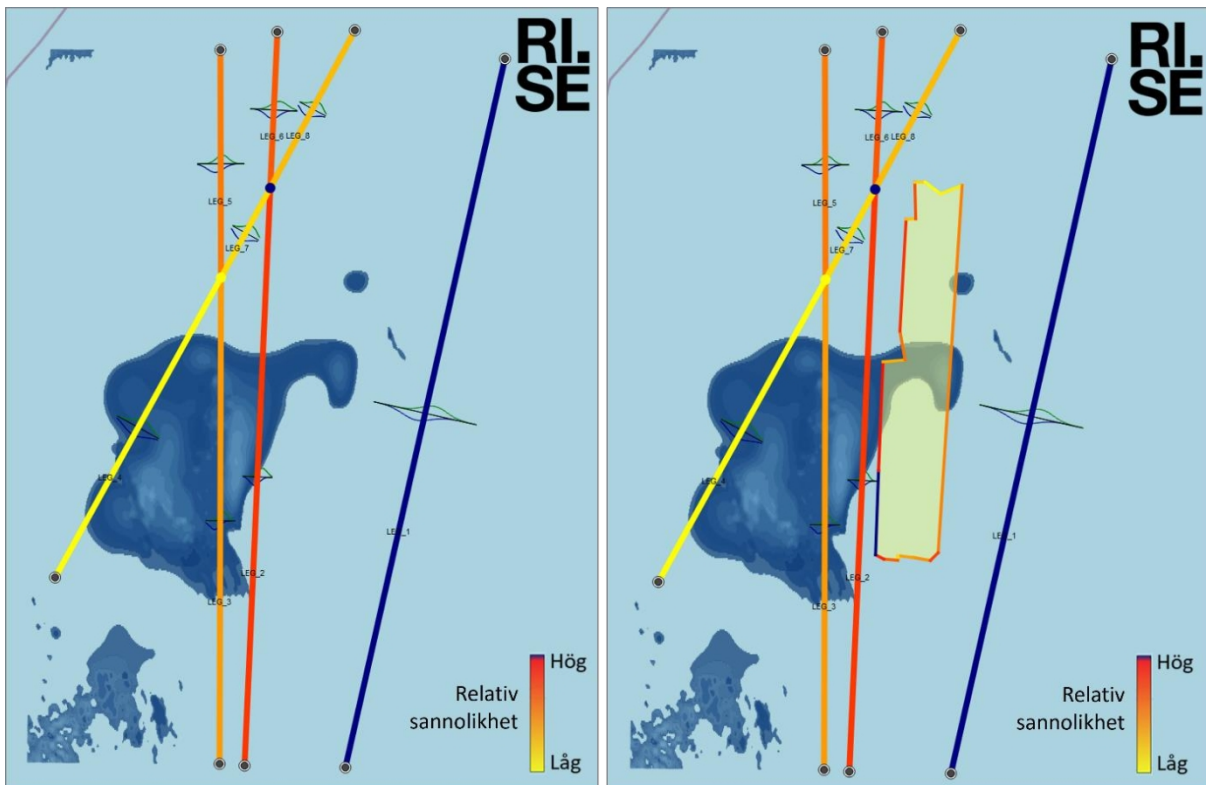
	A. Ilman tuulipuistoa		B. Tuulipuiston kanssa	
	Tapahtumat/vuosi	Tapahtumien väliset vuodet	Tapahtumat/vuosi	Tapahtumien väliset vuodet
Powered Allision	---		1,97E-05	50 761
Drifting Allision	---		1,92E-02	52
Kaikki erot yhteensä	---		1,92E-02	52
Ohittaminen	3,95E-05	25 316	4,01E-05	24 938
HeadOn	1,84E-04	5 435	1,88E-04	5 319
Crossing	8,72E-06	114 679	8,72E-06	114 679
Yhdistäminen	---	---	---	---
Bend	---	---	---	---
Törmäykset yhteensä	2,32E-04	4 310	2,36E-04	4 237
Tapahtumat yhteensä	2,32E-04	4 310	1,94E-02	52

Koska oletetaan, että Sigman länsipuolta lähimpänä kulkeva liikenne (Husumin liikenne) on tiiviisti koolla ja sen sivuttaishajonta on vähäisempää, arvioitu törmäystodennäköisyys kasvaa hieman, kun

tuulipuisto otetaan käyttöön. Liikenteen ruuhkautuminen lisää *ohitusten* ja *nokkakolareiden* todennäköisyyttä.

Tapauksen B osalta laskettu törmäystodennäköisyys on $1,92 \times 10^{-2}$, mikä voidaan ilmaista myös vuorovaikutuksena tuulipuiston kanssa, eli tuulipuistoon ajautuvan tai purjehtivan aluksen voidaan odottaa ajelehtivan tai purjehtivan tuulipuistoon keskimäärin kerran 52 vuodessa.

Kuvassa 5.3 on IWRAP-kuva, josta käy ilmi, missä *osissa* ja *reittipisteissä* törmäyksen todennäköisyys on suurin ja missä tuulipuiston osassa törmäyksen todennäköisyys on suurin. Kuvissa käytetyssä sinipuna-keltaisessa väriasteikossa tummansininen väri osoittaa tuulipuiston, *osuuden* tai *reittipisteen* osaa, jossa törmäystodennäköisyys on suurin. Punainen väri tarkoittaa pienempää todennäköisyyttä ja keltainen väri pienintä todennäköisyyttä. Väriasteikko on suhteellinen kussakin IWRAP-laskennassa, eli tietty väri voi liittyä erilaisiin absoluuttisiin todennäköisyyksiin eri laskentatapauksissa.



Kuva 5.3 Värikoodattu kuva laskennallisesta todennäköisyydestä tapauksessa A: ilman tuulipuistoa (vasemmalla) ja tapauksessa B: tuulipuiston kanssa (oikealla). Väriasteikko on suhteellinen, ja sinisellä on merkitty etappi (värilliset keltaiset, oranssit, punaiset ja siniset viivat) ja reittipiste (täytetty ympyrä, värillinen tai musta), jonka törmäystodennäköisyys on suurin.

Kuvasta 5.3 käy ilmi, että törmäystodennäköisyys on suurin *osuudella 1* eli tuulipuiston itäpuolella olevalla laivaväylällä, jolla on liikennettä Södra Merenkurkun ja Norra Merenkurkun välillä. Siitä käy myös ilmi, että törmäystodennäköisyys on suurin etelässä tuulipuiston länsipuolella.

5.2 Muiden tunnistettujen vaarojen todennäköisyyksien arviointi.

Vaarojen yhteydessä tunnistettiin useita vaaroja, joihin ei suoraan oleteta liittyvän yhteentörmäystä, pohjakosketusta tai törmäystä ja joita ei näin ollen voida laskea IWRAP-ohjelmalla.

5.2.1 Huolto- ja kunnossapitoalukset, jotka liikennöivät laivaväyliä kautta.

Toimintavaiheessa tuulipuisto aiheuttaa lisäliikennettä huolto- ja kunnossapitoalusten muodossa, jotka kulkevat tuulipuistoon ja sieltä pois. Huolto- ja kunnossapitoalusten odotetaan kulkevan tuulipuistoon ja sieltä pois päivittäin, mikä tarkoittaa noin 700 kulkua vuodessa.

Satamaa, josta nämä alukset lähtevät, ei ole määritetty, mutta todennäköisenä pidetään tuulipuiston länsipuolella sijaitsevaa satamaa. Jos näin oletetaan, huolto- ja kunnossapitoalukset ylittävät Sigman länsipuolella olevat laivaväylät eli laivaväylät Husumiin ja Husumista sekä Örnköldsvikiin ja Örnköldsvikistä, mikä lisää törmäystodennäköisyyttä. Huolto- ja kunnossapitoalukset ovat kuitenkin pieniä, ja niiden oletetaan olevan hyvin ohjattavissa, mikä rajoittaa näiden alusten ja reiteillä liikennöivien alusten välisten yhteentörmäysten todennäköisyyttä.

5.2.2 Rakennusliikenne

Suunnittelun tuulivoimapuiston rakennusvaihe on suhteellisen lyhyt verrattuna tuulivoimapuiston toimintavaiheeseen. Perustaminen merkitsee kuitenkin lisääntyneitä liikennettä alueella, ja alueen merenkulkuun voi kohdistua suurempia vaikutuksia tämän vaiheen aikana. Tuulivoimapuiston elinkaaren jälkeisen käytöstäpoistovaiheen oletetaan olevan pitkälti samanlainen kuin rakennusvaiheen, ja se lisää myös liikennettä alueella.

Perustaminen kestää todennäköisesti kolmesta neljään vuotta. Rakennustöitä ei tehdä talvella, ja töiden voidaan odottaa kestävän noin kahdeksan kuukautta vuodessa, huhtikuusta marraskuuhun, mikä tarkoittaa 275 päivää vuodessa ja yhteensä 825-1 100 päivää rakentamiseen.

Lisäliikennettä tulee olemaan erikokoisista aluksista, kuten miehistö- ja vartioveneistä, perustusten kuljetukseen tarkoitetuista proomuista, ruoppausaluksista, kaapelinlaskualuksista, tukialuksista ja muista *offshore-huoltoaluksista*. Nämä yksiköt kulkevat eri tiheydellä ja mahdollisesti eri reittejä hankealueelle, joten niillä on erilaisia vaikutuksia muuhun meriliikenteeseen. Ne eroavat toisistaan myös kokonsa ja ohjattavuutensa suhteen. Miehistön vene on pieni, noin 15-25 metriä pitkä ja hyvin ohjattava yksikkö, kun taas esimerkiksi perustusten ja tuulivoimaloiden kuljettamiseen tarkoitettu proomu voi olla kokonaispituudeltaan noin 250 metriä pitkä ja suhteellisen hidas ja ohjattava.

Rakennusvaiheen tunnistetuista vaaroista kriittisimpinä pidetään riskejä, jotka liittyvät lisääntyneeseen liikenteen intensiteettiin ja laivaväyliin tai vakiintuneiden reittien mahdolliseen ylittämiseen. Muiden tunnistettujen rakennusvaiheen vaarojen, kuten törmäyksen rakenteisiin rakenteilla oleviin rakenteisiin ja törmäyksen tuulipuiston sisällä oleviin kiinteisiin asennusaluksiin, todennäköisyys arvioidaan vähäisemmäksi. Myös seurausten arvioidaan olevan useimmissa tapauksissa lievempiä.

Tuulipuiston rakentamiseen osallistuvat alukset liikkuvat valmistus- tai laivasatamaan, materiaalin varastosatamaan ja asennussatamaan ja sieltä pois. Asennussatama on satama, josta käsin ihmisten ja pienten komponenttien kuljetukset tapahtuvat, ja sinne ja sieltä pois kuljetaan useimmiten päivittäin edestakaisin. Suurin osa tästä liikenteestä koostuu miehistön veneistä. Vielä ei ole päätetty, mitä satamia käytetään ja minne suuret komponentit, kuten perustukset ja turbiinit, toimitetaan.

Perustukset kuljetetaan suoraan valmistuksesta hankealueelle, joten perustusten kuljetus tapahtuu Södra Merenkurkun kautta. Turbiinien osalta välivarastointia voidaan tarvita lähempänä sijaitsevassa satamassa.

Keskimäärin neljän aluksen oletetaan kulkevan hankealueelle ja sieltä pois päivässä. Jos oletetaan 275 työpäivää vuodessa, tämä tarkoittaa noin 2 200 laivaliikennettä alueelle ja alueelta vuodessa (8 laivaliikennettä päivässä alueelle ja alueelta) ja yhteensä 6 600-8 800 laivaliikennettä koko rakennusvaiheen aikana.

Jos asennussatamana käytetään tuulipuiston länsipuolella sijaitsevaa Ruotsin mantereella sijaitsevaa satamaa, rakennustyömaan liikenne joutuu kulkemaan pienempien laivaväyliin kautta, jotka kulkevat Södra Kvarkenin ja Ruotsin rannikon satamien välillä, pääasiassa Sundsvallin, Örnköldsvikin ja Husumin väylien kautta. Näillä reiteillä liikennöi yhteensä noin 1 400 alusta vuodessa (noin 700 Sundsvallin reitillä, noin 350 Örnköldsvikin reitillä ja noin 300 Husumin reitillä), mikä vastaa hieman yli 3-4 alusta päivässä. Lisääntynyt rakennusliikenne reitillä voi siis lisätä törmäysten todennäköisyyttä.

Riskien vähentämistoimenpiteitä oletetaan toteutettavan siten, että rakennustöistä tiedotetaan selkeästi ja usein Ufs:n ja NtM:ien välityksellä. Tämän oletetaan vaikuttavan useimpiin tunnistettuihin vaaroihin. Toimenpiteiden, kuten alueen visuaalinen merkitseminen racon⁶-tai tutkaheijastimilla varustetuilla poijuilla ja alueen selkeä määrittely ja merkitseminen merikarttoihin, katsotaan myös olevan tehokkaita riskien vähentämistoimenpiteitä, joilla on vaikutusta useimpiin tunnistettuihin riskeihin. Olisi myös toteutettava toimenpiteitä, joilla rajoitetaan läheisten laivaväylien läheisyydessä sijaitsevien lauttojen aiheuttamaa häikäisyä.

Rakennusvaihetta koskeva erillinen yksityiskohtaisempi riskianalyysi olisi tehtävä myöhemmässä vaiheessa, kun tuulivoimapuistosta, sen suunnittelusta ja rakennusvaiheen aikana tapahtuvasta kuljetuksesta tiedetään enemmän yksityiskohtia. Näin voidaan tunnistaa kriittisimmät osatekijät ja toteuttaa asianmukaiset turvallisuustoimenpiteet, jolloin voidaan varmistaa, että työt voidaan toteuttaa turvallisesti. Uusi erillinen riskianalyysi olisi myös tehtävä ennen käytöstä poistamista.

5.2.3 Muu liikenne Bothnia Offshore Sigman tuulipuiston alueella ja sen ympäristössä

IWRAP-laskelmissa ei ole otettu huomioon huviveneiden liikennettä, koska useimmissa huviveneissä ei ole AIS-A-transponderia, eivätkä käytettävissä olevat AIS-tiedot näin ollen kata niitä. Sigman hankealue sijaitsee kaukana rannikosta ja saaristosta, minkä vuoksi alueella liikkuu vain vähän huviveneilyä. Tämän vahvistavat myös huviveneliikenteen tiheysdiagrammit, jotka osoittavat, että huviveneiden määrä kyseisellä alueella on AIS-B⁷-tietojen perusteella hyvin vähäinen (EMODnet, 2024).

Koska tuulivoimaloiden välinen etäisyys on kuitenkin noin 1 metri, huviveneiden katsotaan voivan kulkea turvallisesti tuulipuiston läpi. Todennäköisyys törmätä mihinkään tuulivoimalaan arvioidaan vähäiseksi, koska tuulivoimaloiden välinen etäisyys on suuri ja huviveneilyn intensiteetti on hyvin pieni. Kesäkaudella, jolloin veneilyn intensiteetti on suurimmillaan, sääolosuhteet ovat usein suotuisat, mikä myös vähentää törmäysten todennäköisyyttä.

Vuoden 2023 AIS-tietoihin perustuvissa alusjäljissä on jälkiä kalastuksesta Sigman etelä- ja länsipuolella. Kalastusalueet vaihtelevat vuosittain, ja joinakin vuosina kalastusta voi tapahtua lähempänä hankealuetta. Pienten, alle 13-metrinen kalastusalusten osalta AIS-järjestelmää ei vaadita, mutta monilla pienillä kalastusaluksilla on kuitenkin turvallisuussyistä AIS-järjestelmä, ja siksi voidaan olettaa, että liikenneanalyysi kattaa useimmat kalastusalukset. Samoin kuin huviveneiden kohdalla katsotaan kuitenkin, että kaikki kauttakulkumatkalla olevat kalastusalukset voivat liikkua turvallisesti tuulipuiston läpi, ja törmäyksen todennäköisyyttä kalastusalukseen pidetään vähäisenä, koska törmäyksiä tapahtuu vain vähän.

Huolto- ja kunnossapitoveneiden sekä kalastus- ja huviveneiden lisäksi alueen kautta saattaa kulkea myös joitakin muita pienempiä veneitä, kuten pieniä työaluksia ja meripelastusveneet. Tämän liikenteen laajuus arvioidaan kuitenkin hyvin vähäiseksi.

5.2.4 Häiriöt merenkulun tutkissa

Tuulipuiston läheisyydessä kulkevat alukset ovat vaarassa joutua tutkahäirinnän kohteeksi. Käytössä on kaksi erityyppistä tutkaa: S-kaista, jonka aallonpituus on 10 cm, ja X-kaista, jonka aallonpituus on lyhyempi, 3 cm. Navigointiin ruuhkaisilla ja rajoitetuilla alueilla käytetään useimmiten X-kaistaa, koska sillä voidaan havaita paremmin, mitä lähialueella liikkuu. S-kaista on enemmänkin yleistutka, mutta se on välttämätön varhaisessa havaitsemisessa.

Kun automaattisia tutkaluotaimia (ARPA) käytetään tuulipuiston läheisyydessä olevien tutkakohteiden, kuten tuulipuiston läpi kulkevan pienen aluksen, seurantaan, ARPA saattaa menettää luotaimensa ja siirtyä toiseen kohteeseen, mikä tunnetaan nimellä "kohteen vaihto". Myös mahdollisuus seurata tutkakohdetta

⁶Racon: RAdar beaCON, tutkamajakka, SSA:han asennettu transponderi, joka auttaa tunnistamisessa.

⁷B-luokan AIS-transpondereita käyttävät pienemmät alukset ja veneet, joihin ei sovelleta samoja AIS-vaatimuksia. B-luokan transponderit lähettävät tietoja harvemmin kuin A-luokan transponderit.

ja muutamat tärkeät tiedot CPA⁸ ja TCPA⁽⁹⁾ -sopimuksista menetetään. Tutkimukset ovat osoittaneet, että tutkahäiriöiden minimoimiseksi on noudatettava erityistä huolellisuutta pulssin pituuden, kantaman valinnan ja vahvistuksen suhteen 1,5 metrin etäisyydelle tuulipuistosta. Tuulivoimaloiden ja laivatutkien välinen vuorovaikutus voi tuottaa vääriä kaikuja, ja tutkahäiriöitä voi esiintyä samalla etäisyydellä laivasta kuin tuulivoimalasta (PIANC, 2018).

PIANC:n mukaan tuulipuiston ohittaminen alle 1,5 metrin (2 778 m) etäisyydeltä voi aiheuttaa häiriöitä aluksen tutkan S-kaistalle, mitä PIANC pitää keskiuurena riskinä, koska se voi johtaa pieneen kohdehäviöön. Tämä voi johtaa esimerkiksi siihen, että pienemmät veneet tai muut pienet esteet eivät näy tutkassa ja havaitaan siten liian myöhään. Alle 0,25 M:n (noin 500 m) etäisyydeltä ohitettaessa voi myös esiintyä häiriöitä tutkan X-kaistalla, mikä voi johtaa haamukaihin eli niin sanottuihin vääriin kaikiin, jotka PIANC:n mukaan muodostavat erittäin suuren riskin.

Se, mitä ja kuinka paljon häiriövaikutuksia esiintyy, riippuu useista tekijöistä. On todennäköistä, että suurempi etäisyys tuulivoimaloiden välillä johtaa pienempiin vaikutuksiin, kun taas suuremmat tuulivoimalat todennäköisesti lisäävät jonkin verran häiriövaikutuksia. Häiriön määrä riippuu myös yksittäisen aluksen tutkan sijainnista (L.S.Rashid, 2007). Todellinen tutkahäiriövaikutus tuulipuistossa, jossa on suuria tuulivoimaloita, mutta jossa kunkin voimalan välinen etäisyys on suurempi, on mallinnettava ja tutkittava kunkin yksittäisen tuulipuiston osalta, jotta se voidaan määrittää.

Ei ole mahdollista sanoa varmuudella, miten alukset liikkuvat Sigman tuulipuiston ympärillä, mutta useimpien alusten oletetaan kulkevan riittävän kaukana tuulipuistosta, jotta X-taajuuksien häiriöitä ei esiinny. S-taajuushäiriöitä voi kuitenkin esiintyä erityisesti Sigman länsipuolen eteläosassa, jossa liikenne kulkee lähimpänä, minkä PIANC katsoo olevan keskiuuri riski. Mahdolliset tutkahäiriövaikutukset ovat kriittisimpiä kääntöpaikoilla ja jos laivaväyliä ylitetään tuulipuiston läheisyydessä. Sigman länsipuolella etelään suuntautuvat alukset saattavat kulkea tuulipuiston läheltä. Ne voivat siksi kärsiä tutkahäiriöistä, mikä voi aiheuttaa vaikeuksia havaita itään suuntautuvia aluksia, jotka ovat matkalla ohittamaan Sigman eteläpuolta. Etelään menevien alusten on annettava tietä, ja jos ne eivät havaitse itään meneviä aluksia ajoissa, voi syntyä törmäysvaara. Etelään suuntautuvalla liikenteellä on kuitenkin tilaa tehdä törmäyksen väistöliike työrpuuriin. Sigman eteläpuolella liikenne on hyvin vähäistä, joten tämältyyppisen törmäystilanteen todennäköisyys on pieni. Myös Sigman länsipuolella pohjoiseen menevillä aluksilla on tilaa väistöliikkeeseen luoteiskulmassa, jos länteen menevä alus ohittaa Sigman pohjoispuolella.

Alueen läpi kulkevaa liikennettä, kuten kalastusaluksia, voi myös olla vaikea havaita tuulipuiston ulkopuolella olevien alusten kannalta tutkahäiriöiden vuoksi. Alueen läpi kulkevien alusten ja tuulipuiston lähellä kulkevien alusten välisen yhteentörmäyksen todennäköisyyttä pidetään pienenä, koska liikennemäärät ovat vähäisiä reitillä ja koska alueen läpi kulkevien kalastusalusten ja huviveneiden tiheyden katsotaan olevan suhteellisen pieni. Alueella liikennöi myös huolto- ja kunnossapitoaluksia, joiden havaitseminen tutkan häiriöiden vuoksi voi olla vaikeaa. Niiden oletetaan kuitenkin olevan nopeita ja hyvin ohjattavia, mikä tarkoittaa hyviä mahdollisuuksia välttää mahdollinen törmäys.

5.2.5 Vaikeudet mahdollisen vuodon torjunnassa.

Tuulivoimalat voivat vaikeuttaa kulkua ja rajoittaa pääsyä tuulipuiston sisällä. Jos tuulipuiston läheisyydessä tapahtuu öljyvahinko, öljyn eristämistä ja talteenottoa voi vaikeuttaa se, että rannikkovartioston alukset eivät voi toimia alueella vapaasti.

⁸Lähestymiskohta. Laskennallinen vähimmäiskulkuetäisyys tutkalta kohteeseen.

⁹Aika lähimpään lähestymispisteeseen: aika lähimpään lähestymispisteeseen, jos ei ryhdytä toimenpiteisiin.

Oletuksena on, että tuulipuistoa käyttävät ainoastaan huolto- ja kunnossapitoalukset ja jotkut pienemmät veneet. Tuulivoimapuiston alueella tapahtuvan suuren öljyvuodon todennäköisyyttä pidetään näin ollen hyvin pienenä. Tuulivoimaloiden osat, jotka sisältävät öljyä tai kemikaaleja, varustetaan keräysastioilla tai vastaavilla rakenteilla sen varmistamiseksi, että mitään ei pääse mereen esimerkiksi huollon aikana tai rakenteen vaurioituessa.

Tuulivoimapuisto sijaitsee kaukana matalista alueista, joilla alukset voivat ajaa karille, joten on epätodennäköistä, että tuulivoimapuisto vaikuttaisi eristämisen ja talteenotto-olosuhteisiin karilleajasta aiheutuvan öljyvuodon sattuessa. Myös törmäystilanteet voisivat johtaa öljyvuotoon. Jos törmäys tapahtuu tuulipuiston läheisyydessä, esimerkiksi tuulipuiston länsipuolella olevalla laivaväylällä, jossa vallitsevan tuulen suunnan vuoksi öljy ajautuisi monissa tapauksissa kohti tuulipuistoa, mahdollisuudet öljyvuodon rajoittamiseen ja torjuntaan ennen kuin se saavuttaa tuulipuiston, ovat pienet. Tuulivoimapuiston itäpuolella lähimmät matalat alueet ja öljylle erityisen herkäät alueet ovat kuitenkin kaukana, joten tuulivoimapuiston itäpuolella tuulivoimapuiston läpi ajautuneen öljyvuodon torjunta voi olla mahdollista ennen kuin se pääsee herkille alueille.

Useimmissa aluksissa on öljyä tai öljytuotteita bunkkereina (diesel, kaasuöljy tai raskas polttoöljy), jotka voivat onnettomuustilanteessa aiheuttaa suhteellisen suuria vuotoja. Jos onnettomuus kuitenkin osuu säiliöalukseen, vuoto voi olla paljon suurempi, koska säiliöalukset saattavat kuljettaa suuria määriä öljyä tai öljytuotteita lastinaan. Sigman länsipuolella (Husumin liikenne ja Örnköldsvikin liikenne) kulkeneista noin 600 aluksesta noin 60 oli säiliöaluksia. Itäpuolella kulki noin 300 säiliöalusta noin 1 600 aluksesta. Alueella liikennöivät säiliöalukset ovat pääasiassa suhteellisen pieniä tuote- ja nestekaasusäiliöaluksia, mikä rajoittaa suuronnettomuuden todennäköisyyttä tuulipuiston läheisyydessä.

5.2.6 Talvimerenkulku

Vain ankarina jäätalvina alue on jään peitossa. Viimeisten 42 vuoden aikana alue on ollut jääpeitteinen 33 % talvista. Ilmastonmuutoksen vuoksi ankarien jäätalvien, jolloin jää peittää suuren osan Perämerestä, odotetaan esiintyvän tulevaisuudessa harvemmin.

Vaikka hankealueella ei olisikaan jäätä, jääolosuhteet lähempänä rannikkoa voivat kuitenkin olla sellaiset, että se vaikuttaa liikennemalleihin ja että suositetaan normaalia kauempaa sijaitsevia reittejä. Tämä voi tarkoittaa, että Sigman tuulipuisto vaikuttaa jonkin verran talvimerenkulkuun myös tavanomaisina jäätalvina, koska se voi muodostaa esteen tai vaaran, kun useampi alus kulkee lähistöllä.

Kovina talvina, kun tuulipuiston ympäristössä on jäätä, alukset voivat juuttua jäähän. Tällöin tuulipuisto aiheuttaa törmäysvaaran, jos alus ajautuu kohti tuulipuistoa. Tällaisen skenaarion todennäköisyys on kuitenkin pieni, koska hankealueen läheisyydessä ei ole jäätä useimpina talvina. Jäähän juuttuneiden alusten yhteentörmäysriskiä voidaan vähentää tai se voidaan poistaa tarjoamalla apua tuulipuiston lähellä kulkeville aluksille tai asettamalla jäänmurtajat lähistölle.

Tuulipuisto voi näin ollen lisätä jäänmurtajien avun tarvetta ankarina talvina, jolloin jäänmurtajien kapasiteetti on jo nyt hyvin kuormitettu. Tämä voi mahdollisesti aiheuttaa kapasiteettipulaa ja pidentää avun odotusaikoja. Todennäköisyys, että tuulipuisto vaikuttaisi merkittävästi avun odotusaikoihin, katsotaan hyvin vähäiseksi, koska alueen jääpeite on vähäinen.

Tietyissä jääolosuhteissa tuulivoimapuisto voi estää helpoimman ja parhaan reitin osalle liikenteestä, jolloin liikenne voi joutua käyttämään muita reittejä. Useimmissa tapauksissa voidaan kuitenkin olettaa, että puistoalueen ulkopuolella on vaihtoehtoisia reittejä. Jos puiston länsipuolella on vaikeat jääolosuhteet, itäpuolella on useimmiten helpompi, mutta pidempi reitti. Vastaavasti monissa tapauksissa, joissa puiston itäpuolella on vaikeat jääolosuhteet, puiston länsipuolella on kulkumahdollisuuksia. Tämän perusteella arvioidaan, että useimmissa tapauksissa laivaliikenteen on mahdollista kulkea turvallisen ja riittävän kaukana tuulipuistosta myös talvella. Tässä otetaan myös huomioon, että

alusten ohjattavuus heikkenee jääolosuhteissa, ja turvaetäisyydet voivat olla suurempia kuin jäättömissä olosuhteissa. Skenaariossa, jossa lähistöllä on useita tuulipuistoja, vaihtoehtoisten reittien ja riittävän kaukana tuulipuistoista sijaitsevien reittien olosuhteet voivat kuitenkin olla suuremmassa määrin heikentyneet.

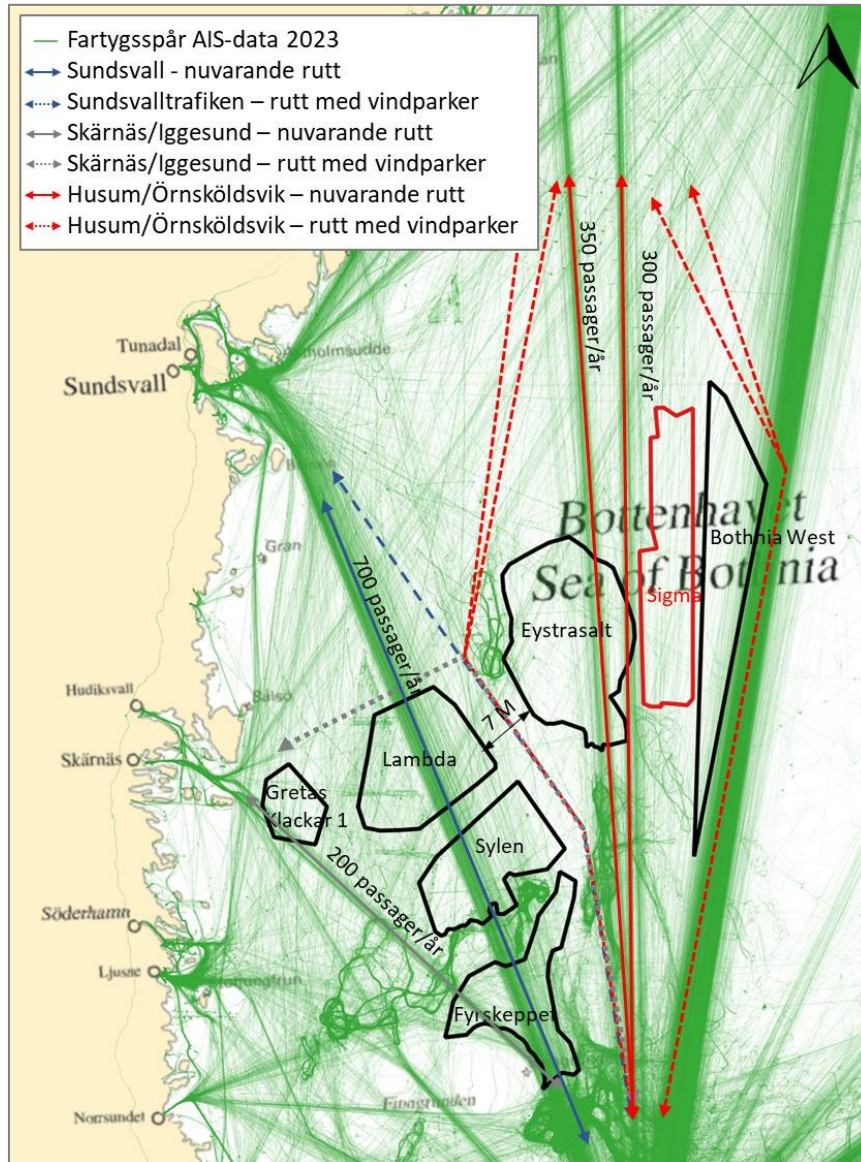
Olettaen, että Sigman tuulivoimapuisto on alueen ainoa tuulivoimapuisto ja että hankealueella ja sen ympäristössä on jäätä vain tiettyinä talvina, tuulivoimapuiston ei katsota vaikuttavan merkittävästi talvimerenkulkuun kohdistuviin riskeihin.

5.2.7 Kumulatiiviset vaikutukset - merenkulun riskit

Jos kaikki seitsemän tässä analyysissä tarkasteltua tuulipuistoa saisivat luvan ja perustettaisiin hakemuksissa suunniteltujen laajennusten mukaisesti, se lisäisi merenkulun riskejä alueella. Yhteentörmäysten todennäköisyys kasvaa, kun alusliikenteen tila pienenee ja liikenne keskittyy harvemmille reiteille. Tuulivoimalat merkitsisivät myös vaikeampia navigointiväyliä, joilla on enemmän kääntöpaikkoja, mikä myös lisää törmäysten todennäköisyyttä. Jos Eystrasaltin tuulivoimapuisto perustetaan sen soveltamisalueelle, se merkitsee reittimuutoksia Husumiin ja Örnköldsvikiin suuntautuvalla ja sieltä lähtevälle liikenteelle. Skenaariossa, jossa kaikki seitsemän tarkasteltua tuulipuistoa on perustettu, Husumin ja Örnköldsvikin liikenteelle on määritetty kaksi vaihtoehtoista reittiä, ks. kuva 5.4. Läntinen reitti, jolla kuljetaan Lamdban ja Eystrasaltin välillä, sisältää kaksi ylimääräistä kääntöpistettä, ja siihen katsotaan liittyvän suuremmat riskit kuin itäiseen reittiin, jota pidetään navigoinnin kannalta yksinkertaisempana ja johon sisältyy vain yksi ylimääräinen kääntöpaikka. Törmäyksen todennäköisyys katsotaan suuremmaksi läntisellä reitillä kuin itäisellä reitillä, koska sillä kuljetaan tuulivoimaloiden välistä ja mahdollisesti Lamdban tuulivoimapuiston läheltä, jossa vallitseva lounaistuulen suunta on törmäyksen kannalta epäsuotuisa. Itäreittiä valittaessa *ajelehtivan törmäyksen* todennäköisyyttä pidetään pienempänä. Ei ole mahdollista määrittää, minkä reitin alukset valitsevat, ja se todennäköisesti vaihtelee eri alusten välillä ja senhetkisten sää- ja tuuliolosuhteiden mukaan. Kaiken kaikkiaan törmäystodennäköisyys alueella kasvaa kumulatiivisena vaikutuksena, kun alueelle perustetaan useita tuulipuistoja ja useammat alukset kulkevat tuulipuistojen läheltä ja pidempiä matkoja pitkin kuin jos alueelle perustetaan vain Sigman tuulipuisto.

Lamdban ja Eystrasaltin välinen etäisyys on noin 7 M. Husumiin ja Örnköldsvikiin suuntautuvan ja sieltä lähtevän liikenteen lisäksi käytävää käyttää myös Sundsvallin ja Sundsvallin välinen liikenne sekä osa Skärnäsän ja Iggesundin ja Skärnäsistä ja Iggesundista lähtevästä liikenteestä, joka on aiemmin kulkenut Fyrskpetin eteläosan kautta. Kaikkiaan käytävän kautta kulkee arviolta noin 1 500 vuoroa vuodessa, kun otetaan huomioon nykyiset liikennemäärät kyseisillä reiteillä. Liikenteen intensiteetti luokitellaan näin ollen taulukon mukaan erittäin vähäiseksi (1).

1,2 ja 7 M:n leveyttä pidetään siten riittävänä törmäystodennäköisyyden ja väistämismahdollisuuksien kannalta. Käytävä on noin 24 M pitkä, mikä tarkoittaa, että PIANC:n ohjeiden mukaan käytävän leveyden tulisi olla vähintään 8,7 M, kun otetaan huomioon mahdollinen jopa 20 asteen ajautuminen (PIANC, 2018).



Kuva 5.4 Tunnistetut reittimuutokset, jos kaikki seitsemän tuulipuistoa perustetaan.

Koska alueella on useita tuulipuistoja ja siten navigoinnin kannalta vaikeampia reittejä, aluksilla on kiinnitettävä entistä enemmän huomiota aluksiin pidemmillä matkoilla. Kaiken kaikkiaan tämä voi lisätä väsymyksen ja inhimillisten virheiden todennäköisyyttä ja siten onnettomuusriskiä.

On epätodennäköistä, että kaikille haetuille tuulipuistoille myönnetään lupa hakemusten kattamien ja tässä analyysissä huomioon otettujen laajuuksien mukaisesti. Tarkasteltu skenaario, jossa kaikki seitsemän tuulipuistoa ovat mukana, katsotaan näin ollen kumulatiivisten vaikutusten kannalta pahimmaksi mahdolliseksi skenaarioksi.

5.3 Arvioitu vaikutus

Alusten yhteentörmäyksen seurauksia pidetään mahdollisesti vakavampina kuin karilleajon, koska yhteentörmäys voi tapahtua suuremmalla suhteellisella nopeudella ja aiheuttaa enemmän vahinkoa aluksille kuin karilleajo, joka tapahtuu useimmiten pienellä nopeudella. Törmäys voi myös johtaa tulipaloon, mikä on vähemmän todennäköistä karilleajossa. Alus voi myös kokea vakausongelmia, jotka johtavat uppoamiseen. Mahdollinen upponnut aluksen pelastaminen on huomattavasti vaikeampaa, jos se on tehtävä syvällä vedessä, kuin jos se on tehtävä seuraavassa tapauksessa.

maadoitus. Myös lastin tai polttoaineen valumisen riski on suurempi törmäyksessä kuin karilleajossa. Suurimmat seuraukset ovat odotettavissa törmäyksessä, jossa alus törmäi toisen aluksen kylkeen, mikä voi tapahtua risteämis-, sulautumis- ja kaarreaajoissa.

Tuulivoimalaan törmäämisen seuraukset eivät useimmissa tapauksissa ole vakavia, ainoastaan silloin, kun vuorovaikutus tuulivoimalan kanssa johtaa varsinaiseen törmäykseen jonkin tuulivoimalan kanssa, seuraukset voivat olla vakavia. *Moottorikäyttöön perustuvalla törmäyksellä* katsotaan olevan vakavammat seuraukset *kuin ajelehtivalla törmäyksellä*, koska *ajelehtiva törmäys* tapahtuu alhaisella nopeudella, noin 0,5-1 solmun nopeudella, kun taas *moottorikäyttöön perustuvan törmäyksen* voidaan olettaa tapahtuvan noin 10-15 solmun nopeudella.

Kunkin vaaran vaikutuksia ei voida arvioida kvantitatiivisesti, vaan kunkin vaaran vaikutuksia on arvioitu vain kvalitatiivisesti vertailemalla erityyppisiä vaikutuksia.

Kohdissa 5.3.1 ja 5.3.2 kuvataan vaikutuksia arvioitaessa huomioon otettuja näkökohtia.

5.3.1 Vuorovaikutus tuulipuiston kanssa ja törmäys tuulivoimaloiden kanssa.

Laskelmissa tuulipuisto on mallinnettu suljettuna alueena. Laskelmissa, joissa alue on suljettu, törmäyksen odotetaan tapahtuvan, jos alus purjehtii tai ajautuu hankealueelle. Tuulivoimaloiden välinen etäisyys on kuitenkin noin 1 metri, mikä tarkoittaa, että alukset voivat käytännössä ajelehtia tuulivoimaloiden välissä ja että jotkut alukset ajelehtivat tuulipuiston läpi törmäämättä mihinkään tuulivoimalaan. Joidenkin alusten voidaan olettaa saavuttavan uudelleen ohjattavuutensa, kun ne ovat tuulipuiston sisällä, ja onnistuvat sitten ohjautumaan pois tuulipuistosta ilman törmäystä. Todennäköisyys törmätä johonkin tuulivoimalaan on siis huomattavasti pienempi kuin laskettu törmäystodennäköisyys, joka on $1,92 \times 10^{-2}$ tapausta/vuosi (ks. taulukko 5.1) ja joka viittaa vuorovaikutuksen todennäköisyyteen tuulipuiston kanssa.

Tuulivoimalaan törmäämisen ja minkään turbiinin törmäämisen välttämisen seuraukset ovat lieviä, eikä niistä aiheudu todellisia vahinkoja. Jos törmääminen johonkin tuulivoimalaan tapahtuu, seurauksena voi olla vakavampia seurauksia. Vahinkojen tarkka luonne ja laajuus vaihtelevat aluksen tyyppin, sen koon ja nopeuden mukaan törmäyshetkellä sekä sen mukaan, miten alus osuu tuulivoimalaan.

Koska laajamittaiset merituulipuistot ovat suhteellisen uusia, tuulivoimaloiden käyttönotosta ja sen seurauksista on vielä vähän kokemusta. Käyttöönotto on edennyt muun muassa seuraavissa paikoissa. Alankomaiden, Ison-Britannian ja Saksan vesillä kuin Ruotsissa, ja näistä maista on raportoitu muutamia törmäystapauksia. Seuraavassa kuvataan joitakin törmäyksiä, joita on tapahtunut ja joista on saatavilla tietoja.

Tammikuun 31. päivänä 2022 190-metrinen irtolastialus Julietta D ajautui rakenteilla olevan tuulipuiston tuulivoimalan perustukseen. Törmäys tapahtui myrskyn aikana sen jälkeen, kun aluksen ankkuriketju katkesi ankkurissa ollessaan Ijmuidenin edustalla Alankomaissa (gCaptain, 2022). Ankkurin pudottua Julietta D törmäsi ensin tankkeriin, minkä jälkeen se vaurioitui ja alkoi ottaa vettä. Miehistö evakuoitiin, ja alus ajautui kohti maata ja Hollandse Kust Zuidin tuulipuistoaluetta, joka oli tuolloin rakenteilla. Julietta D ajautui sitten perustuksiin.

Perustuksen vauriot olivat niin laajat, että sitä ei voitu korjata ja se oli poistettava (Safety4Sea, 2022). Alus voitiin myöhemmin hinata turvaan. Aluksen vauriot johtuivat pääasiassa törmäyksestä säiliöaluksen kanssa. Tiedossa ei ole raportteja alukselle aiheutuneista lisävahingoista, jotka olisivat aiheutuneet törmäyksestä perustuksen kanssa.

Huhtikuun 24. päivänä 2023 74-metrinen kappaletavaralaiva Petra L purjehti yhteen Gode Wind -tuulipuiston tuulivoimaloista Saksan vesillä. Alus vaurioitui merkittävästi, ja sen keulan oikeanpuoleiseen sivuun syntyi noin 3 m x 5 m kokoinen reikä (Royal Dirkzwager, 2023). Kukaan aluksella olleista ei loukkaantunut. Sää oli tuolloin tyyni, ja vaurioista huolimatta alus pääsi ilman apua satamaan, jossa se myöhemmin korjattiin. Tuulivoimala pysäytettiin onnettomuuden jälkeen, mutta tarkastusten jälkeen se voitiin ottaa käyttöön.

takaisin käyttöön. Alus poikkesi suunnitellulta reitiltään ennen onnettomuutta, mutta onnettomuuden syy ei ole selvillä.

Toinen törmäys tapahtui 23. huhtikuuta 2020. Huoltoalus Njord Forseti oli huoltanut Merkurin tuulipuistoa eteläisellä Pohjanmerellä ja oli palaamassa satamaan 20 solmun nopeudella, kun se törmäsi yhteen Borkum Riffgrund 1 -tuulipuiston tuulivoimaloista. Aluksella oli neljä ihmistä, joista kaksi evakuoitiin lentoteitse sairaalaan ja kolmas joutui myöhemmin lääkärintarkastukseen. Vammat eivät kuitenkaan olleet niin vakavia, että kaksi evakuoitua olisi voinut lähteä sairaalasta 24 tunnin kuluessa. Alus kärsi vakavia vaurioita, mutta sisaraluksen väliaikainen miehistö pystyi tuomaan sen satamaan omin voimin. Onnettomuustutkinnan mukaan onnettomuus johtui siitä, että alusta ei valvottu asianmukaisesti, koska päällikkö oli tuolloin poissa päätehtävistään (Jersey Maritime Administration, 2020).

Edellä mainittujen kolmen onnettomuuden lisäksi on muutamia muita esimerkkejä tapauksista, joissa tuulipuiston alueella toimivat huoltoalukset ovat törmänneet tuulivoimaloihin.

Ilmoitettujen yhteentörmäysten seuraukset arvioidaan suhteellisen vähäisiksi, koska niissä ei ollut kuolonuhreja ja loukkaantuneita oli vähän. Petra L:n ja Njord Forsetin tapauksissa, jotka molemmat olivat suhteellisen pieniä aluksia, tuulivoimalat eivät vaurioituneet merkittävästi. On kuitenkin epävarmaa, kestäisivätkö tuulivoimalat ison aluksen, lähinnä suurten säiliöalusten tai irtolastialusten, *ajelehtivan* tai *moottoroidun* törmäyksen voiman. Jos tuulivoimalan torni antaisi periksi, pahimmassa tapauksessa sekä roottorin lavat että konepelti putoaisivat ja osuisivat alukseen. Tällaisella skenaariolla olisi erittäin vakavia seurauksia, ja se johtaisi todennäköisesti useisiin kuolemantapauksiin. Tällaisen skenaarion todennäköisyyttä Sigmassa pidetään kuitenkin vähäisenä, koska suurten alusten esiintymistiheys alueella on suhteellisen pieni ja suurin osa liikenteestä on alle 200 metriä pitkää.

5.3.2 Turvaetäisyys ja hätäkiinnitys

Tuulivoimapuiston varrella kulkevien laivaväylien liikennemäärällä on merkitystä arvioitaessa vaadittavaa turvaetäisyyttä. Vähäliikenteisillä laivaväylillä törmäystodennäköisyys on pieni, ja vähäliikenteisyys auttaa myös rajoittamaan törmäystodennäköisyyttä. Tämä tarkoittaa sitä, että pienemmät turvaetäisyydet voidaan katsoa hyväksyttäväksi vähäliikenteisillä väylillä verrattuna runsasliikenteisiin väyliin. Tuulivoimapuiston länsipuolen reitillä (Husumin liikenne) oli vuonna 2023 noin 270. Tämä tarkoittaa erittäin pientä (1) liikenteen intensiteettiä taulukon 1.2 luokituksen mukaan. Merenkululaitoksen ja Ruotsin liikenneviraston suosituksiin sisältyy matriisi turvaetäisyyksien arvioimiseksi liikenteen intensiteetin perusteella, ks. kuva 1.4.

Väistöliikkeitä koskeva kriteeri (ks. 1.4.1 kohta) olisi myös otettava huomioon arvioitaessa vaadittavaa turvaetäisyyttä. Kriteeri perustuu oletukseen, että reitillä olevien alusten on voitava tehdä 360 asteen käänнос tyyrpuuriin. Tällaisen manööverin oletetaan olevan ensisijaisesti toimenpide, jolla vältetään *yhteentörmäys suoraan päin* tai vaihtoehtoisesti *risteävä* tai *sulautuva yhteentörmäys*, jos mikään muu toimenpide, kuten kurssinmuutos tai nopeuden alentaminen, ei ole korjannut tilannetta. Se, että etäisyys on pienempi kuin 360 asteen käännökseen riittävä, voi mahdollisesti johtaa yhteentörmäykseen, jos alus päättää olla ryhtymättä väistötoimenpiteisiin tilanteessa, jossa kaksi alusta on törmäyskurssilla. Vaihtoehtoisesti se voisi johtaa manööverin epäonnistumiseen, jolloin törmäystä ei vältettäisi, tai törmäykseen tuulipuiston kanssa.

Lähimpänä länsipuolta olevan osuuden (Husumin liikenne) suunnittelualuksen oletetaan olevan 242 metriä pitkä (perustuen kriteeriin, jonka mukaan suunnittelualus on suurin alus 98. prosenttipisteessä kaikista yli 70 metriä pitkien alusten suorittamista alusten kulkureiteistä Ruotsin merenkululaitoksen ja Ruotsin liikenneviraston suositusten mukaisesti, ks. kohta 1.4.1). Suunnittelualuksen ollessa 242 metriä vaaditaan 1,35 metrin (2 508 metrin) turvaetäisyys seuraavien välillä

tuulivoimapuiston ja laivaväylän välillä, jotta ne täyttävät suositusten (Ruotsin merenkulkulaitos ja Ruotsin liikennevirasto, 2023) mukaiset hyväksyttävän turvaetäisyyden kriteerit väistöliikkeitä varten.

Tuulivoimapuiston länsirajat ovat suurelta osin samansuuntaisia tuulivoimapuistoa lähinnä olevan laivaväylän (Husumin liikenne) kanssa, ja etäisyys Husumin liikenteen ja tuulivoimapuiston rajan välillä on pienin Sigman eteläosassa, jossa laivaväylän keskikohta on noin 1,3 metrin päässä tuulivoimapuiston rajasta. Suuri osa nykyisestä liikenteestä on siis lähempänä hankealuetta kuin PIANC:n suosittelema 1,35 m:n turvaetäisyys väistöliikkeitä. Koska liikenne on vähäistä tällä reitillä, todennäköisyyttä, että alus joutuisi tekemään 360 asteen käännöksen välttääkseen törmäyksen vastaantulevan aluksen kanssa, eli *nokkakolarin*, pidetään hyvin pienenä. Tuulipuiston länsipuolella on tilaa, joten laivaliikenteen on mahdollista kulkea yli 1,35 metrin etäisyydeltä. Tämän katsotaan olevan mahdollista useimmissa tapauksissa pienellä korjauksella ja reitin siirtämisellä ilman ylimääräistä kääntöpaikkaa.

360 asteen käännöksiä vaativia tilanteita voi esiintyä myös silloin, kun muut alukset ylittävät salmen. Kuvion 5.3 mukaan *risteävän törmäyksen* todennäköisyys on suurin Sigman luoteiskulman länsipuolella sijaitsevassa *reittipisteessä*. Pohjoiseen Husumiin suuntaavat alukset (IWRAP-mallin 2. *osuudella*, ks. kuva 5.3) joutuvat välttämään lounaaseen suuntautuvaa liikennettä (IWRAP-mallin 8. *osuudella*, ks. kuva 5.3), ja tuulipuisto voi tällöin olla esteenä, jos on tarpeen tehdä väistöliike 360 asteen käännöksen muodossa. Koska tuulivoimapuiston länsiraja on kuitenkin noin 2,2 metriä etelään nähden itään päin, on riittävästi tilaa 360 asteen käännökseen ilman, että tuulivoimapuistoon joudutaan liittymään.

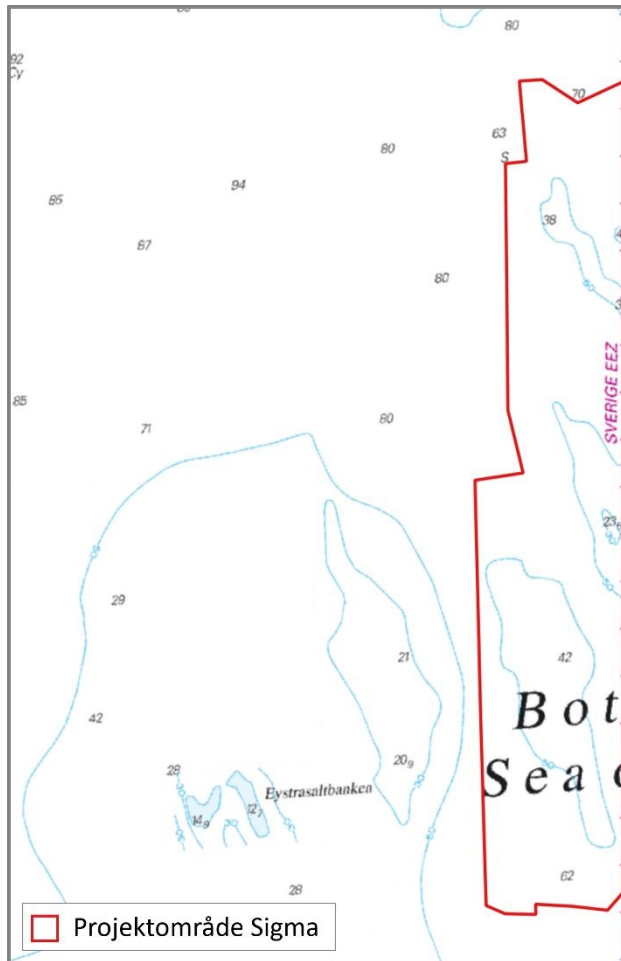
Myös itäpuolisen reitin osalta aluksen suunnittelukoko on 242 metriä, mikä tarkoittaa, että suositusten mukaan tarvitaan 1,35 metrin (2 508 metrin) turvaetäisyys. Tällä hetkellä suurin osa reitillä kulkevasta liikenteestä kulkee yli 3 metrin etäisyydellä hankealueesta ja siten riittävällä turvaetäisyydellä.

Tuulipuiston ja ympäröivien laivaväylien välisellä turvaetäisyydellä on useimmissa tapauksissa suuri merkitys myös *ajelehtivan törmäyksen* todennäköisyyden kannalta. Sähkökatkoksen koettelemille aluksille hätäankkurointi on usein viimeinen toimenpide, jolla yritetään hidastaa aluksen kulkua ja estää se ajamasta karille tai ajautumasta tuulipuistoon. Veden syvyys vaikuttaa kuitenkin hätäankkuroinnin onnistumisen mahdollisuuksiin, ja yli 50 metrin syvyydessä mahdollisuudet ovat pienet. Hätäankkurointi on nopea ja monissa tapauksissa suhteellisen hallitsematon toimenpide, johon liittyy suuria voimia. Tämä voi aiheuttaa ongelmia esimerkiksi ketjuvinssin tai vinssijarrun kanssa ja aiheuttaa ketjun irtoamisen, mikä vaarantaa aluksen pysähtymismahdollisuudet. Veden syvyydestä riippumatta moottorit yritetään käynnistää uudelleen ennen hätäankkurointiyritystä. Useimmat alukset, jotka kärsivät sähkökatkosta, palautuvat suhteellisen nopeasti liikuntakykyisiksi; arviolta 50 %:n voidaan odottaa palautuvan liikuntakykyisiksi 15 minuutissa (Rasmussen, et al., 2012). Jos oletetaan, että tuuli on kova, aluksen voidaan olettaa ajelehtivan yhden (1) solmun nopeudella, mikä tarkoittaa, että 50 prosenttia aluksista onnistuu palauttamaan ohjattavuutensa ennen kuin ne ovat ajelehtineet 500 metriä. IWRAP-laskentamalli sisältää kriteerit hätäankkuroitumiselle ja todennäköisyydelle saavuttaa ohjattavuus takaisin. Laskennallisissa todennäköisyyksissä on otettu huomioon, että monilla aluksilla on aikaa saada moottorinsa käyntiin ennen kuin ne törmäävät tuulipuistoon.

Veden syvyys kyseisellä alueella on suhteellisen suuri, ja suuressa osassa tuulipuiston sivuja veden syvyys on yli 50 metriä, mikä tarkoittaa, että mahdollisuudet onnistuneeseen hätäankkurointiin ovat pienet. Ainoa alue, jossa vesisyvyys on alle 50 metriä ja jossa hätäankkuroinnin oletetaan olevan mahdollista, on Sigman eteläosan länsipuolella, Sigman ja Eystrasalt Bankin välillä. Merikartan 50 metrin käyrä kulkee kuitenkin jonkin matkaa hankealueen länsipuolella, ja lähimpänä tuulipuistoa oleva vesisyvyys on suurempi kuin 1,5 metriä. 50 metriä, ks. kuva 5.5. Vallitsevan lounaistuulen suunnan vuoksi tuulipuistoon uhkaa ajautua lähinnä länsipuolta pitkin kulkevia ja ajelehtimaan lähteviä aluksia.

Aluksilla, jotka kulkevat 1 M:n päässä tuulipuistosta epäsuotuisissa tuulissa, oletetaan olevan noin tunti aikaa kulkea tuulipuiston ohi.

joko palauttaa ohjattavuus tai, jos veden syvyys sallii, tehdä hätäankkurointi ennen tuulipuistoon ajautumista (olettaen, että tuuli on kova ja nopeus on 1 solmu).



Kuva 5.5 Veden syvyys Sigman länsipuolella vaihtelee. Pohjoisessa veden syvyys on yli 80 metriä. Eysrasalt Bankin kohdalla vähimmäissyvyys on 12,7 metriä. Kartan 50 metrin jakso on juuri Sigman länsipuolen länsipuolella etelässä.

Nykyisessä tapauksessa, jossa mahdollisuudet onnistuneeseen hätäankkurointiin suuressa osassa tuulipuistoa ovat hyvin pienet, suuremmalla turvaetäisyydellä on kuitenkin suhteellisen pieni vaikutus *ajelehtivan törmäyksen* arvioituun todennäköisyyteen. Tuulipuiston pienentäminen lännessä siten, että turvaetäisyys länsipuolen laivaväylään kasvaa, merkitsee sitä, että hieman useammalla aluksella odotetaan olevan aikaa palauttaa ohjattavuutensa ennen törmäystä. Tällä odotetaan kuitenkin olevan vain vähäinen vaikutus *ajelehtivan törmäyksen* arvioituun todennäköisyyteen.

6 Riskinarviointi

Liikenteen intensiteetti hankealueen läheisyydessä sijaitsevilla reiteillä on alhainen, mikä tarkoittaa, että törmäysten todennäköisyys kyseisellä alueella on tällä hetkellä hyvin pieni. Koska Perämeren kyseisellä osalla ei myöskään ole matalia alueita, joilla pohjakosketuksia voisi tapahtua, onnettomuuksien kokonaistodennäköisyys alueella on nykyisin hyvin pieni ja koostuu ainoastaan törmäystodennäköisyydestä. Tuulipuiston perustamisen myötä syntyy uusi vaara, törmäysvaara, joka lisää merkittävästi kaikenlaisten onnettomuuksien kokonaistodennäköisyyttä alueella. Tuulipuistoa varten tehdyissä IWRAP-laskelmissa törmäystodennäköisyys on noin 100 kertaa suurempi kuin törmäystodennäköisyys, ks. taulukko 6.1. Törmäyksen seuraukset ovat kuitenkin useimmissa tapauksissa lievemmät kuin törmäyksen, mikä tarkoittaa, että riskit, jotka ovat todennäköisyyden ja seurausten yhdistelmä, eivät kasva samassa määrin. Suoritetut laskelmat perustuvat hankealueeseen, ja laskettu törmäystodennäköisyys viittaa siten todennäköisyyteen, että alus purjehtii tai ajautuu hankealueelle. Todennäköisyys törmätä johonkin tuulipuiston tuulivoimaloista on huomattavasti pienempi kuin laskennallinen todennäköisyys $1,92 \times 10^{-2}$.

Taulukko 6.1 Yhteenveto ja vertailu arvioidusta vaaratilanteiden todennäköisyydestä ilman tuulipuistoa ja tuulipuiston kanssa.

	A: Ilman tuulipuistoa		B: Tuulipuiston kanssa	
	Tapahtumat/vuosi	Tapahtumien väliset vuodet	Tapahtumat/vuosi	Tapahtumien väliset vuodet
Kaikki erot yhteensä	—		1,92E-02	52
Törmäykset yhteensä	2,32E-04	4 309	2,36E-04	4 243
Tapahtumat yhteensä	2,32E-04	4 309	1,94E-02	51

Suurin osuus on *ajelehtivillä törmäyksillä*. Moottorikäyttöisen törmäyksen arvioitu todennäköisyys on vähäpätöinen verrattuna *ajelehtivaan törmäykseen*. Mallissa, jossa on tuulipuisto, sivuttaisjakaumaa tuulipuiston lähellä kulkevilla *osuuksilla* on mukautettu ja pienennetty, koska näiden osuuksien liikenteen oletetaan sopeuttavan reittejään, kun tuulipuisto on perustettu. Näiden reittien todellista sivuttaisjakaumaa ja niiden tarkkaa sijaintia ei voida määrittää etukäteen, koska ei ole mahdollista tietää yksityiskohtaisesti, miten liikenne kulkee perustamisen jälkeen. Moottorikäyttöisten ajoneuvojen yhteentörmäyksen laskennallisen todennäköisyyden epävarmuus on näin ollen suuri, ja se vaihtelee suuresti sen mukaan, miten oletetaan liikenteen jakautuvan sivusuunnassa reiteillä, jotka kulkevat tuulipuiston lähellä.

Tuulivoimapuiston länsipuolella sijaitsevaan Husumiin suuntautuva ja sieltä lähtevä liikenne kulkee tuulivoimapuiston läheltä. Myös Örnköldsvikistä ja Örnköldsvikiin suuntautuva liikenne kulkee suhteellisen lähellä tuulipuiston länsipuolta. Kun vallitseva tuulensuunta on lounaasta, tuulen suunta on monissa tapauksissa epäsuotuisa tälle liikenteelle ja tarkoittaa sitä, että alukset, joita sähkökatkos koskee, ajautuvat kohti tuulipuistoa. Veden syvyys on suuri, mikä vaikeuttaa hätäankkuroinnin onnistumista ja siten *ajelehtivan törmäyksen* välttämistä. Tämä vaikuttaa siihen, että törmäyksen todennäköisyys on suurin tuulipuiston länsipuolella.

Sigman hankealueen kautta ei kulje tällä hetkellä yhtään varsinaista laivaväylää, joten tuulipuiston odotetaan vaikuttavan alueen liikennemalleihin vain hyvin vähän. IWRAP-mallissa, joka koskee tapausta, jossa tuulipuisto on mukana (B), ei oteta käyttöön uusia reittipisteitä eikä muutoksia reittipisteisiin, jotka on määritetty tapaukselle, jossa tuulipuistoa ei ole mukana (A). Tämä tarkoittaa sitä, että *risteämis-*, *yhdistymis-* (nolla) ja *mutkautumistodennäköisyys* (nolla) pysyy muuttumattomana tapauksessa B verrattuna tapaukseen A.

Tuulipuiston laskelmissa (tapaus B) Sigman länsipuolella sijaitsevan *jalan* sivusuuntaista leviämistä on vähennetty (*jalka 2* ja *jalka 6*, ks. kuva 5.2) ja sivukeskipistettä on siirretty länteen liikenteen mukaisesti.

oletetaan sopeuttavan reittejään tuulipuistoon nähden ja säilyttävän tietyn etäisyyden. Tämä muutos lisää *ohituksen ja yhteentörmäyksen* todennäköisyyttä, ks. taulukko 6.2.

Lisäys on kuitenkin hyvin pieni, 1,6 prosenttia.

Taulukko 6.2 Yhteenveto ja vertailu arvioiduista törmäystodennäköisyyksistä.

	A: Ilman tuulipuistoa	B: Tuulipuiston kanssa	Lisäys B verrattuna A:han
Ohittaminen	3,95E-05	4,01E-05	1,6%
HeadOn	1,84E-04	1,87E-04	1,6%
Crossing	8,72E-06	8,72E-06	0,0%
Yhdistäminen	—	—	—
Bend	—	—	—
Törmäykset yhteensä	2,32E-04	2,36E-04	1,6%

Liikenteen intensiteetti kyseisillä *osuuksilla* on hyvin pieni, noin 250 alusta vuodessa, mikä tarkoittaa, että törmäystodennäköisyys näillä *osuuksilla* on hyvin pieni molemmissa tapauksissa. Sigman itäpuolisen reitin liikennemäärät ovat huomattavasti korkeammat, mikä tarkoittaa, että törmäystodennäköisyys *osuudella 1* on huomattavasti korkeampi kuin *osuuksilla 2 ja 6* myös tuulipuiston tapauksessa. Tämä vaikuttaa osaltaan siihen, että laskettu törmäystodennäköisyys muuttuu vain vähän tapauksessa B verrattuna tapaukseen A.

IWRAP:n laskelmat perustuvat AIS-tietoihin vuodelta 2023. Asianomaisilta satamilta saatujen tietojen mukaan liikenne sekä Husumiin että Örnsköldsvikiin kasvaa tulevina vuosina. Kun liikenteen intensiteetti kasvaa puiston länsipuolella sijaitsevilla reiteillä, arvioitu törmäystodennäköisyys kasvaa. Arvioitu törmäystodennäköisyys kasvaisi myös hieman, mutta vähäisemmässä määrin, koska törmäystodennäköisyys johtuu pääasiassa puiston itäpuolisesta *osuudesta*, jossa liikenteen intensiteetti on suurempi. Liikennemäärät voivat kuitenkin kasvaa myös tällä *osuudella* tulevaisuudessa. Tällöin törmäystodennäköisyys kasvaa sekä ilman tuulipuistoa että tuulipuiston kanssa.

Monissa yhteyksissä käytetään logaritmistista asteikkoa todennäköisyyksien indeksoimiseksi riskinarvioinneissa. Taulukossa 6.3 on käytetty kuusiportaista asteikkoa havainnollistamaan, miten laskettuja todennäköisyyksiä voidaan yleensä arvioida. Asteikko on pitkälti samanlainen kuin se, jota on ehdotettu ja jota on havainnollistettu *tarkistetuissa muodollisen turvallisuusarvioinnin (FSA) ohjeissa käytettäväksi imo-sääntöjen laatimisprosessissa* (IMO, 2018). Törmäyksen seurausten oletetaan olevan vakavampia kuin sekä *moottoroidun* että *ajelehtivan* törmäyksen, ja *moottoroidulla törmäyksellä* oletetaan olevan vakavammat seuraukset kuin *ajelehtivalla törmäyksellä*. Tästä syystä törmäystä koskeva sarake on sijoitettu äärimmäiseen oikeaan reunaan riskimatriisissa, jota voidaan verrata riskimatriisiin, jossa seuraukset kasvavat vasemmalta oikealle. Koska todellisia seurauksia ei kuitenkaan ole arvioitu, seurauksia ei voida luokitella millään asteikolla, joten taulukko ei ole varsinainen riskimatriisi.

Taulukko 6.3 Laskettuja todennäköisyyksiä voidaan arvioida kuusiportaisella logaritmisella asteikolla. Ajautuvan törmäyksen oletetaan aiheuttavan vähiten vakavia seurauksia, ja sen jälkeen seuraa moottoroidun aluksen törmäys. Törmäyksen oletetaan aiheuttavan vakavimmat seuraukset, ja siksi se on sijoitettu oikeanpuoleiseen sarakkeeseen.

Förekomst	Intervall sannolikhet (p)	Index (nedre gräns)	Drifting allision	Powered allision	Kollision
Mycket hög sannolikhet	$p > 10^0$	6 – en gång per år			
Hög sannolikhet	$10^{-1} \leq p < 10^0$	5 - en gång på 10 år			
Medelhög sannolikhet	$10^{-2} \leq p < 10^{-1}$	4 - en gång på 100 år	✖ Fall B: $1,9 \times 10^{-2} = 4,3$		
Låg sannolikhet	$10^{-3} \leq p < 10^{-2}$	3 - en gång på 1 000 år			
Mycket låg sannolikhet	$10^{-3} \leq p < 10^{-4}$	2 - en gång på 10 000 år		Fall A: $2,3 \times 10^{-4} = 2,4$	✖ Fall B: $2,4 \times 10^{-4} = 2,4$
Extremt låg sannolikhet	$p < 10^{-4}$	1 - en gång på 100 000 år eller mer sällan		✖ Fall B: $2,0 \times 10^{-5} = 1,3$	

Konsekvenser

Drifting allisionin arvioidaan tapahtuvan kerran 52 vuodessa. Taulukossa 6.3 esitetyn asteikon mukaan *ajautuvan törmäyksen* todennäköisyys arvioidaan näin ollen keskiarvoksi (4). Tämä todennäköisyys viittaa kuitenkin todennäköisyyteen, että alukset ajautuvat tuulipuistoalueelle, ja todennäköisyys törmätä tuulivoimalaan ja aiheuttaa todellisia seurauksia on pienempi. Todennäköisyys *törmätä* tuulivoimapuistoon on asteikon mukaan erittäin pieni (5). *Koneellisen törmäyksen* laskelmien epävarmuus on kuitenkin suuri. Törmäystodennäköisyys on vain vähän suurempi, kun tuulipuisto on mukana (B) kuin ilman tuulipuistoa (A). Molemmissa tapauksissa, sekä tuulipuiston kanssa (B) että ilman tuulipuistoa (A), törmäystodennäköisyys on taulukossa 6.3 esitetyn asteikon mukaan hyvin pieni.

IWRAP-laskelmat koskevat jäätömiä olosuhteita. Törmäys- ja yhteentörmäystodennäköisyyttä talvella, kun merenkulkuun vaikuttavalla alueella on jäätä, ei voida kvantifioida, koska tähän ei ole olemassa välineitä ja koska todennäköisyys vaihtelee suuresti eri vuosien välillä jääolosuhteiden mukaan. Jos oletetaan, että Sigma on alueen ainoa tuulivoimapuisto, on kuitenkin arvioitu, että useimmissa tapauksissa alusten on mahdollista kulkea riittävän kaukana tuulivoimapuistosta ilman merkittävää törmäysriskiä myös talvella. Joissakin tapauksissa jäänmurtajien apua saatetaan kuitenkin tarvita. Useimmissa tilanteissa katsotaan myös, että riittävä etäisyys väistöliikkeisiin törmäystilanteissa säilyy. Tämän perusteella tuulipuiston ei katsota vaikuttavan merkittävästi talvimerenkulun riskeihin.

Viimeisten 42 talven aikana hankealueella on ollut jäätä keskimäärin 18 päivää vuodessa, mikä vastaa 5 prosenttia vuodesta. Seuraavien 40-50 vuoden aikana keskiarvon odotetaan olevan alhaisempi ilmastomuutoksen ja Perämeren jääpeitteen vähenemisen vuoksi. Koska alueella ei ole jäätä suurimman osan vuodesta, tuulipuiston mahdollisen vaikutuksen jäähän ja talvimerenkulkuun liittyviin riskeihin katsotaan vaikuttavan vain vähän alueen keskimääräiseen onnettomuustodennäköisyyteen.

Jos Sigman läheisyyteen perustetaan useita tuulipuistoja, kumulatiiviset vaikutukset ilmenevät, ja sekä törmäys- että törmäystodennäköisyys on suurempi kuin Sigman osalta tehdyt laskelmat osoittavat. Tuulipuistojen vaikutus talvimerenkulun riskeihin on myös voimakkaampi, kun mahdollisten vaihtoehtoisten reittien määrä vähenee. Koska yhdellekään lähialueella sijaitsevalle tuulipuistolle ei ole vielä myönnetty lupaa, on epävarmaa, mitkä tuulipuistot perustetaan ja kuinka laajoja ne ovat. Sen vuoksi ei ole mahdollista määrittää merenkulkuun kohdistuvien kumulatiivisten vaikutusten laajuutta.

7 Riskien vähentäminen toimenpiteet

Hazid-työpajassa määriteltiin myös lieventämistoimenpiteitä joidenkin vaarojen osalta. Jäljempänä esitetään toimenpiteet, joiden katsotaan voivan vähentää kriittisimmiksi osoittautuneiden vaarojen todennäköisyyttä tai lieventää niiden seurauksia.

Taulukossa 7.1 esitetään toimenpiteet, joita nykyiset säädökset ja viranomaisvaatimukset edellyttävät ja jotka näin ollen toteutetaan. Taulukossa 7.2 esitetään tunnistetut toimenpiteet, joilla voi olla riskiä vähentävä vaikutus ja jotka otetaan huomioon myöhemmissä suunnitteluvaiheissa ja riskianalyseissa.

Taulukko 7.1 Vaaditut riskinhallintatoimenpiteet ja toteutettavaksi suunnitellut toimenpiteet sekä näiden toimenpiteiden odotetut vaikutukset.

Vaaditut toimet	Odotettu vaikutus
Toimintavaihe	
Tuulivoimapuisto on merkitty voimassa olevien suositusten mukaisesti TSFS 2017:66 (Ruotsin liikennevirasto, 2017) mukaisesti.	Tämä on ennakkoodellytys, ja se on otettu huomioon tehdyssä analyysissä. Vähentää <i>moottoroidun törmäyksen</i> todennäköisyyttä.
Tuulipuiston laajuus näkyy selvästi merikartoissa.	Tämä on ennakkoodellytys, ja se on otettu huomioon tehdyssä analyysissä. Vähentää <i>moottoroidun törmäyksen</i> todennäköisyyttä.
Asianmukaisen ja riittävän pelastussuunnitelman kehittäminen ja täytöntöönpano.	Viranomaiset edellyttävät. Kehitetään ennen rakentamisen aloittamista. Auttaa minimoimaan onnettomuuden seuraukset.
Rakennusvaihe	
Tiedottaminen meneillään olevista töistä Ufs/ Notice to Mariners, navigointivaroitukset/NAVTEX, merkinnät merikarttoihin jne. kautta.	Tietoisuus meneillään olevista töistä ja ohikulkevien alusten lisääntynyt varautuminen. Vähentää laivaväylillä kulkevien alusten ja risteävän työmaaliikenteen sekä alueella pysähtyvien työalusten välisen törmäyksen todennäköisyyttä.

Taulukko 7.2 Tunnistetut toimenpiteet, joilla voi olla riskiä vähentävä vaikutus.

Mahdollinen toiminta	Odotettu vaikutus
Toimintavaihe	
Tuulipuiston pienentäminen länsipuolella, jotta etäisyyttä laivaväylään voidaan lisätä.	<i>Ajelehtimisen</i> todennäköisyys vähenee jonkin verran, koska useammat tuulipuistoa kohti ajelehtivat alukset voivat saada takaisin ohjailukyyn ja koska hätäankkurointimahdollisuudet eteläisellä osuudella paranevat hieman (pohjoisella osuudella hätäankkurointi ei ole mahdollista). Vähentää liikenneuhkien syntymisen todennäköisyyttä, mikä voi vaikuttaa törmäyksen todennäköisyyteen. Vähentää tutkahäiriöiden todennäköisyyttä.
Kun tuulivoimapuisto on rakennettu ja otettu käyttöön, kartoitetaan ja arvioidaan alusten mahdolliset tutkahäiriöt. Tarvittaessa voidaan toteuttaa riskien lieventämistoimenpiteitä tuolloin saatavilla olevan tekniikan avulla.	Vähentää mahdollisten tutkahäiriöiden vaikutuksia, mikä voi vähentää pienempien alusten/kalastusalusten ja laivaväylillä kulkevien alusten välisen yhteentörmäysten todennäköisyyttä.

Kun tuulipuisto on rakennettu ja otettu käyttöön, kartoitetaan ja arvioidaan mahdolliset radiohäiriöt aluksille. Jos radiohäiriöitä esiintyy, ryhdytään toimenpiteisiin, esimerkiksi varustamalla tuulipuisto orjalähettimillä.	Vähentää tai poistaa radiohäiriöitä, mikä voi vähentää pienempien alusten/kalastusalusten ja laivaväylien kautta kulkevien alusten välisten yhteentörmäysten todennäköisyyttä.
Tuulivoimalat on varustettu racon- ja/tai virtuaalisella AIS-järjestelmällä.	Työt voivat sitten tarjota vaihtoehtoisia navigointilaitteita. Ne voivat yksinkertaistaa navigointia ja mahdollisesti vähentää tutkahäiriöiden vaikutuksia. Voidaan vähentää <i>moottorilla</i> tapahtuvan <i>törmäyksen</i> todennäköisyyttä ja mahdollisesti pienempien alusten/kalastusveneidien ja laivaväylillä kulkevien alusten välisten törmäysten todennäköisyyttä.
Tuulivoimapuiston länsi- ja itäpuolella olevat tuulivoimalat sijoitetaan mahdollisimman pitkälle laivaväylän suuntaisesti.	Mahdollistaa liikenteen rinnakkaisindeksien käytön, jolloin tuulivoimalat voivat tarjota navigointiapua. Voi vähentää <i>moottoroidun törmäyksen</i> todennäköisyyttä ja mahdollisesti vähentää törmäysten todennäköisyyttä.
Tuulipuisto tarkoittaa, että huolto- ja kunnossapitoalukset kulkevat usein ja pysyvät alueella. Kun huolto- ja kunnossapitoalusten ja meripelastuspalveluiden välille luodaan yhteysreitit, ne voivat auttaa alueen meripelastustoimissa.	Voi vähentää pelastustoimien estämisen vaikutusta lentävillä yksiköillä.
Tuulivoimalat sijoitetaan mieluummin suoriin riveihin kuin epäsäännöllisempään sijoitteluun.	Suorat linjat voivat helpottaa SAR-toimintaa helikopterien lähestymisessä matalalla alueella, mikä vähentää pelastustoimien viivästymisen ja vaikeutumisen todennäköisyyttä.
Yhteistyön aloittaminen rannikkovartioston kanssa. - Tuulipuiston aiheuttama huolto-/työalusten lisääntyminen alueella voi auttaa havaitsemaan mahdolliset vuodot ajoissa. - Perustuksia voidaan käyttää vuotojen eristämiseen, ja öljynkeräysvälineitä voi olla käytettävissä. saatavilla lähellä/käyttökeskuksessa.	Vähentää rannikkovartioston monimutkaisen toiminnan seurauksia, jos tuulipuistossa tapahtuu öljyvahinko.
Tuulivoimalat on varustettu järjestelmillä, joilla roottorin lapojen <i>jäänesto</i> tai <i>jäänpoisto</i> .	Vähentää roottorin lapojen jäätyamisen todennäköisyyttä ja siten jään heittämisen todennäköisyyttä. Jään heittämistä pidetään ensisijaisesti vaarana huoltoaluksille ja muille tuulipuiston alueella toimiville aluksille.
Rakennusvaihe	
Alueen lisämerkintä poijuilla/erikoismerkeillä.	Selkeyttää hankealueen rajat ja alueen, jolla töitä tehdään. Vähentää todennäköisyyttä <i>törmätä moottoriajoneuvoilla</i> rakenteilla oleviin töihin sekä törmätä työaluksiin.
Työalusten/työalusten työvalojen suojaaminen reiteiltä.	Vähentää alusliikennettä häiritsevää vaikutusta ja voi auttaa vähentämään vaikutuksia, jotka liittyvät muiden alusten vaikeaan havaitsemiseen.

Väliaikainen liikenteen ohjaaminen merenkulkuväylien kautta tapahtuvan kaapelinlaskun yhteydessä.	Luo turvaetäisyys ohikulkevan alusliikenteen ja kaapelia laskevien alusten välille. Vähentää törmäyksen todennäköisyyttä.
Työmaalle ja työmaalta tulevan liikenteen hallinta.	Muuta liikennettä koskevien tietojen avulla alueelle saapuvaa ja sieltä lähtevää liikennettä voidaan ohjata ylittämään laivaväylä siten, että vaikutus muuhun liikenteeseen on mahdollisimman vähäinen. Voidaan auttaa vähentämään rakennusalusten ja muun liikenteen välisen törmäyksen todennäköisyyttä.

Edellä mainittujen lieventämistoimenpiteiden vaikutusta ja niiden mahdollisuuksia vähentää tunnistettuja riskejä on vaikea määrittää, eikä niitä ole kvantifioitu. Navigoinnin parantamiseen liittyvät toimenpiteet voivat vähentää *moottorilla tapahtuvan törmäyksen* todennäköisyyttä ja mahdollisesti auttaa hieman vähentämään törmäysten todennäköisyyttä.

8 Epävarmuus ja herkkyysanalyysi

8.1 Tuleva liikenteen intensiteetti

Useimpien ennusteiden mukaan alusliikenne lisääntyy tulevaisuudessa. Tuulivoimapuiston toimintavaiheeseen asti ja sen aikana tapahtuvan liikenteen kasvun määrä on kuitenkin epävarma. Samaan aikaan liikenteen intensiteetillä on ratkaiseva merkitys alueen riskikuvan kannalta, lähinnä törmäystodennäköisyyden kannalta. Laskentatulokset ovat herkkiä liikenteen lisääntymiselle, sillä törmäystodennäköisyys ei ole lineaarinen liikenteen intensiteettiin nähden, vaan se kasvaa liikenteen lisääntymisen neliöllä. Yleinen 20 prosentin lisäys liikennemäärään mallissa merkitsisi, että laskennallinen törmäystodennäköisyys kasvaisi 20 prosenttia ja että törmäystodennäköisyys kasvaisi 44 prosenttia sekä tapauksessa ilman tuulipuistoa että tapauksessa, jossa on tuulipuisto.

Ruotsin liikennehallinnon liikenne-ennusteiden mukaan meritse tapahtuvan tavaraliikenteen (tonnikilometriä/vuosi) voidaan olettaa kasvavan noin 1,7 prosenttia vuodessa vuosina 2017-2040Invalid **source specified**... Kasvun voidaan olettaa merkitsevän alusten liikennöintitiheyden kasvua, vaikka osa kasvusta johtunee siitä, että alukset ovat tulevaisuudessa suurempia ja pystyvät siten kuljettamaan enemmän tavaraa. Useat ennusteet osoittavat, että kun vanhoja ja pienempiä aluksia poistetaan liikenteestä, ne korvataan uusilla suuremmilla aluksilla. Näin ollen suuntaus on, että pienten laivastonosien aluksia vähennetään ja siirytään suurempiin laivastonosiin.

Sekä Husumissa että Örnköldsvikissä vuosittaisten käyntien määrän odotetaan kasvavan tulevina vuosina, koska satamiin on tehty useita investointeja. Useiden uusien teollisuuslaitosten perustamisen Pohjois-Norrlantiin ja Luulajan sataman laajentamisen voidaan olettaa merkitsevän sitä, että liikenne hankealueen itäpuolella Södran ja Norra Merenkurkun välillä kasvaa tulevaisuudessa. Ruotsin merenkulkulaitoksen vuodelta 2023 peräisin olevan Business Intelligence -analyysin mukaan Ylä-Norrlannin meritse tapahtuvan viennin (tonneissa mitattuna) voidaan odottaa kasvavan 80 prosenttia vuosina 2022-2030, kun taas tuonnin odotetaan kasvavan samana aikana 32 prosenttia (Ruotsin merenkulkulaitos, 2023).

8.2 Tulevat liikennemallit

Tuulipuisto voi aiheuttaa joitakin muutoksia liikennemalleihin, kun alusliikenne muuttaa reittejään välttääkseen tuulipuiston läpi tai sen välittömässä läheisyydessä tapahtuvaa kulkua. Tarkkaan ei voida määrittää, mitä muutoksia tapahtuu ja miten alukset sopeuttavat reittejään. Suoritetuissa laskelmissa ei ole tehty reittipisteiden mukautuksia mallissa, jossa on tuulipuisto, verrattuna malliin, jossa ei ole tuulipuistoa.

Tuulipuiston tapauksessa tuulipuiston lähellä sijaitsevan *osuuden* (*osuudet 2 ja 6*) sivuttaisjakaumaa on kuitenkin mukautettu pienentämällä keskihajontaa ja säätämällä liikenteen sivukeskipistettä länteen. Mukautus on tehty olettaen, että 98 prosenttia liikenteestä kulkee yli 0,5 metrin etäisyydellä tuulipuiston länsipuolelta. On kuitenkin huomattavaa epävarmuutta siitä, millainen todellinen jakauma on ja millaisella etäisyydellä alusliikenne pysyy tuulipuistosta. Oletuksilla näiden *jalkojen* sivuttaisjakaumasta on suuri merkitys laskennallisen todennäköisyyden kannalta, että *moottorilla tapahtuva törmäys* tapahtuu *ylipäättään*. Suurempi sivuttaisjakauma ja suurempi keskihajonta merkitsisi suurempaa laskennallista *törmäystodennäköisyyttä*. Sivukeskipisteen suurempi siirtyminen länteen merkitsisi pienempää laskennallista todennäköisyyttä *törmätä moottorilla*.

8.3 IWRAP

Suoritetut IWRAP-laskelmat perustuvat IWRAP Mk2 -ohjelmassa ennalta asetettuihin *syy-yhteystekijöihin*. IALA:n asiantuntijat ovat määrittäneet nämä ennalta asetetut *syy-yhteysluvut*, eikä niitä suositella muutettavaksi. Ks. Engberg (2019) ja Friis-Hansen (2008), joissa kuvataan yksityiskohtaisemmin

syytekijät ja niiden johtaminen. Laskentatulokset ovat suoraan riippuvaisia näistä tekijöistä, ja tulokset vaihtelevat suoraan suhteessa niihin.

Taulukossa 8.1 esitetään yhteenveto suoritetuissa laskelmissa käytetyistä syy-yhteystekijöistä.

Taulukko 8.1 IWRAP-ohjelmassa esitetyt, nykyisissä laskelmissa käytetyt ennalta määritetyt syy-yhteystekijät.

	Syy-yhteys
Yhdistäminen	1,3E-4
Crossing	1,3E-4
Bend	1,3E-4
Head-on	0,5E-4
Ohittaminen	1,1E-4
Sähköllä toimiva maadoitus	1,6E-4
Powered allision	1,6E-4

Ajelehtivien törmäysten osalta IWRAP-laskelmat perustuvat siihen, että matkustajalaivojen ja ro-ro-alusten sähkökatkotiheys on 0,7 laivavuotta kohti ja muiden alustyyppien 1,75 laivavuotta kohti.

Laskelmiin sisältyy myös Weibull-jakauma sähkökatkon *itsekorjausajalle*, hätäankkurointiyritysten onnistumis-/epäonnistumisprosentti (0,7), ankkurointikriteerit (enimmäissyvyys: 7 kertaa aluksen suunniteltu syväys ja ankkuroinnin vähimmäisetäisyys maasta: 3 kertaa aluksen pituus) sekä ajovirtauksen suuntaa (tässä tapauksessa mukautettu vastaamaan paikallisia tuuliolosuhteita, joissa vallitseva tuulensuunta on lounaasta) ja keskimääräistä ajovirtausnopeutta (1 solmu) kuvaava funktio. Arvot ovat yleisiä oletusarvoja, eikä niiden voida olettaa edustavan täysin kyseistä aluetta; merenkulkijan kanssa neuvoteltuaan suurin ankkurointisyvyyskriteeri on kuitenkin mukautettu IWRAP:n oletusarvosta, joka on 7 kertaa aluksen suunniteltu syväys, 50 metrin enimmäisankkurisyvyyteen.

Laskelmat on tehty tuulipuiston mahdollisten vaikutusten arvioimiseksi, eikä laskettuja todennäköisyyksiä pidä pitää todellisina arvoina. Laskemalla onnettomuustodennäköisyydet tuulipuiston kanssa ja ilman tuulipuistoa pidetään kuitenkin mahdollisena vertailla eri skenaarioita ja siten analysoida tuulipuiston mahdollisia vaikutuksia.

Esitetyt todennäköisyydet on laskettu määritetylle mallille. Todennäköisyydet vaihtelevat mallinnetun alueen koosta ja tarkkuudesta riippuen. Suuremmalla mallinnetulla alueella törmäystodennäköisyydet olisivat suuremmat ja tuulipuiston suhteellinen vaikutus pienempi.

9 Päätelmät

Sigman hankealue on kaukana rannikolta ja matalilta alueilta, joilla voi tapahtua pohjakosketuksia. Läheisten laivaväyliä liikennemäärät ovat hyvin alhaiset, mikä yhdessä matalien alueiden puuttumisen kanssa tarkoittaa, että onnettomuuksien todennäköisyys kyseisellä alueella on tällä hetkellä hyvin pieni. Itäpuolen laivaväylää pidetään kuitenkin erittäin tärkeänä, koska se yhdistää Etelä- ja Pohjois-Kvarkenin ja sitä käytetään Itämeren ja Pohjanlahden välisessä liikenteessä. Koska Norrlandin rannikon useissa satamissa sekä Selkämerellä että Pohjanlahdella tehdään parhaillaan investointeja ja kehitetään uutta teollisuutta, voidaan olettaa, että liikenne hankealueen itä- ja länsipuolella sijaitsevilla väylillä lisääntyy tulevaisuudessa.

Skenaariossa, jossa Sigma on ainoa tuulivoimapuisto kyseisellä alueella, tuulivoimapuisto ei edellytä laivaliikenteen reittimuutoksia alueen laivaväylillä. Liikenteeseen ei myöskään odoteta kohdistuvan merkittäviä vaikutuksia talvella, koska vaikeat jääolosuhteet kyseisellä alueella ovat suhteellisen harvinaisia. Tämän perusteella tuulipuiston ei odoteta vaikuttavan merenkulun kulkuyhteyksiin.

Jos kyseiselle Pohjanlahden alueelle perustetaan myös useita muita suunniteltuja tuulipuistoja, voi syntyä merenkulkuun vaikuttavia kumulatiivisia vaikutuksia. Tämä pätee erityisesti, jos Eyrasalt perustetaan Sigman länsipuolelle nykyisen hakemuksen laajuuden mukaisesti. Tämä merkitsisi reitin pidentämistä Husumiin ja Örnköldsvikiin suuntautuvalle ja sieltä lähtevälle liikenteelle. Jos Sigman lounaispuolella sijaitsevat kolme tuulivoimapuistoa, jotka vaikuttavat ensisijaisesti Sundsvallin liikennereittiin, myös perustetaan, se merkitsee merenkulun kannalta vaikeampia reittejä, joilla on enemmän kääntöpaikkoja alueen laivaliikenteelle. Tämä tarkoittaa myös sitä, että laivaliikenteen tila pienenee ja liikenne keskittyy harvemmille reiteille, mikä lisää törmäysten todennäköisyyttä. Kun tuulivoimaloita on enemmän, myös törmäysten todennäköisyys kasvaa, koska useammat alukset kulkevat tuulivoimaloiden läheisyydessä pitkiä reittejä pitkin.

Vaikutukset talvimerenkulkuun ja jäänmurtajatoimintaan ovat myös konkreettisempia, jos useita tuulipuistoja perustetaan. Kun tuulipuistoja on useita, vaihtoehtoisten reittien mahdollisuudet ovat rajalliset, kun Perämerellä on jäätä, ja nykyistä useammat alukset saattavat siksi tarvita apua, jotta ne pääsevät liikkumaan ilman törmäysriskiä. Vaikeina ja mahdollisesti myös tavanomaisina jäätalvina useat tuulivoimalat alueella voivat siten ajoittain johtaa jäänmurtajakapasiteetin puutteeseen, jos jäänmurtajalaivastoa ei vahvisteta. Tämä voi johtaa apua odottavien alusten pitkiin odotusajoihin, mikä puolestaan voi vaikuttaa satamiin viivästysten muodossa.

Koska yhdellekään lähialueelle suunnitelluista puistoista ei ole vielä myönnetty lupaa, on huomattavaa epävarmuutta siitä, miltä tulevaisuuden skenaario näyttää ja millaisia kumulatiivisia vaikutuksia sillä voi olla merenkulkuun. On kuitenkin epätodennäköistä, että kaikille puistoille myönnetään lupa haetun ja tässä analyysissä huomioon otetun laajuuden mukaisesti.

Lasketut törmäys- ja törmäystodennäköisyydet viittaavat jäättömiin olosuhteisiin, ja niissä verrataan skenaariota, jossa ei ole tuulivoimaloita, skenaarioon, jossa on Sigma-tuulipuisto. Sigman tuulivoimapuiston käyttöönotto lisää törmäystodennäköisyyttä vain vähän, koska tuulivoimapuiston odotetaan vaikuttavan hyvin vähän alueen liikennemalliin. Tulevaisuudessa odotettavissa oleva liikenteen kasvu lähialueiden teillä vaikuttaa enemmän törmäystodennäköisyyteen. Törmäystodennäköisyys arvioidaan todennäköisyysarviointiasteikon mukaan keskisuureksi. Tuulivoimapuiston kanssa *ajelehtivan törmäyksen* todennäköisyys lisää kuitenkin kaikenlaisten onnettomuuksien/onnettomuuksien kokonaistodennäköisyyttä merkittävästi verrattuna tapaukseen, jossa tuulivoimapuistoa ei ole. Laskelmat koskevat todennäköisyyttä, että alus ajautuu tai purjehtii tuulipuistoalueelle. Todennäköisyys törmätä johonkin tuulivoimalaan, jolla on merkittäviä seurauksia, on siis huomattavasti pienempi kuin laskennallinen törmäystodennäköisyys, joka vastaa 52 vuoden palautumisaikaa ($1,92 \times 10^{-2}$ törmäystä vuodessa).

Törmäysten todennäköisyys johtuu ensisijaisesti tuulipuiston länsipuolella kulkevilla laivaväylillä kulkevasta liikenteestä, joka saattaa kulkea tuulipuiston läheltä. Tuulipuiston pienentämisellä, joka kasvattaa etäisyyttä länsipuolella oleviin laivaväyliin, odotetaan kuitenkin olevan vain vähäinen vaikutus.

ajelehtivan törmäyksen todennäköisyys alueen suuren vesisyvyyden vuoksi, mikä tarkoittaa, että hätäankkurointiin ei ole juurikaan mahdollisuuksia edes suurilla turvaetäisyyksillä. Suoritetuissa laskelmissa on oletettu, että 98 prosenttia Sigman länsipuolella kulkevasta liikenteestä kulkee yli 0,5 metrin etäisyydellä, ja liikenteen sivukeskipiste on noin 1,3 metrin päässä tuulipuiston eteläpuolisesta länsirajasta. Tuulipuiston länsipuolella on tilaa, joten alusliikenteen on mahdollista kulkea yli 1,35 metrin etäisyydeltä, mikä on suunnittelualuksen manööveritilakriteeriin perustuva suositeltu turvaetäisyys. Tämän katsotaan olevan mahdollista useimmissa tapauksissa pienellä korjauksella ja reittien siirtämisellä ilman, että tarvitaan uutta kääntöpaikkaa.

Seuraukset ja vahinkojen laajuus, joita aiheutuisi törmäyksestä johonkin tuulivoimalaan, ovat epävarmoja. *Liikkuvan törmäyksen* seurauksia pidetään kuitenkin lievempinä kuin *moottorilla tapahtuvan törmäyksen* ja törmäyksen seurauksia, pääasiassa siksi, että *liikkuva törmäys* tapahtuu alhaisella nopeudella. Kokemuksia törmäyksistä merituulivoimaloiden kanssa on toistaiseksi vain vähän, ja raportoituja tapauksia on vain muutama. Yksikään tapaus ei kuitenkaan ole johtanut vakaviin seurauksiin kuolemantapausten muodossa.

Rakennusvaiheen riskien odotetaan olevan hyväksyttäviä edellyttäen, että asianmukaiset lieventämistoimenpiteet toteutetaan. Tämä olisi kuitenkin tarkistettava erillisessä rakennusvaiheen riskianalyysissä, joka olisi tehtävä myöhemmässä vaiheessa, kun tuulipuiston, sen suunnittelun ja rakennusvaiheen aikaisten kuljetusten yksityiskohdat ovat tarkemmin tiedossa. Uusi erillinen riskianalyysi olisi tehtävä myös käytöstäpoistovaihetta varten.

Törmäysvaaran aiheuttaman lisävaaran vuoksi tuulipuiston katsotaan lisäävän merenkulun kokonaisriskiä alueella. Olosuhteet, joissa liikenne voi ohittaa tuulipuiston riittävän turvallisen etäisyyden päästä, katsotaan kuitenkin useimmissa tapauksissa hyviksi. Koska tuulivoimapuiston alueella ja sen ympäristössä on jätää vain muutaman vuoden ajan, Sigman tuulivoimapuiston merkittävän vaikutuksen todennäköisyyttä talvimerenkulkuun pidetään hyvin pienenä. Tuulivoimapuiston muita vaikutuksia merenkulkuun reittien pidentämisen ja satamiin pääsyn muodossa pidetään vähäisinä.

10 Viitteet

4C Offshore (20. maaliskuuta 2024). *4C Offshore Offshore Offshore Wind*. Haettu osoitteesta 4C Offshore: <https://map.4c offshore.com/offshorewind/>.

Copernicus Marine. (2023). *Itämeren jään pitoisuus, laajuus ja luokitus aikasarja Copernicus Marine MyOcean Viewer*. Haettu EU:n Copernicus Marine -palvelun tiedoista: https://data.marine.copernicus.eu/product/SEAICE_BAL_PHY_L4_MY_011_019/description, <https://doi.org/10.48670/moi-00131>.

EMODnet (4 March 2024) *EMODnet Map Wiewer - Vessel density, Annual average 2017-2022, Pleasure craft*. Haettu EMODnetistä: <https://emodnet.ec.europa.eu/geoviewer/>.

Engberg, P. (2019) *IWRAP Mk2 -hanke44 A/S*. Haettu osoitteesta https://www.iala-aism.org/wiki/ialawiki/images/5/5a/20191201_lwrap_mk2.pdf.

Friis-Hansen, P. (2008) *IWRAP Mk2 -työasiakirja. Törmäys- ja karilleajotajuuksien ennustamisen mallintamisen peruseriäatteen*. Haettu osoitteesta https://www.iala-aism.org/wiki/iwrap/images/2/2b/IWRAP_Theory.pdf.

gCaptain (1. helmikuuta 2022). *Päivitys: Hylätty irtolastialus Julietta D saapuu satamaan ja lopettaa kiihkeän pelastustoiminnan*. Haettu osoitteesta gCaptain: <https://gcaptain.com/update-abandoned-bulk-carrier-julietta-d-arrives-in-port-ending-frantic-rescue/>.

Alankomaiden hallitus (2014) *Valkoinen kirja merituulivoimasta - Alankomaiden rannikon ja Waddensaarten pohjoispuolisen alueen kansallisen vesivarasuunnitelman osittainen tarkistaminen*. Infrastruktuuri- ja ympäristöministeriö, talousministeriö.

Ruotsin meri- ja vesihallintovirasto (2022). <https://www.havochvatten.se/vagledning-foreskrifter-och-lagar/vagledningar/havsplaner.html>. Haettu osoitteesta www.havochvatten.se.

IMO (2018). *TARKISTETUT OHJEET MUODOLLISESTA TURVALLISUUSARVIOINNISTA (FSA) KÄYTETTÄVÄKSI IMO:SSA. SÄÄNTÖMENETTELY, MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2*. Lontoo: Kansainvälinen merenkulkujärjestö.

Jersey Maritime Administration (2020). *TUTKINTA TUULIPUISTON TUKIALUS NJORD FORSETI JA TUULIPUISTON TORNIN VÄLISEN TÖRMÄYKSEN SYISTÄ JERSEYISSÄ ETELÄINEN POHJOISMERI 23. huhtikuuta 2020* D A Thorrington, merenkulun ylitarkastaja, Jersey Maritime Administration.

Keck, R.-E., & Sondell, N. (2000). Validation of uncertainty reduction by using multiple transfer locations for WRF-CFD coupling in numerical wind energy assessments. *Wind Energ. Sci.* 5, 997-1005, <https://doi.org/10.5194/wes-5-997-2020>.

Merenkulku- ja rannikkovartiostovirasto (2021). *MGN 654 (M+F) Safety of Navigation: Offshore Renewable Energy Installations (OREIs) - Guidance on UK Navigational Practice, Safety and Emergency Response*. Maritime & Coastguard Agency.

- PIANC (2018). *MarCom WG Report n° 161 - 2018, Interaction between offshore wind farms and maritime navigation*. PIANC The World Association for Waterborne Transport Infrastructure.
- Rasmussen, F., Melchild, K., Hansen, M., Jensen, T., Lehn-Schiöler, T., & Randrup-Thomsen, S. (2012). Laivaliikenteelle aiheutuvien riskien kvantitatiivinen arviointi Fehmarnbeltin kiinteän yhteyden hankkeessa. *Journal of Polish Safety and Reliability Association* 3(1), 123-134.
- Royal Dirkzwager (25. huhtikuuta 2023). *Uutiset: Rahtialus Petra L törmää Goden tuulipuistoon*. Haettu osoitteesta Royal Dirkzwager: <https://dirkzwager.com/news/petra-l-accident-with-gode-wind-farm/>
- Safety4Sea (22 joulukuu 2022) *Tuulipuiston perustus poistetaan Julietta D:n törmäyksen jälkeen*. Haettu osoitteesta Safety4Sea: <https://safety4sea.com/wind-farm-foundation-to-be-removed-after-julietta-d-collision/>
- Ruotsin merenkululaitos (2023). *Ruotsin merenkululaitoksen liiketoimintaympäristöanalyysi 2023*.
- Ruotsin merenkululaitos ja Ruotsin liikennevirasto (2023). *Merenkululaitoksen ja Ruotsin liikenneviraston suositukset meritulivoiman suunnittelua ja perustamista varten*. <https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/sjofart/sjotrafik-och-harbours/havsbaserad-vindkraft/sjofartsverkets-transportstyrelsens-rekommendationer-proj-etabl-havsbaserad-vindkraft.pdf>: Merenkululaitos ja Ruotsin liikennevirasto.
- SMHI (2021). *Jään tuleva laajuus Ruotsin vesillä Analyysi jääolosuhteista vuosina 2040 ja 2070. Merentutkimus nro 129, 2021*. . Haettu osoitteesta SMHI.
- SMHI (14. maaliskuuta 2024). *Miten merijää muuttuu?* Haettu SMHI:stä: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimat effekter-i-havet/hur-forandras-merijaa-1.28291>.
- Ruotsin liikennevirasto (2017). *TSFS 2017:66 Ruotsin liikenneviraston määräykset ja yleiset ohjeet merellä tapahtuvasta merkitsemisestä merenkulun turvalaitteilla*.
- Tuulipuistoselvitys (20. maaliskuuta 2024). *Vindbrukskollen*. Haettu osoitteesta Länsstyrelserna: <https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se/standard/?appid=7bfdca74029c4048874ebf40e465fead>.
- Örnsköldsvik Hamn & Logistik AB (12. maaliskuuta 2024). *Satamaviranomainen*. Haettu osoitteesta Örnsköldsvikin satama: <https://www.ornskoldsvikshamn.se/hamnverksamhet>

Id.	Ensisijainen syy	Fara	Seuraukset Välitön ja lopullinen*	"Pakottavat" ennaltaehkäisevät turvatoimet (oletettu)	Mahdollinen ehkäisevä turvallisustoime npide	Vaikutusten lieventämistoimenpid e	Kommentti
1 Sigman itäpuolella							
1.1	Tuulipuiston aiheuttamat reittimuutokset	Liikenne Sigman läpi koillis-lounaissuunnassa. suunta valitsee reitin Sigman itäpuolelle, ja uusi kääntöpaikka on Sigman lounaiskulmassa.	törmäys	Opasteet puiston kulmissa			Hyvin vähän liikennettä
1.2	Tuulipuiston aiheuttamat reittimuutokset	Sigman läpi koillis-lounaissuunnassa kulkeva liikenne valitsee Sigman itäpuolisen reitin, jolloin m u o d o s t u u uusi reitti nykyisen RI-reitin ja RI-tien välille. puisto, tungosta	törmäys				Hyvin vähän liikennettä ja noin 4 M nykyisen RI-reitin ja puiston välillä.
	Tuulipuiston aiheuttamat reittimuutokset	Aiemmin alueen läpi kulkenut liikenne kulkee tuulipuiston läheltä (kaakkoiskulma).	Allision				
2 Sigman länsipuolella							
2.1	Tuulipuiston aiheuttamat reittimuutokset	Liikenne Sigman läpi koillis-lounaissuunnassa. suunnan valinnassa valitaan reitti Sigman länsi- ja pohjoispuolelle, ja uusi kääntöpaikka on Sigman pohjoiskulmassa.	törmäys				Hyvin vähän liikennettä, noin 150 ohitusta vuodessa.
2.2	Rajoitettu liikkumavara tuulipuiston vuoksi.	Sigman läpi koillis-lounaissuunnassa kulkeva liikenne valitsee reitin Sigman länsi- ja pohjoispuolelle, jossa on uusi risteyspaikka Sigman länsipuolella olevan liikenteen kanssa, ja pohjoiseen suuntautuvan liikenteen väistötillaa on rajoitetusti, kun pohjoiseen suuntautuvan liikenteen on käännäyttävä pohjoiseen ja pohjoiseen suuntautuvan liikenteen on käännäyttävä etelään.	törmäys				
2.3	Rajoitettu liikkumavara tuulipuiston vuoksi.	Sigman läpi koillis-lounaissuunnassa kulkeva liikenne valitsee reitin Sigman länsi- ja pohjoispuolelle, jossa on uusi risteyspaikka Sigman länsipuolella olevan liikenteen kanssa, ja pohjoiseen suuntautuvan liikenteen väistötillaa on rajoitetusti, kun pohjoiseen suuntautuvan liikenteen on käännäyttävä pohjoiseen ja pohjoiseen suuntautuvan liikenteen on käännäyttävä etelään.	Allision (moottoroitu)				
2.4	Rajoitettu liikkumavara tuulipuiston vuoksi.	Nykyinen pohjoiseen (Husumiin) suuntautuva liikenne kulkee alle 1 m tuulipuiston länsipuolella. Mahdollisesti valitsee reitin lähemmäs etelään menevää kaistaa.	Yhteentörmäys (nökkakolari)				RI-reitti kulkee noin 2,5 metrin matkan Sigman länsirajalta.
2.5	Laivaväylien ja puistoalueen välinen tila on rajallinen.	Tekninen vika (esim. peräsimen vika), alus kääntyy tahattomasti kohti puistoaluetta. Epäonnistunut hätäkiinnitysapaikka.	Allision (moottoroitu).				Voi olla mahdollista ankkuroida hätäankkuri puiston länsipuolelle, jossa on noin 50 m.
2.6	Laivaväylien ja puistoalueen välinen tila on rajallinen.	Tekninen vika (esim. sähkökatkos) ja lounainen (vallitseva) tuuli, alus ajautuu kohti puistoaluetta. Hätäankkurointi epäonnistui.	Törmäys (ajautuminen).				Voi olla mahdollista ankkuroida hätäankkuri puiston länsipuolelle, jossa on noin 50 m. Sää ja tuuli vaikuttavat alusten valitsemaan reittiin. Voimakkaat länsituulet voivat tarkoittaa, että alukset valitsevat itäisen puolen.

Machine translation for the purpose of ESPOO consultation.

Id.	Ensisijainen syy	Fara	Seuraukset välitön ja lopullinen*	"Pakottavat" ennaltaehkäisevät turvatoimet (oletettu)	Mahdollinen ennaltaehkäisevä turvallisustoimenpide	Vaikutusten lieventämistoimenpiteet	Kommentti
2.7	Rajallinen tila laivaväylien ja puistoalueen välillä (erityisesti Sigman länsipuolella pohjoiseen menevillä väylillä).	Tutkan häiriöt. PIANC:n mukaan tuulipuiston ohittaminen alle 1,5 metrin (2 778 m) etäisyydeltä voi aiheuttaa häiriöitä aluksen tutkan 5-taajuusalueella, mikä on keskiuuri riski, koska se voi johtaa pieneen kohdehäviöön. Tämä voi johtaa esimerkiksi siihen, että pienemmät veneet tai muut pienet esteet eivät näy tutkalla ja havaitaan siten liian myöhään. Alle 0,25 M:n (noin 500 m) etäisyydeltä ohitettaessa voi myös esiintyä häiriöitä tutkan X-kaistalla, mikä voi johtaa haamukaihin eli niin sanottuihin väärin kaikuihin, jotka muodostavat erittäin suuren riskin).	Navigointivaikeudet. Alueen läpi kulkevien pienempien alusten ja veneiden myöhäinen havaitseminen. Törmäys.				Tutkahäiriöiden suuruus riippuu turbiinien korkeudesta ja sijainnista toisiinsa nähden.
3 Lambdan koillispuolella							
3.1	Tuulipuiston aiheuttamat reittimuutokset	Nykyisin Lambdan kautta kulkeva liikenne (Sundsvallin liikenne) joutuu valitsemaan toisen reitin Lambdan koillispuolella. Uusi kääntöpaikka sijaitsee Lambdan itäkulmassa.	törmäys				
3.1	Tuulipuiston aiheuttamat reittimuutokset	Nykyisin Lambdan kautta kulkeva liikenne (Sundsvallin liikenne) joutuu valitsemaan toisen reitin Lambdan koillispuolella. Uusi kääntöpaikka sijaitsee Lambdan itäkulmassa.	Allision (moottoroitu)				
3.1	Rajallinen etäisyys laivaväylien ja puistoalueen välillä.	Tekninen vika (esim. sähkökatkos). Liikenne, joka nykyisin kulkee Lambdan kautta (Sundsvallin liikenne), joutuu valitsemaan toisen reitin, joka kulkee Lambdan koillispuolella. Ennen/jälkeen itäkulman käännöksen liikenne kulkee suhteellisen lähellä Lambdan luoteispuolta.	Törmäys (ajautuminen)				Luultavasti merialuesuunnitelmassa osoitetun alueen mukainen, mahdollisesti hieman lähempänä. Vallitseva tuulensuunta on lounaasta - ajalehtiva alue ajautuu useimmissa tapauksissa pois puistosta.
3.2	Rajoitettu etäisyys laivaväylät ja puistoalue.	Tekninen vika, peräsimen vika, joka aiheuttaa tahatonta kallistelua. kohti puistoa.	Allision (moottoroitu)				Vaikea ankkuroitua, veden syvyys+ 50 m itään merestä. puistot
3.3	Laivaväylien ja puistoalueen välinen tila on rajallinen.	alue, jolla harjoitetaan kalastusta uuden reitin koillispuolella, ja mahdollisesti useammassa tapauksessa on tarpeen muuttaa kurssia kuin pelkissä alusten välisissä kohtaamisissa, mikä voi johtaa siihen, että todennäköisyys, että törmäys	törmäys				Nykyiset kalastustavat osoittavat, että kalastusta on noin 4,5 metrin päässä puistosta, joten tilaa pitäisi olla riittävästi.
3.4	Laivaväylien ja puistoalueen välinen tila on rajallinen.	Kalastusalueen kanssa ja mahdollisesti useammat tapaukset, joissa kurssinmuutostarpeet ovat suuremmat kuin pelkissä alus-alus-kohtaamisissa, mikä voi johtaa lisääntyneeseen liikennemäärän kasvuun. törmäyksen todennäköisyys.	Allision (moottoroitu)				Nykyiset kalastustavat osoittavat, että kalastusta on noin 4,5 metrin päässä puistosta, joten tilaa pitäisi olla riittävästi.

Machine translation for the purpose of ESPOO consultation.

Id.	Ensisijainen syy	Fara	Seuraukset Välitön ja lopullinen*	"Pakottavat" ennaltaehkäisevät turvatoimet (oletettu)	Mahdollinen ennaltaehkäisevä turvallisustoimen- pide	Vaikutusten lieventämistoimen- pid e	Kommentti
3.5	Tutkan häiriöt	Häiriöt aluksen navigointilaitteissa, haamukartio, kadonneet kohteet tutkassa. Tutkahäiriöitä "pienen kohteen häviämisen" ja "kohteiden vaihtamisen" muodossa esiintyy todennäköisesti lähempänä kuin 1,5 M. Niin sanottuja haamukaikuja tai vääriä kaikuja voi esiintyä lähempänä kuin 0,25 M:n etäisyydellä.	törmäys				Tutkahäiriöiden suuruus riippuu turbiinien korkeudesta ja sijainnista toisiinsa nähden. Useimmat alukset ovat todennäköisesti noin 1 metrin etäisyydellä puistosta, mutta myös suuremmalla etäisyydellä, jos tutkahäiriöitä esiintyy.
4. Lambdan itäpuolella							
4.1	Rajoitettu tila laivaväylät ja puistoalue.	Tekninen vika, peräsimen vika, joka aiheuttaa tahatonta kallistelua. kohti puistoa.	Allision (moottoroitu)				Nykyinen liikenne on hyvin vähäistä,
4.2	Laivaväylien ja puistoalueen välinen tila on rajallinen.	Tekninen vika, kuten sähkökatkos	Allison (ajelehtiminen)				Nykyinen liikenne on hyvin vähäistä, vallitseva tuulensuunta lounaasta - pois päin tuulipuisto.
4.3	Majakoita on vaikeampi havaita rannikolla	Navigointivaikeudet					Lian kaukana, jotta majakoita näkyisi siitä huolimatta, esimerkiksi Agön majakka, jossa on merkki FI WRG 5s 31m 9-5 M= valkoinen valo 9 M kirkkaalla säällä.
5. Lambdan länsipuolella							
5.1	Rajallinen tila tuulipuiston vuoksi, rajallinen tila sekä idässä että lännessä.	Gretas Klackarin matala alue sijaitsee noin 4,5 metriä länteen Lambdan länsipuolelta, tuulipuisto ja matalikko estävät manööveroinnin.	törmäys				Hajanaista liikennettä hyvin vähäisellä voimakkuudella. Noin 100 yli 50 metriä pitkää alusta, noin 35 alle 50 metriä pitkää alusta.
5.2	Rajallinen tila tuulipuiston vuoksi, rajallinen tila sekä idässä että lännessä.	Gretas Klackarin matalikkoalue sijaitsee noin 4,5 m länteen Lambdan länsipuolelta, vesivoimapuistosta ja matalikkoalueelta estettyinä. väistöliike.	Allison (voimanlähde)				Hajanaista liikennettä hyvin vähäisellä voimakkuudella. Noin 100 yli 50 metriä pitkää alusta, noin 35 alle 50 metriä pitkää alusta.
5.3	Rajallinen tila tuulipuiston vuoksi, rajallinen tila sekä idässä että lännessä. west	Gretas Klackarin alue sijaitsee noin 4,5 metriä Lambdan länsipuolelta länteen, Väistöliikkeet voivat johtaa karilleajoon.	maadoitus				Enintään 9,3 metriä.
5.4	Rajoitetut mahdollisuudet väistöliikkeeseen koilliseen (luoteiskurssilla o l e v i l l e aluksille) törmäyksen välttämiseksi (COLREG 8 - Toimenpiteet törmäyksen välttämiseksi),	Voi johtaa siihen, että väistöliikkeitä ei tehdä tai ne epäonnistuvat. Hyvin harvat alukset kulkevat tuulipuiston länsipuolen ulkopuolella, mutta alukset saattavat kulkea läheltä, j o l l o i n liikkumavara tuulipuistoa kohti on rajallinen ja todennäköisyys kasvaa. sähkökäyttöinen törmäys	Allision (moottoroitu)				
6 Talvinen navigointi							
6.1	Pidemmät tukijaksot	Laiva ajelehtii jäässä	Törmäys (ajautuminen)				

Id.	Ensisijainen syy	Fara	Seuraukset Välitön ja lopullinen*	"Pakottavat" ennaltaehkäisevät turvatoimet (oletettu)	Mahdollinen ehkäisevä turvallisustoime npide	Vaikutusten lieventämistoimenpid e	Kommentti
6.2	Jää muodostuu ja murtuu eri tavalla	Jäänmurtajien apu voi vaikeutua tai viivästyä.	Allision				Epävarmuus/tietämättömyys siitä, miten tuulivoimat vaikuttavat jäähän, "keräävätkö"kö tuulivoimat jäätä jne. voi vaikuttaa jääolosuhteisiin.Sjöv arvioi, että ankarana jäätalvena jää kerääntyy enemmän kuin avovedessä, jolloin muodostuu pengerryksiä ja jääpenkereitä. kiinnitetään tuulipuistoon.
6.3	Tuulipuisto on este	Alukset jäävät jumiin ja ajautuvat kohti tuulipuistoa.	Törmäys (ajautuminen)		Lisää aluksia saa apua tuulipuiston ohi		Näissä puistoissa ei ole yksittäisiä suuria ongelmia. Jonkin verran vaikutusta, jos parhaat mahdolliset reitit ovat tukossa. mutta ratkaistavissa.
6.4	Emme tiedä, miten jää muodostuu/muuttuu seuraavien tekijöiden vuoksi. tuulivoimat	Enemmän homeen muodostumista, enemmän jään muodostumista	Törmäys (ajautuminen)				Jäänpoiston aikana jää voi aiheuttaa vaikeuksia seuraavissa tapauksissa liikenne. Aika, jolloin apua tarvitaan, voi olla pidempi.
6.5	Kova talvi - rajallinen kapasiteetti	Juuttuneet ja ajalehtivat alukset	Törmäys jäässä				Jäänmurtajat eivät halua (eivät halua) mennä tuulipuistoon, koska auttamaan.
6.6	tuulipuisto vähentää mahdollisia reittejä, vaikeampi ohjata turvallisille reiteille.	Leutoina talvina jääpeite muodostuu ja liikkuu, mikä vaikuttaa siihen, mitkä reitit ovat mahdollisia, tuulipuisto voi estää	Törmäys (ajautuminen)				
6.7	Riittämätön jäänmurtajakapasiteetti maa tuulipuistot ja lisääntynyt kysyntä	Pidemmät tukijaksot	Törmäys (ajautuminen)				
6.8	Aluksen ohjattavuus heikkenee jäässä	Törmäysskenaario tuulipuiston lähellä jään läsnä ollessa	Törmäys/kolari				Vaikeissa jääolosuhteissa ja kulkiessaan väylällä alus voi pysähtyä jäihin pysähtyäkseen ja välttääkseen siten törmäyksen. Lievemmissä jääolosuhteissa, kun jää ei ole tarpeeksi paksua tai pakkautunutta pysäyttääkseen/jarruttaakseen alusta, jää voi kuitenkin vähentää aluksen ohjattavuutta ja tarkoittaa, että 360 asteen käännöksen tekemiseen tarvitaan enemmän tilaa kuin jäätömissä olosuhteissa. luokan vaihteet.
7 Naapuripuistoalueiden mahdolliset kumulatiiviset vaikutukset							
7.1	Rajoitettu etäisyys tuulipuistojen välisessä käytävässä: Bothnia Offshore Sigman ja Eysrasaltin välinen etäisyys on noin 0,8 metriä.	Ei liikkumavaraa	törmäys				Koska välimatka on vain 0,8 miljoonaa metriä, on todennäköistä, että vain muutama alus valitsee välimatkailun. Statkraftin mukaan on todennäköistä, että Eysrasalt leikataan itäpuolelta, jotta sille varattua laivaväylää voidaan käyttää. On olemassa erilaisia skenaarioita.
7.2	Rajoitettu etäisyys tuulipuistojen välisessä käytävässä: Noin 0,8 M etäisyys Bothnia Offshore Sigman ja Bothnia Offshore Sigman välillä. Eysrasalt	Tekninen vika, kuten peräsimen vikaantuminen, marginaalinen uudelleenkäynnistymisaika.	Allision (moottoroitu)				Kun on kyse vain 0,8 M:stä, teknisiä virheitä ei voi tehdä.

Id.	Ensisijainen syy	Fara	Seuraukset Välitön ja lopullinen*	"Pakottavat" ennaltaehkäisevät turvatoimet (oletettu)	Mahdollinen ennaltaehkäisevä turvallisuustoime npide	Vaikutusten lieventämistoimenpid e	Kommentti
7.3	Rajoitettu etäisyys tuulipuistojen välisessä käytävässä: Noin 0,8 M etäisyys Bothnia Offshore Sigman ja Bothnia Offshore Sigman välillä. Eystrasalt	Tekninen vika, kuten sähkökatkos, marginaalinen aika uudelleenkäynnistykseen.	Törmäys (moottoroitu/ajeleiva)				Kun on kyse vain 0,8 M:stä, teknisiä virheitä ei voi tehdä.
7.4	Rajallinen etäisyys tuulipuistojen välisessä käytävässä: Noin 0,8 M etäisyys Bothnia Offshore Sigman ja Eystrasaltin välillä - alue, joka on lähimpänä tuulipuistoa. pitää suljettuna.	Eystrasaltin länsipuolella tai Sigman itäpuolella sijaitseva vesistöjohto	Reitin pidentäminen, päästöjen lisääntyminen				
7.5	Botnia West ja Sigma on suunniteltu suoraan vierekkäin. Merialueen kautta kulkeva liikenne on reitin laajentaminen.	Uudelleenohjaus pohjoiseen tai etelään	Reitin pidentäminen, päästöjen lisääntyminen				Hyvin vähän liikennettä, noin 150 ohitusta vuodessa.
7.6	Botnia West, Sigma ja Eystrasalt on suunniteltu suoraan vierekkäin. Merialueen läpi kulkevalle liikenteelle tulee reitin pidennys. Muun muassa Husumin ja Övikin liikennettä.	Kolmen puiston itä- tai länsipuolella sijaitsevien vesien johtaminen.	Reitin pidentäminen, päästöjen lisääntyminen				
7.7	Tutkan häiriöt	Häiriöt aluksen navigointilaitteissa, haamukartio, kadonneet kohteet tutkassa. Tutkahäiriöitä "pienen kohteen häviämisen" ja "kohteiden vaihtamisen" muodossa esiintyy todennäköisesti lähempänä kuin 1,5 M. Niin sanottuja haamukaikuja tai vääriä kaikuja voi esiintyä lähempänä kuin 0,25 M:n etäisyydellä.	törmäys				Tutkahäiriöiden suuruus riippuu turbiinien korkeudesta ja sijainnista toisiinsa nähden.
7.8	Rajallinen etäisyys tuulipuistojen välisessä käytävässä: Noin 2,7 M etäisyys Bothnia Offshore Lambdan ja Sylenin luoteisrajan välillä.	Rajoitettu liikkumavara	törmäys				Käytävän vähimmäisleveys 4 M käytävän pituuden ollessa 11,4 M MGN 654:n mukaisesti. Liikenteen intensiteetti käytävällä on todennäköisesti vähäinen, sillä vain harvat alukset kulkevat luoteesta kaakkoon. puistoalueet.
7.9	Rajoitettu etäisyys tuulipuistojen välisessä käytävässä: Sylenin luoteisrajan ja Bothnia Offshore Lambdan luoteisrajan välinen etäisyys on noin 2,7 M.	Rajoitettu liikkumavara	Allision (powered)				Käytävän vähimmäisleveys 4 M käytävän pituuden ollessa 11,4 M MGN 654 -standardin mukaisesti.
7.10	Rajoitettu etäisyys tuulipuistojen välisessä käytävässä: Noin 2,7 M etäisyys Bothnia Offshore Lambdan ja Sylenin luoteisrajan välillä.	Rajallinen tila koneen uudelleenkäynnistämiseksi teknisen vian, kuten sähkökatkoksen, sattuessa, alus on rajoitettu molemmin puolin ja ajalehti kohti tuulipuistoa sekä pohjoisessa että etelässä. tuulensuunnat.	Törmäys (ajautuminen)				Käytävän vähimmäisleveys 4 M käytävän pituuden ollessa 11,4 M MGN 654 -standardin mukaisesti.

Machine translation for the purpose of ESPOO consultation.

Id.	Ensisijainen syy	Fara	Seuraukset Välitön ja lyhytaikainen*	"Pakottavat" ennaltaehkäisevät turvatoimet (oletettu)	Mahdollinen ennaltaehkäisevä turvallisustoimen- pide	Vaikutusten lieventämistoimen- pid e	Kommentti
7.11	Eystrasaltin tuulivoimapuisto noin 7 M Lambdan koillispuolella, Lambdan hankealueelta Lambdan sisällä kulkeva liikenne ohjataan Lambdan itäpuolelle, tuulivoimapuistojen väliin ja noin 4 M ha:n matkalle. tuulipuistot molemmin puolin.	Väistöliikkumavaraa on hieman vähemmän ja törmäystodennäköisyys on mahdollisesti jonkin verran lisääntynyt.	törmäys				Tarpeeksi tilaa 360° kääntymiselle. Alusliikenne kulkee todennäköisesti lähellä Lambdaa, koska se merkitsee lyhyempää reittiä.
7.12	Eystrasaltin tuulivoimapuisto noin 7 M Lambdan koillispuolella, Lambdan hankealueelta Lambdan sisällä kulkeva liikenne ohjataan Lambdan itäpuolelle, tuulivoimapuistojen väliin ja noin 4 M ha:n matkalle. tuulipuistot molemmin puolin.	Väistöliikkumavaraa on hieman vähemmän ja törmäystodennäköisyys on mahdollisesti jonkin verran lisääntynyt.	Allision (moottoroitu)				Tarpeeksi tilaa 360° kääntymiselle. Alusliikenne kulkee todennäköisesti lähellä Lambdaa, koska se merkitsee lyhyempää reittiä.
7.13	Eystrasaltin tuulivoimapuisto noin 7 M Lambdan koillispuolella, Lambdan hankealueelta Lambdan sisällä kulkeva liikenne ohjataan Lambdan itäpuolelle, tuulivoimapuistojen väliin ja noin 4 M ha:n matkalle. tuulipuistot molemmin puolin.	Teknisen vian, kuten sähkökatkon, sattuessa toimintatila ja -aikaa on hieman rajoitettu ja törmäyksen todennäköisyys on kasvanut.	Allision (ajelehtiminen)				Alusliikenne kulkee todennäköisesti Lambdan läheltä, koska tämä tarkoittaa lyhyempää reittiä. Vallitseva länsilounaistuulen suunta tarkoittaa, että ajelehtivat alukset ajautuvat useimmiten Eystrasaltin suuntaan.
7.14	Tuulipuisto Gretas Klackar 1 sijaitsee noin 3,5 m Lambdasta länteen, ja välissä kulkevien alusten väistöliikkeitä varten on rajoitetusti tilaa molemmin puolin.	Väistöliikkeen epäonnistuminen tai puuttuminen	törmäys				Alueiden välinen liikenne on hyvin vähäistä, liikenne on hajanaista, noin 100 ohitusta ylitystä kohti (yli 50 m:n pituiset alukset ja 35 ohitusta alle 50 m:n pituisten alusten kanssa).
7.15	Tuulipuisto Gretas Klackar 1 sijaitsee noin 3,5 m Lambdasta länteen, ja välissä kulkevien alusten väistöliikkeitä varten on rajoitetusti tilaa molemmin puolin.	Väistöliikkeen epäonnistuminen tai puuttuminen	Allision (moottoroitu)				
7.16	Naiadit, Olof Skötkonung rajoittavat Söderhamnin ja Hudiksvallin satamien saavutettavuutta. Liikenne voi joutua kulkemaan Fyrskeppetin, Sylenin ja Lambdan pohjoispuolelle ja mahdollisesti Gretas Klackarin 1. Reitin pidentäminen ja lisäkääntöpaikka satamiin/ satamista tulevalle liikenteelle. Söderhamnissa ja Hudiksvallissa.	Liikenteen on kierrettävä kaikki kolme puistoa päästäkseen näihin satamiin, ja lisäksi on useita kääntymiskohtia.	törmäys				Merkittävä reitin laajennus, jos Naiadit ja/tai Olof Skötkonung sekä Lambda, Sylen ja Fyrskeppet rakennetaan.
7.17	Tuulipuistot tukkivat laivaliikenteeltä laajoja alueita. Rajallinen tila kuljetusta varten.	Liikenteen ruuhkautuminen harvemmilla ja rajoitetummilla reiteillä.	Törmäyksen todennäköisyys kasvaa				

Machine translation for the purpose of ESPOO consultation.

ID.	Ensisijainen syy	Fara	Seuraukset Välitön ja lopullinen^A	"Pakottavat" ennaltaehkäisevät turvatoimet (oletettu)	Mahdollinen ehkäisevä turvallisuustoimenpite	Vaiikutusten lieventämistoimenpid e	Kommentti
7.18	Useiden tuulipuistojen rakentaminen.	Lisääntynyt liikenne ja monet suuret alukset, kun lähistölle rakennetaan lisää tuulipuistoja. Muuttunut liikennemallit.	Törmäyksen todennäköisyys kasvaa				Puistojen perustaminen on koordinoitava, koska resurssit ovat rajalliset.
8 Pelastustoiminnan edellytykset (henkilö/ympäristö)							
8.1	Tuulivoimalat haittaavat alueen kulkua ja saavutettavuutta. Tuulipuiston tornit vaikuttavat ilmassa liikkuvien yksiköiden olosuhteisiin erityisesti huonolla säällä/näkävyyden heikentyessä.	Tuulipuisto vaikeuttaa esimerkiksi etsintä- ja pelastusoperaatioiden (SAR) lentävien yksiköiden olosuhteita. Vesilentokoneet eivät halua lentää korkealla sijaitsevilla vkv, korkeat tornit vaikeuttavat/rajoittavat lentoolosuhteita.	Viivästynyt pelastus. SAR-toiminnan kapasiteetin väheneminen	Varautumis-, ympäristö- ja pelastussuunnitelma			Mitä kapeampi etäisyys tuulivoimaloiden välillä on, sitä vaikeampi pelastustoiminta on. Tuulivoimaloiden välinen vähimmäisetäisyys on noin 2 km. Puistoa varten laaditaan hätä-, ympäristö- ja pelastussuunnitelma. Tällä hetkellä ei ole olemassa tarkkoja vaatimuksia siitä, miltä tällaisen suunnitelman pitäisi näyttää. SjöV vastaa lentopelastuksesta ja toivoo, että pysäytykset voidaan tehdä nopeasti ja että valvonta voidaan suorittaa. Tuulipuiston aiheuttama lisääntynyt törmäystodennäköisyys merkitsee suurempaa öljyvuootojen todennäköisyyttä.
8.2	Huviveneet tulevat alueelle.	Roottorin lavat osuvat mastoon. Etsintä ja pelastus (SAR) vaikeutuu.	Viivästynyt pelastus. SAR-toiminnan kapasiteetin väheneminen	Varautumis-, ympäristö- ja pelastussuunnitelma			Alueella on hyvin vähän huviveneitä. Veden pinnan ja roottorin lapojen alimman kohdan välinen etäisyys on vähintään 20 metriä .
8.3	Tuulivoimalat vaikeuttavat ympäristöpelastuksen pääsyä alueelle.	Tuulivoimalat vaikeuttavat öljyuodon sulkemista ja talteenottoa.	Öljyä puistoalueella. Rannikovartioston vaikeudet käsitellä mahdollista öljyvuotoa, huonompi palautuminen, mikä voi johtaa ympäristövahinkoihin.	Varautumis-, ympäristö- ja pelastussuunnitelma			Saattaa johtaa ensisijaisesti ympäristövaikutuksiin. Vaikutukset elämään/terveyteen arvioidaan vähäisiksi. Mahdollisten vuotojen varhainen havaitseminen, koska alueella on enemmän aluksia/t työaluksia.
8.4	Tuulivoimalan hajoaminen	Tuulivoimaloiden öljypäästöt	Öljyä puistoalueella. Rannikovartioston vaikeudet käsitellä mahdollista öljyvuotoa, huonompi palautuminen, mikä voi johtaa ympäristövahinkoihin.	Varautumis-, ympäristö- ja pelastussuunnitelma			KBV:n varautumissuunnittelun kannalta on tärkeää saada tietoa tuulivoimaloissa olevan öljyn laadusta ja määrästä. On laadittava varautumissuunnitelma. Tällä hetkellä ei ole olemassa tarkkoja vaatimuksia siitä, millainen tällaisen suunnitelman tulisi olla.
G Muu meriliikenne/yleinen							

Machine translation for the purpose of ESPOO consultation.

Id.	Ensijainen syy	Fara	Seuraukset Välitön ja lyhytaikainen*	"Pakottavat" ennaltaehkäisevät turvatoimet (oletettu)	Mahdollinen ehkäisevä turvallisustoimenpide	Vaikutusten lieventämissuunnitelma	Kommentti
9.1	Vapaa-ajan veneliikenne laivaväylien poikki tuulipuiston läheisyydessä.	Huviveneet arvioivat väärin tuulivoimaloiden ja muiden alusten läheisyyden. Kauppa-alukset joutuvat väistämään huvialuksia. Rajoitettu liikkumavara johtuen tuulipuisto	Törmäys rahtialuksen kanssa				Alueella ei ole huvialuksia tai niitä on hyvin vähän.
9.2	Vapaa-ajan veneliikenne laivaväylien poikki tuulipuiston läheisyydessä.	Huviveneet arvioivat väärin tuulivoimaloiden ja muiden alusten läheisyyden. Kauppa-alukset joutuvat väistämään huvialuksia. Rajoitettu liikkumavara johtuen tuulipuisto	Allision (moottoroitu)				Alueella ei ole huvialuksia tai niitä on hyvin vähän.
9.3	Inhimillinen erehdys	Virkailija nukahtaa tai käyttäytyy huonosti kurssi.	Allision (moottoroitu)				
9.4	Alukset puistoalueella ja puistoalueelta (tuulivoimaloiden huoltoa tai kunnossapitoa varten tai miehistönsiirtoalukset miehistö)	Poikkeaminen vakiintuneilta reiteiltä. Pienempien, nopeammin liikkuvien yksiköiden ylimääräinen risteävä liikenne. Rajoitettu tila väistöliikkeitä.	törmäys				Palvelualusten tyyppiä, niiden arvioitua liikennöintitiheyttä ja lähtöpistettä ei ole vielä tässä vaiheessa vahvistettu.
9.5	Jäätelöä roottorin lapoihin.	Naapurilaitoksista <u>heitetty jää</u> voi osua alueella ohikulkeviin aluksiin tai huoltoveneisiin.	Paikalliset vahingot, henkilövahingot.				Ruotsin energiaviraston Ice Thrower - tutkimushankkeessa on määritetty $d = D + H$, jossa d on riskietäisyys metreinä [m], D on roottorin halkaisija [m] ja H on navan korkeus [m]. Suositeltua riskietäisyyttä käytetään jäänheiton turvaetäisyytenä. Esimerkki: Roottorin halkaisija= 300 m, kokonaiskorkeus = 350 m, navan korkeus = 200 m. Nykyiset parametrit antavat arvion suuruusluokkaa noin 500 m riskietäisyydellä.
9.6	Kalastusalukset ja jotkut pienemmät alukset kulkevat puistoalueen läpi.	Alukset, jotka kulkevat vakiintuneita reittejä puistoalueen ulkopuolella, eivät ole varautuneet aluksiin, jotka saapuvat puistoalueen ylityskursseille.	törmäys				Kaupallista kalastusta harjoitetaan Sigman eteläpuolella ja Lambdan ja Sigman välillä.
9.7	Tuulivoimalan rikkoutuminen - lapojen vikaantuminen	Putoavat osat ja kappaleet leviävät laajemmalle alueelle.	Pahimmassa tapauksessa: putoava roottorin lapa osuu alukseen. Paikalliset vauriot, henkilövahinko.				Pienempi riski roottorin halkaisijan ulkopuolella. Lehtiosat voivat kuitenkin levitä suuremmalle alueelle.
9.8	tuulipuisto häiritsee/vaimentaa signaaleja, jotka koskevat rannikkoradio	Radiohäiriöt. Alukset menettävät tietoja.	törmäys				Toimenpiteet, kuten orjalähettimet, ovat käytössä.
9.10	Palvelukuljetukset alueella/alueelta	Alueen lisäliikenne	törmäys				

10 Rakennusvaihe

Id.	Ensisijainen syy	Fara	Seuraukset Välitön ja lopullinen*	"Pakottavat" ennaltaehkäisevät turvatoimet (oletettu)	Mahdollinen ehkäisevä turvallisustoime npide	Vaikutusten lieventämistoimenpid e	Kommentti
10.1	Kuljetus puistoalueelle ja sieltä pois. Suurten alusten ja rakennusalusten aiheuttama lisääntynyt liikenne.	Alukset, jotka poikkeavat vakiintuneilta reiteiltä ja ylittävät laivaväyliä.	Yhteentörmäys: Laivaväylillä liikennöivien alusten on käsiteltävä tai vältettävä risteävää liikennettä, laivaväylillä liikennöivien alusten ja puistoalueelle saapuvien tai sieltä lähtevien alusten välisiä yhteentörmäyksiä.	Tiedottaminen meneillään olevista töistä Ufs:n ja merenkulkijoille suunnattujen ilmoitusten avulla, merkinnät merikarttoihin jne.			Rakennusalueen tyyppiä ja niiden arvioitua tiheyttä ja alkamisajankohtaa ei ole vielä tässä vaiheessa vahvistettu. Rakennusvaihetta varten olisi tehtävä erillinen riskinarviointi ennen rakennusvaiheen aloittamista, kun tuulipuiston suunnittelun yksityiskohdista on päätetty (viite. Merenkulkulaitoksen ja Ruotsin liikenneviraston suositukset merituulivoiman suunnittelusta ja p e r u s t a m i s e s t a , päivätty 2023-06-20).
10.2	Työskentely aluksilla/alustoilla puistoalueen ulkopuolella	Alus/alusta suoraan laivaväyliin läheisyydessä, rajoitettu väistämismahdollisuus törmäyksen välttämiseksi.	törmäys	Tiedottaminen meneillään olevista töistä Ufs:n, merenkulkijoille suunnattujen ilmoitusten, merikarttoihin tehtyjen merkintöjen jne. välityksellä.			
10.3	Kaapelilaskuun liittyvät työalukset laivaväylillä	Paikallaan oleva alus/hitaasti liikkuva alus, jonka kurssi poikkeaa.	Kaapeleiden vaurioituminen, aluksen ja työveneiden/lautan törmäys. m	Väliaikainen liikenteen ohjaaminen muualle, turvaetäisyydet, tiedottaminen käynnissä olevista töistä Ufs:n kautta, ilmoitus Ufs:lle merenkulkijat.	Risteävät polut kohtisuoraan / lyhin reitti.		
10.4	Perustuksen/turbiinin vaurioituminen asennuksen aikana	Öljyn tai muun aineen vuoto laitteistossa			Varautumissuunnitelma laaditaan seuraavia varten rakennusvaihe		Ei ole tapahtunut. Turbiinissa ei ole öljyä asennuksen yhteydessä

* Kaikissa tapauksissa karilleajon ja törmäyksen seuraukset voivat johtaa alusten, tuulivoimaloiden tai muun omaisuuden vahingoittumiseen, henkilövahinkoihin ja mahdollisesti polttoaineen tai nestemäisen lastin vapautumiseen.