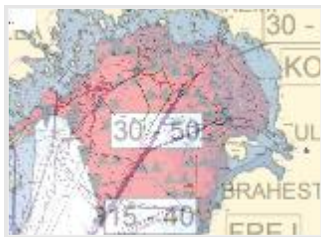




Merenkulun riskianalyysi

Nro: RE20221614-01-00

Polargrund Offshore tuulivoimapuisto - Merenkulun riskianalyysi



Polargrund Offshore AB
Ringvägen 100
118 60 Tukholma

RAPORTTI

Päivämäärä

2024-03-01

RISE Raportin numero:

RE20221614-01-00

Projektipäällikkö:

Nelly Forsman

Kirjoittaja

Nelly Forsman

+46 (730) 729160

nelly.forsman@ri.se

Merenkulun riskianalyysi: Polargrundin Offshore tuulivoimapuisto

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.

Pääkonttori: 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.

Tiivistelmä

Polargrund Offshore AB (osa Skyborn Renewables AB:tä, tässä raportissa Skyborn) aikoo hakea lupaa tuulivoimapuiston rakentamiseen ja toimintaan Perämeren pohjoisosassa Kalixin kunnassa Ruotsin talousvyöhykkeellä (EEZ). Tuulipuiston nimi on Polargrund Offshore (Polargrund), ja siihen on suunniteltu 120 tuulivoimaa, joiden kokonaiskorkeus on enintään 350 m. Tässä selvityksessä tutkitaan Polargrundin tuulipuiston perustamisen mahdollisia vaikutuksia merenkulkuun. Talvella kyseiset vesialueet jäätyvät, mikä vaikuttaa merenkulkuun ja aiheuttaa lisäriskejä merenkululle. Jäättömissä olosuhteissa karilleajon, yhteentörmäyksen ja törmäyksen todennäköisyys, eli se, että alus purjehtii tai ajautuu tuulipuistoon, on laskettu IWRAP Mk II -työkalun avulla. Jääpeitteisillä vesillä onnettomuustodennäköisyyksiä ei voida laskea samalla tavalla. Sen vuoksi jääkauden aikaisia vaikutuksia ja riskejä on arvioitu kvalitatiivisesti ja mahdollisuuksien mukaan kvantitatiivisesti.

Tämäntyyppiseen merenkulun riskianalyysiin suositeltujen ja vakiintuneiden menetelmien mukaisesti järjestettiin Hazid-työpaja (riskien tunnistamistyöpaja). Työpajaan osallistui sekä Suomen että Ruotsin viranomaisten edustajia sekä muiden sidosryhmien, kuten satamaoperaattoreiden, edustajia. Hazid-työpajan aikana todettiin, että on epävarmaa miten tuulipuisto vaikuttaa jään muodostumiseen ja jään liikkeisiin, ja näin ollen on epävarmaa, mitkä ovat alueen jääolosuhteet tulevaisuudessa. Monet talvimerenkulun vaaratekijät johtuvat siitä, että mahdollisuudet valita paras ja turvallisin reitti jään läpi ovat rajalliset kun tuulipuisto perustetaan. Tuulipuiston odotetaan myös lisäävän jäänmurtajakapasiteetin tarvetta, mikä voi johtaa pitkiin odotusaikoihin ja esimerkiksi törmäysvaaraan. Monet vaarat, joita voi syntyä jäättömissä olosuhteissa, johtuvat siitä, että laivaliikenne voi kulkea tuulipuiston lähellä. Tämä voi johtaa joissakin tapauksissa törmäykseen, jos tuulipuisto estää väistöliikkeen. Tämä pätee erityisesti tuulipuiston kaakkoispuolella, jossa tuulipuisto on lähellä Kemins ja Merenkurkun välistä nykyistä laivaväylää, osittain myös päällekkäin sen kanssa.

IWRAP:n laskelmat osoittavat, että karilleajon todennäköisyys kasvaa hieman tuulipuiston perustamisen seurauksena. Lisäys on kuitenkin hyvin pieni, ja tuulipuiston katsotaan vaikuttavan maahansyöksyvaaraan hyvin vähän. Liikenteen määrä alueella on alhainen, mikä tarkoittaa, että törmäyksen todennäköisyys on nykyhetkellä pieni. Laskelmat osoittavat, että törmäystodennäköisyys kasvaa 29 prosenttiyksikköä $3,2 \times 10^{-4}$ tapaukseen/vuosi perustamisen jälkeen. Kun otetaan huomioon, että törmäyksen seuraukset voivat olla vakavia, tämä tarkoittaa, että riskit kasvavat merkittävästi. Lisäystä ei kuitenkaan pidetä niin suurena, että sitä voitaisiin pitää ratkaisevana tekijänä siihen, että törmäysriski muuttuisi hyväksyttävästä sopimattomaksi. Tuulipuiston käyttöönotto tuo mukanaan uuden vaaran, allisio tuulipuistoalueen kanssa, joka vaikuttaa eniten onnettomuuden kokonaistodennäköisyyteen. Allision todennäköisyys on arviolta $1,3 \times 10^{-2}$ tapausta vuodessa, mikä vastaa törmäystä kerran 77 vuodessa. Laskelmat koskevat allisiota tuulivoimapuiston kanssa, eli tuulivoimapuiston alueelle ajautuvaa tai purjehtivaa alusta. Kaikki allisiot tuulipuiston kanssa eivät siis johda varsinaiseen törmäykseen minkään tuulivoiman kanssa, ja allision seuraukset tuulipuiston kanssa jäävät siten monissa tapauksissa lieviksi ja ilman varsinaisia vahinkoja. Laskelmissa erotetaan toisistaan *moottorilla tapahtuva allisiota ns powered allision*, jolla tarkoitetaan, että alus purjehtii tuulipuistoon propulsiovoimalla, ja *ajelehtiva allisiota, ns. drifting allision*, jolla tarkoitetaan, että alus ajautuu tuulipuistoon teknisen vian, kuten sähkökatkoksen, vuoksi. *Moottorikäyttöisen törmäyksen* seurausten oletetaan olevan vakavammat kuin *drifting allision*, koska se tapahtuu alhaisella nopeudella, noin 0,5-1 solmun nopeudella, kun taas *powered allision* voidaan olettaa tapahtuvan noin 10-15 solmun nopeudella. *Powered allision* laskennallinen todennäköisyys on huomattavasti pienempi kuin *drifting allision* todennäköisyys. *Powered allision* arvioitu todennäköisyys luokitellaan "erittäin pieneksi".

Tuulipuisto vaikuttaa merenkulkuun jäätömissä olosuhteissa, kun alusliikenne joutuu tekemään reittimuutoksia. Arvioitu onnettomuustodennäköisyys on kuitenkin pieni, ja liikenteelle on riittävästi tilaa kulkea turvallisen etäisyyden päässä tuulipuistosta. Tämä tarkoittaa, että riskit jäätömissä olosuhteissa katsotaan hyväksyttäväksi.

Jääkauden aikana riskit ovat suuremmat kuin jäätömänä aikana, mitä tukevat alueen onnettomuustilastot, joista käy ilmi, että suurin osa alueella sattuneista onnettomuuksista on tapahtunut talvikuukausina. Tuulivoimapuisto vaikuttaa alueen riskeihin talvella, ja tuulivoimapuiston perustaminen vaikuttaa talvimerenkulkuun ja jäänmurtajien toimintaan. Tuulivoimapuiston perustaminen vaikuttaa ensisijaisesti Kemin ja Tornion satamiin suuntautuvaan ja sieltä lähtevään liikenteeseen.

Tuulivoimapuisto lisää jäänmurtaja-avun tarvetta hyvän meriturvallisuuden varmistamiseksi. Viimeisten 20 vuoden aikana keskimäärin 60 prosenttia Kemin ja Tornion satamiin ja satamista lähtevistä aluksista on tarvinnut jäänmurtaja-apua jääkausien aikana. Vaikeimmat reitit, joilla on enemmän jäätä perustamisen jälkeen, voivat lisätä apua tarvitsevien alusten osuutta. Tämän lisääntymisen laajuus on epävarmaa ja vaihtelee vuosittain vallitsevien jääolosuhteiden mukaan. Tuulipuiston aiheuttamia lisäriskejä, lähinnä törmäysriskiä, rajoittaa se, että useampia aluksia avustetaan alueen ohi. Lisääntynyt jäänmurtajien avustustarve voi joskus johtaa kapasiteetin puutteeseen ja pitkiin odotusaikoihin ja viivästyksiin jos nykyistä jäänmurtajakapasiteettia ei vahvisteta. Tulevaisuudessa tarvittavan avustuskapasiteetin määrä ja se, missä määrin tuulipuisto voi vaikuttaa tähän on kuitenkin epävarmaa ja riippuu useista tekijöistä.

Etäisyys tuulipuistosta, jonka alukset kulkevat talvella, määräytyy suurelta osin jäänmurtajien hallinnoinnin perusteella, joka talvella osoittaa sopivan reitin nykyisen jäätilanteen perusteella ja ottaa huomioon myös tuulipuiston.

Kaiken kaikkiaan riskejä ja vaikutuksia merenkulkuun pidetään suurempina talvella kuin kesällä. Tuulivoimapuiston laajentuessa tutkimusalueen mukaisesti vaikutusten talvimerenkulkuun odotetaan olevan suuria ja riskien kasvavan nykyisestä. Monia riskejä voidaan rajoittaa jäänmurtaja-avulla. Tämä johtaa kuitenkin jäänmurtajakapasiteetin tarpeen lisääntymiseen, mikä voi ajoittain johtaa kapasiteetin puutteeseen ja pitkiin odotusaikoihin, ellei jäänmurtajakapasiteettia lisätä.

Muutettu tuulipuistoalue riskianalyysin jälkeen

Riskianalyysissä havaittujen merenkulkuriskien ja merenkulkuun kohdistuvien vaikutusten vuoksi Skyborn on analysoinut myös supistetun tuulipuistoalueen. Supistetusta tuulipuistoalueesta on poistettu tutkimusalueen eteläosa.

Täydentävän analyysin johtopäätökset ovat, että pienennetty puistoalue vähentää merkittävästi jäänmurtajatoimintaan kohdistuvia vaikutuksia, koska sekä avustus- että kauttakulkumatkat lyhenevät verrattuna suurempaan tuulipuistoon (tutkimusalue). Jäänmurtajien avustaminen on arvioitu tärkeimmäksi toimenpiteeksi tuulipuistosta aiheutuvien riskien lieventämiseksi. Koska vaikutus jäänmurtajatoimintaan vähenee pienemmän tuulipuistoalueen myötä ja kapasiteettipulan todennäköisyys pienenee, myös riskit arvioidaan pienemmiksi pienemmän alueen myötä verrattuna suurempaan tutkimusalueeseen.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	9
1.1	Tausta.....	9
1.2	Ohjelman tarkoitus	10
1.2.1	Soveltamisala.....	10
1.3	Rajaukset.....	11
1.4	Menetelmä	11
1.4.1	Ohjeiden lukeminen.....	12
1.4.2	Merituulivoimaa ja merenkulun riskianalyysistä koskevat hallinnolliset asiakirjat ja suuntaviivat.....	13
2	Alueen kuvaus ja meriliikenteen analyysi	17
2.1	Jää.....	19
2.1.1	Jään muodostuminen	19
2.1.2	Perämeren jääolosuhteet.....	19
2.1.3	Tuulivoimaloiden vaikutus merijäähän.....	22
2.1.4	Tulevat jääolosuhteet.....	24
2.2	Liikennekuviot ja kulkutilastot.....	27
2.2.1	Kulkuyhteys 1 - Tutkimusalueen läpi kulkeva liikenne	29
2.2.2	Kulkuyhteys 2 - tutkimusalueen kaakkoispuolella.....	30
2.2.3	Kulkulinja 3 - Kemin (Tornio) sisääntulo	30
2.2.4	Kulkulinja 4 - Liikenne Kalixiin/Karlsborgiin.....	34
2.2.5	Linja 5 - Reitti Luulajan ja Raahen välillä.....	34
2.2.6	Vaihtelu vuosien välillä	35
3	Riskien tunnistaminen	37
3.1	Hazid	37
3.1.1	Laivaväylät / liikenne Polargrundin kaakkoispuolella	37
3.1.2	Laivaväylät/liikenne Polargrundin länsipuolella (Kalixiin/Karlsborgiin tai Kalixista/Karlsborgista).....	39
3.1.3	Liikennettä Polargrundin eteläkärjessä	39
3.1.4	Liikenne Polargrundin pohjoispuolella	40
3.1.5	Muu meriliikenne/yleinen	40
3.1.6	Rakennusvaihe.....	41
3.2	Onnettomuustilastot	41
4	Riskinarviointi jäätömissä olosuhteissa	44
4.1	Karilleajon, törmäyksen ja törmäyksen todennäköisyyden laskeminen.....	44

4.1.1	Polargrundin tuulipuiston aiheuttamat muutokset liikennemalleissa.....	46
4.1.2	Matemaattinen malli.....	47
4.1.3	Tulos.....	48
4.2	Muiden tunnistettujen vaarojen todennäköisyyksien arviointi.....	50
4.2.1	Rakennus- ja käytöstäpoistovaihe.....	50
4.2.2	Huolto- ja kunnossapitoalukset.....	51
4.2.3	Muu liikenne alueella.....	51
4.2.4	Tutkan häiriöt.....	52
4.2.5	Vaikeudet mahdollisen vuodon torjunnassa.....	53
4.3	Vaikutusten arviointi ja kuvaus.....	53
4.3.1	Vuorovaikutus tuulipuiston kanssa ja törmäys tuulivoimaloiden kanssa.....	54
4.3.2	Hätäkiinnitys.....	56
4.3.3	Turvaetäisyys.....	57
5	Riskinarviointi ja vaikutus talvimerenkulkuun.....	60
5.1	Tunnistetut riskit.....	60
5.1.1	Kulku vähemmän suosittuja reittejä pitkin tilan rajallisuuden vuoksi.....	61
5.1.2	Alukset kulkevat lähellä tuulipuistoa, ja törmäysten välttämislitkkeet vaikeutuvat jäässä. 61	
5.1.3	Alukset voivat jäädä jumiin jäähän puiston lähellä.....	62
5.1.4	Nykyinen jäänmurtajien avustuskapasiteetti merkitsee pidempiä odotusaikoja.....	62
5.1.5	Jäänmurtajan avun odotusaika ja odotustila Polargrundin eteläpuolella pitenee.....	64
5.2	Skenaarion kuvaus.....	64
5.2.1	Skenaario 1 - pohjoistuuli.....	65
5.2.2	Skenaario 2 - etelätuuli.....	66
5.2.3	Skenaario 3 - itätuuli.....	67
5.2.4	Skenaario 4 - läntinen tuuli.....	68
5.2.5	Neljässä skenaariossa havaittujen riskien painotettu merkittävyys.....	69
5.3	Vaikutus jäänmurtajien toimintaan ja käyttöasteeseen jäänmurtajien osalta.....	70
6	Riskinarviointi.....	73
6.1	Jäätömät olosuhteet.....	73
6.2	Talvimerenkulku.....	76
7	Riskien lieventämistoimenpiteet.....	78
7.1	Vähennetty alue etelässä.....	78
7.2	Laivaväylien ja tuulipuiston välisen etäisyyden kasvu.....	78
7.3	Jäänmurtajakapasiteetin lisääminen.....	79

7.4	Muut tunnistetut riskinhallintatoimenpiteet.....	79
8	Epävarmuus ja herkkyysanalyysi.....	82
8.1	Tuleva liikenteen intensiteetti	82
8.2	Tulevat liikennemallit.....	82
8.3	IWRAP	82
8.4	Jääolosuhteet ja vuosien väliset vaihtelut	83
9	Päätelmät	84
9.1	Tuulivoimapuiston laajuuden muuttaminen riskianalyysin jälkeen.	85
10	Viitteet.....	86

Lisäys 1 Hazid-pöytäkirja

Määritelmät, sanat ja käsitteet

Lyhenne/käsite	Selitys	
AIS	<i>Automaattinen tunnistusjärjestelmä</i> , suuremmille aluksille pakollinen tietojärjestelmä, joka lähettää VHF-verkkoon kytketyn lähtetimen välityksellä tietoja henkilöllisyydestä, sijainnista, kurssista jne.	
Allisio	Alukset, jotka purjehtivat tai ajelehtivat kiinteään rakenteeseen tai alueelle, jossa on kiinteä rakenne, esim. tuulipuisto ja tuuliturbiini. Eroa törmäyksestä, jolla tarkoitetaan kahden aluksen purjehtimista toisiinsa. <i>Moottorikäyttöinen törmäys</i> : alus purjehtii tuulipuistoon propulsiovoimalla. <i>Ajelehtiva törmäys</i> : alus ajautuu tuulipuistoon ilman käyttövoimakoneistoa.	
ARPA	<i>Automaattinen tutkan piirtoapuväline</i> . ARPA on tutkan toiminto, jolla voidaan merkitä tutkakohteita, jotta saadaan tietoa eri alusten kurssien arvioidusta leikkauspisteestä.	
Puskurivyöhyke	Kansallista etua palvelevan laivaväylän purjehduskelpoisen pinnan/leveyden ulkopuolinen etäisyysvyöhyke, jonka tarkoituksena on ottaa huomioon väylän mahdolliset tulevat kehittämis-/laajennustarpeet, jotka johtuvat esimerkiksi suuremmasta laivakapasiteetista. Ruotsin merenkululaitos on merenkulun kansallisten etujen määrittelyn yhteydessä määrittellyt väyläluokan 1 puskurivyöhykkeeksi 200 metriä molemmin puolin väylän pintaa.	
DWT	<i>Deadweight Tonnage</i> , aluksen kokonaiskuljetuskapasiteetin mitta, yksikkö tonnia.	
Väylä	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	Container	Konttien kuljettamiseen suunniteltu alus.
	General cargo	Rahtialus, joka on suunniteltu erityyppisten, itsenäisesti pakattujen tai kuormalavoille pakattujen tavaroiden kuljettamiseen.
	Bulk	Rahtialus, joka on suunniteltu irtolastin, esim. hiilen, malmin jne. kuljettamiseen.
	Tanker	Säiliöalus, joka on suunniteltu lastisäiliöillä nestemäisen lastin tai kaasun kuljetukseen.
	Cruise	Risteilyalukset
	Ro-Ro	Roll-on roll-off, alukset tavaroiden kuljettamiseen liikkuvilla alustoilla, esim. perävaunuilla.
	Ro-Pax	Roll-on/roll-off-matkustaja-alus, lautta, joka kuljettaa sekä rahtia että matkustajia.
FSA	<i>Formal Safety Assessment</i> , IMO:n kehittämä jäsennelty ja järjestelmällinen riskianalyysimenetelmä, jonka tarkoituksena on parantaa meriturvallisuutta.	
IMO	<i>Kansainvälinen merenkulujärjestö</i> , YK:n kansainvälinen merenkuluviranomainen.	
Waypoint	<i>Reittipiste</i> , piste, jossa alukset vaihtavat kurssia.	

IWRAP	IALA Waterway Risk Assessment Program, merenkulun mallinnustyökalu törmäys-, törmäys- ja karilleajolukujen laskemiseksi.	
Solmu	Laivojen nopeuden yksikkö; 1 solmu = 1 M/h = 0,514 m/s.	
Törmäystyytit	Head-on	vastaantulevien alusten yhteentörmäys
	Ohittaminen	yhteentörmäys ohitettaessa samalla ajokaistalla
	Crossing	törmäys laivaväylien ylityksessä
	Yhdistäminen	yhteentörmäys solmukohdissa, joissa laivaväylät yhtyvät toisiinsa.
	Bend	yhteentörmäys solmukohdissa, joissa laivaväylät mutkittelevat.
Leg (termi IWRAP)	Alusreitit mallinnetaan IWRAP-ohjelmassa. Yhdistää mallissa olevat <i>laivapisteet</i> liikennemallin mallintamiseksi yhteen.	
M	Meripeninkulma (etäisyysminuutti), merellä käytetty etäisyysyksikkö; 1M = 1,852 m.	
NtM	<i>Merenkulkijoille tarkoitetut ilmoitukset</i> , merikarttojen korjaukset ja muut merenkulun kannalta tärkeät tiedot englanniksi.	
Kulkulinja	Liikenneanalyysissä määritelty linja, jonka avulla voidaan määritellä määrällisesti ja laadullisesti linjan ylittävä ja aluetta palveleva liikennevirta. Perustuu tallennettuihin AIS-tietoihin ja tilastoidaan yleensä vuosittain.	
Osoitus -kurssi	Laivan keulan suunta. Käytetään, kun aluksen keula osoittaa jotakin kohti, esim. kiinteää rakennetta, matalikkoa tai tuulipuistoa.	
Varoalue	Erytishuomiota 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 se ilmaistaan siksi desimaalilukuna, jossa E ilmaisee desimaalisen tehokertoimen, esim. 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.	
Riski	Epätoivotun tapahtuman todennäköisyyden ja sen mahdollisten seurausten punnitseminen.	
RI - väylä	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 määränpään useiden <i>reittipisteiden</i> kautta.	
SSA	SjöSäkerhetsAnordning. Merenkulun turvalaitteet, kuten majakat, poijut, merkit ja köydet.	
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>Traffic Separation Scheme</i> , liikenteen erottelujärjestelmä, jossa alukset ohjataan liikenneväylille, joilla vastaantuleva liikenne on erotettu toisistaan valvotuilla liikenteen erotteluvyöhykkeillä.
Ufs	<i>Underrättelser för sjöfarande</i> , Ruotsin merenkululaitoksen julkaisemat merenkulkijoille tarkoitetut ilmoitukset, merikartat ja muut merenkulun kannalta tärkeät tiedot Ruotsin vesillä.
VTS	<i>Vessel Traffic Service</i> , liikennekeskukset, jotka muun muassa tarjoavat liikennetietoja ja muita palveluja merenkululle joillakin maan vilkkaimmilla tai ympäristön kannalta herkimmillä merialueilla.
Waypoint (tässä termi IWRAPissa)	Käytetään IWRAPissa terminä reittipisteelle eli pisteelle, jossa alus kääntyy uudelle kurssille, tai pisteelle, jossa aluksen reitti ylitetään. Reittipisteet yhdistävät IWRAP-mallissa kaksi tai useampia osuuksia.

1 Johdanto

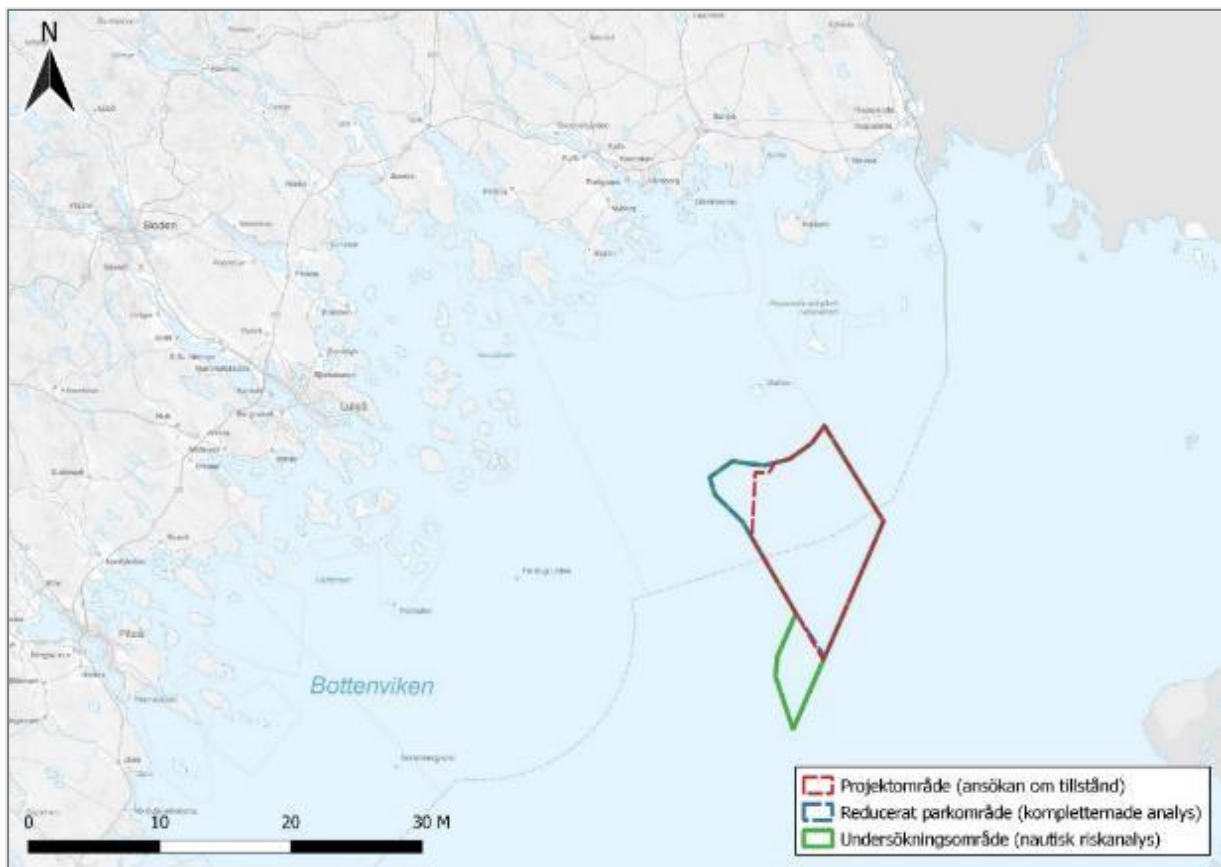
Polargrund Offshore AB aikoo hakea lupaa merituulivoimapuiston rakentamiseen, käyttöön ja käytöstä poistamiseen Perämeren pohjoisosassa Kalixin kunnassa ja Ruotsin talousvyöhykkeellä. Tuulipuiston nimi on Polargrund Offshore (Polargrund), ja hankkeen kehittämisestä vastaa hankeyhtiö Polargrund Offshore AB, jonka omistaa Skyborn Renewables AB (Skyborn).

1.1 Tausta

Tämän riskianalyysin perustana oleva tuulivoimapuiston tutkimusalue on 442 km²:n laajuinen, ja se sijaitsee noin 5 M (10 km) etäisyydellä lähimmistä saarista ja noin 18 M (33 km) etäisyydellä lähimmästä mantereesta pisteestä. Idässä alue rajoittuu Suomen talousvyöhykkeeseen, ks. Kuva 1.1.

Hazidin aikana havaitut vaarat ja nykyisen riskianalyysin tulokset sekä kuulemisen jälkeen esiin tulleet lisätiedot ja -tietämys ovat johtaneet uuden hankealueen kehittämiseen. Tuulivoimapuiston lupahakemus perustuu uuteen hankealueeseen, joka on pienempi kuin se alue, johon nykyinen analyysi perustuu, ks. Kuva 1.1.

Tämän vuoksi Skyborn on myös tilannut lisäanalyysin merenkulun riskeistä ja merenkulkuun kohdistuvista vaikutuksista pienemmän puistoalueen osalta. Analysoitu supistettu puistoalue vastaa suurelta osin uutta hankealuetta, ks. seuraavaa. Kuva 1.1. Täydentävä analyysi sisältää laskelmia onnettomuuksien ja vaaratilanteiden todennäköisyyksistä ja arvioita siitä, miten tunnistetut riskit muuttuvat puistoalueen pienentyessä. Täydentävä analyysi esitetään erillisessä muistiossa, ks. liite RE20221614-01-01 *Laskelmat ja arviointi pienennetyistä alueesta*. (RISE, 2024).



Kuva 1.1 Polargrundin tuulipuiston (vihreä) tutkimusalue, johon merijääanalyysi perustuu, sijaitsee Perämeren pohjoisosassa ja rajoittuu Suomen talousvyöhykkeeseen. Täydentävässä analyysissä arviot tehdään suppeammalle puistoalueelle (sininen). Tuulivoimapuiston lupahakemus koskee hankealuetta (punainen).

Tuulipuistoon on suunniteltu 120 tuulivoimalaa, joiden kokonaiskorkeus on enintään 350 metriä ja roottorin halkaisija noin 330 metriä. Tuulipuiston tarkkaa rakennetta, mukaan lukien tuulivoimaloiden ja kaapeleiden tai putkistojen sijaintia, ei ole vielä määritetty, vaan siitä päätetään myöhemmin. Tuulipuistossa voidaan mahdollisesti tuottaa sähköä ja viedä sitä maalle kaapeleita pitkin sekä tuottaa vetyä kussakin voimalassa ja viedä sitä maalle putkistoja pitkin. Taulukko 1.1 esitetään alustavia tietoja tuulipuiston suunnittelusta.

Taulukko 1.1 Polargrundin tuulipuiston tutkimusalueen alustavat tiedot.

	Mitat/määrä, alustavat tiedot
Tuulivoimaloiden kokonaiskorkeus merenpinnasta	Noin 350 metriä
Roottorin enimmäishalkaisija	330 m
Odotettu korkeus vedenpinnan yläpuolella	15 - 30 m
Tuulivoimaloiden lukumäärä	Max 120
Tuulipuiston pinta	442 kilometriä ²
Etäisyys lähimmästä saaresta	noin 5 m (10 km)
Yksittäisten kasvien välinen etäisyys	0,6 - 1,9 M (1 - 3,5 km).
Säätötyyppi	Kiinteä pohja
Asennettu kokonaiskapasiteetti	Noin 3 000 MW
Vuotuinen sähköntuotanto tai vedyntuotanto	Noin 9 - 10 TWh alt. Jopa 200 000 tonnia

Suunnitellun tuulipuiston alueella on merenkulkua, joka liikennöi sekä Ruotsin että Suomen satamissa Perämerellä. Tästä syystä on analysoitava mahdolliset vaikutukset merenkulkuun ja merenkulun riskit, joita tuulipuisto saattaa aiheuttaa. Talvella kyseiset vesialueet ovat jäässä, mikä vaikuttaa merkittävästi merenkulkuun ja aiheuttaa lisää merenkulkuriskejä. Sen vuoksi on erityisen tärkeää tutkia riskit ja vaikutukset merenkulkuun talvella. Tuulipuisto voi myös vaikuttaa jään muodostumiseen ja liikkumiseen. Koska merituulivoimapuistoja ei ole vielä perustettu jääpeitteisille vesille, on olemassa vähän tietoa siitä, miten tuulipuisto vaikuttaa jäähän.

1.2 Ohjelman tarkoitus

Tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään Polargrundin tuulipuiston perustamisen mahdollisia vaikutuksia merenkulkuun. Tutkimuksessa on tarkoitus arvioida ja analysoida, miten tuulipuisto vaikuttaa merenkulun riskeihin laskemalla karilleajon todennäköisyys, alusten yhteentörmäysten todennäköisyys ja todennäköisyys, että alukset purjehtivat tai ajautuvat tuulipuistoon, niin sanottu allision. Tutkimuksessa pyritään myös analysoimaan, miten tuulipuisto vaikuttaa merenkulun riskeihin jääkauden aikana.

Raportti on tarkoitettu lupahakemuksen liitteeksi.

1.2.1 Soveltamisala

Analyysi kattaa sekä suorat vaikutukset, jotka voivat vaikuttaa merenkulun turvallisuuteen, että epäsuorat vaikutukset, joita voi syntyä, kun merenkulun käyttömahdollisuuksia rajoitetaan ja muutetaan. Analyysissä käsitellään ja kvantifioidaan pääasiassa riskejä tuulipuiston käyttövaiheen aikana. Onnettomuustodennäköisyyksien laskeminen karilleajojen, alusten välisten törmäysten ja törmäysten eli alueelle purjehtivien tai ajautuvien alusten osalta jäättömissä olosuhteissa suoritetaan IWRAP²-työkalulla. Lisäksi raportoidaan vaikutukset merenkulkuun mahdollisten liikennemallien

² IWRAP: IALA Waterway Risk Assessment Program, merenkulun mallinnustyökalu törmäys-, törmäys- ja karilleajolukujen laskemiseksi.

muutosten ja reitin pidentämisen muodossa. Turvallisuusetäisyydet (tuulipuiston ja laivaväylien välinen etäisyys) arvioidaan.

Jääkauden osalta onnettomuustodennäköisyyksiä ei voida laskea IWRAPin avulla. Jääkauden aikaiset vaikutukset ja riskit arvioidaan kvalitatiivisesti ja mahdollisuuksien mukaan kvantitatiivisesti.

Tuulipuiston rakentamiseen ja käytöstä poistamiseen liittyvät merelliset riskit tunnistetaan ja arvioidaan kokonaisuutena.

1.3 Rajaukset

Analyysi perustuu alueen AIS-tietoihin. Käytettävissä olevat tiedot eivät kata pieniä kalastusaluksia tai huvialuksia, joilla ei ole A⁴-tyypin AIS-lähetintä, eikä niitä siksi ole otettu huomioon määrällisissä laskelmissa.

Tutkimuksessa rajoitetaan analysoimaan mahdollisia riskejä alueen merenkululle ja käsitellään pääasiassa riskejä, joiden lopullisina seurauksina oletetaan olevan karilleajo, alusten yhteentörmäys tai tuulipuistoon purjehtivat tai ajautuvat alukset, sekä riskejä, jotka liittyvät merenkulkuun jääpeitteisillä vesillä.

Tutkimus ei kata riskejä, jotka liittyvät mahdolliseen vedyn tuotantoon tuulipuistossa, eikä riskejä jotka liittyvät mahdolliseen vetyputkiverkoston.

Koska tiedossa ei ole miten rakennusvaihe toteutetaan ja mistä satamista komponenttien kuljetus tapahtuu, tässä vaiheessa ei tehdä rakennus- tai käytöstäpoistovaiheen riskien kvantifiointia eikä yksityiskohtaista arviointia.

Tutkimuksessa ei ole mallinnettu jään liikkumista ja jään kertymistä tuulipuiston läheisyyteen.

Analyysin tarkoituksena on tutkia merenkulun riskejä. Sen vuoksi perustuksille tai tuulivoimaloille mahdollisesti aiheutuvia vahinkoja ei ole otettu huomioon. Analyysi ei sisällä laskelmia seurauksista, jotka liittyvät vahinkokustannuksiin tai törmäävän aluksen uhrien määrään.

Mahdollisten kumulatiivisten vaikutusten arvioinnit ja laskelmat skenaarioissa, joissa rakennetaan lisää tuulipuistoja, eivät kuulu tämän tutkimuksen piiriin.

1.4 Menetelmä

Tämän tutkimuksen menetelmä perustuu merenkulun riskianalyysiä varten vakiintuneisiin menetelmiin, joita ovat ISO-standardit 31000 ja 31010, sekä IMO:n suosittelemaan FSA-menetelmään silloin, kun se katsotaan mahdolliseksi. Kuva 1.2 esitetään tämän tutkimuksen osatekijät. Ne vastaavat myös hyvin vaiheita, jotka olisi sisällytettävä merenkulkuhallituksen ja Ruotsin liikenneviraston suositusten mukaan merituulivoimapuistojen perustamiseen liittyvän meririsikianalyysin laajuuteen. (Sjöfartsverket och Transportstyrelsen, 2023)

⁴ Yli 300 tonnia painavat alukset, yli 15 metrin pituiset kalastusalukset ja kaikki kansainvälisillä matkoilla liikennöivät matkustaja-alukset on varustettava A-tyypin AIS-transpondereilla. Monilla pienemmillä kalastusaluksilla ja joillakin huviveneillä on kuitenkin turvallisuussyistä myös AIS-transponderi.



Kuva 1.2 Nykyisen riskianalyysin osatekijöiden rakenne.

1.4.1 Ohjeiden lukeminen

Kertomuksen rakenne on Kuva 1.2. mukainen

Johdannon (luku 1) jälkeen luvussa 2 esitellään maantieteelliset ja paikalliset olosuhteet sekä meriliikenteen analyysi, joka on tehty tutkimusaluetta ympäröivän alueen alusliikenteen analysoimiseksi. Liikenneanalyysi perustuu AIS-tietoihin, jotka ovat pääasiassa vuodelta 2022, koska se on viimeisin käytettävissä oleva kokonainen vuosi. Liikenneanalyysi muodostaa perustan luvussa 3 toteutetulle riskien tunnistamiselle. Hazid-työpaja on erittäin tärkeä osa riskien tunnistamista, ja sen tarkoituksena on tunnistaa kaikki merenkulun vaarat ja mahdolliset vaikutukset merenkulkuun, joita tuulipuiston perustaminen voi aiheuttaa. Tässä vaiheessa tunnistettuja vaaroja ei arvioida. Riskien tunnistaminen toimii pohjana riskianalyysin myöhemmille vaiheille.

Luvussa 4 käsitellään tuulipuiston riskinarviointia jäättömässä olosuhteissa. Tässä luvussa esitetään pohjakosketuksen, törmäyksen ja törmäyksen todennäköisyyslaskelmien tulokset, jotka on tehty jäättömässä vesissä (IWRAP-ohjelman avulla). Luvussa 4 esitetään myös arviot sellaisten vaarojen todennäköisyydestä, joita ei voida määrittää laskelmin, sekä seurausten arviointi.

Luvussa 5 esitetään analyysi ja arviointi alueen talvimerenkulkuun kohdistuvista riskeistä. Luvussa esitetään arvioita neljästä skenaariorista, joissa jääolosuhteet vaihtelevat.

Luku 6 koostuu riskinarvioinnista, johon sisältyy laskentatulosten tulkinta ja talven riskien arviointi.

Luvussa 7 esitetään tunnistetut riskien vähentämistoimenpiteet ja kuvaus kunkin toimenpiteen odotetusta vaikutuksesta.

Luku 8 sisältää epävarmuus- ja herkkyysanalyysin, jossa kuvataan tietojen ja riskimallien epävarmuustekijöitä.

Luvussa 9 esitetään tutkimuksen päätelmät.

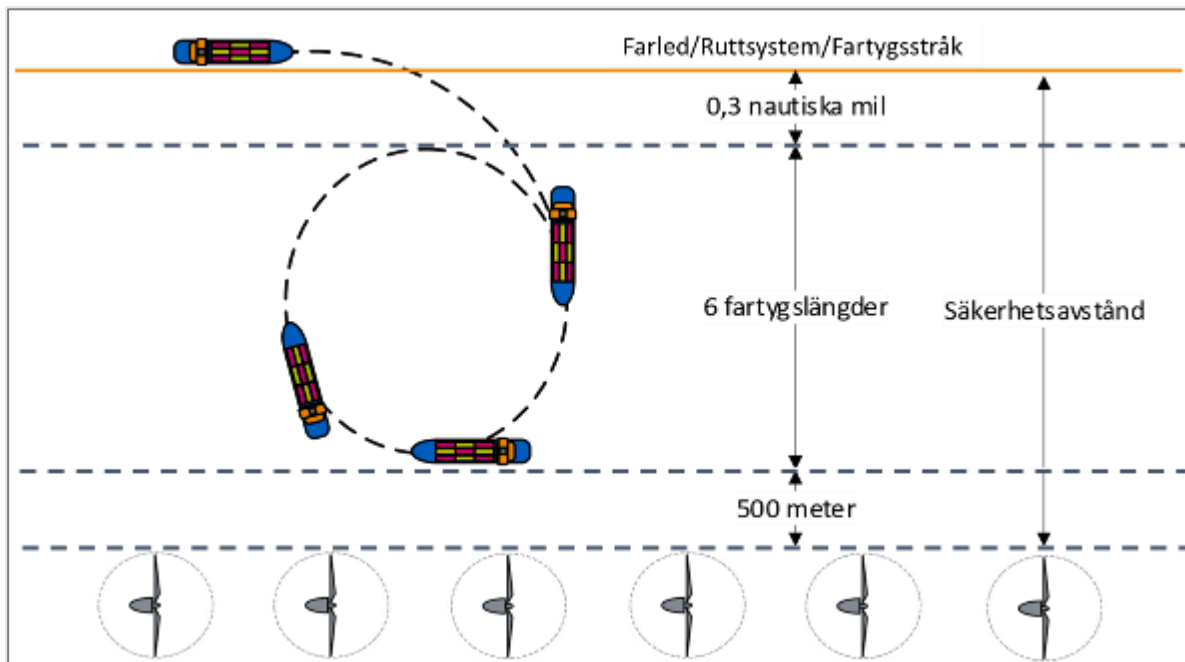
1.4.2 Merituulivoimaa ja merenkulun riskianalyysistä koskevat hallinnolliset asiakirjat ja suuntaviivat

Tällä hetkellä ei ole olemassa sääntöjä, jotka koskisivat tuulivoimaloiden hyväksyttävää riskitasoa tai tuulivoimaloiden ja laivaväylien välistä vähimmäisetäisyyttä, jota kutsutaan turvaetäisyydeksi. Kesäkuusta 2023 lähtien Ruotsin merenkulkulaitos ja Ruotsin liikennevirasto ovat kuitenkin antaneet suosituksia. Suosituksissa kuvataan, mitä merenkulun riskianalyysin tulisi sisältää tuulivoiman perustamista Ruotsin vesille varten, ja annetaan suuntaviivat hyväksyttävälle vähimmäisturvaetäisyyksille.

Suosittelun 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.

Turvaetäisyys - Ohjaustila

Manööveritilaa koskevan kriteerin edellyttämä turvaetäisyys perustuu siihen, että alusten olisi voitava toteuttaa toimenpiteitä törmäyksen välttämiseksi muiden alusten kanssa merenkulun sääntöjen mukaisesti. Kriteeri määritellään siten, että aluksen väylän 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 $0,3 \text{ M} + 6$ aluksen pituutta + 500 m, kts. Kuva 1.3. Tämä on useiden muiden kansallisten ohjeiden sekä PIANC:n kansainvälisten ohjeiden mukaista; *MarCom WG Report no 161 - 2018, Interaction between offshore Wind farms and maritime navigation.* (PIANC, 2018), johon Ruotsin merenkulkulaitos ja Ruotsin liikennevirasto viittaavat.



Kuva 1.3 Ohjaustilakriteerin mukainen turvaetäisyys.

Suosittelun mukaan suunnittelualus voidaan tavallisesti määritellä suurimmaksi alukseksi, joka on 98. prosenttiyksikköä kaikista yli 70-metrinen alusten suorittamista laivamatkoista.

Turvallisuusetäisyys - Liikenteen voimakkuus ja monimutkaisuus

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

Taulukko 1.2 Laivaväylien liikennemäärän arvioinnissa käytettävä luokitus, joka perustuu laivojen vuotuisten ohikulkujen määrään.

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

Turvallinen vähimmäisetäisyys väylien, reittijärjestelmien tai laivaväylien ja tuulivoimaloiden välillä, ottaen huomioon liikenteen intensiteetti, voidaan määrittää Kuva 1.4. matriisin avulla. Suositusten mukaan vihreät pylväät kuvaavat turvaetäisyyksiä, joiden voidaan yleensä olettaa olevan hyväksyttäviä. Keltaiset pylväät 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 alueella liikkuvista aluksista. Punaiset pylväät osoittavat, että turvaetäisyys on liian pieni ja sen oletetaan aiheuttavan riskejä, joita ei voida hyväksyä. Jos tuulivoimapuiston ympärillä 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 johtaa suurempien turvaetäisyyksien tarpeeseen.

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

Kuva 1.4 Matriisi turvavälien arvioimiseksi liikenteen voimakkuuden perusteella (Sjöfartsverket och Transportstyrelsen, 2023).

Turvaetäisyys - 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 tarkoittaa, että maamerkit eivät näy, mikä voi vaikeuttaa navigointia. Ruotsin merenkululaitos ja Ruotsin liikennevirasto viittaavat PIANC:n ohjeisiin. (PIANC, 2018)joiden mukaan häiriöitä voi esiintyä laivatutkassa jopa 1,5 M etäisyydellä tuulivoimaloista ja että häiriöiden todennäköisyys kasvaa kun meriliikenteen ja tuulivoimaloiden välinen etäisyys pienenee. Alle 0,25 M:n etäisyyksillä voi myös esiintyä häiriöitä X-kaistan tutkassa, mikä voi johtaa haamukaihin. PIANC:n mukaan tämä on erittäin suuri riski.

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

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

Riskianalyysin laajuus

Jos etäisyys tuulipuiston ja lähimmän väylän, reittijärjestelmän tai laivaväylän välillä on yli 3 M, merenkululaitoksen ja Ruotsin liikenneviraston suositusten mukaan karkea analyysi alueen meriliikenteestä voi olla riittävä. Jos etäisyys on pienempi, olisi tehtävä yksityiskohtaisempi analyysi. Yksityiskohtaisemman analyysin tulisi sisältää ainakin seuraavat seikat:

- Riskinarvioinnin laajuus, edellytykset ja kriteerit.
- Kuvaus meriliikenteestä ja muista olosuhteista alueella.
- Vaarojen tunnistaminen (HAZID).
- Riskien analysointi ja arviointi.
- Mahdolliset riskien ehkäisytoimenpiteet.
- Tietojen epävarmuusanalyysi ja riskien mallintaminen.
- Suositukset päätöksentekijöille ja tiedot tunnistetuista riskeistä.

Muut suuntaviivat

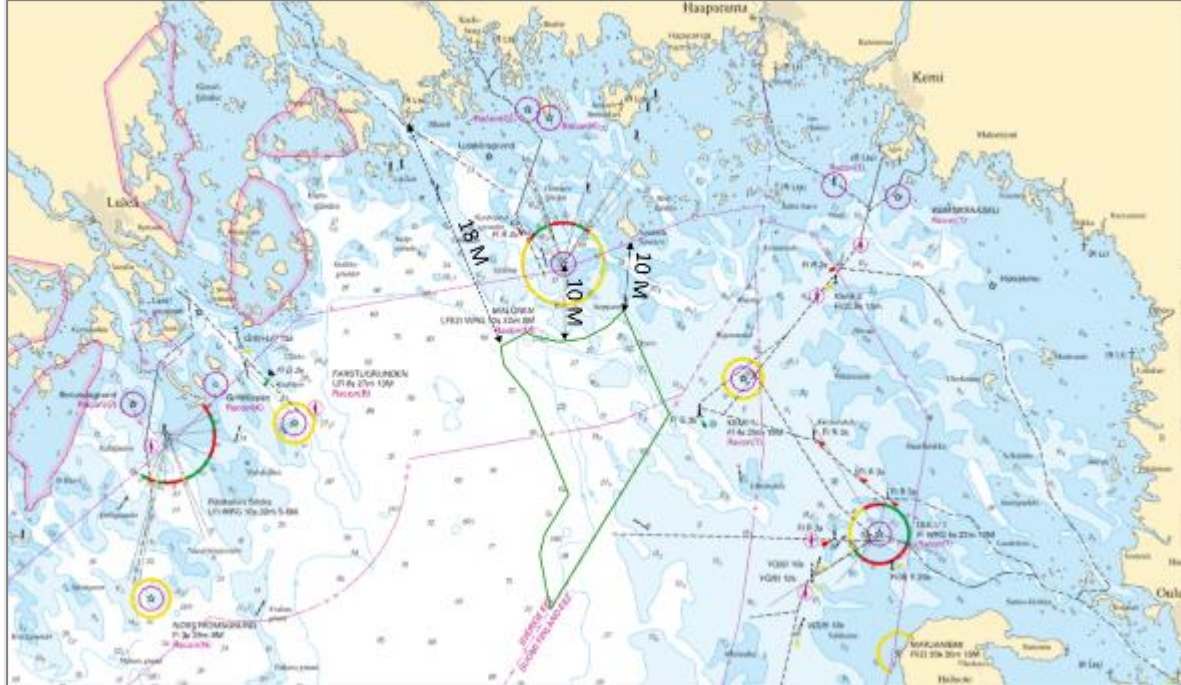
Ruotsin viranomaiset viittaavat monilta osin kansainvälisiin PIANC:n ohjeisiin turvaetäisyyksistä. Myös monien muiden maiden, esimerkiksi Yhdistyneen kuningaskunnan ja Alankomaiden, kansalliset ohjeet perustuvat PIANC:n ohjeisiin ja riittävä liikkumatila 360 asteen käännöstä varten on tärkeä kriteeri useimmissa ohjeissa. (Maritime & Coastguard Agency, 2021), (Government of the Netherlands, 2014). Kuva 1.5 esitetään taulukko, jossa on PIANC:n mukaiset yleiset ohjeet turvaetäisyyksistä ja näkökohdista, jotka olisi otettava huomioon tuulipuistoja suunniteltaessa.

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
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	Unless for very small craft (small leisure craft)
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 Taulukko, jossa on yleisiä ohjeita laivavälän ja tuulipuiston välisten turvaetäisyyksien suunnittelua varten (PIANC, 2018).

2 Alueen kuvaus ja meriliikenteen analyysi

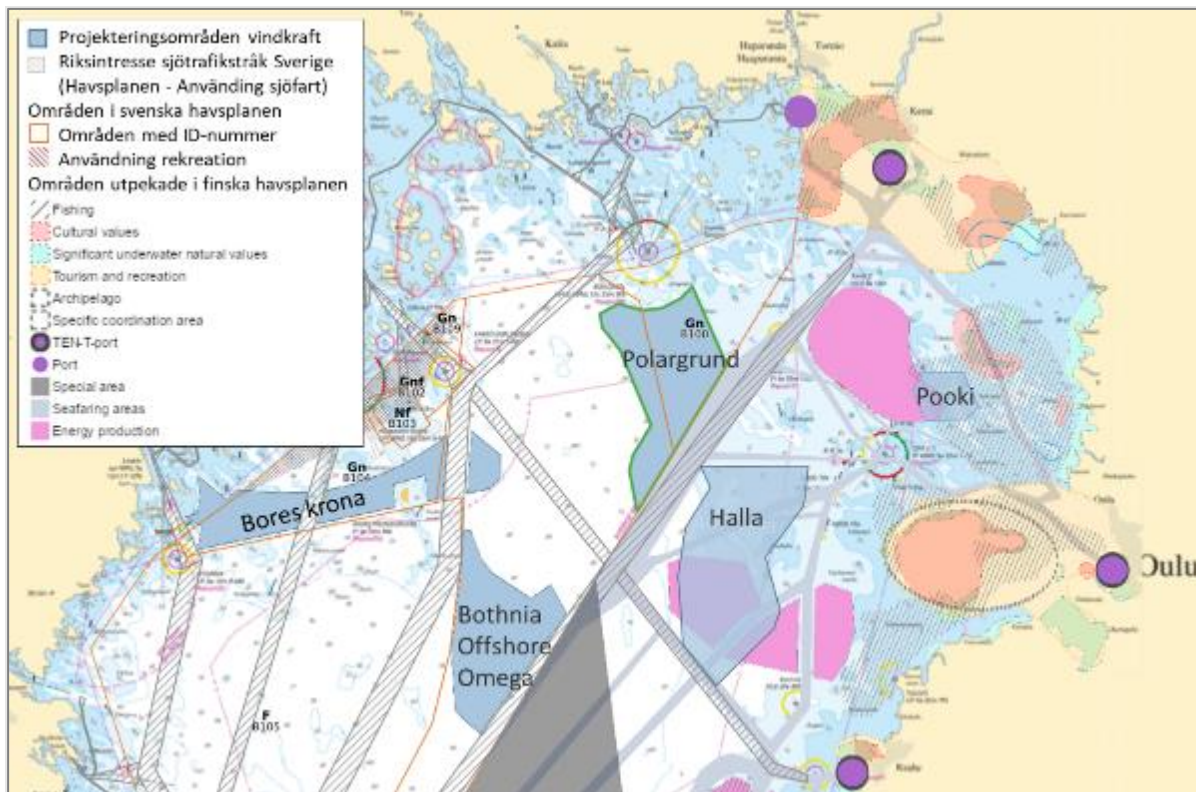
Tutkimusalue sijaitsee Perämeren pohjoisosassa, noin 5 M (10 km) päässä lähimmistä saarista pohjoisessa ja noin 18 M (33 km) päässä mantereesta, ks. Kuva 2.1. Tutkimusalueen itäraja kulkee Suomen talousvyöhykkeen rajaa pitkin.



Kuva 2.1 Tutkimusalue sijaitsee noin 5 M päässä lähimmistä saarista ja noin 18 M päässä Ruotsin mantereesta.

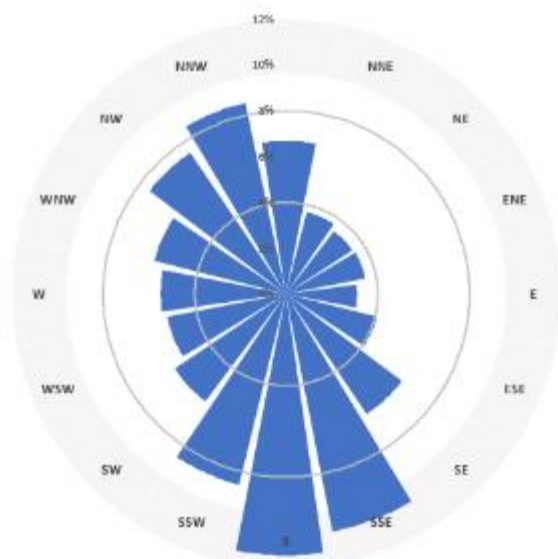
Tutkimusalueen läheisyydessä on useita *meriliikenteen* kannalta kansallisesti kiinnostaviksi nimettyjä *reittejä*, ks. Kuva 2.2. Nimetyt reitit vastaavat myös Ruotsin merialuesuunnitelmassa merenkululle osoitettuja reittejä. Nordvalenin ja Kemin salmi sijaitsee noin 0,5 M päässä tutkimusalueen itärajasta etelässä. Salmen eteläosa kuuluu Ruotsin talousvyöhykkeeseen ja on Ruotsille kansallisesti tärkeä. Väylän pohjoisosa on Suomen talousvyöhykkeellä, eikä se siten ole Ruotsin kansallisen edun mukainen. Tutkimusalueen pohjoisosa on päällekkäinen merialuesuunnitelmassa osoitetun alueen B100 kanssa. Alue on merkitty merkinnällä Gn, jossa G tarkoittaa *aluetta, jolla ei ole etusija erityiselle käytölle (G)*, ja n tarkoittaa, että *alueen hoidossa, suunnittelussa ja lupien arvioinnissa on kiinnitettävä erityistä huomiota korkeisiin luontoarvoihin.* (Havs- och vattenmyndigheten, 2022).

Polargrundin tuulivoimapuiston lisäksi Perämerelle on suunnitteilla muitakin tuulivoimapuistoja, ja Suomen puolella on useita energiantuotantoon soveltuviksi merkittyjä alueita Suomen merialuesuunnitelmassa 2030. Suomen merialuesuunnitelmassa on myös selvitysalueen itäpuolelle (*merialueet*) merkitty merenkululle hieman laajempi alue kuin Nordvalen - Kemi -reitti, joka on merkitty valtakunnalliseksi meriliikenteen väylien edun mukaiseksi alueeksi Ruotsin vesillä, ks. Kuva 2.2.



Kuva 2.2 Polargrundin tutkimusalueen läheisyydessä on alueita/reittejä, jotka on nimetty kansallisesti tärkeiksi meriliikennereiteiksi. (Trafikverket, 2023). Perämerellä on myös muita tuulivoiman hankealueita (tiedot haettu heinäkuussa 2023, alueita on saattanut tulla lisää tämän jälkeen). (Vindbrukskollen, 2023) (4C Offshore, 2023). Suomen vesillä on myös energiantuotantoon soveltuvia alueita.

Veden syvyys tuulivoima-alueella vaihtelee noin 12 metrin syvyydestä koillisosan matalimmilla alueilla noin 129 metriin eteläosassa. Alueen tuulitilastot eivät osoita selvää eroa vallitsevan tuulensuunnan välillä talven ja kesän välillä. Vallitseva tuulensuunta alueella on eteläinen, mutta myös luoteistuulet ovat yleisiä, ks. tuuliruusu, joka perustuu Rödkallenin tuulitilastoihin vuonna 2003. Kuva 2.3.



Kuva 2.3 SMHI:n vuosien 2010-2022 tuulitilastoihin perustuva tuuliruusu Rödkallenissa, noin 25 M (46 km) tutkimusalueesta länteen.

2.1 Jää

2.1.1 Jään muodostuminen

Jäätyminen kehittyy eri tavoin riippuen sellaisista tekijöistä kuin tuulet, virtaukset, pinnanmuodostus ja kylmyysjakso eli altistuminen pidemmille kylmyysjaksoille tai jaksoille, joissa on enemmän negatiivisia astepäiviä. Negatiiviset astepäivät ovat kylmyyden mittari, jossa kunkin päivän keskilämpötila lasketaan yhteen tietyn ajanjakson aikana.

Jäätyminen voi tapahtua staattisissa olosuhteissa ilman tuulta tai aaltoja, jolloin ydinjään jääkerrosten annetaan muodostua. Päinvastainen tilanne on dynaaminen. Tilanteissa, joissa vesi on liikkeessä, aallokossa ja voimakkaassa tuulialtistuksessa yhdistettynä kylmyyteen, vakaan jääpeitteen muodostuminen estyy. Sen sijaan pinnan ja kylmälle altistunut vesimassa alijäähtyy muodostaen jääneuloja, joita kutsutaan kravis- tai *frazilice*, jotka puolestaan kiinnittyvät toisiinsa, muodostavat suurempia konglomeraatteja ja kiinnittyvät jo olemassa oleviin jäälauttoihin tai lietteeseen.

Pidempien talvikausien aikana nämä jäätymisolosuhteet yhdistyvät, ja säähistorian vaihtelut aiheuttavat eri tapahtumien päällekkäisyyttä. Kiinteät jääpeitteet hajoavat, aallot sekoittuvat uudelleen ja kravis muodostaa uusia jääkerrostumia, jotka lujittuvat, jos ne altistuvat kovalle kylmyydelle. Kovassa tuulessa vakaat peitteet tai jäätyneet pakkausjää tai sohjo voi hajota ja jää ajautua. Suuret jääalueet liikkuvat tuulen mukana, törmäävät toiseen jäähän tai esteisiin, kuten saariin, rantoihin tai rakenteisiin, rikkoen jäätä ja muodostaen ajalehtimistä. Kun ajojään pinta-ala on 70 prosenttia tai enemmän, jäätä kutsutaan usein pakkausjääksi.

Jäävuoret ovat pakattua tai murskattua jäätä. Ylimmät osat jäätyvät yhteen, jos ne altistuvat kylmälle. Penkereet seuraavat tuulen aiheuttamia jään liikkeitä tai juuttuvat kiinni maauimaloihin. Tällöin ne muodostavat vakaita esteitä jään ajautumiselle. Pakkausjään penkereet voivat saavuttaa suuria mittasuhteita. Pystysuuntaisen kokonaispaksuuden on havaittu olevan enimmillään 28 metriä.

Jääruuhkia voi muodostua, kun voimakkaat tuulet ja aallot työntävät rikkoutunutta jäätä kohti maata tai maajään ulkoreunaa. Ne voivat ulottua pitkälle vaakasuoraan, olla useita metrejä syviä ja muodostaa vaikeita esteitä aluksille.

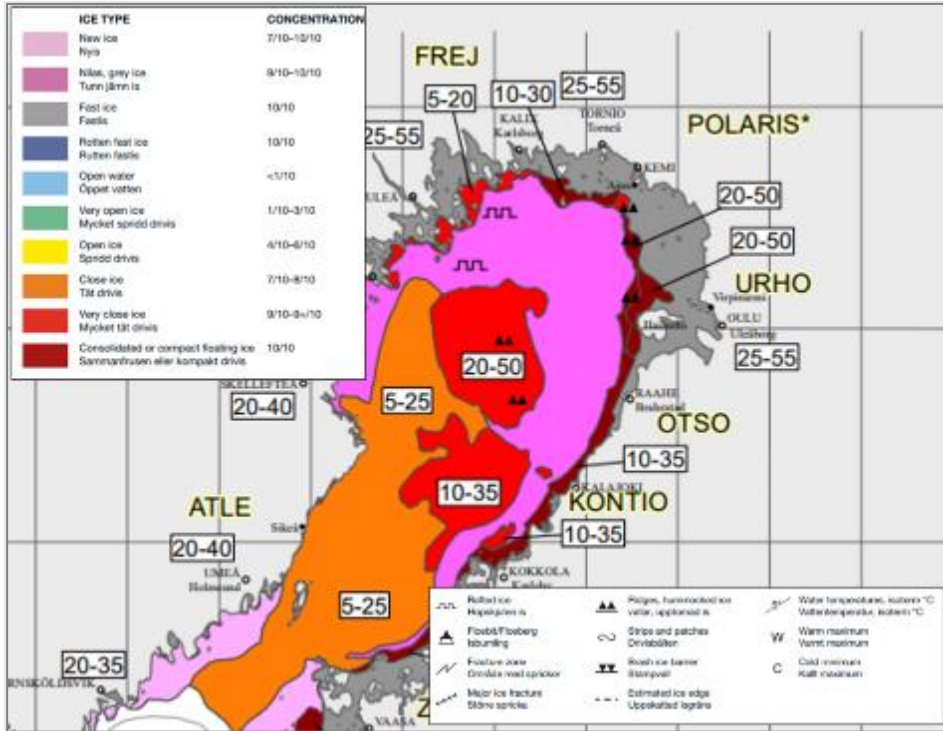
Yleisesti ottaen Perämerenlahden jäätalvet voidaan jakaa tyypillisiin jaksoihin. Jään kasvu tapahtuu pääasiassa kylmien jaksojen aikana, sekä staattisten että dynaamisten jaksojen aikana. Vastajäätyneet jää on kovaa ja pakkausjää jäätyy helposti suuremmiksi konglomeraateiksi, ja alueen jää kasvaa talvisään mukana.

Pakkausjään ja ajojääalueiden jään kertyminen ja lujittuminen jatkuu niin kauan kuin pakkaslämpötilat ovat vallitsevia. Lumen ja kylmyyden yhdistelmä tekee jäästä hidasta, ja se narskuu laivojen rungon ympärillä.

Keskitalvella, helmikuun lopun ja maaliskuun alun välisenä aikana, jäämassat saavuttavat suurimman paksuutensa. Samaan aikaan jäätyminen hidastuu ja loppuu kokonaan kevättalvella. Jäämassat kulkeutuvat tuulen mukana, penkereiden muodostuminen jatkuu, mutta ne eivät lujitu. Vähitellen jää muuttaa luonnettaan - se "mätäneee" ja sen lujuus ja kantavuus heikkenevät. Saaristossa lumi sulaa ja jää mustuu. Samanlaisia prosesseja havaitaan penkereissä ja merijäässä.

2.1.2 Perämeren jääolosuhteet

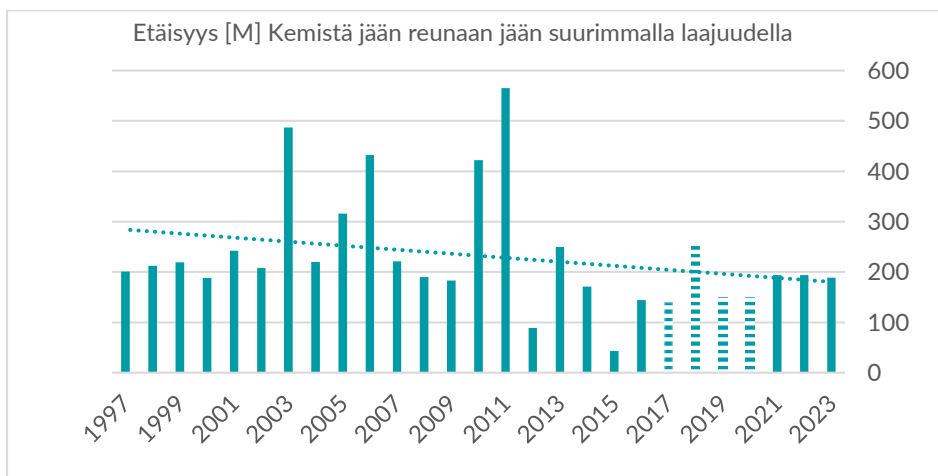
Jään laajuus vaihtelee suuresti vuosittain, mutta kyseisellä alueella jäätä on joka vuosi ja jäänmurtaajat ovat välttämättömiä jotta alueen merenkulku toimisi. Jääkausi kestää yleensä joulukuun alusta toukokuun puoliväliin. (SMHI, 2023). Jään paksuus kyseisellä alueella vaihtelee, mutta se voi olla noin 40 – 80 cm. Kaudella 2010/2011 jäätalvi luokiteltiin viimeksi ankaraksi. Helmikuun 25. päivänä 2011 Itämerellä mitattiin suurin jään laajuus sitten vuoden 1987, noin 300 000 km². Perämerellä mitattiin 50 -



Kuva 2.5 Perämeren jäkärtta 4.2.2022, jolloin jään laajuus oli suurimmillaan jäätalven 2021/2022 aikana.

SMHI:n mukaan jäätalvea 2022/2023 luonnehditaan jään laajuuden osalta leudoksi jäätalveksi, mutta jääkauden pituuden osalta normaaliksi. (SMHI, 2023b)Kauden aikana viisi ruotsalaista jäämurtajaa avusti yhteensä 614 alusta. Näistä 12 koostui hinauksista (FMIB, 2023).

Jääkauden suurinta jään laajuutta käytetään usein jäätalven ankaruuden mittarina, mutta tutkimusalueen meriliikenteen kannalta etäisyys, jonka alus joutuu kulkemaan jään läpi Perämeren jääreunasta Keminsatamaan jään suurimman laajuuden aikaan, voi olla helposti tulkittavissa oleva relevantti mittari. Tämä etäisyys on esitetty kuvassa Kuva 2.6 ajanjaksolla 1996/1997-2022/2023, ja siinä on suurta vaihtelua mutta myös laskeva suuntaus, jossa matka on lyhentynyt noin kolmanneksella viimeisten 25 vuoden aikana.



Kuva 2.6. Suurin jään laajuus Perämerenlahdella ilmaistuna etäisyytenä Keminsatamasta Perämerenlahden jään reunaan sinä päivänä, jolloin suurin jään laajuus mitattiin. Perustuu Ilmatieteen laitoksen tilastoihin, mutta katkoviivat on arvioitu SMHI:n tilastojen perusteella.

Koska jään paksuus ja epämuodostuneen jään osuus (jään leikkautuminen ja jäävallien muotoutuminen) eivät näy kartan laajuudessa, etäisyyden ja jäänmurtajan todellisen avun tarpeen välillä ei ole selvää korrelaatiota. Muiden satamien, kuten Luulajan sataman osalta on mahdollista, että kartta näyttää erilaisen profiilin, koska talvi jolloin Suomen puolella on raskasta jäätä ei välttämättä tarkoita raskasta jäätä Ruotsin puolella.

Jää liikkuu tuulen suunnasta ja voimakkuudesta riippuen ja ajoittain jäät voivat kerääntyä joko Suomen tai Ruotsin puolelle, jolloin jään läpi voi syntyä avoimia alueita (railoja). Yleensä keväällä Perämeren pohjoisosaan voi ilmestyä puolikuun muotoinen railo. Se voi ulottua Luulajasta Kemin majakalle asti ja edelleen itäpuolella Raahen suuntaan ja joskus myös Kokkolaan asti. (Finska meteorologiska institutet, 2023).

Etelätuulilla jäätä voi myös pakkautua paljon suuriin osiin Perämeren pohjoisosaan, joka tarkoittaa, että kyseisen alueen jääolosuhteet voivat olla hyvin vaikeat merenkululle ja jäävuoria voi muodostua paljon. Suurimmat Perämerellä mitatut jäävuoret olivat noin 28 metriä syviä, joista 3 metriä merenpinnan yläpuolella. Nämä mitattiin kyseisellä alueella⁵.

Yli 5 m/s tuulennopeudella jään kulkusuunta määräytyy tuulen mukaan. Jään ajelehtimisnopeus on yleensä 1–3 % tuulen nopeudesta, mikä tarkoittaa, että jään voidaan olettaa ajelehtivan noin 0,2–0,6 solmun nopeudella tuulen nopeuden ollessa 10 m/s. (Finska meteorologiska institutet, 2023). Kolme prosenttia vastaavia ajelehtimisnopeuksia on havaittu lähinnä ohuemmassa jäässä kauden alussa, kun taas 1–2 % on tavanomaisempaa kauden loppupuolella (Björk, 2007). Tuulen kitka jään pintaa vasten on jään ajelehtimisen pääasiallinen aiheuttaja, mutta ajelehtimisnopeuteen ja -suuntaan vaikuttavat myös jään sisäinen kitka ja maapallon pyörimisestä johtuva Coriolis-ilmiö. Perämerellä tehdyt mittaukset ovat osoittaneet, että yksinkertaistettu laskelma jossa tuulen nopeus on 1,9 % ja 21 asteen poikkeama oikealle tuulen suunnasta (Coriolis-ilmiön vuoksi) vastaa hyvin havaintoja (Leppäranta_Omstedt, 1989).

2.1.3 Tuulivoimaloiden vaikutus merijäähän

Tuulipuiston, joka koostuu suuresta määrästä sylinterimäisiä rakenteita (halkaisijan suuruusluokka kymmenisen metriä), jotka on sijoitettu noin 1 M välein, voidaan olettaa vaikuttavan merijäähän eri tavoin. Jos jään oletetaan olevan yhtenäinen kerros kiinteää jäätä, tuulipuistolla voisi olla ankkuroiva vaikutus joka estää tuulen tai virtauksen aiheuttaman jääkerroksen liikkeen. Tuulivoimaloiden halkaisijan ja etäisyyksien sekä jääkerroksen puristusvoiman välinen suhde tarkoittaa kuitenkin sitä, että jo maltillisetkin jäähän kohdistuvat ajovoimat ja tuulen vaikutukset saavat jään liikkumaan. Jää murskautuu tällöin kyseisen tuuliturbiinin edessä, ja rakenteesta alavirtaan muodostuu osittain avoin lahdelmä, jossa murskattua jäätä. Turbiinin ylävirran puolella murskattu jää voi kasautua kiilaksi, joka on muotoiltu jään ajosuunnan vastaisesti.

Itse tornirakenteen ja jään välisten vuorovaikutusvaikutusten lisäksi jään muodostumiseen ja liikkumiseen voi välillisesti vaikuttaa myös se, että tuulipuiston energiantuotanto vähentää tuulipuiston leepuolella olevan ilmavirtauksen energiamäärää. SMHI tutkii tämäntyyppisiä tuulivoimaloiden vaikutuksia esimerkiksi avovesialueilla sijaitsevien voimaloiden osalta, mutta niiden oletetaan olevan toissijaisia verrattuna tornirakenteen ja liikkuvan jään väliseen suoraan mekaaniseen vuorovaikutukseen.

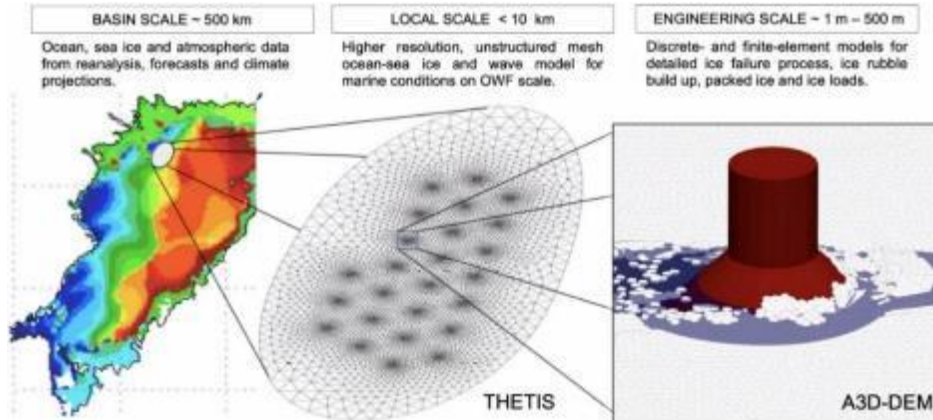
⁵ *Hazid-työpajassa esiin tulleet tiedot*



Kuva 2.7. Kemi I:n majakka, jossa on rikkoutunutta jäätä jään ajautumissuunnassa, (kuva Merenkulkulaitos).

Jäävoimien vaikutuksesta yksittäisiin rakenteisiin on nyt suhteellisen hyvät tiedot, ja tämä on perusta tuulipuistojen turvalliselle suunnittelulle ja mitoitukselle jääpeitteisillä vesillä. Tietämys siitä, miten tuulipuisto ja kokonaiskuva siitä, miten jään murskautuminen kunkin yksittäisen rakenteen ympärillä vaikuttaa jään muodostumiseen puistoalueen alapuolella on kuitenkin puutteellinen. On kuitenkin hyvin dokumentoitu, että toistuva jään murtuminen kanavissa matalassa lämpötilassa johtaa siihen että yhä suurempi osa vedestä altistuu kylmälle ja jään kokonaismäärä näin ollen vähitellen kasvaa. (Sandkvist, 1986). Vastaavasti liikkuvan jääkentän alueella sijaitsevan tuulipuiston voidaan olettaa lisäävän jään kokonaismäärää, jos se tapahtuu jäätymisjakson aikana. Jos taas tuulivoimapuiston rakentaminen tapahtuu kylmemmän jakson aikana, jään kokonaismäärä ei kasva, mutta murskatun jään liikkuvuus voi johtaa siihen, että se kasaantuu tuulen ajelehtimana ja kerääntyy jääharjuihin. Sekä jään kokonaismäärän lisääntyminen että jääruuhkien tai pakkautuneen jään muodostuminen voivat osaltaan vaikeuttaa merenkulkua ja lisätä jäänmurtaajien avun tarvetta. On kuitenkin vaikea ennustaa yksityiskohtaisesti, miten tuulipuisto vaikuttaa jääpeitteen luonteeseen, eikä tällä hetkellä ole olemassa menetelmiä joilla voitaisiin määrittää missä määrin se vaikuttaa laivaliikenteeseen ja jäänmurtaajien avun tarpeeseen.

Aalto-yliopistossa Suomessa on käynnissä WindySea-tutkimushanke, jonka tarkoituksena on parantaa välineitä, joita tarvitaan tuulipuiston jäähän kohdistuvien vaikutusten monimutkaisen ilmiön analysoimiseksi. Yhteistyössä Delftin yliopiston kanssa Shiver-hankkeessa on tehty mallinnuskokeita sylinterimäisten esteiden riveillä laboratorion jääaltaassa muun muassa värähtelyä aiheuttavien dynaamisten jäänmurtumisprosessien tutkimiseksi, kun jääkerrokset painuvat sylinterimäisiä rakenteita vasten. Tarkoituksena on, että mallinnuskokeiden tulokset sekä matemaattiset mallit, joilla kuvataan voiman ja liikkeiden leviämistä paikallisesti rakenteita ympäröivässä jääpeitteessä, voidaan yhdistää ennustemalleihin jään liikkeistä laajemmilla merialueilla tuulen, aaltojen ja lämpötilan vaikutuksesta.



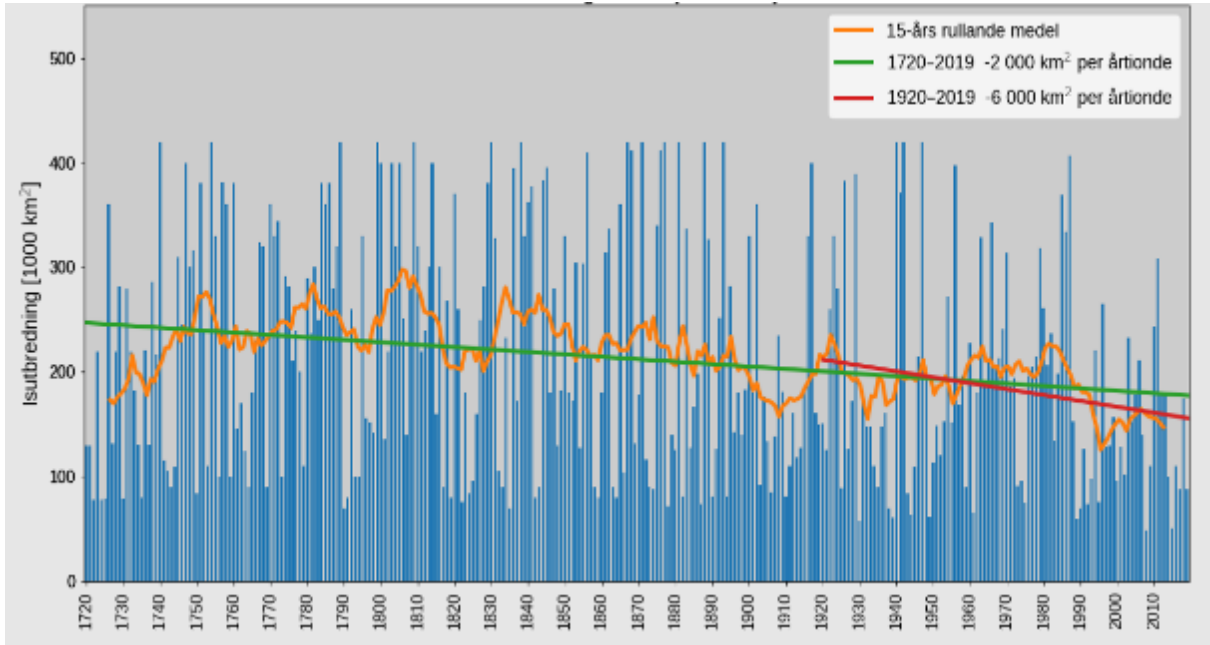
Kuva 2.8. WindySea-hankkeen avulla voidaan rakentaa digitaalisia kaksoiskuvia tulevista tuulipuistoista jääpeitteisillä vesialueilla, ja sen avulla pyritään löytämään puistojen pohjapiirustukset, jotka minimoivat kielteiset vaikutukset merijähän ja merenkulkukelpoisuuteen ja parantavat samalla jäissä olevien rakenteiden suunnitteluperusteita.

Hankkeeseen on luotu yhteydet, ja tulosten seuranta ja mahdollista kokemustenvaihtoa on tarkoitus jatkaa osapuolten välillä.

2.1.4 Tulevat jääolosuhteet

Kuten todetaan Kuva 2.6 Itämeren ja Selkämeren jään keskimääräinen enimmäislaajuus vähenee tulevaisuudessa ilmaston lämmetessä. Jäätalven pituus todennäköisesti vähenee, mutta myös jään keskimääräinen paksuus pienenee. Suurimpien muutosten odotetaan kuitenkin tapahtuvan etelässä, kun taas Perämerellä ja Perämeren pohjoisosan nykyisellä alueella Perämeren lahdella vaikutukset ovat vähäisempiä. Mikään ei kuitenkaan viittaa siihen, että merijää katoaisi kokonaan Itämeren alueelta tällä vuosisadalla. Vuosittaiset vaihtelut pysyvät tulevaisuudessakin merkittävinä.

Itämeren alueen jäätilannetta on kartoitettu vuosittain 1950-luvulta lähtien. Tutkijat ovat myös luoneet uudelleen tietosarjat jään suurimmasta laajuudesta 1700-luvun alusta. Kuva 2.9e näyttää Itämeren havaittu jään enimmäislaajuus vuosina 1720–2020. Viimeisten 100 vuoden aikana on havaittavissa selkeä väheneminen, joka on noin 6 000 km² vuosikymmenessä.



Kuva 2.9 Itämeren havaittu vuotuinen jään enimmäislaajuus FMI:n tietojen perusteella (siniset palkit), sen liukuva keskiarvo 15 vuoden välein (oranssi) sekä lineaarinen trendi koko ajanjaksolla (vihreä) ja viimeisten 100 vuoden aikana (punainen). (SMHI, 2021).

Kuvion punainen trendiviiva osoittaa, että enimmäislaajuus on pienentynyt 10 prosenttia 30 vuoden aikana, mikä voi olla lähtökohtana ennustettaessa odotettavissa olevaa tulevaa vähenemistä.

Jäänmurron ja kulkuyhteyksien näkökulmasta enimmäislaajuus ei kuitenkaan ole tärkein muuttuja, mutta yhdessä ennustetun jään paksuuden kanssa se antaa viitteitä talvikauden aikana muodostuvan jään kokonaismäärästä. On kuitenkin tärkeää huomata, että tuulen vaikutuksesta ohuemmat jääkerrokset hajoavat ja voivat työntyä yhteen muodostaen voimakkaita ja vaikeasti runneltavia jääseinämiä ja muita vaikeasti runneltavia jääesteitä.

Helpottaakseen sen arviointia, miten tuleva ilmastonmuutos vaikuttaa talvimerenkulun olosuhteisiin, SMHI on Ruotsin merenkulkulaitosta kuullen määritellyt perinteisten jään enimmäislaajuutta ja jääkauden pituutta koskevien mittareiden lisäksi useita täydentäviä indikaattoreita, (SMHI, 2021). Näihin täydentäviin indikaattoreihin kuuluvat sileän jään paksuus, epämuodostuneen 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). Joidenkin indikaattoreiden osalta arvio koskee Perämerta, ja kiinteän jään enimmäispaksuuden osalta esitetään myös satamakohtaiset arvot. I Taulukko 2.1 esitetään indikaattorit 20 ja 50 vuoden aikajänteellä ja kahden ilmastomallin edustamalla hajonnalla.

Taulukko 2.1. Perämeren odotetut jääolosuhteet tulevaisuudessa eri indikaattoreiden perusteella 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,

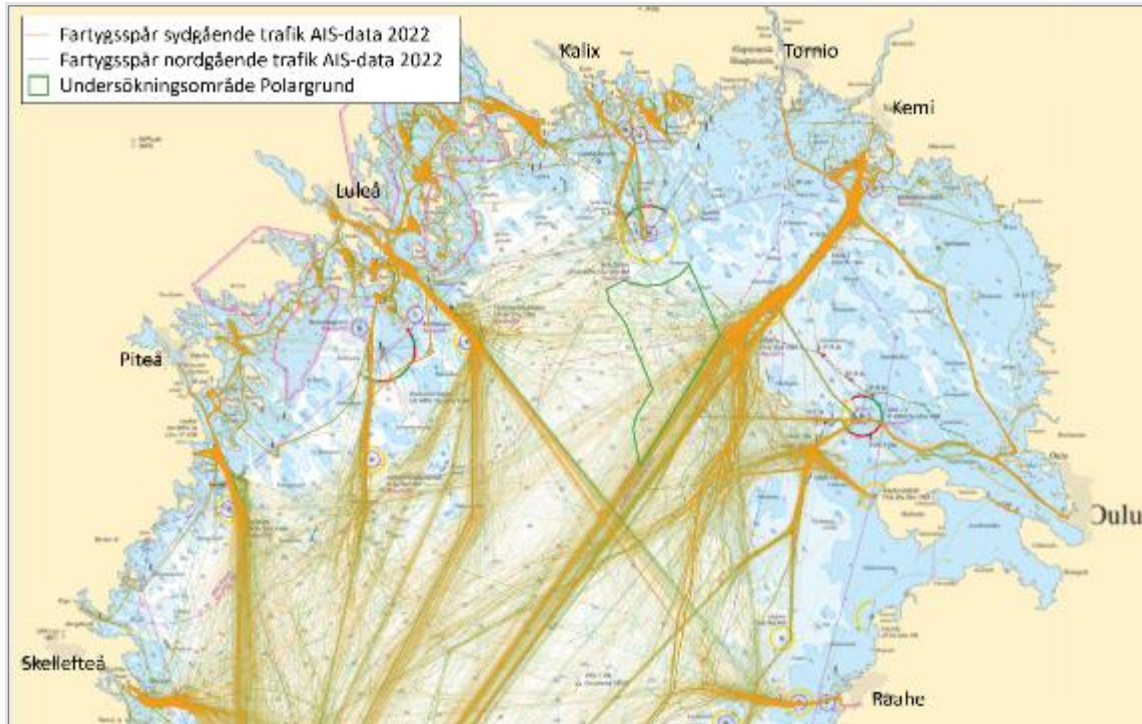
Indikaattori	Valvontajakso (1975-2004) viitearvo	20 vuoden kuluttua (2025-2054)		50 vuoden kuluttua (2025-2054)	
		RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Jään enimmäislaajuus Koko Itämeren keskiarvo	179 000 kilometriä ²	114 000 kilometriä ² 36 % vähennys	97 000 36 % vähennys	106 000 41 % vähennys	67 000 63 % vähennys
Jääkauden pituus Perämeri päivää	204 päivää	183 päivää 10 prosentin vähennys	176 päivää 14 % vähennys	178 päivää 13 % vähennys	156 päivää 24 % vähennys
Sileän jään keskimääräinen paksuus Perämerellä	42 cm	31 cm 26 %:n vähennys	28 cm 33 %:n vähennys	28 cm 33 %:n alennus	25 cm 40 % vähennys
Laiturin enimmäispaksuus Luulajan satamassa	75 cm	62 cm 17 % vähennys	58 cm 23 % vähennys	57 cm 24 % vähennys	45 cm 40 % vähennys
Skellefteån sataman laiturin enimmäispaksuus	56 cm	40 cm 29 % vähennys	36 cm 36 % vähennys	35 cm 28 % vähennys	25 cm 55 %:n vähennys
Jääpitoisuus deformoitunut jää*, (yli 1,5 m paksuinen jää).	14–15 %	10–11 %	9–10 %	8–9 %	6–7 %
Jääloukkaan perustuva liikenteen rajoitus Luulaja Päivien lukumäärä jääkautta kohti	1C/II	24		32 (lisäys 8 päivää)	42 (lisäys 18 päivää)
	1B	38		48 (lisäys 10 päivää)	44 (lisäys 6 päivää)
	1A	113		58 (vähennys 55 päivää)	23 (vähennys 90 päivää)
	Yht	175		138 (vähennys 37 päivää)	109 (vähennys 66 päivää)
Jääloukkaan perustuva liikennerajoitus Skellefteå Päivien lukumäärä jääkautta kohti	1C/II	40		47 (lisäys 7 päivää)	43 (lisäys 3 päivää)
	1B	58		41 (vähennys 17 päivää)	16 (vähennys 42 päivää)
	1A	50		6 (vähennys kuin 44 päivää)	1 (vähennys 49 päivää)
	Yht	148		94 (vähennys 54 päivää)	60 (vähennys 88 päivää)

*Otettu Polargrundin alueen värikoodatusta kartasta.

Kun otetaan huomioon aika, jonka voidaan olettaa olevan kohtuullinen suunnitellun tuulipuiston rakentamiseen asti, ja sen odotettu käyttöikä, taulukoitu 20 vuoden skenaario näyttää antavan asianmukaisen kuvan jääolosuhteista joissa tuulipuisto on toiminnassa sekä olosuhteista, joiden voidaan olettaa vallitsevan alusliikenteen ja jäänmurtajatoiminnan kannalta.

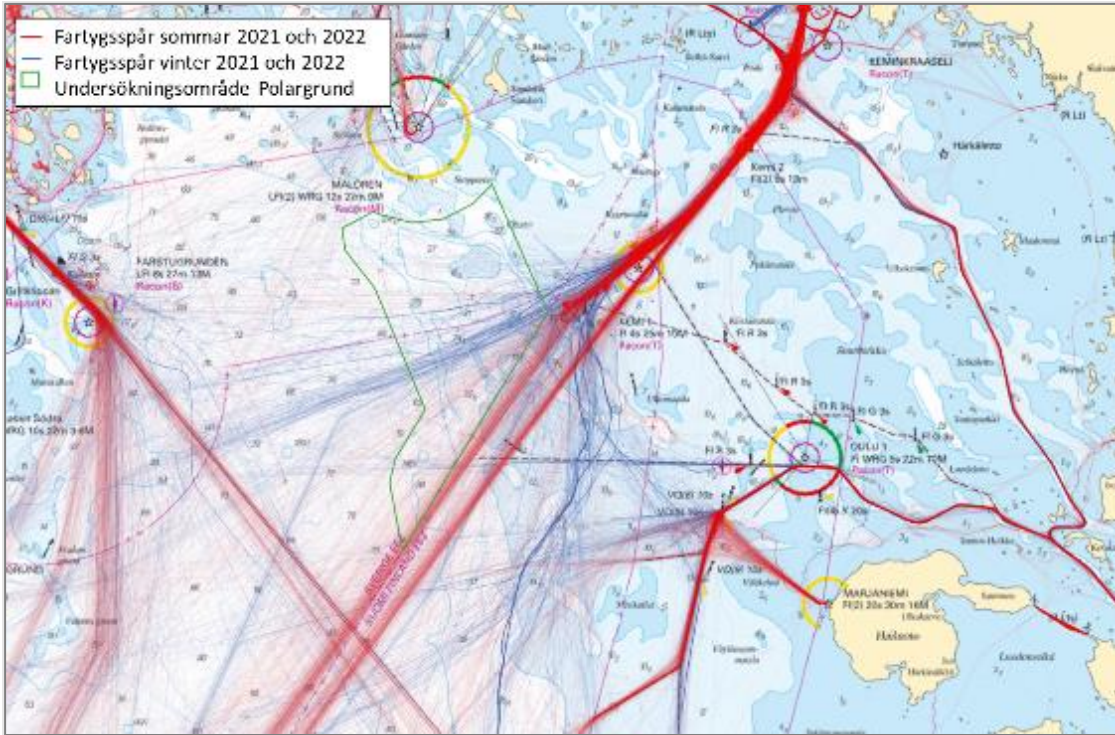
2.2 Liikennekuviot ja kulkutilastot

Kuva 2.10 esittää Perämeren asiaankuuluvan osan liikennekuvion AIS-tietojen perusteella vuodelta 2022. Tutkimusalue sijaitsee laivaväylän varrella, jossa liikenne tapahtuu pohjoisen Merenkurkun ja Kemi 1 majakan välillä Keminsuon ja Tornion suulla. Tutkimusalueen eteläkärki sijaitsee noin 6 M (10 km) päässä Luulajan ja Raahen välisestä laivaväylästä. Tutkimusalueen kautta kulkee liikenne Keminsuon ja Luulajan välillä sekä liikenne Keminsuon ja Skellefteån ja Piteåin välillä.



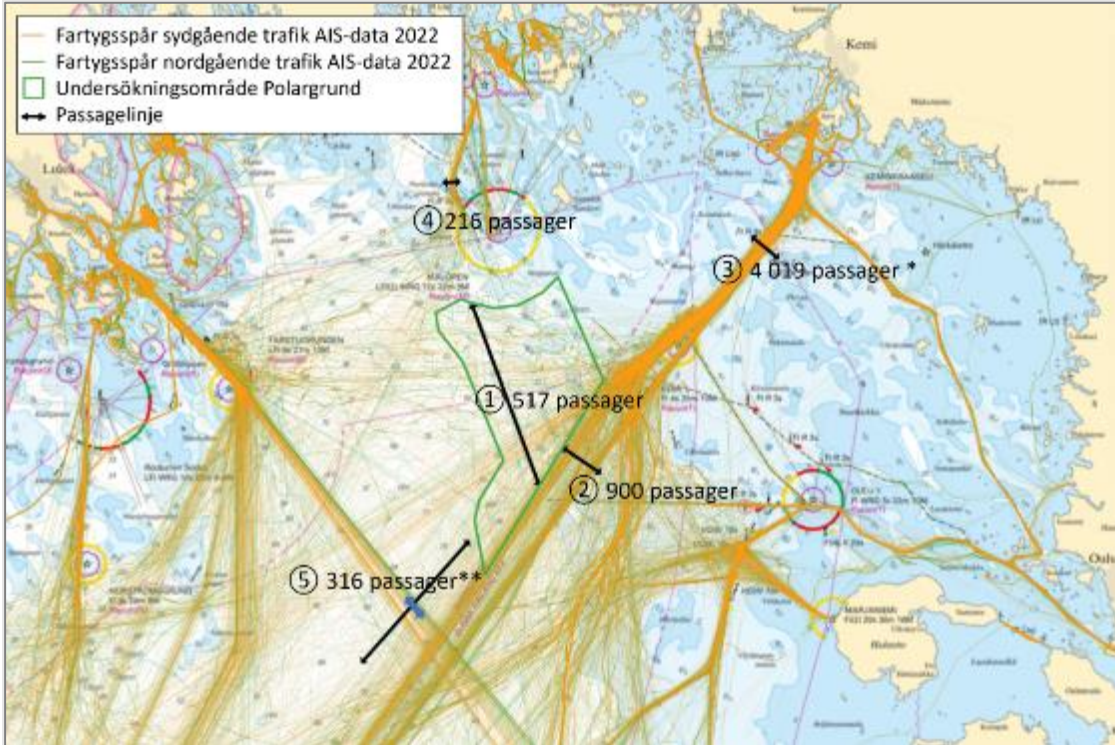
Kuva 2.10 AIS-tiedoista vuodelta 2022 saatuihin alusten jälkiin perustuvat liikennemallit.

Talvella, kun alueella on jäätä, alukset käyttävät eri reittejä kuin jäättömissä olosuhteissa ja liikennemalli talven ja kesän välillä on hyvin erilainen. Kuva 2.11 talvikuukausien (joulukuu - huhtikuu) laivojen reitit on erotettu kesäkuukausien (toukokuu - marraskuu) laivojen reiteistä. Talvella liikennemalli vaihtelee kuitenkin huomattavasti vallitsevan jäätilanteen mukaan sekä kunkin jääkauden sisällä että eri jääkauden välillä.



Kuva 2.11 Liikennemallit talvella (sininen) ja kesällä (punainen) vuosien 2021 ja 2022 AIS-tietojen perusteella.

Perämeren nykyisen osan liikenteen intensiteetin analysoimiseksi on määritetty viisi kulkuväylää, ks. Kuva 2.12, joista esitetään kulkutilastot.

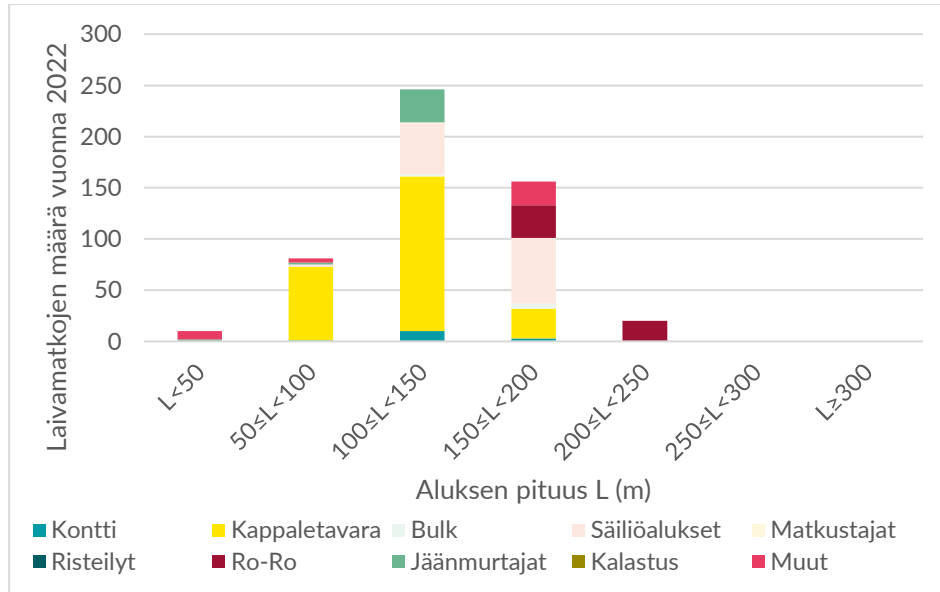


Kuva 2.12 Alueen liikenteen intensiteetin analysoimiseksi on määritelty viisi kulkuväylää. Kuvassa esitetään kunkin linjan läpiajojen kokonaismäärä vuonna 2022. Kuvassa pohjoiseen ja etelään suuntautuvat linjat on erotettu toisistaan, ja ne on esitetty eri väreillä. Etelään menevä linja (oranssi) on piirretty kuvassa pohjoiseen menevän linjan (vihreä) yläpuolelle, joten se näkyy paremmin. *Joista 1 793 oli alle 50 metrin pituisia aluksia, joista suurin osa oli väylän ruoppaukseen osallistuvia aluksia. ** Koskee luoteeseen ja kaakkoon kulkevia aluksia.

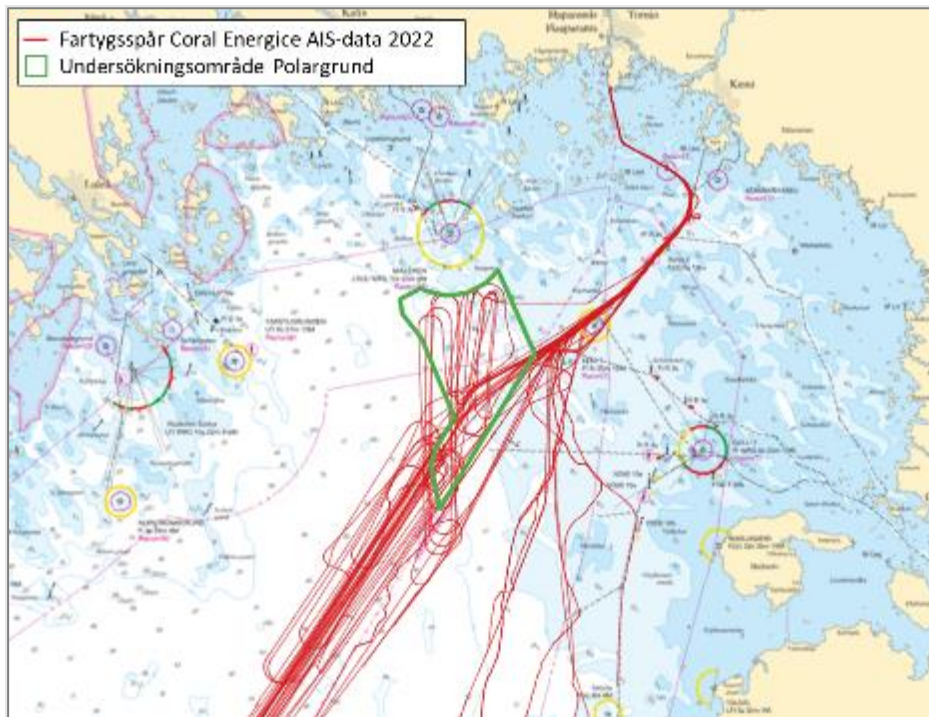
2.2.1 Kulkuyhteys 1 - Tutkimusalueen läpi kulkeva liikenne

Linjan 1 kautta kulki vuonna 2022 yhteensä 517 alusta. Suuri osa aluksista oli 100–150 metrin pituisia rahtilaivoja, mutta myös jäänmurtajia, suurempia tankkeria ja Ro-Ro-aluksia rekisteröitiin, ks. Kuva 2.13. Osa linjan 1 yli kulkevasta liikenteestä koostuu pohjoisen Merenkurkun ja Kemins majakan välisellä reitillä liikennöivistä aluksista, jotka kulkivat linjan 1 yli kaakossa.

Torniossa on nesteytetyn maakaasun terminaali ja linjan 1 tiheimmin liikennöivä alus oli 164 metrin pituinen nesteytetyn maakaasun kuljetusalus Coral Enerגיע, joka on kulkenut linjalla 38 kertaa. Kuva 2.14 esitetään Coral Enerגיעen aluskäynnit alueella vuonna 2022.



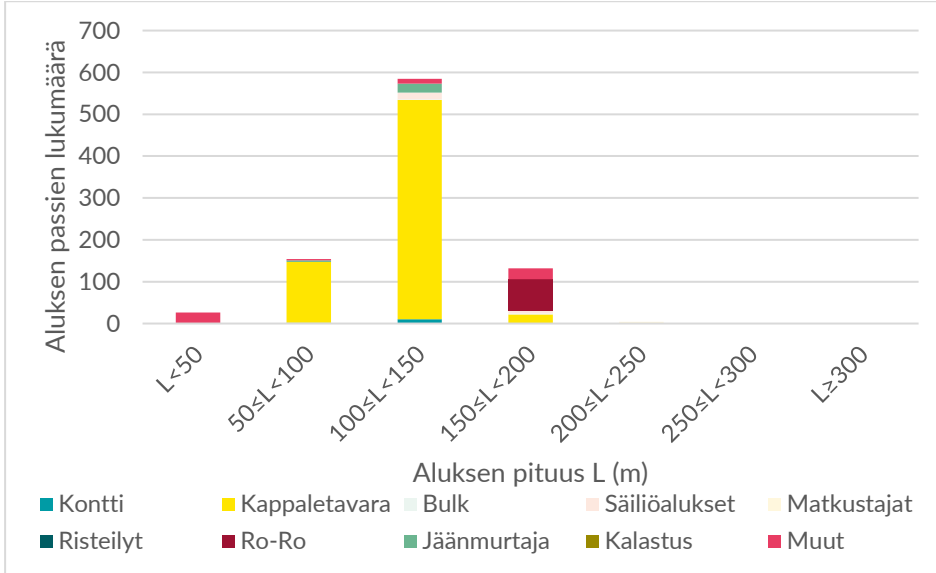
Kuva 2.13 Reitillä 1 vuonna 2022 tapahtuvien laivamatkojen määrä aluksen koon ja tyyppin mukaan.



Kuva 2.14 LNG-alus Coral Enerגיעen laivaväylä vuonna 2022.

2.2.2 Kulkuyhteys 2 - tutkimusalueen kaakkoispuolella.

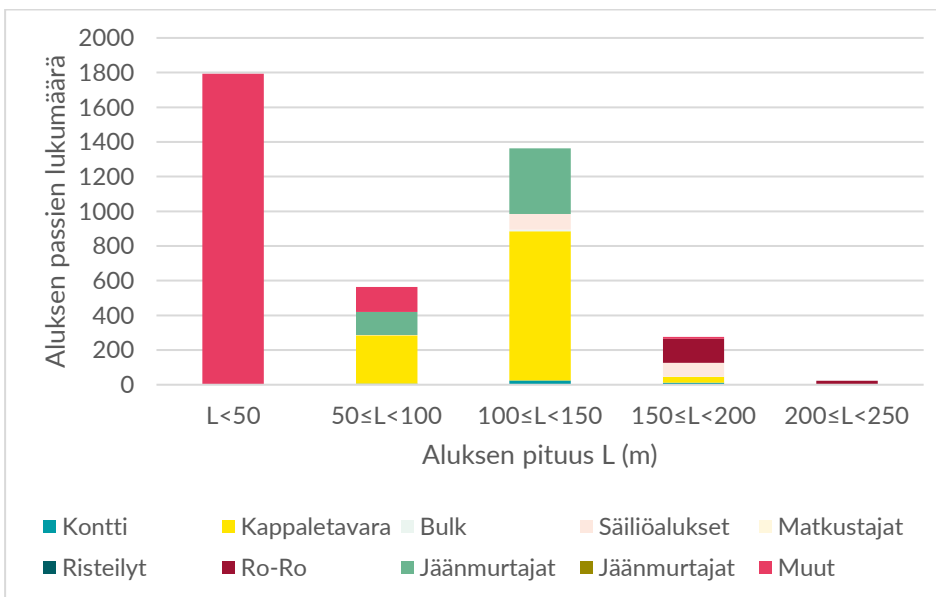
Väylälinjalla 2 tarkoitetaan liikennettä Kemin majakan ja pohjoisen Merenkurkun välisellä laivareitillä, joka sijaitsee tutkimusalueen kaakkoispuolella. Suuri osa väylän 2 ylittävistä aluksista on alle 150 metrin pituisia general cargo-aluksia, ks. esim. Kuva 2.15. Linjan 2 kautta kulki myös suurempia Ro-Ro-aluksia. Linjan 2 kautta kulki vuonna 2022 yhteensä 900 alusta. Merenkululaitoksen ja Ruotsin liikenneviraston manööveritilan arviointikriteerien perusteella mitoitettu alus reitillä on 191 metriä pitkä (suurin alus 98. prosenttipisteessä kaikista yli 70 metriä pitkien alusten suorittamista aluskuljetuksista).



Kuva 2.15 Reitillä 2 vuonna 2022 tapahtuvien laivamatkojen määrä aluksen koon ja alustyypin mukaan jaoteltuna.

2.2.3 Kulkulinja 3 - Kemin (Tornio) sisääntulo

Vuonna 2022 ruoppaustyöt olivat käynnissä Kemiin johtavalla väylällä, ja suuri osa reitin 3 kulkijoista on työaluksia (kuuluvat kohtaan "muut"), joiden pituus on alle 50 metriä; 1 793 kulkua 4 019 kulkusta, ks. kohta "Muut". Kuva 2.16. Manööveritilaa varten mitoitettu aluksen pituus on 193 metriä, joka perustuu yli 70-metrinen alusten 98. prosenttipisteen suurimman aluksen kriteeriin.

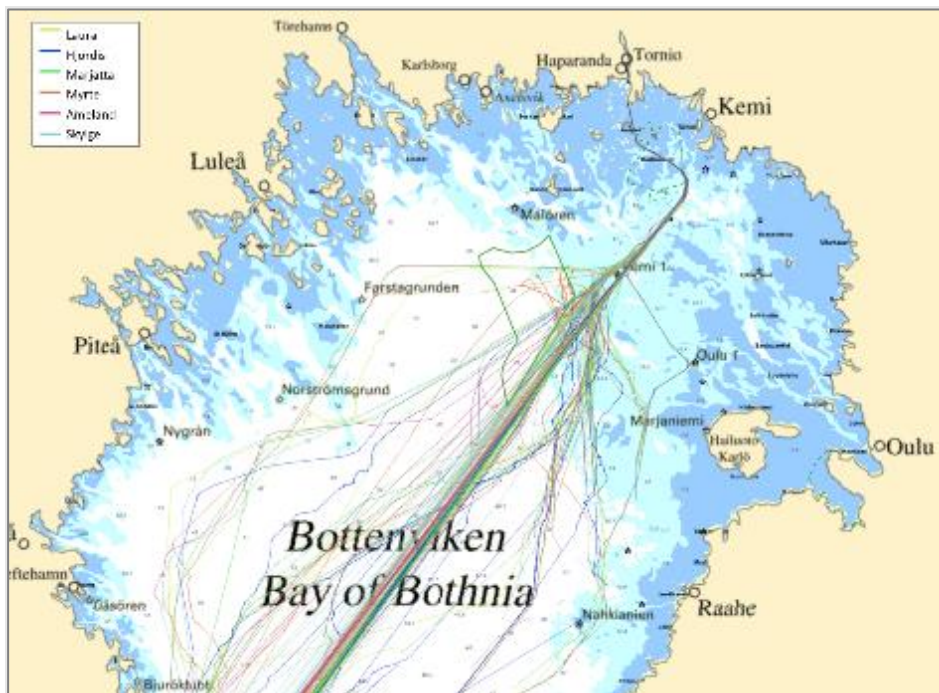


Kuva 2.16 Reitillä 3 vuonna 2022 tapahtuvien laivamatkojen määrä aluksen koon ja alustyypin mukaan jaoteltuna.

Tornioon liikennöivät general cargo-alukset, ja ne muodostavat suuren osan reitin 3 liikenteestä. Vuonna 2022 kuusi general cargo-alusta, joiden pituus on noin 120 metriä, kulki reitin 3 kautta noin 50 kertaa kukin, ks. Taulukko 2.2. Tämä tarkoittaa yhteensä noin 300 saapumista/lähtöä Torniossa vuonna 2022. Kuva 2.17 on esitetty näiden kuuden general cargo-aluksen laivareitit. Alukset eivät käy missään muussa Perämeren satamassa, ja useimmissa tapauksissa alukset kulkevat suoraa reittiä Kemi 1:n ja pohjoisen Merenkurkun välillä. Kuvasta käy ilmi, että joissakin tapauksissa alukset ovat kulkeneet muita, mutkaisempia reittejä. Useimmissa tapauksissa tämän oletetaan tapahtuneen talvella ja ottaen huomioon vallitsevat jääolosuhteet.

Taulukko 2.2 Torniossa vuonna 2022 liikennöivät kappaletavara-alukset, joista kukin tekee noin 50 ohitusta reitillä 3.

Aluksen nimi	Alustyyppi	Pituus	Leveys	Syvällinen	Kappaleiden lukumäärä
Laura	Kappaletavara	120	18	6,9	50
Hjordis	Kappaletavara	120	18	7,2	50
Marjatta	Kappaletavara	120	18	6,4	48
Myrtle	Kappaletavara	122	16	5,4	48
Ameland	Kappaletavara	122	16	7,2	48
skylark	Kappaletavara	122	16	7,4	45

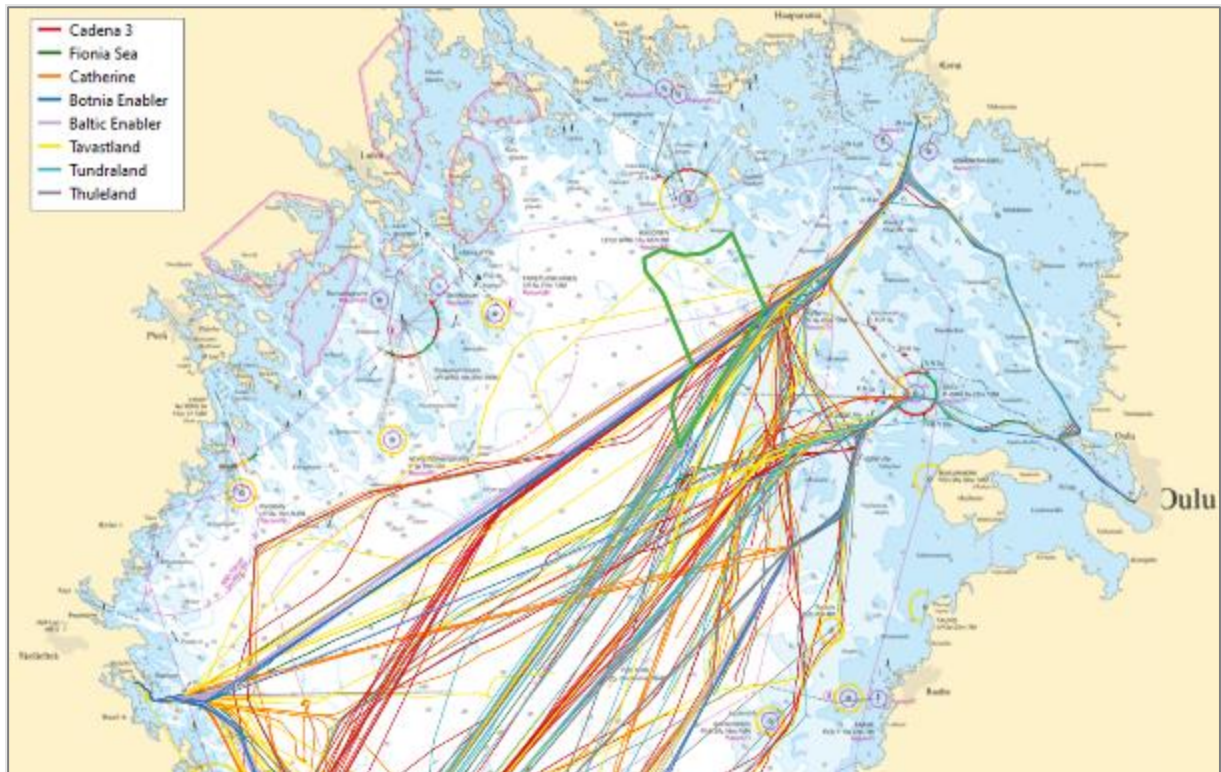


Kuva 2.17 AIS-tietoihin perustuvat alusten reitit vuodelta 2022 kuudesta noin 120 metrin pituisesta kappaletavara-aluksesta, jotka liikennöivät usein Torniossa.

Kemiin liikennöivät Ro-Ro-alukset. Vuonna 2022 linjan 3 kautta kulki kahdeksan eri Ro-Ro-alusta, joista kuusi on noin 190-metrisiä ja neljä noin 30 kertaa kutakin, ks. Taulukko 2.3. Vuoden 2022 puolivälistä lähtien Wallenius SOL on ottanut käyttöön kaksi uutta suurempaa Ro-Ro-alusta (Con-Ro, yhdistetty kontti- ja Ro-Ro-alus) Perämeren liikenteessä: Botnia Enabler ja Baltic Enabler. Molemmat ovat 242 metriä pitkiä, ovat jääluokassa 1A Super ja palvelevat useita Perämeren satamia. Thuleland, Tundraland ja Tavastland, jotka ovat myös Wallenius SOLin omistuksessa, kuuluvat kaikki jääluokkaan 1A Super. Lopuilla kolmella aluksella on toiseksi korkein jääluokka 1A. Kuva 2.18 esitetään kahdeksan Ro-Ro-aluksen laivareitit vuonna 2022.

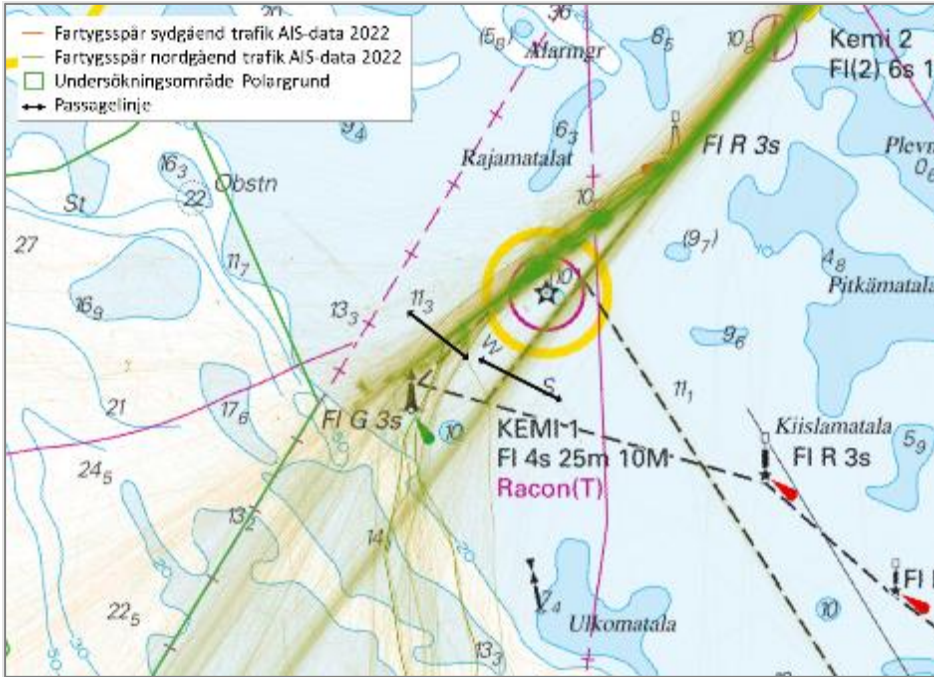
Taulukko 2.3 Reitin 3 kautta kulki vuonna 2022 kahdeksan eri Ro-Ro-alusta.

Aluksen nimi	Pituus (m)	Leveys (m)	Syväys (m)	alustyyppi	Jääluokka	Kappaleiden lukumäärä
Thuleland	190	26	6,9	Ro-Ro	1A Super	38
Tavastland	190	26	7	Ro-Ro	1A Super	30
Tundraland	190	26	7,2	Ro-Ro	1A Super	28
Cadena 3	193	26	6	Ro-Ro	1A	28
Catherine	182	26	6,9	Ro-Ro	1A	13
Botnia Enabler	242	36	7	Ro-Ro/Con-Ro	1A Super	12
Baltic Enabler	242	36	7,6	Ro-Ro/Con-Ro	1A Super	8
Fionia Sea	187	26	6,3	Ro-Ro	1A	2



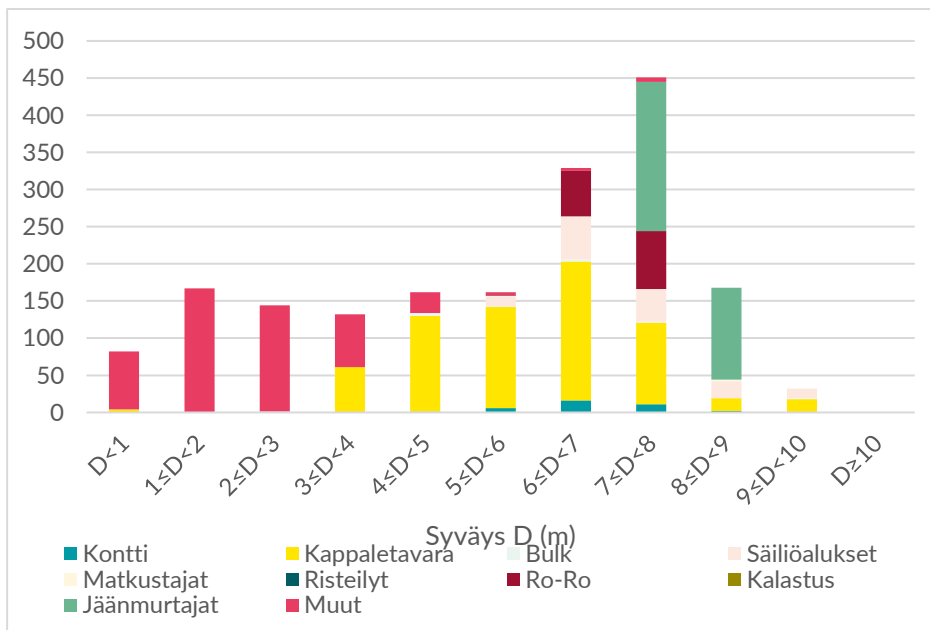
Kuva 2.18 Linjan 3 yli kulkeneiden kahdeksan Ro-Ro-aluksen AIS-tietoihin perustuvat alusten reitit vuodelta 2022.

Kemin lähestymistä varten on kaksi väylää: toinen Kemi 1:n länsipuolella ja toinen Kemi 1:n itäpuolella. Läntisen väylän syväys on suurempi, 14,8 metriä, kun taas itäisen väylän syväys on 9,8 metriä. Läntisen väylän suunnittelussyväys on 12 m ja itäisen väylän 8 m. Kummallakin väylällä tapahtuvan liikenteen analysoimiseksi on määritelty kaksi kulkuväylää.

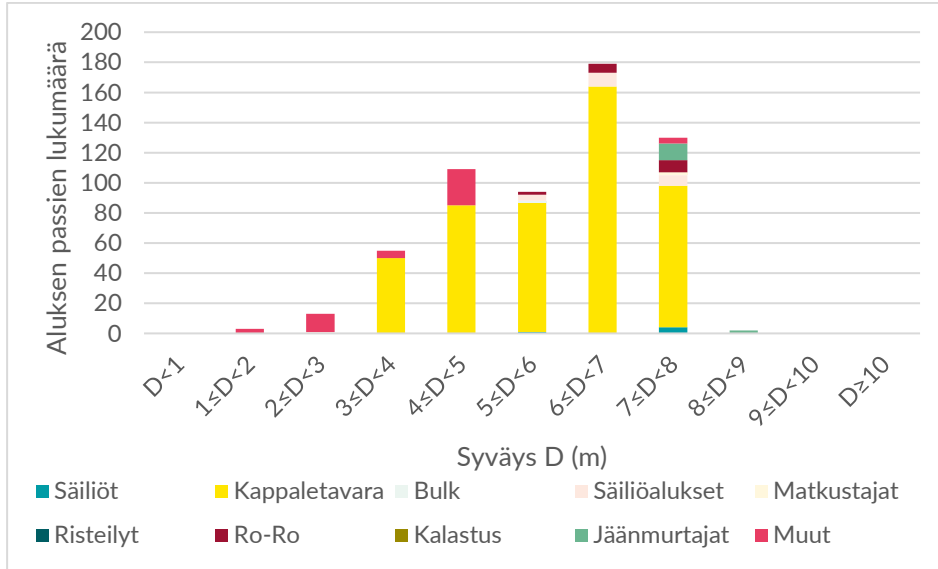


Kuva 2.19 Kemin lähestymistä varten on kaksi väylää: toinen Kemi 1:n länsipuolella ja toinen Kemi 1:n itäpuolella. Kummallakin väylällä tapahtuvan liikenteen analysoimiseksi on määritetty kaksi kulkuväylää.

Kuva 2.20 ja Kuva 2.21 esitetään vuonna 2022 tapahtuvien ohitusten määrä läntisellä väylällä ja itäisellä väylällä alustyyppin ja syväyksen mukaan jaoteltuna. Vuonna 2022 toteutetut ruoppaukset tehtiin läntisellä väylällä, mikä on johtanut aluksien "muut alustyyppit" (pieni syväys $D < 4$ m) lisääntyneeseen liikenteeseen. Luvuista käy ilmi, että läntistä väylää käytetään eniten ja että itäistä väylää käyttävät pääasiassa alukset joiden syväys on pienempi. Alukset, joiden syväys on vähintään 8 metriä, käyttävät läntistä väylää. Läntisellä väylällä kuljettiin yhteensä 1 829 kertaa, joista noin 500 kertaa pienemmillä aluksilla ($L < 100$ m), tyyppiä "muut alukset". Läpikulkujen määrä itäisellä väylällä oli 901, joista 28 oli pienempiä, luokkaan "muut alukset" kuuluvia laivoja.



Kuva 2.20 Kemi 1:n majakan länsipuolella kulkeneiden alusten määrä väylällä alustyyppin ja syväyksen mukaan.

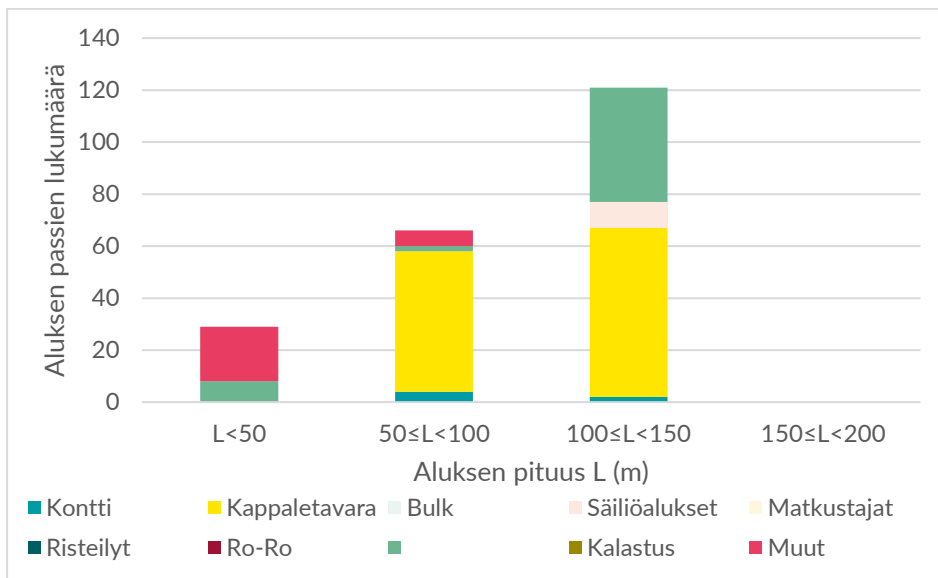


Kuva 2.21 Kemi 1:n majakan itäpuolisella väylällä tapahtuneiden alusten läpikulujen määrä alustyyppin ja syvyyksen mukaan.

2.2.4 Kulkulinja 4 - Liikenne Kalixiin/Karlsborgiin

Tutkimusalueen luoteiskulma on lähellä Kalixiin ja Karlsborgin satamaan suuntautuvaa laivaliikennettä. Linjan 4 kautta kulki vuonna 2022 yhteensä 216 alusta. Linjan 4 liikenne koostuu pienemmistä aluksista, ja suurimpien vuonna 2022 kulkeneiden alusten pituus oli noin 130 metriä, ks. Kuva 2.22.

Kauppamerenkulku koostuu pääasiassa general cargo-aluksista, jotka kuljettavat rahtia Billerudin Karlsborgissa sijaitsevalle paperitehtaalalle. Yleisimmin reitillä 4 kulkeva general cargo-alus Halland, jolla 8 kulkua, kuuluu jääluokkaan 1A.

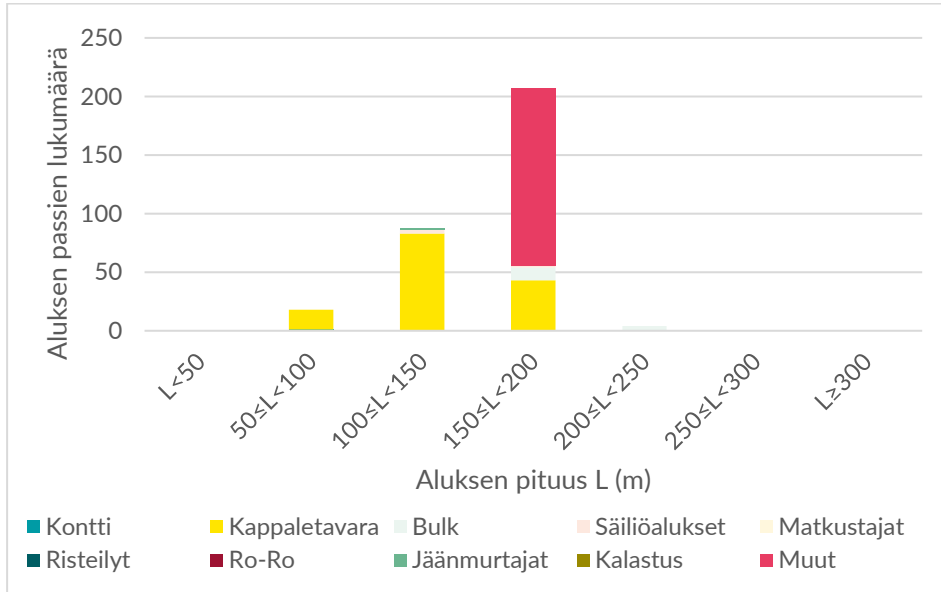


Kuva 2.22 Reitillä 4 vuonna 2022 kulkevien alusten määrä aluksen koon ja tyyppin mukaan jaoteltuna.

2.2.5 Linja 5 - Reitti Luulajan ja Raahen välillä

Reitin 5 yli kirjattiin vuonna 2022 yhteensä 419 kulkua. Näistä 316:n kulku suuntautui luoteeseen tai kaakkoon, joten niiden voidaan olettaa palvelevan Luulajan ja Raahen välistä reittiä. Kuva 2.23 esitetään tilastotiedot 316:sta reitillä tapahtuneesta läpikulusta. Alustyyppi "muut" koostuu suurelta osin "pusher tug", jotka vetävät proomuja Luulajan ja Raahen välillä. Kuva 2.24 kuvaa yleisintä "pusher tug", Steel, joka hinaa proomua. Steel rekisteröitiin vuonna 2022 reitin 5 85 kulkukerralla. Aluksen pituus on 167 m,

joka on mitoitettu reitin manööveritilaa varten yli 70 metrin pituisten alusten 98. prosenttipisteen suurimman aluksen kriteerin perusteella.



Kuva 2.23 Luoteis- ja kaakkoissuunnassa reitillä 5 vuonna 2022 kulkevien alusten määrä aluksen koon ja alustyyppin mukaan jaoteltuna.



Kuva 2.24 Työntöhinaajan teräs proomun hinauksen aikana.

2.2.6 Vaihtelu vuosien välillä

Taulukko 2.4 ja Taulukko 2.5 esitetään yhteenvedot linjojen 1 ja 2 kautta kulkevien laivojen määrästä tutkimusalueen läpi ja tutkimusalueen kaakkoispuolella vuosina 2018–2022. Jotta voitaisiin nähdä mahdolliset vaihtelut liikenteen intensiteetissä tutkimusalueella ja sen ympäristössä kokonaisuudessaan Taulukko 2.6 esitetään linjan 1 ja linjan 2 kautta kulkevien alusten kokonaismäärä vuosina 2018–2022.

Alueen läpi kulkevan linjan 1 kautta kuljettiin eniten vuonna 2021, jolloin kuljettiin 916 kertaa (ks. Taulukko 2.4) Linjan 2 yli kuljettiin eniten vuonna 2018, 1 269 kulkua (ks. Taulukko 2.5) Lämpikulkujen kokonaismäärä oli korkeimmillaan vuonna 2019, jolloin lämpikulkujen määrä oli 1 728 (ks. taulukko 2). Taulukko 2.6 Kauden keskimääräinen ohitusten määrä on 1 610, mikä on 14 prosenttia enemmän kuin vuonna 2022. Jäänmurtajien avustusten määrä vaihtelee jääolosuhteiden vakavuuden ja apua

tarvitsevien alusten määrän mukaan. Vaikka jäänmurtaja-avustuksia ei otettaisi huomioon, vuonna 2022 avustusjaksojen määrä on pienempi kuin jakson keskiarvo.

Taulukko 2.4 Alusten kulkumäärien vertailu reitillä 1 (alueen kautta kulkeva liikenne) vuosina 2018–2022.

	2018	2019	2020	2021	2022
Container	66	84	46	53	14
General-cargo	156	316	208	412	252
Bulk	1	5	0	6	7
Tanker	60	103	85	119	116
Matkustajat	2	1	0	1	1
Ro-Ro	23	40	15	63	52
Jäänmurtajat	27	0	27	248	36
Kalastus	0	0	0	0	4
Muut	24	170	8	14	35
Yhteensä	359	719	389	916	517

Taulukko 2.5 Vertailu linjan 2 (alueen kaakkoispuolella tapahtuvien laivamatkojen määrästä) vuosina 2018-2022.

	2018	2019	2020	2021	2022
Container	89	82	63	11	12
Genral-cargo	878	713	808	732	691
Bulk	8	4	0	2	4
Tanker	88	77	79	50	22
Matkustajat	2	2	0	2	5
Ro-Ro	119	99	89	84	76
Jäänmurtajat	85	29	21	15	25
Muut	0	3	3	11	66
Yhteensä	1 269	1 009	1 063	907	901

Taulukko 2.6 Alueen kautta tai sen kaakkoispuolella kulkevien alusten kokonaismäärän vertailu (linjojen 1 ja 2 kautta kulkevien alusten kokonaismäärä) vuosina 2018-2022.

	2018	2019	2020	2021	2022
Container	155	166	109	64	26
General-cargo	1034	1029	1016	1144	943
Bulk	9	9	0	8	11
Tanker	148	180	164	169	138
Matkustajat	4	3	0	3	6
Ro-Ro	142	139	104	147	128
Jäänmurtajat	112	29	48	263	61
Kalastus	0	0	0	0	4
Muut	24	173	11	25	101
Yhteensä	1 628	1 728	1 452	1 823	1 418
<i>poislk. jäänmurtajat</i>	1 516	1 699	1 404	1 560	1 357

3 Riskien tunnistaminen

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

Tutkimusalue on nykyisin laivaliikenteen käytössä, ja se on myös suoraan pohjoisen Merenkurkun ja Kemi 1:n välisen laivaväylän vieressä. Talvella jääolosuhteet voivat myös olla vaikeat, jolla on suuri vaikutus laivaliikenteeseen ja talvella tarvitaan jäänmurtajia, jotta liikenne alueen satamiin olisi mahdollista. Tämän ja aiempien merituulivoimalaitosten yhteydessä tehtyjen riskianalyyysien perusteella on tunnistettu mahdollisia vaaroja. Kyse on pääasiassa vaaroista, jotka voivat lisätä merenkulun törmäys- ja karilleajoriskiä, sekä riskistä joka liittyy vuorovaikutukseen tuulipuistoalueen kanssa, niin sanottuun allisioon, ja siten mahdollisesta törmäysriskistä tuulivoimaloiden kanssa. Lisäksi yksilöidään vaarat, jotka liittyvät erityisesti talvimerenkulkuun ja alueen jääolosuhteisiin. Lisäksi yksilöidään välilliset vaaratekijät kuten meri- ja ympäristöpelastusmahdollisuudet ja mahdolliset vaikutukset hätäankkurointimahdollisuuksiin.

3.1 Hazid

Vaarojen tunnistamista käsittelevä työpaja, jonka tarkoituksena oli tunnistaa kaikki Polargrundin tuulipuistosta mahdollisesti aiheutuvat vaarat, pidettiin 24. huhtikuuta 2023. Kokoukseen osallistui edustajia rannikkovartiostosta ja Ruotsin liikennevirastosta sekä Ruotsin merenkululaitoksesta, josta myös luotsauspalveluiden edustajia, sekä jäänmurron ja infrastruktuurin koordinoinnin vastaavien kanssa. Myös Liikenne- ja viestintävirasto (Traficom) ja Suomen liikenneinfrastruktuurivirasto (Väylä) olivat edustettuina jäänmurron, talvimerenkulun ja riskianalyyysityön asiantuntemuksella. Kokoukseen osallistuivat myös alueen sidosryhmät, kuten Billerudin Karlsborgin tehtaan ja Kalixin, Luulajan, Piteån ja Skellefteån satamissa toimivan Shorelinkin edustajat. Wallenius Sol, jonka alukset liikennöivät alueella, ei päässyt osallistumaan kokoukseen, mutta on saanut työpajan materiaali ja on toimittanut tietoja ja kommentteja jälkikäteen.

Työpaja jaettiin kuuteen eri osaan: alusliikenne Polargrundin kaakkoispuolella, alusliikenne Polargrundin länsipuolella (Kalixista/Karlsborgista), liikenne Polargrundin eteläkärjessä, liikenne Polargrundin pohjoispuolella, muu meriliikenne/yleinen liikenne ja rakentamisvaihe. Koska olosuhteet eroavat suuresti talven ja kesän välillä, vaarat on jaettu kunkin alueen osalta talvi- ja kesäaikaan (lukuun ottamatta perustamisvaihetta, koska sen oletetaan tapahtuvan jäättömänä aikana).

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

Seuraavassa esitetään Polargrundin tuulipuistoon liittyvät tärkeimmät vaaratekijät sekä niiden tausta ja perustelut, jotka perustuvat työpajassa käytyihin keskusteluihin.

3.1.1 Laivaväylät / liikenne Polargrundin kaakkoispuolella

Kesä (jäättömät olosuhteet)

Tutkimusalue sijaitsee lähellä Kemin ja pohjoisen Merenkurkun välistä laivaväylää ja etelässä väylä osittain myös kulkee tutkimusalueen läpi. Reitillä etelään kulkevilla aluksilla ei siis ole tilaa väistöliikkeeseen 360 asteen käännöksen muodossa, mikä tarkoittaa sitä että törmäys voi tapahtua kahden aluksen ollessa törmäyskurssilla. Vaihtoehtoisesti se voi tarkoittaa, että *moottoroidun aluksen allisio tapahtuu*, jos alus tekee liian pienestä tilasta huolimatta väistöliikkeen törmäyksen välttämiseksi. Lyhyt etäisyys tuulipuistoon merkitsee myös sitä, rajoittaa myös mahdollisuuksia hätäankkurointiin, esimerkiksi sähkökatkoksen ansiosta. Tutkimusalueen kaakkoisraja ei ole samansuuntainen laivaväylän kanssa, joten tuulipuistoa ei voida käyttää navigoinnin apuvälineenä. Tämä on myös todettu

mahdolliseksi moottoroidun törmäyksen lähteeksi, koska reitillä etelään kulkevat alukset suuntaavat kurssinsa kohti tuulipuiston eteläisiä osia.

Kun Kemin edustalla kulkevat alukset kulkevat Kemi 1 -majakan länsipuolella ja vihreän pisteen länsipuolella, niiden suunta on kohti tuulivoimapuiston itäkulmaa, mikä tarkoittaa, että *moottorin aiheuttama törmäys* voi tapahtua, ks. Kuva 3.1. Tämän päivän alusliikenteen kääntopiste kohti pohjoista Merenkurkkua on noin 2 M:n päässä tutkimusalueen kulmasta.



Kuva 3.1 Kemi 1:n länsipuolelta ulospäin kulkeva alusliikenne kulkee "pisteestä pisteeseen" kohti tutkimusaluetta ennen kääntymistä vihreän pisteen kohdalla.

Tuulipuisto merkitsee myös sitä, että nykyisin tutkimusalueen läpi kulkeva liikenne, noin 500 ajoneuvoa vuodessa, joutuu kulkemaan sen sijaan kaakkoispuolella. Tämä tarkoittaa, että liikenne lisääntyy kaakkoispuolen reitillä. Vähentynyt hajonta ja lisääntynyt liikenne reitillä tarkoittaa, että törmäyksen todennäköisyys kasvaa.

Oulusta lähtevä liikenne kulkee "pisteestä pisteeseen" kohti tuulivoimapuiston kaakkoispuolta, mikä tarkoittaa, että *moottoroidun liikenteen yhteentörmäyksiä* voi tapahtua.

Kaakkoispuolen liikenne kulkee todennäköisesti alle 1,5 M etäisyydellä tuulipuistosta, mikä tarkoittaa, että alusten tutkat voivat häiriintyä, mikä puolestaan voi johtaa törmäykseen esimerkiksi toisen aluksen myöhäisen havaitsemisen vuoksi.

Talvi

Jopa talvella on olemassa törmäys- ja törmäysvaara, koska tuulipuiston ja laivaväylän välinen tila on rajallinen. Jääpeitteisillä vesillä manöövereiden tekeminen on kuitenkin vielä vaikeampaa, ja jää voi aiheuttaa alukselle 360 asteen käännökseen tarvittavasta tilasta suuremman kuin tavanomaisissa tapauksissa. Jopa korkeimman jäälukan, 1A Super, alusten, kuten Botnia Enablerin ja Baltic Enablerin, ohjattavuus jäässä kärsii. Raskaan jään tapauksessa alukset kuitenkin hidastuvat ja mahdollisesti juuttuvat jäähän, jos ne yrittävät tehdä 360 asteen käännöksen. Tilanteissa, joissa jäätä on vähemmän, voi kuitenkin olla mahdollista tehdä 360 asteen käännös, vaikka jää heikentäisikin ohjattavuutta.

Koska salmen ja tuulipuiston välinen etäisyys on lyhyt, jäähän juuttuneet alukset voivat ajautua tuulipuistoon, jos jää liikkuu kohti puistoa eikä niillä ole aikaa saada jäänmurtaajien apua. Jään ajautumisnopeus voi olla 0,5-2 solmua⁶.

Talvella käytetään parasta ja turvallisinta reittiä jääolosuhteisiin nähden. Tuulipuiston myötä vaihtoehtoisten reittien määrä vähenee, mikä voi pakottaa merenkulun käyttämään vaikeampia reittejä jään läpi kuin ilman tuulipuistoa.

Jäänmurtaajat rullaavat kovassa merenkäynnissä avomerellä paljon, ja siksi ne valitsevat yleensä kauttakulkureitit siten, että vältetään hankalalta rullaamiselta. Tuulipuisto voi vähentää mahdollisuuksia valita reittejä, joilla vältetään rullaamiselta.

Monissa tapauksissa alukset tarvitsevat apua voidakseen kulkea turvallisesti tuulipuiston ohi, mikä tarkoittaa, että niiden on odotettava apua tuulipuiston eteläpuolella. Tämä tarkoittaa pidempiä etäisyyksiä avun saamiseksi ja pidempiä kauttakulkumatkoja jäänmurtaajille, joka lisää jäänmurtaajakapasiteetin tarvetta joka puolestaan voi aiheuttaa viivästyksiä ja pitkiä odotusaikoja. Epäsuotuisissa sääolosuhteissa tuulipuiston läheisyydessä apua odottavat alukset ovat myös vaarassa ajautua tuulipuistoon.

3.1.2 Laivaväylät/liikenne Polargrundin länsipuolella (Kalixiin/Karlsborgiin tai Kalixista/Karlsborgista).

Kesä

Kalixiin ja Karlsborgiin suuntautuva ja sieltä lähtevä liikenne saattaa kulkea tuulipuiston luoteiskulman lähellä. Kalixin ja Karlsborgin suuntaan pohjoiseen menevillä aluksilla on vain rajoitetusti tilaa väistöliikkeisiin, mikä voi johtaa törmäykseen tai yhteentörmäykseen tilanteessa, jossa kaksi alusta on törmäyskurssilla. Liikenteen intensiteetti on kuitenkin hyvin alhainen, mikä rajoittaa kahden vastaantulevan aluksen tilanteiden todennäköisyyttä. Länsituulella pimennyksestä kärsivät alukset voivat ajautua puistoon, eli *ajelehtiva törmäys* voi tapahtua, koska etäisyys on pieni. Alueen vesisyvyys on suuri, yli 50 metriä, mikä tarkoittaa, että mahdollisuudet onnistua hätäankuroinnissa *drifting allision* estämiseksi ovat pienet.

Alukset kulkevat todennäköisesti alle 1,5 M etäisyydeltä länsikulmasta, mikä tarkoittaa, että tutkainterferenssejä voi esiintyä. Liikenteen intensiteetti alueella on kuitenkin alhainen, joten törmäyksen todennäköisyys on vähäinen.

Talvi

Tuulivoimapuiston aluetta käyttävät nykyisin jäänmurtaajat esimerkiksi Kemin ja Luulajan, mutta myös Kalixin ja Oulun välisellä reitillä. Tuulipuiston myötä jäänmurtaajien kauttakulkureitit pitenevät huomattavasti, mikä voi aiheuttaa viivästyksiä ja jäänmurtaajakapasiteetin puutetta. Pidemmät odotusajat avustukselle lisäävät onnettomuuksien todennäköisyyttä.

3.1.3 Liikennettä Polargrundin eteläkärjessä

Kesä

Tutkimusalueen eteläkärki sijaitsee noin 6 M pohjoiseen siitä, missä Luulajan ja Raahen välinen laivareitti ja Kemin ja Merenkurkun välinen laivareitti risteävät. Kemistä tuleva lounaaseen suuntautuva liikenne voi joutua kääntymään väistöäkseen Luulajasta tulevia kaakkoon suuntautuvia aluksia. Tuulivoimapuisto rajoittaa tällöin väistöliikkeitä, mutta 6 M etäisyydellä on vielä tilaa 360 asteen käännökselle.

⁶ Hazidin työpajassa saatujen tietojen mukaan

Luulajan ja Raahen välisellä reitillä liikennöivät alukset, joita sähkökatkot koskevat, ajalehtivat etelätuulilla kohti tuulipuistoa. Vesisyvyys alueella on noin 80 metriä, mikä vaikeuttaa ankkurointia *ajelehtimisen* estämiseksi. Etäisyys tuulipuistoon on kuitenkin suhteellisen suuri, ja noin 0,5 solmun ajelehtimisnopeudella kestää noin 12 tuntia ennen kuin törmäys tapahtuu.

Pääasiassa Kemin ja Luulajan välinen liikenne sekä Kemin ja Skellefteån ja Piteån välinen liikenne, joka on aiemmin kulkenut tutkimusalueen kautta kulkevia reittejä, kulkee uusia reittejä ja saattaa kääntyä ja kulkea eteläkulman lähellä. Näin ollen liikenne vilkastuu kulman kohdalla. Kulmaan kääntyessä väistötilaa on rajoitetusti, mikä tarkoittaa, että törmäystilanne voi johtaa yhteentörmäykseen tai *powered allision*. Alukset, jotka saavat kulman ohituksessa blackoutin, voivat myös ajautua puistoon, koska hätäankkurin tekemiseen on vain vähän mahdollisuuksia.

Talvi

Jäänmurtaja-apua odottavat alukset jätetään odottamaan tuulipuiston eteläpuolelle. Ne saattavat odottaa alueella jossa kaksi laivaväylää risteää, jolloin törmäys voi tapahtua. Viestintäongelmat voivat myös aiheuttaa epätietoisuutta siitä, minkä aluksen pitäisi aloittaa kanavalle tulo, mikä voi johtaa kahden samaan aikaan kanavalle tulevan aluksen yhteentörmäykseen.

Alueen eteläpuolella odottaville aluksille jään ajautuminen voi aiheuttaa ajalehtimistä tuulipuistoalueelle, ns. allision.

3.1.4 Liikenne Polargrundin pohjoispuolella

Kesä

Tutkimusalueen pohjoispuolella oleva alue on hyvin matalaa, joten tuulipuiston pohjoispuolella (pohjoiskulma on noin 400 metrin etäisyydellä 10 metrin syvyyskäyrästä) ei kuljeta lainkaan tai vain muutama pienempi vene. Ne muutamat alukset tai veneet, jotka saattavat kulkea tuulipuiston pohjoispuolella kulkevat hyvin pienellä etäisyydellä tuulipuistosta, joka tarkoittaa, että törmäyksiä voi tapahtua. Ne kulkevat myös lähellä matalia alueita, jolloin pohjakosketuksia voi tapahtua.

Talvi

Talvella Perämeren luoteisosaan jäähän muodostuu usein kaaren muotoinen kanava, jota kutsutaan usein "puolikuuksi". Tällöin laivaliikenne käyttää usein routaa, koska jäättömän roudan läpi kulkeva reitti on helpoin. Tutkimusalueen pohjoisosa on päällekkäinen puolikuun alueen kanssa, mikä estää kulun ja pakottaa laivaliikenteen käyttämään muita pidempiä ja epäedullisempia reittejä jään läpi.

3.1.5 Muu meriliikenne/yleinen

Lisäksi tunnistettiin useita muita vaaroja ja näkökohtia, jotka eivät suoraan liity tiettyyn maantieteelliseen alueeseen ja jotka luetaan jäljempänä:

Kesä

- Inhimillinen erehdys, kuten esimerkiksi päällikkö pitäessä jostain syystä väärää kurssia tai jättää kääntymispisteen väliin, voi johtaa *powered allisioniin*. Myös ajantasaisen merikarttojen puuttuminen voi johtaa siihen, että alukset ohjaavat kohti tuulipuistoa, mikä voi johtaa *powered allisioniin*.
- Pienemmät alukset, kuten huvi- ja kalastusalukset, voivat halutessaan kulkea tuulipuiston läpi. Tuulipuistoalueen ulkopuolella vakiintuneilla reiteillä kulkevat alukset eivät ole varautuneet tuulipuiston risteäville kurseille ilmestyviin aluksiin. Tuulipuiston aiheuttamat tutkahäiriöt voivat johtaa siihen, että tuulipuiston läpi kulkevat alukset havaitaan myöhään, mikä puolestaan voi johtaa törmäykseen.

- Tornit valaistaan, ja uudet valonlähteet saattavat vaikeuttaa SSA-valojen ja paikannusvalojen tunnistamista aluksista, mikä voi vaikeuttaa navigointia ja lisätä karilleajon tai allision todennäköisyyttä.
- Jos tuulipuistossa tai sen läheisyydessä tapahtuu öljyvahinko, rannikkovartioston alukset eivät voi toimia alueella vapaasti, mikä voi vaikeuttaa öljyn eristämistä ja talteenottoa.
- Vapaa-ajan veneliikenne ja kalastusalukset saattavat kulkea tuulipuiston läpi. Ne saattavat arvioida tuulivoimaloiden läheisyyden väärin, mikä voi johtaa törmäykseen tuulivoimalan kanssa. Vapaa-ajan veneliikenne alueella on kuitenkin vähäistä.
- Kalastusveneiden liikkumatila alueella pienenee, mikä voi johtaa törmäyksiin. Kalastusveneiden liikenne alueella on kuitenkin vähäistä.
- Toimintavaiheen aikana tuulipuistoon ja sieltä pois kulkee huoltoliikennettä, mikä lisää liikenteen intensiteettiä. Suurempi liikenteen intensiteetti ja se, että nämä alukset/alukset poikkeavat vakiintuneilta reiteiltä, lisäävät törmäysten todennäköisyyttä alueella ja sen ympäristössä.

Talvi

- Tuulipuisto tukkii suuren alueen, mikä pidentää huomattavasti Perämerellä liikennöivien jäänmurtajien reittejä. Tämä voi tarkoittaa, että avun odotusaika pitenee ja että alukset joutuvat odottamaan apua pitkään. Alusten ajautuessa apua odottaessaan voi tapahtua törmäyksiä tai karilleajoja.
- Tuulipuisto vähentää tilaa vaihtoehtoisille kanaville/reiteille jään läpi. Jos sama väylä joudutaan rikkomaan useita kertoja, jään kasvu lisääntyy, mikä vaikeuttaa liikennettä. Tämä voi johtaa käytettävien kanavien turvallisuuden heikkenemiseen ja useammat alukset voivat jäädä jään alle. Samaa väylää voi myös käyttää useita aluksia, mikä voi johtaa törmäykseen.
- Helikopterilla suoritettavia SAR-toimia alueella talvella voidaan rajoittaa helikopterin jäätymisriskin vuoksi. Jäänmurtajat voivat tällöin olla ainoat, jotka pystyvät toimimaan alueella, ja siksi ne saatetaan joutua osallistumaan SAR-operaatioihin. Tuulipuisto voi tällöin vaikeuttaa SAR-operaatioita.
- Tuulivoimaloiden lapojen jäänpurkaukset voivat osua tuulipuiston läpi kulkeviin ja tuulivoimaloiden lähellä kulkeviin aluksiin, lähinnä huolto- ja kunnossapitoaluksiin. Tähän osuminen voi johtaa vakaviin loukkaantumisiin.

3.1.6 Rakennusvaihe

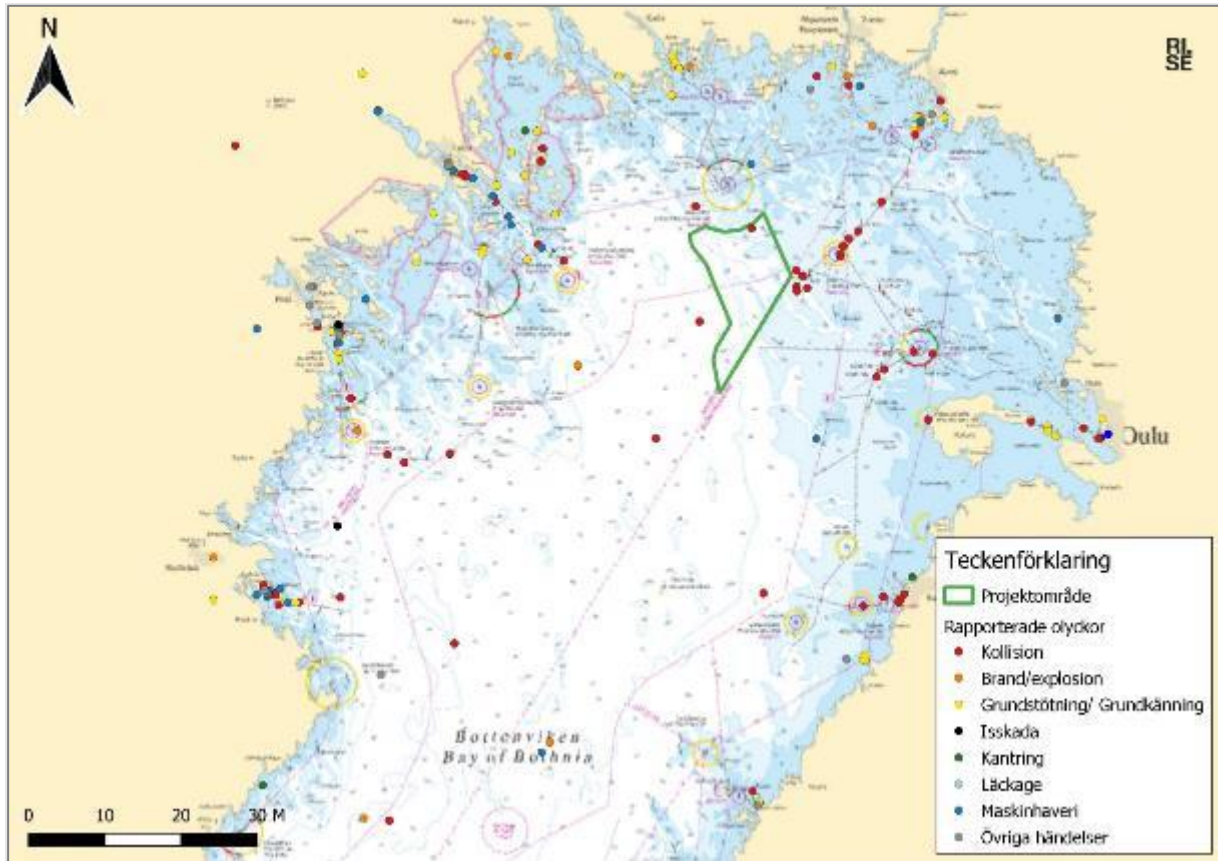
Rakennusvaiheen ja käytöstäpoistovaiheen aikana alusliikenne tuulipuistoalueella ja sen ympäristössä lisääntyy. Alueella liikkuu sekä suurempia rakennusaluksia että alueelle kuljetettavia aluksia, jotka mahdollisesti ylittävät laivaväyliä ja poikkeavat vakiintuneilta reiteiltä. Tämä lisää törmäysten todennäköisyyttä. Myös pienemmät ja nopeammat veneet ja esimerkiksi henkilökuntaliikenteeseen tarkoitetut alukset tulevat olemaan läsnä, mikä lisää alusten liikkumista.

Kun työskentely tapahtuu tuulipuiston välittömässä läheisyydessä sijaitsevilta asennusaluksilta käsin, tuulipuiston ulkopuolisilla kaistoilla olevien alusten väistöliikkumavaraa rajoitetaan entisestään, mikä voi johtaa allisioon tai yhteentörmäykseen.

3.2 Onnettomuustilastot

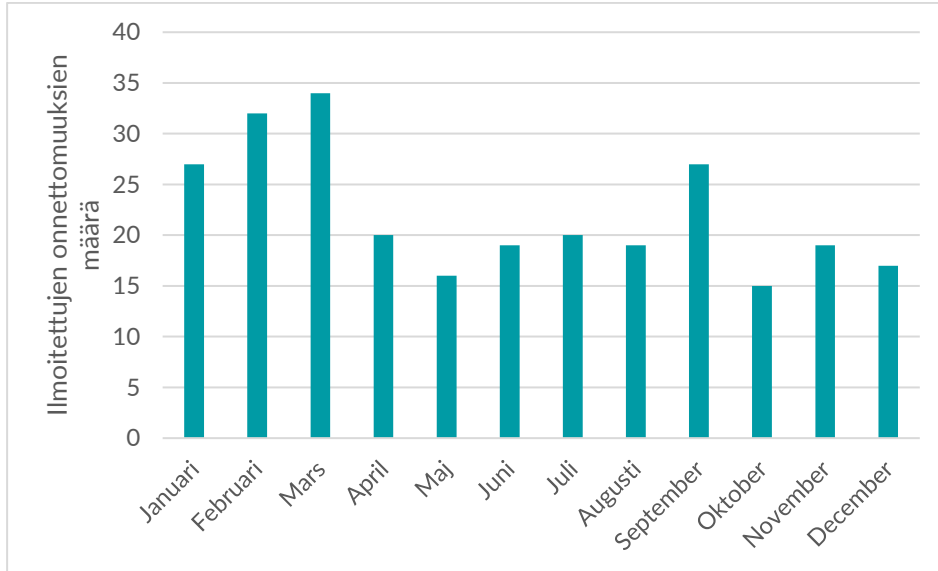
Kuva alla esittää Pohjanlahdella ilmoitetut onnettomuudet. Onnettomuustiedot Ruotsin vesien osalta (ja tapahtumat, joissa on ollut osallisena Ruotsin lipun alla purjehtivia aluksia ulkomailta) on saatu Ruotsin liikenneviraston tietokannasta, ja ne kattavat ajanjakson tammikuu 1985 - heinäkuu 2023. Suomen

vesien osalta tiedot on saatu Traficomilta, ja ne kattavat ajanjakson tammikuu 2010 - toukokuu 2023. Kuvasta käy ilmi, että Polargrundin itäisellä kulmalla on raportoitu useita yhteentörmäyksiä, kaikkiaan viisi yhteentörmäystä. Myös Kemi 1:n majakan alueella on tapahtunut useita törmäyksiä. Polargrundin itäkulmassa tapahtuneista viidestä törmäyksestä kaikki ovat tapahtuneet jääkauden aikana (tammi-huhtikuu). Useissa törmäyksissä on ollut mukana jäänmurtajia, ja niiden voidaan olettaa tapahtuneen avunannon yhteydessä.



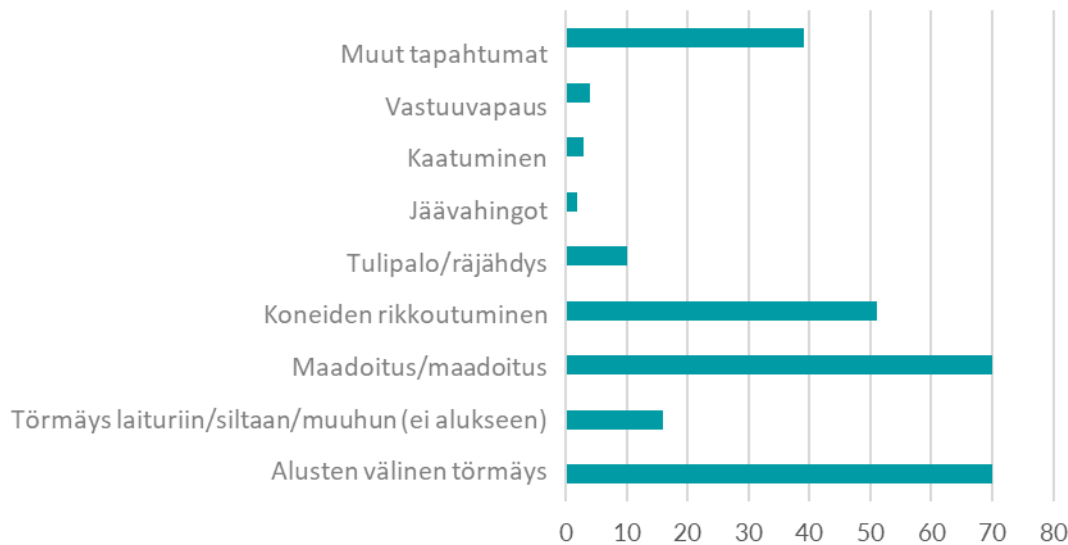
Kuva 3.2 Ilmoitetut onnettomuudet Ruotsin ja Suomen vesillä Perämerenlahdella. Ruotsin vesillä tapahtuneiden onnettomuuksien tilastot kattavat ajanjakson 1985 - heinäkuu 2023. Suomen vesillä tapahtuneiden onnettomuuksien tilastot kattavat ajanjakson 2010 - toukokuu 2023.

Perämeren tilastot osoittavat myös, että ilmoitettujen onnettomuuksien määrä on suurempi talvella. Suomen vesillä Perämerellä raportoiduista onnettomuuksista 42 onnettomuutta yhteensä 97:stä on raportoitu tammi-huhtikuussa, jolloin ainakin pohjoisosissa voidaan olettaa olevan jäätä. Kuva 3.3 on esitetty onnettomuuksien lukumäärän jakautuminen kuukausittain Ruotsin vesillä Perämeren lahdella raportoiduista onnettomuuksista. Kuvasta käy ilmi, että onnettomuustiheys on suurin helmi- ja maaliskuussa, jolloin jäätä on yleensä eniten.



Kuva 3.3 Perämerellä raportoitujen onnettomuuksien määrä kuukausittain Ruotsin tietokannassa vuosina 1985–2022.

Ruotsin tietokannan tilastot kattavat yhteensä 270 erilaista onnettomuutta, joista vain 22 on luokiteltu vakaviksi. Ilmoitetuista onnettomuuksista 70 liittyy alusten välisiin törmäyksiin. Näistä 70 törmäyksestä 33 tapauksessa onnettomuuteen vaikuttaneeksi tekijäksi ilmoitetaan "aluksen navigointiin/manööveriin vaikuttavat jääolosuhteet". Myös 70 tapausta on raportoitu karilleajosta/karilleajosta, ks. Kuva 3.4.



Kuva 3.4 Ruotsin tietokannassa vuosina 1985–2022 Perämerellä ilmoitettujen onnettomuuksien määrä onnettomuustyyppittain.

Myös Suomen vesien tilastoja hallitsevat yhteentörmäykset, Perämeren 94 ilmoitetusta onnettomuudesta 48 on törmäyksiä tai yhteentörmäyksiä. Ilmoitettuja karilleajoja oli yhteensä 21 kappaletta.

4 Riskinarviointi jäättömissä olosuhteissa

Tunnistetut onnettomuusskenaariot ja vaarat arvioidaan sen perusteella, kuinka todennäköisesti onnettomuusskenaario toteutuu ja kuinka vakavia seurauksia kunkin onnettomuusskenaarion voidaan olettaa aiheuttavan. Törmäyksen, karilleajon ja törmäyksen todennäköisyys jäättömissä olosuhteissa lasketaan ja kvantifioidaan IWRAP-työkalulla.

Kunkin onnettomuusskenaarion mahdollisten seurausten vakavuus arvioidaan ja arvioidaan kvalitatiivisesti. Tässä yhteydessä on otettu huomioon väistöliikkeiden turvaetäisyydet ja hätäankkurointimahdollisuudet.

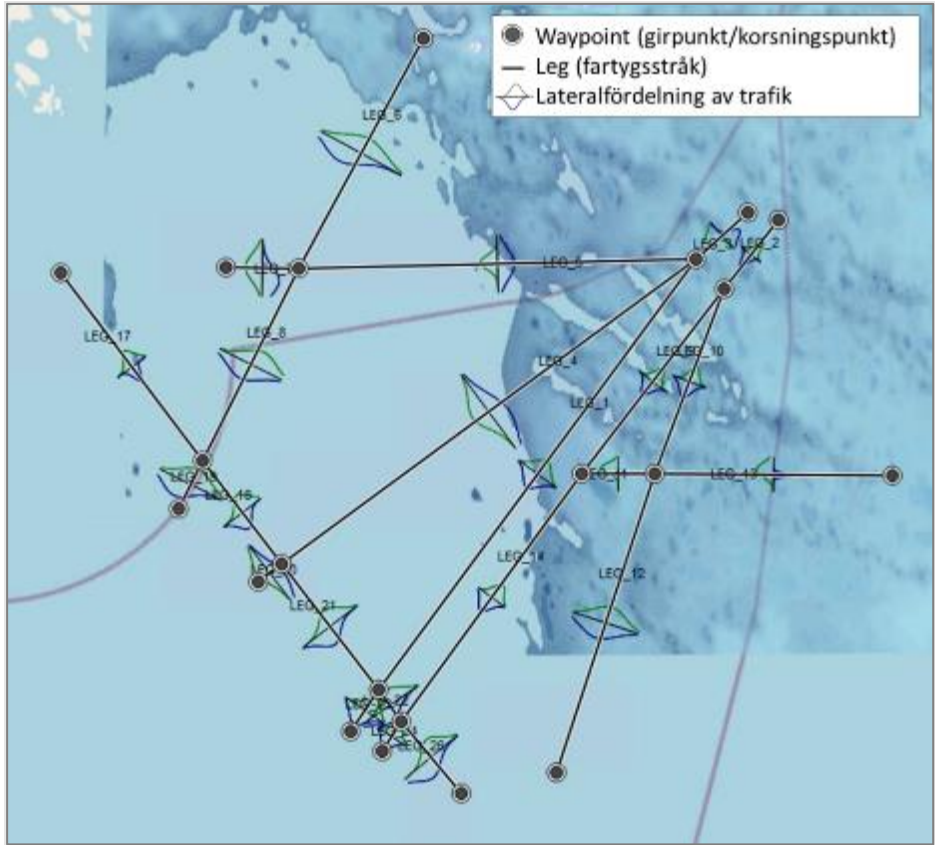
Allisio-, törmäys- ja karilleajotodennäköisyyksiä talvella ei voida kvantifioida IWRAP-ohjelman avulla. Talviaikaisten riskien arviointia ja laadullisia arvioita käsitellään luvussa 5.

4.1 Karilleajon, törmäyksen ja törmäyksen todennäköisyyden laskeminen

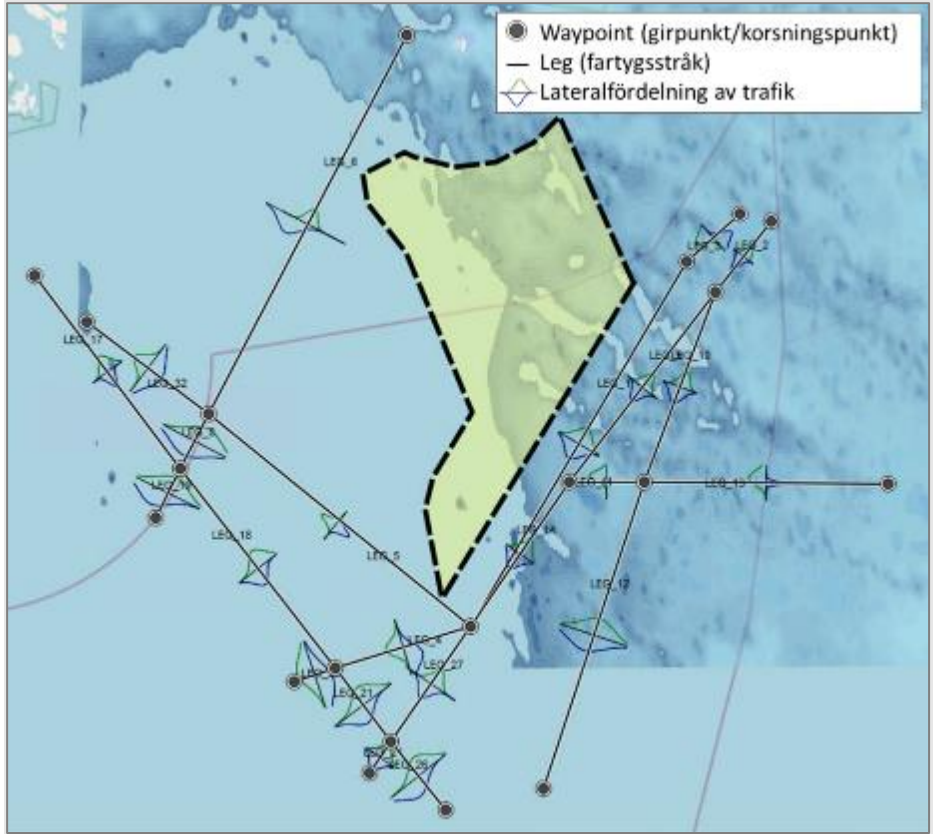
IWRAP Mk2 -ohjelmaa (*IALA Waterway Risk Assessment Programme*) käytetään sen arvioimiseksi, voiko tuulipuisto vaikuttaa alusten karilleajojen ja yhteentörmäysten todennäköisyyteen ja miten se voi vaikuttaa niihin, sekä sen arvioimiseksi, kuinka todennäköisesti alukset purjehtivat tai ajautuvat tuulipuistoon.

Kiinnostava alue mallinnetaan AIS-tietojen perusteella määrittelemällä *alusmatkat* ja *reittipisteet*, jotka muistuttavat nykyistä meriliikennemallia. Reittiosuudet kulkevat kahden *reittipisteiden* välillä, ja kuhunkin *reittipisteeseen* voidaan liittää useita reittiosuuksia, jotta voidaan määritellä, missä aluksen reittiosuudet risteävät tai kohtaavat. 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*. Myös karilleajon todennäköisyys laivaväylien läheisyydessä lasketaan määritellyjä syvyyskäyriä ja maapiirejä pitkin. Mallia täydennetään myös tuulipuistolla törmäystodennäköisyyden laskemiseksi. Kuva 4.1 ja Kuva 4.2 esitetään IWRAP-malli, johon laskelmat perustuvat ilman tuulipuistoa ja tuulipuiston kanssa.

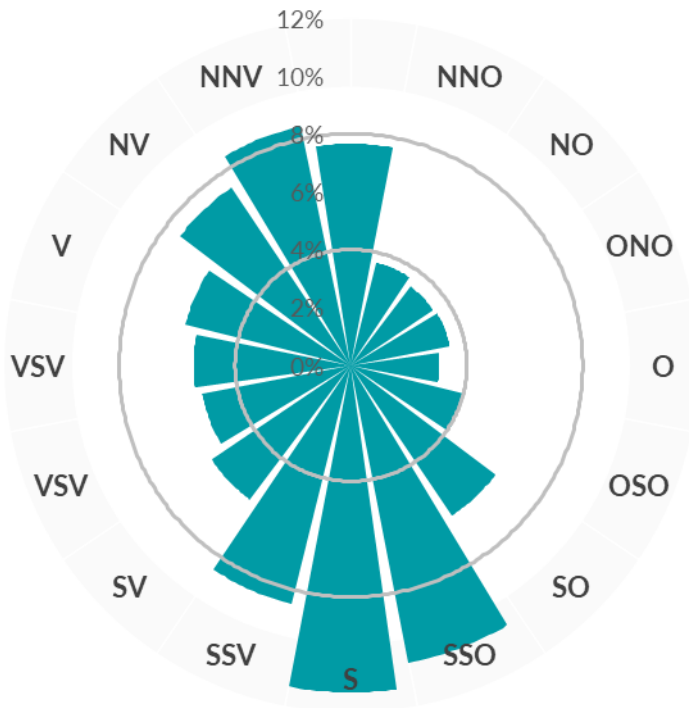


Kuva 4.1 IWRAP-malli onnettomuustodennäköisyyksien laskemiseksi ilman Polargrundin tuulipiistoa.



Kuva 4.2 IWRAP-malli onnettomuustodennäköisyyksien laskemiseksi Polargrundin tuulivoimapiiston osalta.

IWRAP määrittelee todennäköisyysjakauman eri ajolehtimisuunnille aluksille, jotka kärsii sähkökatkoksesta ja balckout-tilasta. Aluksen ajolehtimissuunta määräytyy tuulen suunnan mukaan ja alueilla, joilla on voimakkaita virtauksia, virtauksen suunnan mukaan. Kyseisellä alueella virtausolosuhteiden ei katsota olevan sellaiset, että ne vaikuttaisivat merkittävästi ajolehtimissuuntaan, ja siksi ajolehtimissuunnan oletetaan määräytyvän ensisijaisesti tuulen suunnan mukaan. Mallissa ajosuuntien jakautuminen on siksi perustunut tuuliruusuun vuonna Kuva 4.3 joka perustuu Rödkallenin tuulitilastoihin. Etelästä etelään ja kaakkoon puhaltavat tuulet ovat yleisiä, minkä oletetaan tarkoittavan, että alukset ajautuvat useimmissa tapauksissa pohjoiseen tai luoteeseen.



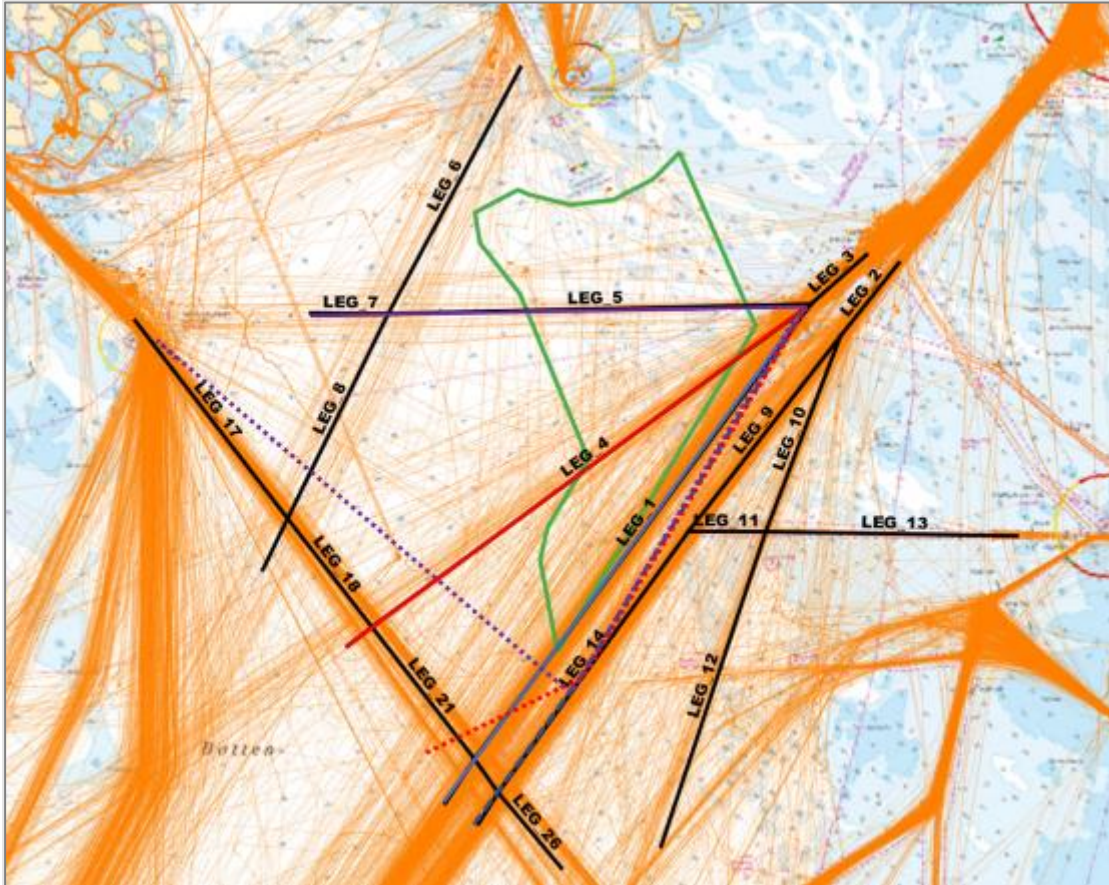
Kuva 4.3 Rödkallenin tuulitilastoihin perustuva tuuliruusu vuosina 2010–2022 (Lähde: SMHI).

4.1.1 Polargrundin tuulipuiston aiheuttamat muutokset liikennemalleissa

Polargrundin tuulipuiston perustamisen jälkeen aiemmin alueen kautta kulkeneiden kauppa-alusten oletetaan käyttävän muita reittejä, minkä oletetaan merkitsevän hieman muuttunutta liikennemallia ja uusia alusreittejä. Jotkin pienemmät alukset, kuten kalastusalukset, pienemmät työ- ja huoltoveneet sekä huviveneet, kulkevat todennäköisesti tuulipuiston tuulivoimaloiden välistä. Nykyisissä IWRAP-malleissa tuulipuisto kuitenkin mallinnetaan suljetuksi alueeksi, mikä tarkoittaa, että mikään alus ei voi kulkea alueen läpi. Onnettomuus- ja onnettomuustodennäköisyyttä koskevista laskelmista oletetaan siksi, että kaikki liikenne kulkee tuulipuiston ulkopuolisia reittejä. Se, että tuulipuisto mallinnetaan suljettuna alueena, tarkoittaa myös sitä, että laskennallinen törmäystodennäköisyys on huomattavasti suurempi kuin tapauksessa, jossa tuulipuisto olisi mallinnettu useampana pieninä alueina, jotka edustavat yksittäisiä tuulivoimaloita. Jos sen sijaan mallinnetaan yksittäisiä tuulivoimaloita, osa aluksista ajautuu tuulivoimaloiden väliin ja välttää siten törmäyksen, mikä ei ole mahdollista, kun tuulipuisto mallinnetaan suljettuna alueena.

Kuva 4.4 esitetään, miten liikennemallin oletetaan muuttuvan, jos Polargrundin tuulipuisto perustetaan. Tuulivoimapuiston alueen kautta nykyisin kulkevan liikenteen oletetaan kulkevan tuulivoimapuiston kaakkoispuolella sen perustamisen jälkeen. Liikenne Luulaja-Kemi (osuudet 5 +7), liikenne Skellefteå-Kemi (osuudella 4) ja liikenne pohjoisen Merenkurkun - länsi-Kemi 1 oletetaan kulkevan yhteistä reittiä, joka on samansuuntainen tuulipuiston kaakkoispuolen kanssa. Uuden reitin keskipiste on noin 1,7 M

päässä tutkimusalueen rajasta. Tuulipuiston eteläkärjessä liikenteen oletetaan saavan uuden käänntöpaikan.



Kuva 4.4 Nykyinen liikennemalli kesällä AIS-tietojen perusteella ja sen mallintaminen IWRAP-ohjelmassa. Kun tuulipuisto on perustettu, liikennemäärien 5 ja 7 (violetti), 4 (punainen) ja 1 oletetaan kulkevan samaa reittiä tuulipuiston kaakkoispuolella. Muutetut reitit merkitsevät uutta käänntöpaikkaa tuulipuiston eteläkärjessä.

4.1.2 Matemaattinen malli

IWRAPin matemaattinen malli perustuu todennäköisyysmalliin, jossa geometriset olosuhteet määrittelevät joukon niin sanottuja törmäys-/karilleajokandidaatteja, eli malli, 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 jossakin *reittiosuudella* jos alukset eivät tee mitään. Ehdokkaiden lukumäärä kerrotaan empiirisesti määritellyillä ns. *causation factors*, jotka kuvaavat todennäköisyyttä, että teknisestä tai inhimillisestä virheestä johtuvaa vaarallista kurssia ei korjata ajoissa ja että se johtaa törmäykseen tai karilleajojoon. Erilaisiin törmäys- ja karilleajoskenaarioihin käytetään erilaisia *causation factors*, joita kuvaavat seuraavat tekijät:

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

headon - törmäys vastaantulevien alusten välillä

overtaking - törmäys samalla kaistalla tapahtuvan ohituksen yhteydessä.

crossing - törmäys laivaväyliä risteävillä meriväylillä

merging - törmäykset solmukohdissa, joissa laivaväylät yhtyvät.

bend - törmäykset solmupisteissä, joissa väylä kaartaa.

Maadoitukselle on ominaista joko:

Powered grounding - kun alus ajautuu ihmisen virheestä johtuen karille työntövoiman aikana, tai

Drifting grounding - kun alus teknisen vian, kuten sähkökatkoksen, vuoksi ajetaan karille ilman, että propulsiokoneisto on toiminnassa.

Allisiot viittaavat siihen, että alus saapuu tuulipuiston alueelle (tutkimusalue), ja niitä luonnehditaan samalla tavalla kuin karilleajoa:

Powered allision - kun alus purjehtii inhimillisestä virheestä johtuen tuulipuistoalueelle propulsiovoimalla tai

Drifting allision - kun alus ajautuu tuulipuistoalueelle teknisen vian tai sähkökatkoksen vuoksi ilman propulsiovoimaa.

Ilmoitetut numeeriset arvot törmäys-, karilleajo- ja allisiotodennäköisyyksien osalta on laskettu käyttäen eri *causation factors* oletusarvoja (ks. kohta 8.3). Koska kyseiseltä alueelta ei ole kattavia tilastoituja tapahtumatilastoja, oletusarvoja ei ole mukautettu vastaamaan laskettuja tuloksia. Tämä tarkoittaa, että ilmoitettuja arvoja ei pidä tulkita absoluuttisina lukuina, vaan niitä on analysoitava ainoastaan vertailevasta näkökulmasta, jotta voidaan havaita mahdolliset merkittävät erot nykytilanteen onnettomuustodennäköisyyksien ja niiden onnettomuuksien todennäköisyyksien välillä, joita voidaan odottaa esiintyvän tuulipuiston perustamisen jälkeen.

Laskelmat tehdään alueen nykyiselle liikennemäärälle, ja mallissa käytetään AIS-tietoja kesäkuusta marraskuuhun 2022 allisioden, yhteentörmäysten ja karilleajojen todennäköisyyden laskemiseksi. Jotta todennäköisyys voitaisiin laskea odotettavissa olevana onnettomuuksien lukumääränä vuodessa, IWRAP kuitenkin korottaa liikennemäärän vastaamaan vuosittaista liikennemäärää. Laskentatulokset vastaavat näin ollen odotettua onnettomuustodennäköisyyttä, jos jäätä ei olisi ympäri vuoden. Laskelmat tehdään kahdelle tapaukselle:

- *A: Ilman Polargrundin tuulipuistoa*
Tämä on nollavaihtoehto, ja se on laskettu, jotta voidaan vertailla, miten onnettomuustodennäköisyydet riippuvat perustamisesta. Mallin on tarkoitus kuvastaa alueen nykyisiä liikennemalleja kesällä (kesä-marraskuu).
- *B: Tuulipuiston kanssa Polargrund*
Tarkoittaa tapausta, jossa tuulipuisto on perustettu. Tapaukseen A verrattuna liikennejärjestelyjä on mukautettu siten, että tuulipuiston läpi ei kulje laivaväyliä.

4.1.3 Tulos

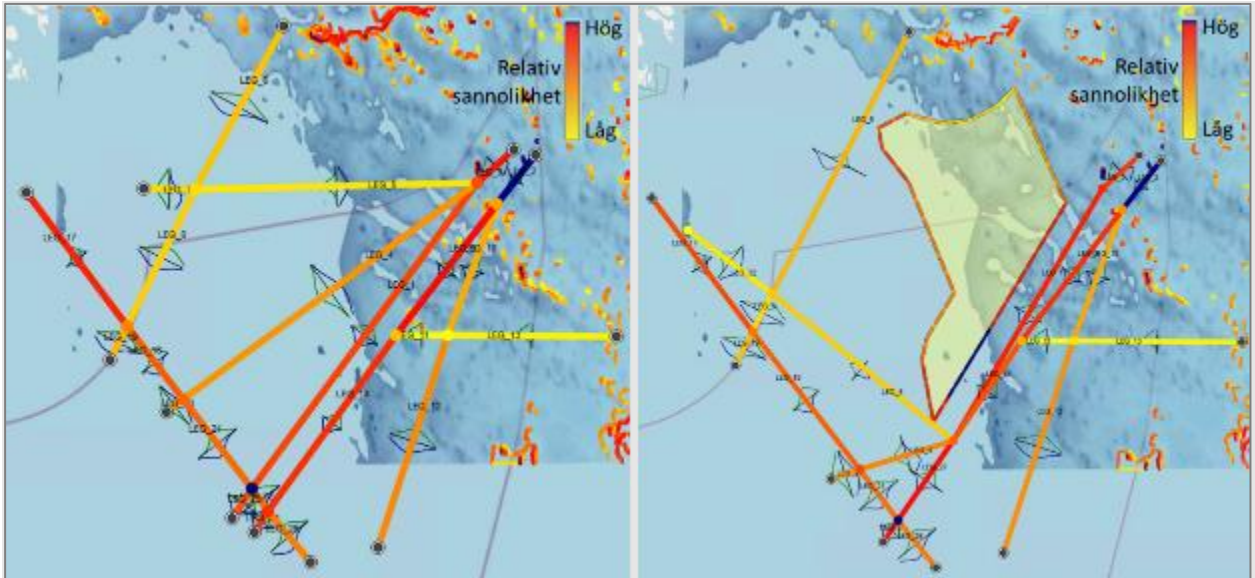
Taulukko 4.1 esitetään arvioidut todennäköisyydet karilleajolle, törmäykselle tuulipuiston kanssa (tutkimusalue) ja yhteentörmäykselle sekä kaikenlaisten vaaratilanteiden kokonaistodennäköisyys kahdessa eri tapauksessa.

Taulukko 4.1 Arvioidut onnettomuustodennäköisyydet (vaaratilanteet/vuosi) ja mitä ne vastaavat palautumisaikoina (vaaratilanteiden välisten vuosien odotettu määrä). E tarkoittaa kymmenen pisteen kerrointa, esim. E-04 = 10.⁻⁴

	A: Ilman tuulipuistoa		B: Tuulipuiston kanssa	
	Tapahtumat/vuosi	Vuosi tapahtumien välillä	Tapahtumat/vuosi	Vuosi tapahtumien välillä
Powered Grounding	2,5E-04	4 000	4,4E-04	2 273
Drifting Grounding	7,9E-04	1 266	6,2E-04	1 613
Total Groundings	1,0E-03	1 000	1,1E-03	909
Powered Allision	---	---	3,2E-05	31 250
Drifting Allision	---	---	1,3E-02	77
Total Allisions	---	---	1,3E-02	77
Overtaking	2,0E-05	50 000	3,0E-05	33 333
HeadOn	9,7E-05	10 309	1,4E-04	7 143
Crossing	1,1E-04	9 091	1,0E-04	10 000
Merging	5,6E-06	178 571	5,4E-06	185 185
Bend	2,6E-05	38 462	4,8E-05	20 833
Total Collisions	2,5E-04	4 000	3,2E-04	3 125
Total incidents	1,3E-03	769	1,4E-02	69

Karilleajon todennäköisyys on hieman suurempi tuulipuiston (B) tapauksessa, mutta ei merkittävästi. Myös törmäystodennäköisyys on suurempi, mikä johtuu pääasiassa siitä, että *HeadOn-* ja *Bend-törmäyksen* todennäköisyys kasvaa tuulipuiston tapauksessa. Tuulipuiston tapauksessa lisätään myös allisiotapahtuman todennäköisyys. Allisiotapahtuman laskennallinen todennäköisyys on suurempi kuin karilleajon ja törmäyksen todennäköisyys, mikä tarkoittaa, että onnettomuuksien kokonaistodennäköisyys on huomattavasti suurempi tapauksessa tuulivoimapuisto kuin (B) ilman tuulivoimapuistoa (A). Tapauksessa, jossa ei ole tuulivoimapuistoa (A), onnettomuuksien kokonaistodennäköisyydeksi on laskettu $1,3 \times 10^{-3}$ onnettomuutta/vuosi, mikä vastaa yhtä onnettomuutta 771 vuodessa (palautumisaika). Tapauksessa, jossa on tuulivoimapuisto, onnettomuuksien kokonaistodennäköisyys on $1,4 \times 10^{-2}$ onnettomuutta/vuosi, mikä vastaa yhtä onnettomuutta 70 vuodessa.

Kuva 4.5 esitetään IWRAP-kuva, josta käy ilmi, millä *osuudella* ja *reittipisteellä* törmäyksen todennäköisyys on suurin ja millä tuulipuiston osalla törmäyksen todennäköisyys on suurin. Kuvissa käytetyssä sini-puna-keltaisessa väriasteikossa tummansininen väri tarkoittaa aluetta, osuutta tai reittipistettä, jossa todennäköisyys on suurin. Punainen osoittaa pienempää todennäköisyyttä ja keltainen pienintä todennäköisyyttä. Väriasteikko on suhteellinen kussakin IWRAP-laskennassa ja tietty väri voi liittyä erilaisiin absoluuttisiin todennäköisyyksiin eri ajoissa. Kuvissa esitetään myös perusalueet, joiden onnettomuustodennäköisyys on merkitty samalla väriasteikolla.



Kuva 4.5 Värikoodattu kuva laskennallisesta todennäköisyydestä tapauksessa A: ilman tuulipuistoa (vasemmalla) ja tapauksessa B: tuulipuiston kanssa (oikealla). Väriasteikko viittaa suhteelliseen todennäköisyyteen kussakin laskelmassa, jossa jalka (värilliset keltaiset, oranssit, punaiset ja siniset viivat), reittipiste (täytetty ympyrä, värillinen tai musta) ja maa-alue, jolla on suurin törmäystodennäköisyys, on merkitty sinisellä. Suhteellinen asteikko tarkoittaa sitä, että esimerkiksi sininen voi tarkoittaa eri laskennallisia todennäköisyyksiä eri kuvissa/laskelmissa.

4.2 Muiden tunnistettujen vaarojen todennäköisyyksien arviointi

Vaarojen arvioinnissa havaittiin useita vaaroja, joihin ei suoraan oleteta liittyvän törmäystä, karilleajoa tai törmäystä, eikä niitä siksi voida kvantifioida ja laskea IWRAP-ohjelman avulla.

4.2.1 Rakennus- ja käytöstäpoistovaihe

Suunnitellun 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 vähintään kaksi vuotta / kaksi vuodenaikaa, ja työpäivien määrä riippuu säästä. Työt tehdään pääasiassa jäättömänä aikana eli noin seitsemän kuukautta vuodessa, toukokuusta marraskuuhun.

Lisäliikennettä on erikokoisilla aluksilla, kuten miehistö- ja valvonta-aluksilla, proomuilla perustusten kuljetukseen, ruoppausaluksilla, kaapelinlaskualuksilla, tukialuksilla ja muunlaisilla *offshore-huoltoaluksilla*. Nämä yksiköt liikkuvat eri tiheydellä ja mahdollisesti eri reittejä tuulipuistoalueelle, ja niillä on siten 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 turbiinien kuljetukseen 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 laivaväylien tai vakiintuneiden reittien mahdolliseen ylittämiseen. Muiden tunnistettujen rakennusvaiheen vaarojen, kuten törmäysten rakenteisiin rakenteilla oleviin rakenteisiin ja törmäysten tuulipuistoalueella oleviin kiinteisiin asennusaluksiin, todennäköisyys arvioidaan vähäisemmäksi. Myös seurausten arvioidaan olevan useimmissa tapauksissa lievempiä.

Tuulipuiston rakentamiseen osallistuvat alukset liikkuvat valmistus- tai laivasatamaan, materiaalin varastosatamaan sekä asennussatamaan ja sieltä pois. Asennussatama on satama, josta käsin matkustajakuljetukset ja pienempien komponenttien kuljetukset tapahtuvat, ja juuri tähän satamaan ja tästä satamasta lähtevät päivittäiset edestakaiset matkat ovat yleisimpiä. Suurin osa tästä liikenteestä on miehistön veneitä. Liikenteen intensiteetti vaihtelee, mutta rakennusvaiheen aikana alueella voi olla kerrallaan jopa 50 alusta. Vielä ei ole selvää, mitä satamia käytetään ja mistä suuret komponentit, kuten perustukset ja turbiinit, toimitetaan.

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.

4.2.2 Huolto- ja kunnossapitoalukset

Toimintavaiheessa tuulipuisto tuo lisävirtaa huolto- ja kunnossapitoalusten muodossa tuulipuistoon ja sieltä pois. Huoltotyöt aloitetaan huoltosatamasta tai tuulipuiston logistiikkalaiturilta. Suunnitellut huoltotyöt tehdään pääasiassa kesäkuukausina, joten talvella alusliikenteen määrä on pienempi kuin kesällä. Taulukko 4.2 esitetään yhteenveto siitä, miten erityyppiset huolto- ja kunnossapitotyöt on suunniteltu toteutettaviksi, sekä arvio tuulipuistoon suuntautuvien alusten/helikopterien vuotuisista liikkeistä kunkin luokan osalta.

Taulukko 4.2 Alusten (/helikopterien) ohjeellinen määrä vuodessa tuulipuistoon eri huolto- ja kunnossapitotöitä varten.

	Alustyyppi/helikopteri	Alusten siirtojen määrä/vuosi
Tarkastukset ja pienet korjaukset jäättömänä aikana, mukaan lukien teknikkojen majoitus.	Huoltoalus (SOV, Service Operation Vessel)	48
Pienet korjaukset jäisissä olosuhteissa	Helikopteri	32
Suuret kaapelikorjaukset jäättömänä aikana	Kaapelinlaskualukset	1
Suurten komponenttien vaihdot jäättömänä aikana	Jack-up-alus	9

Perustuu seuraavissa luvuissa esitettyihin lukuihin Taulukko 4.2 oletetaan, että tuulivoimapuistoon ja sieltä pois kulkee 116 laivaliikennettä (58 edestakaista matkaa). Jos liikenne on lähtöisin Ruotsin puolella sijaitsevasta huoltosatamasta, huolto- ja kunnossapitoalusten ei tarvitse ylittää mitään tarkasti määriteltyä laivaväylää päästäkseen tuulivoimapuistoon ja sieltä pois. Tämä vähentää huolto- ja kunnossapitoalusten ja muun liikenteen välisten törmäysten todennäköisyyttä. Huolto- ja kunnossapitoliikenne merkitsee kuitenkin sitä, että liikenteen intensiteetti kasvaa tuulipuiston länsipuolella, mikä lisää törmäysten todennäköisyyttä. Kasvu on kuitenkin hyvin vähäistä, minkä vuoksi törmäystodennäköisyyden oletetaan edelleen olevan pieni tai erittäin pieni.

4.2.3 Muu liikenne alueella

IWRAP-laskelmissa ei ole otettu huomioon huviveneiden liikennettä, koska useimmissa huviveneissä ei ole AIS-vastaanotinta, eivätkä käytettävissä olevat AIS-tiedot näin ollen kata niitä. Huviveneliikennettä koskevat tiheysdiagrammit osoittavat kuitenkin, että huviveneiden määrä tarkastelualueella on hyvin vähäinen. (MarineTraffic, 2023).

Koska tuulivoimaloiden välinen etäisyys on kuitenkin noin 0,6–1,9 M (1-3,5 km), 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 korkeimmillaan, sääolosuhteet ovat usein suotuisat, mikä myös vähentää törmäysten todennäköisyyttä.

Tuulivoimapuiston alueella ei harjoiteta laajamittaista kalastusta, eikä alueen kautta kulkevista vuosien 2021 ja 2022 kulkutilastoissa ole rekisteröity yhtään kalastusvenettä. Pienten, alle 13 metrin pituisten kalastusalusten osalta AIS-järjestelmää ei vaadita, mutta monilla pienillä kalastusaluksilla on kuitenkin turvallisuussyistä AIS-järjestelmä, ja näin ollen voidaan olettaa, että liikenneanalyysi kattaa useimmat kalastusalukset. Samoin kuin huviveneiden kohdalla katsotaan kuitenkin, että kaikki kalastusalukset voivat liikkua turvallisesti tuulipuiston läpi, ja kalastusalusten törmäysten todennäköisyyttä pidetään vähäisenä, koska niitä esiintyy 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.

4.2.4 Tutkan häiriöt

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, esimerkiksi tuulipuiston läpi kulkevan pienen aluksen, seuraamiseen, ARPA saattaa menettää luotaimensa ja siirtyä sen sijaan toiseen kohteeseen, jolloin kyseessä on niin sanottu kohteen vaihtaminen. Samalla menetetään kyky seurata tutkakohdetta ja saada tärkeitä tietoja CPA:sta⁷ ja TCPA:sta⁸. Tutkimukset ovat osoittaneet, että tutkan häiriöiden minimoimiseksi on noudatettava erityistä varovaisuutta pulssin pituuden, kantaman valinnan ja vahvistuksen suhteen 1,5 M etäisyydelle tuulipuistosta. Tuulivoimaloiden ja laivatutkien välinen vuorovaikutus voi aiheuttaa vääriä kaikuja, ja tutkahäiriöitä voi esiintyä samalla etäisyydellä laivasta kuin tuulivoimalasta. (PIANC, 2018).

PIANC:n mukaan tuulipuiston ohittaminen alle 1,5 M (2 778 m) etäisyydeltä voi aiheuttaa häiriöitä aluksen tutkan S-kaistalle, mitä PIANC pitää keskisuurena 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 kaikuhiin, 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 siitä, mihin yksittäisen aluksen tutka on sijoitettu. (L.S.Rashid, 2007). Todellinen tutkahäiriövaikutus tuulipuistossa, jossa on suuria tuulivoimaloita, mutta jossa tuulivoimaloiden välinen etäisyys on suurempi, on mallinnettava ja tutkittava kunkin yksittäisen tuulipuiston osalta, jotta se voidaan määrittää.

Ei ole mahdollista sanoa varmuudella, miten alukset liikkuvat Polargrundin tuulipuiston ympärillä, mutta useimpien alusten oletetaan kulkevan riittävän kaukana tuulipuistosta, jotta häiriöitä X-kaistalla ei esiinny. S-kaistalla voi kuitenkin esiintyä häiriöitä, joita PIANC pitää keskisuurena riskinä. Mahdolliset

⁷ CPA: Closet Point of Approach. Laskennallinen vähimmäiskulkuetäisyys tutkalta kohteeseen.

⁸ TCPA: Time to Closet Point of Approach: Aika lähimpään lähestymispisteeseen, jos mitään toimenpiteitä ei toteuteta.

tutkahäiriövaikutukset ovat kriittisimpiä kääntöpaikkojen yhteydessä ja jos laivaväyliä ylitetään tuulipuiston läheisyydessä. Kemistä etelään suuntautuvat alukset saattavat kulkea tuulipuiston läheltä. Niihin voi siten kohdistua tutkahäiriöitä, mikä voi aiheuttaa vaikeuksia havaita Polargrundin eteläpuolella itään meneviä aluksia. Etelään menevien alusten on annettava tietä, ja jos ne eivät havaitse itään meneviä aluksia ajoissa, voi syntyä törmäysvaarallinen tilanne. Liikenteen intensiteetti itä-länsisuunnassa eteläkärjen kohdalla on tällä hetkellä alhainen, mutta tuulipuiston rakentaminen merkitsee sitä, että alukset, jotka ovat aiemmin kulkeneet alueen läpi välillä ex. Luulajan ja Kemin, Skellefteån ja Kemin välillä, joutuvat kiertämään Polargrundin eteläkärjen ja voivat siten kulkea tuulipuiston läheltä. Tämä lisää osaltaan törmäyksen todennäköisyyttä tuulipuiston eteläpuolella.

Alueen läpi kulkevaa liikennettä voi olla vaikea havaita tuulivoimapuiston ulkopuolella oleville aluksille tutkahäiriöiden vuoksi. Koska alueella on kuitenkin vain vähän kalastusaluksia ja huviveneitä, alueen läpi kulkevien alusten ja tuulipuiston lähellä kulkevien alusten välisen törmäyksen todennäköisyyttä pidetään vähäisenä. Alueella liikennöi myös huolto- ja kunnossapitoaluksia, joiden havaitseminen saattaa olla vaikeaa tutkahäiriöiden vuoksi. Huolto- ja kunnossapitoalusten oletetaan kuitenkin lähtevän Ruotsin rannikolta, joten ne eivät useimmissa tapauksissa liiku tuulivoimapuiston kaakkoispuolella sijaitsevalta alueelta, jossa alukset saattavat ensisijaisesti kulkea tuulivoimapuiston läheltä.

4.2.5 Vaikeudet mahdollisen vuodon torjunnassa

Jos tuulipuistossa tai sen läheisyydessä tapahtuu öljyvahinko, rannikkovartioston alukset eivät voi toimia alueella vapaasti, mikä voi vaikeuttaa öljyn eristämistä ja talteenottoa.

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, joilla estetään vuotoriski.

Pohjakosketus tuulivoimapuiston itä- ja koillispuolella sijaitsevilla matalilla alueilla voisi johtaa vuotoon, joka ajautuisi tuulivoimapuistoa kohti epäsuotuisissa olosuhteissa. Riippuen etäisyydestä tuulipuistoon ja sääolosuhteista voi olla mahdollista rajoittaa ja hallita vuotoa ennen kuin se saavuttaa tuulipuiston. Myös alusten yhteentörmäykset voivat aiheuttaa vuotoja. Törmäyksen todennäköisyys on suurin tuulipuiston koillispuolella, Kemi 1:n kohdalla, ks. kohta. Kuva 4.5. Nämä reitit ovat lähellä tuulipuistoa, ja jos törmäys johtaa öljyvutoon, jossa öljy kulkeutuu kohti tuulipuistoa, mahdollisuudet hillitä ja torjua öljyvutoa ennen kuin se saavuttaa tuulipuiston ovat pienet. Vallitsevan etelänpuoleisen tuulen suunnan vuoksi öljy kuitenkin ajautuisi monissa tapauksissa pohjoiseen, pois päin tuulipuistosta, mikä ei siis vaikuttaisi torjuntaolosuhteisiin.

Öljyä tai öljytuotteita kuljettavien säiliöalusten onnettomuudet voivat johtaa hyvin suuriin öljyvutoihin. Vuonna 2022 Kemin ja Tornion satamissa oli noin 170 säiliöalusliikennettä. Näistä 42 oli nesteytetyn maakaasun tankkereita, joissa ei ole öljyä tai öljytuotteita. Muilla alustyypeillä on aluksella öljyä tai öljytuotteita bunkkerien (eli polttoaineen, kuten dieselin, kaasun tai raskaan polttoöljyn) muodossa. Määrät ovat paljon pienempiä kuin säiliöaluksilla, mutta onnettomuuden sattuessa myös näiltä aluksilta voi tapahtua suhteellisen suuria päästöjä.

4.3 Vaikutusten arviointi ja kuvaus

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

seurauksena. Suurimmat seuraukset ovat odotettavissa törmäyksestä, jossa alus törmää toisen aluksen kylkeen, mikä voi tapahtua risteämis-, sulautumis- ja kaarreajoissa.

Tuulipuiston kanssa tapahtuvan törmäyksen eli vuorovaikutuksen puistoalueen kanssa seurauksia pidetään yleensä lievempinä kuin törmäyksen ja karilleajon seurauksia. Laskelmat perustuvat puistoalueeseen (/tutkimusalueeseen), ja ilmoitetut todennäköisyydet vastaavat törmäystä puistoalueeseen. Merkittäviä seurauksia voi aiheutua vain silloin, kun vuorovaikutus tuulipuiston kanssa johtaa varsinaiseen törmäykseen jonkin tuulivoimalan kanssa. *Koneellisen törmäyksen*, eli kun alus purjehtii tuulipuistoon, katsotaan aiheuttavan vakavampia seurauksia kuin *drifting allision*, koska *ajelehtiva törmäys* tapahtuu alhaisella nopeudella, noin 0,5–1 solmun nopeudella, kun taas *koneellisen 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. Jakso 4.3.1 osoitteeseen 4.3.3 kuvataan vaikutuksia arvioitaessa huomioon otettuja näkökohtia.

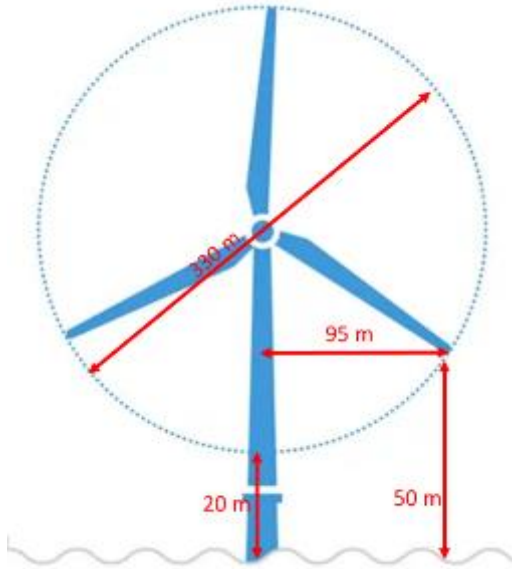
4.3.1 Vuorovaikutus tuulipuiston kanssa ja törmäys tuulivoimaloiden kanssa

Lasketut törmäystodennäköisyydet viittaavat todennäköisyyteen, että alus joutuu tuulipuistoalueelle. Useimmissa tapauksissa vuorovaikutus tuulivoimapuiston kanssa ei merkitse törmäystä mihinkään tuulivoimalaan, koska tuulivoimalat kattavat vain pienen osan alueen pinta-alasta. Tuulivoimaloiden välinen etäisyys on noin 0,6-1,9 M (1-3,5 km), mikä tarkoittaa, että alukset voivat ajelehtia tuulivoimaloiden välissä ja että jotkut alukset ajelehtivat tuulipuiston läpi törmäämättä mihinkään tuulivoimalaan. Joidenkin alusten voidaan olettaa saavuttavan ohjattavuutensa takaisin tuulipuiston sisällä ja onnistuvan sitten ohjautumaan pois tuulipuistosta ilman törmäystä. Tämän tyyppisten skenaarioiden, joissa törmäys johonkin tuuliturbiiniin vältetään, seuraukset voivat näin ollen olla olemattomat tai hyvin vähäiset.

Tuulivoimaloiden kokonaiskorkeus on enintään 350 metriä ja roottorin halkaisija enintään 330 metriä. Tornin korkeudesta ja roottorin halkaisijasta riippuen roottorin lapojen kärkien ja merenpinnan välinen etäisyys voi vaihdella, mutta odotettu etäisyys on 15-30 metriä. Monien Polargrundin alueella liikennöivien alusten *syväys* eli korkeus vedenpinnan yläpuolella on suurempi kuin 15-30 metriä, ja niillä on riski ajautua tuulipuistoon. Jos ne ajautuvat lähelle jotakin tuulivoimalaa ja kulkevat roottorin lapojen pyyhkäisyypinnan alta, ne voivat vaurioitua.

Suurimmat alueella säännöllisesti liikennöivät alukset ovat Wallenius SOLin Ro-Ro/Ro-Con-aluksia. Botnia Enabler ja Baltic Enabler. Näiden alusten *airdraft* on lähes 50 m. Aluksen, jonka *airdraft* on 50 m, on kuljettava yli 95 m:n etäisyydeltä tuulivoimalan tornista, jotta roottorin lavat eivät pääse osumaan siihen, ks. Kuva 4.6. Yleisten 100-150 metrin pituisten rahtilaivojen *airdraft* on hieman alle 30 metriä. Jotta nämä alukset eivät joutuisi roottorin lapoihin, niiden on kuljettava yli 57 metrin etäisyydeltä tuulivoimalan tornista.

Jos alus kuitenkin saapuu alueelle, tuulivoimaloita valvova operaattori voi pysäyttää tuulipuiston valvomosta käsin ja laittaa roottorit niin sanottuun "*pupunkorva-asentoon*" eli yksi lapa suoraan alaspäin ja kaksi lavaa ylöspäin. Tällöin alukset voivat kulkea lähempänä tuulivoimaloiden torneja (vinosti ylöspäin osoittavien lapojen alla), eivätkä ne ole vaarassa vahingoittaa pyörivien roottorien lapojen vaikutuksesta.



Kuva 4.6 Tuulivoimalassa, jonka kokonaiskorkeus on 350 m ja roottorin halkaisija 330 m, lapojen kärjet ulottuvat 50 m vedenpinnan yläpuolelle 95 m:n etäisyydelle voimalan tornista.

Tutkimusalueen pinta-ala on 442 km². Tuulivoimalat kattavat vain pienen osan tästä alueesta. Jos kunkin tuulivoimalan oletetaan vievän 95 metrin säteistä ympyrää vastaavan alueen ja tuulipuistoalueelle rakennetaan yhteensä 120 tuulivoimalaa, tuulivoimaloiden pinta-ala vastaa vain 0,8 prosenttia tuulipuistoalueen kokonaispinta-alasta. Tuulivoimalaan ajautuva alus (jonka arvioidaan tapahtuvan kerran noin 83 vuodessa, ks. esim. Taulukko 4.1) voidaan siis olettaa ajautuvan johonkin tuulivoimalaan vain murto-osassa tapauksista.

Koska laajamittaiset merituulivoimapuistot ovat suhteellisen uusia, törmäyksistä tuulivoimaloiden kanssa ja niiden seurauksista on toistaiseksi vain vähän kokemusta. Kehitys on edennyt pidemmälle esimerkiksi 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, kun aluksen ankkuriketju katkesi sen ollessa ankkurissa Ijmuidenin edustalla Alankomaissa. (gCaptain, 2022). Ankkurin pudottua Julietta D törmäsi ensin säiliöalukseen, jolloin se vaurioitui ja alkoi imeä vettä. Miehistö evakuoitiin, ja alus ajautui kohti maata ja tuolloin rakenteilla olleen Hollandse Kust Zuid -tuulipuiston aluetta. Tämän jälkeen Julietta D ajautui perustuksiin. Perustuksen vauriot olivat niin suuret, ettei sitä voitu korjata ja se oli poistettava. (Safety4Sea, 2022). Alus hinattiin myöhemmin turvaan. Aluksen vauriot johtuivat pääasiassa törmäyksestä säiliöaluksen kanssa. Tiedossa ei ole raportteja alukselle aiheutuneista lisävahingoista, jotka olisivat johtuneet törmäyksestä perustuksen kanssa.

Huhtikuun 24. päivänä 2023 74-metrinen kappaletavara-alus Petra L purjehti yhteen Gode Wind -tuulipuiston tuulivoimaloista Saksan vesillä. Alus kärsi merkittäviä vaurioita, ja sen keulan tyyrpuurin puoleiseen 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 se voitiin ottaa uudelleen käyttöön tarkastusten jälkeen. Alus poikkesi suunnitellulta reitiltään ennen törmäystä, 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).

Ilmoitettujen törmäysten seuraukset arvioidaan suhteellisen vähäisiksi, koska vakavia loukkaantumisia ei sattunut ja dokumentoidut ympäristövaikutukset olivat vähäisiä. Petra L:n ja Njord Forsetin tapauksissa, jotka molemmat ovat 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. Tällaisen skenaarion todennäköisyyttä Polargrundissa pidetään kuitenkin vähäisenä, koska suuria aluksia on alueella vähän.

4.3.2 Hätäkiinnitys

Sähkökatkoksista kärsiville aluksille hätäankkurointi on usein viimeinen keino yrittää hidastaa aluksen kulkua ja estää se ajamasta karille tai ajautumasta tuulipuistoon. Veden syvyys vaikuttaa kuitenkin mahdollisuuksiin onnistua hätäankkuroinnissa, ja yli 50 metrin syvyydessä mahdollisuudet ovat pienet. Hätäankkurointi on nopea ja monissa tapauksissa suhteellisen hallitseman toimenpide, johon liittyy suuria voimia. Tämä voi johtaa ongelmiin esimerkiksi ketjuvinssin tai vintin kanssa ja ketjun irtoamiseen, mikä vaarantaa aluksen pysähtymismahdollisuudet.

Veden syvyydestä riippumatta moottorit on yritettävä käynnistää uudelleen ennen hätäankkurointia. Useimmat alukset, jotka kärsivät sähkökatkosta, palautuvat suhteellisen nopeasti liikuntakykyisiksi, ja arviolta noin 50 %:n voidaan olettaa onnistuvan palautumaan liikuntakykyisiksi 15 minuutin kuluessa. (Rasmussen, o.a., 2012). Jos oletetaan, että tuuli on kova, aluksen voidaan olettaa ajelehtivan 1,5 solmun nopeudella, mikä tarkoittaa, että 50 prosenttia aluksista onnistuu palauttamaan ohjattavuutensa ennen kuin ne ovat ajelehtineet 700 metriä.

IWRAP-laskentamalli sisältää kriteerit hätäankkuroinnille ja ohjattavuuden palautumisen todennäköisyydelle. Lasketuissa *drifting allision* todennäköisyyksissä on otettu huomioon, että monilla aluksilla on aikaa saada moottorinsa käyntiin ennen kuin törmäys tuulipuistoon tapahtuu.

Veden syvyys Polargrundin kaakkoispuolella, jossa alusten voidaan olettaa kulkevan pääasiassa tuulipuiston lähellä, vaihtelee pohjoisosien noin 15 metristä eteläisimmän osan yli 50 metriin. Hätäankkurointia pidetään kuitenkin mahdollisena suuressa osassa kaakkoispuolta. Vallitsevan etelätuulen suunnan vuoksi tuulipuiston kaakkoispuolella kulkevat ja ajelehtimaan lähtevät alukset ovat monissa tapauksissa vaarassa ajautua tuulipuistoon, jos hätäankkurointi ei onnistu. Aluksilla, jotka kulkevat 1 m:n päässä tuulipuistosta epäsuotuisissa tuulissa, oletetaan olevan noin tunti aikaa joko palauttaa manööverikyky tai tehdä hätäankkurointi ennen tuulipuistoon ajautumista (olettaen, että tuuli on kova ja nopeus on 1 solmu).

Esimerkiksi Skellefteån ja Kemin sekä Luulajan ja Kemin välillä kulkevat laivat, jotka ovat aiemmin kulkeneet alueen kautta, saattavat myös kulkea tuulipuiston eteläpuolen lähellä. Tällä alueella vesisyvyys on yli 50 metriä, joten hätäankkuroinnin onnistumisen mahdollisuudet ovat pienet. Niiden matka tuulipuiston läheltä on kuitenkin lyhyt, joten todennäköisyys ankkuroitua tälle alueelle on vähäinen. Vallitseva tuulensuunta on kuitenkin epäsuotuisa tässä paikassa.

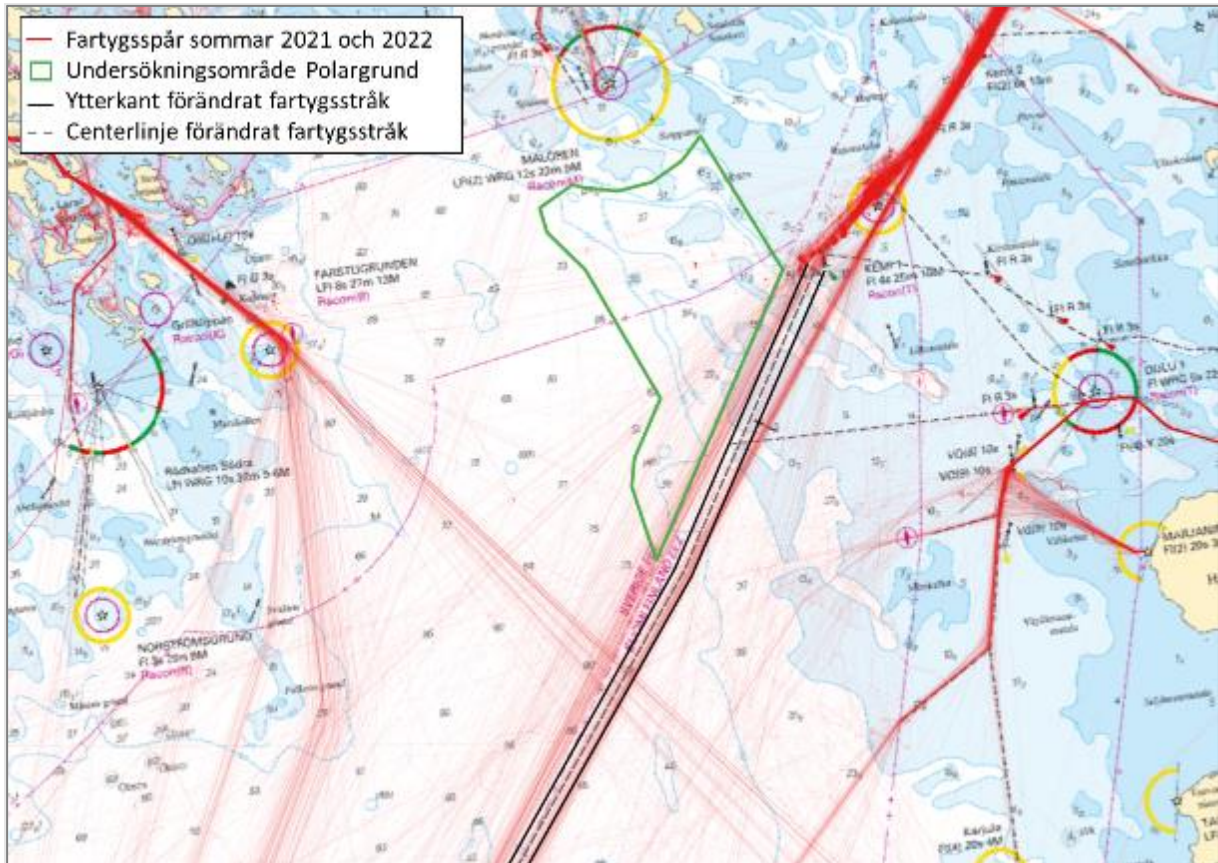
4.3.3 Turvaetäisyys

Kaakkoispuolella sijaitsevan osuuden suunnittelualuksen oletetaan olevan 191 metriä pitkä (perustuen kriteeriin, jonka mukaan suunnittelualus on suurin alus 98. prosenttipisteessä kaikista yli 70 metriä pitkien alusten läpikulkuosuuksista Ruotsin merenkululaitoksen ja Ruotsin liikenneviraston suositusten mukaisesti, ks. kohta 1.4.2). Kun suunnittelualus on 191 m, tuulipuiston ja laivaväylän väliin tarvitaan 1,19 M (2 201 m) turvaetäisyys, jotta väistö toimien hyväksyttävän turvaetäisyyden kriteeri täyttyy suositusten mukaisesti. (Sjöfartsverket och Transportstyrelsen, 2023). Riittävän turvaetäisyyden laskennassa ei kuitenkaan oteta huomioon mahdollista jäätä, joten suosituksia ei oleteta sovellettavan talviliikenteeseen kyseisellä alueella.

Väistöliikkeitä koskeva kriteeri perustuu siihen, että reitillä olevien alusten on voitava kääntyä 360 astetta tyyrpuuriin. Tällaisen väistöliikkeen oletetaan olevan ensisijaisesti toimenpide, jolla vältetään *head-on collision* tai vaihtoehtoisesti *crossing* tai *merging collision*, 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.

Tuulivoimapuiston analysoidun laajuuden vuoksi tuulivoimapuiston kaakkoispuolella ei ole turvaetäisyyttä, ja etelässä tutkimusalue on nykyisen laivaväylän kanssa päällekkäin. Pohjoisen Merenkurkun ja Kemi 1:n länsipuolella sijaitsevan väylän välinen liikenne ei voi enää kulkea suoraa reittiä, vaan sen on otettava käyttöön uusi kääntöpaikka, todennäköisesti Polargrundin eteläkärjen itäpuolella (ks. Kuva 4.4). Tutkimusalue tarkoittaa siis sitä, että nykyiset laivareitit muuttuvat, jos tuulipuisto rakennetaan. Etukäteen ei ole mahdollista määrittää, mitä reittejä alukset valitsevat ja minkälaisen etäisyyden alukset käytännössä pitävät tuulipuistoon. Näin ollen ei ole mahdollista määrittää, kuinka suuri turvaetäisyys tuulipuiston ja viereisten laivaväylien välillä tulee olemaan. Tuulivoimapuiston itäpuolella on noin 7,5 metriä lähimpään karilleajopaikkaan, joten tuulivoimapuiston itäpuolella on tilaa, jotta alukset voivat ohittaa tuulivoimapuiston riittävän suurella turvaetäisyydellä.

Alukset voivat valita reittinsä vapaasti, mutta liikennettä voitaisiin mahdollisesti ohjata kulkemaan tietyllä vähimmäisetäisyydellä suuremmissa määrin esimerkiksi poijulla tai vastaavalla merkityllä suositellulla reitillä tutkimusalueen eteläkärjen itäpuolella. Kuva 4.7 on esitetty, miltä uusi laivaväylä voisi näyttää, jos käyttöön otetaan suositeltu reitti, jolla säilytetään 1,19 M turvaetäisyys. Kuvassa uuden väylän sivuttaisuus on oletettu olevan noin 1 M (1 852 m). Laivaväylän keskipiste on siis 1,69 M (3 130 m) päässä tuulipuiston ulkoreunasta.



Kuva 4.7 Nykyinen laivaväylä, jolla liikenne kulkee Kemi 1:n länsipuolella, muuttuu perustamisen jälkeen. Suositusten mukainen hyväksyttävä turvaetäisyys tarkoittaa, että ulkoreuna on 1,19 M etäisyydellä tuulipuistosta.

Nykyisen liikenteen perusteella voidaan olettaa, että kaakkoispuolen laivaväylällä kulkee noin 1 500 alusta vuodessa, mikä on luokituksen mukaan noin 1 500 laivaa vuodessa. Kuva 1.4 mukaan liikenteen intensiteetti on hyvin alhainen. Tämä tarkoittaa, että todennäköisyys kahden aluksen törmäykselle reitillä on pieni, ja skenaario, jossa törmäys tapahtuu tuulipuiston estämän 360 asteen hyrrän vuoksi, on näin ollen hyvin pieni. Tämä huomioon ottaen 1,19 M pienempää turvaetäisyyttä voidaan mahdollisesti pitää riittävänä.

Kemi 1:n itäpuolella kulkevalle liikenteelle ei tarvita reittikorjausta nykyiseen verrattuna. Nykyinen laivaväylä pohjoisen Merenkurkun ja Kemi 1:n itäpuolella olevan väylän välillä on yli 1,19 M:n etäisyydellä.

Kemi 1:n länsipuolella sijaitsevalla väylällä on suurempi syväys, 12 metriä, kun itäpuolella sijaitsevalla väylällä syväys on 8 metriä. Suurin osa kauppamerenkulusta ("muut", joiden $L < 100$ m ei ole) Kemin/Tornion väylälle ja Kemi/Tornion väylästä käyttää nykyisin läntistä väylää, noin 60 prosenttia Kemin/Tornion väylistä ja Kemin/Tornion väylästä lähtevästä ja sinne saapuvasta laivaliikenteestä. Monien länsipuolen alusten syväys on kuitenkin alle 8 metriä, joten ne voivat käyttää itäistä väylää. Osa näistä aluksista saattaa siksi perustamisen jälkeen käyttää itäistä väylää, koska näin riittävän suuri turvaetäisyys tuulipuistoon säilyy ilman, että uutta kääntöpaikkaa tarvitsee ottaa käyttöön.

Tuulivoimapuiston alueen kautta kulkeva liikenne, noin 500 ohikulkuliikennettä vuodessa, kulkee perustamisen jälkeen myös kaakkoispuolella. Ne kääntyvät pois tuulipuiston eteläkärjestä. On hyvin epävarmaa, kuinka kaukana tuulipuistosta ne pysyvät, ja se vaihtelee todennäköisesti suuresti. Tuulipuiston eteläpuolella on kuitenkin tilaa, jossa ne voivat kulkea turvallisen etäisyyden päässä tuulipuistosta.

Tuulipuiston länsikulma on välittömässä läheisyydessä Kalixiin/Karlsborgiin suuntautuvan ja sieltä lähtevän liikenteen lähellä. Liikenne on kuitenkin vähäistä, eikä se muodosta nykyisin selkeää laivaväylää. Tässäkin tapauksessa laivojen kulkumatka vaihtelee todennäköisesti suuresti. On kuitenkin tilaa, joka mahdollistaa kulun riittävällä etäisyydellä.

5 Riskinarviointi ja vaikutus talvimerenkulkuun

Vaarojen yhteydessä tunnistettiin useita vaaroja, joita voi esiintyä talvella, kun Perämerellä on jäätä. Näiden vaarojen todennäköisyyttä ei voida laskea IWRAP-laskentatyökalulla. Kunkin vaaratekijän todennäköisyys riippuu suuresti vallitsevista jääolosuhteista ja vaihtelee siksi vuosittain ja ajoittain. Jääolosuhteet muuttuvat nopeasti esimerkiksi lämpötilan ja tuulen mukaan. Talvimerenkulkuun kohdistuvien riskien arviointi perustuu sen vuoksi neljään skenaarioon, joissa jääolosuhteet vaihtelevat. Suorien riskien lisäksi talvimerenkulkuun voi kohdistua välillisiä vaikutuksia, kun tuulipuisto vaikuttaa jäänmurtajatoimintaan ja jäänmurtajakapasiteetin tarve kasvaa.

5.1 Tunnistetut riskit

Kaikkiaan tunnistettiin viisi erityyppistä riskiin vaikuttavaa tekijää, jotka voivat aiheuttaa Polargrundin tuulipuiston vuoksi suurempia riskejä alueen talvimerenkululle. Näiden suorien riskien lisäksi talvella tunnistettiin myös epäsuoria riskejä. Ne liittyvät pääasiassa siihen, että jää rajoittaa pelastustoimien saatavuutta alueella. Helikopteritoiminta alueella on rajoitettua myös kesällä, koska helikoptereiden on vaikea toimia pyörivien tuulivoimaloiden läheisyydessä. Hätätilanteessa tuulivoimaloiden oletetaan kuitenkin pysähtyvän lentävien yksiköiden toiminnan helpottamiseksi.

I Taulukko 5.1 kuvataan viisi erilaista tunnistettua suoraa riskiä ja niiden mahdolliset seuraukset. Riskejä kuvataan ja kommentoidaan seuraavissa alaotsikoissa.

Taulukko 5.1 Tuulivoimapuiston tunnistetut riskitekijät ja niiden vaikutus talvimerenkulkuun ja jääriskeihin.

Riskiin vaikuttava tekijä	Johdonmukaisuus	Välillinen vaikutus/kommentti
1. Kulku huonompia reittejä pitkin, kun jäällä kulkevan vaihtoehtoisen optimaalisen reitin käytettävissä oleva tila on rajallinen.	Alusten juuttumisen todennäköisyys jäähän kasvaa. <i>Allision</i>	Jäänmurtajan avun tarve kasvaa ajan ja etäisyyden mukaan. Kustannukset kasvavat.
2. Alukset kulkevat tuulipuiston läheltä. Törmäysten välttämislitkeitä vaikeutuvat jäällä.	Törmäyksen ja <i>powered allision</i> todennäköisyys kasvaa.	Törmäysten välttämislitkeitä varten voi olla tarpeen kulkea suuremmalla etäisyydellä tuulipuistosta COLREGin mukaisesti.
3. Alukset juuttuvat jäähän puiston lähistöllä	<i>drifting allision</i> todennäköisyys kasvaa.	Ohittaminen voi olla tarpeen suurella etäisyydellä tuulipuistosta. Lisääntynyt avuntarve, jotta alukset eivät juuttuisi jäihin. Jäänmurron avustustarpeet/-kustannukset voivat kasvaa.
4. Nykyinen jäänmurtajien avustuskapasiteetti merkitsee pidempiä odotusaikoja.	<i>drifting allision</i> kasvaa odotus- ja ajautumisaikojen pidentyessä.	Odotuspaikoille voidaan joutua kulkemaan pidempiä matkoja, ja avustustarpeet ja -kustannukset kasvavat. Rahtikuljetukset viivästyvät.
5. Jäänmurtajan avun odotusajan piteneminen ja useammat alukset odottavat ruuhkaisella alueella.	Laivojen odottaminen suurella kulkutiheydellä lisää <i>törmäystodennäköisyyttä</i> .	Liikenteen valvonnasta ja mahdollisista yhteentörmäyksistä tai päästöistä aiheutuvien kustannusten lisääntyminen.

5.1.1 Kulku vähemmän suosittuja reittejä pitkin tilan rajallisuuden vuoksi.

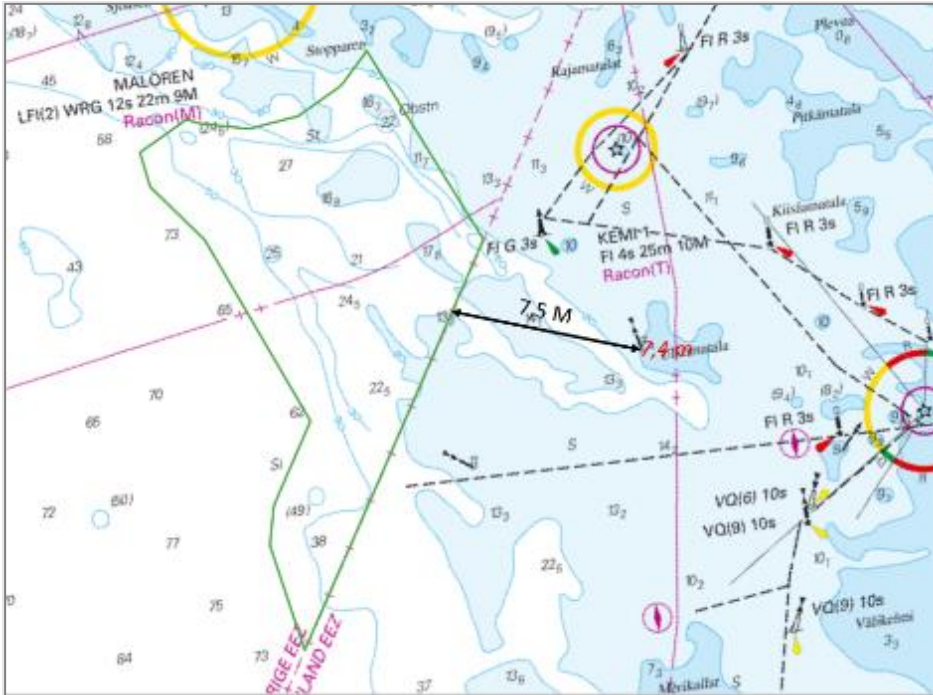
Yleensä käytetään parasta ja turvallisinta reittiä jään läpi. Jäänmurron peruseriaatteena on, että helpoin reitti on paras reitti, ja tästä syystä liikenne pyritään ohjaamaan mahdollisimman pitkälle avoveteen. (Sjöfartsverket, 2023). Tuulipuisto saattaa tukkia tällä hetkellä parhaan reitin, jolloin merenkulku voi joutua käyttämään muita reittejä, joiden jääolosuhteet ovat vaikeammat. Tämä voi tarkoittaa, että useammat alukset tarvitsevat apua, että alukset tarvitsevat apua pidemmällä reiteillä ja että useammat alukset ovat vaarassa juuttua jäihin, kun ne joutuvat kulkemaan huonompia reittejä.

Talvikaudella tammi-huhtikuussa 2021 kirjattiin yhteensä 774 aluksen kulkua tutkimusalueen kautta, joista 294 oli jäänmurtajia. Vastaavana ajanjaksona vuonna 2022 alueen kautta kirjattiin yhteensä 263 kulkua, joista 40 oli jäänmurtajia. Tammi-huhtikuun aikana (kolmasosa vuodesta) kirjatut 263 läpikulkuliikennettä ovat puolet koko vuoden 2022 läpikulkujen kokonaismäärästä (517). Näissä rekisteröinneissä on suurta vaihtelua eri vuosien välillä, ja siksi on vaikea määrittää, kuinka suuri osa vuosittaisista läpikulkuliikenteistä on suoritettava tuulipuiston vuoksi vaikeammilla reiteillä. Talvella tehtyjen kulkureittien määrä osoittaa kuitenkin, että tutkimusalueen läpi kulkevat reitit ovat talvella hieman yleisempiä kuin muina vuodenaikoina.

5.1.2 Alukset kulkevat lähellä tuulipuistoa, ja törmäysten välttämisiikkeit vaikeutuvat jäässä.

Alukset voivat myös kulkea tuulipuiston läheltä talvella, ja jäässä voi myös tapahtua tilanteita, joissa alukset ovat törmäyskurssilla. Kuten jäättömässä olosuhteissa, tuulipuisto voi tällöin muodostaa esteen törmäyksen välttämiseksi. Tapauksissa, joissa alukset kulkevat katkaistulla väylällä, alus voi manöveroida ulos väylältä ja ympäröivään jäähän välttääkseen törmäyksen. Alus voi tällöin hidastua ja jäädä mahdollisesti jään vangiksi, jolloin voidaan välttää myös av powered allision seuraukset. Jäähän juuttuneet alukset ajautuvat jään mukana, ja jos jää ajautuu kohti puistoa, voi syntyä drifting allision . Tilanteissa, joissa jäätä on vähemmän, kun jää ei pysäytä alusta kokonaan, voi olla mahdollista tehdä 360 asteen käännös. Jää vaikeuttaa kuitenkin liikkumista, ja 360 asteen käännös voi vaatia enemmän tilaa kuin jäättömässä olosuhteissa. Liikenteen intensiteetti on kuitenkin alhainen, mikä rajoittaa törmäystilanteiden todennäköisyyttä.

Tuulipuiston ja itäisten matalien alueiden välinen tila on rajallinen. Tuulivoimapuiston ja Ulkomatalan 7,4 metrin matalikon välinen etäisyys on noin 7,5 M (14 km), ks. Kuva 5.1.



Kuva 5.1 Tuulipuiston kaakkoispuolen ja 7,4 m syvän matalan alueen välinen etäisyys on 7,5 m (14 km).

Jos Suomen rannikolla ja Perämeren itäosassa vallitsevat kovat jääolosuhteet, Kemiin ja Tornioon suuntautuva ja sieltä lähtevä liikenne voi joutua käyttämään tuulivoimapuiston läheisiä reittejä. Jään ajelehtiminen voi myös aiheuttaa sen, että aiemmissa kulkuväylissä käytetty väylä siirtyy lähemmäksi tuulivoimapuistoa, jolloin alukset joutuvat kulkemaan lähellä tuulivoimapuistoa.

PIANC:n suosituksissa merituulivoimarakentamista varten ei oteta huomioon mahdollista jäätä, eikä hyväksyttävii turvaetäisyyksiä koskevia ohjeita siksi katsota sovellettaviksi jääpeitteisillä vesillä. Tarvittava etäisyys ohikulkevien alusten ja Polargrundin tuulivoimapuiston välillä, jolla voidaan taata alhainen riski, vaihtelee suuresti nykyisten jää-, sää- ja tuuliolosuhteiden mukaan. Jää on kuitenkin merenkulkua haittaava tekijä, koska se vaikuttaa alusten ohjattavuuteen ja rajoittaa manööveritilaa. Tästä syystä voidaan yleensä olettaa, että jään vuoksi tarvitaan suurempia turvaetäisyyksiä kuin jäättömissä olosuhteissa.

5.1.3 Alukset voivat jäädä jumiin jäähän puiston lähellä.

Alukset, jotka juuttuvat jäähän kulkiessaan tuulipuiston läheltä ja ajautuvat jään mukana, voivat ajautumissuunnasta riippuen ajautua tuulipuistoon ja aiheuttaa törmäyksen. Jäähän juuttuneen aluksen, jonka potkurivoima ei riitä vapautumiseen, mahdollisuudet hätäankkurointiin ovat rajalliset, ja tiheässä ajelehtivassa jäässä, joka liikkuu kohti tuulipuistoa, hätäankkurointi ei yleensä ole vaihtoehto törmäyksen estämiseksi.

Jos alus juuttuu jäähän kulkiessaan tuulipuiston läheltä ja ajautuu kohti tuulipuistoa, törmäystä on vaikea estää. Kun tuulen nopeus on 10 m/s, jää ja siten juuttunut alus ajautuu 0,2–0,6 solmun nopeudella. Jos alus on juuttunut jäähän 1 M päässä tuulipuistosta ja ajautuu kohti tuulipuistoa, kestää 1 h 40 min–5 h ajautua tuulipuistoon. Törmäys tuulipuistoon voidaan mahdollisesti estää, jos jäänmurtaja saapuu tämän ajan kuluessa auttamaan alusta vapautumaan.

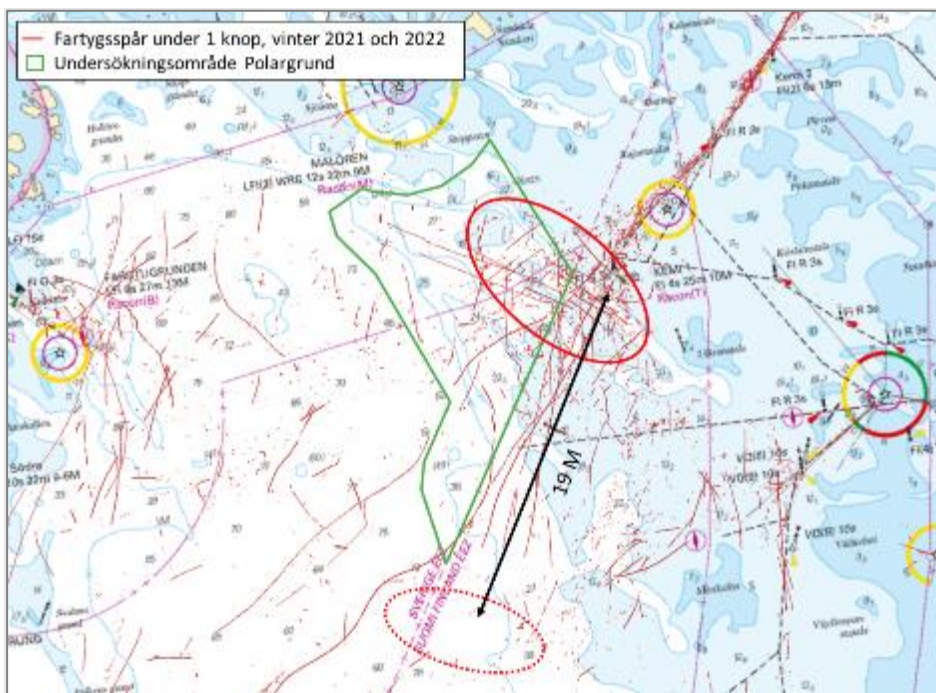
5.1.4 Nykyinen jäänmurtajien avustuskapasiteetti merkitsee pidempiä odotusaikoja.

Ensisijaisesti Kemiin ja Tornioon saapuvat ja sieltä lähtevät alukset tarvitsevat monissa tapauksissa apua nykyistä pidemmälle matkalle, sillä monissa tapauksissa apua tarvitaan tuulipuiston ohi kulkemiseen. Tämä tarkoittaa, että ne joutuvat odottamaan apua Polargrundin eteläpuolella. Pidemmän avunannon

yhdistettynä jäänmurtajien pidempiin kauttakulkumatkoihin oletetaan merkitsevän pidempiä odotusaikoja aluksille edellyttäen, että jäänmurtajakapasiteetti Perämerellä on rajallinen. Apua odottavat alukset voivat ajautua jään mukana. Tuulen suunnasta riippuen odottavat alukset voivat ajautua kohti tuulipuistoa, mikä voi johtaa niiden ajautumiseen tuulipuistoon ja törmäykseen.

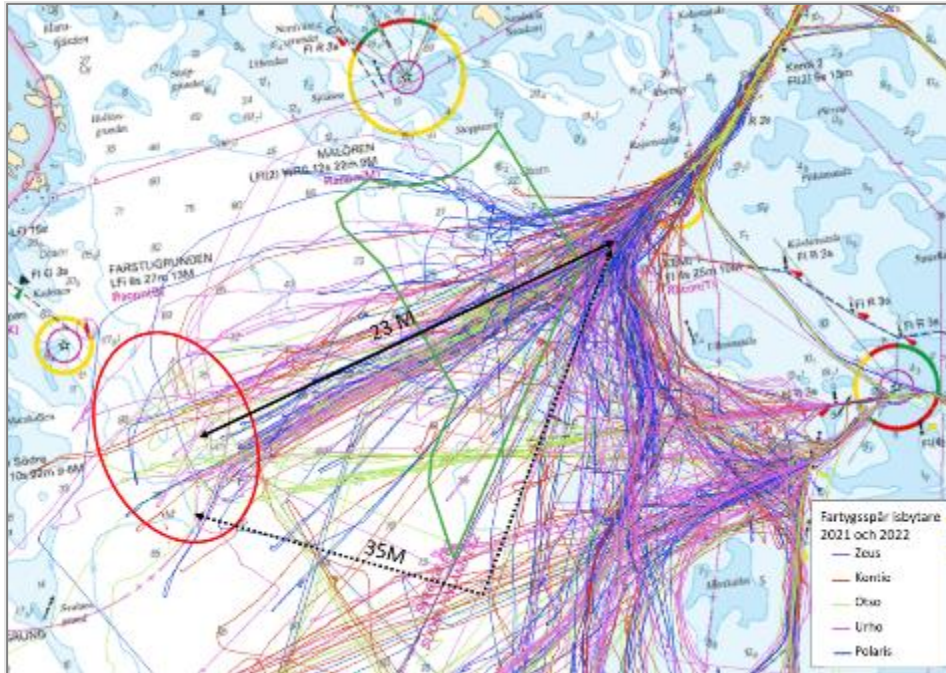
Monet Kemiin ja Tornioon menevät alukset odottavat tällä hetkellä apua väylän eteläpuolella Kemin ja Tornion sisääntuloa varten. Polargrundin tuulivoimapuiston perustamisen jälkeen useat niistä tarvitsevat todennäköisesti apua Polargrundin eteläpuoliselta alueelta ja Polargrundin kaakkoispuolelta törmäysriskien rajoittamiseksi, jotta hyvä meriturvallisuus voidaan säilyttää. Tämä merkitsee avustettavan reitin pidentämistä noin 19 meripeninkulmalla, ks. Kuva 5.2.

Tuulipuisto voi myös vaikuttaa tuulipuiston läheisyydessä vallitseviin jääolosuhteisiin, jolloin jää rikkoutuu ja jäävuorten muodostuminen lisääntyy ja käytettävissä olevat reitit vaikeutuvat, mikä voi myös lisätä jäänmurtaja-avun tarvetta.



Kuva 5.2 Talvella alle 1 solmun nopeudella kulkevien alusten jälkien oletetaan odottavan apua. Vuosina 2021 ja 2022 monet alukset odottivat apua Kemin ja Tornion väylän eteläpuolella (punaisen renkaan sisällä). Polargrundin perustamisen jälkeen oletetaan, että useat näistä aluksista tarvitsevat sen sijaan jäänmurtajien apua Polargrundin eteläpuoliselta alueelta (katkoviivoitettu punainen rengas), mikä tarkoittaa, että avunantomatka pitenee noin 19 M. Tämän vuoksi jäänmurtajat eivät voi antaa apua.

Kuva 5.3 on esitetty Kemin ja Tornion laivoja vuosina 2021 ja 2022 avustaneiden jäänmurtajien jäljet. Kuvasta näkyy, että ne kääntyvät usein Polargrundin länsipuolella, Luulajan suuaukon eteläpuolella. Tämän alueen oletetaan siis olevan myös Kemiin ja Tornioon menevien alusten yleinen "kääntöalue". Jos samaa aluetta käytetään jäänmurtaja-apua odottaviin aluksiin myös perustamisen jälkeen, näiden alusten avustettava matka pitenee noin 12 M. Jäänmurtajien keskinopeus tutkimusalueen läpi kulkiessaan on noin 11,6 solmua. Tällä nopeudella 12 M pidennys tarkoittaa, että avustusaika pitenee noin 1 tunnilla. 19 M pidennys Polargrundin eteläpuolisen alueen ja Kemi/Torneån suuaukon välillä tarkoittaa, että avustusaika pitenee noin 1 tunti 40 minuuttia. Jäätilanteesta riippuen voidaan kuitenkin olettaa, että osa avustettavista aluksista odottaa sen sijaan Polargrundin eteläpuolella, joka tarkoittaa, että pidennys on rajallinen.



Kuva 5.3 Kemijoki/Tornion alueella vuosina 2021 ja 2022 liikennöivien neljän jäänmurtajan reitit. Jäänmurtajat avustavat aluksia Kemijoki/Tornion alueelle ja sieltä pois, kulkevat tuulipuistoalueen läpi ja kääntyvät alueen länsipuolelle (punainen rengas). Perustamisen jälkeen niiden apua tarvitaan tuulipuiston kiertämiseen, mikä tarkoittaa avustettavan matkan pidentymistä.

5.1.5 Jäänmurtajan avun odotusaika ja odotustila Polargrundin eteläpuolella pitenee.

Polargrundin eteläpuolella sijaitsevaa aluetta on hyödynnettävä nykyistä enemmän odottavien alusten osalta. Pidemmät odotusajat yhdistettynä siihen, että useampien alusten on odotettava apua Polargrundin eteläpuolella, merkitsevät sitä, että tästä alueesta voi tulla kriittinen yhteentörmäysten kannalta, kun alukset ajautuvat jään mukana ja ylittävät laivaväyliä alueella. Liikenne Luulajaan ja Karlsborgiin sekä Kemiin, Tornioon ja Ouluun voi joutua odottamaan apua Polargrundin eteläpuolella. Etelätuulilla on myös vaara, että odottavat alukset ajautuvat kohti tuulipuistoa. Mahdollisten viivästysten ja jäänmurtaja-avun pitkien odotusaikojen vuoksi alukset saattavat ajautua tuulipuiston alueelle. Etelätuulilla alukset voivat joutua odottamaan kaukana etelässä, jotta törmäyksiä ei pääse tapahtumaan.

5.2 Skenaarion kuvaus

Luvussa 5.1 yksilöidyt talven jääolosuhteisiin liittyvät riskit riippuvat suuresti tuulen suunnasta ja siihen liittyvästä vallitsevasta jäätilanteesta. Kaikkia tuulensuuntia esiintyy jäätalven aikana, mutta tuulensuuntien tilastollinen jakauma heijastaa jossain määrin myös Perämerenlahden erilaisten jääolosuhteiden todennäköisyysjakamaa. Eri tuulensuuntien osalta on määritetty neljä erilaista jäätilanteen skenaariota. Havainnoituja alusten liikkeitä ja reittivalintoja, jotka ovat mukautettu tyyppillisiin jääolosuhteisiin antavat viitteitä siitä, mitkä tunnistetuista riskeistä voivat toteutua kussakin skenaariossa. Tilastollisesti odotettavissa oleva niiden päivien lukumäärä, jolloin kutakin skenaariota voidaan pitää edustavana, antaa siten myös kuvan siitä, minkä riskien voidaan olettaa hallitsevan kokonaisriskikuvaa.

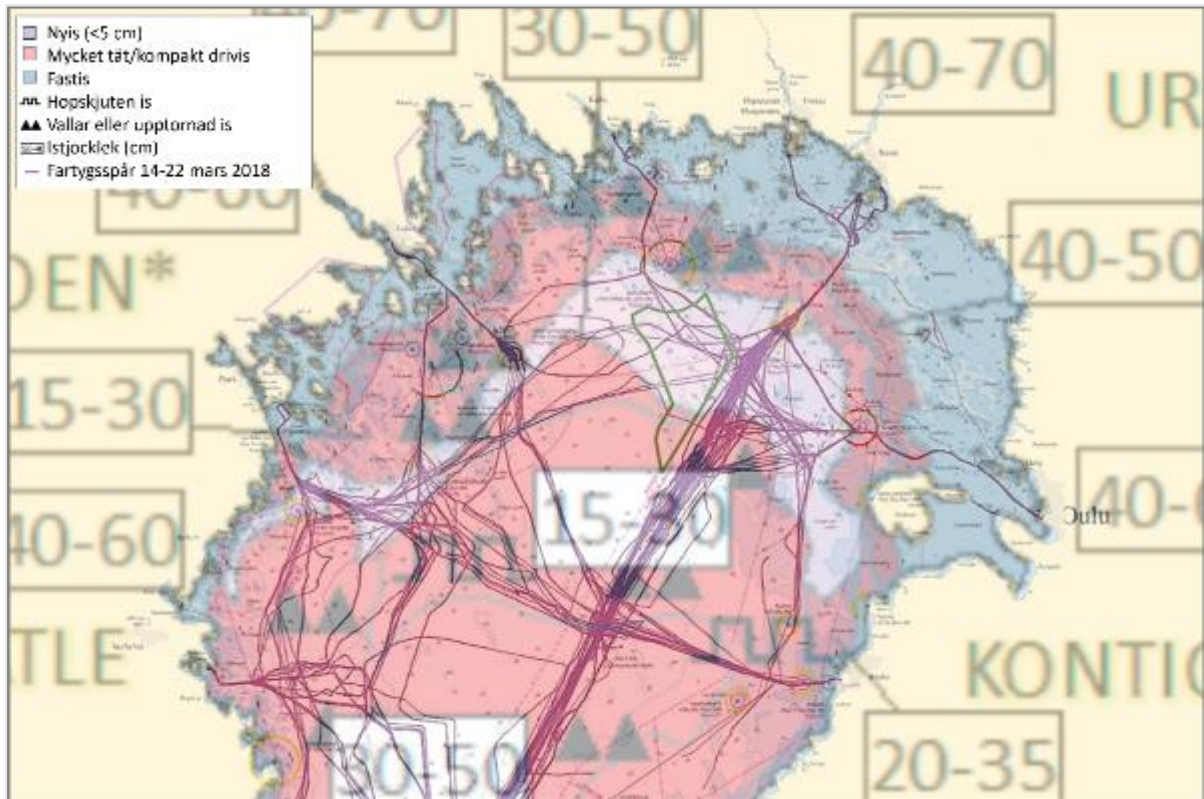
Nämä neljä skenaariota perustuvat tuulen pääsuuntaan ja jakautumiseen 120 talvipäivän välillä Rödkallenin havaintojen perusteella vuosina 2010–2022. Jakauma on esitetty alla.

- Skenario 1 - Pohjoistuuli
27 % ajasta tammi-huhtikuu - 32 päivää/vuosi.

- Skenaario 2 - Etelätuuli
34 % ajasta tammi-huhtikuu - 41 päivää/vuosi.
- Skenaario 3 - itätuuli
13 % ajasta tammi-huhtikuu - 16 päivää/vuosi.
- Skenaario 4 - Länsituulet
26 % ajasta tammi-huhtikuu - 31 päivää/vuosi.

5.2.1 Skenaario 1 - pohjoistuuli

Pohjoistuulien aikana Perämerellä ajelehtiva jää siirtyy etelään. Jos tämä jatkuu pidempään, jäät kerääntyvät etelämpään. Suurten jäämäärien aikana kulkua voi vaikeuttaa jääharjujen muodostuminen ja jäätyneet tiheet pakkajää Perämeren pohjoisimman suuaukon kohdalla. Jää liikkuu etelään ja muodostuu tyypillinen *puolikuun muotoinen* railo. Avoin ajoväylä jäätyy uudelleen uudella jäällä, jonka paksuus kasvaa vähitellen niin kauan kuin skenaario-olosuhteet säilyvät. Esimerkki Kuva 5.4 on otettu 16. maaliskuuta 2018 päivätystä jääkartasta, ja se osoittaa skenaarion, jossa jää on pohjoistuulten vuoksi ajelehtinut etelään 12. maaliskuuta lähtien. Pällekkäiset AIS-alusjäljet on tallennettu 14.-22.3.2018. Jäätalvea 2017–2018 pidetään jään laajuuden ja keston osalta normaalina jäätalvena.



Kuva 5.4. Edustava esimerkki skenaariosta 1, joka voi esiintyä pohjoistuulilla. Vaalean violetti väri taustalla olevasta jääkartasta (16. maaliskuuta 2018) kuvaa puolikuun muotoista harjannetta, joka on jäätyneet uudelleen uudella jäällä. Pällekkäiset AIS-alusten jäljet (violetti) on tallennettu 14.-22. maaliskuuta 2018.

Esimerkki Kuva 5.4 osoittaa, että suurin osa tutkimusalueesta on puolikuun muotoisessa railossa ja että jotkut alukset, jotka käyttävät puolikuun muotoisen railon länsiosaa, valitsevat reitin tutkimusalueen läpi. Suunnitellun tuulipuiston myötä tämä reittivalinta ei ole enää käytettävissä, ja 5.1.1 kohdassa määritetty riski on sen vuoksi merkityksellinen. Osa liikenteestä käyttää myös Oulun puolikuun itäosaa, esimerkiksi Raahan ja Perämeren pohjoispuolen välisillä reiteillä. Tornion/Kemin ja Merenkurkun välinen liikenne ei kuitenkaan poikkea merkittävästi puiston kaakkoispuolella kulkevasta reitistä, jota käytetään myös jäätömissä olosuhteissa. Reitti kulkee tiheän ajoväylän läpi, jossa on pengerryksiä. Kohdassa

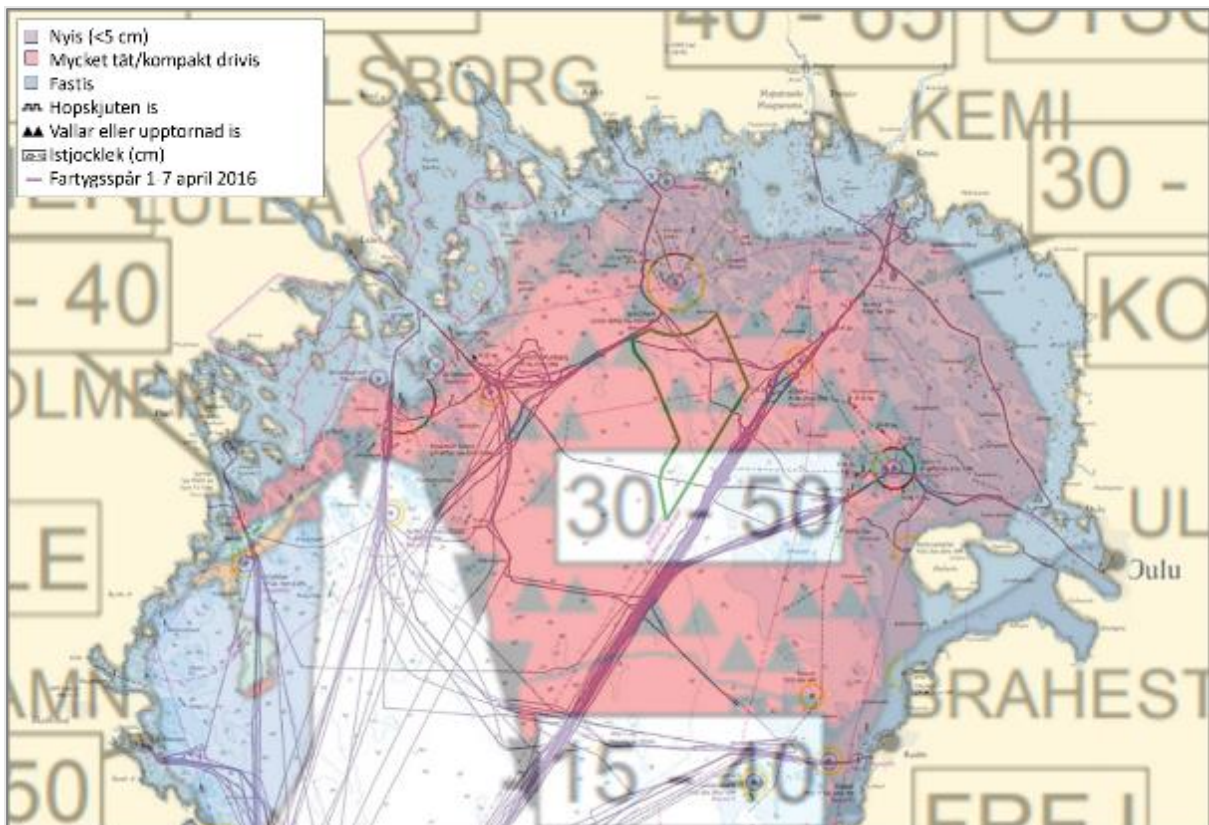
5.1.2 määritetty *powered allision* riski kuljettaessa lähellä tuulipuiston kaakkoispuolta voi olla olemassa tässä skenaariossa, mutta kohtien 5.1.3 ja 5.1.4 mukaisia *drifting allision* riskejä pidetään kuitenkin vähemmän merkityksellisinä, koska näissä skenaario-olosuhteissa ajosuunta ei ole kohti tuulipuistoa. Reitien kaakkoispuolella olevat merkityt penkereet voivat korostua skenaarion pohjoistuulten vaikutuksesta, mutta kulkureitin siirtyminen luoteeseen, pois penkereiden alueelta, estyy tässä tapauksessa puiston sijainnin vuoksi.

5.2.2 Skenaario 2 - etelätuuli

Talvella etelätuulten vallitessa suuremmat määrät ajeltavaa pakkausjäää työntyvät pohjoiseen, tutkimusalueelle. Perämeren pohjoisosan kiinteämmän ja/tai kiinteämmän pakkausjään määrästä ja laajuudesta riippuen muodostuu pengerryksiä. Niiden sijainti riippuu siitä, missä tuulen kuljettama jää kohtaa vastarintaa, kiinteässä pakkausjäkentässä, kiinteässä jään reunassa, jo muodostuneita penkereitä vasten tai matalammilla alueilla. Pitkään jatkuneissa kovissa tuulissa pakkausjää ovat laajoja alueella.

Esimerkki Kuva 5.5 edustaa tilannetta suhteellisen myöhään jääkaudella, joka on otettu jääkartasta 1. huhtikuuta 2016, jolloin etelä ja lounaistuulet puhalsivat viikon ajan. Päällekkäiset AIS-alusjäljet on tallennettu 1.-7.4.2016. Jäätalvi 2015–2016 voidaan tiivistää leudoksi jäätalveksi.

Jää on tiivistynyt pohjoisessa ja koillisessa, ja pääsyä Suomen satamiin rajoittaa erittäin tiheä ajojää, jossa on useita jääautoja. Tutkimusalueella oli tällä hetkellä erittäin tiheää, jopa 30–50 cm paksua ajojäää ja sulanutta jäätä, jossa oli penkereitä.



Kuva 5.5. Edustava esimerkki skenaariosta 2, joka voi esiintyä etelätuulilla. Tutkimusalue sijaitsee alueella, jossa on hyvin tiheää ajojäää ja paljon pengerryksiä. Puiston koillispuolella on jäätyynyttä tai tiivistä ajojäää ja rannikolla kiinteää jäätä. Pohjana oleva jääkartta on 1. huhtikuuta 2016, ja sen päälle on tallennettu AIS-alusten jäljet 1.-7. huhtikuuta 2016.

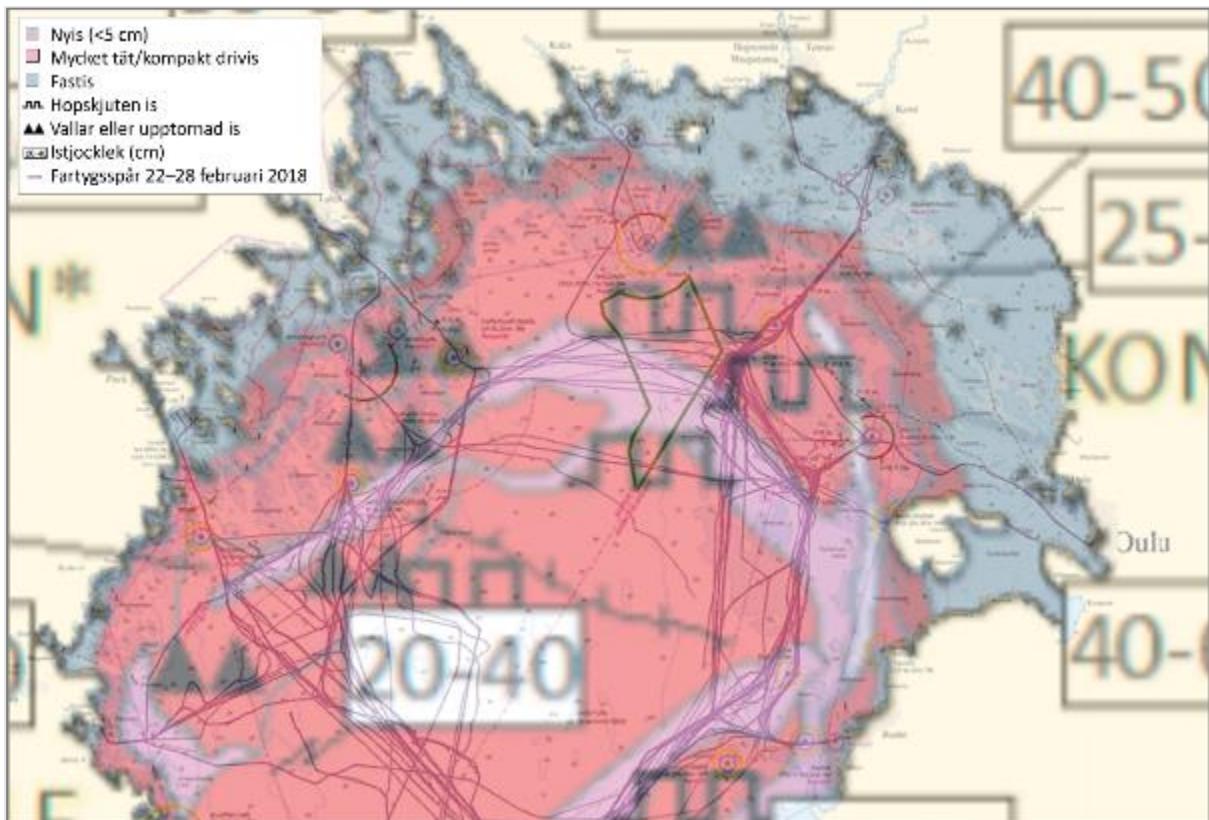
Tutkimusalueen läpi kulkee muutamia aluksia huhtikuun viikon aikana, mikä edustaa tätä skenaariota. Suurin osa kirjatuista laivajäljistä kuuluu kuitenkin myös tähän skenaarioon puiston kaakkoispuolella

sijaitsevalla osuudella, jota käytetään myös jäättömien olosuhteiden aikana. Näin ollen myös tässä skenaariossa on olemassa 5.1.2 kohdassa kuvattu *powered allision*, kun alus kulkee lähellä tuulipuiston kaakkoispuolta. Lisäksi 5.1.3 ja 5.1.4 kohdassa *drifting allision* voivat esiintyä myös tässä skenaariossa, koska näissä olosuhteissa ajosuunta on kohti tuulipuistoa. Vaikka voimakkaat etelätuulet työntäisivät jäärintamaa pohjoiseen, ajelehtimisnopeus tiheässä pakkausjäätikössä on todennäköisesti rajallinen ja pienempi kuin noin 2 prosenttia tuulen nopeudesta, joka voi esiintyä vapaasti ajelehtivilla jääkentillä.

5.2.3 Skenaario 3 - itätuuli

Itätuuliskenaario on harvinaisempi kuin muut, mutta sen voidaan odottaa esiintyvän keskimäärin 16 päivänä neljän kuukauden tarkastelujakson aikana. Kylmä koillinen ilmavirta työntää ajelehtivaa pakkausjäää ja jääpeitteitä länteen kohti Ruotsin saaristoa. Nämä olosuhteet aiheuttavat hankalia tilanteita Ruotsin puoleisissa satamissa ja vaikeuttavat kulkua vakaammista saaristo-olosuhteista Perämerelle. Jään kasvu jatkuu, mutta tuuli rikkoo jäätä osittain, ja Perämeren pohjoisosaan muodostuu uusia harjanteita, jotka peittyvät nopeasti uudella jäällä.

Esimerkki Kuva 5.6 kuvaa tilannetta jään kasvun aikana jäätälvena 2017–2018, jota luonnehditaan normaalitalveksi. Taustalla oleva jääkartta on peräisin 24. helmikuuta 2018, ja sen päälle asetetut AIS-alusten jäljet on tallennettu 22.-28. helmikuuta 2018.



Kuva 5.6. Edustava esimerkki skenaariosta 3, joka voi esiintyä itätuulilla. Taustalla oleva jääkartta on 24. helmikuuta 2018, ja sen päälle on merkitty AIS-alusten jäljet 22.-28. helmikuuta 2018.

Tutkimusalueen läpi kulkee uuden jään alue, joka on osa pohjoisten tai koillisten tuulien muodostamaa puolikuun muotoista harjujaksoa. Alueen pohjoisosassa on pakkausjäää ja pakkausjäää, joka on edelleen kiinni rannikon maajäessä. Perämeren keskiosassa olevan pakkausjään poikki on alue, jossa on suuria railoja sekä pakkausjään ja penkereiden alueita.

Vajaa kymmenen alusta, jotka ovat valinneet reitin uuden jään läpi Ruotsin rannikkoa pitkin, kulkevat tutkimusalueen kautta matkallaan Kemiin/Tornioon tai sieltä pois, ja useampi on valinnut

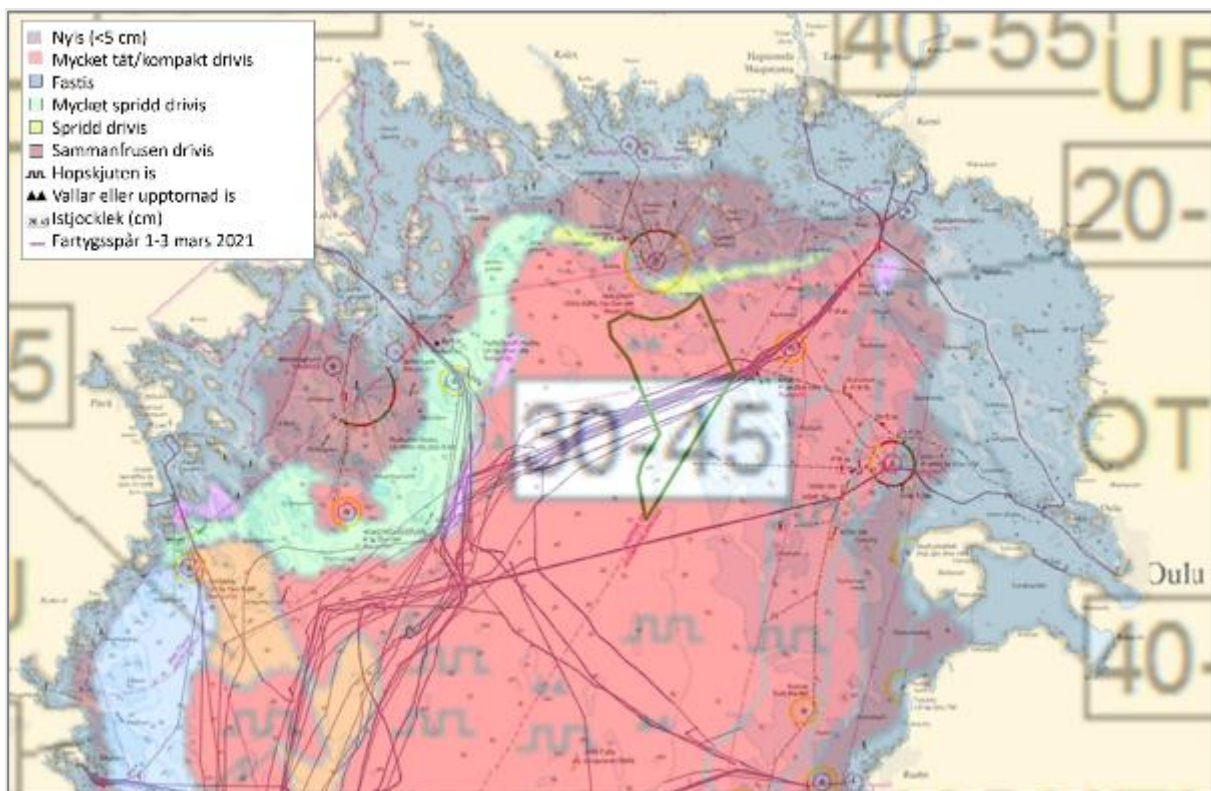
vaihtoehtoisen reitin uuden jään läpi Suomen puolella. Tällä viikolla ei kuitenkaan ole kirjattu yhtään kulkua tutkimusalueen kaakkoispuolella olevalla osuudella, joka on normaali reitti leudoissa tai jäätömissä olosuhteissa.

Kohdassa 5.1.2 määritetty jäälle ominainen riski, joka liittyy *powered allision* tuulipuiston kaakkoispuolen lähellä, ei ole olemassa tässä skenaariossa. Se voi kuitenkin olla merkityksellinen liikenteelle, joka aiemmin kulki esimerkissä esitettyä Kemin ja Luulajan välistä "puolikuuta", kun nämä reitit joudutaan ohjaamaan uudelleen tuulipuiston eteläpuolelle. Kohdissa 5.1.3 ja 5.1.4 kuvatut *drifting allision* riskit voivat myös esiintyä tässä skenaariossa, kun useat itätuulesa kulkevat alukset ohittavat tai odottavat jäänmurtaja-apua pakkausjäessä lähellä Kemi 1:n majakkaa ja puiston koilliskulmaa. Aiemmin valitut vaihtoehtoiset reitit tutkimusalueen läpi eivät ole käytettävissä, kun tuulipuisto on perustettu, ja näin ollen kohdassa 5.1.1 todettu jäähän juuttumisen riski koskee myös tätä skenaariota.

5.2.4 Skenaario 4 - läntinen tuuli

Länsituulten skenaario on suhteellisen yleinen, ja sen voidaan odottaa esiintyvän keskimäärin 31 päivänä neljän kuukauden tarkastelujakson aikana. Lounais-Skandinaviassa vallitseva korkeapaineinen säätilanne tarkoittaa, että Perämeren yli puhaltavat suhteellisen leudot länsituulet. Jää ajautuu itään, ja Perämeren ja pohjoisen Merenkurkun Ruotsin puolella oleva harju levenee ja peittyy uudella jäällä tai hajanaisella ajojällä. Ajelehtiva pakkausjää painuu yhteen ja lujittuu Suomen rannikolla olevaa maajään reunaa vasten. Pääsy satamiin ja satamista Suomen puolella on rajoitettu, kun taas Ruotsin puolella olosuhteet ovat suotuisimmat.

Esimerkki Kuva 5.7 edustaa tilannetta jään kasvun aikana jäätalvena 2017–2018, joka on merkitty normaalitalveksi. Taustalla oleva jääkartta on 1.3.2021 alkaen, ja sen päälle on tallennettu AIS-alusten jäljet 1-3.3.2021. Jäätalvi 2020–2021 on merkitty normaalitalveksi.



Kuva 5.7. Edustava esimerkki skenaariosta 4, joka voi esiintyä länsituulilla. Taustalla oleva jääkartta on peräisin 1. maaliskuuta 2021, ja sen päällä olevat AIS-alusten jäljet on tallennettu 1.-3. maaliskuuta 2021.

Tutkimusalue sijaitsee alueella, jossa on hyvin tiheää, 30–45 cm paksua ajojäätä ja satunnaisia pengerryksiä. Tästä huolimatta kaikki kirjatut alusten kulkutiet Kemin/Torneån suuntaan tai sieltä pois ovat kulkeneet alueen poikki Ruotsin puoleiselta aallonmurtajalta ja liittyneet tavanomaisiin väyliin Kemi I:n majakan kohdalla ja pohjoiseen. Tutkimusalueen kaakkoispuolella ei havaittu yhtään alusten kulkua kolmena analysoituna päivänä. Jos tuulivoimapuisto olisi ollut toiminnassa, liikenne Kemiin/Tornioon olisi teoriassa voitu ohjata kulkemaan tuulivoimapuiston pohjoispuolella sijaitsevien avoimempien jääalueiden kautta, mutta käytännössä tällaista vaihtoehtoista reittiä rajoittaa riittämätön vesisyvyys. Tässä skenaariossa realistisemmat vaihtoehtoiset reitit tutkimusalueen ohi kulkevat itä-länsisuunnassa Ruotsin puolella olevasta rysästä ja sitten alueen kaakkoispuolta pitkin.

Jälkimmäinen vaihtoehtoinen reitti on pidempi ja kulkee todennäköisesti myös tutkimusalueen kaakkoispuolella vallitsevien vaikeampien jääolosuhteiden läpi kuin alueen läpi kulkeva reitti. Sen vuoksi 5.1.1 kohdassa määritetty jään aiheuttama riski on merkityksellinen tämän skenaarion kannalta. Myös kohdassa 5.1.2 määritelty jäähän kohdistuva riski, joka liittyy *moottorin aiheuttamaan törmäykseen* tuulipuiston kaakkoispuolen lähellä kuljettaessa, koskee tätä skenaariota. Toisaalta 5.1.3 ja 5.1.4 kohdassa määritettyjä *ajelehtivaan törmäykseen* liittyviä riskejä ei katsota esiintyvän tässä skenaariossa, koska tuulipuiston etelä- ja itäpuolella kulkevat alukset eivät ajelehdi kohti tuulipuistoa länsituulen vaikutuksesta.

5.2.5 Neljässä skenaariossa havaittujen riskien painotettu merkittävyys

Kohdassa 5.1 kuvatuista viidestä eri tunnistetusta jäälle ominaisesta riskistä ainoastaan neljä ensimmäistä vaikuttavat olennaisesti, ja niillä on erilainen merkitys neljässä tarkastellussa esimerkiskenaariossa. Kaavamainen vertailu kunkin skenaarion odotettavissa olevasta keskimääräisestä kestosta ja siitä, mitkä 5.3.1–5.3.4 kohdassa kuvatuista jääkohtaisista riskeistä katsotaan merkityksellisiksi kunkin skenaarion kannalta, on esitetty seuraavassa kuvassa Taulukko 5.2. Taulukon alin rivi osoittaa, että skenaario 2, jossa tuulee etelästä, aiheuttaa eniten jäälle ominaisia lisäriskejä, joita suunnitellun tuulipuiston perustaminen voi aiheuttaa (taulukossa tämä näkyy siten, että skenaario 2 antaa suurimman "vaarapäivien" summan, joka muodostuu kertomalla skenaarion päivien lukumäärä merkityksellisten riskien lukumäärällä). Kohdassa 5.1.2 kuvattu jääkohtainen lisäriskei, jos törmäysten välttämislukkeitä pidetään merkityksellisinä kaikissa skenaarioissa, ja taulukon oikeanpuoleisessa sarakkeessa oleva merkityksellisten päivien yhteenlaskettu lukumäärä osoittaa, että tämän riskin katsotaan olevan merkityksellisin skenaarioiden kokonaisarviointin kannalta.

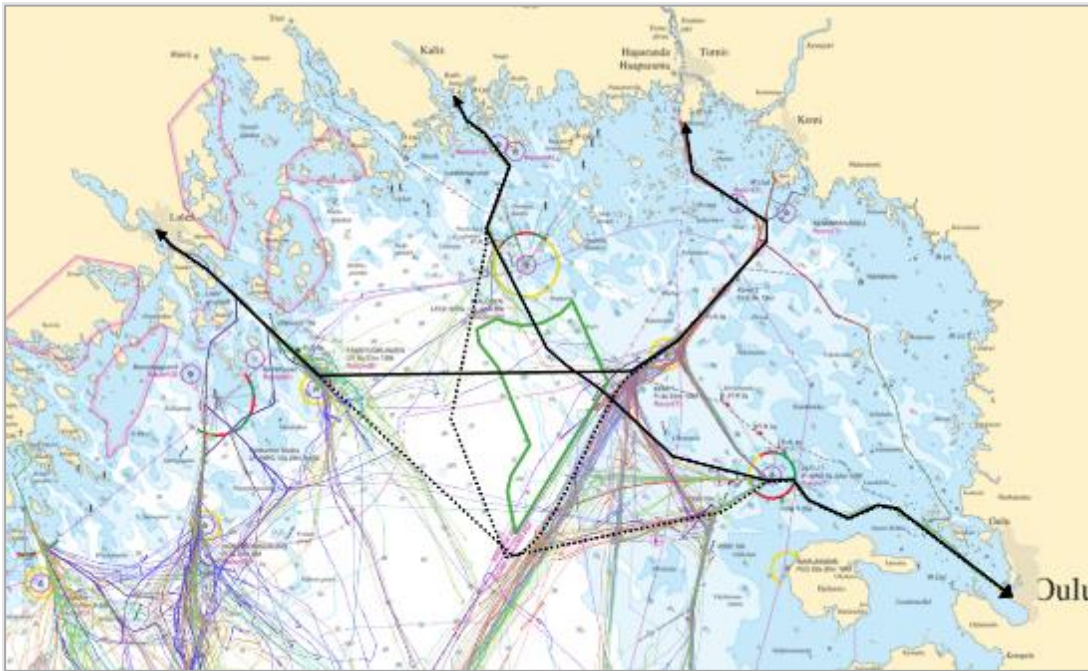
Taulukko 5.2. Kaavamainen yhteenveto ja painotus tunnistetuista jäähän liittyvistä lisäriskeistä.

Tunnistettu jääkohtainen riski	Skenaario	1 N 27% 32 päivää	2 S 34 % 41 päivää	3 O 13 % 16 päivää	4 V 26% 31 päivää	Päivät, jolloin kyseinen vaara on merkityksellinen
1. Huonommat reitit, kun jäällä on vain vähän tilaa optimaalisen vaihtoehtoisen reitin kulkemiseen.		✓		✓	✓	3 skenaariota 79 päivää
2. Alukset kulkevat lähellä tuulipuistoa, ja törmäysten välttämislukkeitä vaikeutuvat jäässä.		✓	✓	✓	✓	4 skenaariota 120 päivää
3. Alukset voivat jäädä jumiin jäähän puiston lähellä.			✓	✓		2 skenaariota 57 päivää
4. Nykyinen jäänmurtajien avustuskapasiteetti merkitsee pidempiä odotusaikoja.			✓	✓		2 skenaariota 57 päivää
Vaarapäivät		64	123	64	62	

5.3 Vaikutus jäämurtaajien toimintaan ja käyttöasteeseen jäämurtaajien osalta

Ruotsin ja Suomen jäämurtajaorganisaatiot tekevät yhteistyötä jäämurrossa Perämeren satamiin. Esimerkiksi tiettyinä aikoina suomalaiset jäämurtajat, jotka avustavat aluksia Oulun satamassa, voivat avustaa myös aluksia Karlsborgin satamasta. Vastaavasti jäämurtaja voi joutua avustamaan sekä Luulajaan että Kemiin meneviä tai sieltä lähteviä aluksia, jotka kulkevat tuulipuistoalueen kautta. Jäämurtajien ei oleteta kulkevan tuulipuiston läpi sen perustamisen jälkeen, joten niiden on kierrettävä tuulipuisto kulkiessaan eri satamien välillä. Tämä tarkoittaa pidempiä kauttakulkureittejä ja pidempiä kauttakulkuaikoja.

Vuosina 2021 ja 2022 jäämurtajat tekivät hyvin vähän kauttakulkureittejä Luulajan ja Kemi/Torneån sekä Karlsborgin ja Oulun välillä. Vuonna 2018, jolloin jääolosuhteet olivat vaikeammat, jäämurtajien liikkeitä satamien välillä oli enemmän, ks. Kuva 5.8.



Kuva 5.8 Jäämurtajien alusjäljet vuonna 2018. Lähimmät kauttakulkureitit kulkevat nykyisin Kemian/Tornion ja Luulajan sekä Oulun ja Karlsborgin välillä tuulipuiston alueen kautta (mustat nuolet). Perustamisen jälkeen jäämurtajat joutuvat kulkemaan tuulipuiston eteläpuolella (katkoviivoitetut mustat nuolet), mikä tarkoittaa reitin pidentymistä.

Ilman tuulipuistoa Tornion ja Luulajan välinen kauttakulkureitti on noin 84 m. Tuulivoimapuisto pidentäisi kauttakulkureittiä noin 18 m noin 102 m:iin, mikä vastaa Tornion ja Luulajan välisen kauttakulkureitin pidentymistä noin 7 h 15 minuutista noin 8 h 50 minuuttiin.

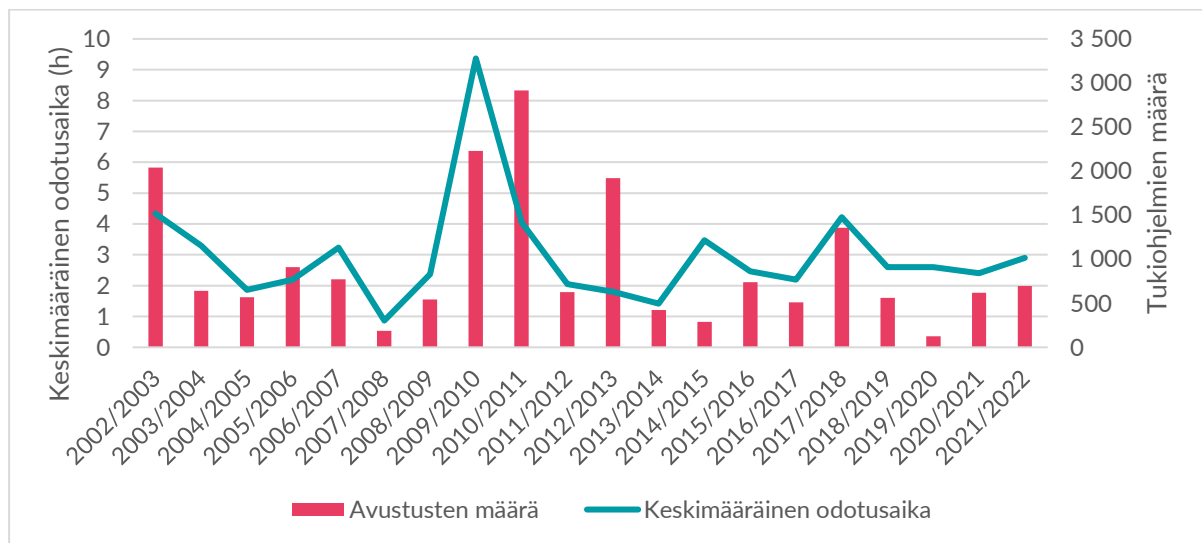
Karlsborgin ja Oulun välinen kauttakulkureitti pitenee noin 23 M, 79 M:stä noin 102 M:iin, eli noin 6 h 50 minuutista 8 h 50 minuuttiin.

Pidemmät kauttakulkureitit yhdistettynä pidempiin avustusetäisyyksiin ja tuulipuistosta johtuvaan avustusmäärän lisääntymiseen johtavat jäämurtajien käytön lisääntymiseen. Vaikeiden jääolosuhteiden aikana tämä voi johtaa siihen, että käytettävissä oleva jäämurtajakapasiteetti ei riitä ja alusten odotusaika on pitkä. Pitkien odotusaikojen oletetaan lisäävän törmäyksen todennäköisyyttä tuulipuiston kanssa.

Jäämurtajakapasiteetin käyttö vaihtelee suuresti vuosittain, ja vain suhteellisen lyhyinä ajanjaksoina jääolosuhteet ovat sellaiset, että Suomen ja Ruotsin jäämurtajakapasiteetti on maksimaalisesti käytössä. Kuva 5.9 on esitetty ruotsalaisten jäämurtajien suorittamien avustusoperaatioiden määrä vuosina 2002/2003–2021/2022. Määrä vaihtelee suuresti vuosittain. Talvella 2010/2011 jääolosuhteet

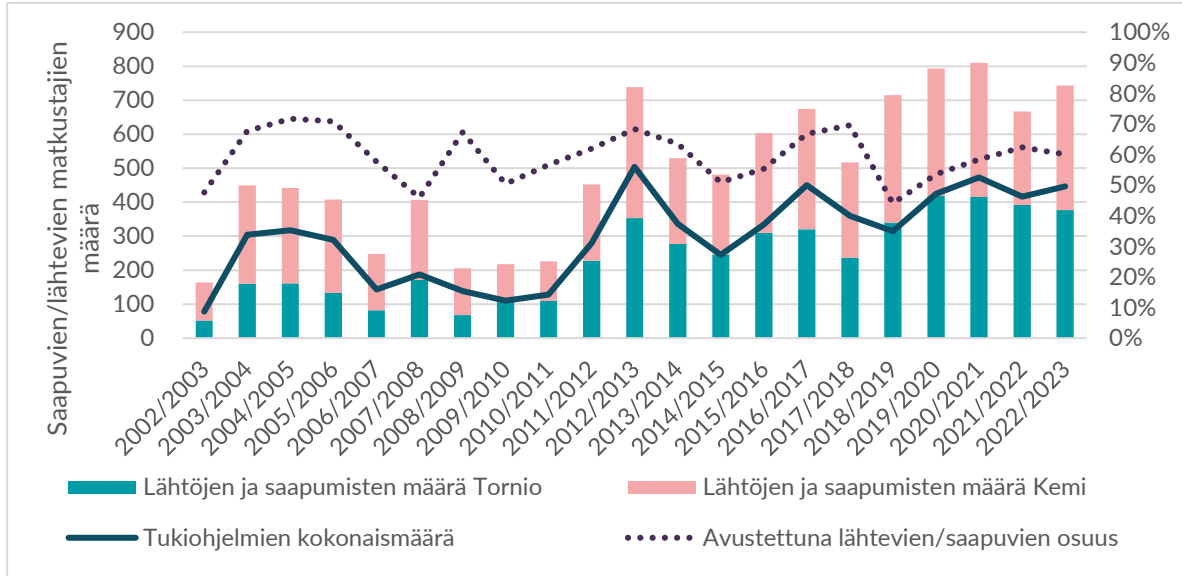
olivat vaikeat ja jäätä oli laajoilla alueilla Ruotsin rannikolla, minkä vuoksi avustusmäärä oli suurin kyseisellä ajanjaksolla, 2 914. Talvella 2009/2010 jäänmurtajien oli myös suoritettava poikkeuksellisen paljon avustusoperaatioita, 2 230 avustusoperaatiota. Talvella 2010/2011 keskimääräinen odotusaika oli 4 Talvimerenkulun tavoitteena on, että jäänmurtoapua odottavat alukset eivät saisi odottaa keskimäärin yli 4 tuntia. (Sjöfartsverket och SMHI, 2019).

Erittäin leuto jätälvi 2019/2020 merkitsi sitä, että 89 prosenttia aluksista saapui satamaan omin voimin tai niitä avustettiin ilman odotusaikaa satamiin tai satamista, joissa rajoituksia oli asetettu. Avustusta tarvitsevien alusten keskimääräinen odotusaika oli 2 tuntia 36 minuuttia (sama kuin edellisellä kaudella). Kauden aikana valtion jäänmurtajat auttoivat yhteensä 140 alusta (125) ja palkatut resurssit (15), mikä on alhaisin avustusten määrä sitten kauden 1991–1992. Joidenkin alueiden ajoittaiset ankarat jääolosuhteet saattavat kuitenkin johtaa jäänmurtajakapasiteetin riittämättömyyteen, vaikka olosuhteet olivat koko talven ajan suhteellisen leudot ja avustusten kokonaismäärä kauden aikana oli suhteellisen pieni. Kuva 5.9 osoittaa, miten avustusten määrä ja keskimääräinen odotusaika vaihtelivat.



Kuva 5.9 Ruotsalaisten jäänmurtajien suorittamien avustusoperaatioiden määrä ja keskimääräinen odotusaika 20 vuoden jaksolla 2002/2003–2021/2022. (Sjöfartsverket och SMHI, 2023).

Tuulivoimapuisto vaikuttaa ensisijaisesti Kemin ja Tornion laivaliikenteeseen. Kuva 5.10 on esitetty näihin satamiin saapuvien ja lähtevien alusten määrä ja se, kuinka moni niistä on tarvinnut apua 20 vuoden aikana 2002/2003 - 2021/2022.



Kuva 5.10 Kemin ja Tornion satamiin saapuvien ja lähtevien alusten määrä ja kuinka moni näistä on tarvinnut apua 20 vuoden aikana 2002/2003 - 2021/2022. Perustuu Liikenteen turvallisuusviraston (Väylä) tilastoihin.

Talvella (jäärarajoitusten aikana) keskimäärin 60 % Kemin ja Tornion satamiin ja satamista lähtevistä aluksista tarvitsi apua. Viimeisen kymmenen vuoden (2012/2013–2022/2023) keskimääräinen avustusten määrä on 391. Eniten avustuksia oli vuonna 2012/2013, 593 avustusta.

Jäänmurtajien apu on tärkein toimenpide merenkulun turvallisuuden ylläpitämiseksi jäisillä vesillä. Näihin satamiin ja satamista tulevaisuudessa tarvittavien avustusten määrä riippuu liikenteen kehityksestä ja tulevista jääolosuhteista, mutta tuulipuiston odotetaan lisäävän avustustarvetta nykyisestä.

Jäänmurtajien pidemmät etäisyydet ja mahdollisesti suurempi apu merkitsevät polttoaineen kulutuksen ja ilmapäästöjen lisääntymistä. Pitkät odotusajat alusten avustamiseen voivat myös aiheuttaa viivästyksiä ja haittaa liikenteelle ja satamille. Tämä vaikuttaa merenkulkuun, mutta viivästys ei sinänsä välttämättä merkitse merenkulun riskien lisääntymistä.

6 Riskinarviointi

6.1 Jäätömät olosuhteet

Lasketut karilleajon, törmäyksen ja törmäyksen todennäköisyydet koskevat jäätöntä tilannetta tuulipuiston kanssa ja ilman sitä. Näin ollen ne kuvastavat tuulipuiston mahdollista vaikutusta riskeihin kesällä ja osoittavat, missä kriittisimmät alueet voivat esiintyä.

Onnettomuuksien kokonaistodennäköisyys kesällä kasvaa tuulipuiston myötä. Ensisijaisesti siksi, että tuulipuisto tuo mukanaan uudenlaisen vaaratekijän, törmäyksen. Törmäys aiheuttaa 90 prosenttia onnettomuuksien kokonaistodennäköisyydestä tuulipuiston laskennassa. Tämä tarkoittaa, että onnettomuuksien/tapaturmien kokonaistodennäköisyys on 10 kertaa suurempi tapauksessa B, jossa on tuulipuisto tutkimusalueen mukaan, verrattuna tapaukseen A, jossa ei ole tuulipuistoa. Taulukko 6.1. Törmäyksen seuraukset ovat kuitenkin useimmissa tapauksissa huomattavasti lievemmat kuin törmäyksen, mikä tarkoittaa, että riskit, jotka ovat todennäköisyyden ja seurausten yhdistelmä, eivät kasva samassa määrin. Todennäköisyys törmätä johonkin tuulivoimalaan on myös huomattavasti taulukossa esitettyä pienempi, koska laskelmissa käytetty allisiotodennäköisyys liittyy vuorovaikutukseen tutkimusalueen kanssa eikä törmäykseen tutkimusalueella sijaitsevien yksittäisten voimaloiden kanssa.

Taulukko 6.1 Laskettujen todennäköisyyksien (tapaukset/vuosi) ja vastaavien palautumisaikojen (tapauksen väliset vuodet) vertailu tapauksessa ilman tuulipuistoa (A) ja tapauksessa, jossa tuulipuisto on mukana tutkimusalueen mukaan (B).

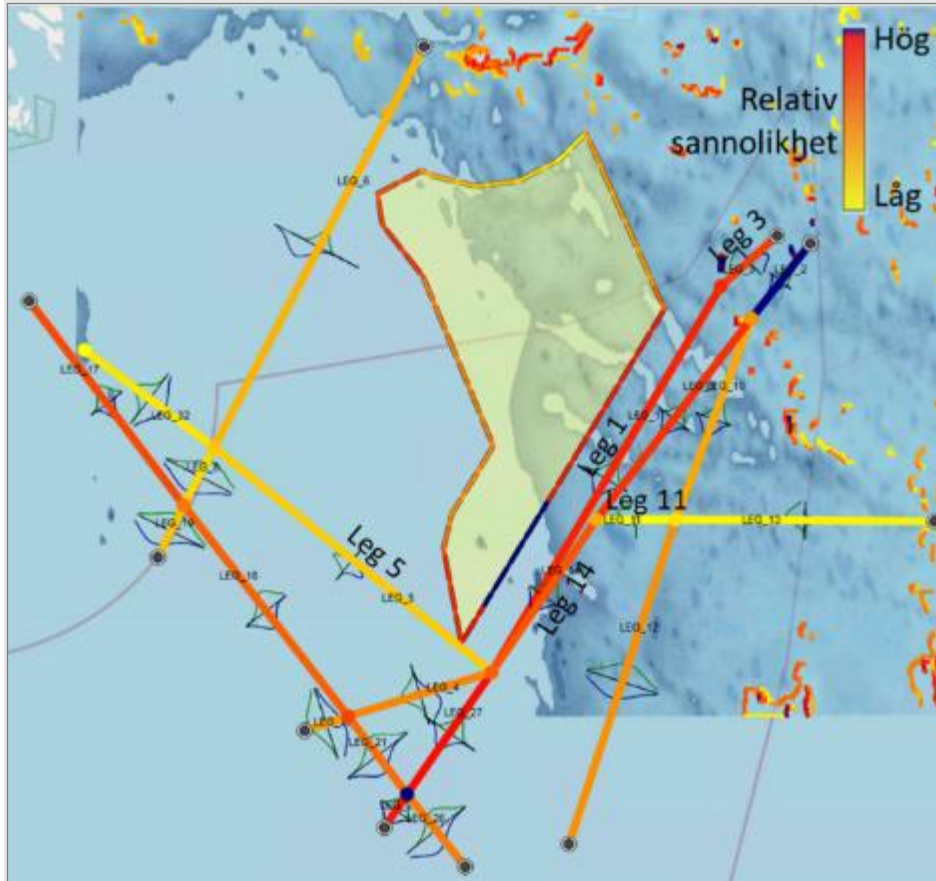
	A: Ilman tuulipuistoa Tapahtumat/vuosi Vuosi tapahtumien välillä		B: Tuulipuiston kanssa Tapahtumat/vuosi Vuosi tapahtumien välillä		Lisäys - tapaus B verrattuna tapaukseen A
Total Groundings	1,0E-03	959	1,1E-03	9094	-10
Total Allisions	---	---	1,3E-02	77	
Total Collisions	2,5E-04	3 932	3,2E-04	3 125	28%
Total incidents	1,3E-03	771	1,4E-02	71	977%

Laskelmat perustuvat koko vuotta vastaavaan liikenteeseen, ja laskentatulokset vastaavat näin ollen odotettua onnettomuustodennäköisyyttä, jos liikenne olisi jäätöntä ympäri vuoden. Arvioitu allisiotodennäköisyys $1,3 \times 10^{-2}$ tapausta/vuosi vastaa törmäystä, jonka odotetaan tapahtuvan kerran 77 vuodessa. Suurin osuus aiheutuu *drifting allision*, ja *powered allision* arvioitu todennäköisyys on vähäpätöinen *drifting allisioniin* verrattuna. Mallissa, jossa on mukana tuulipuisto, sivuttaisjakaumaa muutetuilla ja tuulipuiston lähellä kulkevilla *osuuksilla* on mukautettu ja vähennetty, koska näiden osuuksien liikenteen odotetaan sopeutuvan tuulipuistoon. Todellista sivuttaisjakaumaa näillä reiteillä ei voida määrittää etukäteen, koska ei ole mahdollista tietää yksityiskohtaisesti, miten liikenne sopeutuu ja järjestää reittinsä perustamisen jälkeen. Tämän vuoksi *powered allision* laskennalliseen todennäköisyyteen liittyy suuri epävarmuus.

Leg 3 vaikuttaa eniten *powered allision*, mikä johtuu pääasiassa siitä, että lounaaseen purjehtivat alukset suuntaavat kurssinsa kohti tuulipuistoa. Myös *osuudella 11* länteen suuntautuvilla aluksilla on "osoittava kurssi" kohti tuulipuistoa. Kesällä liikenne tällä reitillä on kuitenkin hyvin vähäistä, ja sen vuoksi arvioitu todennäköisyys, että *jalka 11* aiheuttaa *powered allision*, on häviävän pieni. Mallissa Leg 5 on lähellä eteläkärkeä, mikä lisää osaltaan *powered allision* arvioitua todennäköisyyttä, ks. seuraavaa. Kuva 6.1.

drifting allision todennäköisyys johtuu pääasiassa siitä, että alusten oletetaan kulkevan suhteellisen lähellä tuulipuiston kaakkoispuolta pitkän matkan ajan. Liikenteen osuus *ajelehtivästä törmäyksestä* on

suurin *osuudella 1 ja 14*, koska liikenne näillä *osuuksilla* kulkee tuulipuiston lähellä pitkän matkan ajan. Jos näillä osuuksilla liikennöivillä aluksilla on blackout-tilanne tai ne menettävät muulla tavoin ohjattavuutensa ja alkavat ajelehtia kohti tuulipuistoa, niillä on vain vähän aikaa korjata ongelma tai ankkuroitua hätäankkuriin.



Kuva 6.1 Jalka 1 ja jalka 14 vaikuttavat arviolta eniten drifting allision todennäköisyyteen. Moottorikäyttöisen törmäyksen todennäköisyys johtuu ensisijaisesti osuudella 3 tapahtuvasta liikenteestä, sillä lounaaseen suuntautuvat alukset kulkevat kohti tuulipuistoa. Myös osuuden 5 liikenne vaikuttaa osaltaan powered allision todennäköisyyteen.

Perustamisen jälkeen osa Kemi 1:n länsipuolella nykyisin kulkevista aluksista voi valita itäisen väylän sen sijaan, että ne välttäisivät ylimääräisen kääntopaikan Polargrundin eteläkärjen itäpuolella. Tämä koskee lähinnä pienempiä aluksia, koska itäisen väylän syvyys on pienempi. On kuitenkin epävarmaa, missä määrin näin tapahtuisi, ja tästä syystä tällaista liikenteen "siirtymistä" läntiseltä väylältä ja läntiseltä reitiltä itäiselle väylälle ja itäiselle reitille ei ole mallinnettu IWRAPissa. Jos IWRAP-ohjelmassa tehdään tällainen "siirto", voidaan olettaa, että sekä *drifting* että *powered allision* laskennalliset todennäköisyydet pienenevät.

Minkä tahansa törmäystyyppin todennäköisyyden arvioidaan kasvavan 29 prosenttia tapauksessa, jossa on tuulivoimapuisto, verrattuna tapaukseen, jossa ei ole tuulivoimapuistoa, ks. Taulukko 6.2. Törmäyksen todennäköisyys mallinnetulla alueella on kuitenkin pieni ilman tuulipuistoa, ja törmäyksen odotetaan tapahtuvan kerran noin 4 000 vuodessa tapauksessa A. Tapauksessa B, jossa on tuulipuisto, törmäyksen odotetaan tapahtuvan kerran noin 3 000 vuodessa. *Risteävän törmäyksen* todennäköisyys ja *Head-On-törmäys* vaikuttavat eniten törmäyksen kokonaistodennäköisyyteen tapauksessa A. Tapauksessa B *Head-On-törmäyksen* todennäköisyys kasvaa noin 40 prosenttia, koska sivuttaishajonta pienenee useilla kaistoilla tuulipuiston perustamisen seurauksena ja koska liikenne keskittyy harvemmillä kaistoille. *Bend-* ja *overtaking collision* todennäköisyyden odotetaan myös kasvavan, kun tuulipuisto otetaan käyttöön, mutta vielä pienemmältä tasolta. *Crossing collision* todennäköisyys liittyy

ensisijaisesti siihen kohtaan, jossa Kemin/Tornion ja pohjoisen Merenkurkun välinen liikenne ylittää Luulajan ja Oulun välisen reitin. Tuulivoiman perustaminen ei vaikuta tämän kohdan liikenteeseen, joten *crossing collision* todennäköisyys pysyy lähes ennallaan.

Taulukko 6.2 Arvioitujen törmäystodennäköisyyksien (tapaukset/vuosi) ja vastaavien toistumisaikojen (tapausten väliset vuodet) vertailu tilanteessa ilman tuulipuistoa (A) ja tuulipuiston kanssa (B).

	A: Ilman tuulipuistoa Tapahtumat/vuosi Vuosi tapahtumien välillä		B: Tuulipuiston kanssa Tapahtumat/vuosi Vuosi tapahtumien välillä		Lisäys - tapaus B verrattuna tapaukseen A
Overtaking	2,0E-05	48 823	3,0E-05	33 511	49%
HeadOn	9,7E-05	10 318	1,4E-04	7 383	40%
Crossing	1,1E-04	9 454	1,0E-04	9 554	-5%
Merging	5,6E-06	178 009	5,4E-06	186 773	-4%
Bend	2,6E-05	39 148	4,8E-05	21 040	83%
Total collisions	2,5E-04	3 932	3,2E-04	3 098	29%

Koska arvioitujen todennäköisyyksien ero on lähes muuttumaton, kun tuulipuisto otetaan käyttöön, karilleajon riskin ei odoteta lisääntyvän merkittävästi. Liikenteen intensiteetti mallinnetulla alueella on alhainen, mikä tarkoittaa, että törmäyksen todennäköisyys on pieni. Tuulipuiston arvioidaan lisäävän törmäystodennäköisyyttä $7,3 \times 10^{-5}$ tapausta/vuosi, mikä vastaa 29 prosentin kasvua. Kun otetaan huomioon, että törmäyksen seuraukset voivat olla vakavia, tämä tarkoittaa, että riski kasvaa merkittävästi. Lisäystä ei kuitenkaan pidetä niin suurena, että sitä voitaisiin pitää ratkaisevana siihen, että törmäysriski muuttuisi hyväksyttävästä hyväksyttäväksi kelpaamattomaksi.

Monissa yhteyksissä käytetään logaritmista asteikkoa todennäköisyyksien indeksoimiseksi riskinarvioinneissa. Taulukko 6.3 on käytetty kuusiportaista asteikkoa havainnollistamaan, miten laskettuja todennäköisyyksiä voidaan yleensä arvioida. Asteikko on pitkälti samanlainen kuin se, jota on ehdotettu ja havainnollistettu asiakirjassa *Revised guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the imo rule-making process (IMO, 2018)*. Törmäyksen seurausten oletetaan olevan vakavampia kuin sekä *powered* että *drifting allision* ja *powered allisionilla* oletetaan olevan vakavimmat seuraukset kuin *drifting allisionilla*. Tästä syystä törmäyssarake on sijoitettu äärimmäiseen oikeaan reunaan riskimatriisissa, jossa seuraukset kasvavat vasemmalta oikealle. Koska todellisia seurauksia ei kuitenkaan ole arvioitu, seurauksia ei voida luokitella millään asteikolla, eikä taulukko näin ollen ole todellinen 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. Siniset ristit osoittavat arvioidun todennäköisyyden tapauksessa A, jossa ei ole tuulipuistoa. Mustat ristit osoittavat arvioidun todennäköisyyden tapauksessa B, jossa on tuulipuisto.

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: $1,3 \times 10^{-2}$		
Låg sannolikhet	$10^{-3} \leq p < 10^{-2}$	3 - en gång på 1 000 år			
Mycket låg sannolikhet	$10^{-4} \leq p < 10^{-3}$	2 - en gång på 10 000 år			✳ Fall B: $3,2 \times 10^{-4}$ ✳ Fall A: $2,5 \times 10^{-4}$
Extremt låg sannolikhet	$p < 10^{-4}$	1 - en gång på 100 000 år eller mer sällan		✳ Fall B: $3,2 \times 10^{-5}$	

Konsekvenser

Seuraavassa olevan asteikon mukaan Taulukko 6.3 *drifting allision* todennäköisyys arvioidaan keskiuureksi (4). Laskettu todennäköisyys viittaa kuitenkin todennäköisyyteen, että alukset ajautuvat tuulipuistoalueelle. Todellisen törmäyksen todennäköisyys on siten pienempi kuin taulukossa on esitetty. Todennäköisyys *törmätä* tuulipuistoon *moottorin avulla* on asteikon mukaan erittäin pieni (1). Vaikka törmäystodennäköisyys kasvaa tuulipuiston kohdalla, todennäköisyys arvioidaan edelleen erittäin pieneksi taulukon asteikon mukaan.

6.2 Talvimerenkulku

Yleisesti ottaen riskit ovat talvella suuremmat kuin kesällä, koska jää pahentaa tilannetta. Tätä tukevat myös alueen onnettomuustilastot, jotka osoittavat, että suurin osa alueella ilmoitetuista törmäyksistä on tapahtunut jääaikana.

Tuulipuisto vaikuttaa talvimerenkulkuun. Ensisijaisesti se vaikuttaa Kemin ja Tornion satamien liikenteeseen. Myös jäänmurtajien toimintaan on vaikutuksia, sillä ne eivät voi enää liikennöidä tuulipuistoalueen kautta kulkevilla reiteillä. Vaikutusten laajuus vaihtelee eri olosuhteissa. Vaikutuksen reittien valintaan odotetaan olevan suurin skenaariossa 1 - pohjoistuuli ja skenaariossa 3 - länsituulet. Näissä skenaarioissa Ruotsin rannikolla esiintyy usein kaarenmuotoista myrskyä, ja laivaliikenne valitsee tällöin suurelta osin reitin tämän jäättömän alueen kautta. Tuulipuisto sijaitsee aallonmurtajan alueella ja tukkisi siten reitit aallonmurtajan läpi ja pakottaisi merenkulun käyttämään muita, vaikeampia reittejä jään läpi. Tuulivoimatilastojen perusteella oletetaan, että skenaariot 1 ja 3 kattavat yhdessä 40 prosenttia talvikaudesta eli 48 päivää. Skenaariokuvat ja AIS-tiedot osoittavat kuitenkin, että laivaliikenne ei aina käytä Ruotsin rannikkoa pitkin kulkevia reittejä silloin, kun tuulee pohjoisesta tai lännestä, vaan myös muut olosuhteet vaikuttavat reitin valintaan. Kaiken kaikkiaan skenaarion 2 - etelätuulet arvioidaan aiheuttavan suurimman riskin lisäyksen, koska sen oletetaan olevan yleisin skenaario ja koska etelätuulet merkitsevät, että tuulipuiston kaakkoispuolella kulkevat alukset ajautuvat kohti tuulipuistoa, jos ne juuttuvat jäähän, ja näin ollen törmäysriski on olemassa. Sitä, missä määrin riskit lisääntyvät talvella, ei voida määrittää, koska eri skenaarioiden todennäköisyys vaihtelee suuresti eri jääolosuhteiden mukaan, ja jääolosuhteet vaihtelevat vuosittain.

Törmäysriskin vuoksi ja kun laivaliikenne joutuu tuulipuiston vuoksi kulkemaan vaikeampia reittejä jään läpi, jäänmurtajien avun tarve kasvaa hyvän meriturvallisuuden varmistamiseksi. Viimeisten 20 vuoden aikana keskimäärin 60 prosenttia Kemin ja Tornion satamiin ja satamista tulevista ja lähtevistä aluksista on tarvinnut jäänmurtaja-apua. Laitoksen perustaminen saattaa lisätä apua tarvitsevien alusten osuutta, mutta sen laajuus on epävarmaa.

Itse tuulipuiston aiheuttamia lisäriskejä, lähinnä törmäysriskiä, vähennetään lisäämällä alueen kautta kulkevien alusten määrää. Lisääntyvä avustustarve voi kuitenkin johtaa kapasiteetin puutteeseen. Viime vuosien avustusten määrää ja odotusaikoja koskevat tilastot osoittavat suuria vaihteluita, ja vain muutamana talvena ruotsalaiset jäänmurtajat ovat suorittaneet yli 2 000 avustusta. Tavoite, jonka mukaan keskimääräinen odotusaika saa olla enintään 4 tuntia, on ylitetty neljänä viimeisestä 20 talvesta. Nykyisellä jäänmurtajakapasiteetilla voidaan olettaa, että tuulipuisto lisää niiden talvien osuutta, jolloin tavoite ei täyty.

Tuulipuiston lisäksi myös muut olosuhteet vaikuttavat kuitenkin siihen, tarvitaanko tulevaisuudessa jäänmurtaja-apua. Ennusteiden mukaan esimerkiksi jää on tulevaisuudessa vähemmän ja talvet ovat leudompia. Jäänmurtaja-avun tarpeeseen voivat vaikuttaa myös sellaiset tekijät kuin mahdolliset muutokset tulevassa vetoisuudessa. Sekä Suomi että Ruotsi ovat parhaillaan uusimassa jäänmurtajalaivastojaan, ja uudet jäänmurtajat pystyvät rikkomaan laajempia väyliä. Näin ne voivat avustaa suurempia ja laajempia aluksia.

Jos Perämeren liikenne kehittyy kohti uusia suurempia laivoja, jotka on tarkoitettu palvelemaan näitä alueita, voidaan olettaa, että nämä alukset suunnitellaan siten, että ne toimivat hyvin jäässä ja että niiden jääluokka on korkea. Tästäntyyppinen uusi tonnisto voi selviytyä suuremmassa määrin ilman apua tai tarvita apua lyhyemmällä matkoilla kuin nykyiset pienemmät tonnistot. Wallenius SOLin uusia aluksia Botnia Enabler ja Baltic Enabler voidaan pitää esimerkkeinä tällaisesta kehityksestä, jossa uusia suurempia aluksia, joilla on korkea jääluokka, otetaan käyttöön Perämerellä. Jos liikenteen intensiteetti alueella kuitenkin kasvaa tulevaisuudessa ja alueen satamiin suuntautuvien käyntien määrä kasvaa, se merkitsee sekä suurempaa törmäystodennäköisyyttä että lisääntyvää jäänmurtajakapasiteetin tarvetta.

Laivaväylien ja tuulipuistojen välisiä turvaetäisyyksiä koskevia suosituksia ja ohjeita ei katsota sovellettaviksi, kun alueella on jäätä, koska liikenne ei noudata tavanomaisia suoria laivaväyliä vaan parasta reittiä vallitsevissa jääolosuhteissa.

Pienin etäisyys tuulipuistoon, jota voidaan pitää turvallisena, riippuu suuresti vallitsevista jääolosuhteista, tuulen suunnasta ja ajasta, jonka kuluessa jäänmurtaja voi saapua apuun, jos alus juuttuu jäähän. Kun aluksia avustetaan tuulipuiston ohi, *ajelehtimisen* riski on käytännössä *poissa*, joten ne voivat kulkea turvallisesti huomattavasti pienemmältä etäisyydeltä kuin alukset, joita ei avusteta. Ruotsin ja Suomen jäänmurtajien johto ohjaa jo nyt liikennettä jääkauden aikana osoittamalla reittipisteitä, jotka osoittavat parhaan/suosittelun reitin jään läpi. Perustamisen jälkeen on otettava huomioon myös tuulipuisto ja törmäysriski. Jäänmurtajien johto määrittelee näin ollen suurelta osin sen etäisyyden, jonka alukset kulkevat tuulipuistosta, ja se perustuu senhetkisen jäätilanteen arviointiin.

Talvella havaittujen riskien todennäköisyyksiä tai seurauksia ei voida kvantifioida, eikä riskinarviointi todennäköisyyden ja seurausten kvantitatiivisen punninnan avulla ole näin ollen mahdollista. Laadulliset arviot osoittavat kuitenkin, että riskit kasvavat tuulipuiston käyttöönoton myötä, vaikka jäänmurtajakapasiteettia vahvistettaisiinkin. Riskit kasvavat ensinnäkin siksi, että laivaliikenteen käytettävissä oleva tila pienenee, mikä tarkoittaa, että joissakin tapauksissa on käytettävä huonompia reittejä jään läpi ja että alukset saattavat joutua kulkemaan lähellä tuulipuistoa, jolloin törmäysriski kasvaa, koska tilaa on vähän.

7 Riskien lieventämistoimenpiteet

Hazid-työpajassa määriteltiin myös riskien vähentämistoimenpiteitä joidenkin vaarojen osalta. Seuraavassa esitetään toimenpiteet, joiden katsotaan vähentävän kriittisimmiksi osoittautuneiden vaarojen todennäköisyyttä tai lieventävän niiden seurauksia.

7.1 Vähennetty alue etelässä

Tuulipuiston odotetaan lisäävän jäänmurtajien avustuspalvelujen tarvetta ja aiheuttavan pidempiä matkoja jäänmurtajien avustuspalveluihin ja pidempiä kauttakulkumatkoja jäänmurtajille. Kaiken kaikkiaan tämän voidaan olettaa lisäävän jäänmurtajien kapasiteetin käyttöastetta ja johtavan apua tarvitsevien alusten pidempiin odotusaikoihin. Jos eteläosa poistetaan, laajennukset olisivat huomattavasti pienempiä kuin tutkimusalueella, mikä vähentäisi laivaliikenteen pitkiin odotusaikoihin liittyviä riskejä. Se voisi myös vähentää todennäköisyyttä, että monet alukset joutuisivat odottamaan apua samalla alueella, ja parantaa mahdollisuuksia välttää alueella odottavia aluksia risteävän alusliikenteen osalta.

Myös *drifting allision* todennäköisyys pienenee, jos aluetta pienennetään etelässä, koska etäisyys, jolla alukset ovat vaarassa ajautua tuulipuistoon, pienenee. Myös *powered allision* todennäköisyys voi jossain määrin pienentyä, kun ulkoneva osa katoaa. Ensisijaisesti siksi, että esimerkiksi Luulajan ja Kemlin välinen laivaliikenne ohittaa kulman suuremmalla etäisyydellä.

Etelän suunnan supistaminen vähentäisi myös Kemi/Torneå - Skellefteå ja Kemi/Torneå - Luulaja -välillä tapahtuvia reitin pidennyksiä.

Merenkulkuun kohdistuvien riskien ja vaikutusten vähentämiseksi Skyborn on päättänyt, että tuulivoimapuiston eteläinen osa peruutetaan, jolloin tuulivoimapuiston alue pienenee uudeksi pienemmäksi hankealueeksi (ks. Kuva 1.1Liitteessä RE20221614-01-01-C *Laskelmat ja arviointi pienennetyistä alueesta* esitetään arvio siitä, miten pienentäminen vaikuttaa riskeihin, sekä onnettomuustodennäköisyyksien laskelmat uudelle hankealueelle.

7.2 Laivaväylien ja tuulipuiston välisen etäisyyden kasvu

Useat havaituista riskeistä johtuvat siitä, että tuulipuiston ja kaakkoispuolella sijaitsevan laivaliikenteen välinen etäisyys on pieni. Pohjoisessa etäisyys nykyiseen laivaväylään, jolla kulkee liikenne Kemi/Tornio ja Merenkurkun välillä, on noin 0,7 m. Tuulivoimapuiston kaakkoispuoli ei ole samansuuntainen kuin laivaväylä, ja etelässä selvitysalue on nykyisen laivaväylän kanssa päällekkäin. Selvitysalueen pienentäminen etelässä kohdan mukaan 7.1 tarkoittaa sitä, että alue ei ole päällekkäinen nykyisen laivaväylän kanssa ja että monien laivaväylän ja tuulipuiston väliseen pieneen etäisyyteen liittyvien tunnistettujen riskien todennäköisyys vähenee.

Alusliikenteen on mukautettava reittejään perustamisen jälkeen, vaikka hankealuetta supistettaisiinkin. Selvitysalueelle tehdyissä laskelmissa kaakkoispuolen laivaliikenne on mallinnettu kulkemaan noin 1 M:n etäisyydeltä, mikä merkitsee kuitenkin uutta kääntöpaikkaa läntistä väylää käyttävälle liikenteelle Kemi/Tornion suuntaan.

Laivaliikenteen ja tuulivoimapuiston välisen etäisyyden kasvattamiseksi on tunnistettu kolme eri tapaa:

- Mahdollisesti voitaisiin käyttää opasteita, poijuja tai muita SSA-järjestelmiä ohjaamaan liikennettä kulkemaan kauempana tuulivoimapuistosta, mikä voisi vähentää *drifting allision* todennäköisyyttä. Tämä johtaisi todennäköisesti jonkinasteiseen liikenteen ahtauteen ja siten törmäystodennäköisyyden kasvuun. Talvella reitinvalinta määräytyy kuitenkin pääasiassa jääolosuhteiden perusteella, jolloin merkinanto ei ole yhtä tärkeää.
- Nykyisin sekä Kemi 1:n läntistä että itäistä väylää käyttää laivaliikenne Kemiin ja Tornioon. Itäistä väylää käyttävät alukset kulkevat noin 1,2 M etäisyydeltä tai kauempaa. On todennäköistä, että osa

nykyisin läntistä väylää käyttävästä liikenteestä valitsee perustamisen jälkeen itäisen väylän voidakseen kulkea noin 1,2 M etäisyydeltä ja välttääkseen ylimääräisen kääntöpaikan. Kaikki liikenne ei kuitenkaan voi käyttää itäistä väylää, koska sen syväys on pienempi. Jos voidaan toteuttaa toimenpiteitä, jotta kaikki liikenne voi käyttää itäistä väylää, voidaan säilyttää 1,2 M turvaetäisyys etelässä ja noin 2,4 M turvaetäisyys pohjoisessa. Tämä vähentäisi kaakkoispuolella *tapahtuvien törmäysten* todennäköisyyttä ja koilliskulmassa tapahtuvien *moottorilla* tapahtuvien *törmäysten* todennäköisyyttä. Myös *kaarteisiin törmäyksen* todennäköisyys pienenesi jonkin verran, koska länsiväylällä muuten kulkevan liikenteen kääntymiskohta poistuu.

- Tuulipuiston laajuuden pienentäminen kaakossa lisäisi etäisyyttä nykyiseen laivaväylään ja siten turvaväliä ilman ylimääräistä kääntöpaikkaa. Tämä pienentäisi kaakkoisväylällä *ajelehtivien törmäysten* todennäköisyyttä ja Kemi 1:n ja pohjoisen Merenkurkun välisen liikenteen *mutkakolarin* todennäköisyys peruuntuu. Tämä voisi myös jossain määrin parantaa olosuhteita talvella, koska tuulipuisto tukkisi silloin hieman pienemmän alueen talvimerenkululle.

7.3 Jäänmurtajakapasiteetin lisääminen

Monia talviaikaisia riskejä voidaan vähentää tai rajoittaa tarjoamalla jäänmurtaja-apua tuulipuiston ohi kulkeville aluksille. Tuulivoimapuisto merkitsee tällöin jäänmurtajien käytön lisääntymistä, mikä voi ajoittain johtaa kapasiteetin puutteeseen ja pidempiin odotusaikoihin. Pitkät odotusajat merkitsevät myös suurempaa todennäköisyyttä törmätä tuulipuistoon, ja alukset voivat juuttua jäihin. Perämeren jäänmurtajalaivaston vahvistaminen voi vähentää kapasiteettivajeen todennäköisyyttä ja luoda edellytykset sille, että useampia aluksia voidaan avustaa pidemmillä etäisyyksillä, kun Perämerelle perustetaan tuulipuistoja.

7.4 Muut tunnistetut riskinhallintatoimenpiteet

Edellä mainittujen riskinhallintatoimenpiteiden lisäksi on yksilöity muita toimenpiteitä. Taulukko 7.1 esitetään toimenpiteet, joita nykyiset säädökset ja viranomaisvaatimukset edellyttävät ja jotka näin ollen toteutetaan. Taulukko 7.2 esitetään tunnistetut toimenpiteet, joilla voi olla riskiä vähentävä vaikutus ja jotka otetaan huomioon myöhemmissä suunnitteluvaiheissa ja riskianalyseissa.

Taulukko 7.1 Vaadittavat riskinhallintatoimenpiteet ja toteutettaviksi suunnitellut toimenpiteet sekä näiden toimenpiteiden odotetut vaikutukset.

Vaaditut toimet	Odotettu vaikutus
Toimintavaihe	
Tuulivoimapuiston merkinnät tehdään TSFS 2017:66:n mukaisten nykyisten suositusten mukaisesti. (Transportstyrelsen, 2017)	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 täytäntöönpano	Kehitetään ennen käyttöönottoa. Auttaa minimoimaan onnettomuuden seuraukset.
Rakennusvaihe	
Tiedottaminen meneillään olevista töistä Ufs/ Notice to Mariners, navigointivaroitukset/NAVTEX, merkinnät merikarttoihin jne. välityksellä.	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	
Kun tuulivoimapuisto on rakennettu ja otettu käyttöön, kartoitetaan ja arvioidaan alusten mahdolliset tutkahäiriöt. Tarvittaessa voidaan toteuttaa riskinhallintatoimenpiteitä saatavilla olevan tekniikan avulla.	Vähentää mahdollisten tutkahäiriöiden vaikutuksia, mikä voi vähentää pienempien alusten/kalastusalusten ja laivaväyliä kautta kulkevien alusten välisten 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 laivaväyliä kautta kulkevien alusten välisten yhteentörmäysten todennäköisyyttä.
Tuulivoimalat on varustettu racon- ja/tai virtuaalisella AIS-järjestelmällä.	Työt voivat sitten tarjota vaihtoehtoisia navigointiapuvälineitä. Ne voivat yksinkertaistaa navigointia ja mahdollisesti vähentää tutkahäiriöiden vaikutuksia. Voidaan vähentää <i>powered allision</i> todennäköisyyttä ja mahdollisesti pienempien alusten/kalastusveneiden ja laivaväylillä kulkevien alusten välisten törmäysten todennäköisyyttä.
Suunnittelussa on pyritty sijoittamaan työt suoraviivaisesti puiston kaakkoispuolelle.	Mahdollistaa liikenteen rinnakkaisindeksien käytön, jolloin tuulivoimalat voivat tarjota navigointiapua. Voi vähentää <i>moottoroidun törmäyksen</i> todennäköisyyttä ja mahdollisesti vähentää törmäysten todennäköisyyttä.

Tuulivoimaloiden sijoittamista alueen koilliskärkeen vältetään.	Lisää tilaa Kemin/Tornion suunnasta läntisen väylän kautta lähteville aluksille, jonka suunta on kohti tuulipuiston koilliskulmaa. Vähentää <i>moottoroidun törmäyksen</i> todennäköisyyttä.
Tuulipuisto tarkoittaa, että huolto- ja kunnossapitoalueet tulevat käymään alueella ja pysymään siellä. Ne voivat auttaa mahdollisissa meripelastustoimissa.	Voi vähentää töiden vaikutusta pelastustoimintaan.
Tuulivoimaloiden sijoittelua määritettäessä pyritään sijoittamaan tuulivoimalat 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 öljyntorjuntakalustoa voi olla saatavilla lähellä/käyttökeskuksessa.	Vähentää rannikkovartiostolle aiheutuvia monimutkaisia seurauksia, jos tuulipuistossa tapahtuu öljyvahinko.
Tuulivoimalat on varustettu roottorin lapojen <i>jäänesto-</i> tai <i>jäänpoistojärjestelmillä</i> .	Vähentää roottorin lapojen jäätyminen todennäköisyyttä ja siten jään heittämisen todennäköisyyttä.
Rakennusvaihe	
Alueen lisämerkintä poijuilla/erikoismerkeillä.	Selkeyttää tuulipuistoalueen rajaa ja aluetta, jolla töitä tehdään. Vähentää todennäköisyyttä <i>törmätä moottorilla</i> rakenteilla oleviin töihin ja todennäköisyyttä törmätä työaluksiin.
Työalusten/työalusten työvalojen suojaaminen reiteiltä.	Vähentää alusliikennettä häiritsevää vaikutusta ja voi auttaa vähentämään vaikutuksia, jotka liittyvät muiden alusten vaikeaan havaitsemiseen.
Työmaalle ja työmaalta tulevan liikenteen hallinta.	Muuta liikennettä koskevien tietojen avulla alueelle tulevaa ja sieltä lähtevää liikennettä voidaan ohjata ylittämään laivaväylä siten, että vaikutus muuhun liikenteeseen on mahdollisimman vähäinen. Voidaan auttaa vähentämään rakennusalueiden ja muun liikenteen välisen törmäyksen todennäköisyyttä.

Edellä mainittujen toimenpiteiden mahdollisuuksia vähentää analysoituja riskejä on vaikea arvioida määrällisesti, joten niitä ei voitu määrittää. Toimenpiteet, joihin liittyy navigoinnin parantaminen, voivat vähentää *moottorilla tapahtuvan yhteentörmäyksen* todennäköisyyttä ja mahdollisesti auttaa vähentämään hieman yhteentörmäysten todennäköisyyttä. Minkään toimenpiteen ei kuitenkaan arvioida vähentävän *drifting allision* todennäköisyyttä.

8 Epävarmuus ja herkkyysanalyysi

8.1 Tuleva liikenteen intensiteetti

Suunnitellun tuulivoimapuiston läheisyydessä sijaitsevien reittien liikennemäärät ovat tällä hetkellä taulukossa 1.2 esitetyn luokittelun mukaan hyvin vähäisiä. Tuulivoimapuiston toimintavaiheeseen asti ja sen aikana mahdollisesti tapahtuvan liikenteen lisääntymisen määrä on kuitenkin epävarma. 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.

8.2 Tulevat liikennemallit

Tuulipuisto muuttaa liikennemuotoja, sillä joidenkin alusten on käytettävä nykyisestä poikkeavia reittejä välttääkseen tuulipuiston ohittamisen. Laskelmissa on oletettu, että muuttuneita reittejä varten on luotu uusia kääntöpaikkoja, mutta niiden todellisesta sijainnista ei ole varmuutta. Niiden sijainti vaikuttaa törmäystodennäköisyyteen, ensisijaisesti *powered allision* todennäköisyyteen.

Liikenteen odotetaan sopeutuvan kulkemaan turvallisen etäisyyden päässä tuulipuistosta, mutta tuulipuiston lähellä kulkevien osuuksien osalta on epävarmuutta liikenteen jakautumisesta sivusuunnassa. Tuulipuiston lähellä kulkevien osuuksien liikenteen sivuttaisjakaumalla on suuri merkitys *powered allision* laskennallisen todennäköisyyden kannalta. Koska sivuttaisjakautuma on epävarma, myös *powered allision* laskettuun todennäköisyyteen liittyy epävarmuutta.

Laskelmissa ei ole oletettu liikenteen siirtymistä läntiseltä väylältä itäiselle väylälle Kemi 1:n kohdalla. Osa nykyisin läntistä väylää käyttävästä liikenteestä saattaa kuitenkin käyttää itäistä väylää perustamisen jälkeen, koska se mahdollistaa tuulivoimapuiston ohittamisen ilman ylimääräistä kääntöpaikkaa. On kuitenkin epävarmaa, kuinka suuri tällainen mahdollinen siirtymä voisi olla.

8.3 IWRAP

IWRAP-laskelmat perustuvat ennalta määritettyihin *syy-yhteystekijöihin*. Laskentatulokset ovat suoraan riippuvaisia näistä tekijöistä, ja tulokset vaihtelevat suoraan suhteessa niihin.

I Taulukko 8.1 esitetään suoritetuissa laskelmissa käytetyt *syy-yhteystekijät*.

Taulukko 8.1 IWRAP:n ennalta määritetyt syy-yhteysluvut, joita käytetään nykyisissä laskelmissa.

	Syy-yhteys
Merging	1,3E-4
Crossing	1,3E-4
Bend	1,3E-4
Head-on	0,5E-4
Overtaking	1,1E-4
Powered grounding	1,6E-4
Powered allision	1,6E-4

Drifting allisionin osalta IWRAP-laskelmat perustuvat matkustaja- ja Ro-Ro-alusten osalta 0,7:ään laivavuotta kohti ja muiden alustyyppien osalta 1,75:een laivavuotta kohti. Laskelmissa käytetään myös Weibull-jakaumaa, joka kuvaa *itsekorjausajoja* sähkökatkon varalta, onnistuneiden ja epäonnistuneiden hätäankkurointiyritysten osuutta (0,7), ankkuroidentekijä (enimmäissyvyys: 7 kertaa aluksen suunniteltu syväys ja ankkuroidentekijä vähimmäisetäisyys maasta: 3 kertaa aluksen pituus) sekä ajosuuntaa (tässä tapauksessa mukautettu vastaamaan paikallisia tuuliolosuhteita, joissa vallitsee länsi-

lounaissuunta) ja keskimääräistä ajovirtausnopeutta (1 solmua) kuvaavaa funktiota. Arvot ovat yleisiä oletusarvoja, eikä niiden voida olettaa edustavan täysin kyseistä aluetta. Niiden katsotaan kuitenkin olevan riittävän tarkkoja, jotta niitä voidaan soveltaa näihin laskelmiin.

Laskelmat on tehty tuulipuiston mahdollisten vaikutusten arvioimiseksi, eikä laskettuja todennäköisyyksiä pidä pitää todellisina arvoina. Laskemalla onnettomuustodennäköisyydet tuulivoimapuiston kanssa ja ilman tuulivoimapuistoa sekä eri liikenneskenaarioiden osalta katsotaan kuitenkin olevan mahdollista vertailla eri skenaarioita ja siten analysoida tuulivoimapuiston 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.

8.4 Jääolosuhteet ja vuosien väliset vaihtelut

Talviaikaisia riskejä koskevia todennäköisyyslaskelmia ei voitu tehdä, koska IWRAP-ohjelmaa ei sovelleta silloin, kun jää vaikuttaa merenkulkuun. Merenkulun riskeihin talvella liittyy huomattavaa epävarmuutta, koska merituulivoimapuistoista ei ole kokemuksia alueilta, joilla jäätä esiintyy talvella.

Talviset vaarat vaihtelevat myös suuresti senhetkisten jääolosuhteiden mukaan. Erityyppisten vaaratilanteiden todennäköisyys (vaaratilanteet/vuosi) vaihtelee vuosittain jään laajuudesta, jäätalven pituudesta ja muista jääolosuhteisiin vaikuttavista säätekijöistä riippuen.

Ilmastonmuutos lisää epävarmuutta ennustuksiin tulevista jäätalvista sekä ankarien ja leutojen jäätalvien esiintymisestä.

9 Päätelmät

Kyseisellä alueella on vain vähän selkeästi määriteltyjä laivaväyliä, ja suunniteltu tuulipuisto vaikuttaa pääasiassa vain Kemin/Tornion ja pohjoisen Merenkurkun väliseen väylään. Liikenteen intensiteetti tällä reitillä on luokiteltu hyvin vähäiseksi, noin 1 000 laivavuoroa vuodessa. Tuulivoimapuiston laajuus on osittain nykyisen reitin päällä, ja tämän reitin liikenteen on mukautettava reittejään, jotta tuulivoimapuisto voidaan ohittaa turvallisesti. Nykyisin liikenne käyttää suurelta osin läntistä väylää Kemi 1:n kohdalla. Perustamisen jälkeen voidaan olettaa, että useimmat ihmiset valitsevat itäisen väylän, jotta he voivat jatkaa suoraa reittiä Kemi 1:n väylän ja pohjoisen Merenkurkun välillä. Itäisen väylän syvyyssrajoituksen vuoksi tämä ei kuitenkaan ole mahdollista aluksille, joiden syväys on yli 8 metriä.

Tuulivoimapuisto vaikuttaa myös muuhun hajautetumpaan liikenteeseen Kemin/Torneån ja Perämeren ruotsalaisten satamien, kuten Luulajan, Skellefteån ja Piteån välillä, joiden reitit kulkevat nykyisin tuulipuistoalueen kautta. Tuulivoimapuisto merkitsee tälle liikenteelle reitin pidentämistä, kun se joutuu kiertämään alueen eteläkärjen.

Suoritettavat laskelmat osoittavat, että törmäystodennäköisyys jäättömissä olosuhteissa kasvaa tuulivoimapuiston perustamisen jälkeen, mutta todennäköisyys pysyy taulukossa 6.3 esitetyn asteikon mukaan pienenä tai "erittäin pienenä". Laskelmat osoittavat, että karilleajon todennäköisyys on hieman suurempi tuulipuiston perustamisen jälkeen. Lisäys on kuitenkin hyvin pieni, joten tuulipuiston ei katsota vaikuttavan merkittävästi pohjakosketuksen riskiin.

Törmäyksen arvioitu todennäköisyys on huomattavasti suurempi kuin törmäyksen: $1,3 \times 10^{-2}$ tapausta/vuosi, kun taas törmäyksen todennäköisyys on $3,2 \times 10^{-4}$ tapausta/vuosi. Törmäyksen seurausten arvioidaan kuitenkin olevan useimmissa tapauksissa vähäisemmät kuin törmäyksen. Laskelmat koskevat törmäyksiä tuulivoimapuiston kanssa, eli aluksen ajautumista tai purjehtimista tuulivoimapuiston alueelle. Todennäköisyys törmätä varsinaiseen tuulivoimalaan on siis huomattavasti pienempi.

Jos jokin tuulivoimaloista *törmää* suuriin aluksiin, seuraukset voivat olla vakavia. Kokemuksia merellä tapahtuneista törmäyksistä tuulivoimaloiden kanssa on toistaiseksi vain vähän, ja niistä on raportoitu vain muutamia tapauksia, joissa seuraukset ovat useimmissa tapauksissa olleet lieviä. Taulukon 6.3 mukaan *moottorin aiheuttaman törmäyksen* arvioitu todennäköisyys on kuitenkin luokiteltu "erittäin pieneksi", mikä rajoittaa *powered allisionin* riskiä.

Tuulipuisto vaikuttaa merenkulkuun jäättömissä olosuhteissa, kun alusliikenne joutuu tekemään reittimuutoksia kulkeakseen. Arvioitu onnettomuustodennäköisyys on kuitenkin pieni, ja liikenteelle on riittävästi tilaa kulkea turvallisen etäisyyden päässä tuulipuistosta. Tämä tarkoittaa, että riskit jäättömissä olosuhteissa katsotaan hyväksyttäviksi.

Kysein alue on joka talvi jäässä, ja jää vaikuttaa merenkulkuun useita kuukausia vuodessa. Talvella käytetään niitä reittejä jään läpi, jotka ovat tällä hetkellä helpoimmin navigoitavissa. Tietyissä jääolosuhteissa tuulipuisto tukkii nämä reitit, jolloin liikenne joutuu käyttämään vaikeampia reittejä jään läpi. Tämä tarkoittaa, että suurempi osa liikenteestä tarvitsee jäänmurtajien apua turvalliseen navigointiin. Joissakin tapauksissa alusten apua tarvitsevien alusten matka on pidempi laitoksen jälkeen. Kaiken kaikkiaan tuulipuiston odotetaan siis lisäävän jäänmurtajakapasiteetin tarvetta Perämerellä. Monet tuulipuiston aiheuttamista riskeistä, kuten *drifting allisionriski*, kompensoituvat osittain ja rajoittuvat jäänmurtaja-avun avulla. Tämä tarkoittaa, että vaaratilanteiden todennäköisyyden voidaan olettaa kasvavan ensisijaisesti sellaisina aikoina, jolloin jäänmurtajakapasiteetin tarve ylittää käytettävissä olevan kapasiteetin.

Lisääntynyt jäänmurtajien avuntarve voi joissakin tapauksissa johtaa kapasiteettipulaan ja pitkiin odotusajoihin, jotka johtavat viivästyksiin, jos nykyistä jäänmurtajakapasiteettia ei vahvisteta. Tulevaisuudessa tarvittavan avustuskapasiteetin määrä ja se, missä määrin tuulipuisto voi vaikuttaa

tähän, on kuitenkin epävarmaa ja riippuu useista tekijöistä. Ennusteiden mukaan jäätä on tulevaisuudessa vähemmän, ja jään paksuuden, jääpitoisuuden ja talvijään pituuden odotetaan vähenevän seuraavien 20 vuoden aikana. Vielä ei ole riittävästi tietoa siitä, miten tuulipuistot voivat vaikuttaa jään muodostumiseen ja jään liikkeisiin kyseisellä alueella ja siten vaikuttaa talvimerenkulkuun. Tämän alan tutkimus, johon Skyborn ja muut osallistuvat, on käynnissä, ja Skybornin odotetaan jatkavan tämän tutkimuksen tulosten seuranta ja seuraamista.

Talviaikaisten vaarojen skenaarioarvioinnit osoittavat, että suurin riski aiheutuu siitä, että alusten on kuljettava tuulipuiston läheltä ja että törmäysten välttämislitkkeet vaikeutuvat jäässä. Tämän oletetaan lisäävän sekä *moottoroidun* että *ajelehtivan aluksen* aiheuttamien *törmäysten* todennäköisyyttä.

Etäisyys tuulipuistosta, jonka alukset kulkevat talvella, määräytyy suurelta osin jäänmurtajien hallinnoinnin perusteella, joka talvella osoittaa sopivan reitin nykyisen jäätilanteen perusteella ja ottaa huomioon myös tuulipuiston.

Kaiken kaikkiaan riskejä ja vaikutuksia merenkulkuun pidetään suurempina talvella kuin kesällä. Tuulipuiston nykyisen laajuuden (tutkimusalue) myötä vaikutusten talvimerenkulkuun odotetaan olevan suuria ja riskien kasvavan nykyisestä. Monia riskejä voidaan rajoittaa jäänmurtaja-avulla. Tämä johtaa kuitenkin jäänmurtajakapasiteetin tarpeen lisääntymiseen, mikä voi ajoittain johtaa kapasiteetin puutteeseen ja pitkiin odotusaikoihin, ellei jäänmurtajakapasiteettia lisätä.

9.1 Tuulivoimapuiston laajuuden muuttaminen riskianalyysin jälkeen.

Tämä merenkulun riskianalyysi laadittiin suurelta osin vuoden 2023 aikana. Riskianalyysin yhteydessä havaittujen merenkulun riskien ja merenkulkuun kohdistuvien vaikutusten vuoksi Skyborn on teettänyt myös supistetun puistoalueen analyysin. Supistetusta puistoalueesta on poistettu eteläinen osa selvitysalueesta, ja supistettu puistoalue vastaa suurelta osin sitä hankealuetta, jota tuulivoimapuiston lupahakemus koskee (ks. Kuva 1.1) Supistetun puistoalueen analyysi sisältää laskelmia onnettomuuksien/tapahtumien todennäköisyyksistä ja arvioita siitä, miten tunnistetut ja analysoidut riskit muuttuvat supistamisen myötä. Supistetun puistoalueen lisäanalyysi esitetään erillisessä muistiossa, ks. liite RE20221614-01-01-C *Supistetun alueen laskelmat ja arviointi*. (RISE, 2024).

Täydentävän analyysin johtopäätökset ovat, että pienennetty puistoalue vähentää merkittävästi jäänmurtajatoimintaan kohdistuvia vaikutuksia, koska sekä avustus- että kauttakulkumatkat lyhenevät verrattuna suurempaan tuulipuistoon (tutkimusalueeseen). Jäänmurtajien antama apu arvioidaan tärkeimmäksi toimenpiteeksi tuulipuistosta aiheutuvien riskien lieventämiseksi. Koska vaikutus jäänmurtajatoimintaan vähenee pienemmän tuulipuistoalueen myötä ja kapasiteettipulan todennäköisyys pienenee, myös riskit arvioidaan pienemmiksi pienemmän alueen myötä verrattuna suurempaan tutkimusalueeseen.

10 Viitteet

- 4C Offshore. (den 23 Juli 2023). *Offshore wind*. Hämtat från 4C Offshore: <https://map.4coffshore.com/offshorewind/>
- Björk. (2007). *Ice dynamics in the Bothnian Bay inferred from ADCP measurements. Tellus (2008), 60A, 178–188.*
- Finska meteorologiska institutet. (den 19 september 2023). *Ice movements*. Hämtat från Finnish Meteorological Institute: <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/ice-movements>
- FMIb. (2023). *Finish Meteorological Intitute, Uce Season 2022/2023. Extraherat okt 2023 från: https://assets.ctfassets.net/hli0qi7fbbos/3IWM8w7Qkp4Pt3tUsrcwVB/1a656a0e8f84dd7b2c9f10bb5bdc7938/MaxIceChart2023.pdf.*
- gCaptain. (den 1 Februari 2022). *Update: Abandoned Bulk Carrier Julietta D Arrives in Port, Ending Frantic Rescue*. Hämtat från gCaptain: <https://gcaptain.com/update-abandoned-bulk-carrier-julietta-d-arrives-in-port-ending-frantic-rescue/>
- Government of the Netherlands. (2014). *White Paper on Offshore Wind Energy - Partial review of the National Water Plan Holland Coast and area north of the Wadden Islands*. The Ministry of Infrastructure and the Environment, The Ministry of Economic Affairs.
- Havs- och vattenmyndigheten. (2022). *Havsplaner för Bottniska viken, Östersjön och Västerhavet, Statlig planering i territorialhav och ekonomisk zon*. Havs- och vattenmyndigheten.
- Jersey Maritime Administration. (2020). *INVESTIGATION INTO THE CAUSES OF AN ALLISION BETWEEN THE WINDFARM SUPPORT VESSEL NJORD FORSETI AND A WINDFARM TOWER IN THE SOUTHERN NORTH SEA ON 23RD APRIL 2020*. D A Thorrington, Chief Marine Surveyor, Jersey Maritime Administration.
- L.S.Rashid. (2007). *Impact modelling of wind farms on marine navigational radar*. MACS Engineering Research Group.
- Leppäranta_Omstedt. (1989). *Dynamic coupling of sea ice and water for an ice field with free boundaries*. Matti Leppäranta, anders Omstedt. *Tellus (1990) 424, 482-495.*
- MarineTraffic. (den 24 oktober 2023). *Density map, pleasure craft, 2021 och 2022*. Hämtat från MarineTraffic: <https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:20.0/centery:63.5/zoom:7>
- Maritime & Coastgurd Agency. (2021). *MGN 654 (M+F) Safety of Navigation: Offshore Renewable Energy Installations (OREIs) - Guidance on UK Navigational Practice, Safety and Emergency Response*. Maritime & Coastgurd Agency.
- NTNU. (2006). *Ice actions on offshore structur. Doctoral thesis Morten Bjerkås*. Norwegian University of Science and Technology, NTNU, Trondheim.. .
- OMAE. (2006). *A ststistical approach to extreme ice loads on lighthouse Nordströmsgrund*. Lennart Fransson, LTU and Jan-Eric Lundqvist, SMHI. Paper presented at OMAE conference 2006-92465. .

- PIANC. (2018). *MarCom WG Report n° 161 - 2018, Interaction between offshore wind farms and maritime navigation*. PIANC The World Association for Waterborne Transport Infrastructure.
- PIANC, T. W. (2018). *MarCom WG Report no 161-2018, INteraction between offshore wind farms and maritime navigation*. PIANC.
- Rasmussen , F., Melchild, K., Hansen, M., Jensen, T., LehnSchiöler, T., & Randrup-Thomsen, S. (2012). Quantitative assessment of risk to ship traffic in the Fehmarnbelt fixed link project. *Journal of Polish Safety and Reliability Association* 3(1), 123-134.
- RISE. (2024). *Bilaga RE20221614-01-01 Beräkningar och bedömning av reducerat område*. RISE.
- Royal Dirkzwager. (den 25 April 2023). *News: Cargo ship Petra L collides with Gode Wind farm*. Hämtat från Royal Dirkzwager: <https://dirkzwager.com/news/petra-l-accident-with-gode-wind-farm/>
- Safety4Sea. (den 22 December 2022). *Wind farm foundation to be removed after "Julietta D" collision*. Hämtat från Safety4Sea: <https://safety4sea.com/wind-farm-foundation-to-be-removed-after-julietta-d-collision/>
- Sandkvist. (1986). *Brash ice behaviour in frequented ship channels. Licavhandling, Luleå Tekniska Universitet, Vattenteknik. Series A no 139.* .
- Sjöfartsverket. (2023). *Kunskapsunderlag havsbaserad vindkraft och sjöfart*. Sjöfartsverket, 23-05362-1.
- Sjöfartsverket och SMHI. (2019). *Sammanfattning av isvintern och isbrytarverksamheten 2017/2018*.
- Sjöfartsverket och SMHI. (2023). *Sammanfattning av isvintern och isbrytarverksamheten 2021/2022* . Sjöfartsverket, SMHI.
- Sjöfartsverket och Transportstyrelsen. (2023). *Sjöfartsverkets och Transportstyrelsens rekommendationer vid projektering och etablering av havsbaserad vindkraft*. <https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/sjofart/sjotrafik-och-hamnar/havsbaserad-vindkraft/sjofartsverkets-transportstyrelsens-rekommendationer-proj-etabl-havsbaserad-vindkraft.pdf>: Sjöfartsverket och Transportstrylsen.
- SMHI. (2021). *Framtida isutbredning i svenska farvatten Analys av isförhållanden runt år 2040 och 2070. Oceanografi Nr 129, 2021.* . Hämtat från SMHI.
- SMHI. (den 14 september 2023). *Hur förändras havsisen?* Hämtat från SMHI: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimat effekter-i-havet/hur-forandras-havsisen-1.28291>
- SMHI. (2023b). *Magnus larsson, SMHIs Istjänst. Extraherar ot 2023 från:* <https://www.smhi.se/nyhetsarkiv/en-lindrig-ismvinter-avslutades-i-pingsthelgen-1.196215> .
- Trafikverket. (den 25 Juli 2023). *Riksintressekartor*. Hämtat från Trafikverket: <https://riksintressenkartor.trafikverket.se/>

Transportstyrelsen. (2017). *TSFS 2017:66 Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om utmärkning till sjöss med sjösäkerhetsanordningar.*

Vindbrukskollen. (den 25 Juli 2023). Hämtat från <https://vbk.lansstyrelsen.se/>