

Merenkulun riskianalyysi Polargrundi Offshore tuulivoimapuisto

Liite

RE20221614-01-01

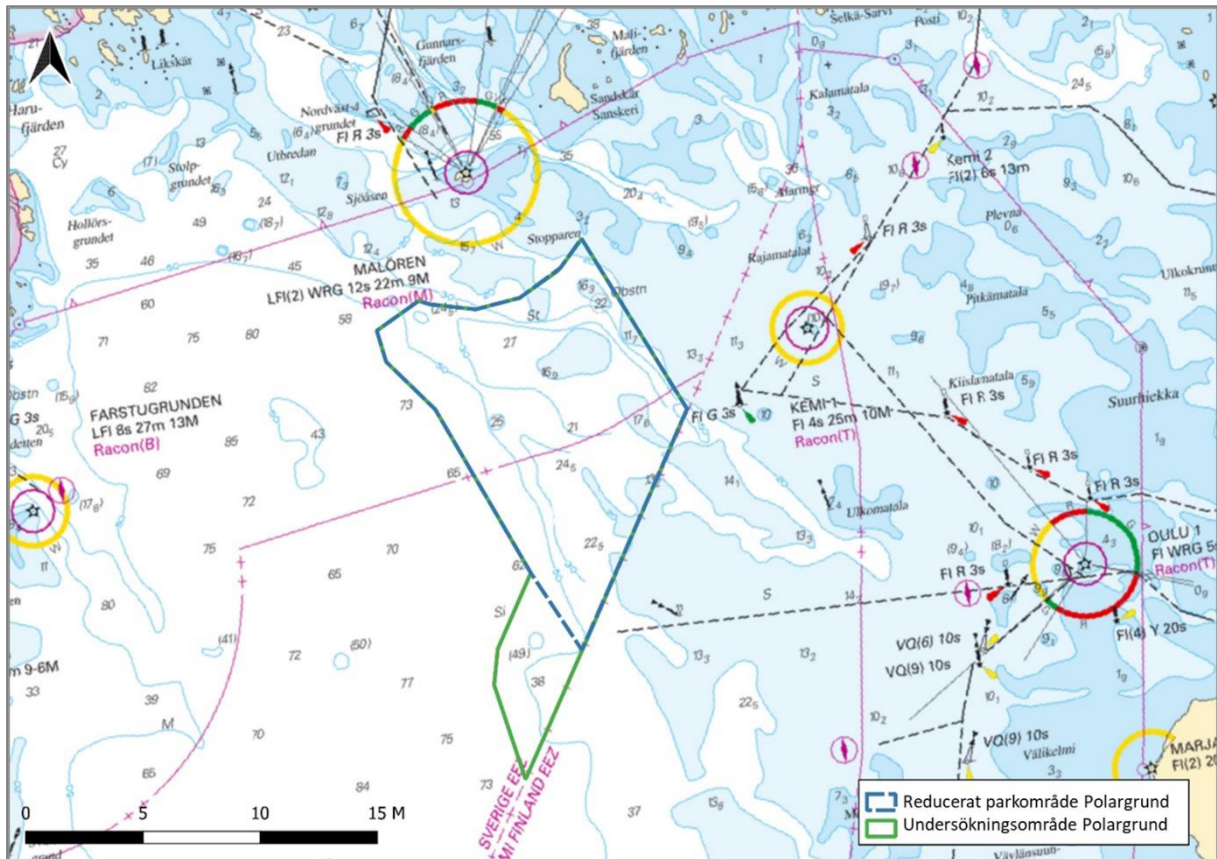
Laskelmat ja arviointi Polargrund tuulivoimapuiston pienennetystä pinta-alasta

Raportti RE20221614-01-00 *Merenkulun riskianalyysi Polargrund Offshore -tuulivoimapuiston* osalta sisältää analyysin merenkulun riskeistä sekä kesällä että talvella tuulipuiston tutkimusalueella. Tässä liitteessä esitetään laskelmat ja riskinarvioinnit tuulipuiston suppeammalle alueelle.

Merikarttojen julkaisulupa: ©Sjöfartsverket lupa nro 24-01464.

1 Johdanto ja tausta

Polargrundin tuulivoimapuiston merenkulun riskianalysissä merenkulun riskit ja vaikutukset merenkulkuun on analysoitu tuulivoimapuiston 442 km² laajuisen tutkimusalueen perusteella. Alue sijaitsee Perämeren pohjoisosassa ja talvella alueella on jäätä. Tässä täydentävässä selvityksessä viitataan pienennettyyn *puistoalueeseen*, ja siinä esitetään lasketut onnettomuustodennäköisyydet sekä arvio siitä, miten pienennetty alue vaikuttaa merenkulun riskeihin talvella verrattuna alkuperäiseen alueeseen. Pienennetty puistoalue tarkoittaa, että tutkimusalueen eteläosa on poistettu, ks. Kuva 1.1.

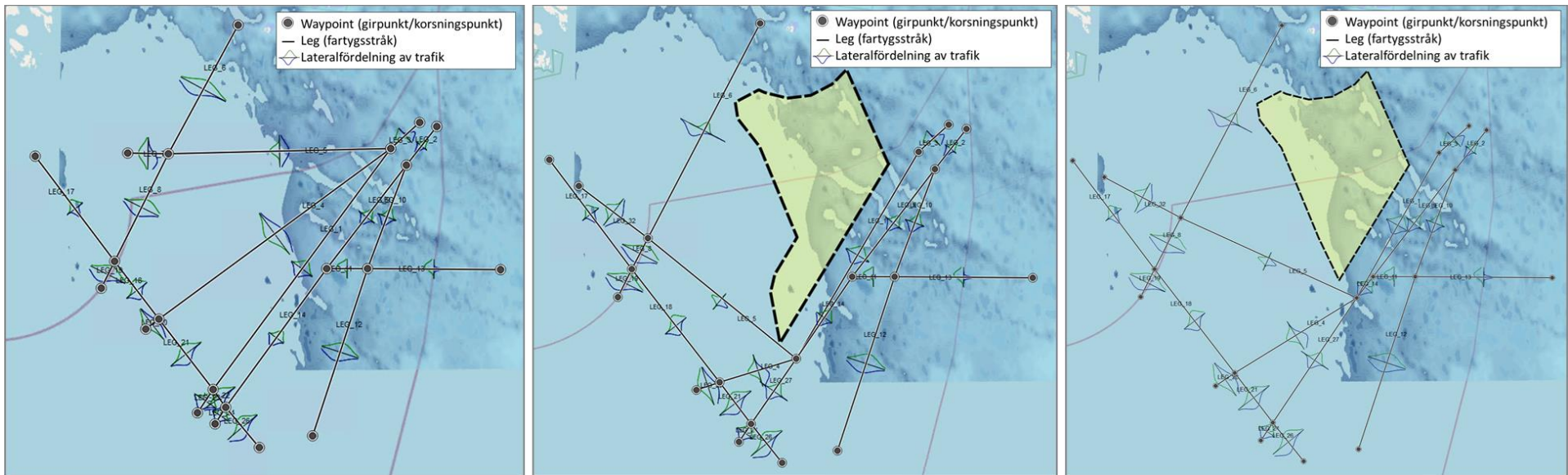


Kuva 1.1 Tutkimusalueen kaakkoispuoli sijaitsee Suomen vesien rajalla. Supistetulla puistoalueella tutkimusalueen eteläosa on peruttu.

Hankkeen aikana Skyborn on päättänyt pienentää tuulipuiston laajuutta, ja lupahakemus koskee pienennettyä aluetta, *hankealuetta*, joka vastaa suurelta osin pienennettyä puistoaluetta. Hankealueeseen liittyy eteläosan poistamisen lisäksi myös luoteisosan pienentäminen. Tämä analyysi perustuu pienennettyyn puistoalueeseen. Kuva 1.1 ja sen vuoksi tässä analyysissä ei oteta huomioon luoteisosan pienentämisestä mahdollisesti aiheutuvia vaikutuksia merenkulkuriskeihin.

2 Karilleajon-, törmäyksen- ja allisiotodennäköisyyden laskeminen

Merenkulun riskianalyysi sisältää laskelmat karilleajon, törmäyksen ja allisiotodennäköisyyksistä jäättömissä olosuhteissa tilanteessa, jossa tuulipuistoa ei ole, ja tilanteessa, jossa tuulipuisto on perustettu tutkimusalueelle. Lisälaskelmia on tehty myös tapaukselle, jossa tuulipuiston laajuus on pienentynyt. Kuva 2.1 esitetään IWRAP-mallit kolmelle eri tapaukselle.



Kuva 2.1 IWRAP-mallit seuraaville tapauksille: A ilman tuulipuistoa, B tuulipuiston kanssa ja C pienennetyllä tuulipuistolla.

Taulukko 2.1 esitetään yhteenveto arvioiduista todennäköisyyksistä kolmessa tapauksessa. Laskelmat perustuvat alueen nykyiseen liikennemäärään, ja malli käyttää AIS-tietoja kesäkuusta marraskuuhun 2022 törmäysten, 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 koko vuosi olisi jäävapaa.

Taulukko 2.1 Arvioidut todennäköisyydet (tapaukset/vuosi) tapauksille A, B ja C. E tarkoittaa kymmenen potenssikerrointa, esim. E-04 = 10.⁻⁴

	A: Ilman tuulipuistoa		B: Tuulipuiston kanssa - tutkimusalue		C: Tuulipuiston kanssa - pienennetty pinta-ala	
	Inc./vuosi	Vuosien välillä inc.	Inc./vuosi	Vuosien välillä inc.	Inc./vuosi	Vuosien välillä inc.
Powered Grounding	2,5E-04	4 000	4,4E-04	2 273	3,8E-04	2 632
Drifting Grounding	7,9E-04	1 266	6,2E-04	1 613	6,2E-04	1 613
Total Groundings	1,0E-03	1 000	1,1E-03	909	1,0E-03	1 000
Powered Allision	---	---	3,2E-05	31 250	2,4E-05	41 667
Drifting Allision	---	---	1,3E-02	77	6,9E-03	145
Total Allisions	---	---	1,3E-02	77	6,9E-03	145
Overtaking	2,0E-05	50 000	3,0E-05	33 333	3,4E-05	29 412
HeadOn	9,7E-05	10 309	1,4E-04	7 143	1,5E-04	6 667
Crossing	1,1E-04	9 091	1,0E-04	10 000	1,1E-04	9 091
Merging	5,6E-06	178 571	5,4E-06	185 185	5,4E-06	185 185
Bend	2,6E-05	38 462	4,8E-05	20 833	4,7E-05	21 277
Total Collisions	2,5E-04	4 000	3,2E-04	3 125	3,4E-04	2 941
<i>Total Incidents</i>	<i>1,3E-03</i>	<i>769</i>	<i>1,4E-02</i>	<i>71</i>	<i>8,2E-03</i>	<i>122</i>

Karilleajon todennäköisyys on hieman pienempi supistetun tuulipuiston tapauksessa kuin tutkimusalueen tapauksessa. Erot kolmen eri tapauksen välillä ovat pieniä, joten merkittävää vaikutusta karilleajon todennäköisyyteen tuulipuiston käyttöönotolla ei voida todeta olevan. Ajelehtivien karilleajojen väheneminen tapauksissa, joissa on tuulipuisto (B ja C), johtuu pääasiassa siitä, että joidenkin alusten, joiden tapauksessa A oletetaan ajavan karille, oletetaan sen sijaan tapauksissa B ja C ajavan tuulipuistoon ja aiheuttavan törmäyksen.

Allisiotodennäköisyydellä (*total allision*) on suurin osuus vaaratilanteen kokonaistodennäköisyydestä (*total incident*) sekä tapauksissa B että C. Tapauksessa C *powered allision* todennäköisyys pienenee 27 % tapaukseen B verrattuna ja *drifting allision* todennäköisyys 47 %, ks. Taulukko 2.2. *Powered allisionin* on kuitenkin vain noin yksi kolmannes *drifting allisionin* todennäköisyydestä, mikä tarkoittaa, että allisiotodennäköisyyden (*total allision*) kokonaisvähennys pienemmän pysäköinnin ansiosta on 47 prosenttia.

Taulukko 2.2 Törmäystodennäköisyyksien (tapaukset/vuosi) ja törmäysten toistuvuusajkojen (tapausten väliset vuodet) vertailu kahdessa eri tuulipuistokohteessa.

	B Tuulipuisto - tutkimusalueen kanssa		C Tuulipuiston - pienennetty pinta-alan kanssa		Muutos C verrattuna B:hen
	Inc./vuosi	Vuosien välillä inc.	Inc./vuosi	Vuosien välillä inc.	
Powered Allision	3,2E-05	31 649	2,4E-05	41 494	-27%
Drifting Allision	1,3E-02	77	6,9E-03	146	-47%
Total allision	1,3E-02	77	6,9E-03	145	-47%

Törmäystodennäköisyys kasvaa, kun tuulipuisto otetaan käyttöön, sekä tapauksissa B että C, verrattuna tapaukseen, jossa tuulipuistoa ei ole (A), ks. Taulukko 2.3. Lisäykset johtuvat pääasiassa siitä, että laivaliikenteen tila pienenee, kun tuulipuisto otetaan käyttöön, mikä tarkoittaa, että laivaliikenne tiivistyy rajoitetummille laivaväylille. Osalle liikenteestä tuulivoimapuisto merkitsee myös uusia reittejä, kun ne joutuvat kiertämään tuulivoimapuiston, mikä tarkoittaa uusia kääntöpaikkoja ja siten lisääntyneitä törmäystodennäköisyyttä (*mutkakolari*). Tapausten B ja C väliset erot ovat suhteellisen pieniä. Törmäystodennäköisyyden kasvu on kuitenkin hieman suurempi pienennetyn tuulipuiston tapauksessa (C) kuin tutkimusalueella (B), 38 prosentin kasvu tapauksessa C verrattuna 29 prosenttiin tapauksessa B. Ero johtuu ensisijaisesti siitä, että *overtaking* ja *headon-collision* todennäköisyys kasvaa enemmän tapauksessa C. Tapauksen C suurempi arvioitu todennäköisyys johtuu siitä, että puiston kaakkoiskulmassa sijaitseva reittipiste, jossa kaakkoispuolen kahden reitin liikenne yhtyy, on tapauksessa C pohjoisempana. Tämä tarkoittaa sitä, että Kemiin ja Kemistä tuleva liikenne kulkee samaa reittiä pidemmän matkan tapauksessa C (*reitti 27* kohdassa Kuva 2.1). Kun liikenne kulkee yhdellä osuudella kahden sijasta, *overtaking* ja *headon* todennäköisyys kasvaa, koska liikenteen hajonta vähenee.

Taulukko 2.3 Törmäystodennäköisyyden (vaaratilanteet/vuosi) vertailu kolmessa eri tapauksessa.

	Ilman tuulipuistoa	B Medin tuulipuisto - tutkimusalue		C Tuulipuiston kanssa - pienennetty pinta-ala	
	Inc./vuosi	Inc./vuosi	Lisäys verrattuna A	Inc./vuosi	Lisäys verrattuna A
Overtaking	2,0E-05	3,0E-05	49%	3,4E-05	71%
HeadOn	9,7E-05	1,4E-04	40%	1,5E-04	55%
Crossing	1,1E-04	1,0E-04	-5%	1,1E-04	-4%
Merging	5,6E-06	5,4E-06	-4%	5,4E-06	-3%
Bend	2,6E-05	4,8E-05	83%	4,7E-05	82%
Total collisions	2,5E-04	3,2E-04	29%	3,4E-04	38%

Törmäystodennäköisyyden väheneminen tapauksessa C verrattuna tapaukseen B on huomattavasti suurempi kuin törmäystodennäköisyyden kasvu tapauksessa C (-6,1 x 10⁻³ tapausta/vuosi allisiotodennäköisyys tapauksessa C verrattuna +2,0 x 10⁻⁵ tapausta/vuosi törmäystodennäköisyydessä), mikä tarkoittaa sitä, että tapauksen C kokonaistapahtumatodennäköisyys on alhaisempi kuin tapauksen B, ks. Taulukko 2.1..

3 Talvimerenkulkuun kohdistuvien riskien arviointi ja vertailu

Tuulipuisto aiheuttaa myös riskejä liikenteelle talvella, kun alue on jäässä. Näiden vaarojen todennäköisyyttä ei voida laskea IWRAP-laskentatyökalun avulla. Suorien riskien lisäksi talvimerenkulkuun voi kohdistua välillisiä vaikutuksia, kun tuulipuisto vaikuttaa jäänmurtajatoimintaan ja jäänmurtajakapasiteetin tarve kasvaa.

3.1 Tunnistetut riskit

Polargrundin tuulivoimapuiston riskianalyysissä yksilöitiin yhteensä viisi erilaista riskiin vaikuttavaa tekijää, jotka voivat aiheuttaa suurempia riskejä alueen talvimerenkululle, jos Polargrundin tuulivoimapuisto perustetaan. Taulukko 3.1 kuvataan viisi erilaista tunnistettua riskiin vaikuttavaa tekijää ja niiden mahdolliset seuraukset. Riskejä kuvataan tarkemmin merenkulun riskianalyysin kohdissa 5.1.1–5.1.5. Kaikkien riskien katsotaan olevan merkityksellisiä myös tuulipuiston pienemmän laajuuden kannalta. Tuulipuiston laajuus vaikuttaa kuitenkin riskien suuruuteen. Alla kuvataan ja käsitellään muuttuvat riskit, jos tuulipuisto perustetaan pienennetylle alueelle eikä koko tutkimusalueelle, joka oli lähtökohtana merenkulun riskianalyysin arvioinneissa.

Taulukko 3.1 Tuulivoimapuiston tunnistetut riskitekijät ja niiden vaikutus talvimerenkulkuun ja jääriskeihin.

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

3.1.1 Vaihtoehdoisen optimaalisen reitin löytämiseksi jään läpi on vain vähän tilaa.

Riskin kuvaus

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. (Merenkululaitos, 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 avustusta, että alukset tarvitsevat avustusta pidemmillä reiteillä ja että useammat alukset ovat vaarassa juuttua jäihin, kun ne joutuvat kulkemaan huonompia reittejä.

Muutos pienennetyllä puistoalueella

Puistoalueen pienentäminen tarkoittaa, että Keminsuuntaan ja suunnasta kulkevan liikenteen tila rajoittuu lyhyemmälle matkalle, kun eteläosa poistetaan. Mahdollisuudet vaihtoehtoisiin reitteihin tuulipuiston ohi eivät kuitenkaan heikkene, kun puiston itäinen jatke säilyy.

Esimerkiksi pienemmälläkin puistolla ei ole mahdollista navigoida puolikuun muotoisen kanavan läpi, joka esiintyy usein kauden lopussa itä- tai pohjoistuulilla ja jota laivaliikenne voi nykyisin käyttää.

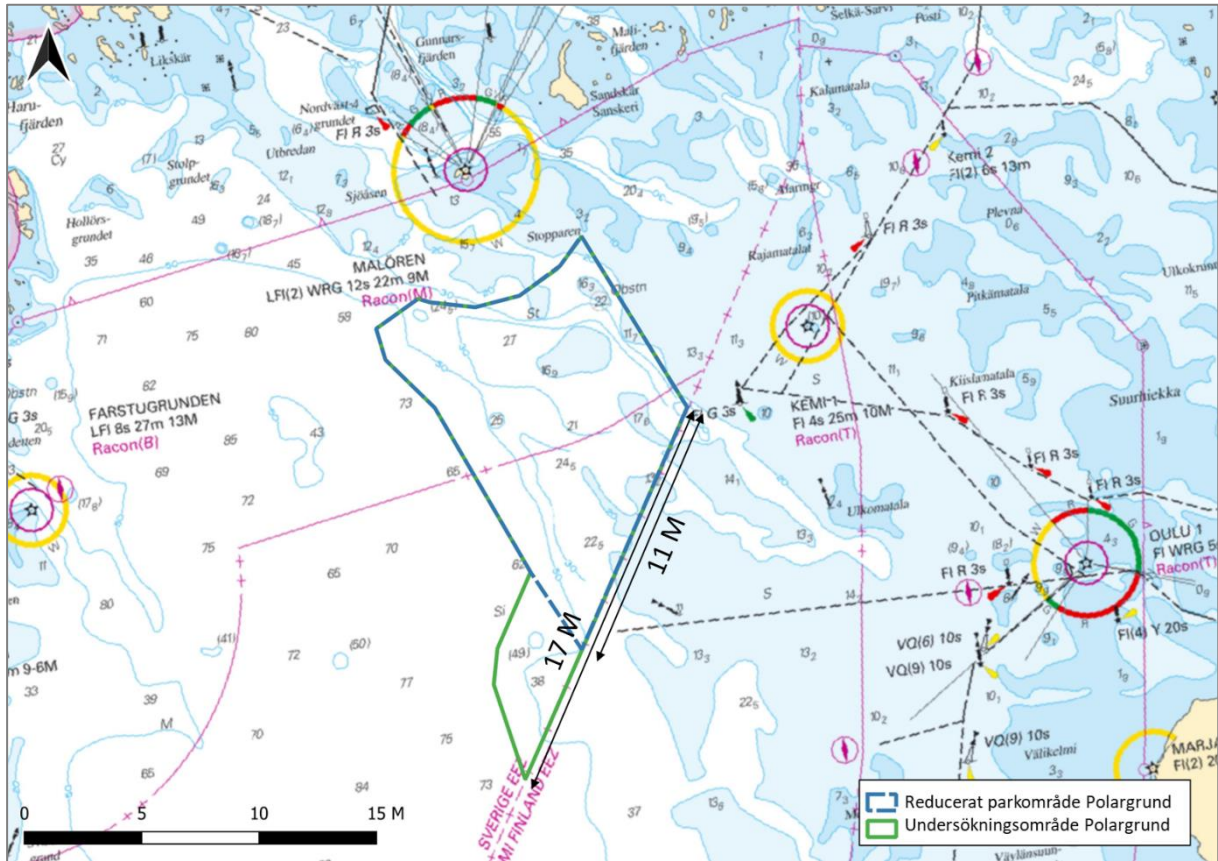
3.1.2 Alukset kulkevat lähellä tuulipuistoa, ja törmäysten välttämislitkkeet vaikeutuvat jäässä.

Riskin kuvaus

Alukset voivat kulkea tuulipuiston läheltä myös talvella, ja törmäystilanteita voi esiintyä myös silloin, kun on jäätä. Kuten jäätömissä olosuhteissa, tuulipuisto voi tällöin muodostaa esteen törmäyksen välttämiseksi. Tapauksissa, joissa alukset kulkevat rikkoutuneella väylällä, alus voi manöveroida ulos väylältä ja ympäröivään jäähän välttääkseen törmäyksen. Alus voi tällöin hidastua ja jäädä mahdollisesti jään vangiksi, jolloin voidaan välttää myös *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 jäätömissä olosuhteissa. Liikenteen intensiteetti on kuitenkin alhainen, joka pienentää törmäystilanteiden todennäköisyyttä.

Muutos pienennetyllä puistoalueella

Eteläpuolen pienentäminen tarkoittaa, että etäisyys, jonka alukset voivat kulkea tuulipuiston läheltä, lyhenee 17 M 11 M:iin, ks. Kuva 3.1. Tämä tarkoittaa sitä, että todennäköisyys sille että tuulipuisto rajoittaisi tai estää väistämislitkkeen pienenee.



Kuva 3.1 Puistoalueen pienentämisen myötä puiston eteläosa poistetaan, jolloin puiston kaakkoisreuna pienenee 17 metristä 11 metriin.

3.1.3 Alukset voivat jäädä jumiin jäähän puiston lähellä.

Riskin kuvaus

Alukset, jotka juuttuvat jäähän kulkiessaan tuulipuiston läheltä, voivat jään ajautumissuunnasta riippuen ajautua tuulipuistoon ja aiheuttaa allision. 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.

Muutos pienennetyllä puistoalueella

Pienennyksessä laajuudessa tuulipuiston eteläosa poistetaan. Tämä tarkoittaa sitä, että tuulipuiston kaakkoispuolta, jota pitkin liikenne kulkee, pienennetään 17 M 11 M:iin, mikä vastaa 35 % vähennystä. Kuva 3.1. Lyhyempi etäisyys tarkoittaa, että todennäköisyys sille että alus jää jumiin tai saa blackout:n tuulipuiston ohi kulkiessaan, pienenee, koska todennäköisyyden voidaan olettaa olevan lähes verrannollinen etäisyyteen.

3.1.4 Nykyinen jäänmurtajien avustuskapasiteetti merkitsee pidempiä odotusaikoja.

Riskin kuvaus

Ensisijaisesti Kemiin ja Tornioon saapuvat ja sieltä lähtevät alukset tarvitsevat monissa tapauksissa avustusta nykyistä pidemmälle matkalle, sillä monissa tapauksissa avustusta tarvitaan tuulipuiston ohi kulkemiseen. Tämä tarkoittaa pidempää odotusaikaa avustukselle Polargrundin eteläpuolella. Pidemmän avustusannon yhdistettynä jäänmurtajien pidempiin kulkumatkoihin oletetaan merkitsevän pidempiä odotusaikoja aluksille edellyttäen, että jäänmurtajakapasiteetti Pohjanlahdella on rajallinen. Avustusta odottavat alukset voivat ajautua jään mukana. Tuulensuunnasta riippuen odottavat alukset voivat ajautua kohti tuulipuistoa, joka voi johtaa ajautumiseen tuulipuistoon ja näin ollen allisioon.

Muutos pienennetyllä puistoalueella

Pienemmän tuulipuiston myötä alusten avustustarve pienenee monissa tapauksissa, koska alukset voivat odottaa kauempana pohjoisessa kuin suuremman tuulipuiston tapauksessa. Suuremmassa tuulipuistossa (tutkimusalue) alusten avustettavan matkan pituudeksi Kemiin/Tornioon arvioitiin 19 m. Pienennetyn tuulipuiston tapauksessa etäisyys voidaan rajoittaa 13 m:iin.

Nykyisin puiston länsipuolella odottavien alusten osalta puiston pienentäminen tarkoittaa myös sitä, että avustetun reitin pidennys lyhenee. Lyhyempien avustus- ja kauttakulkumatkojen odotetaan lyhentävän odotusaikoja tutkimusalueeseen verrattuna, mikä voi vähentää todennäköisyyttä, että kapasiteettipula ja pitkät odotusajat aiheuttavat alusten ajautumisen puistoon, jos ne jäävät jumiin jäihin.

3.1.5 Jäänmurtajien avun odotusajan piteneminen ja useammat alukset odottavat ruuhkaisella alueella.**Riskin kuvaus**

Polargrundin eteläpuolella sijaitsevaa aluetta on käytettävä nykyistä enemmän odottavien alusten käyttöön. Pidemmät odotusajat yhdistettynä siihen, että useampien alusten on odotettava avustustaa Polargrundin eteläpuolella, merkitsevät sitä, että tästä alueesta voi tulla kriittinen törmäysten kannalta, kun alukset ajautuvat jään mukana.

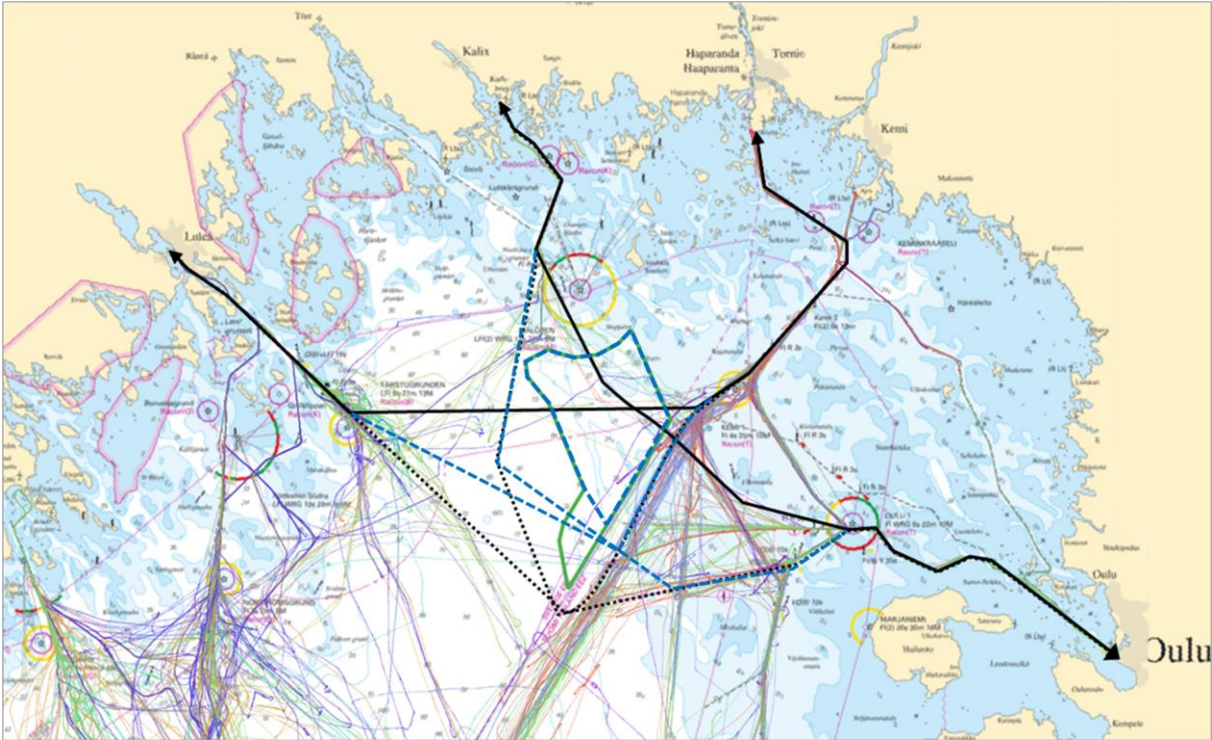
Muutos pienennetyllä puistoalueella

Pienentyneellä alueella Kemiin ja Tornioon matkalla olevat alukset voivat odottaa kauempana pohjoisessa verrattuna tutkimusalueen tapaukseen. Tämä tarkoittaa, että alusten ei tarvitse odottaa niin lähellä Luulajan ja Oulun välistä risteävää laivareittiä. Pienempi tuulivoimapuisto tarkoittaa myös sitä, että odottavat alukset voivat jakautua laajemmalle alueelle, mikä vähentää myös törmäysten todennäköisyyttä. Luulajassa odottavien alusten odotetaan kärsivän vähemmän tuulipuiston vaikutuksesta, kun eteläinen alue poistetaan.

3.2 Vaikutus jäänmurtajien toimintaan ja käyttöasteeseen jäänmurtajien osalta

Ruotsin ja Suomen jäänmurtajaorganisaatiot tekevät yhteistyötä jäänmurrossa Perämeren satamiin. Esimerkiksi tiettyinä aikoina suomalaiset jäänmurtajat, jotka avustavat aluksia Ouluun tai Oulusta, voivat avustaa myös aluksia Karlsborgiin tai Karlsborgista. Vastaavasti jäänmurtaja voi joutua avustamaan sekä Luulajasta että Kemistä tai Tornioista saapuvia tai lähteviä aluksia, jolloin ne kulkevat tuulipuistoalueen kautta. Jäänmurtajien ei oleteta kulkevan tuulivoimapuiston läpi sen perustamisen jälkeen, joten niiden on kierrettävä tuulivoimapuisto kulkiessaan eri satamien välillä. Tämä tarkoittaa pidempiä kauttakulkureittejä ja pidempiä kauttakulkuajoja.

Pienemmän tuulipuiston ansiosta laajennukset ovat pienempiä kuin suuremman tuulipuiston tapauksessa. Kuva 3.2 on esitetty vaihtoehtoiset tuulipuiston laajennukset, lähimmät nykyiset kauttakulkureitit ja esimerkkejä siitä, miten kauttakulkureitit voivat muuttua kahden vaihtoehtoisen laajennuksen toteuttamisen jälkeen.



Kuva 3.2 Jäänmurtajien alusjäljet vuonna 2018. Lähimmät kauttakulkureitit kulkevat nykyisin Kemini/Tornion ja Luulajan sekä Oulun ja Karlsborgin välillä tuulipuistoalueen kautta (mustat nuolet). Kun tutkimusalueelle rakennetaan tuulivoimapuisto, kauttakulkureittien on kierrettävä tuulivoimapuiston eteläosaa (mustat katkoviivat). Kun tuulivoimapuistoa supistetaan, kauttakulkureitit ovat lyhyempiä (siniset katkoviivat).

Taulukko 3.2 esitetään arvioitu matka ja arvioitu aika jäänmurtajien kauttakulkuun kuvassa esitetyillä eri reiteillä. Pienennetty tuulivoimapuisto merkitsee noin 13 % pidennystä Karlsborgin ja Oulun välillä ja noin 19 % pidennystä Tornion ja Luulajan välillä nykyiseen verrattuna, kun suuremmalla tuulivoimapuistolla (tutkimusalue) vastaava pidennys on 29 % ja 21 %.

Taulukko 3.2 Etäisyys ja arvioitu aika (11,6 solmua) lähimmillä reiteillä Karlsborgin ja Oulun sekä Tornion ja Luulajan välillä nykyisin sekä pienennetyn ja suuremman tuulipuiston kanssa.

	Karlsborg - Oulu		Tornio - Luulaja	
	Etäisyys	Aika	Etäisyys	Aika
Ilman tuulipuistoa	79 M	6 h 50 min	84 M	7 h 15 min
Tutkimusalue	102 M (+29%)	8 h 50 min	102 M (+21%)	8 h 50 min
Vähennetty tuulipuisto	89 M (+13%)	7 h 40 min	100 M (+19%)	8 h 40 min

Pidemmät kulkureitit yhdistettynä pidempiin avustusetäisyyksiin ja tuulipuistosta johtuvaan avustusmäärän lisääntymiseen johtavat jäänmurtajien käytön lisääntymiseen. Vaikeiden jääolosuhteiden aikana tämä voi johtaa siihen, että käytettävissä oleva jäänmurtajakapasiteetti on riittämätön ja alusten odotusaika on hyvin pitkä. Pitkien odotusaikojen oletetaan lisäävän törmäyksen todennäköisyyttä tuulipuiston kanssa. Jäänmurtajakapasiteetin käyttö lisääntyy pienemmän tuulipuiston tapauksessa vähemmän, koska avustus- ja kauttakulkumatkat ovat lyhyempiä kuin suuremman tuulipuistossa.

Jäänmurtajakapasiteetin käyttö vaihtelee suuresti vuosittain, ja vain suhteellisen lyhyinä ajanjaksoina jääolosuhteet ovat sellaiset, että Suomen ja Ruotsin jäänmurtajakapasiteetti on maksimaalisesti käytössä. Tuulipuiston aiheuttama jäänmurtajakapasiteetin korkeampi käyttöaste voi kuitenkin

johtaa kapasiteettipulaan useammin ja pidemmäksi ajaksi, jos jäänmurtajakapasiteettia ei vahvisteta nykyiseen verrattuna. Tuulipuiston aiheuttaman kapasiteettipulan todennäköisyys vähenee jonkin verran, kun tuulipuisto on pienempi kuin suurempi.

4 Yleisarviointi

Tuulipuiston pienentäminen tarkoittaa, että arvioitu törmäystodennäköisyys pienenee, sekä *drifting* että *powered allision* osalta. Taulukko 4.1 esitetään kahden vaihtoehdoisen sijoituspaikan arvioidut todennäköisyydet kuusiportaisella logaritmisella asteikolla, jota käytettiin todennäköisyyksien arviointiin merenkulun riskianalyyssissä. Asteikko on hyvin samankaltainen kuin se, jota on ehdotettu ja havainnollistettu *Revised guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process* (IMO, 2018).. Taulukko sisältää myös arvioidun törmäystodennäköisyyden tapauksessa, jossa ei ole tuulipuistoa (A).

Taulukko 4.1 Sekä suuremman tuulipuiston (tapaus B) että pienemmän tuulipuiston laskennalliset todennäköisyydet voidaan indeksoida, jotta niitä voidaan arvioida ja verrata kuusiportaisella logaritmisella asteikolla. Taulukko sisältää myös arvioidun törmäystodennäköisyyden tapaukselle, jossa ei ole tuulipuistoa (tapaus A). Drifting allision oletetaan aiheuttavan vähiten vakavia seurauksia, ja sen jälkeen seuraa powered allision. Törmäyksellä oletetaan olevan vakavimmat seuraukset, ja siksi se on sijoitettu oikeanpuoleiseen sarakkeeseen.

Förekomst	Intervall sannolikhet (p)	Index (nedre gräns)	Drifting allision	Powered allision	Kollision
Mycket hög sannolikt	$p > 10^0$	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: $1,3 \times 10^{-2} = 4,1$ ✖ Fall C: $6,9 \times 10^{-3} = 3,8$		
Låg sannolikhet	$10^{-3} \leq p < 10^{-2}$	3 - en gång på 1 000 år			
Mycket låg sannolikhet	$10^{-3} \leq p < 10^{-4}$	2 - en gång på 10 000 år		Fall C: $3,4 \times 10^{-4} = 2,5$ ✖ Fall B: $3,2 \times 10^{-4} = 2,5$ ✖ Fall A: $2,5 \times 10^{-4} = 2,4$	
Extremt låg sannolikhet	$p < 10^{-4}$	1 - en gång på 100 000 år eller mer sällan	Fall C: $2,4 \times 10^{-5} = 1,4$ ✖ Fall B: $3,2 \times 10^{-5} = 1,5$		

Konsekvenser →

Törmäystodennäköisyys on hyvin pieni tapauksessa B (tutkimusalue) asteikon mukaan. Taulukko 4.1. Tuulivoimapuiston pienentämisellä etelässä (tapaus C) ei ole merkittävää vaikutusta törmäystodennäköisyyteen verrattuna suurempaan tuulivoimapuistoon (tapaus B).

Pienennetyn tuulivoimapuiston myötä *drifting allision* indeksoitu todennäköisyys laskee 4,1:stä 3,8:aan, mikä tarkoittaa, että todennäköisyys arvioidaan taulukossa esitetyn kuusiportaisen asteikon mukaan keskisuuren sijasta pieneksi.

Power allision arvioitu todennäköisyys on erittäin pieni molemmissa vaihtoehdoisissa jakaumissa. Pienennetty puisto merkitsee pientä laskua indeksistä 1,5 indeksiin 1,4.

Näin ollen riskien ja vaikutusten talvimerenkulkuun katsotaan pienenevän pienemmän tuulipuiston myötä. Ei ole kuitenkaan mahdollista määrittää, kuinka paljon vähennystä voi tapahtua. Taulukko 4.2 esitetään yhteenveto talven riskien vertailusta vaihtoehtoisten tuulipuistojen sijoituspaikkojen osalta.

Taulukko 4.2 Tunnistetut riskitekijät, joita tuulivoimapuisto aiheuttaa talvimerenkululle, ja niiden mahdolliset seuraukset sekä yhteenveto tuulivoimapuiston vaihtoehtoisten sijoituspaikkojen vertailusta ja siitä, miten se vaikuttaa kunkin riskin todennäköisyyteen.

Risktiin vaikuttava tekijä	Johdonmukaisuus	Vaihtoehtoisten jakaumien vertailu Pienennetty puistoalue (C) verrattuna tutkimusalueeseen (B).
1. Kulku huonompia reittejä pitkin, kun jäällä kulkevan vaihtoehtoisen optimaalisen reitin käytettävissä oleva tila on rajallinen.	Alusten juuttumisen todennäköisyys jäähän kasvaa. <i>Allision</i>	Tuulivoimapuiston itäpuolella oleva tila on rajoitettu samassa määrin. Etäisyys, jolla tilaa on rajoitettu, pienenee. <i>Törmäystodennäköisyys vähenee jonkin verran</i>
2. Alukset kulkevat tuulipuiston läheltä. Törmäysten välttämislitkkeet vaikeutuvat jäässä.	Törmäyksen ja <i>powered allisionin</i> todennäköisyys kasvaa.	Tuulivoimapuiston rajoittamismahdollisuudet törmäyksen välttämistoimiin pienenevät. <i>Powered allisionin ja yhteentörmäyksen todennäköisyys vähenee jonkin verran.</i>
3. Alukset juuttuvat jäähän puiston lähistöllä	<i>Drifting allisionin</i> todennäköisyys kasvaa.	Vähennetään etäisyyttä, jolla alusliikenne voi kulkea tuulipuiston läheltä. <i>Drifitng allisionin todennäköisyyden väheneminen.</i>
4. Nykyinen jäänmurtajien avustuskapasiteetti merkitsee pidempiä odotusaikoja.	<i>Drifting allisionin todennäköisyys</i> kasvaa odotus- ja ajautumisaikojen pidentyessä.	Jäänmurtajien avustus- ja kauttakulkumatka lyhenee. Jäänmurtajien käyttöaste laskee ja odotusaika lyhenee. <i>Drifting allision todennäköisyys vähenee jonkin verran, kun odotusaikoja voidaan lyhentää.</i>
5. Jäänmurtajan avun odotusajan piteneminen ja useammat alukset odottavat ruuhkaisella alueella.	Alusten odotusalue suurella kulkutiheydellä lisää yhteentörmäystoden näköisyyttä.	Alukset voivat odottaa kauempana pohjoisessa, ilman että ne ovat suoraan lähellä risteäviä laivaväyliä. Jäänmurtajien käyttöaste pienenee ja odotusaika lyhenee. <i>Törmäysten todennäköisyys pienenee hieman.</i>

Merenkulun riskianalyysissä kuvataan neljä skenaariota, joissa jääolosuhteet vaihtelevat eri tuulensuuntien mukaan. Näiden skenaarioiden osalta on tehty riskien merkityksellisuuden punninta ja painotus. Painotuksen tuloksen katsotaan olevan sama supistetun tuulivoimapuiston kuin selvitysalueen tuulivoimapuiston osalta. Vaara, jonka katsotaan painotuksen mukaan aiheuttavan eniten niin sanottuja "vaarapäiviä" ja joka on merkityksellinen kaikissa skenaarioissa, on *laivojen kulku lähellä tuulipuistoa ja törmäyksen välttämislitkkeiden vaikeutuminen jäässä*. Tuulipuiston pienentämisen odotetaan vähentävän tätä riskiä jonkin verran, mutta "vaarapäivien" määrä säilyy.

Kaiken kaikkiaan pienemmän puistoalueen (C) arvioidaan vähentävän huomattavasti jäänmurtajatoimintaan kohdistuvia vaikutuksia, koska sekä avustus- että kauttakulkumatkat lyhenevät verrattuna suurempaan tuulipuistoon (tutkimusalue). Jäänmurtaja-avun arvioidaan olevan tärkein toimenpide 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.