

Bilaga 17

Nautisk riskbedömning, plan för 113 vindkraftverk

Nautisk riskbedömning av havsvindkraftsparken Laine

Layout med 113
vindkraftverk



Författare: Jens Paulsson
Mobil: +46 768903146
jens.paulsson@sweco.se

Författare: Anna Bjereld
Mobil: +46 708274391
anna.bjereld@sweco.se

Författare: Sara Hammar
Mobil: +46 733368239
sara.hammar@sweco.se

Författare: Amy Eliasson
Mobil: +46 733011382
amy.eliasson@sweco.se

Granskad: Johan Nimmermark
Mobil: +46 767665414
johan.nimmermark@sweco.se

Lista över ändringar

Rev. nr.	Datum	Beskrivning av ändring	Granskad	Godkänd av
1	2023-09-29	Utkast	Johan Nimmermark	Oscar Lindén
2	2023-10-16	Slutrapport	Johan Nimmermark	Oscar Lindén
3	2023-12-11	Slutrapport – mindre ändringar	Johan Nimmermark	Oscar Lindén

Upphovsrätt © Laine Offshore Wind Oy. Detta dokument, dess bilagor eller någon del därav får inte kopieras, reproduceras, publiceras, distribueras eller modifieras på något sätt utan skriftligt tillstånd från Laine Offshore Wind Ltd.

Sweco AB

Distribution

Uppdrag nr.

Kund

Rev. nr.

Datum

Författare

Uppdragsansvarig

Document number

Orgnr 556542-9841

OX2/Navigationa Risk Assessment

25008228

OX2

02

2023-10-16

Anna Bjereld, Amy Eliasson, Jens Paulsson & Sara Hammar

Matti Lindgren

Controlled by

Approved by

Innehållsförteckning

1.	Introduktion	8
1.1	Syfte och mål.....	8
1.2	Metod	9
1.3	Omfattning och begränsningar.....	13
2.	Beskrivning av platsen	14
2.1	Havsvindkraftsparken Laine och dess omgivningar.....	14
2.2	Sjöfartsstråk och trafikmönster.....	16
2.3	Sjöfartsolyckor.....	18
2.4	Framtida trafik	23
2.5	Säkerhetsavstånd	24
3.	Riskidentifiering	27
4.	Frekvenser.....	30
5.	Konsekvenser	32
6.	Riskanalys	34
6.1	Allision (fartygskollision med stationärt objekt)	34
6.2	Kollision	41
6.3	Grundstötning.....	46
6.4	Störning av fartygsradar	47
6.5	Vinterförhållanden	53
6.6	Fallande föremål eller iskast från vindkraftverk.....	54
6.7	Kablar	55
6.8	Kumulativa effekter	56
6.9	Riskmatris.....	59
7.	Riskreducerande åtgärder	61
8.	Osäkerhetsanalys.....	66
9.	Diskussion	69
9.1	Tidsskala	69
9.2	Risk per område	69
9.3	Allision	69
9.4	Vinterrelaterade risker	70
10.	Slutsats.....	72
11.	Referenser.....	74

Förkortningar och termer

AIS	Automatiskt identifieringssystem
ALARP	As Low As Reasonably Practicable (område där risker kan tolereras om alla rimliga åtgärder har vidtagits)
Allision	IWRAP skiljer mellan kollision (där två rörliga fartyg kolliderar) och allision där ett rörligt fartyg stöter in i ett stillastående objekt – ett vindkraftverk, en bro, pir, docka eller oljeplattform. Två typer av allision täcks av IWRAP: - Powered allision (manövrerbart fartyg stöter mot ett stillastående objekt). Uppstår antingen i frånvaro av ett fartygs manöver när farleden svänger, eller för fartyg som styr utanför farleden. - Drifting allision (drivande fartyg stöter emot ett stillastående objekt).
Orsaksfaktor	Antagande i IWRAP om sannolikheten för att kausalitet faller ut. En orsaksfaktor är den villkorade sannolikheten för ett mänskligt fel eller tekniskt fel i en olycka som annars kunde ha förhindrat olyckan
Kollision	Med kollision avses i denna rapport kollisioner mellan fartyg om inte annat anges. IWRAP skiljer mellan kollision (där två rörliga fartyg kolliderar) och allision där ett rörligt fartyg stöter in i ett stillastående objekt – ett vindkraftverk, en bro, pir, brygga eller plattform. Fem typer av kollision täcks av IWRAP: - Kollision stäv mot stäv - Omkörningskollision - Skärande kollision - Samgående kollision - Kollision i krök
Konceptdesign	Inkluderar preliminär utformning av vindkraftsparks- och sjöfartsområdenas layout med hjälp av data och formler som ges i designriktlinjer tillsammans med annan relevant data relaterad till fartyg och miljö. I det allra första konstruktionsstadiet görs endast grova uppskattningar av säkerhetsavståndet. Processen är avsedd att vara snabb i utförande och inte kräva överdriven indata, så att alternativ (för avvägningsstudier) kan utvärderas snabbt (PIANC, 2018)
Detaljerad design	Är en mer rigorös process avsedd att validera, utveckla och förfina konceptdesignen. Metoderna som används i detaljdesign bygger på numerisk analys (till exempel simulering) och kräver därför mer omfattande och detaljerad input, såväl som ordentlig bedömning och erfarenhet av tolkningen av deras utdata. Utdata från den detaljerade designen kan bli föremål för ytterligare kontroll av acceptans genom marin trafikanalys, riskanalys och kostnads-/nyttouppskattningar. Resultaten av dessa kontroller kan leda till justeringar och en ytterligare cykel av detaljdesign (PIANC, 2018)
EEZ	Exklusiv ekonomisk zon
FI	Frekvensindex, ett tal som representerar olycksfrekvensen (Maritime Safety Committee, 2018)
Farled	Sjöväg i inre vatten, inlandet eller nära kusten, markerad med sjösäkerhetsanordningar eller markerad på sjökort eller i en nautisk publikation
FSA	Formal Safety Assessment (Formell säkerhetsbedömning)
Bruttodräktighet (BRT)	Mått på fartygsstorleken (fartygets totala inre volym)

GW	gigawatt
HEP	Human Error Probability (Sannolikhet för mänskliga fel)
HRA	Human Reliability Assessment (Bedömning av mänsklig tillförlitlighet)
IALA	International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
IMO	Internationella sjöfartsorganisationen
IWRAP	IALA Waterway Risk Assessment Program (modelleringsverktyg för beräkning av olycksfrekvenser för fartyg)
kV	kilovolt
Ben	Seglingssegment mellan två waypoints
M	nautisk mil (1 852 meter)
MW	megawatt
Vindkraftspark	Havsbaserad vindkraftspark
Plattform	Station för insamling och omvandling av den el som genereras av vindkraftverken. Det inrymmer vanligtvis transformatorer, ställverk och, om tillämpligt, utrustning för produktion, lagring och distribution av vätgas.
RI	Riskindex, ett tal som representerar riskens storlek (Maritime Safety Committee, 2018)
SI	Allvarlighetsindex; ett tal som representerar svårighetsgraden av följden av en olycka (Maritime Safety Committee, 2018)
Sjöfartsområde	Den maritima fysiska planeringen identifierar områden med betydande trafik som sjöfartsområden. Sjöfartsområden spelar en avgörande roll för den nuvarande och framtida användningen av havsområdena (Maritime Safety Committee, 2018). I denna rapport används begreppet sjöfartsområde synonymt med fartygsområde
Sjöfartsstråk	Rutt eller kurs som följs av fartyg eller skepp när de seglar från en plats till en annan
TSS	Trafiksepareringssystem – ett område där mötande trafik separeras i olika trafikleder
Trafikled	En trafikled är ett avgränsat område där trafiken är enkelriktad. Naturliga hinder, inklusive de som bildar separationszoner, kan utgöra en gräns (IMO, n.d.)
VTS	Fartygstrafiktjänst
Waypoint	Referenspunkt i navigering; nodpunkt i IWRAP
Vindkraftverk	Vindkraftverk

Icke-teknisk sammanfattning

I denna rapport redovisas en bedömning av risker för människors hälsa och säkerhet och miljön av fartygstrafiken i Norra Kvarken som etableringen av havsvindkraftsparken Laine kan innebära.

Under nuvarande förhållanden navigerar fartygen genom eller nära projektområdet för Laine på väg mellan Nordvalen och Karleby, Kalajoki och Brahestad liksom Jakobstad, Kemi och Torneå. Efter etableringen av vindkraftsparken antas en stor del av trafiken genom Laine projektområde ta nya vägar vidare norrut och söderut.

Riskidentifiering genomfördes i en HAZID (Hazard IDentification workshop), utöver de allmänna risker som vanligtvis ingår i en nautisk riskbedömning. Risker under vinterförhållanden pekades ut som viktiga i HAZID.

Totalt har 22 nautiska risker identifierats, analyserats och bedömts.

Vindkraftsparken Laine påverkar riskprofilen för fartygstrafiken i Norra Kvarken enligt följande:

- **Allision:** Laine vindkraftspark medför risk för allision med vindkraftverk och plattformar. Denna risk finns även under vinterförhållanden, då fartyg kan fastna i isen och driva med isen.
- **Kollision:** Risken för kollision ökar, främst då Laine vindkraftspark kommer att få mer trafik att använda sjöfartsområdet mellan Nordvalen och Jakobstad i söder, vilket leder till fler kollisioner (en extra kollision var 650:e år). Under byggskedet finns det även risk för kollision med arbetsfartyg på väg till/från hamn.
- **Grundstötning:** Laine vindkraftspark förändrar inte nämnvärt risken för grundstötning.
- **Fartygsradar:** Vindkraftverk kan orsaka störningar för fartygsradar.
- **Vinterförhållanden:** Vindkraftsparker kan påverka isläggningen, vilket påverkar navigationsförhållandena för vintertrafik. Laine vindkraftspark kan blockera rutter för vintersjöfart, vilket tvingar fartyg att ta längre rutter där de är mer utsatta för faror.

De flesta risker ansågs vara försumbara eller kategoriserades som *acceptabla*. Inga *oacceptabla* risker hittades. Risker som i vissa avseenden har klassificerats som *ALARP*, vilket innebär att riskerna kan tolereras om rimliga åtgärder vidtas, visade sig vara:

- Manöverodugligt fartyg driver in i ett vindkraftverk (drifting allision)
- Fartyg fångas i isen och driver med isfältet in i ett vindkraftverk (drifting allision)

- Utomstående fartyg i vindkraftsparken navigerar in i ett vindkraftverk
- Begränsad sikt gör att ett fartyg navigerar in i ett vindkraftverk
- Kollisioner mellan fartyg som passerar vindkraftsparken
- Kollision med arbetsfartyg på väg till/från hamn
- Störning av fartygsradar (målförlust)
- Påverkan på sök- och räddningsinsatser
- Vindkraftsparken påverkar isläggning
- Vindkraftsparken blockerar rutter för vintersjöfart (längre rutter som resulterar i grundstötning, kollision och allision)

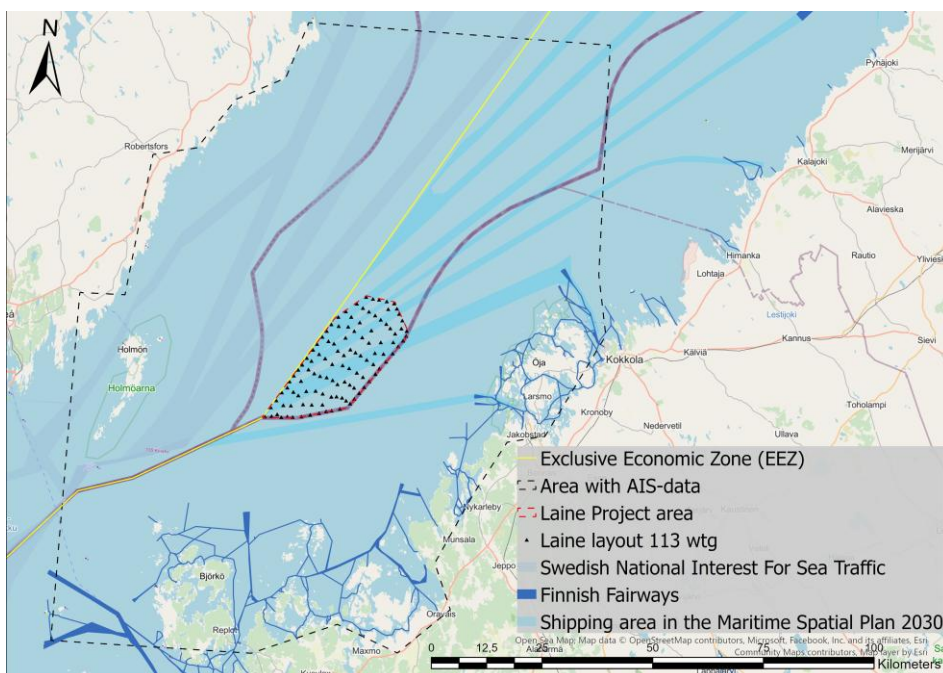
Rekommendationer om riskreducerande åtgärder ges i denna rapport.

Den övergripande slutsatsen är att den risk som Laine vindkraftspark medför är *acceptabel*, förutsatt att mildrande åtgärder vidtas. Risker relaterade till vintersjöfart och is antas inte innebära allvarliga konsekvenser för människors hälsa och säkerhet eller för miljön, utan klassificeras som *ALARP* för att säkerställa att osäkerheterna inte leder till underskattning av risker.

1. Introduktion

OX2 planerar att ansöka om tillstånd för byggandet av Laine vindkraftspark, som ligger cirka 32 km utanför kusten, väster om Jakobstad i Österbotten i Finland. Vindkraftsparksområdet är ca 450 km² och planeras för 113–150 vindkraftverk med en maxhöjd på 370 meter över havet. Denna rapport omfattar layouten med 113 vindkraftverk.

Projektområdet illustreras i Figur 1 nedan.



Figur 1. Karta som visar projektområdet för Laine och område med AIS-data, analysområde.

1.1 Syfte och mål

Syftet med riskbedömningen är att analysera vilken påverkan vindkraftsparken Laine har på säkerheten för sjöfarten avseende människors hälsa och miljön.

Syftet med studien är att identifiera och beskriva de olycksrisker som vindkraftsparken Laine kan innebära för sjöfarten.

1.2 Metod

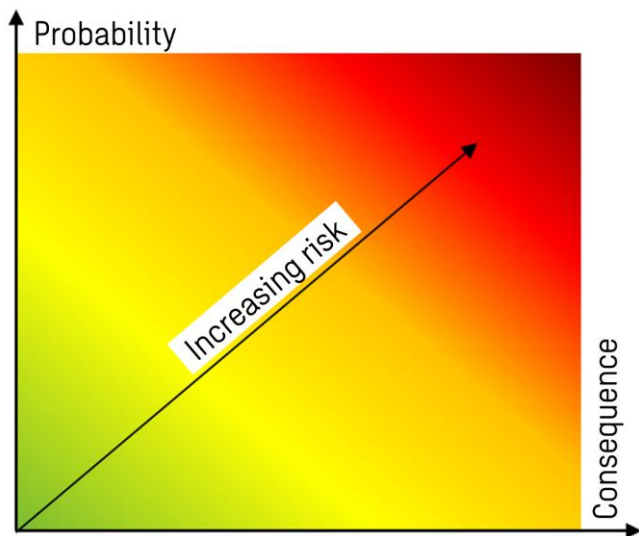
Bedömningen av nautiska risker följer metoden för en FSA (Formal Safety Assessment) som beskrivs i *Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process* (Maritime Safety Committee, 2018). Rapporten omfattar dock inte någon kostnads-nyttoanalys av potentiella riskreducerande åtgärder.

Denna rapport överensstämmer med den detaljerade designfasen som definieras i PIANCs rapport *MarCom Wg 161: Interaction Between Offshore Wind Farms and Maritime Navigation* (PIANC, 2018). Under denna fas är det primära målet att noggrant validera, förbättra och förfina konceptdesignen.

1.2.1 Riskkoncept

Risk definieras som kombinationen av sannolikheten för en oönskad händelse och konsekvensen av den händelsen. Sannolikheten beskriver frekvensen för att en given händelse inträffar och konsekvensen beskriver svårighetsgraden av den skada som kan uppstå.

Figur 2 illustrerar hur risken ökar med ökande sannolikhet och/eller konsekvens av en händelse.



Figur 2. Ökande risk beroende på sannolikhet och konsekvens.

1.2.2 Process

Denna studie följer stegen i riskhanteringsprocessen:

- **Riskbedömning** – inkluderar faroidentifiering, riskanalys och riskbedömning
 - *Faroidentifiering* – inventering av händelser (scenarier) som kan få oönskade konsekvenser.
 - *Riskanalys* – kvalitativ eller kvantitativ uppskattning av sannolikhet och konsekvens för varje scenario.

- *Riskbedömning* – Efter riskanalysen görs en värdering för att avgöra om riskerna kan accepteras eller inte. Som en del av riskbedömningen kan även förslag till riskreducerande åtgärder för att minska riskerna ges.
- **Riskreducering/kontroll** – det sista steget i riskbedömningsprocessen inkluderar de beslut som fattas om potentiella riskreducerande åtgärder som effektivt skulle kunna vidtas för att uppnå en acceptabel risknivå.

Riskhanteringsprocessen innefattar således riskbedömning (riskidentifiering, riskanalys och riskbedömning) samt riskreducering/kontroll.

Föreliggande riskanalys utförs med olika metoder beroende på vilken identifierad händelse som analyseras. Sannolikheter kvantifieras i första hand genom modellering i IWRAP Mk2-mjukvaran¹. Sannolikheter som inte kan beräknas i IWRAP kvantifieras genom skrivbordsstudie och beräkning eller expertbedömning.

För händelser som inte kan analyseras kvantitativt görs en kvalitativ bedömning utifrån erfarenheter från befintligt material, platsens geografiska förutsättningar, tidigare gjorda undersökningar med liknande förutsättningar, forskning och tillgänglig statistik.

1.2.3 Riskbedömningskriterier

Riskbedömningen utförs med hjälp av en riskmatris (se Figur 3) där varje risk rangordnas baserat på konsekvensens frekvens och svårighetsgrad på en logaritmisk skala. Rangordningen görs med hjälp av tillgänglig data, stödd av bedömning, om scenarierna. Risknivån beräknas som summan av frekvensindex och svårighetsgradsindex. Matriser av denna typ används ofta i nautiska riskbedömningar av miljöpåverkan eller påverkan på människor.

¹ IWRAP är ett simuleringsverktyg för nautiska riskanalyser och används för att bedöma frekvensen av kollision, grundstötning och allision under olika förhållanden.

		Allvarlighetsgrad			
		1	2	3	4
		<i>Mindre</i>	<i>Signifikant</i>	<i>Svår</i>	<i>Katastrofal</i>
Frekvens	6 Sannolik <i>En gång per år</i>	7	8	9	10
	5 Rimligen troligt <i>En gång per 10 år</i>	6	7	8	9
	4 Oväntat <i>En gång per 100 år</i>	5	6	7	8
	3 Avlägsen <i>En gång per 1 000 år</i>	4	5	6	7
	2 Mycket avlägsen <i>En gång per 10 000 år</i>	3	4	5	6
	1 Extremt avlägset <i>En gång per 100 000 år</i>	2	3	4	5

Figur 3. Riskmatris för värdering av vindkraftsparkens risker för sjöfarten. RI, Riskindex², ges av värdena i de färgkodade fälten.

- **Röda** risker (händelser med riskindex ≥ 8) bedöms som oacceptabla. Scenarier som klassificeras som röda innebär en sådan risk att riskreducerande åtgärder måste vidtas för att uppnå en acceptabel risknivå.
- **Gula** risker (händelser med riskindex ≥ 5) bedöms som tolererbara om tekniskt och ekonomiskt rimliga åtgärder vidtas. Risker i denna kategori ska hanteras med hjälp av *ALARP-principen* (*As Low As Reasonably Practicable*). För scenarier som klassificeras som gula måste riskerna beaktas och rimliga riskreducerande åtgärder vidtas.
- **Gröna** risker (händelser med riskindex < 5) bedöms som acceptabla. För scenarier som klassificeras som gröna är riskerna så låga att riskreducerande åtgärder inte behöver vidtas.

Sannolikhet graderas enligt en skala över förekomstfrekvens, se Tabell 1. Den sexgradiga skalan sträcker sig från *extremt avlägsna* till *troliga* händelser. Skalan används ofta för att kategorisera olika händelser inom sjöfarten (Maritime Safety Committee, 2018).

² Riskindex är summan av frekvensindex, FI, och allvarlighetsindex, SI. Risk uttrycks vanligtvis som frekvens $\times$ konsekvens, och riskindexet i detta fall är 10-logaritmen av frekvens $\times$ konsekvens.

Tabell 1. Klassificering av händelser baserad på frekvensen av händelser som görs i riskanalys och reflekterar en förväntad sannolikhet för att en händelse som kan påverka miljön eller säkerheten inträffar.

Index (FI)	Frekvens	Förekomst	Definition
6	En gång per år ($f=1$)	Sannolik	Händelser som förväntas inträffa varje år i en vindkraftspark.
5	En gång per 10 år ($f=0,1$)	Rimligen troligt	Händelser som förväntas inträffa varje år i en grupp om cirka 10 vindkraftsparker, dvs händelser som förväntas inträffa några gånger under en vindkraftsparks livstid.
4	En gång per 100 år ($f=0,01$)	Oväntat	Händelser som förväntas inträffa varje år i en grupp av cirka 100 vindkraftsparker, dvs händelser som förväntas inträffa varje år i någon vindkraftspark i världen.
3	En gång per 1 000 år ($f=10^{-3}$)	Avlägsen	Händelser som förväntas inträffa varje år i en grupp av cirka 1 000 vindkraftsparker, det vill säga händelser som förväntas inträffa vart tionde år vad gäller alla världens vindkraftsparker.
2	En gång per 10 000 år ($f=10^{-4}$)	Mycket avlägsen	Händelser som förväntas inträffa varje år i en grupp av cirka 10 000 vindkraftsparker, det vill säga händelser som kan inträffa en gång i termer av alla världens vindkraftsparker under deras livstid.
1	En gång per 100 000 år ($f=10^{-5}$)	Extremt avlägset	Händelser som inte förväntas inträffa.

Konsekvenser graderas efter en allvarighetsskala avseende människa och miljö, se Tabell 2. I denna studie har skalan fyra steg, från *mindre påverkan* till *katastrofal påverkan*, och är baserad på exempel i IMO:s FSA-metodik (Maritime Safety Committee, 2018). Skalar av denna typ används ofta för att kategorisera olika händelser inom sjöfarten.

Tabell 2. Klassificering av händelser efter svårighetsgrad som återspeglar de värsta sannolika konsekvenserna av en händelse när det gäller dess påverkan på miljön och människors säkerhet.

Index (SI)	Allvarlighetsgrad	Effekter på människors säkerhet (dödsfall)	Effekter på miljön (oljeutsläpp)
1	Mindre	Enstaka eller mindre skador (0,01)	1 ton utsläpp
2	Signifikant	Flera eller svåra skador (0,1)	10 ton utsläpp
3	Svår	Enstaka dödsfall eller flera allvarliga skador (1)	100 ton utsläpp
4	Katastrofal	Flera döda (10)	1 000 ton utsläpp

När de olika händelserna har indexerats med sannolikhets- och konsekvensindex kan ett riskindex beräknas. För detaljer om detta, se Appendix A.

1.3 Omfattning och begränsningar

Huvudfokus i riskbedömningen är att analysera om det sker en förändring av risknivån på grund av vindkraftsparken.

Denna undersökning följer metoden för en FSA (Formal Safety Assessment) med undantaget att kostnads-nyttoanalys av potentiella riskreducerande åtgärder inte utförs (den kan utföras senare vid behov).

Endast olycksrisker som den havsbaserade vindkraftsparken orsakar sjötrafiken analyseras. Analysen fokuserar på vindkraftverk.

I huvudsak analyseras risken för olyckor med handelsfartyg och andra stora fartyg och i mindre utsträckning risken för olyckor i anslutning till fiske och fritidsbåtar. Olycksrisker för vindkraftsparkens arbetsfartyg analyseras i den mån de påverkar handelsfartyg och icke-kommersiella fartyg som passerar genom vindkraftsparken.

Studien omfattar inte:

- Konsekvenser för driften av vindkraftsparken (t.ex. skada på egendom eller produktionsbortfall)
- Arbetsrelaterade risker (inklusive kollisioner mellan arbetsfartyg)
- Faror för arbetshälsan och ekonomiska risker som inte är direkt kopplade till människors säkerhet och miljön.
- Icke-nautiska risker som kan uppstå från driften av vindkraftsparken.
- Risker för små fartyg inklusive fritidsbåtar och små fiskebåtar, som navigerar utanför etablerade rutter eller inom vindkraftsparken.
- Andra objekt än vindkraftverk och plattformar

Frekvenser för att segla eller driva in i plattformar ingår i denna rapport. Riskbedömning av risker för större olyckor med vätgas presenteras i en separat Seveso-rapport.

Vindkraftsparken Laines påverkan på fartygsradar analyseras utifrån allmän kunskap om radarstörningar och vindkraftsparker. De exakta störningarna på fartygsradarsystem och på vilka avstånd de inträffar kan endast bedömas med tillräcklig noggrannhet när den slutliga designlayouten för vindkraftsparken och vindkraftverken är känd.

2. Beskrivning av platsen

2.1 Havsvindkraftsparken Laine och dess omgivningar

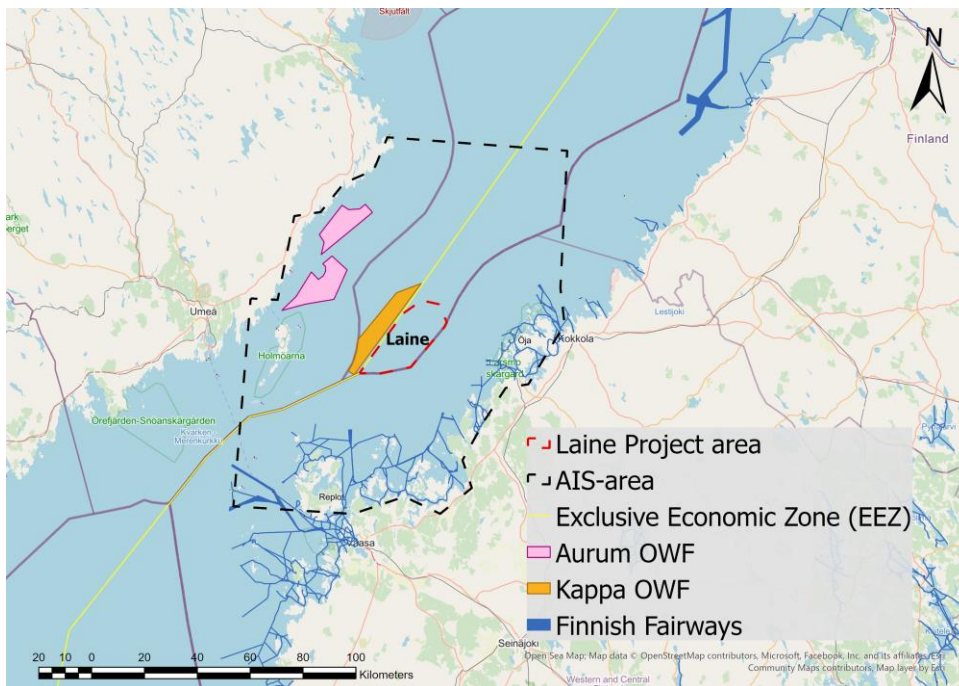
Laine, som är en havsbaserad vindkraftspark som undersöks, ligger cirka 32 km utanför kusten väster om Jakobstad i Norra Österbotten i Finland.

Vindkraftsparken är cirka 450 km² stor och är planerad för 113-150 vindkraftverk med en total höjd av 370 meter. Denna rapport omfattar layouten med 113 vindkraftverk. Tekniken som planeras att användas är bottenfasta vindkraftverk med en total installerad effekt på cirka 2,25 GW. Andra strukturer inom vindkraftsparken är havsbaserade transformatorstationer och undervattenskablar och/eller plattformar för vätgasproduktion och rörledningar. Sjökablar och/eller rörledningar kommer att överföra elektriciteten eller vätgasen till nätet på fastlandet.

Riskbedömningen sträcker sig till det område inom vilket AIS-data samlas in och uppgår till en yta på cirka 13 410 km², vilket visas på kartan nedan (Figur 4). Området för AIS-data kallas härnäst för analysområdet.

Det finns andra planerade vindkraftsparker i området nära vindkraftsparken Laine. På den svenska sidan av EEZ ligger vindkraftsparken Kappa cirka 1 km väster om Laine, och vindkraftsparkerna Aurum North och South, som ligger cirka 25 km från Laine. Lokaliseringen av Laine och närliggande andra planerade vindkraftsparker illustreras i Figur 4.

Området för AIS-data kallas härnäst för analysområdet.



Figur 4. Karta som visar Laine-projektområdet och området med AIS-data (analysområde), och närliggande planerade vindkraftsparker Kappa och Aurum.

Den dominerande vindriktningen i området är sydsydväst (SSV) och sydväst (SV). Vinddata bedöms vara representativa för hela Laine-projektområdet. Medelvindhastigheten i mittpunkten på 10 meters höjd över havet uppgår till 6,6 m/s och ligger i allmänhet mellan 5–10 m/s. Navigeringsförhållandena är i allmänhet sådana att hård vind och kraftig sjö kan utgöra ett hinder för sjöfarten. Medelvattendjupet i projektområdet är 42,5 meter, med ett större djup i de nordligaste och de sydvästra delarna. Vattendjupet är mindre i de sydöstra delarna. Ytterligare beskrivning av vind- och vattendjupsförhållanden finns i trafikanalysen för Laine vindkraftspark (Sweco, 2023c).

2.1.1 Isförhållanden och ishantering

Att stora delar av Östersjöns vatten, särskilt Bottenviken, fryser till varje år påverkar sjöfarten.

Fartyg blir ofta beroende av isbrytarassistans. Isläggning och täckning under vinter- och vårmånaderna tvingar ofta fartyg att ta andra vägar än under månader utan havsis. Olika typer av istäcke kan också påverka sjöfarten på olika sätt.

Generellt sett är isförhållandena i närheten av Laineprojektområdet sådana att drivas är vanlig och ibland förekommer packis som är svår att passera och utgör ett hinder för sjöfarten. Isvintern 2021–2022, som analyseras i följande riskanalys, var en mild isvinter, men den varade längre än vanligt i Bottenviken. Maximal isutbredning inträffade den 4 februari 2022 då isen täckte ett område på 93 000 km² (Finnish Transport Infrastructure Agency, 2023). Det längsta avståndet för fartygen att segla i is från Kemi till iskanten var 194 M, den 4

februari 2022. För detaljerad information om isvintrar och olika typer av is, se trafikanalysen för Laine vindkraftspark (Sweco, 2023c).

Fartyg blir ofta beroende av isbrytarassistans. Isläggning och -täckning under vinter- och vårmånaderna tvingar ofta fartyg att ta andra vägar än under månader utan havsis. Olika typer av istäcke kan också påverka sjöfarten på olika sätt. I tuffa väderförhållanden blir ishanteringens roll viktig för att säkerställa sjöfartssäkerheten och ett smidigt flöde av trafik som anlöper hamnar.

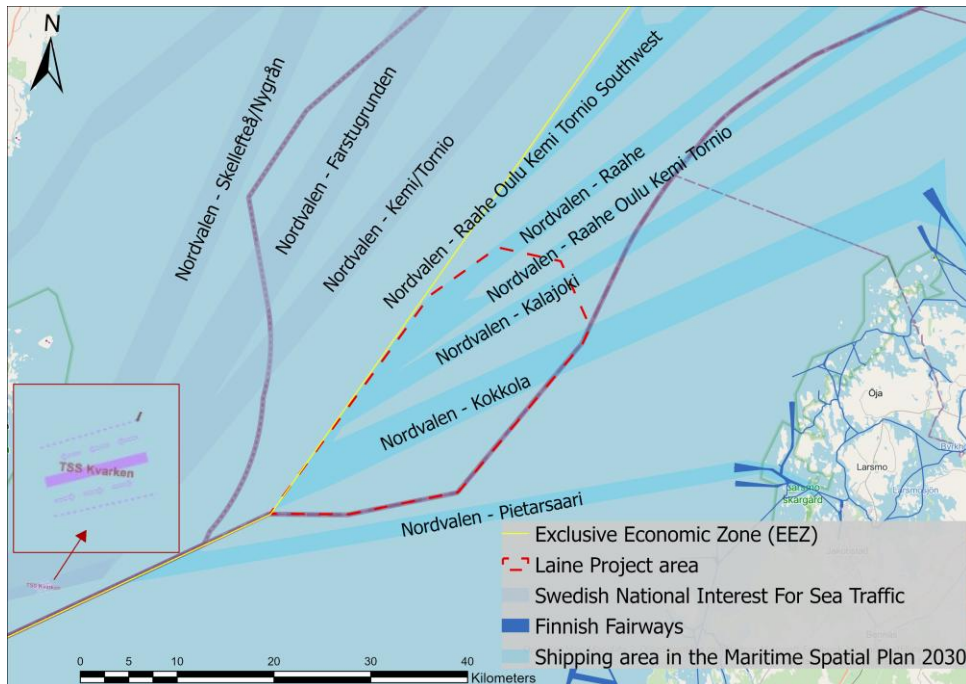
Fysisk ishantering av isbrytare gör att verksamheten kan bedrivas säkert under hela issäsongen. Isövervakning och utvärdering av lokala isförhållanden ger avgörande beslutsstöd för isbrytarverksamheten³. Isbrytare som verkar i området är därmed en förutsättning för kontinuerlig och säker sjöfart i området och därmed en riskreducerande åtgärd som redan finns runt Laine⁴.

2.2 Sjöfartsstråk och trafikmönster

Det finns flera sjöfartsområden i anslutning till eller genom Laine projektområde som ligger i norra Kvarken, visat i Figur 5. På den svenska sidan av EEZ syns tre svenska riksintressen för sjöfart, som sträcker sig från TSS Norra Kvarken och norrut till Bottenviken. I Norra Kvarken finns ett område av stor betydelse för sjöfarten där utrymmet för fartyg att navigera är begränsat. Fartygstrafiken regleras av TSS Northern Kvarken antagen av IMO. På den finska sidan av EEZ-gränsen finns det flera sjöfartsområden som utpekats i Finlands havsplan 2030 och som gränsar till de finska officiella farlederna som finns innanför den finska territorialgränsen. Närliggande hamnområden på den finska sidan, där en dominerande del av trafiken passerar, är Jakobstad och Karleby.

³ Isbrytare har övervakningsverktyg för att analysera rådande isförhållanden och prognoser för kommande issituationer baserat på satellitbilder, väderprognoser och sjöfartsförutsägelser. Det finns en mängd olika sätt att bryta eller avleda is, där det optimala beror på detaljerna för den operation som stöds och de tillgängliga fartygen.

⁴ Markku Mylly, sjöfartsmästare / Säkerhet och säkerhet, 7 oktober 2023.



Figur 5. Karta som visar sjöfartsområden och farleder i anslutning till Laine projektområde.

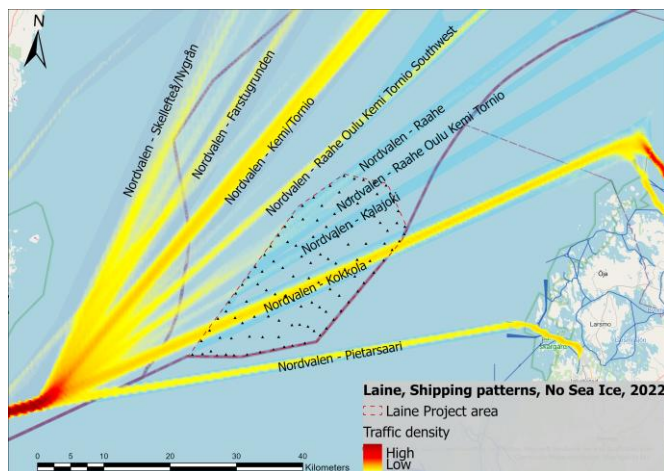
Farledsklassificeringen av de finska farlederna beskriver farledens avsedda användning. Sjöfartsområden går genom projektområdet där stråken ansluter till de finska farlederna Nordvalen - Brahestad Uleåborg Kemi Torneå sydväst, Nordvalen - Brahestad Uleåborg Kemi Torneå, Nordvalen - Kalajoki, Nordvalen - Karleby och Nordvalen - Jakobstad. Dessa beskrivs som farleder för handelsfartyg, vilket innebär att farlederna i första hand byggs och underhålls för handelsfartyg, vilket avser fartyg i kusttrafik som betalar farledsavgifter. (Traficom, 2021)

Det svenska riksintresset för sjöfart som ligger närmast Laine är Nordvalen – Kemi/Torneå, svenskt riksintresse för sjöfart, är områden utpekade av Trafikverket⁵ som viktiga för fartygstrafiken. Dessa områden är inte farleder och föreskrivna eller markerade på sjökortet, förutom där de omfattas av sjötrafikreglerande åtgärder (The Swedish Transport Administration, 2022). Ett sjöfartsstråk är ett område med definierade gränser där enkelriktad trafik etableras (IMO, n.d.).

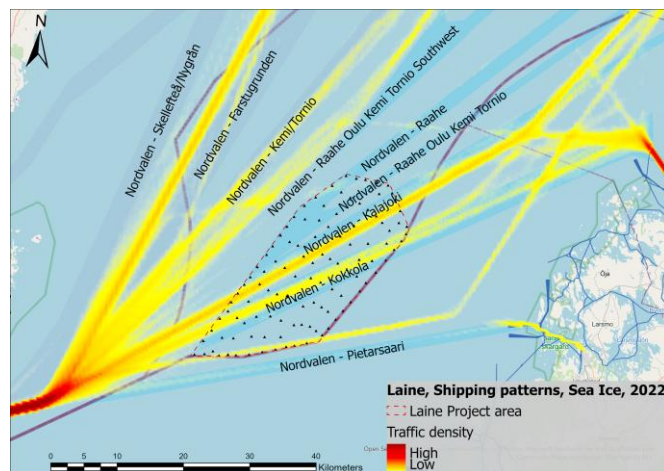
Sjötrafiken i området analyseras i trafikanalysen för vindkraftsparken Laine. Trafikanalysen visar att de olika sjöfartsstråken är begränsade till ett fåtal fartyg per dag, vanligtvis cirka 1-2 fartyg per dag inom varje sjöfartsstråk/farled. (Sweco, 2023c)

AIS-data som används för trafikanalysen härstammar från 2022. Trafikmönster 2022 under månader med havsis och under månader utan havsis visas i Figur 6 och Figur 7 nedan.

⁵ Eng. Trafikverket



Figur 6. Värmekarta över sjöfartsmönster runt Laine vindkraftspark under perioder utan havsis (2022-06-01–2022-12-31).



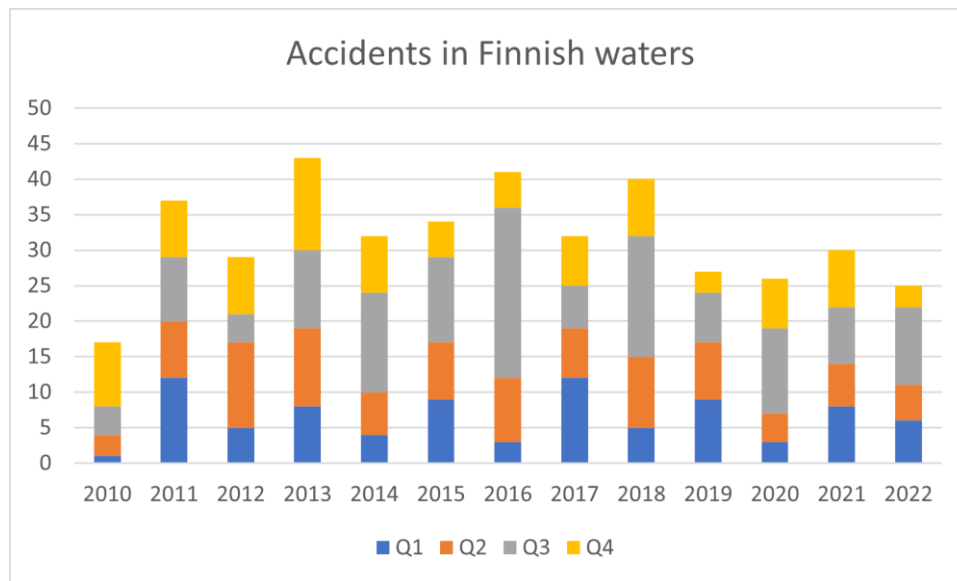
Figur 7. Värmekarta över sjöfartsmönster runt Laine vindkraftspark under perioder med havsis (2022-01-01–2022-05-31).

Trafikvolymen under månader utan havsis som passerar i sjöfartsområdena närmast Laine, men inte inom projektområdet, består i första hand av trafik som trafikerar Nordvalen – Jakobstad och Nordvalen – Brahestad Uleåborg Kemi Torneå sydväst.

Vid etablering av Laine vindkraftspark kommer trafik som för närvarande går genom projektområdet i allmänhet att behöva ta en väg runt vindkraftsparken. I riskmodelleringen kommer trafiken i projektområdet därför att flyttas till trafikstråk utanför parkområdet. Mer information om trafikförhållandena i området finns i trafikanalysen för Laine vindkraftspark (Sweco, 2023c).

2.3 Sjöfartsolyckor

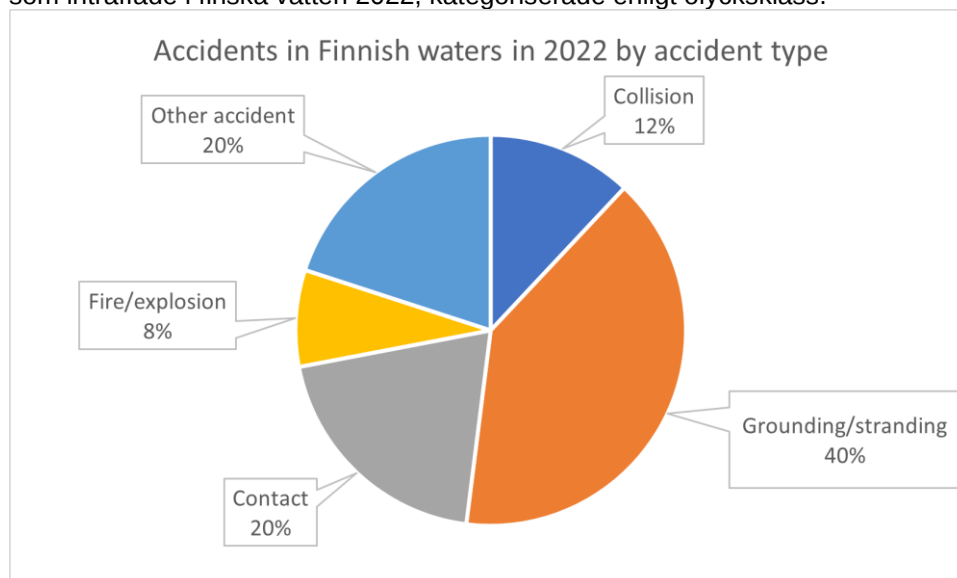
Traficom sammanställer sjösäkerhetsrelaterade frågor i finska vatten och presenterar olika slags sjöfartsstatistik för finska vatten. Bland annat sammanfattas antalet olyckor som inträffat i Finlands vattenområden under en period mellan 2010 och 2022, vilket illustreras i (2023) Figur 8. Enligt sammanställningen inträffade i genomsnitt mellan 25–43 sjöolyckor årligen i Finlands vatten, exklusive incidenter med sjöolyckor. Den årliga variationen är stor men slumpmässig och ska därför inte ses som en bidragande orsak till sjöolyckor.



Figur 8. Figuren visar olyckor som har inträffat i Finlands vattenområden mellan 2010 och 2022. Informationen till figuren är hämtad från (Traficom, 2023)

De olyckor som visas är grundstötning/strandning, kollision, kontakt, brand/explosion och andra olyckor. Den vanligaste typen av olyckor under perioden är grundstötning/strandning och antalet har generellt varit oförändrat från år till år.

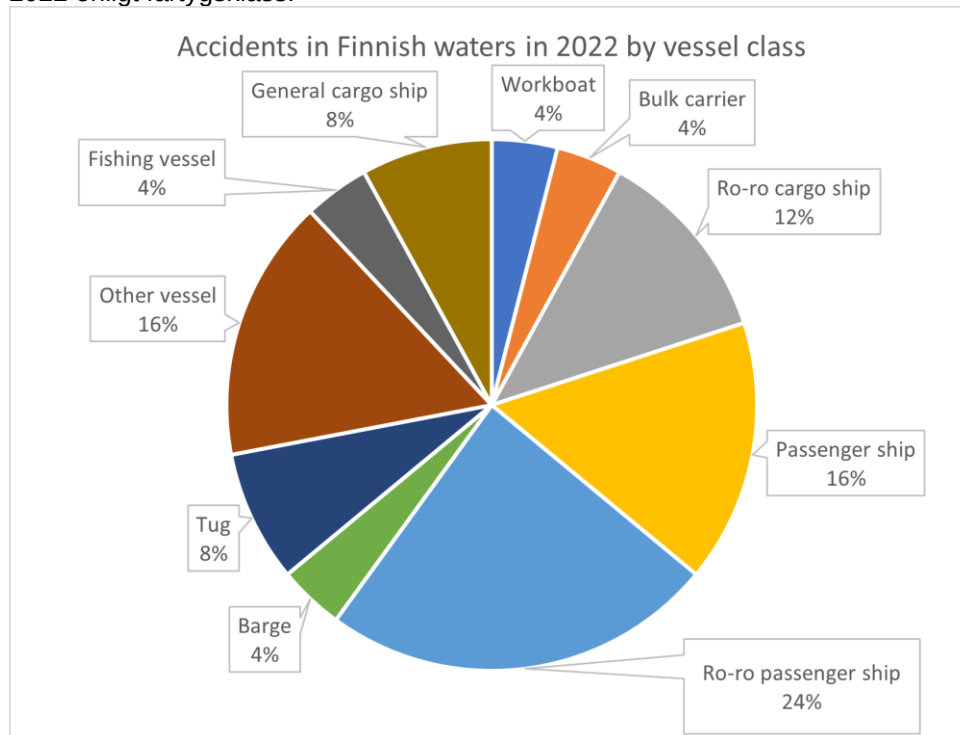
År 2022 var det 10 grundstötningar/strandningar, vilket stod för 40 % av olyckorna, fem kontakter, vilket stod för 20 % av alla olyckor, medan antalet kollisioner var tre, vilket stod för 12 % av alla olyckor. Figur 9 illustrerar olyckor som inträffade i finska vatten 2022, kategoriserade enligt olycksklass.



Figur 9. Figuren visar olyckor som inträffade i Finlands vattenområden år 2022 enligt olycksklass.

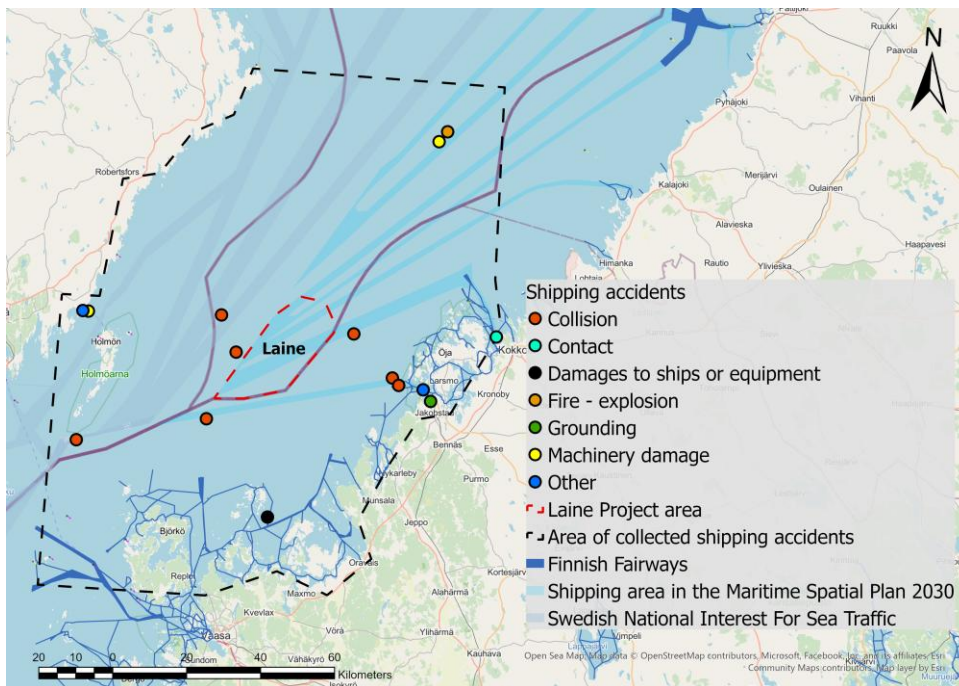
De flesta olyckor som inträffade i finska vatten involverade ro-ro-passagerarfartyg (24 %), följt av passagerarfartyg (16 %), andra fartyg (16 %) och ro-ro-lastfartyg (12 %). Figur 10 nedan visar olyckor som inträffade i Finlands territorialvatten

2022 enligt fartygsklass.



Figur 10. Figuren visar olyckor som inträffade i Finlands territorialvatten år 2022 enligt fartygsklass.

HELCOM presenterar olycksstatistik för Östersjön under perioden 1989 till slutet av 2020. Inom analysområdet för Laine (dvs samma område där AIS-data samlades in) rapporterades 15 olyckor under perioden. I (2022) Figur 11, på nästa sida, visas typerna av olyckor och deras position. Olyckorna är generellt sett utspridda men placerar sig främst i närheten av sjöfartsområden, till exempel kring Jakobstad. Inom analysområdet är det främst kollisioner som står för den största delen av olyckorna med 7 rapporterade olyckor.



Figur 11. Olyckor registrerade i närheten av det aktuella projektområdet mellan 1989–2020, totalt 15 olyckor. Området där olycksstatistiken har sammanställts är markerat med en svart streckad linje. Olyckorna är indelade i olika typer. Informationen hämtas från HELCOM (2022).

2.3.1 Sjöfartsolyckor i vindkraftsparker

Tabell 3 ger en översikt över rapporterade händelser där fartyg har drivit eller seglat in i vindkraftverk. Olyckor har identifierats genom studier av olika databaser, artiklar och olycksutredningar. Syftet med översikten är att studera förloppet och möjliga konsekvenser av olycksscenarioer inklusive vindkraftspark. Listan gör inte anspråk på att vara heltäckande.

Tabell 3. Olyckor som har inträffat mellan sjötrafik och vindkraftverk.

Händelse	Beskrivning	Konsekvensen	Konsistensmiljö
Arbetsfartyg i parken kolliderade med ett vindkraftverk (MAIB, 2013)	2012-11-21: Personfartyget Island Panther körde in i en obelyst del av ett vindkraftverk vid Sheringham Shoal vindkraftspark med en hastighet av 12 knop. Det var natt och hårt väder och skepparen förlitade sig inte på radar på grund av störningsrisken.	Både personal och passagerare fick skador som inte var livshotande (hjärnskakning, bruten arm, skador av krossat glas, käkskador, skador på bröst och rygg).	Skador på för och skrov men inget utsläpp
Arbetsfartyg i parken kolliderade med ett vindkraftverk (Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation, 2019)	2018-04-10: Servicefartyget Vos Stone kolliderade med ett vindkraftverk under konstruktionsfasen av vindkraftsparken Arkona Becken Südost i Östersjön. Orsaken uppges vara ett test av nödstyrssystemet som ledde till att man förlorade kontrollen över fartyget.	Tre besättningsmedlemmar ombord på fartyget fick lindriga skador.	Skador på fartyg och plattform men inget utsläpp.
Arbetsfartyg i parken kolliderade med ett vindkraftverk (Jersey Maritime Administration, 2020)	2020-04-23: Servicefartyget Njord Forseti kör med en hastighet av 20 knop in i fundamentet till ett vindkraftverk vid Borkum Rifgrund vindkraftspark i Nordsjön. Skepparen rapporteras ha justerat VHF:en (radiofrekvenser) och därmed blivit distraherad från sin primära uppgift i strid med regel 5 i COLREG.	Två passagerare evakuerades till sjukhus och en tredje genomgick senare läkarundersökning. Alla lämnade sjukhuset inom ett dygn.	Skrovet skadat men inget utsläpp.
Ett lastfartyg blev manöverodugligt och drev in i ett fundament (Vattenfall, 2022)	2022-01-31: Bulkfartyget Julietta D drev in i monopile-fundamentet för ett planerat vindkraftverk i Hollandse Kust Zuid vindkraftspark, och stötte också in i ett ben till en plattform i parken. Fartyget hade drivit i flera timmar efter en kollision med ett annat fartyg.	Fartygets 18 passagerare hade evakuerats med helikopter före kollisionen, ingen skadades i vindkraftsparken. Personal skadades dock under räddning och bogsering.	Fartyget skadades sedan den förra kollisionen och tog in vatten, men inga utsläpp har rapporterats.
Fartyg i sjötrafikområde kolliderade med ett vindkraftverk (under utredning av BSU, German Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation)	2023-04-05: Fraktfartyget Petra L. körde in i ett vindkraftverk. Preliminära uppgifter tyder på att fartyget var på fel kurs och körde in i ett vindkraftverk. Olycksutredning pågår.	Inga skadade rapporterades.	Ett 3x5-meters hål i skrovet men inga rapporterade utsläpp.

2.4 Framtida trafik

Traficom konstaterar i sin rapport över nationella trafikprognoser att godstransporterna till sjöss förväntas öka och har tagit fram prognoser fram till 2060. Enligt prognoser för utlandssjöfart för 2060 kommer den totala exporten inom sjötrafiken i Finland att vara cirka 9 % större i tonnage än 2021. På motsvarande sätt blir den totala importen enligt prognosen cirka 19 % större. Den totala exporten förväntas vara stabil fram till 2035, varefter den förväntas börja expandera. Den totala importen förväntas öka avsevärt under de närmaste åren, eftersom import från Ryssland på järnväg ersätts av import från andra länder med sjötransport. Därefter väntas den totala importen minska till följd av bland annat minskad råoljeimport. Det finns dock betydande osäkerheter i utgångspunkterna för trafikprognoser på grund av stora förändringar i omvärlden. (Traficom, 2022b)

Transportstyrelsens prognoser pekar på att godstransporterna till sjöss förväntas öka med cirka +1,7 % per år fram till 2040 sett till antalet tonkilometer per år. Det innebär att godstransporterna (mätt i antal tonkilometer) år 2040 kommer att öka med cirka 33,2 % jämfört med 2023. (Trafikverket, 2023)

Det finns flera orsaker till den ökade andelen trafik och större fartyg. Traficom pekar på att djupgåendet i Uleåborgs nya sund och fördjupningen av Kemi Ajos farled kommer att öka sjötrafiken och tillåta större fartyg. Vidare kommer trafikvolymen i ton till Ajos att öka avsevärt⁶ efter färdigställandet av Metsä Groups nya biofabrik, som kommer att använda en större fartygsflotta. (Traficom, 2022a)

Med tanke på ovanstående information är det troligt att fartygen i området kring Laine vindkraftspark snarare kommer att öka i storlek och inte lika mycket i antal. Det är dock osäkert om den förväntade ökningen av transportarbetet leder till ett större antal fartyg eller till att fartygen i sig blir större och tyngre. För att förutse potentiella ökningar av trafiken i området har en försiktig uppskattning på 35 % använts i den aktuella analysen för år 2060.

Som framgår av trafikanalysen för Laine vindkraftspark (Sweco, 2023c), skulle etableringen av Laine leda till vissa förändringar i trafik och mönster. Potentiella scenarier kan innebära att trafiken som går längre norrut, till och från Bottenviken, det vill säga trafiken som går i sjöfartsområde till och från Brahestad, Uleåborg och Kemi, förskjuts västerut. I detta scenario skulle trafiken koncentreras till sjöfartsområde Nordvalen – Kemi. Fartygen som går till och från Kalajoki och Karleby måste antingen positionera sig på ett sådant sätt att fartygen går nordväst eller sydväst om projektområdet för Laine. Detta skulle leda till trafikstockning på den svenska sidan av EEZ-gränsen vid norra Kvarken. För trafiken till och från Karleby skulle detta resultera i en sträcka som är cirka 10 kilometer längre⁷.

Denna analys tar hänsyn till framtida fartygstrafik på två sätt:

⁶ Sjötrafiken kommer att öka med ca 1,3 miljoner ton pappersmassa om fabriken går med full kapacitet. Under de senaste 5 åren har den årliga exporten av pappersmassa varit ca 200 000 ton, vilket betyder endast 30 % av hela kapaciteten på 600 000 ton.

⁷ Från TSS Norra Kvarken till kanten av farleden Karleby går ~100 km genom sjöfartsområdet Nordvalen – Karleby. Från TSS Norra Kvarken till kanten av farleden Karleby går ~110 km genom sjöfartsområdet Nordvalen – Kemi.

- Olycksfrekvensen beräknas för ett basfall (nuvarande trafik baserat på AIS-data) och ett osäkerhetsanalysfall där framtida trafikflöden antas öka med 35 % för prognosåret 2060.
- Olyckskonsekvenser väljs försiktigt utifrån antaganden om framtida större fartyg.

2.5 Säkerhetsavstånd

Rätten till fri passage regleras i FN:s havsrättskonvention (UNCLOS). I detta avtal finns bland annat artikel 60.7 "Konstgjorda öar, anläggningar och konstruktioner och säkerhetszoner runt dem får inte upprättas där de kan hindra användningen av erkända vattenvägar av väsentlig betydelse för internationell sjöfart" (United Nations, 1994).

Utöver UNCLOS finns även internationell havsrätt eller internationell havsrätt för förhindrande av kollisioner till havs (COLREG). Det är regler enligt konventionen som reglerar fartygens skyldigheter när det gäller att undvika kollisioner. COLREG beskriver större handelsfartygs skyldigheter till undanmanövrar som krävs för att undvika kollisioner till havs. För att skapa möjligheter för dessa fartyg att fullgöra sina skyldigheter till undanmanövrar rekommenderas ofta ett säkerhetsavstånd mellan sjötrafik och fasta fundament till sjöss, inklusive vindkraftverk (IMO, 1972).

Säkerhetsavståndet bestäms från fall till fall, beroende på bland annat vindkraftsparkens läge, geografiska aspekter och fartygstrafiken i området.

Traficom uppger att detta kräver att man säkerställer ett säkerhetsavstånd på 1,5 kilometer (0,81 M) mellan farledsområden och vindkraftsparker (2022a).

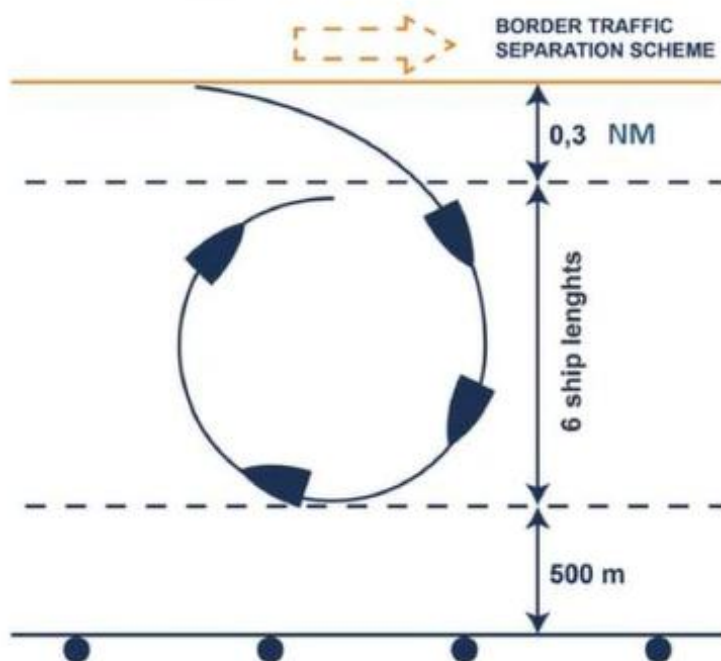
PIANC är en global organisation som tar fram rekommendationer för att uppnå hållbara transporter till sjöss och på andra vattenvägar (PIANC, 2023). I rapporten *MarCom Wg 161: Interaction Between Offshore Wind Farms and Maritime Navigation* (PIANC, 2018), presenterar PIANC rekommendationer angående säkerhetsavstånd till vindkraftverk. Rekommendationerna baseras bland annat på COLREG och dess regler om säkra passager till sjöss. Det finns två metoder för att ta fram säkerhetsavståndsrekommendationer:

- Konceptdesign som ger en konservativ rekommendation om säkerhetsavstånd mellan vindkraftverk och fartyg
- Detaljprojektering, där säkerhetsavståndet eventuellt kan ändras efter en fördjupad nautisk riskanalys

Rekommendationen, enligt Concept design, innebär att avståndet från fartyget till en vindkraftspark ska vara sådant att ett fartyg ska kunna utföra en fullständig undanmanöver (360° gir). Ett sådant avstånd beräknas uppnås vid 5 fartygslängder. För att ge utrymme för eventuella komplikationer beräknas ett manövreringsavstånd konservativt vara cirka 6 fartygslängder. Dessutom ska en säkerhetszon för vindkraftsparken på max 500 meter läggas till (UNCLOS säkerhetszon). Detta avstånd kan vara kortare men får inte överstiga 500 meter. För att säkerställa att en säker undanmanöver kan göras i samband med att andra fartyg finns i närheten läggs 0,3 M till säkerhetsavståndet på styrbords sida. Detta innebär att minsta säkerhets avståndet (exklusive säkerhetszon) mellan fartyget och närmaste vindkraftverk i vindkraftparken rekommenderas att vara enligt följande (se även Figur 12, där d är det minsta avståndet):

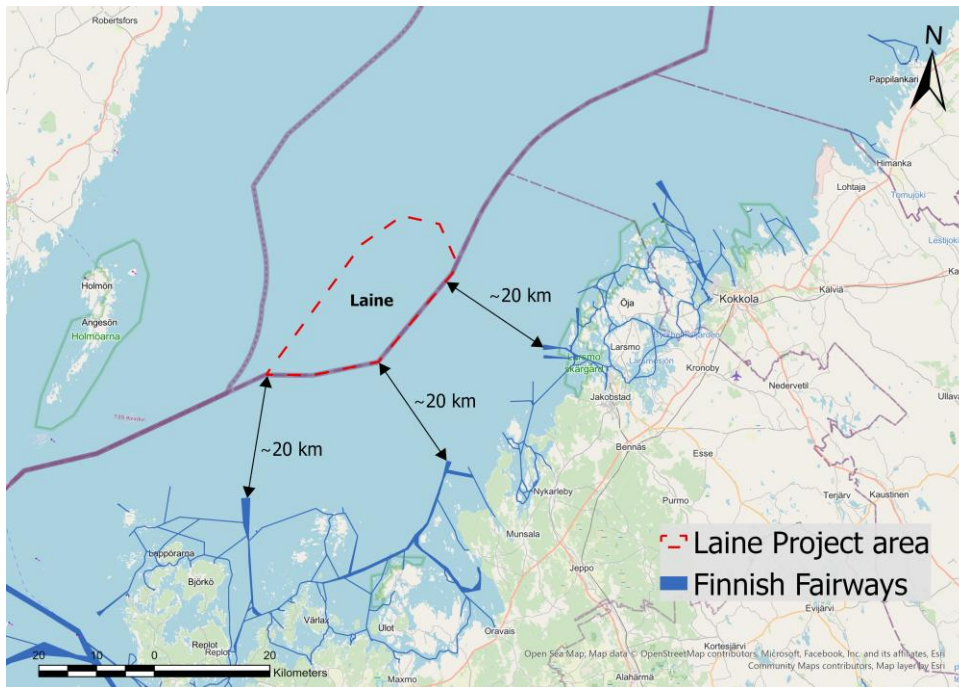
- På styrbords sida av fartyget $d = 556$ meter (0,3 M) + 6 fartygslängder
- På fartygets babords sida $d = 6$ fartygslängder

Ovanstående säkerhetsavstånd rekommenderas mellan närmaste vindkraftverk i en vindkraftspark och närmaste Traffic Separation Scheme (TSS). Avståndet illustreras i Figur 12. För en TSS och andra ruttåtgärder som djupvattenstråk är det tydligt varifrån avståndet ska mätas. Detta är dock inte specificerat för sjöfartsstråk som saknar sådana ruttåtgärder.



Figur 12. Illustration av avståndet mellan TSS och en vindkraftspark enligt PIANC (360-gradersgiren åt styrbord), (PIANC, 2018)

Eftersom det är cirka 20 km (10,8 M) mellan Laine vindkraftspark och närmaste farledsområde (se Figur 13), anses det inte nödvändigt att ta hänsyn till säkerhetsavstånd till farleder i föreliggande riskanalys.



Figur 13. Karta som visar avståndet mellan området för Laine vindkraftspark och finska farleder.

3. Riskidentifiering

En nautisk riskbedömning omfattar generellt risker för allision, kollision och grundstötning.

Platsspecifik information om möjliga faror relaterade till Laine vindkraftspark erhöles i en digital HAZID-workshop (Sweco, 2023). HAZID ägde rum den 19 april 2023, tillsammans med deltagare som representerade de olika intressenterna på området, för att säkerställa att alla relevanta risker identifierades. Metoden för den formella HAZID baserades på HAZID från andra liknande vindkraftsprojekt. Därför valdes och användes relevanta nyckelord för att leda deltagarna genom möjliga nautiska faror och yttre förhållanden som kan påverka riskerna i området. En ytterligare, informell HAZID hölls endast i syfte att identifiera och diskutera faror gällande isförhållandena i området, både hur isförhållandena kan påverka vindkraftsparken och vice versa. Tabell 4 visar deltagarna på HAZID-workshoparna.

Tabell 4. Deltagare på HAZID-workshoparna.

Namn	Organisation	Ice HAZID	Formell HAZID
Ilari Rainio	Alfons Håkans		X
Jari Talja	Alfons Håkans		X
Kimmo Lehto	Alfons Håkans		X
Kari Pohjola	Arctia Meritaito		X
Jussi Vaahtikari	ESL-Shipping		X
Amund Lindberg	Isbrytare Sjöfartsverket		X
Sami Järvenpää	Finska gränsbevakningen / MRCC - Maritime Rescue Coordination Center		X
Markku Mylly	Sea Focus International	X	X
Anneli Borg	Sjöfartsverket		X
Karl Herlin	Sjöfartsverket		X
Jani Koiranen	Traficom / Trafik- och kommunikationsverket		X
Laine Valtteri	Traficom / Trafik- och kommunikationsverket		X
Jarkko Toivola	Trafikledsverket		X
Taivi Toumas	Trafikledsverket		X
Frank van der Anker	Wagenborg		X
Mathias H. Arnbert	Wallenius Sol Lines		X
Axel Stenhammar	Wallenius-Sol Lines		X
Carlo Giesecke	OX2	X	X
Ian Bergström	OX2		X

Namn	Organisation	Ice HAZID	Formell HAZID
Janne Lamberg	OX2		X
Malgorzata Zorawinska	OX2	X	X
Mathias Skog	OX2		X
Olli Takalammi	OX2	X	X
Patrick Lees	OX2		X
Sara Jarmander	OX2	X	X
Anna Bjereld	Sweco	X	X
Emelie Lernbom	Sweco	X	X
Johan Nimmermark	Sweco		X
Lars Grahn	Sweco		X
Matti Lindgren	Sweco	X	X
Seppo Virtanen	Sweco		X
Sara Hammar	Sweco	X	

De viktigaste resultaten från HAZIDerna om risker som kan påverka människors säkerhet och miljö är:

- Vintersjöfart - användbara rutter (varierar årligen och under vintersäsongen), effekt på nuvarande sjöfartsrutter, frihet till sjöfart
- Vindkraftverks eventuella bidrag till isläggning, storleken okänd. Till exempel om vindkraftverks kan stoppa isrörelser eller bidra till att bygga vallar och barriärer
- Fartyg fastnar i isen och driver med isfältet in i ett vindkraftverk
- Effekter på sök och räddning med närvaro av en vindkraftspark
- Miljöavtryck och säkerhet för lastfartyg
- Kumulativa effekter från alla vindkraftsparker i Bottenviken/-havet

Efter att ha sorterat listorna över allmänna faror och faror som identifierats under workshopen, kommer riskerna i Tabell 5 att väljas ut som relevanta för vidare analys.

Tabell 5. Nautiska risker identifierade för Laine vindkraftspark och hänvisning till avsnitt i denna rapport där risken analyseras ytterligare.

Id.	Scenario	Referens
1.1	Fartyg seglar in i ett vindkraftverk (powered allision)	6.1.1
1.2	Manöverodugligt fartyg driver in i ett vindkraftverk (drifting allision)	6.1.2
1.3	Fartyg seglar eller driver nära ett vindkraftverk och träffas av ett blad	6.1.3
1.4	Fartyg fångas i isen och driver med isfältet in i ett vindkraftverk (drifting allision)	6.1.4
1.5	Fartyg seglar eller driver in i en plattform	6.1.5
1.6	Ett fartyg som passerar genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk	6.1.6
1.7	Begränsad sikt som får ett fartyg att styra in i ett vindkraftverk	6.1.7
2.1	Sammanlagt kollision (alla kollisionstyper)	6.2.1
2.2	Omkörningskollision	6.2.2
2.3	Kollision stäv mot stäv	6.2.3

Id.	Scenario	Referens
2.4	Skärande kollision	6.2.4
2.5	Samgående kollision	6.2.5
2.6	Kollision i krök	6.2.6
2.7	Kollision med arbetsfartyg på väg till/från hamn	6.2.7
3.1	Grundstötning under färd	6.3.1
3.2	Grundstötning drivande fartyg	6.3.2
4.1	Störning av fartygsradar (målförlust)	6.4.1
4.2	Fartygsradarstörning (navigationsstörning)	6.4.2
4.3	Störning av fartygsradar inom vindkraftsparken	6.4.3
4.4	Vindkraftspark komplicerar sök- och räddningsoperationer	6.4.4
5.1	Vindkraftspark påverkar isuppbyggnaden	6.5.1
5.2	Vindkraftspark blockerar rutter för vintersjöfart	6.5.2
5.3	Fallande föremål eller iskast från vindkraftverk	6.6
6.1	Skador på överföringskabeln	6.7.1
6.2	Kablar förhindrar nödankring	6.7.2

4. Frekvenser

Frekvenserna för kollision, grundstötning och allision har beräknats med IWRAP. Beräkningen baseras på modellering gjord för nollalternativet (ingen vindkraftspark) och för basfallet (vindkraftspark representeras av exempellayouten med antaganden om hur vindkraftsparken kommer att påverka trafikmönstren). Dessutom har osäkerhetsanalysfall beräknats. Modelleringen presenteras i Appendix C. En sammanfattning av de frekvenser som används i riskbedömningen finns i Tabell 6. Resultaten kan delas upp i frekvenser för olika fartygstyper, fartygsstorlekar och sjöfartsstråk samt enskilda vindkraftverk som används i riskberäkningarna i kap. 6.

För scenarier där IWRAP inte kunde användas, har frekvenser uppskattats eller beräknats genom skrivbordsberäkningar. En motivering till varför vissa frekvenser har valts finns i kapitel 6.

Tabell 6. De beräknade eller uppskattade olycksfrekvenserna som används i analysen. Sambandet mellan den beräknade frekvensen (årssannolikhet) och frekvensindex (1-6) definieras i Tabell 2 i avsnitt 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens		
		Sannolikhet (per år)	Återkomstperiod (år)	(FI)
1.1	Fartyg seglar in i ett vindkraftverk (powered allision)	4,2E-05	23 700	1,6
1.2	Manöverodugligt fartyg driver in i ett vindkraftverk (drifting allision)	1,2E-03	833	3,1
1.3	Fartyg seglar eller driver nära ett vindkraftverk och träffas av ett blad	<1,0E-05	>100 000	<1
1.4	Fartyg fångas i isen och driver med isfältet in i ett vindkraftverk (drifting allision)	2,9E-02	34	4,5
1.5	Fartyg seglar eller driver in i en plattform	8,4E-05	11 800	1,9
1.6	Ett fartyg som passerar genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk	8,0E-03	126	3,9
2.1	Sammanlagt kollision (alla kollisionstyper) (som en följd av vindkraftsparken)	1,5E-03	649	3,2
2.2	Omkörningskollision (som en följd av vindkraftsparken)	9,2E-05	10 800	2,0

Id.	Scenario	Frekvens		
		Sannolikhet (per år)	Återkomstperiod (år)	(FI)
2.3	Kollision stäv mot stäv (som en följd av vindkraftsparken)	4,1E-04	2 500	2,6
2.4	Skärande kollision (som en följd av vindkraftsparken)	3,0E-05	33 000	1,5
2.5	Samgåendekollision (som en följd av vindkraftsparken)	1,1E-03	900	3,0
2.6	Girkollision (som en följd av vindkraftsparken)	-6,0E-5	-	-
2.7	Kollision med arbetsfartyg på väg till/från hamn	1,0E-02	100	4,0
3.1	Powered grounding (på grund av vindkraftsparken)	-3,0E-03	-	-
3.2	Drifting grounding (på grund av vindkraftsparken)	1,2E-03	833	3,1
4.1	Störning av fartygsradar (målförlust)	1,0E+00	1	6,0
4.2	Fartygsradarstörning (navigationsstörning)	1,0E-04	10 000	2,0
4.3	Störning av fartygsradar inom vindkraftsparken	<1,0E-03	>1 000	<3
5.3	Fallande föremål eller iskast från vindkraftverk	<1,0E-05	>100 000	<1

5. Konsekvenser

Denna riskbedömning fokuserar på konsekvenserna och svårighetsgraden av konsekvenserna för människors hälsa och säkerhet samt miljön. I avsnitt 1.2.3, ger Tabell 2 en förklaring av hur allvarlighetsnivåerna, som sträcker sig från 1 till 4, tilldelas baserat på omfattningen av konsekvenser som dödsfall och oljeutsläppsekvivalenter. Allvarlighetsnivåerna sträcker sig från *ingen betydande påverkan* till *katastrofal påverkan*.

Förväntade konsekvenser kan variera beroende på typen av fartyg och händelsens karaktär. De konsekvenser som antas i denna riskbedömning dokumenteras i Tabell 7. Följande regler tillämpades för att välja konsekvenser:

- Samma konsekvenser antas, oavsett fartygsstorlek.
- Samma konsekvenser antas för alla typer av vindkraftverksfundament, inklusive flytande fundament.
- Olika konsekvenser tillämpas beroende på inblandade fartyg:
 - Konsekvenserna för människors hälsa och säkerhet antas bli allvarligare om ett passagerarfartyg är inblandat.
 - Konsekvenserna för miljön antas bli allvarligare om ett tankfartyg är inblandat.
- Skador på egendom (fartyg, last, vindkraftverk eller fundament) och andra ekonomiska konsekvenser bedöms inte.
- Konsekvenserna för en powered striking händelse antas vara allvarligare än för en drifting striking händelse ⁸.
- Konsekvenser är konservativt valda.

⁸ Orsaken är att en olycka med ett seglande fartyg i allmänhet sker i hög hastighet, vilket resulterar i en stor kollisionskraft. På grund av den högre hastigheten hos ett seglande fartyg minskar chansen att genomföra riskreducerande åtgärder. En kollision med ett drivande fartyg kommer sannolikt att inträffa med en hastighet av 1-2 knop, vilket innebär mindre kraft jämfört med en kollision i full fart. Medan fartyget driver kan det finnas mer tid att evakuera besättningen och passagerarna och förbereda för sanering av ett potentiellt utsläpp. Dessutom kan det finnas mer tid för ett annat fartyg att ge hjälp med att stoppa det drivande fartygets rörelse.

Tabell 7. Konsekvenser om man antar ett troligt värsta scenario.

Olyckstyp	Konsekvens för människors hälsa och säkerhet (SI)	Konsekvens för miljön (SI)
Powered allision* Fartyg träffat av vindkraftverksblad Kollision Grundstötning under färd	Passagerarfartyg: flera omkomna (4) Andra fartyg: enstaka dödsfall eller flera allvarliga skador (3)	Tankfartyg: motsvarande mer än 1 000 ton oljeutsläpp (4) Andra fartyg: motsvarande upp till 10 ton oljeutsläpp (2)
Drifting allision* Grundstötning drivande fartyg	Passagerarfartyg: enstaka dödsfall eller flera allvarliga skador (3) Andra fartyg: flera eller svåra skador (2)	Tankfartyg: motsvarande mer än 100 ton oljeutsläpp (3) Andra fartyg: motsvarande upp till 10 ton oljeutsläpp (2)

*Kraften vid en allision fördelas mellan fartyget och vindkraftverket på ett sådant sätt att inget oljeläckage uppstår i 90 % av fallen. Detta återspeglas inte i konsekvensen, utan i riskbedömningen.

Inga rekommendationer om riskreducerande åtgärder beaktas vid bedömningen av konsekvenserna. Följande grundläggande antaganden görs dock som påverkar sannolikheten för att konsekvensen inträffar:

- Tankfartyg är utrustade med dubbla skrov i enlighet med MARPOL-konventionen.
- Drivande fartyg kan startas om med en tidsberoende reparationssannolikhet som presenteras i Appendix C.
- Vindkraftverk kan stoppas när fartyg närmar sig ⁹.
- Evakuering av besättning och passagerare inleds vid en incident.
- Förberedelser för att hantera ett oljeutsläpp inleds vid en händelse.

⁹ Om ett fartyg kommer in i vindkraftsparksområdet, kan vindkraftverken stoppas och rotorbladen kan placeras i en 'Bunny-ear position' med ett blad rakt ned och två blad snett uppåt. Övervakning sker och ett vindkraftverk kan stoppas och på kort tid (minuter).

6. Riskanalys

De faror som identifierades i kapitel 3 beskrivs och bedöms i avsnitten nedan, med fokus på sannolikheten för att de inträffar och deras konsekvenser. Sannolikheten uppskattas/beräknas utan att några riskreducerande åtgärder ingår.

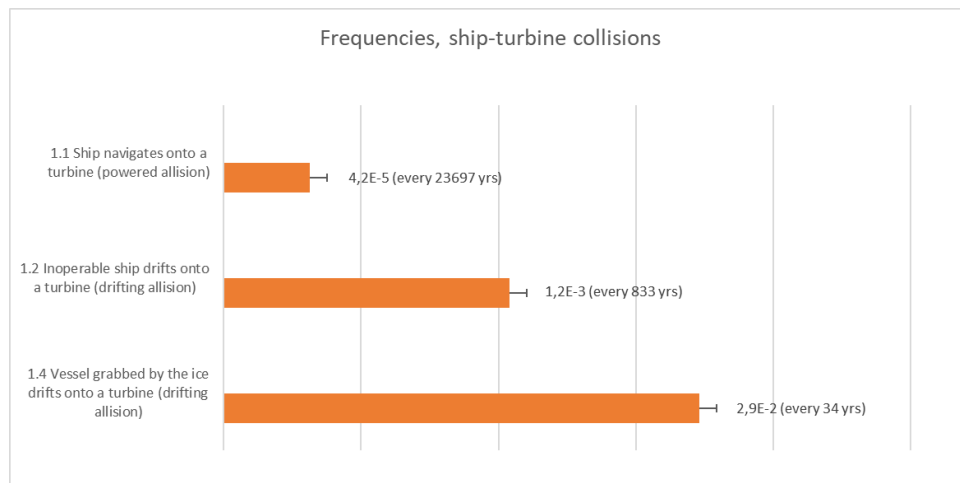
Avsnitten är uppbyggda så att typen av händelse (olycka) beskrivs först, sedan sannolikheten och konsekvensen av händelsen. Konsekvenserna beskrivs separat beroende på vad de påverkar (människors säkerhet eller miljö). Sist redovisas den resulterande risken, beräknad utifrån sannolikhet och konsekvens för den aktuella händelsen. I de fall risken utgörs av riskbidrag från flera olika händelser i samma kategori men med olika konsekvenser (t.ex. powered grounding av oljetankfartyg eller passagerarfartyg) beräknas den totala risken som summan av de ingående riskbidragen.

Utifrån sannolikheten och konsekvenserna av varje händelse bedöms risken som den ökade risken på grund av etableringen av en vindkraftspark i området jämfört med nuvarande risknivå (nollalternativ).

I följande avsnitt ges en bedömning av sannolikheten och de potentiella konsekvenserna av de identifierade risker som beskrivs i kapitel 3. Sannolikheten förutsätter att inga riskreducerande åtgärder har vidtagits.

6.1 Allision (fartygskollision med stationärt objekt)

När Laine etableras finns det en möjlig ökning av sannolikheten för olika typer av allision. Allision innebär att ett fartyg seglar eller driver in i ett stillastående föremål. De fasta strukturerna inom Laine vindkraftspark inkluderar plattformar, vindkraftverk och deras roterande blad. Den beräknade frekvensen av olika typer av allision efter etablering av Laine vindkraftspark, presenteras i Figur 14 och beskrivs och bedöms vidare i följande avsnitt.



Figur 14. Beräknad frekvens av allisionsscenarier per år för Laine vindkraftspark (värdena inom parentes är återkomstperioden (antal år), dvs det genomsnittliga tidsintervallet mellan förväntat inträffande av varje händelse). Osäkerhetsstaplar anger frekvens i ett framtida trafikscenario för 2060 där antalet fartyg antas öka med 35 %. Notera att skalan är logaritmisk och att sannolikheten för att ett manöverodugligt fartyg *seglar* in i ett kraftverk (scenario 1.1) är flera storleksordningar lägre än sannolikheten för att ett manöverodugligt fartyg *ska driva* in i ett kraftverk (drivande allision), dvs scenario 1.2. Notera: Årsfrekvenserna skalas inte till säsongandel per år, dvs de representerar årsfrekvensen om säsongsförhållandena (havs/is/ingen havs/is) skulle vara ett helt år.

Allisionsfrekvenser har beräknats för fartyg i sjöfartsstråk runt vindkraftsparken baserat på tillgänglig AIS-data. Beräkningarna baseras på trafikmodellen för sommarförhållanden, förutom scenario 1.4 som bygger på vintermodellen i IWRAP. Den uppskattade risken antas representera allisionsrisken konservativt även under vinterförhållanden där fartygsrörelserna är färre och hastigheterna ofta är låga (Winter Navigation Research Board, 2005).

Konsekvenserna av en allision beskrivs i kapitel 5.

6.1.1 Fartyg seglar in i ett vindkraftverk (powered allision)

Navigerande fartyg som passerar längs Laine vindkraftspark kan, på grund av mänskliga, tekniska eller miljömässiga faktorer, ta fel kurs mot ett vindkraftverk. Sannolikheten att en undanmanöver inte kommer att lyckas i en sådan situation antas i modelleringen vara $1,6 \cdot 10^{-4}$ (Engberg, 2019).

Eftersom scenarier med powered allision sker snabbt, ingår inga avhjälpande eller mildrande åtgärder i riskbedömningen.

Följande bedömning har gjorts av konsekvenser och risk för fartyg som navigerar in i ett vindkraftverk (**scenario 1.1**):

Fartyg som styr in i ett vindkraftverk antas träffa fundamentet i full fart. Frekvensen för detta är beräknad till $4,2 \cdot 10^{-5}$ per år (varav 9 % är tankfartyg, 91 % är andra fartyg och 0 % är passagerarfartyg). Den mest troliga händelsen orsakas av att ett styckegods-fartyg navigerar på den östra sidan av Laine vindkraftspark och träffar ett av vindkraftverken där.

Risken för ett fartyg som navigerar in i ett vindkraftverk (powered allision) beräknas enligt Appendix A och är *acceptabel* för både människors säkerhet och miljön, se Tabell 8.

Tabell 8. Beräknad risk för att ett fartyg styr in i ett vindkraftverk. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö ¹⁰	Säkerhet för människor	Miljö
1.1	Fartyg seglar in i ett vindkraftverk (powered allision)	1,6	3,0	3,0	4,6	3,6

6.1.2 Manöverodugligt fartyg som driver in i ett vindkraftverk (drifting allision)

Fartyg på väg som passerar längs Laine vindkraftspark kan på grund av tekniska fel (till exempel blackout eller roderfel) förlora manövrerbarhet och börja driva. Beroende på vindriktningen kan fartyget driva mot ett vindkraftverk. Processen kan avbrytas om felet repareras, eller fartyget stoppas genom framgångsrik ankring eller nödbogsering av fartyget.

De flesta fartyg upplever ungefär ett strömavbrott per fartygsår (antalet stopp för ett visst fartyg kommer vanligtvis att ligga i intervallet från 0,1 till 2 strömavbrott per år). Den faktiska frekvensen av strömavbrott beror på graden av redundans och fartygets underhållsstatus. Färjor och ro-ro-fartyg har generellt en hög grad av inbyggd redundans i maskinrummet (2 till 4 motorer) och har därför en låg stoppfrekvens (~0,1 per år). För andra fartygstyper är stoppfrekvensen högre (~0,75 per år) (Engberg, 2019).

I modelleringen av Laine har fartygsreparation och nödankring betraktats som återhämtningsåtgärder med viss sannolikhet för framgång. Se Appendix C för detaljer.

För ett drivande fartyg finns det tid att vidta åtgärder som att evakuera besättning och passagerare från det drivande fartyget och förbereda för livräddning och akut miljöinsats om fartyget skulle driva mot ett vindkraftverk.

Följande bedömning har gjorts av konsekvenser och risk för fartyg som driver in i ett vindkraftverk (**scenario 1.2**): Fartyg som driver in i ett vindkraftverk antas kollidera med fundamentet med en hastighet av 1–2 knop. Frekvensen av detta uppskattas till $1,2 \cdot 10^{-3}$ per år (varav 13 % är tankfartyg, 0 % är passagerarfartyg och 87 % är andra fartyg). Det är främst styckegods-fartyg som driver från parkens västra sida som antas driva in i ett vindkraftverk, på grund av den dominerande vindriktningen.

Risken för att ett fartyg driver in i ett vindkraftverk (drifting allision) beräknas enligt Appendix A och är *ALARP* för människors säkerhet och *acceptabel* för miljön, se Tabell 9.

¹⁰ Konsekvens för miljön förväntas uppstå en gång av 10 olyckor.

Tabell 9. Beräknad risk för att fartyg ska driva in i ett vindkraftverk. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö ¹¹	Säkerhet för människor	Miljö
1.2	Manöverodugligt fartyg som driver in i ett vindkraftverk (drifting allision)	3,1	2,0	2,3	5,1	4,4

6.1.3 Fartyg som navigerar eller driver nära vindkraftverk och träffas av ett blad

Det finns många faktorer som hindrar ett fartyg från att träffas av ett blad. Som visas i avsnitt 6.1.1 och 6.1.2 är fartyg som navigerar eller driver nära vindkraftverk *oväntade* händelser. Få fartyg når höjden av vindkraftverkens svepande yta, vilket minskar antalet fartyg som kan träffas av ett blad. När ett fartyg närmar sig aktiveras en nödavstängningsfunktion med hög tillförlitlighet, på plats eller fjärrstyrd, för vindkraftverk. Fartyg som styr eller driver in i det roterande bladet på ett vindkraftverk (**scenario 1.3**) anses därför vara en *extremt avlägsen* händelse.

Risken för att ett fartyg ska träffas av ett blad bedöms vara *acceptabelt* för både människors säkerhet och miljön, se Tabell 10.

Tabell 10. Beräknad risk för att fartyg styr eller driver in i vindkraftspark och träffas av ett roterande blad från vindkraftverk. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Scenario	Beskrivning	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö ¹²	Säkerhet för människor	Miljö
1.3	Fartyg seglar eller driver nära ett vindkraftverk och träffas av ett blad	<1	4	4	<5	<5

6.1.4 Fartyg fångas i isen och driver med isfältet in i ett vindkraftverk (drifting allision)

Vind, strömmar eller dravis kan orsaka packis där fartyg kan fastna och föras mot vindkraftsparken. Frekvensen för detta scenario påverkas inte direkt av byggandet av en vindkraftspark men konsekvenserna kan bli mer allvarliga. Scenario 1.4 representerar risken för allision med ett vindkraftverk för ett fartyg som driver med isen in i vindkraftsparken.

Ett fartyg kan fastna i dravis, när det finns några isfria områden i havsisen. Även om havet är helt täckt med is, är det fortfarande möjligt att islagret bryts och komprimeras till packis, om vinden (eller strömmen) är tillräckligt stark.

¹¹ Konsekvens för miljön förväntas uppstå en gång av 10 olyckor.

¹² Konsekvens för miljön förväntas uppstå en gång av 10 olyckor.

Ishastigheten kan ligga inom intervallet ca 2–3 % av vindhastigheten (Finnish Maritime Administration & Swedish Maritime Administration, 2005).

IWRAP är gjord för att beräkna frekvenser på öppet vatten, inte för isförhållanden. För att kunna beräkna frekvensen av scenariot i IWRAP har parametrar och inställningar justerats baserat på tillgängliga data för att återspegla vinterförhållanden, vilket avviker från de officiella parametrarna. Sannolikheten för IWRAPs standardblackout ökas med en faktor 2, för att återspegla både det faktum att vinterförhållanden kan orsaka fler incidenter med manövrerbara fartyg, och att fartyg kan fastna i isen när de väntar på isbrytningshjälp. IWRAP-drifthastigheten är satt från 1 knop till 2 knop, vilket representerar hastigheten för fartyg som driver med isen. 2 knop är ett ganska konservativt antagande eftersom ishastigheten uppskattas till 2–3 % av vindhastigheten. Det betyder att 2 knop representerar en vindhastighet över 30 m/s¹³. Den genomsnittliga vindhastigheten i regionen är 6,2 m/s, och vindhastigheten är ofta lägre under hårda vintrar. Samma vindriktningsfördelning antas under månader utan havsis som under månader med havsis. Räddning av fartyg (ankring eller reparation efter blackout) redovisas inte, även om det skulle kunna vara möjligt att ankra i vissa fall där isen inte är så tjock och vattendjupet inte är för djupt eller grunt, och reparation av fartyget kan vara möjligt. Dessa antaganden och justeringar av parametrar anses därför vara värsta tänkbara eftersom ett fartyg som fångas i is (blackout i IWRAP) både kommer att driva med högre hastighet, och under längre tid, än förväntat. Därför en högre sannolikhet att driva in i ett vindkraftverk. Trafikdata som används är från 2022 som var en mild vinter, och därmed involverade mer trafik än en hård vinter. Mer trafik leder till högre sannolikhet för kollision, allision och grundstötning. Därför är användningen av trafik från en mild vinter konservativ vid modellering och beräkning av istillstånd i IWRAP.

Samma konsekvenser för en allision med ett vindkraftverk antas som för ett drivande fartyg under sommarförhållanden.

Samma konsekvenser för en allision med ett vindkraftverk antas som för ett drivande fartyg under sommarförhållanden.

Risken för att ett fartyg driver med isen in i ett vindkraftverk (drifting allision) beräknas enl. Appendix A och är ALARP för både människors säkerhet och miljön, se Tabell 11.

Tabell 11. Beräknad risk för att fartyg driver med is in i ett vindkraftverk. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö ¹⁴	Säkerhet för människor	Miljö
1.4	Fartyg fångas i isen och driver med isfältet in i ett vindkraftverk (drifting allision)	4,5	2,0	2,4	6,5	5,8

¹³ 2 knop ≈ 1 m/s

Vindhastighet = (2 knop) / (3 %) = (1 m/s) / (0,03) = 33,33 m/s

¹⁴ Konsekvens för miljön förväntas uppstå en gång av 10 olyckor.

6.1.5 Fartyg seglar eller driver in i en plattform

Fartyg som modelleras ovan kan segla eller driva in i en plattform istället för ett vindkraftverk.

Frekvensen för powered eller drifting allision med en plattform (**scenario 1.5**) som involverar fartyg som passerar Laine vindkraftspark beräknas med IWRAP. Årlig sannolikhet för scenariot med ett fartyg som styr eller driver in i en plattform $8.4 \cdot 10^{-5}$, se Tabell 12.

Detaljer om frekvensen finns i Appendix C. Riskbedömning av scenariot analyseras inte vidare i denna nautiska riskanalys utan istället i Seveso-bedömningen för Laine.

Tabell 12. Beräknad risk för fartygs allision med en plattform. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Scenario	Beskrivning	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
1.5	Fartyg seglar eller driver in i en plattform	1,9	-		Bedöms i en separat Seveso-bedömning	

6.1.6 Ett fartyg som passerar genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk

För närvarande navigerar fartyg genom Laines projektområde enligt beskrivningen i trafikanalysen (Sweco, 2023c).

Scenario 1.6 representerar ett fartyg som passerar genom vindkraftsparken och som kolliderar med ett vindkraftverk på grund av ett mänskligt eller tekniskt fel.

De flesta fartyg som passerar genom Laine-projektområdet är längre än 50 meter, och fartyg längre än 50 meter förväntas normalt inte navigera genom vindkraftsparken eftersom det inte finns tillräckligt med manöverutrymme för en 360-gradrsgir. Mindre än 1 fartyg per dag med en längd under 50 meter passerar genom vindkraftsparken.

Sannolikheten för kollision mellan ett mindre externt fartyg och ett vindkraftverk uppskattas vara *oväntad* (mindre än en gång på 100 år)¹⁵.

Den totala risken för att ett fartyg som passerar genom vindkraftsparken ska kollidera med ett vindkraftverk uppskattas vara *ALARP* avseende människors säkerhet och acceptabel för miljön, se Tabell 13.

¹⁵ Beräkningen baseras på följande:

- 118 fartyg per år med en längd <50 meter kommer att passera genom vindkraftsparken (oförändrad från 2022 rapporterade AIS-data)
- Medelhastigheten är 8,75 knop (oförändrad från 2022 rapporterade AIS-data)
- Den längsta passagesträckan är 20 nautiska mil.
- Sannolikheten för blackout är densamma som i IWRAP, 1,5 per fartygsår. (Engberg, 2019)
- Sannolikheten för mänskliga fel är $3 \cdot 10^{-5}$ per fartyg och sjömil. (SSPA Sweden AB, 2008)
- Frekvensen av mänskliga eller tekniska fel beräknas utifrån ovanstående information till $7,1 \cdot 10^{-2}$ respektive $8,9 \cdot 10^{-3}$ per år.
- Vindkraftverkens fundament är cirka 16 meter i diameter och avståndet mellan vindkraftverken är minst en kilometer. Sannolikheten för ett fartyg. Mindre än 10 % av alla incidenter där ett fartyg i en vindkraftspark råkar ut för ett mänskligt eller tekniskt fel förväntas alltså resultera i en kollision med ett vindkraftverk.

Tabell 13. Beräknad risk för allision med ett vindkraftverk för fartyg som passerar vindkraftsparken. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö ¹⁶	Säkerhet för människor	Miljö
1.6	Ett fartyg som passerar genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk	<4	2	1	<6	4

6.1.7 Begränsad sikt får ett fartyg att styra in i ett vindkraftverk

Begränsad sikt ökar risken för att ett fartyg styr in i ett vindkraftverk. Mörker, regn, dimma, snöfall och is är faktorer som leder till sämre siktförhållanden. I området kring Laine är antalet grundstötningar relativt sett högre under oktober-december jämfört med resten av året, med maximum i december. Detta är den mörkaste månaden under tidig vinter, med regn och snöfall som ofta komplicerar navigeringen i smala farleder med många krökar. I många fall noteras det att snöfall har hämmat både visuella observationer och användningen av radar även om dessa kanske inte är de enda bidragande faktorerna till en olycka (Finnish Maritime Administration & Swedish Maritime Administration, 2005).

Följande bedömning har gjorts av konsekvenserna och risken på grund av begränsad sikt som gör att ett fartyg styr in i **ett vindkraftverk**:

- **Scenario 1.7** innebär att vindkraftverkens synlighet är begränsad i dimma, regn, snöfall, is och mörker, vilket ökar risken för att fartyg styr in i ett vindkraftverk.

Fartyg är i allmänhet utrustade med AIS och fartygsradar. Endast i kombination med ett mänskligt eller tekniskt fel kan begränsad sikt leda till en allision med vindkraftverk. Scenariot kan därför hamna i andra allisionsscenarier (se avsnitt 6.1.1, 6.1.5 och 6.1.6).

Siktpåverkan beaktas i sannolikheten för att missa undanmanövrar som beskrivs i avsnitt 6.1.1 och ingår således i riskskattningen för de ovan listade händelserna med allision med vindkraftverk. Hur mycket sikten bidrar kan inte enkelt utvärderas, men risken klassificeras konservativt som ALARP för vidare hantering.

Radarstörningar från vindkraftverk kan innebära att förmågan att navigera under förhållanden som begränsar sikten förändras. Denna risk behandlas dock ytterligare i avsnitt 6.4. Tabell 14 sammanfattar de uppskattade riskerna för scenario 1.7.

¹⁶ Konsekvens för miljön förväntas uppstå en gång av 10 olyckor.

Tabell 14. Beräknad risk för människor och miljö på grund av begränsad sikt. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
1.7	Begränsad sikt som får ett fartyg att segla in i ett vindkraftverk	Se avsnitt 6.1.1, 6.1.5 och 6.1.6			ALARP	

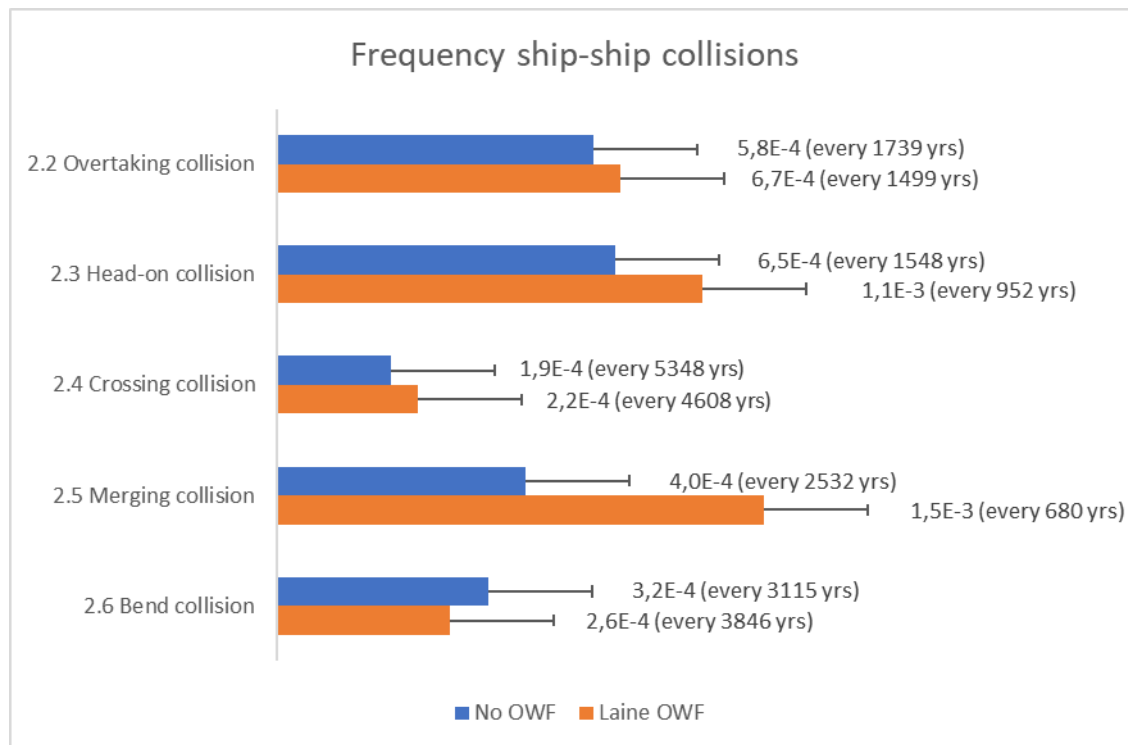
6.2 Kollision

Kollisionsfrekvenser har beräknats för fartyg i farleder runt vindkraftsparken baserat på tillgängliga AIS-data. Beräkningarna baseras på trafikmodellen för sommarförhållanden. Den uppskattade risken antas representera kollisionsrisken konservativt även under vinterförhållanden där fartygsrörelserna är färre, hastigheterna ofta låga och konsekvenserna av incidenterna vanligtvis inte är så allvarliga. (Winter Navigation Research Board, 2005)

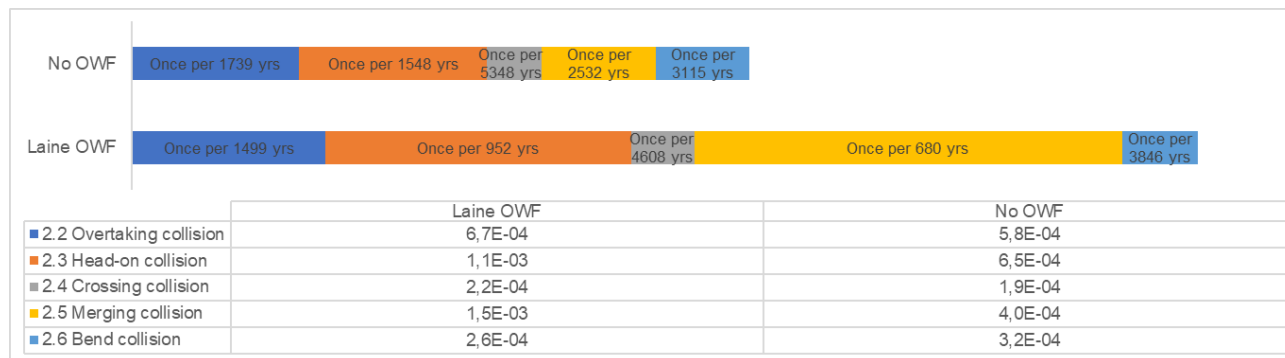
6.2.1 Sammanlagd kollisionsrisk

När Laine etableras kommer trafikmönstret att påverkas, med praktiskt taget ingen trafik genom vindkraftsparken och tätare trafik utanför projektområdet. Följaktligen uppstår nya situationer där kollisioner kan inträffa. I detta avsnitt analyseras alla typer av kollisioner för den reguljära trafiken i området tillsammans, med och utan vindkraftspark. Därefter analyseras varje kategori individuellt.

Scenario 2.1 Kollision, sammanlagt: Frekvenser för olika kollisionskategorier med och utan vindkraftspark dokumenteras i bilaga C och illustreras i Figur 15 och Figur 16. Den totala kollisionsfrekvensen är mindre än en gång per 100 år både med och utan Laine och klassas därmed som en *oväntad* händelse.



Figur 15. Frekvens av kollisioner per år i området kring Laine på en logaritmisk skala. Sannolikhet (staplar och siffror) för olika kollisionstyper utan vindkraftspark och med Laine, sommarförhållanden. Etiketterna anger återkomstperioden (antal år), dvs det genomsnittliga tidsintervallet mellan det förväntade inträffandet av varje händelse. Osäkerhetsstaplar (svarta linjer) anger frekvens i ett framtida trafikscenario för 2060 där antalet fartyg har ökat med 35 procent.



Figur 16. Total frekvens av kollisioner per år i området kring Laine på en linjär skala. Sannolikhet för olika kollisionstyper utan vindkraftspark och med Laine, sommarförhållanden. Etiketterna i fälten anger återkomstperioden (antal år), dvs det genomsnittliga tidsintervallet mellan det förväntade inträffandet av varje händelse.

Resultatet indikerar att sannolikheten för omkörningskollisioner, kollisioner stäv mot stäv, skärande kollisioner och samgående kollisioner ökar, även om de fortfarande kategoriseras som *avlägsna* till *oväntade* händelser (se avsnittet 1.2.3). Ökningen av samgående kollisioner är mest betydande, till följd av fartyg som behöver runda det sydöstra hörnet av vindkraftsparken som möter trafiken mellan Nordvalen och Jakobstad. Kollisionsrisken är naturligtvis högre i sjöfartsområden med mer trafik, det vill säga söder om vindkraftsparken.

Den sammanlagda kollisionrisken beräknas enl. Appendix A och är därmed **ALARP** både med och utan vindkraftspark, se Tabell 15.

Tabell 15. Beräknad risk för fartygskollision. Frekvensen representerar hur ofta händelsen förväntas inträffa, **utöver** fartygskollisioner som förväntas inträffa utan etableringen av vindkraftsparken. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
2.1	Kollisioner totalt, orsakade av vindkraftsparken	3,2	3,0	3,2	6,2	6,4

I en nautisk riskanalys för en vindkraftspark är det relevant att studera kollisionriskbidraget från den ytterligare risk som genereras av etableringen av vindkraftsparken (dvs. risken baserad på skillnaden i frekvens av fartygskollisioner med och utan vindkraftspark). Se avsnitt 6.2.2, 6.2.3, 6.2.4, 6.2.5, och 6.2.6 för riskbedömning av kollisioner orsakade av vindkraftsparken.

6.2.2 Omkörningskollision (resulterande risk från vindkraftsparken)

Fartyg som idag passerar vindkraftsparkens område mellan Nordvalen och Karleby antas ta nya vägar söder om parken, vilket förväntas leda till mer trafik i sjöfartsområdet mellan Nordvalen och Jakobstad. Därför antas en ökad risk för omkörningskollisioner (**scenario 2.2**).

Riskökningen för omkörningskollision beräknas enl. Appendix A och är därmed acceptabelt för människors säkerhet men **ALARP** för miljön, se Tabell 16.

Tabell 16. Beräknad risk för vindkraftspark-inducerad omkörningskollision. Frekvensen representerar hur ofta händelsen förväntas inträffa, **utöver** fartygskollisioner som förväntas inträffa även utan etableringen av vindkraftsparken. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
2.2	Omkörningskollision	2,0	3,0	3,2	5,0	5,2

6.2.3 Kollision stäv mot stäv (resulterande risk från vindkraftsparken)

Fartyg som idag passerar vindkraftsparkens område mellan Nordvalen och Karleby antas ta nya vägar söder om parken, vilket förväntas leda till mer trafik i sjöfartsområdet mellan Nordvalen och Jakobstad. Resultatet är en ökning av risken för kollisioner stäv mot stäv (**scenario 2.3**).

Riskökningen för kollision stäv mot stäv beräknas enl. Appendix A och är därmed **ALARP** för både människors säkerhet och miljön, se Tabell 17.

Tabell 17. Beräknad risk för vindkraftspark-inducerad kollision stäv mot stäv. Frekvensen representerar hur ofta händelsen förväntas inträffa, **utöver** fartygskollisioner som förväntas inträffa även utan etableringen av vindkraftsparken. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
2.3	Kollision stäv mot stäv	2,6	3,0	3,2	5,6	5,8

6.2.4 Skärande kollision (resulterande risk från vindkraftsparken)

Riskökningen för kollision vid skärande kurs (**scenario 2.4**) beräknas enl. Appendix A och är *acceptabel* för människors säkerhet och miljön, se Tabell 18.

Tabell 18. Beräknad risk för vindkraftspark-inducerad skärande kollision. Frekvensen representerar hur ofta händelsen förväntas inträffa, **utöver** fartygskollisioner som förväntas inträffa även utan etableringen av vindkraftsparken. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
2.4	Skärande kollision	1,5	3,0	3,2	4,5	4,7

6.2.5 Samgående kollision (resulterande risk från vindkraftsparken)

Etableringen av vindkraftsparken innebär att fartyg behöver runda det sydöstra hörnet av vindkraftsparken, vilket resulterar i en ytterligare risk för samgående kollisioner (**scenario 2.5**) där förväntade fartygsrutter konvergerar utanför det sydöstra hörnet av Laine.

Riskökningen för sammangående kollision beräknas enl. Appendix A och är därmed *ALARP* för både människors säkerhet och miljön, se Tabell 19.

Tabell 19. Beräknad risk för vindkraftspark-inducerad sammangående kollision. Frekvensen representerar hur ofta händelsen förväntas inträffa, **utöver** fartygskollisioner som förväntas inträffa även utan etableringen av vindkraftsparken. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
2.5	Samgående kollision	3,0	3,0	3,3	6,0	6,3

6.2.6 Krökkollision (resulterande risk från vindkraftsparken)

Ingen ökning av krökkollision (**scenario 2.6**) förväntas vid etablering av vindkraftsparken och därmed beräknas ingen ytterligare risk, se Tabell 20.

Tabell 20. Beräknad risk för vindkraftspark-inducerad krökkollision. Frekvensen representerar hur ofta händelsen förväntas inträffa, **utöver** fartygskollisioner som förväntas inträffa även utan etableringen av vindkraftsparken. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
2.6	Kollision i krök	-	NA	NA	Ingen vindkraftspark-inducerad risk för människors säkerhet eller miljön	

6.2.7 Kollision med arbetsfartyg på väg till/från hamn

Under drift-, konstruktions- och avvecklingsfasen kan arbets- och servicefartyg kollidera med den reguljära fartygstrafiken i en farled eller fartygsstråk vid färd till eller från vindkraftsparken (**scenario 2.7**). I Tabell 21 bedöms denna risk under byggnationen.

Servicetrafiken under driftfasen består av enstaka passager per dygn och utgör ett mycket litet bidrag jämfört med den totala kollisionsrisken.

Mer trafik förväntas under bygg- och avvecklingsfasen, där det årliga beräknade antalet resor beräknas vara mindre än 1 000 per år. Det är mindre än det årliga antalet passager till och från Karleby hamn, och jämförbart med det årliga antalet passager till och från Jakobstads hamn. Stråken mellan hamnen och byggplatsen kommer för båda alternativen med största sannolikhet att korsa alla sjöfartsområden mellan Nordvalen och Karleby, Kalajoki och eventuellt Brahestad. Om andra hamnar i Sverige eller Finland utnyttjas under byggandet blir riskpåverkan större.

Under en begränsad tidsperiod, när vindkraftsparken byggs, förväntas kollisionsfrekvensen mellan arbetsfartyg och reguljär trafik vara jämförbar med den ständigt närvarande kollisionsrisken i området, och därmed klassad som *oväntad*.

Samma konsekvenser som för andra kollisionstyper antas.

Den totala kollisionsrisken för arbetsfartyg på väg till/från hamn beräknas vara **ALARP**, se Tabell 21.

Tabell 21. Beräknad risk för fartygskollision för arbetsfartyg under vindkraftsparkens byggnation. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

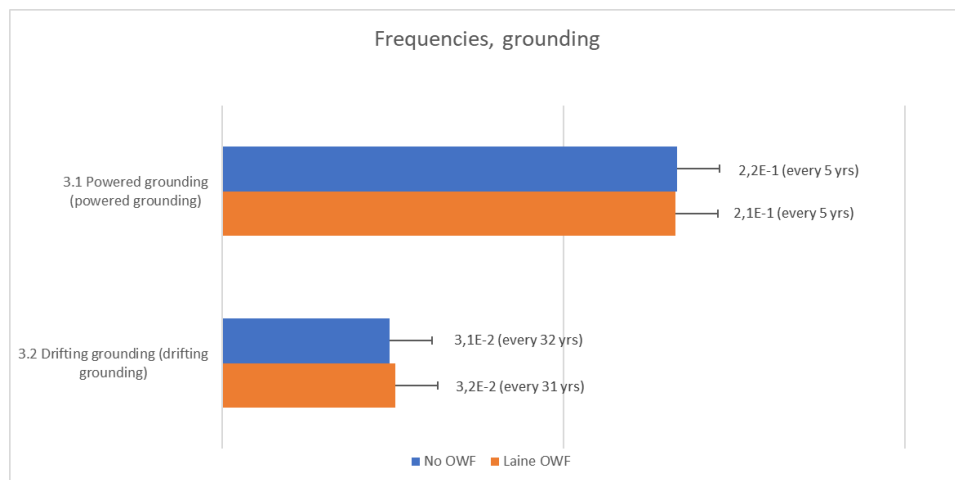
Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
2.7	Kollision med arbetsfartyg på väg till/från hamn	4	3,0	3,2	ALARP	

Kollisionsrisken under avvecklingsskedet förväntas täckas av beräkningarna för byggskedet.

6.3 Grundstötning

Ett nytt trafikmönster på grund av parketableringen kan leda till fler situationer där grundstötning sker. Figur 17 nedan visar den uppskattade frekvensen av grundstötning i fall av att vindkraftsparken Laine byggs respektive inte byggs.

Grundstötningsfrekvenser har beräknats för fartyg inom område med tillgängliga AIS-data och batymetridata, se avsnitt 2.



Figur 17. Frekvens för grundstötning per år i området kring Laine på en logaritmisk skala. Sannolikhet (staplar och siffror) för olika grundstötningstyper utan vindkraftspark och med Laine, sommarförhållanden. Värdena inom parentes är återkomstperioden (antal år), det vill säga det genomsnittliga tidsintervallet mellan det förväntade inträffandet av varje händelse. Osäkerhetsstaplar (svarta linjer) anger frekvens i ett framtida trafikscenario för 2060 där antalet fartyg har ökat med 35 procent.

Enligt IWRAP-beräkningarna representerar grundstötning den högsta frekvensen av alla olyckskategorier i Norra Kvarken. En stor del av frekvensen är grundstötning under färd för fartyg som färdas nära grundområden kring de finska och svenska kustområdena, koncentrerad kring farleden till Jakobstad och angränsande sjöfartsområde.

6.3.1 Grundstötning under färd

Grundstötningsfrekvensen är ganska konstant under sommarförhållanden före och efter etableringen av Laine. En liten minskning av grundstötningsfrekvensen (**scenario 3.1**) kan noteras, vilket resulterar i en liten total minskning (<1 %) av den totala grundstötningsfrekvensen. Laine vindkraftspark ökar alltså inte risken för grundstötning, se Tabell 22. För detaljer om grundstötningsresultat, se Appendix C.

Tabell 22. Beräknad risk för grundstötning **utöver** grundstötning som förväntas ske även utan etableringen av vindkraftsparken. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
3.1	Grundstötning under färd	<1	-	-	Risken minskar med vindkraftsparken	

6.3.2 Grundstötning drivande fartyg

Grundstötningsfrekvensen är ganska konstant under sommarförhållanden före och efter etableringen av Laine. En liten ökning av drifting grounding (**scenario 3.2**) kan noteras, men med tanke på minskningen av frekvensen för powered grounding finns det en liten total minskning (<1 %) i den totala grundstötningsfrekvensen.

Riskökningen för drifting grounding beräknas enl. Appendix A och är kategoriserad som **ALARP** för både människors säkerhet och miljön, se Tabell 23. Detta bör beaktas tillsammans med resultaten för powered allision, där den totala grundstötningsfrekvensen på grund av Laine vindkraftspark är icke-signifikant (något negativ). För detaljer om grundstötningsresultat, se Appendix C.

Tabell 23. Beräknad risk för drifting grounding **utöver** drifting grounding som förväntas ske även utan etableringen av vindkraftsparken. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
3.2	Grundstötning drivande fartyg	3,1	2,0	2,3	5,1	5,4

6.4 Störning av fartygsradar

Störningar på radar och navigationssystem kan resultera i en svårtolkad eller missvisande situationsbild, vilket innebär ett mer komplext och ibland felaktigt beslutsunderlag vid navigering längs en vindkraftspark. Några av de viktiga begränsningarna för radar är följande:

- Små fartyg, is och andra små flytande föremål kanske inte upptäcks av radarn.
- Mål i radarns blinda sektor och skuggsektor visas inte.
- Avståndsupplösning – två små mål på samma bäring och liten avståndsskillnad kan visas som ett mål.
- Bäringsupplösning – två små mål på samma avstånd och liten bäringskillnad kan visas som ett mål.
- Falska ekon.

Förekomsten av is kan i vissa fall försämra användningen av radar, även snöfall och dimma kan försämra radaranvändningen, vilket gör det svårare att se fartyg och vindkraftverk. Till exempel kan förekomsten av is leda till svårigheter att se en strandlinje baserat på radarinformation. Det finns fall där det inte har varit möjligt att särskilja ekon från isflak eller isvallar med ekon från radarreflektor,

vilket försämrar kvaliteten på informationen på radarmonitorn för navigationsändamål. (Finnish Maritime Administration & Swedish Maritime Administration, 2005)

De eventuella radarrelaterade riskerna som orsakas av vindkraftsparken analyseras i följande avsnitt.

6.4.1 Störning av fartygsradar (målförlust)

Vindkraftverken kan försämma förmågan att upptäcka fartyg i närheten av vindkraftsparken och fartyg i position framför och bakom parken med fartygsradar.

Följande bedömning har gjorts av konsekvenser och risk för störning av fartygsradar (**scenario 4.1**) där störning av fartygsradar (målförlust) orsakar kollision mellan fartyg.

För trafik som passerar genom Laine på ett avstånd närmare parken än 1,5 M kan radarstörningar förekomma. Fartyg kan ha sin S-bandsradar inställd så att målförlust uppstår¹⁷. Händelsen ses som *sannolik* (frekvensindex satt till 6). Störningen förväntas dock inte leda till konsekvensen att fartyg kolliderar. Radarstörningar är ett välkänt fenomen i kommersiell trafik och förekommer regelbundet. Det finns rutinemässiga åtgärder för att minimera störningar som en erfaren sjöman känner till.

Dessutom är stora fartyg utrustade med flera olika informationssystem. X-bandsradar ger mer exakt information om närliggande mål. Fartyg navigerar i allmänhet med AIS som kompletterar radarbilden om små fartyg i närheten faller bort från radarskärmen.

Radarpåverkan i sig förväntas alltså inte orsaka en kollision mellan fartyg som passerar genom parken. Konsekvensen anses vara *ringa* (1).

För mer information om radarstörningar, se Appendix B.

Den totala kollisionsrisken för arbetsfartyg på väg till/från hamn beräknas vara *ALARP*, se Tabell 24.

Tabell 24. Beräknad risk för störning av fartygsradar (målförlust). Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
4.1	Störning av fartygsradar (målförlust)	6	1	1	7	7

6.4.2 Fartygsradarstörning (navigationsstörning)

Följande bedömning har gjorts av konsekvenser och risk för störning av fartygsradar (navigationsstörning) (**scenario 4.2**).

¹⁷ Andra störningar som radarekon kan också förekomma på detta avstånd men rapporteras vara problematiska för navigering endast på avstånd kortare än 0,25 NM (500 m), vilket inte innebär någon risk för trafiken på sjöfartsstråken.

Scenariot innebär att vindkraftsparken skapar så stora störningar på fartygsradar, AIS, VHS, GPS och andra navigations- och kommunikationssystem att trafiken navigerar fel och styr in i vindkraftverk.

Det finns många barriärer innan en störning på fartygsradar och annan navigationsutrustning får ett fartyg som passerar parken att navigera in i ett vindkraftverk:

1. Ett fartyg passerar på ett avstånd <0,25 M och utsätts för störning av fartygsradar och annan navigationsutrustning.¹⁸ Med tanke på trafikmängden i området och att majoriteten förväntas följa COLREGs bestämmelser är bedömningen att störningar kommer att påverka **<10 passerande fartyg per år**.
2. Ett fartyg navigerar baserat på felaktig information och styr mot vindkraftsparken. (Felaktig kurs i annan riktning leder till minskad störning från vindkraftsparken och informationsbilden återgår till att vara entydig och korrekt.) Fartyg är utrustade med flera navigationssystem baserade på diversifierade tekniska lösningar som sammantaget ger tillräckliga data för att bestämma position, riktning och avstånd för hinder såsom vindkraftverk, även om ett eller flera system ger felaktig information eller är otillgängliga. Att ett fartyg med radarstörningar tar fel kurs, mot vindkraftsparken, beräknas inträffa **1 gång på 100**.¹⁹
3. Misslyckad upptäckt av att fartyget är på fel kurs och därmed ingen eller försenad åtgärd.
Parken är en mycket tydlig navigationspunkt och kommer att markeras i enlighet med IALAs rekommendationer för utmärkning av offshorekonstruktioner, vilket ökar synligheten och orienterbarheten även i mörker. En del av vindkraftverken är även utrustade med hinderbelysning. Dessutom kommer fartygstrafiken runt parken att övervakas och fartyg på fel kurs kommer att kunna informeras över VTS. Att en fartygsbesättning inte observerar VTS och vidtar åtgärder beräknas inträffa **1 gång på 100**.²⁰
4. Fartyget styr in i ett vindkraftverk. Vindkraftverkens fundament är cirka 16 meter i diameter och avståndet mellan vindkraftverken är minst några kilometer. Sannolikheten att ett fartyg som av misstag kör in i parken kommer att kollidera med ett vindkraftverk är **<10 %**.

Totalt sett beräknas störningar på fartygsradar som leder till allision med vindkraftverk inträffa mindre än 1 gång vart 10 000:e år²¹.

¹⁸ Påverkan på fartygsradar och annan navigationsutrustning anses initialt vara begränsad för trafik som inte färdas i direkt anslutning till parken. För X-bandsradar-, AIS-, GPS- och VHS-radioapparater inträffar eventuella störningar först i den absoluta närheten av vindkraftverken (inom 0,25 M). Störning av S-bandsradar kan förekomma och riskerna med detta beskrivs i avsnitt 6.4.1. Vindkraftverken själv förväntas inte försvinna från radarn utan de kan ge upphov till falska ekon och störekon, vilket ger en mer komplex informationsbas. Flervägsfenomen och radioskugga kan förekomma lokalt men har liten inverkan på trafiken i farlederna eftersom de allra flesta fartyg förväntas passera vindkraftsparken på ett avstånd som är större än 0,25 M.

¹⁹ 1/100 är ett ganska högt HEP-värde för rutinnavigering och störningen är välkänd med många alternativa informationskällor tillgängliga. Se avsnitt 8 Osäkerhetsanalys för vidare diskussion.

²⁰ 1/100 är ett ganska högt HEP-värde för besättningen att upptäcka navigeringsfelet och korrigera det med en rutinåtgärd. Se avsnitt 8 Osäkerhetsanalys för vidare diskussion.

²¹ $<10 \text{ fartyg/år} \cdot 0,01 \cdot 0,01 \cdot 10 \% = 0,0001$.

Konsekvensen antas bli densamma som i scenario 1.1.

Sammanfattningsvis är sannolikheten att störningar från vindkraftverken på detta avstånd ger så missvisande information att det leder till felnavigering och kollision med ett vindkraftverk försumbar, jämfört med andra orsaksfaktorer. Scenariot som leder till en kollision förutsätter att fartyg navigerar utanför sjöfartsområdet samt att det råder dålig sikt samt att alternativa navigationssystem inte används, och att ett fartyg som av misstag hamnar i parken faktiskt styr in och kolliderar med ett vindkraftverk.

Risken för att störningar av fartygsradar och annan navigationsutrustning gör att fartyg i sjöfartsområden oavsiktligt navigerar in i parken och kolliderar med ett vindkraftverk anses således vara acceptabel.

För mer information om radarstörningar, se Appendix B.

Riskökningen för fartygsradarstörning (navigationssstörning) bedöms vara *acceptabel* för människors säkerhet och miljön, se Tabell 25.

Tabell 25. Beräknad risk för fartygsradarstörning (navigationssstörning) som resulterar i allision med vindkraftverk. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
4.2	Fartygsradarstörning (navigationssstörning)	<2	3	3	<5	<4

6.4.3 Störning av fartygsradar inom vindkraftsparken

Trafik som färdas i omedelbar närhet av vindkraftverk (inom 0,25 M) kan uppleva störningar på fartygsradar, AIS, VHS och GPS. I **scenario 4.3** skapar vindkraftsparken störningar på radar och andra navigations- och informationssystem så att trafiken i parken styr in i ett vindkraftverk.

För behörig trafik (arbets- och servicefartyg) ingår inte denna konsekvens i den nautiska riskbedömningen.

Risken för att extern trafik kolliderar med ett vindkraftverk bedöms i avsnitten 6.1.6. Det antas att mindre fartyg förväntas passera genom parken. Om störningar på radar och andra system beaktas ökar risken i olika utsträckning beroende på fartygets storlek och utrustning²²:

- Fritidsbåtar navigerar vanligtvis inte med radar. Fritidsskeppare som ändå navigerar med radar genom vindkraftsparken kan misstolka radarbilden (precis som i skärgården och på andra platser där radarstörningar förekommer). Då mycket få fritidsbåtar rör sig i området ger detta ett försumbart riskbidrag som inte beaktas ytterligare.
- Fartyg mindre än 300 bruttoton kräver inte redundanta navigationssystem eller AIS och riskerar därmed, vid dåliga siktförhållanden och radarstörningar, att navigera baserat på felaktig information.

²² För yrkesmässig sjöfart finns krav på navigationsutrustning som gäller för alla fartyg över en viss storlek och för alla passagerarfartyg och tankfartyg. Kraven specificeras i kapitel V i SOLAS-konventionen. Kraven innebär i korthet att majoriteten av de fartyg som navigerar i svenska vatten är utrustade med bland annat vanlig magnetkompass, elektroniska sjökortssystem, GPS-mottagare, AIS och radar (för större fartyg på redundanta frekvensband och med plottningsfunktioner som ARPA) eller motsvarande. (IMO, 2002)

- Fartyg på 300 bruttoton och större har krav på AIS. För ännu större fartyg finns ytterligare krav på oberoende radar- och målföljningssystem. Om fartyg av denna storlek tar sig genom parken finns det således förutsättningar för en bra informationsbild även vid dålig sikt och störningar i något system. Störningar på AIS, VHS och GPS är generellt mycket lokala och löses när fartygen rör sig. Då mycket få stora fartyg förväntas röra sig genom området och de har flera oberoende navigationssystem ger detta ett försumbart riskbidrag som inte övervägs närmare. Stora fartyg genom parken utgör en risk på grund av det begränsade manöverutrymmet, men denna risk drivs inte av missvisande radarbilder.

Sammanfattningsvis består risken i att externa fartyg i parken med ett bruttotonnage på cirka 20–300 ton navigerar i dålig sikt med endast radar som hjälp och kör in i ett vindkraftverk. Att ett sådant fartyg drabbas av radarstörningar som leder till felaktiga beslut antas konservativt ske **10 gånger per år** (vilket motsvarar en händelse under en storm per månad och ett fartyg per storm). Som med scenario 4.2 (avsnitt 6.4.2), är sannolikheten för att träffa ett vindkraftverk satt till **<10 %**. När fartyget närmar sig ett vindkraftverk antas felet vara identifierbart, men sannolikheten för att en undanmanöver inte kommer att lyckas vid behov är fortfarande satt till **$1,6 \cdot 10^{-4}$** (Engberg, 2019). Påverkansindex är satt till 2 för både människa och miljö baserat på erfarenheter från liknande olyckor, se avsnitt 2.3.1.

Totalt sett beräknas störningar på fartygsradar som leder till påkörning av vindkraftverk inträffa mindre än en gång per 1 000 år²³.

Den totala risken för att ett fartyg som passerar genom vindkraftsparken ska kollidera med ett vindkraftverk bedöms vara *acceptabel* vad gäller människors säkerhet och miljö, se Tabell 26.

Tabell 26. Beräknad risk för fartygsradarstörning (navigationssstörning) som resulterar i allision med vindkraftverk. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
4.3	Störning av fartygsradar inom vindkraftsparken	<3	2	2	<5	<5

6.4.4 Vindkraftsparken komplicerar sök- och räddningsoperationer

Havsbaserade vindkraftverk kan, dels på grund av radar- och kommunikationsstörningar, och dels för att vindkraftverken utgör fysiska hinder, ha en negativ inverkan på räddningsinsatser. Nödanrop riskerar att försvåras från platser som ligger i direkt radioskugga från vindkraftverk. Radarstörningar, påverkan på positionsrapportering inklusive AIS-rapportering och alternativa navigationshjälpmedel tillsammans med dålig sikt kan leda till en stressig

²³ $<10 \text{ fartyg/år} \cdot 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \% <10^{-3}$

beslutssituation ombord på ett räddningsfartyg i samband med en sök- eller räddningsinsats. Radiospåring kan försvåras, se även Appendix B.

Följande bedömning har gjorts av konsekvenser och risk för att vindkraftsparken försvårar sök- och räddningsinsatser (**scenario 4.4**). Scenariot i sig är inte en initial händelse, utan en faktor som kan försvåra sök- och räddningsinsatser.

Vid en olycka i eller i närheten av vindkraftsparken kan navigeringen försvåras, både för räddningsfartyg och helikoptrar. Detta innebär också att sökandet efter olycksoffer begränsas då delar av räddningspersonalen behöver fokusera på att ta sig mellan vindkraftverken snarare än att söka efter olycksdrabbade personer och/eller fartyg (PIANC, 2018). Besättningen på fartyget i behov av hjälp behöver också fokusera mer på sin omgivning för att inte riskera att kollidera med ett vindkraftverk.

För fartyg förväntas emellertid vindkraftverken inte utgöra ett stort hinder för sök- och räddningsinsatser eftersom avståndet mellan vindkraftverken och avståndet mellan havsytan och den lägsta bladspetsen (>30 meter) ger utrymme för räddningsbåtar att köra mellan vindkraftverken. Vindkraftverk kan också i vissa fall förenkla en sjöräddningsinsats eftersom vindkraftverken är tydliga referenspunkter.

Enligt PIANC (2018) bör vindkraftsparker, där det är möjligt, läggas ut i ett regelbundet ruttmönster (detta är inte alltid möjligt av tekniska och konstruktionsmässiga skäl, t.ex. havsbottenförhållanden och vattendjup som förhindrar att turbiner läggs i ett regelbundet mönster). Layouten på 113 vindkraftverk som analyseras är inte upplagd i ett vanligt ruttmönster, utan istället är vindkraftverks mer spridda. För att maximera energiproduktionen kan vindkraftverk inte placeras i raka linjer. Det skulle öka väckningseffekten anmärkningsvärt och minska den årliga energiproduktionen samt förkorta vindkraftverkens livslängd. Det är svårt att uppskatta hur mycket de utspridda vindkraftverken påverkar möjligheten till sök- och räddningsinsatser, men det är klart att ett mer regelbundet ruttmönster skulle underlätta sök- och räddningsinsatser och navigering i stort inom vindkraftsparken.

Eftersom osäkerheterna är stora kan varken sannolikhet eller konsekvens kvantitativt uppskattas med tillräcklig noggrannhet för att man ska kunna dra slutsatser för detta scenario. Sannolikheten är villkorad av behovet av sök- och räddningsinsatser. Konsekvensen kan innebära en något svårare insats om någon annan beskriven olycka skulle inträffa.

Sammanfattningsvis betraktas risken som en försvårande omständighet i andra olyckssituationer. Det kan inte lätt utvärderas i samma skala som andra risker men klassificeras som risknivå **ALARP** för vidare hantering; se Tabell 27.

Tabell 27. Uppskattad risk att vindkraftsparken försvårar sök- och räddningsinsatser. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
4.4	Vindkraftsparken komplicerar sök- och räddningsoperationer	-	-	-	ALARP	

6.5 Vinterförhållanden

6.5.1 Vindkraftsparken påverkar isuppbyggnad

Vid etablering av havsbaserad vindkraft kan isbildningen i området förändras (**scenario 5.1**). Det är inte känt i detalj hur förändringen i isbildning och istäckning kan se ut. Inga heltäckande studier av havsis i relation till havsbaserad vindkraft har identifierats.

När en vindkraftspark etableras uppstår fasta punkter som möjliggör isbildning vid vindkraftverken. Samtidigt kan etableringen av vindkraftverken innebära att is runt parken bryts upp mot vindkraftverkens fundament. Vindkraftverken kan alltså påverka isförhållandena genom att bygga upp is (vallar och barriärer), bryta upp is och stoppa isens rörelse (isstabilisering).

Vindkraftsparkens påverkan på is kan i sin tur påverka fartygstrafiken på andra platser. Detta kan leda till förvärrade isförhållanden på andra håll och innebära begränsningar i sjöfarten och anlop av hamnar i Bottenviken.

Beroende på isförhållandena tillämpar Trafikledsverket storleks- och isklassbegränsningar för fartyg som är berättigade till isbrytarassistans. Vintertrafikrestriktioner är till för att säkerställa säker navigering till havs under isförhållanden. Isbrytarna ger assistans till fartygen genom att övervaka, dirigera, leda och bogsera (Traficom & Swedish Transport Agency, 2019).

Sammanfattningsvis kan vindkraftverken ha både positiva och negativa effekter på isförhållandena. I brist på kunskap om hur vindkraftverk påverkar isläggning och islossning, antas det konservativt att vindkraftsparken kommer att orsaka mer utmanande isförhållanden.

Hur vindkraftsparken påverkar is kan inte enkelt utvärderas men klassas som risknivå **ALARP** för vidare hantering; se Tabell 28.

Tabell 28. Uppskattad risk från vindkraftsparkens påverkan på isuppbyggnaden. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
5.1	Vindkraftsparken påverkar isuppbyggnaden	-	-	-	ALARP	

Risken för iskast från vindkraftverkens rotorblad ingår i utvärderingen i avsnitt 6.6.

6.5.2 Vindkraftsparken blockerar rutter för vintersjöfart

Att stora delar av Östersjöns vatten, särskilt Bottenviken, fryser till varje år påverkar sjöfarten. Detta leder till att fartyg ibland blir beroende av isbrytarassistans. Där ishinder förekommer tvingas trafiken under de istäckta månaderna ofta ta andra vägar än under månader utan havsis. Olika typer av istäcke kan också påverka sjöfarten på olika sätt.

Följande bedömning har gjorts av konsekvenserna och risken för att vindkraftsparken blockerar rutter för vintersjöfart (**scenario 5.2**):

Om vindkraftsparken blockerar de snabbaste och enklaste rutterna för vintersjöfart, måste isbrytare eller andra bogserbåtar ta en annan väg, vilket kan försena eller komplicera assistansen till fartyg. Denna risk är primärt en risk med administrativa och ekonomiska konsekvenser, som inte ingår i denna nautiska riskbedömning.

Men det finns också potentiella konsekvenser för människors säkerhet och miljön. Fartyg som måste färdas längre sträckor under vinterförhållanden kan vara mer utsatta för risker med grundstötning, kollision och allision eftersom den tillryggalagda sträckan är längre. Sannolikheten att stöta på massiva isvallar blir större och stillastående fartyg som väntar på assistans utsätts för krafter i isen och risk för skrovskador.

Längre avstånd beaktas i frekvensberäkningarna för grundstötning, kollision och allision (se Appendix C), eftersom de är baserade på en modell av de nya, förväntat längre vintersjöfartsrutterna. För riskbedömning, se avsnitt 6.1.4, 6.2.1 och 6.3.2. Hur mycket blockerade rutter bidrar till de totala vinterriskerna kan inte enkelt kvantifieras, men risken klassificeras konservativt som *ALARP* för att undersökas ytterligare.

Isskador har förekommit ganska ofta på fartyg i vintersjöfart. De typiska isskadorna till följd av exponering anses vara icke-allvarliga i enlighet med Winter Navigation Research Board (2005). Risken för att vindkraftsparken blockerar rutter för vintersjöfart bedöms i denna aspekt vara *acceptabel*, se Tabell 29.

Tabell 29. Beräknad risk för att vindkraftsparken blockerar vintervägar. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)	Risk (RI)
			Säkerhet för människor Miljö	Säkerhet för människor Miljö
5.2	Vindkraftsparken blockerar rutter för vintersjöfart (längre rutter som resulterar i grundstötning, kollision och allision)	Se avsnitten 6.1.4, 6.2.1 och 6.3.2		ALARP
5.2	Vindkraftsparken blockerar rutter för vintersjöfart (mer exponering för iskrafter)	6	Ingen konsekvens för människors säkerhet eller miljön	Ingen betydande risk för människors säkerhet eller miljön

6.6 Fallande föremål eller iskast från vindkraftverk

Haveri av vindkraftverk och kast från vindkraftverk kan skada fartyg som passerar genom eller förbi Laine vindkraftspark. I rapporten *WTG Tower Collapse Cases: En historisk översikt* (Ma, Martinez-Vazquez, & Baniotopoulos, 2018) Bladfel identifieras som det vanligaste vindkraftverksfelet (18 %). Strukturellt fel, som inkluderar vindkraftverkskollaps och vindkraftverksfel, står för 9 %. iskast står för 2 %. Vindlast i kombination med mänskligt eller mekaniskt fel rapporteras som de vanligaste bakomliggande orsakerna.

Även om iskast kan förväntas utgöra en större andel än 2 % i regioner där is är ett problem, är iskastincidenter sällsynta. Avståndet mellan sjöfartslederna och vindkraftverken är betydande, vilket resulterar i att endast ett litet antal kast kan nå områden där fartyg passerar.

Scenario 5.3 Fallande föremål eller kast från vindkraftverk innebär att ett vindkraftverksfel eller kast från vindkraftverk inträffar och träffar ett passerande fartyg.

Det finns ingen branschövergripande olycksrapportering för vindkraftverk. Ofta används en holländsk sammanställning av statistik över 43 000 vindkraftverksår från Tyskland, Danmark och Nederländerna för att bestämma felsannolikheter (Braam, van Mulekom, & Smit, 2005). Totalt erhålls en genomsnittlig vindkraftverksfelfrekvens på $2,2 \cdot 10^{-3}$ per vindkraftverk och år²⁴.

Vid vindkraftsfel kastas i allmänhet inte delar till längre avstånd. Dessutom är avstånden från sjöfartsstråk till vindkraftverk så långa att mycket få kast skulle kunna nå platser där fartyg passerar, och inom säkerhetszonen för vindkraftverk bör inga obehöriga fartyg finnas. Dessutom är den tid som fartygen tillbringar i området där kast kan träffa begränsad.

Sannolikheten för att iskast eller kast av andra föremål skulle orsaka en allvarlig olycka på passerande fartyg bedöms således vara så låg att risken är acceptabel även om allvarliga konsekvenser konservativt antas.

Tabell 30. Beräknad risk relaterad till fallande föremål eller kast från vindkraftverk. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Scenario	Utan	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
5.3	Fallande föremål eller kast från vindkraftverk (inklusive is)	<1	4	4	<5	<5

6.7 Kablar

6.7.1 Skador på överföringskabeln

Följande bedömning har gjorts av konsekvenserna och den resulterande risken av skador på överföringsledningen (**scenario 6.1**).

Fartygsankare kan fastna och slita sönder eller skada överföringsledningarna eller andra kablar på havsbotten. Omotiverad ankring eller nödankring kan orsaka ett avbrott i vindkraftsparkens drift och kräva omfattande reparationsarbeten.

Konsekvenser för hälsa och miljö är uteslutna²⁵:

- Vid kabelbrott bryts kraftöverföringen och påverkar därmed inte fartyget.
- Vid skadad kabelisolering kan ström ledas ut till ankaret. Eftersom strömmen söker en väg med det lägsta motståndet till jord, förväntas den

²⁴ Iskast ingår inte bland observationerna men värdet anses ändå vara representativt eftersom iskast står för en mindre del av rapporterade vindkraftverkshaverier.

²⁵ Simon Lindroth, M.Sc. och Ph.D. i Teknisk fysik med inriktning mot el, och Torsten Björn, Ingenjör i Elektroteknik, båda anställda på Sweco Sverige AB, 2022-01-27.

inte följa en väg som leder upp genom ankaret till fartyget och sedan ner igen.

- Om ett fartyg släpper ankaret och lyfter den skadade kabeln till nära fartygets undersida kan fartyget drabbas av en stöt eller en mindre explosion. Incidenten bedöms inte vara tillräckligt kraftfull för att göra någon skada på större fartyg, som tankfartyg eller lastfartyg. Mindre fartyg, som fiskebåtar, förväntas inte kunna dra tunga kablar ända upp till båten.

Risken för kabelskador som påverkar fartyg bedöms som försumbar ur ett nautiskt perspektiv. Ingen fördjupad riskanalys bedöms nödvändig, se Tabell 31.

Tabell 31. Beräknad risk relaterad till skador på överföringsledningen. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Scenario	Beskrivning	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor Miljö
6.1	Skador på överföringsledningen	-	-	-	Försumbar risk

6.7.2 Kablar hindrar nödankring

Närvaron av överföringskabel och kablar inom vindkraftsparken kan leda till att nödankring undviks (**scenario 6.2**), varvid drivande fartyg kan utsättas för allvarligare konsekvenser.

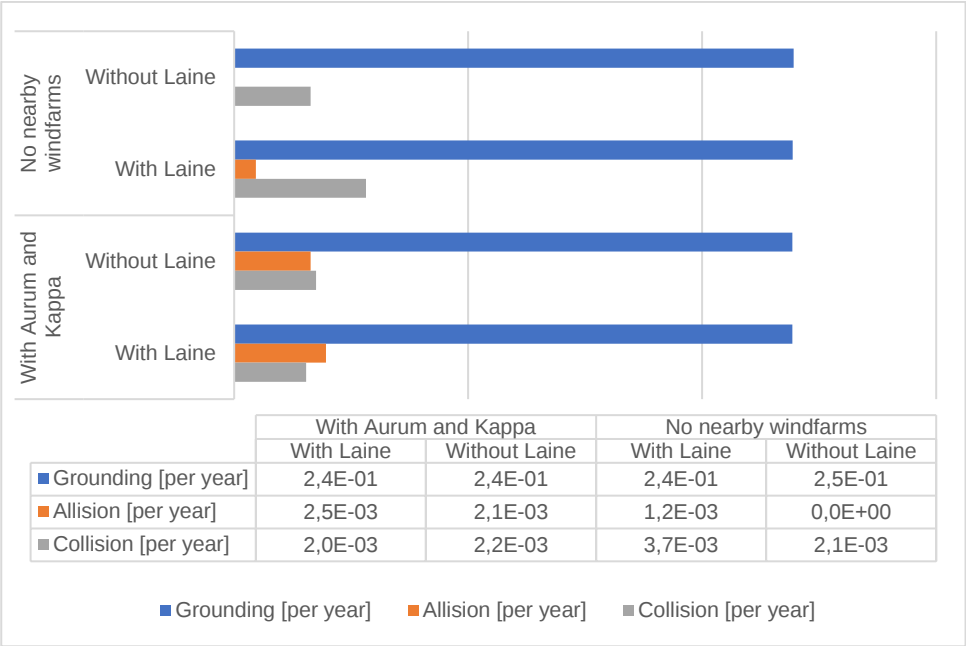
Enligt (DNV, 2021), är det mycket osannolikt att ett fartyg behöver ankra direkt ovanför en kabel. Bedömningen är att ankring görs vid en nödsituation, även på platser där kablar finns. I andra fall är drivande en långsam händelse med mycket tid att vidta åtgärder och utrymme för ankring efter att ha passerat kabelområdena. Med hänsyn till den låga trafikvolymen i området och i kombination med att det är mycket osannolikt att fartyg kommer att behöva ankra direkt ovanför en kabel, bedöms risken inte behöva analyseras ytterligare, se Tabell 32.

Tabell 32. Beräknad risk att kablar förhindrar nödankring. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Scenario	Beskrivning	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor Miljö
6.2	Kablar hindrar nödankring	-	-	-	Försumbar risk

6.8 Kumulativa effekter

Beräknade olycksfrekvenser för grundstötning, allision och fartygskollision när närliggande vindkraftsparker beaktas kontra inte beaktas studeras som osäkerhetsanalysfall i Appendix C. En sammanfattning ges i Figur 18.



Figur 18. Beräknade frekvenser för grundstötning, allision och kollision, med och utan Laine, och med och utan Aurum respektive Kappa.

Den kumulativa påverkan från flera parker på navigeringsriskprofilen för olika kombinationer av vindkraftsparker kan alltså sammanfattas som i Tabell 33, Tabell 34 och Tabell 35. Tabellerna visar den ytterligare risk som induceras av att en eller flera vindkraftsparker etableras. Observera att grundstötning inte är representerad i tabellerna eftersom vindkraftsparken inte har någon betydande inverkan på frekvensen för grundstötning, se avsnitt 6.3.

Tabell 33. Resultaterande **risk för människors hälsa och säkerhet** med tanke på kumulativa effekter om Laine, Kappa, Aurum North och Aurum South alla byggs, eller om några av dem byggs. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Vindkraftspark	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
Laine	Powered Allision	1,6	3,0	3,0	4,6	3,6
Kappa och Aurum	Powered Allision	2,7	3,0	3,1	5,7	4,8
Laine, Kappa och Aurum	Powered Allision	2,5	3,0	3,2	5,5	4,7

Tabell 34. Resultaterande **risk för miljön** med beaktande av kumulativa effekter om Laine, Kappa, Aurum North och Aurum South alla byggs, eller om några av dem byggs. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Vindkraftspark	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
Laine	Drifting Allision	3,1	2,0	2,3	5,1	4,4
Kappa och Aurum	Drifting Allision	3,2	2,0	2,4	5,2	4,6
Laine, Kappa och Aurum	Drifting Allision	3,3	2,0	2,4	5,3	4,7

Tabell 35. Beräknad risk för fartygskollisioner med hänsyn till de kumulativa effekterna om Laine, Kappa, Aurum North och Aurum South alla är byggda, eller om några av dem är byggda. Frekvensen representerar hur ofta händelsen förväntas inträffa, **utöver** fartygskollisioner som förväntas inträffa utan etableringen av vindkraftsparken. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Vindkraftspark	Scenario	Frekvens (FI)	Allvarlighet (SI)		Risk (RI)	
			Säkerhet för människor	Miljö	Säkerhet för människor	Miljö
Laine	Totalt kollisioner	3,2	3,0	3,2	6,2	6,4
Kappa och Aurum	Totalt kollisioner	2,1	3,0	3,0	5,1	5,1
Laine, Kappa och Aurum	Totalt kollisioner	-	-	-	Risken minskar med vindkraftsparken	Risken minskar med vindkraftsparken

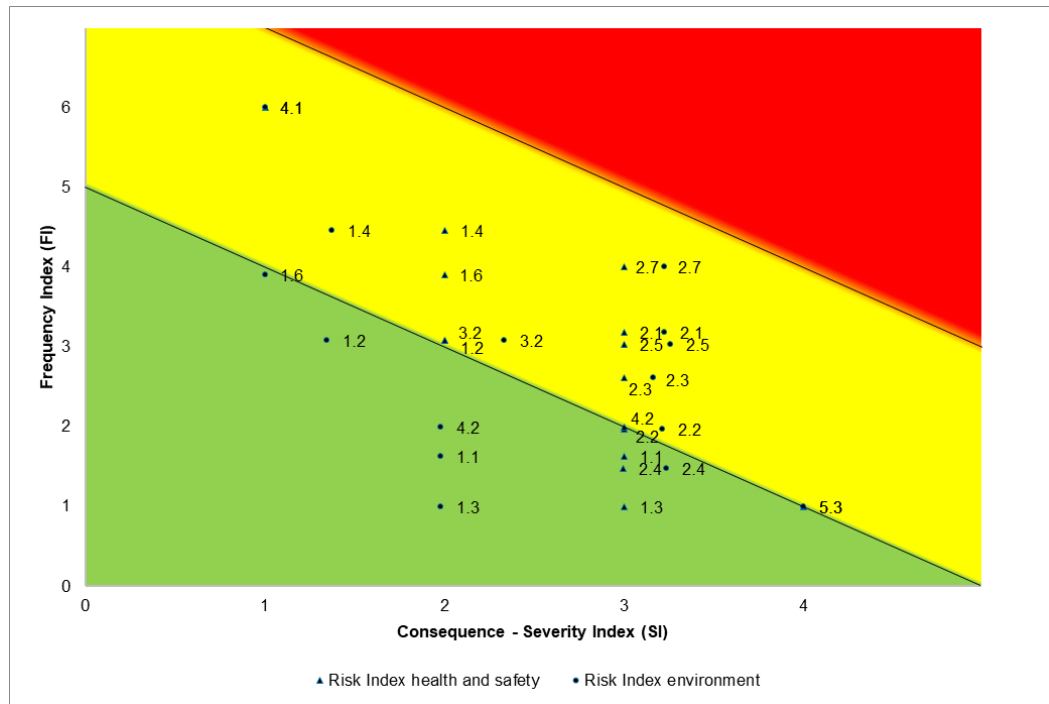
Riskklassificeringen avseende allision är densamma för alla kombinationer av havsbaserade vindkraftsparker som har studerats, förutom risken för människors hälsa och säkerhet av powered allision som klassificeras som *acceptabel* om endast Laine är etablerad, och *ALARP* om fler vindkraftsparker än Laine etableras (förklaras både av det högre antalet vindkraftverk för fartyg att kollidera med och de förväntade trafikmönstren).

Riskklassificeringen avseende kollision är *ALARP* om endast Laine är etablerad eller om endast Aurum och Kappa är etablerade. Om alla vindkraftsparker är etablerade beräknas risken minska i jämförelse med om ingen vindkraftspark etableras alls. Detta kan verka ganska ointuitivt, men beroende på vilken vindkraftspark som är etablerad ändras trafikmönstret (se Appendix C). Om alla vindkraftsparker är etablerade är färre farleder (val) möjliga eftersom vindkraftsparker täcker ett större område. Stäv mot stäv- och omkörningskollision bedöms sedan öka men skärande, samgående och girande kollision bedöms minska. Den totala kollisionsrisken beräknas dock minska något.

Sammanfattningsvis innebär de kumulativa effekterna av etableringen av flera parker i området inga ytterligare risker utöver de som identifierats vid en individuell analys av parkerna.

6.9 Riskmatris

De risker som har kvantifierats i detta kapitel sammanfattas i riskmatrisen som avbildas i Figur 19.



Figur 19. Riskmatris som illustrerar det beräknade riskindexet baserat på frekvens och konsekvens. Observera att svårighetsgradsindex anger ett genomsnitt av konsekvenser för olika typer av fartyg, viktat med riskbidrag (se avsnitt 1.2.3).

Risker inom den gröna zonen klassificeras som *acceptabla*. Risker inom den gula zonen klassificeras som *ALARP* (As Low As Reasonably Practicable, vilket innebär att rimliga åtgärder bör vidtas för att risken ska vara acceptabel). Risker i den röda zonen klassificeras som *oacceptabla*.

Tabell 36. Nautiska risker identifierade för Laine presenterade i riskmatrisen i Figur 19.

ID	Scenario
1.1	Fartyg seglar in i ett vindkraftverk (powered allision)
1.2	Manöverodugligt fartyg driver in i ett vindkraftverk (drifting allision)
1.3	Fartyg seglar eller driver nära ett vindkraftverk och träffas av ett blad
1.4	Fartyg fångas i isen och driver med isfältet in i ett vindkraftverk (drifting allision)
1.6	Ett fartyg som passerar genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk
2.1	Sammanlagt kollisioner i norra Kvarken (alla kollisionstyper)
2.2	Omkörningskollision (risk från vindkraftspark)
2.3	Kollision stäv mot stäv (risk från vindkraftsparken)
2.4	Skärande kollision (risk från vindkraftspark)
2.5	Samgående kollision (risk från vindkraftspark)
2.7	Kollision med arbetsfartyg på väg till/från hamn
3.2	Grundstötning drivande fartyg
4.1	Störning av fartygsradar (målförlust)
4.2	Fartygsradarstörning (navigationsstörning)
5.3	Fallande föremål eller iskast från vindkraftverk

Endast risker som är kvantifierade i riskbedömningen plottas i detta avsnitt.
Sammanfattningen av alla risker och deras klassificeringar finns i avsnitt 7.

7. Riskreducerande åtgärder

Tabell 37 listar de risker som identifierats för Laine tillsammans med en sammanfattning av de riskindex som uppskattas eller beräknas för varje scenario. För de scenarier där risken klassificeras som ALARP, listas också den rekommenderade åtgärden för att minska risken. Åtgärder kan vidtas för att reducera oacceptabla risker till en acceptabel nivå eller för att ytterligare minska redan acceptabla risker om det till exempel anses rimligt med hänsyn till åtgärdernas omfattning (ALARP). Åtgärderna i tabellen beskrivs ytterligare längre ner i detta avsnitt.

Figur 3 på sidan 11 definierar vad som är en acceptabel nivå i riskindexet.

Tabell 37. Nautiska risker identifierade för Laine tillsammans med en sammanfattning av det uppskattade eller beräknade riskindexet för varje risk för människors hälsa och miljön. Om olika risker beräknas för olika parklayouter eller andra antaganden, presenteras resultaten för det mest utmanande fallet här. Index och färgkoder beskrivs i avsnittet 1.2.3.

Id.	Scenario	Risk (RI)		Rekommenderad begränsningsstrategi (för oacceptabel eller ALARP- risknivå)
		Säkerhet för människor	Miljö	
Allision (fartygskollision med stationärt objekt)				
1.1	Fartyg seglar in i ett vindkraftverk (powered allision)	4,6	3,6	
1.2	Manöverodugligt fartyg som driver in i ett vindkraftverk (drifting allision)	5,1	4,4	A. Nödavstängningsprocedurer för vindkraftverk. C. Beredskapsplan. D. Dialog med sjöfartsintressenter. E. Marin koordinator. K. Nödavstängningsfunktion för vindkraftverk.
1.3	Fartyg navigerar eller driver nära ett vindkraftverk och träffas av ett blad	<5	<5	
1.4	Fartyg fångas i isen och driver med isfåltet in i ett vindkraftverk (drifting allision)	6,5	5,8	A. Nödavstängningsprocedurer för vindkraftverk. B. Rutiner för miljöolyckor. C. Beredskapsplan. D. Dialog med sjöfartsintressenter. E. Marin koordinator. I. Ishantering. J. Förbättra vintertrafiksamarbete, koordinering och reglering. K. Nödavstängningsfunktion för vindkraftverk. L. Utrustning för utsläpp.

Id.	Scenario	Risk (RI)		Rekommenderad begränsningsstrategi (för oacceptabel eller ALARP- risknivå)
		Säkerhet för människor	Miljö	
1.5	Fartyg seglar eller driver in i en plattform	Bedöms i en separat Seveso-bedömning		-
1.6	Ett fartyg som passerar genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk	5,9	4,0	A. Nödavstängningsprocedurer för vindkraftverk. C. Beredskapsplan. D. Dialog med sjöfartsintressenter. E. Marin koordinator. K. Nödavstängningsfunktion för vindkraftverk. M. Visuell märkning. N. Radio- och radarmarkering. T. Layout.
1.7	Begränsad sikt som får ett fartyg att segla in i ett vindkraftverk	En bidragande faktor i andra olycksscenarier. Därför kan risken inte lätt kategoriseras på samma skala utan klassificeras som ALARP som ska åtgärdas.		O. Mistlur. Q. Åtgärder mot radarstörningar (förlorat mål). R. Navigationsljus. S. Virtuellt farled. T. Layout. Effekten av radarstörningar kan inte undersökas i detalj i detta skede utan måste analyseras när den slutliga designen fastställs. Se även de åtgärder som anges i scenario 1.6.
Fartyg-fartyg kollision				
2.1	Sammanlagt kollision (alla kollisionstyper)	6,2	6,4	D. Dialog med sjöfartsintressenter. Risken domineras av fartyg som för närvarande tar ruten genom Laine vindkraftsparksområde och förväntas ta nya rutter söder om Laine.
2.2	Omkörningskollision	5,0	5,2	Se de åtgärder som anges i scenario 2.1.
2.3	Kollision stäv mot stäv	5,6	5,8	Se de åtgärder som anges i scenario 2.1.
2.4	Skärande kollision	4,5	4,7	
2.5	Samgående kollision	6,0	6,3	Se de åtgärder som anges i scenario 2.1.
2.6	Kollision i krök	Ingen vindkraftspark-inducerad risk för människors säkerhet eller miljön		
2.7	Kollision med arbetsfartyg på väg till/från hamn	7,0	7,2	B. Rutiner för miljöolyckor. C. Beredskapsplan. D. Dialog med sjöfartsintressenter. E. Marin koordinator. F. Byggriskanalys. G. Arbetsfartygsprocedurer. H. Information. L. Utrustning för utsläpp.
Grundstötning				
3.1 – 3.2	Fartyg går på grund (powered grounding, drifting grounding)	Risken minskar med vindkraftsparken		

Id.	Scenario	Risk (RI)		Rekommenderad begränsningsstrategi (för oacceptabel eller ALARP- risknivå)
		Säkerhet för människor	Miljö	
Störning av fartygsradar				
4.1	Störning av fartygsradar (målförlust)	7,0	7,0	Q. Åtgärder mot radarstörningar (förlorat mål). R. Navigationsljus. S. Virtuellt farled. Effekten av radarstörningar kan inte undersökas i detalj i detta skede utan måste analyseras när den slutliga designen fastställs.
4.2	Fartygsradarstörning (navigationsstörning)	<5	<4	-
4.3	Störning av fartygsradar inom vindkraftsparken	4,2	4,2	
4.4	Vindkraftsparken komplicerar sök- och räddningsoperationer	En bidragande faktor i andra olycksscenarier. Därför kan risken inte lätt kategoriseras på samma skala utan klassificeras som ALARP som ska åtgärdas.		A. Nödavstängningsprocedurer för vindkraftverk. K. Nödavstängningsfunktion för vindkraftverk. M. Visuell märkning. N. Radio- och radarmarkering. P. ID-tagging. R. Navigationsljus. T. Layout.
Vinterförhållanden				
5.1	Vindkraftspark påverkar isuppbyggnaden	Risken är föremål för pågående forskning och kan inte kvantifieras. Klassificerad som ALARP som ska adresseras.		I. Ishantering. J. Förbättra samarbete, koordinering och reglering av vintersjöfart.
5.2	Vindkraftspark blockerar rutter för vintersjöfart	En bidragande faktor i andra olycksscenarier. Därför kan risken inte lätt kategoriseras på samma skala utan klassificeras som ALARP som ska åtgärdas.		I. Ishantering. J. Förbättra samarbete, koordinering och reglering av vintersjöfart.
5.3	Fallande föremål eller iskast från vindkraftverk	Försumbar risk för människor och miljö		-
Kablar				
6.1	Skador på överföringskabeln	Försumbar risk för människor och miljö		-
6.2	Kablar förhindrar nödankring	Försumbar risk för människor och miljö		-

Utvecklingen av åtgärder som kan vidtas kategoriseras i administrativa/organisatoriska och tekniska/fysiska åtgärder.

Administrativa och organisatoriska åtgärder:

- A. Procedurer för nödavstängning av vindkraftverk. Rutiner för nödavstängning bör utvecklas och vara tillgängliga lokalt och på distans, till exempel i en kontrollcentral.
- B. Rutiner för miljöolyckor. Begränsande åtgärder och rutiner för miljöolyckor och utsläpp bör utvecklas.

- C. Beredskapsplan. En beredskapsplan bör tas fram och uppdateras regelbundet för att förbereda driftorganisationen för potentiella nödsituationer som kan inträffa, såsom kollisioner.
- D. Dialog med sjöfartsintressenter. Riskdrivande maritima aktörer, såsom rederier som verkar i området med passagerar- och tankfartyg, bör ingå i dialoger om risker.
- E. Marin koordinator. Vindkraftsparken kommer att ha en dedikerad marin samordnare som ansvarar för att övervaka och samordna alla marina operationer. Denna person ansvarar för övervakning av fartygstrafiken inom vindkraftsparken och dess närhet med hjälp av verktyg som radar och AIS. Den marina samordnaren ansvarar också för att larma FIRCC (Finnish International Rescue Coordination Centre).
- F. Byggriskanalys. En kompletterande riskanalys görs för byggskedet.
- G. Arbetsfartygsprocedurer. Före byggandet utarbetas rutiner för säker navigering av arbetsfartyg. Dessa rutiner utarbetas i samråd med relevanta intressenter, såsom VTS (Vessel Traffic Service).
- H. Information. Information om anläggningen bör meddelas och kommuniceras i god tid till berörda parter innan uppförandet eller avvecklingen av vindkraftsparken påbörjas.
- I. Ishantering. Fartyg kan behöva vänta på isbrytarhjälp på en säker plats. Myndigheter definierar när fartygen får gå igenom vissa svåra områden ensamma eller endast med hjälp av isbrytare. Dessa områden förändras från tid till annan på grund av förändrade isförhållanden.
- J. Förbättra samarbete, koordinering och reglering av vintersjöfart. Myndigheter och andra berörda intressenter bör ingå i dialog om strategier för adekvat ishantering i Östersjön, t.ex. utökat isbrytarsamarbete Finland/Sverige, utarbetade rutiner för isbrytare, samordning av fartyg och isbrytare, ankar-/väntplatser längre ut i havet där det inte finns någon risk att driva mot vindkraftsparken, planering av sjöfartsrutter och förbättrade regler och bestämmelser om hur man hanterar fartyg i isförhållanden.

Tekniska och fysiska åtgärder:

- K. Nödavstängningsfunktion för vindkraftverk. Nödavstängningsfunktioner bör finnas tillgängliga lokalt och på distans, till exempel i en kontrollcentral.
- L. Utrustning för utsläpp. Underhålls- och servicefartyg bör vara utrustade med redskap för att fördröja och begränsa miljöfarliga utsläpp.
- M. Visuellt markering. Säkerställ märkningen av vindkraftverk och plattformar i enlighet med tillämplig lagstiftning eller industristandarder.
- N. Radio- och radarmarkering. För att förbättra synligheten för vindkraftsparken ska AIS- och Racon²⁶-märkning utföras på utvalda vindkraftverk.
- O. Mistlur. Installation av mistlurar på alla vindkraftverk eller utvalda vindkraftverk.
- P. ID-tagging. Vindkraftverk bör märkas med en unik ID-beteckning för att underlätta räddningsinsatser.
- Q. Åtgärder mot radarstörningar (förlorat mål). Installation av referensbojar i etablerade farleder och andra åtgärder för att minska risken för förlorade

²⁶ En Racon (Radar Beacon) är en transponder som används för identifiering och navigeringshjälp, vanligtvis installerad på strukturer som vindkraftverk eller fyrar.

mål övervägs och beslutas innan den slutliga utformningen av vindkraftsparken.

- R. Navigationsljus. Ytterligare navigationsljus inom vindkraftsparken.
- S. Virtuell farled. Fördefinierad rutt nära vindkraftsparken, där fartyg ska navigera när de närmar sig vindkraftsparken, för att motverka försämrad sikt på grund av dimma.
- T. Layout. Ett mer regelbundet ruttmönster med vindkraftverk i rakare linjer skulle underlätta sök- och räddningsinsatser och navigering i allmänhet inom vindkraftsparken. Sök- och räddningsaktörer bör ingå i dialog om layout.

Eftersom inga risker har klassificerats som *oacceptabla* föreslås inga åtgärder som är obligatoriska ur ett riskperspektiv. Scenarierna 1.2, 1.4, 1.6, 1.7, 2.1, 2.2, 2.3, 2.5, 2.7, 4.1, 4.4, 5.1 och 5.2 har dock klassificerats som ALARP. De mildrande åtgärderna för dessa risker bedöms vara av sådan karaktär att de är motiverade att genomföra. Omfattningen och den exakta utformningen av de tekniska och fysiska åtgärderna (K, L, M, N, O, P, Q, R, S och T) specificeras när den slutliga utformningen av parken beslutas. Undantaget är den mildrande åtgärden Q där en studie av möjlig radarstörning kommer att genomföras när parken etableras för att avgöra om det finns behov av att vidta åtgärder för att motverka radarstörningar.

8. Osäkerhetsanalys

I detta avsnitt sammanfattas de osäkerheter som identifierats i analysen.

Slutsatsen är att även om det finns många osäkerheter är de övergripande resultaten robusta. De beräknade riskerna bedöms hamna i rätt intervall, även om siffrorna på decimalen kan tolkas med viss försiktighet.

- **Kumulativa effekter:** Osäkerheten i den sammanlagda riskprofilen om flera vindkraftsparker kommer att byggas i norra Kvarken analyseras i avsnitt 6.8. Riskerna om intilliggande planerade vindkraftsparker byggs (Aurum North och South, samt Kappa) jämförs med riskerna om Laine blir den enda vindkraftsparken. Sammanfattningsvis innebär de kumulativa effekterna av etableringen av flera vindkraftsparker i området inga ytterligare risker utöver de som identifierats vid en individuell analys av vindkraftsparkerna.
Slutsatsen är att resultatet är robust då samma riskkategoriseringar erhålls oavsett antagande.
- **Framtida trafik:** Osäkerhetsanalyser har genomförts (se Appendix C) med slutsatsen att resultatet är robust då samma slutsatser erhålls oavsett antagande om framtida trafikvolym och fartygsstorlekar.
Slutsatsen är att osäkerheten om framtida antal fartyg har liten inverkan på de numeriska riskresultaten och ingen påverkan på riskkategoriseringen. Ökningen av framtida fraktvolym kan potentiellt resultera i större fartyg istället för en ökning av antalet transporter. Genom att anta ett konservativt förhållningssätt vid uppskattning av konsekvenser, beaktas denna osäkerhet i riskbedömningen.
- **Frekvensberäkningar:** Osäkerheter avseende parametrar, AIS-data, IWRAP-modellen och framtida trafikvolym och rutter har identifierats.
- **Trafikmönster:** Hur trafikmönstret kommer att förändras i och med etableringen av vindkraftsparken är ett antagande med stor påverkan på resultaten. Förutsatt att fartygen tar den kortaste vägen kommer trafiktätheten söder om vindkraftsparken att öka. Det är också osäkert på vilket avstånd fartygen kommer att passera vindkraftsparken. En genomgång av brittiska vindkraftsparker visar exempel där vindkraftsparker inte påverkar fartygstrafiken alls, samt fall där sjöfartstrafiken påverkas upp till 1,5 nautiska mil från vindkraftsparken (Anatec, 2016). De antaganden som görs i denna analys om förändringar i rutter och sidofördelningar påverkar resultaten, i första hand den beräknade risken för powered allision och powered grounding (som står för en liten del av det totala resultatet för allision respektive grundstötning). I IWRAP-modelleringen antas 98,5 % av trafiken positionera sig på ett avstånd från vindkraftsparken som uppfyller COLREG för referensfartyget enligt trafikanalysen. Både risken för

powered allision och powered grounding (orsakad av vindkraftsparken) har klassificerats som acceptabla i analysen, men om fartyg kommer att placera sig närmare vindkraftsparken kan risken vara högre. Ytterligare osäkerheter kring frekvensuppskattning diskuteras mer i detalj i bilaga C.

- **Vintersjöfart:** För analys av vintersjöfart och tillhörande risker är analysen begränsad till AIS-data från 2022. Vintertrafikmönstret är olika för varje år, därför är resultaten för vintersjöfart bara ett exempel på hur risker kan påverkas. Fartygstrafikens intensitet över Laine varierar från vinter till vinter. Därför är det uppskattade nollalternativet inte representativt för alla vintrar. Den uppskattade risken för drifting allision för fartyg som fastnar i isen och driver med isfältet in i ett vindkraftverk (scenario 1.4) antas dock vara representativ, eftersom antagandena för möjliga rutten efter etablering av vindkraftsparken är lättare att förutse (norr eller söder om vindkraftsparken). Parametrarna är konservativt valda för att ligga inom osäkerhetsmarginalen.
- **Is:** Det saknas kunskap om hur vindkraftsparker bygger upp isvallar (scenario 5.1). Detta behandlas som en osäkerhet, på grund av den begränsade forskningen om de potentiella effekterna av havsbaserade vindkraftverk på isförhållanden i arktiska områden, och mycket mer studier skulle behövas för att helt förstå effekterna. Det behövs mer kunskap om hur vindkraftsparker bidrar till att bygga upp isvallar. Det är också värt att notera att det finns många andra faktorer som kan påverka bildandet av isvallar och andra isförhållanden i nordliga vatten, inklusive klimatiförändringar och naturliga variationer i vädermönster. Detta område bör bli föremål för särskild forskning. Dessa osäkerheter gör att risken kommer att behandlas som *ALARP*.
- **Mänskliga misstag:** Vid bedömningen av vissa risker, inklusive hanteringen av radarstörningar (riskerna 3.2 och 3.3), har sannolikheter för mänskliga misstag (HEP) uppskattats på ett förenklat sätt. Detta är i enlighet med FSA-metoden, som säger: (Maritime Safety Committee, 2018)
"Där en helt kvantifierad FSA-ansats krävs, kan HRA användas för att skapa en uppsättning HEP:er för inkorporering i probabilistisk riskbedömning. Denna aspekt av HRA kan dock överbetonas. Erfarna utövare medger att större nytta fås med de tidiga, kvalitativa stadierna av uppgiftsanalys och identifiering av mänskliga fel. Ansträngningar som görs på dessa områden ger utdelning eftersom en HRA-övning (som en FSA-studie) bara är framgångsrik om korrekta områden har valts ut för utredning."
 HEP-värden har valts konservativt på grund av brist på detaljerad information, för att undvika att underskatta de analyserade riskerna.
- **Konsekvenser:** Samma konsekvenser antas generellt för fartyg oavsett storlek och oavsett var olyckan inträffar. För att hantera den osäkerhet som är förknippad med konsekvenser har de valts konservativt. Som redovisats i avsnitt 2.3.1, har ingen av de historiska kollisionerna med vindkraftverk resulterat i varken dödsfall eller utsläpp. Ändå tillämpas dessa konsekvenser konservativt i denna riskanalys.
- **Olyckshistorik:** Olyckshistoriken i avsnitt 2.3 bekräftar resultaten om var olyckor sannolikt kan inträffa. Datamängden är begränsad vilket innebär att det finns relativt få datapunkter att dra slutsatser från, men det tyder på att den beräknade kollisionsrisken kan vara underskattad. Eftersom kollisionsfrekvensen är av samma storleksordning för alla beräknade

scenarier har denna osäkerhet liten inverkan på slutsatserna. Historiska data indikerar också att grundstötningsfrekvensen kan vara överskattad. Detta kan förklaras med att incidenter kan förbli orapporterade på grund av olika orsaker, såsom mindre olyckor som inte resulterar i betydande skada eller personskador eller att IWRAP kan överskatta grundstötningsfrekvenser.

Sammantaget har följande viktigaste osäkerheter identifierats:

- Vilka vägar fartyg kommer att ta i framtiden och på vilket avstånd de kommer att passera vindkraftsparken.
- Hur vindkraftsparker kommer att bidra till uppbyggnad av och uppbrytning av is.

Där det finns osäkerheter använder riskbedömningen ett konservativt tillvägagångssätt, vilket säkerställer att riskerna inte underskattas.

9. Diskussion

Totalt har 22 nautiska risker identifierats, analyserats och bedömts. De flesta risker ansågs vara försumbara eller kategoriserades som *acceptabla*. Inga *oacceptabla* risker hittades. Risker som i vissa avseenden har klassificerats som *ALARP*, vilket innebär att riskerna kan tolereras om rimliga åtgärder vidtas, hittades. Rekommendationer om riskreducerande åtgärder ges i denna rapport.

Resultaten anses vara robusta och osäkerheter elimineras genom att använda konservativa antaganden i analysen.

Aspekter som behöver diskuteras ytterligare, relaterade till tidsskala, allision och vinterrelaterade risker tas upp i avsnitten nedan.

9.1 Tidsskala

Riskerna kvantifieras på årsbasis men utgör en risk för tillstånd som inte existerar hela tiden. De beräknade riskerna speglar alltså risknivån om risken existerar hela året (dvs. den beräknade risknivån för fartyg att fångas i isen och sedan driver med isfältet representerar risken om vinterförhållanden råder året runt). Värdena ska inte användas för att uppskatta ackumulerande risk, om inte riskerna skalas ned med en faktor som motsvarar den period som riskerna finns.

9.2 Risk per område

Basrisken för grundstötning och kollision är hög i Norra Kvarken även utan Laine vindkraftspark. En anledning till detta är att risken normalt inte skalas till risken per område i nautisk riskanalys, vilket gör att stora områden automatiskt blir högre i risk. Därför är det mer relevant att titta på den ytterligare risk som induceras av vindkraftsparken²⁷.

9.3 Allision

Risken för powered allision klassificeras som *acceptabel*. Resultaten är känsliga för antaganden om på vilket avstånd fartyg kommer att passera vindkraftsparken. Om fartygen antas passera vindkraftsparken väldigt nära är risken för powered allision mycket högre. Den exakta storleken på risken beror på hur trafikmönstret förändras. Sannolikheten för kollision med navigerande fartyg minskar om trafiken placerar sig längre bort från vindkraftsparken. Ju längre bort trafiken närmast parken väljer att positionera sig, desto lägre är sannolikheten för att

²⁷ Problemet med skala är dock tillämpligt även på vindkraftsparker, där risk per vindkraftverk sällan beräknas.

kollidera med ett vindkraftverk, men samtidigt ökar sannolikheten för omkörningskollisioner och kollision stäv mot stäv med mötande fartyg i farleden, eftersom trafiken blir mer kompakt.

Vindkraftverken på den västra sidan av vindkraftsparken är mer utsatta för drifting allision på såväl sommaren som vintern, eftersom detta är den mest sannolika drivriktningen. Alla vindkraftsparker kan dock träffas av ett drivande fartyg. Observera att ett längre avstånd mellan sjöfartsområden och vindkraftverk inte är en effektiv åtgärd för att minska risken för allision med drivande fartyg. Enligt simulering driver fartyg i genomsnitt mycket längre än närmaste vindkraftverk innan en kollision inträffar. Vindkraftverken närmast sjöfartsstråken står endast för en liten del av den totala sannolikheten för kollisionshändelser.

9.4 Vinterrelaterade risker

Eftersom HAZID pekade ut risker relaterade till vinternavigering och is som ett försiktighetsområde, listas här en del aspekter av hur Laine vindkraftspark påverkar den nautiska riskprofilen under vinterförhållanden.

- **Vindkraftsparkens inverkan på isbildning:** Vid etableringen av Laine vindkraftspark kan fundamenten påverka isbildningen i området. Vindkraftsparken kan bidra till att bygga upp isvallar och packis, vilket representeras av den risk som bedöms i avsnitt 6.5.1. Packis kan orsaka problem för både fartyg och isbrytare. Vallarna är svåra att forcera för fartyg, särskilt på grund av det tjocka lagret i vallarna, som normalt är tjockare än det omgivande fältet av jämn is. Packis utgör det största hindret för vintersjöfart. Mer kunskap om hur vindkraftsparker bidrar till uppbyggnaden av isvallar behövs. Det är också värt att notera att det finns många andra faktorer som kan påverka bildandet av isvallar och andra isförhållanden i arktiska förhållanden, inklusive klimatförändringar och naturliga variationer i vädermönster. Detta område bör vara föremål för särskild forskning och ingår inte i riskbedömningen. Risken klassificeras som *ALARP* och bör åtgärdas.
- **Fartyg fångat i isen och driver med isfältet in i ett vindkraftverk:** Varje år fastnar fartyg i isen och driver med isfältet. Ishastigheten kan ligga inom intervallet ca 2–3 % av vindhastigheten. Frekvensen påverkas inte av byggandet av en vindkraftspark men konsekvenserna är allvarigare. Denna risk studeras i avsnitt 6.1.4 och klassificeras som *ALARP*.
- **Vindkraftsparken blockerar vanlig vintersjöfartsrutt:** Denna risk är primärt en risk med administrativa och ekonomiska konsekvenser, som inte ingår i denna nautiska riskbedömning. Det finns dock också konsekvenser relaterade till människors hälsa och säkerhet samt miljön. Fartyg som måste färdas längre sträckor under vinterförhållanden kan vara mer utsatta för risker med grundstötning, kollision och allision eftersom den tillryggalagda sträckan är längre. Denna risk studeras i avsnitt 6.5.2 och klassificeras som *ALARP*. Sannolikheten för att stöta på massiva vallar blir större. Det kan uppstå förseningar i assistans vid nödsituationer och stillastående fartyg som väntar på assistans är utsatta för krafter i isen och risk för skrovskador. Denna risk studeras också i avsnitt 6.5.2 och anses vara en försumbar risk för människor och miljö.
- **Isskador på fartygs skrov:** Fartyg som navigerar i ett sammanpressande isfält kan fastna och de kan också få skador på

skrovet till följd av kontakt med is. Isskador förekommer ganska ofta på fartyg i vintersjöfart. Alla fartyg som navigerar i isbelagda vatten ska vara isklassade enligt finsk-svenska isklassregler. Dessutom måste de följa trafikrestriktioner som fastställts av FTIA, annars får de inte navigera i regionen och har inte rätt till isbrytningshjälp. Konsekvenserna av typiska isskador är inte allvarliga, men brott i skrovplåten kan orsaka inläckage av vatten i fartyget. Denna konsekvens anses inte vara ett hot mot människor eller miljö. (Winter Navigation Research Board, 2005)

- **Grundstötning:** Under vintersjöfart kan en powered grounding orsakas av is, om den hindrar den avsedda och nödvändiga manövern för att hålla fartyget på en säker rutt. Drifting grounding är en konsekvens när fartyg fångas av isen och driver med isfältet, men förväntas inte vara allvarligare med vindkraftsparken. Som framgår av avsnitt 6.3, förändrar inte Laine vindkraftspark nämnvärt risken för grundstötning, dvs risken med Laine vindkraftspark är försumbar. Denna slutsats antas vara giltig även på vintern.
- **Kollision:** Kollisionsrisken i avsnitt 6.2 antas konservativt representera även kollisionsrisken under vinterförhållanden där fartygens rörelser är färre, hastigheterna ofta låga och konsekvenserna av incidenterna vanligtvis inte så allvarliga. Denna kollisionsrisk kategoriseras som *ALARP*.
- **Fartygsradar:** När fartygets radar justeras för att undvika brus, kan även is bli mindre synlig eller osynlig på radarskärmen. Riskbedömningen av fartygsradarstörningar i avsnitt 6.4 beaktar inte specifikt vinterrisker. Denna risk kommer att bedömas mer i detalj i radarstudien.

Sammanfattningsvis kan vindkraftsparker påverka hur is byggs upp, vilket påverkar navigationsförhållandena för vintersjöfarten. Laine vindkraftspark kan blockera rutter för vintersjöfart, vilket tvingar fartyg att ta längre rutter där de är mer utsatta för faror. Några av de vinterrelaterade riskerna klassificeras som *ALARP* och riskreducerande åtgärder för att hantera dem listas i avsnitt 7.

10. Slutsats

22 nautiska risker har identifierats, analyserats och bedömts. Konservativa analysantaganden tillämpades avsiktligt.

Vindkraftsparken Laine påverkar riskprofilen för fartygstrafiken i Norra Kvarken enligt följande:

- **Allision:** Laine vindkraftspark medför risk för allision med vindkraftverk och plattformar. Denna risk finns även under vinterförhållanden, då fartyg kan fastna i isen och driva med isen.
- **Kollision:** Risken för kollision ökar, främst då Laine vindkraftspark kommer att få mer trafik att använda sjöfartsområdet mellan Nordvalen och Jakobstad i söder, vilket leder till fler kollisioner (en extra kollision var 650:e år). Under byggskedet finns det även risk för kollision med arbetsfartyg på väg till/från hamn.
- **Grundstötning:** Laine vindkraftspark förändrar inte nämnvärt risken för grundstötning.
- **Fartygsradar:** Vindkraftverk kan orsaka störningar för fartygsradar.
- **Vinterförhållanden:** Vindkraftsparker kan påverka isläggningen, vilket påverkar navigationsförhållandena för vintertrafik. Laine vindkraftspark kan blockera rutter för vintersjöfart, vilket tvingar fartyg att ta längre rutter där de är mer utsatta för faror.

De flesta risker ansågs vara försumbara eller kategoriserades som *acceptabla*. Inga *oacceptabla* risker hittades. Risker som i vissa avseenden har klassificerats som *ALARP*, vilket innebär att riskerna kan tolereras om rimliga åtgärder vidtas, visade sig vara:

- **1.1** Manöverodugligt fartyg driver in i ett vindkraftverk (drifting allision)
- **1.4** Fartyg fångas i isen och driver med isfältet in i ett vindkraftverk (drifting allision)
- **1.6** Ett fartyg som passerar genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk
- **1.7** Begränsad sikt gör att ett fartyg navigerar in i ett vindkraftverk
- **2.1, 2.2, 2.3, 2.5** Kollisioner mellan fartyg som passerar vindkraftsparken
- **2.7** Kollision med arbetsfartyg på väg till/från hamn
- **4.1** Fartygsradarstörning (målförlust)
- **4.4** Inverkan på sök- och räddningsinsatser
- **5.1** Vindkraftsparken påverkar isuppbyggnaden
- **5.2** Vindkraftsparken blockerar vintersjöfartsrutter (längre rutter som resulterar i grundstötning, kollision och allision)

Rekommendationer om riskreducerande åtgärder ges i denna rapport:

Administrativa och organisatoriska åtgärder	Tekniska och fysiska åtgärder
A. Procedurer för nödavstängning av vindkraftverk. B. Rutiner för miljöolyckor. C. Beredskapsplan. D. Dialog med sjöfartsintressenter. E. Marin koordinator. F. Byggriskanalys. G. Arbetsfartygsprocedurer. H. Information. I. Ishantering. J. Förbättra samarbete, koordinering och reglering av vintersjöfart.	K. Nödavstängningsfunktion för vindkraftverk. L. Utrustning för utsläpp. M. Visuellt markering. N. Radio- och radarmarkering. O. Mistlur. P. ID-tagging. Q. Åtgärder mot radarstörningar (förlorat mål). R. Navigationsljus. S. Virtuellt farled. T. Layout.

De kumulativa effekterna av etableringen av flera parker i området medför inga ytterligare risker utöver de som identifierats vid en individuell analys av parkerna.

Den övergripande slutsatsen är att risken som Laine vindkraftspark inducerar är *acceptabel*, förutsatt att rimliga mildrande åtgärder vidtas. Risker relaterade till vintersjöfart och is antas inte innebära allvarliga konsekvenser för människors hälsa och säkerhet eller för miljön, utan klassificeras som *ALARP* för att säkerställa att osäkerheterna inte leder till underskattning av risker.

11. Referenser

- Anatec. (2016). *Influence of UK Offshore Wind Farm Installation on Commercial Vessel Navigation: A Review of Evidence*. Anatec Limited.
- Braam, H., van Mulekom, G., & Smit, R. (2005). *Handboek Risicozonering Windturbines, version 2*.
- BWEA. (2007). *Investigation of Technical and Operational Effects on Marine Radar Close to Kentish Flats Offshore Wind farm*.
- Committee on Wind Turbine Generator Impacts to Marine Vessel Radar. (2022). *Wind Turbine Generator Impacts to Marine Vessel Radar. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine*. Retrieved from <https://doi.org/10.17226/26430>
- DNV. (2021). *Navigational Risk Analysis of Frederikshavn offshore wind farm*. DNV.
- Engberg, P. (2019). *IWRAP Mk2*. project44 A/S. Retrieved from https://www.iala-aism.org/wiki/ialawiki/images/5/5a/20191201_lwrap_mk2.pdf
- Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation. (2019). *Allision between VOS STONE and a wind turbine on 10 April 2018 in the Baltic Sea. Investigation Report 118/18*. Hamburg: Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation.
- Finnish Maritime Administration & Swedish Maritime Administration. (2005). *A Preliminary Risk Analysis of Winter Navigation in The Baltic Sea*. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Finnish Transport Infrastructure Agency. (2023). Retrieved from <https://vayla.fi/en/service-providers/merchant-shipping/navigating/fairway-cards> [2023-07-04]
- HELCOM. (2022). *HELCOM Map and data service*. Retrieved from <https://maps.helcom.fi/website/mapservice/index.html> [2023-09-11]
- Howard, M. (2004). *The effects of offshore wind farms on marine radar, navigation and communication systems*. MNA 53/10/366.
- IMO. (1972). *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea*.
- IMO. (2002). *SOLAS (Safety of Life at Sea) Convention Chapter V*. IMO (International Maritime Organisation).
- IMO. (2002). *SOLAS (Safety of Life at Sea) Convention Chapter V*. IMO (International Maritime Organisation).
- IMO. (2015). *IMO Revised Guidelines for the Onboard Operation Use of Shipborne AIS – A. 1106(29)*. International Maritime Organization.
- IMO. (n.d.). *Ship's routeing*. Retrieved from <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/ShipsRouteing.aspx> [2023-09-25]

- Jersey Maritime Administration. (2020). *Investigation into the Causes of an Allision between the Windfarm Support Vessel Njord Forseti and a Windfarm Tower in the Southern North Sea on 23rd April 2020. Final Report*. Jersey Maritime Administration.
- Ma, Y., Martinez-Vazquez, P., & Baniotopoulos, C. (2018). *Wind Turbine Tower Collapse Cases: A Historical Overview*. ICE Proceedings Structures and Buildings. 172. 10.1680/jstbu.17.00167.
- MAIB. (2013). *Accident report No 23/2013*. Southampton: MAIB (Marine Accident Investigation Branch).
- Maritime Safety Committee. (2018). *Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process*. London: IMO (International Maritime Organization).
- MCA. (2008). *Offshore Renewable Energy Installations (OREIs): Guidance to Mariners Operating in the Vicinity of UK OREIs (MGN 372 (M+F))*. (U. M. Agency, Ed.) Retrieved from MNA/053/010/0626: <https://www.gov.uk/government/publications/mgn-372-guidance-to-mariners-operating-in-vicinity-of-uk-oreis>
- NCEI. (2022, oktober 19). *Digital Elevation Model*. Retrieved from NOAA National Centers for Environmental Information (NCEI): <https://www.ncei.noaa.gov/maps/bathymetry/>
- NOAA. (2022). *Bathymetric Data Viewer*. Retrieved from <https://www.ncei.noaa.gov/maps/bathymetry/> [2023-02-22]
- PIANC. (2018). *MarCom Wg 161: Interaction Between Offshore Wind Farms and Maritime Navigation*. PIANC.
- PIANC. (2023). *The World Association for Waterborne Transport Infrastructure*. Retrieved from <https://www.pianc.org/about> [2023-06-16]
- Sjöfartsverket. (2021). *Sjöfartsverkets referensstationsnät. IALA/DGPS*. Retrieved from DGPS - Differential Global Positioning System: <https://www.sjofartsverket.se/contentassets/ef2f62594e4b4214bd4dc9268117cb89/iala-dgps-2016.pdf>
- Sjöfartsverket. (2022). *Ufs A. Underrättelser för sjöfarande. Allmänna upplysningar*.
- Snöberg, J. (2002). *Nautisk instrumentteknik Radar (utbildningskompendium Kalmar Maritime Academy)*.
- SSPA Sweden AB. (2008). *Methodology for Assessing Risks to Ship Traffic from Offshore Wind Farms. VINDPILOT-Report to Vattenfall AB and Swedish Energy Agency*. Report 2005 4028.
- Sweco. (2023). *Hazard Identification Workshop on Nautical Risks for Halla and Laine Wind Farms – Minutes of Meeting*. Teams: Sweco.
- Sweco. (2023c). *Traffic Analysis Laine Offshore Wind Farm*.
- The Swedish Transport Administration. (2022). *Funktionsbeskrivningar för trafiklagens anläggningar*.
- Traficom & Swedish Transport Agency. (2019). *Guidelines for the Application of the 2017 Finnish-Swedish Ice Class Rules*.
- Traficom. (2021). *Farledsklassificering*.
- Traficom. (2022a). *Environmental impact assessment programme for the Halla offshore wind farm project*.
- Traficom. (2022b). *Valtakunnalliset liikenne-ennusteet*.
- Traficom. (2023). *Safety in Finnish waters*. Retrieved from <https://tieto.traficom.fi/en/statistics/safety-finnish-waters> [2023-09-07]
- Trafikverket. (2023). *Prognos för godstransporter 2040 - Trafikverkets Basprognoser 2023*.

- Transportstyrelsen & Sjöfartsverket. (2009). *Vägledning vid projektering och riskanalys av vindkraftsetablering utmed svenska kusten*.
- United Nations. (1994). *United Nations Convention on the Law of the Sea*.
- Vattenfall. (2022). *Vattenfall*. Retrieved from Schade aan windpark Hollandse Kust Zuid na aanvaring door vrachtschip Julietta D:
<https://group.vattenfall.com/nl/newsroom/persbericht/2022/schade-aan-windpark-hollandse-kust-zuid-na-aanvaring-door-vrachtschip-julietta-d>
[2022-02-02]
- Väylävirasto. (2021). *Finland's Winter Navigation. Instructions for winter navigation operators*.
https://vayla.fi/documents/25230764/35601620/Suomen_talvimerenkulku_2021-2022_EN.pdf/1a28d2ef-d667-99be-0efc-8408e28ff5d1/Suomen_talvimerenkulku_2021-2022_EN.pdf.
- Winter Navigation Research Board. (2005). *A Preliminary Risk Analysis of Winter Navigation in the Baltic Sea. Research Report No 57*. Helsinki: Finnish Maritime Administration and Swedish Maritime Administration.

Appendix A. Calculation of the risk index

In a risk analysis, it is well established to define risk as a product of probability and severity of the consequence:

$$\text{Risk} = \text{probability} \times \text{consequence}$$

Equation 1

According to the FSA methodology, it is advisable to define the severity index (SI) and frequency index (FI) on a logarithmic scale. The definitions are found in the main report (section 1.2.3). A risk index (RI) is established by adding frequency and severity indices. (Maritime Safety Committee, 2018)

$$\text{RI} = \text{FI} + \text{SI}$$

Equation 2

The risk index for an event ranked as *remote* (FI=3) and with a severity of *significant* (SI=2) is then given the risk index RI=5 (see the risk matrix in Figur 3. Riskmatris för värdering av vindkraftsparkens risker för sjöfarten. RI, Riskindex, ges av värdena i de färgkodade fälten.).

The relationship between risk and risk index can be expressed as follows:

$$\log_{10}(\text{Risk}) = \log_{10}(\text{probability}) + \log_{10}(\text{consequence})$$

Equation 3

For some events, different consequences are expected depending on the type of ship(s) involved (e.g. collision with a passenger ship may lead to more fatalities while collision with an oil tanker may lead to more oil spillage). For such events, the risk index is calculated as the sum of the risk contributions from each type of event:

$$\text{RI} = \log_{10}(f_1 c_1 + \dots + f_n c_n) + K$$

Equation 4

where RI is the risk index as assessed above, f_i is the frequency (per year) of event i , c_i is the consequence (expressed in safety index) of event i , and K is a constant integer for the calculated risk index to correspond to the correct risk level in the matrix in Figur 3.

Example

Suppose that a certain type of accident occurs with a frequency of $f = 5 \cdot 10^{-5}$ per year. This corresponds to a return time of 20,000 years (that is, an accident is expected to occur on average once every 20,000 years). The frequency includes all accidents of a certain type, regardless of the ship category. In this example, it is assumed that oil tankers (oil) account for 10% of all accidents, passenger ships (pass) account for 1% and cargo ships (cargo) for 89% of this type of accidents. Depending on the type of vessel, the accident leads to different consequences. An accident involving an oil tanker is assumed to result in an oil spill of 1,000 tonnes of oil, while an accident involving other types of vessels is assumed to result in a spill of 10 tonnes of oil. The environmental risk for the individual categories of vessels is then calculated as follows:

$$Risk_{oil} = f_{oil} \cdot C_{oil} = 10\% \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 1,000 = 5.0 \cdot 10^{-3} \text{ [tonnes of oil per year]}$$

$$Risk_{pass} = f_{pass} \cdot C_{pass} = 1\% \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 10 = 5.0 \cdot 10^{-6} \text{ [tonnes of oil per year]}$$

$$Risk_{cargo} = f_{cargo} \cdot C_{cargo} = 89\% \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 10 = 4.45 \cdot 10^{-4} \text{ [tonnes of oil per year]}$$

To move the environmental risk to fit into the risk matrix in Figur 3, $K_{environment}=7$ is applied and, using the expression in Equation 4, risk index concerning environment is calculated:

$$RI = \log_{10}(Risk_{oil} + Risk_{pass} + Risk_{cargo}) + K_{environment} = \log_{10}(5.45 \cdot 10^{-3}) + 7 \approx 4.7$$

The calculated risk in this example, $RI=4.7$, is less than 5 and would thus be placed slightly below the ALARP level in the risk matrix in Figur 3. Riskmatris för värdering av vindkraftsparkens risker för sjöfarten. RI, Riskindex, ges av värdena i de färgkodade fälten. in the main report. When plotting the risk in the risk matrix, $f = 5 \cdot 10^{-5}$ per year is applied, which on the frequency axis is less than 1 time in 10,000 years, but more than 1 time in 100,000 years.

Exactly calculated, the occurring index $FI = \log_{10}(5 \cdot 10^{-5}) + 6 \approx 1.7$. The "typical" consequence of an accident can be expressed as a risk-frequency ratio, $SI = RI - FI \approx 4.7 - 1.7 \approx 3.03$ which on the impact axis would be placed in the left part of the consequence "Severe impact" corresponding to an oil spill of just over 100 tonnes of oil. Thus, the typical frequency does not represent any individual case but is an average of several sub-scenarios, weighted according to the proportion of different vessel types in the total accident rate.

Appendix B. Radar interference - knowledge overview

In addition to radar, modern ships are often equipped with navigation systems where radio signals, satellite navigation systems and signals from other sensors on board are linked to the radar image on ARPA or separately on an electronic chart display (ECS or ECDIS). OWFs can have an impact on these navigation systems as well as on visual sight.

The Chapter V of SOLAS (IMO, 2002) details the carriage requirement of Radar and ARPA onboard ships.

- All ships of 300 GRT and above and all passenger vessels shall be fitted with a 9 GHz Radar and an electronic plotting aid.
- All ships of 500 GRT and above shall be fitted with an automatic tracking aid to plot the range and bearing of other targets.
- All ships of 3,000 GRT and above, a 3 GHz Radar or a second 9 GHz Radar which are functionally independent of the first 9 GHz Radar. A second automatic tracking aid to plot the range and bearing of other targets, which is functionally independent of the first electronic plotting aid.

Ship radar

Ship radar is an important tool for maritime safety and navigation at sea. There are two main types of ship radar: X-band radar and S-band radar. These two radar systems complement each other.

X-band radar is a high-frequency radar (9 GHz) commonly used for short-range detection of objects and to assist in navigation and positioning of the ship.

S-band radar (3 GHz) is effective at longer distances and can be used to detect both objects that are close to the ship and objects that are far away.

Alongside AIS, ship radar is an important tool for both navigation and collision avoidance, especially in poor visibility.

WTGs can reflect radar signals and can thus interfere with radar systems in the immediate area. It is well known that offshore wind power has an impact on ship radar, which can affect the ability to locate, detect and identify signals in the vicinity of WTG. Blind areas can occur in the shadow of a WTG.

The most common impact is an increase in signals that are reflected and cause strong echoes on the radar display, which complicates the decision basis for navigation. Within 1.5 M of WTGs there is a risk of multiple echoes, indirect echoes and side lobe echoes. **Multiple echoes** occur when the radar signal bounces between the WTG and the ship a few times before it is picked up by the radar antenna. Multiple echoes can also arise from many different targets in the same direction as the ship's main target. **Indirect echoes** occur when the radar pulse is reflected off several objects before reaching back to the radar antenna. **Side lobe echoes** are echoes that exist outside the main lobe of the radar antenna, i.e. echoes from radar targets that are in the antenna's side lobes. (Committee on Wind Turbine Generator Impacts to Marine Vessel Radar, 2022)

The radar equipment is adjusted by the person navigating the vessel to minimize interference. Echoes can be reduced by adjusting the settings (gain, range or anti-clutter sea). The OOW should be able to set-up and configure the radar settings if needed. Some of the important basic radar controls are:

- A) Clutter controls – Rain, Gain, Sea
- B) Pulse controls, Range controls
- C) Performance monitor
- D) Manual tuning

Since the measure at the same time reduces the possibility of detecting weak echoes such as smaller boats and buoys, there is a trade-off to make between too much and too little echoes (Snöberg, 2002).

Radars can also be adjusted to remove clutter and make ice tracks visible on the radar screen, to find a navigable route through the ice field (Väylävirasto, 2021).

Newer vessels are equipped with navigation aids such as ARPA (Automatic Radar Plotting Aid) or radar plotters that provide information about the direction of movement of other objects such as ships. A modern ARPA includes a set of features to determine the risk of collision, including information on CPA (closest point of approach) and TCPA (time to closest point of approach). For example, the system can alert when TCPA falls below a threshold set by the user. When ARPA is used to follow radar targets near a OWF, the ARPA can lose its target (lost target) or jump to another target (target swap).

Studies conducted on the OWF at Kentish flats, England, show that sailors were able to observe and follow other vessels that were both inside and on the other side of the OWF using radar despite the above effects (BWEA, 2007).

PIANC (2018) indicates that there is a high probability²⁸ of **ghost echoes** on X-band radar at distances shorter than 0.25 M (500 m). There is also a high probability²⁸ that loss of target (smaller targets) can occur at distances shorter than 1.5 M (2,778 m). Safety distances to avoid interference have been set by naval officers to 0.8 M. Overall, PIANC recommends a minimum distance of 1.5 NM between vessel traffic and OWFs to minimize interference to ship radar and ARPA. The report emphasizes that anyone navigating the vessel should adjust their radar equipment to obtain accurate results when using ARPA.

In radar watch keeping, it is essential to understand the limitations of the equipment. Over reliability on radar and ARPA has been a reason for many accidents at sea. The radar users should understand the fact that it is equipment that has its own limitations and troubleshooting, and the accuracy of the data largely depends on the performance standard of the equipment. Timely check on the performance of the radar is of high priority. In case of incorrect setting on the radar, echoes and lost targets can occur, regardless of distance from the OWF, according to PIANC (2018).

* The likelihood that ships lose maneuverability or maintain course and speed that can end up in an accident is modelled with lateral distributions that represent traffic and that bases on statistics in the form of AIS data of position, size and other relevant parameters. The possibility of avoiding an accident is based on assumptions about the chances of succeeding with evasive maneuvers where required or vessel recovery and emergency anchoring for drifting vessels. These assumptions are settings in IWRAP and are presented at the end of this appendix.

Satellite navigation

Reflections from buildings and other large, massive objects can lead to precision problems with GPS. The phenomenon when the GPS signal from the satellite is reflected in a tall building before it reaches the receiver is called multipath, and it occurs on merchant ships even without WTGs nearby. Disturbances resulting from the multipath are generated by cranes and masts on the ships at sea. It is possible to minimize interference on the receiver through specific settings, see (Sjöfartsverket, 2022) and (PIANC, 2018).

For better positional accuracy, a Differential Global Positioning System (DGPS) receiver can be installed. The Swedish Maritime Administration has, in cooperation with neighbouring countries and following IALA's recommendations, established a reference station network for GPS. According to PIANC, a safety distance between WTGs and ships as well as between WTGs and DGPS reference station is needed to maintain the accuracy of the DGPS. For 160m high WTGs, the distance is given as 1.2km. This distance is calculated based on conditions regarding angles and WTG heights that may deviate slightly from the current project area and can therefore be seen as an indication. The safety distance only applies to interference with the signal from the reference station, which means that the position accuracy with GPS is expected to be maintained even within this distance (Sjöfartsverket, 2021).

Radiocommunication

VHF are radio frequencies that are used in shipping for communication, including distress calls.

AIS uses two channels on the VHF band for the transmission of digital information. AIS is an autonomous system that makes it possible to identify and follow vessel movements from a ship and from land. Position, heading and speed are retrieved from the same system used for the ship's navigation, normally a GPS or DGPS receiver (Sjöfartsverket, 2022). IMO requires AIS use by all vessels >500GT, for any vessel >300GT that is on an "international voyage" and for all passenger vessels (IMO, 2002). AIS should always be in operation when ships are underway or at anchor (IMO, 2015).

The global maritime emergency radio system, GMDSS, has been mandatory for all commercial shipping since 1999. Equipment requirements depend on the waters to be operated. The current project area is within VHF coverage from a coastal station with continuous fitting of digital distress calls via the VHF system (over so-called DSC). Maritime and air rescue centres are alerted either by VHF radio, telephone, or satellite (Sjöfartsverket, 2022).

According to PIANC (PIANC, 2018), the establishment of OWFs affects the coverage area of VHF when ships are beyond an OWF. There are studies confirming interference with VHF, which under certain circumstances can affect not only analog voice communication, but also DSC and AIS signals. However, the significance of the interference with VHF communication including AIS is considered to be insignificant according to studies that have been done. Experiences from, among others, North Hoyle show that communication works well over VHF and mobile phones inside the park. However, problems with direction finding of the VHF signal occurred when the sounding ship was closer than 50 meters to a WTG that shaded the radio transmitter (Howard, 2004).

Terrestrial navigation

The construction of a OWF means that the visual information changes. The WTGs act as clear navigation signs at sea, which facilitates navigation in general and when conducting sea rescue operations. The WTGs will be equipped with flood lights according to IALA's recommendations. At the same time, the WTGs risk obscuring existing navigation marks. Out at sea, there are no nautical signs or other solid objects to navigate by within the nearest kilometres from the park. The WTGs are thus not expected to immediately obscure any navigation mark.

Compasses are not expected to be significantly affected by the energy park. According to PIANC, it is unlikely that the WTGs and power lines could affect magnetic compasses. Larger vessels generally have gyrocompasses that are not affected by magnetic interference (PIANC, 2018).

Appendix C. IWRAP calculation of accident frequencies

This appendix presents the frequency calculations that form the basis for the risk assessment for OWF Laine regarding collision risk, risk of grounding and risk of ships colliding with a WTG.

Frequency calculations for allision with a platform are also reported. These results are used in the Seveso report.

Purpose

The following probabilities are calculated:

- The probability of ships navigating into a WTG
- The probability of ships drifting into a WTG
- The probability of ships drifting with ice into a WTG in sea ice conditions (henceforth referred to as winter)
- Probability of collision between ships
- Probability of grounding
- The probability of ships drifting into a platform (input to the Seveso report)

The calculations are made for an example layout for Laine with 113 WTGs (WTGs) of 20 MW.

An uncertainty analysis studies the risk scenario for Laine both with and without adjacent OWF's Kappa and Aurum North and South.

Boundaries

Accident rates for traffic outside established shipping routes, including recreational and fishing boats, as well as larger vessels taking their own routes, are not calculated. The reason is that the accident rate for such traffic cannot be easily quantified. This limited traffic contributes very little to the overall risk.

Method

Quantitative estimates of frequencies for navigation risks are made in accordance with the *Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process* (Maritime Safety Committee, 2018). For

the calculations, IWRAP is used, which is a tool for applying FSA methodology. IWRAP calculates collision and allision frequencies for vessels travelling along defined routes. The input data is based on historical AIS data as well as expert estimates where data are missing.

The calculations are made using a probabilistic model that is developed for vessel traffic in the area in question. The model is based partly on the probability that ships lose steering or maintain a course and speed that could result in an accident if no avoiding action is performed, and partly on the probability that all measures to avoid an accident will fail when the ship is in such a position*. Using the model, the probability of collision and collision with and without WTGs is calculated.

IWRAP

Frequencies are calculated using the commercial version of the IWRAP Mk II software.

In IWRAP, ship routes are modelled in the form of sections called *legs*. For traffic along each leg, the probability of collisions between ships of the type frontal collision and overtaking collision is calculated.

Points where the ship paths change direction, merge or cross are modelled in IWRAP with a *waypoint*. For traffic through a waypoint, the probability of a turn collision, interweaving collision and intersection collision respectively is calculated.

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

Analysis cases

A summary of analysis cases is presented in Table 38.

* The likelihood that ships lose maneuverability or maintain course and speed that can end up in an accident is modelled with lateral distributions that represent traffic and that bases on statistics in the form of AIS data of position, size and other relevant parameters. The possibility of avoiding an accident is based on assumptions about the chances of succeeding with evasive maneuvers where required or vessel recovery and emergency anchoring for drifting vessels. These assumptions are settings in IWRAP and are presented at the end of this appendix.

Table 38. Analysis cases and description of modeling.

#	Description	Modelled structures	Traffic model
0.S	Accident frequencies with no OWF (summer)	none	ZERO (summer)
0.W	Accident frequencies with no OWF (winter)	none	ZERO (winter)
1.S	Accident frequencies with Laine (summer)	Laine (113 WTGs of D=16 m)	EXPC (summer)
1.W	Accident frequencies with Laine (winter)	Laine (113 WTGs of D=16 m)	EXPC (winter)
2.S	Accident frequencies with Laine platforms (summer)	Laine incl. platforms (113 WTGs of D=16 m and 6 rectangular platforms with dimensions 100 x 250 m ²)	EXPC (summer)
0.S-UNC1	Uncertainty analysis case with nearby OWFs, without Laine	Kappa, Aurum N and S (WTGs of D=16 m)	UNC (Kappa and Aurum, summer)
1.S-UNC1	Uncertainty analysis case with nearby OWFs, with Laine	Kappa, Aurum N and S (WTGs of D=16 m) and Laine (113 WTGs of D=16 m)	UNC (Laine, Kappa and Aurum, summer)

Uncertainty analysis

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

- **Cumulative effects:** Assumption about establishment of additional OWFs (Kappa and Aurum North and South). IWRAP analysis cases 0.S-UNC1 and 1. S-UNC1 are set up to study the impact of nearby OWFs.
- **Future traffic volumes:** Assumption about future traffic volumes (unchanged versus +35%) according to section 2.6 Future maritime traffic in the main report on traffic forecast for year 2060. This uncertainty is quantified by re-scaling IWRAP results for analysis cases #0.S, #0.W, #1.S and #1.W. The factor represents an increase in number of vessels by 35% compared to the AIS data.

Note that none of the uncertainty analysis cases represents the most likely outcome. Given the fairly conservative assumptions that are made, the uncertainty cases present a worst case, not a probable worst case, thus showing an outer limit for what to expect about the risks after the OWF establishment.

Traffic data

AIS data for the period 1 January - 31 December 2022 is used as input to create the model of the extent and traffic patterns of the shipping routes. The dataset includes data on 1,105 vessels and a total of 9,397 voyages in the area between the following coordinates:

20.6685717°E 64.4722034°N

22.9769348°E 63.1877484°N

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

Validation

IWRAP Mk2 is a software that is validated by IALA. The accuracy of this OWF specific model is ensured by performance review and comparison with statistics of the accident history in the area.

Modelling assumptions – summer conditions

All IWRAP models for traffic during periods with no sea ice (referred to as "summer conditions") are based on the following principles:

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

Modelling assumptions – winter conditions

All IWRAP models for traffic during periods with sea ice (referred to as "winter conditions") are based on the following principles:

- Parameters and settings in IWRAP have been adjusted to reflect winter conditions:
 - Blackout probability increased by a factor 2
 - Winter drift speed increased to 2 knots, representing vessels drifting with the ice
 - Same wind conditions are assumed for summer and winter
 - Recovery of vessel (anchoring or repair after blackout) is not credited
- Frequencies are calculated for the following events²⁹:
 - Drifting grounding (for vessels drifting with the ice)
 - Drifting allision (ship-WTG collision) (for vessels drifting with the ice)

Bathymetry

Water depth is modelled using polygons based on open bathymetry data from NOAA National Centers for Environmental Information (2022), see Figure 20.

²⁹ Frequencies are not calculated for powered grounding, powered allision or ship-ship collision since the IWRAP rules for calculating those probabilities are not applicable in winter traffic and results would thus be misleading.

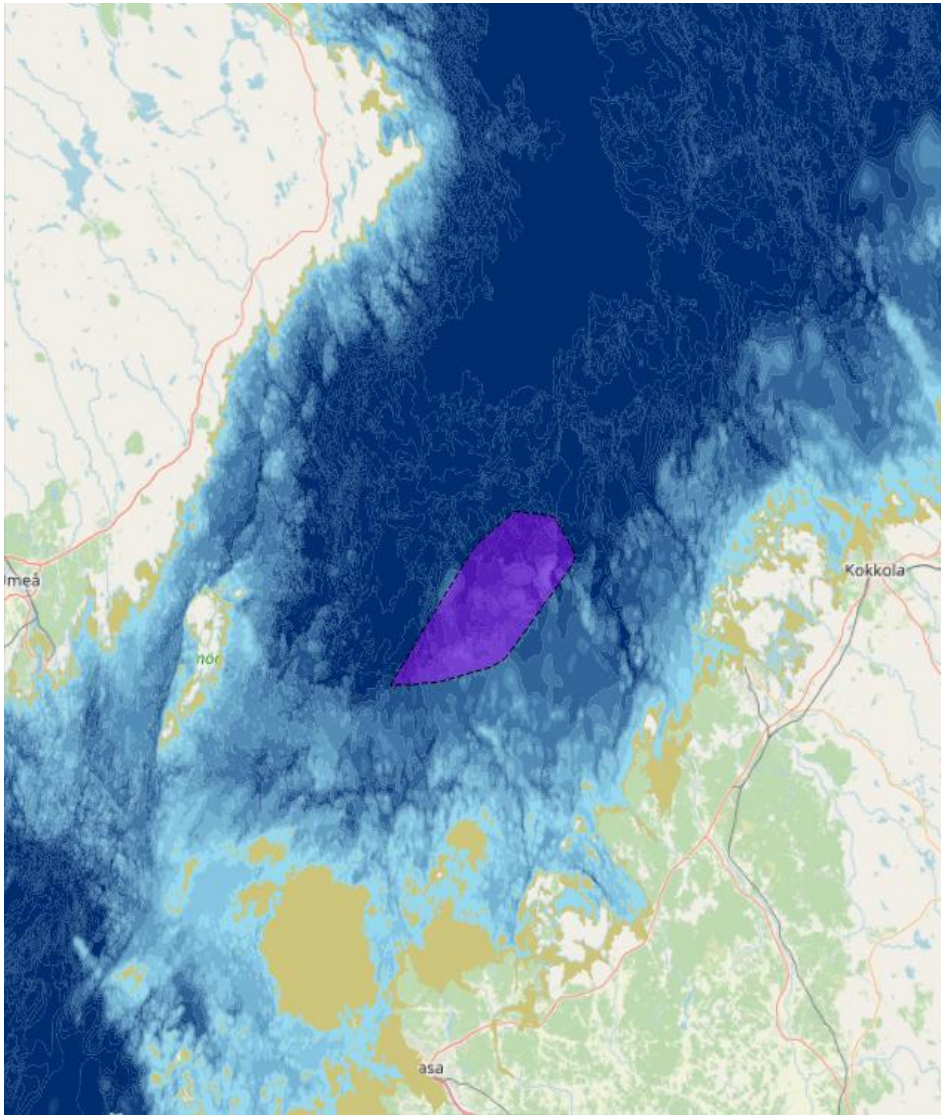


Figure 20. Representation of bathymetry in IWRAP (NCEI, 2022).

Modelled structures

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

- No OWF Figure 21
- Laine Figure 22
- Nearby OWFs Figure 23
- Laine with platforms Figure 24

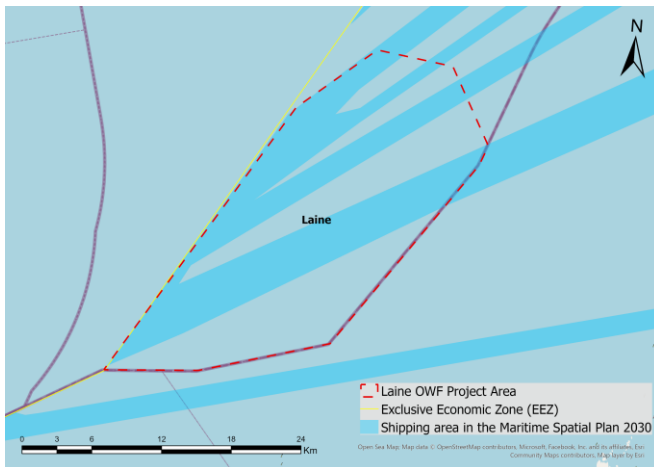


Figure 21. #0.S: No areas represent the case with no OWF.

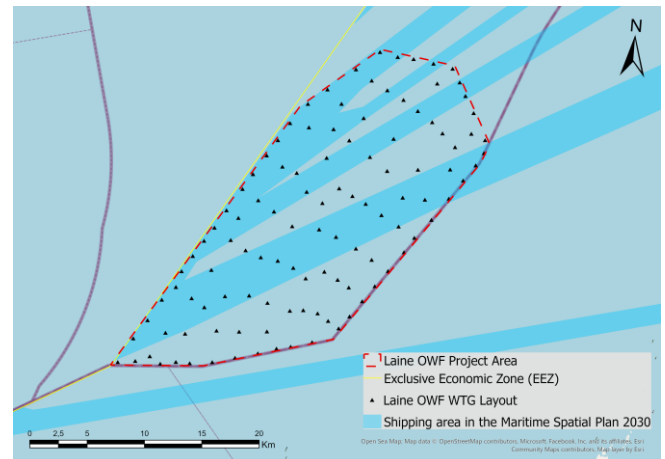


Figure 22. #1.S: Laine is represented by a layout with 113 WTGs with a foundation diameter of $\varnothing=16$ m at sea level (The WTGs are enlarged in the figure to be visible).

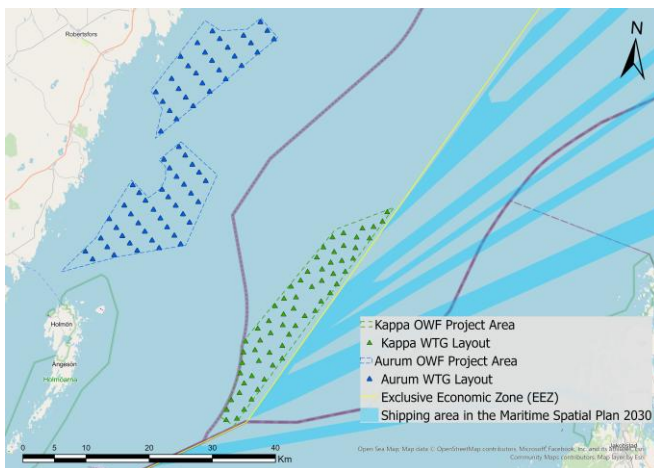


Figure 23. The reference risk for nearby OWFs is represented by analysis cases #0.S-UNC and #1.S-UNC where nearby OWFs (Kappa and Aulum) are represented with WTGs with a foundation diameter of $\varnothing=16$ m at sea level (The WTGs are enlarged in the figure to be visible). Traffic model UNC is used.

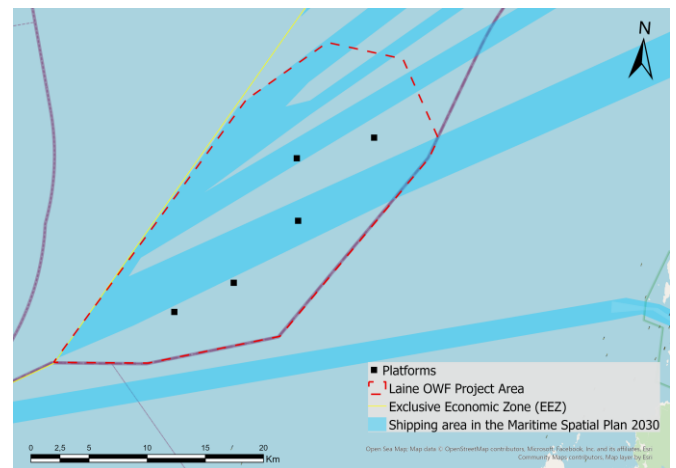


Figure 24. Platforms are represented by a layout with [5] rectangular areas of 100×250 m² in analysis case #2.S (The WTGs are enlarged in the figure to be visible). Traffic model EXPC is used.

Traffic models

Models of ship traffic for different scenarios are set up in IWRAP. The models include lateral distributions for the ships based on AIS data and assumptions about future traffic and are used to calculate frequencies for ship grounding, ship-ship collision and ship-WTG collision.

- Present traffic from AIS data (ZERO model)

The present traffic in the area, without an OWF, is modelled in IWRAP by defining legs that represent important ship routes in the area, see Figure 25 and Figure 26. Differences in traffic pattern for summer and winter conditions are modelled by varying legs and traffic volumes. Routes that will not affect Laine due to long distance, and routes with less than 1 passage per day, are generally not modelled.

IWRAP summer model

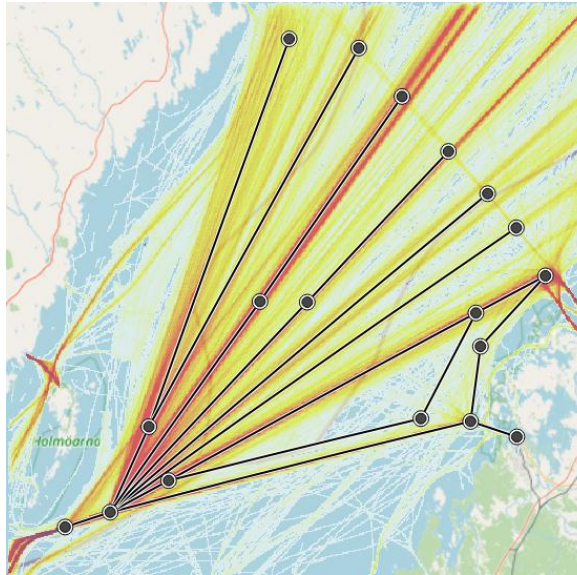


Figure 25. IWRAP model representation of current ship traffic, summer conditions. The density plot represents 2022 summer AIS data. The traffic distributions are modelled with curve fitting of AIS data from the period June 1st – December 31st, 2022.

IWRAP winter model

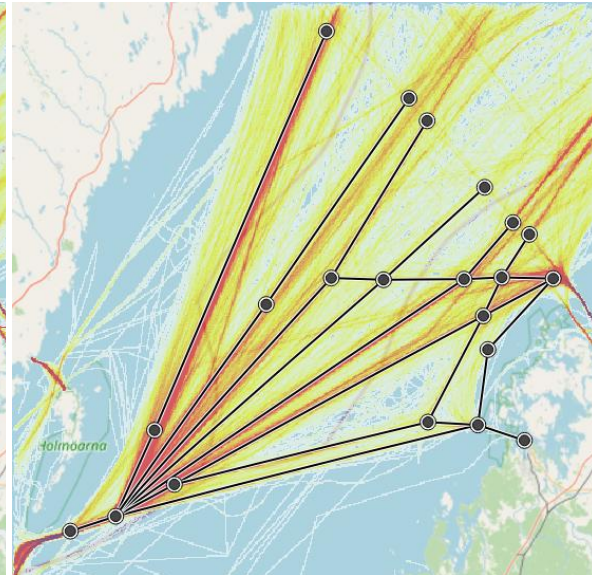


Figure 26. IWRAP model representation of current ship traffic, winter conditions. The density plot represents 2022 winter AIS data. The traffic distributions are modelled with curve fitting of AIS data from the period January 1st – May 30th, 2022.

- Expected traffic after Laine establishment (EXPC model)

Traffic through Laine project area is assumed to take new routes further north and south after OWF establishment. Differences in traffic pattern before and after windfarm establishment are modelled by varying legs and traffic volumes, based on the assumptions in (Sweco, 2023c), mainly achieved by relocating traffic from impacted legs to legs north and south (see Figure 27 and Figure 28). The "ZERO" state traffic volumes are modified to represent expected traffic after OWF establishment.

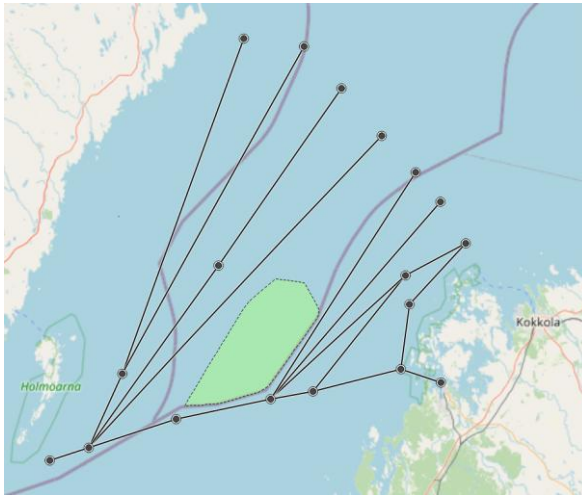


Figure 27. Expected traffic after Laine OWF establishment, summer conditions.

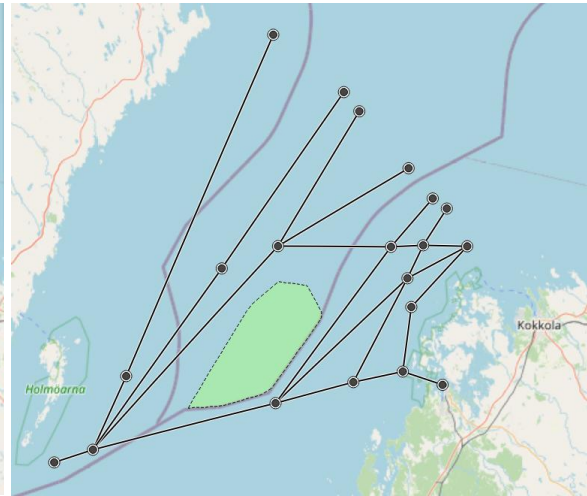


Figure 28. Expected traffic after Laine OWF establishment, winter conditions.

The lateral distributions within the legs that remain after OWF establishment are not assumed to change. Traffic passing along the eastern side of Laine is assumed to take routes far enough from the OWF to have manoeuvre space for a safety 360° turn.

- Traffic after establishment of nearby OWFs (UNC models)

The establishment of nearby OWFs (Kappa, Aurum North and South) will impact the risk profile for OWF Laine since traffic will take different routes than if no OWF or only Laine will be established (Figure 25 and Figure 27). This possibility is modelled as uncertainty analysis cases to study their impact. Differences in traffic pattern with and without nearby OWFs and with and without Laine (Figure 29 and Figure 30) are modelled according to description in the traffic analysis (Sweco, 2023c).

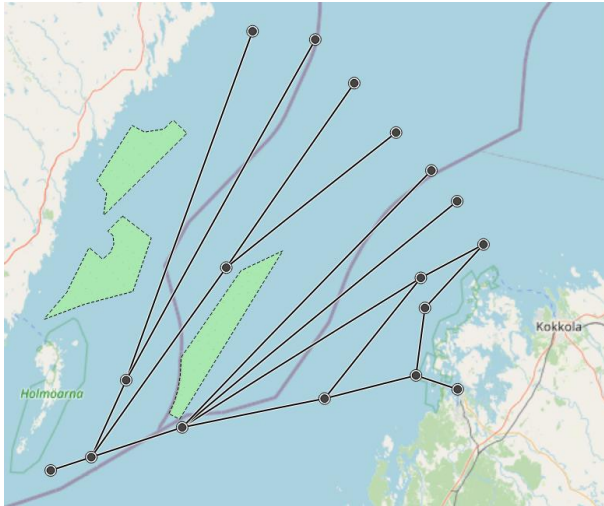


Figure 29. Expected traffic after establishment of nearby OWFs without Laine OWF, summer conditions.

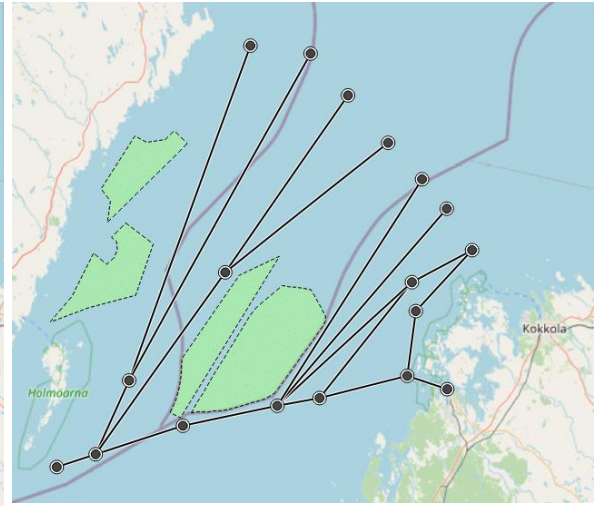


Figure 30. Expected traffic after establishment of nearby OWFs together with Laine OWF, summer conditions.

Sensitivity analysis

No sensitivity analysis is performed.

IWRAP result

Following section presents the calculated probabilities for grounding, collision, and ship collision based on the models in IWRAP. A result overview is found in Table 39.

Table 39. Results for grounding, collision and allision. Calculated accident frequencies for alternative ZERO (no OWF) and EXPC (Laine), summer and winter. Note that the frequencies are yearly probabilities. Considering that the risks are not relevant all around the year, the frequencies should be re-scaled accordingly.

Analysis case	Summer		Winter	
	No OWF (traffic model ZERO) 0.S	With Laine (traffic model EXPC) 1.S	No OWF (traffic model ZERO) 0.W	With Laine (traffic model EXPC) 1.W
Total Groundings	2.5E-01	2.4E-01	1.2E+00	1,3E+00
Powered Grounding	2.2E-01	2.1E-01	---	---
Drifting Grounding	3.1E-02	3.2E-02	1.2E+00	1,3E+00
Total Allisions	---	1,2E-03	---	2.9E-02
Powered Allision	---	4.2E-05	---	---
Drifting Allision	---	1,2E-03	---	2.9E-02
Total Collisions	2.1E-03	3.7E-03	---	---
Overtaking	5.8E-04	6.7E-04	---	---
Head-on	6.5E-04	1.1E-03	---	---
Crossing	1.9E-04	2.2E-04	---	---
Merging	4.0E-04	1.5E-03	---	---
Bend	3.2E-04	2.6E-04	---	---

The figures illustrated of grounding, allision, and collision (both legs and waypoints), further down in this appendix, are represented by different colours/gradients. The colour/gradient for the relative difference of allision for different WTGs are represented in Figure 31, see also Figure 38 for example of how allision is presented. The colour/gradient for the relative difference of collision is also represented in Figure 31 and Figure 32, see also Figure 40 for example of how collision is presented. The colour/gradient for the relative difference of where grounding occurs is represented in Figure 32, see also Figure 34 for example of how grounding is presented.

Note that the colours/gradients in Figure 31 and Figure 32 are not relatable to the risk assessment criteria in section 1.2.3 in the main report. The colours/gradients in the figures are only a way to compare the relative frequency of grounding, allision, and collision separately. For example, to see which WTGs that have a higher or lower frequencies of being struck by a vessel.

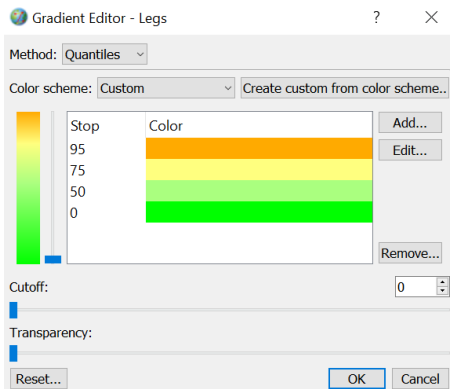


Figure 31. Color/gradient of allision and collision.

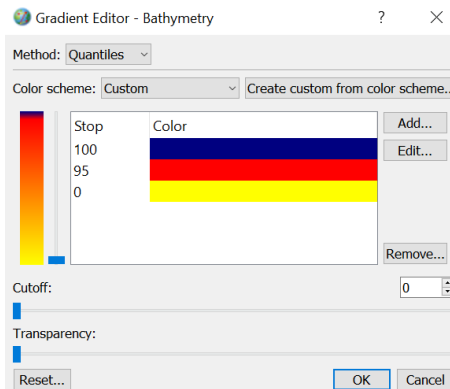


Figure 32. Color/gradient of grounding.

Grounding

Grounding makes up the highest accident frequency in the area. A major part of the frequency is powered grounding for vessels travelling close to the grounds around the Finnish and Swedish coastal areas, concentrated around the fairway to Jakobstad and adjacent shipping areas, see Figure 33. Drifting grounding stands for a smaller part of the frequency but drifting vessels can run aground all around northern Kvarken, see Figure 34.

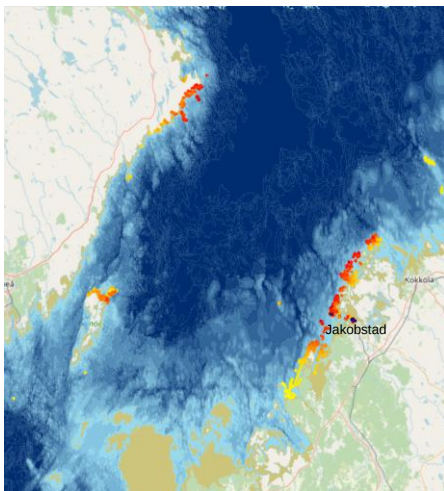


Figure 33. Powered grounding, with Laine (traffic model EXPC), summer conditions.

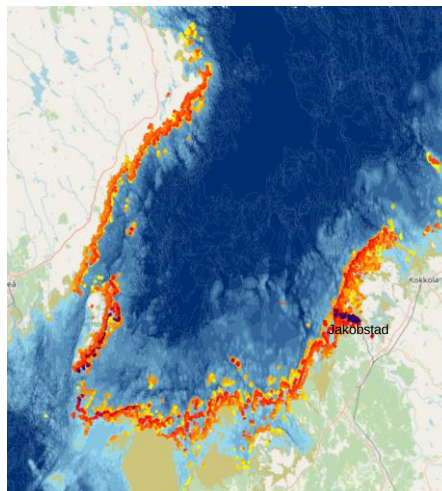


Figure 34. Drifting grounding, with Laine (traffic model EXPC), summer conditions.

The grounding frequency is quite constant during summer conditions before and after establishment of Laine (illustrated in Figure 35 and Figure 36). A small decrease in powered grounding frequency and a small increase in drifting grounding can be noted, resulting in a small total decrease (<1%) in overall grounding frequency.

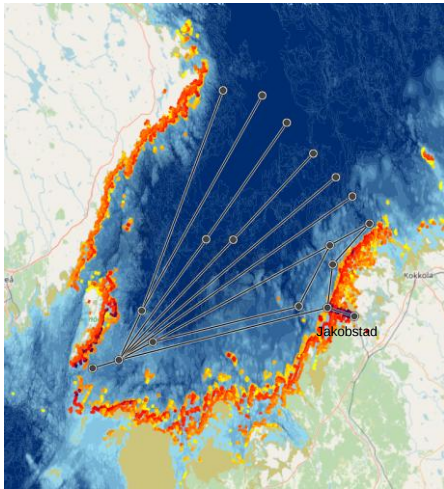


Figure 35. Total grounding result, no OWF (traffic model ZERO), summer conditions.

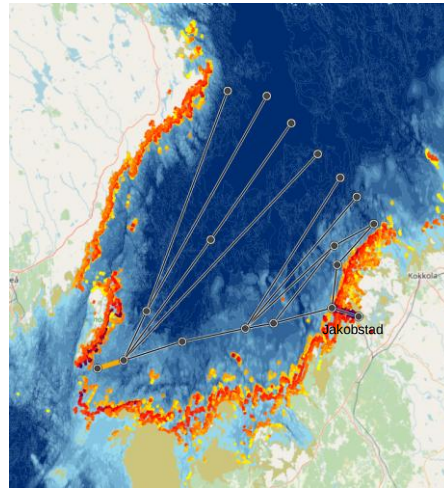


Figure 36. Total grounding result, with Laine (traffic model EXPC), summer conditions.

For winter conditions, the ice drifting grounding frequency is calculated. For the same reason as for summer conditions, establishment of Laine results in a non-significant reduction of grounding frequency.

The results for powered grounding are very sensitive to what assumptions that are made about the traffic south of the OWF, and the changes are within the uncertainty margins. The frequency of drifting grounding decreases with OWF establishment since traffic is assumed to take routes further south where the drift distance is generally longer before vessels run aground, considering the distribution of probable wind directions.

Allision (with WTG)

The frequency for a vessel to strike a WTG can be read from Table 39, analysis case 1.S. Note that the result represents the frequency if summer conditions would exist all year.



Figure 37. Powered allision, with Laine (traffic model EXPC), summer conditions.



Figure 38. Drifting allision, with Laine (traffic model EXPC), summer conditions.

The results for powered allision are very sensitive to what assumptions that are made about at what distance vessels will pass the OWF. If the vessels are assumed to pass the OWF very closely, meaning that the distance from the vessels to the OWF is smaller than what most vessels need to complete an evasive manoeuvre (360° turn), the frequency for powered allision is much higher.

The WTGs on the western side of the OWF are more exposed to drifting allision, considering the most probable wind direction, and thus drift direction. Any OWF can however be struck by a drifting vessel.

Collision

When establishing the OWF, it is assumed that ships will take new routes and position themselves at greater distances from the OWF. For Laine, the probability of collision for ships in the area will increase since traffic will be more concentrated outside the OWF.

The probability of two vessels colliding in the area can be read from Table 40.

Table 40. Results collision frequency and difference without and with OWF.

Collision type [per year]	No OWF	Laine	Δf
Overtaking	5.8E-04	6.7E-04	9.2E-05
Head-on	6.5E-04	1.1E-03	4.0E-04
Crossing	1.9E-04	2.2E-04	3.0E-05
Merging	4.0E-04	1.5E-03	1.1E-03
Bend	3.2E-04	2.6E-04	-6.1E-05
TOTAL	2.1E-03	3.7E-03	1.5E-03

How different shipping areas and waypoints contribute to the result is indicated in Figure 39 and Figure 40. The southern shipping areas have the highest collision frequency, especially after OWF establishment when the traffic density in the southern shipping areas to Jakobstad is assumed to increase.

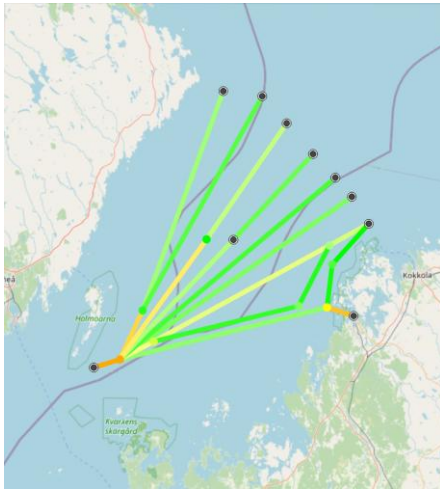


Figure 39. Total collision frequency, no OWF.

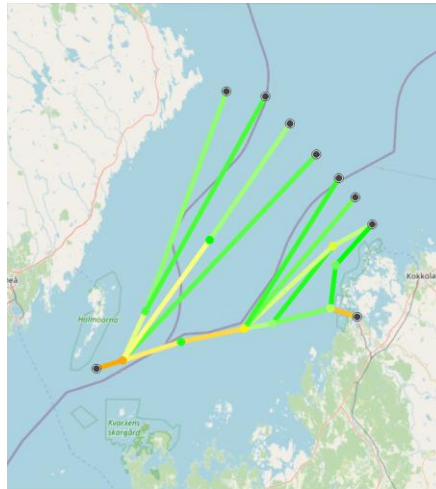


Figure 40. Total collision frequency, with Laine.

The increase in merging collision is most significant in both absolute and relative terms, resulting from vessels that need to round the southeast corner of the OWF.

Allision (with platform)

The yearly probability for a vessel striking a platform is found in Table 41 and illustrated in Figure 41.

Table 41. Calculated probability for a vessel to strike a platform. The total results correspond to the difference between analysis case 2.S and 1.S.

Platform	Powered allision [per year]	Drifting allision [per year]
5	9.1E-14	7.1E-05
4	3,4E-17	6.0E-05
3	2,2E-12	6.1E-05
2	4.9E-15	8.1E-05
1	1,1E-11	9.5E-05
TOTAL	<<1E-6	3.7E-04



Figure 41. Frequency for allision with platforms (summer conditions).

As indicated in Table Table 41, drifting allision makes up a major part of the result. The result is dominated by ships experiencing blackout in the shipping area south of the OWF and drifting northward.

The contribution from powered allision events is negligible.

Uncertainties and uncertainty analysis cases

The following sections describe the sources of uncertainty regarding data, parameters, programs and models that have been identified linked to the analysis.

Most of the uncertainties are known in the industry and are handled in a similar way (e.g. through uncertainty analysis cases), which ensures comparability between different OWFs and analyses. It can also be noted that the accidents reported for the area and reported in the main report are in line with the calculated frequencies, which indicates that the model result gives a good approximation.

The conclusion is that although there are many uncertainties, the overall results are robust and the calculated frequencies are judged to end up in the right range, although the numbers on the decimal place may be interpreted with some caution. For some choices in modelling, uncertainty analysis cases have been produced with the conclusion that the significance of most assumptions is small.

However, assumptions about changes in traffic patterns have a major impact on the likelihood that a manoeuvrable vessel will steer aground (powered grounding) or steer into a WTG (powered collision). However, the calculated frequencies for such events are small.

Parameters

In IWRAP, many assumptions are made, including probabilities of human error and malfunction on ships as well as conditions for repair and emergency anchoring. A selection of assumptions made is presented at the end of this document together with brief justifications for why they have been chosen.

For most values, the default settings in IWRAP have been used. Thus, IALA expert assessments are behind several choices made, which ensures that the right skills are behind the decisions and thus reduced margin of uncertainty. Using the default settings also means that industry standards are followed, which ensures that there is comparability between different studies. Where the default settings have been deviated from, this is reported and justified (see section *Assumptions and parameters in IWRAP* below).

Tests have been done to study the significance of the uncertainty of different assumptions in IWRAP. Several of the parameters are in direct proportion to the analysis results, which means that uncertainty about the parameters leads to just as much uncertainty in the result. The conclusion is that for those parameters that have a major impact on the result (such as *blackout frequency*), the impact strikes proportionally on all layouts. This means that even if the calculated absolute risk is associated with some uncertainty, the relative result is more reliable. For those parameters that have little impact on the result, the uncertainty is of little importance to the result.

AIS data

The information on vessel traffic on which the analysis is based, the AIS data, has a high time resolution (5 minutes) and is based on both satellite and terrestrial information. The uncertainty of the data on ships and their positions is therefore considered to be very low. Instead, the uncertainty is that the AIS data

lacks data on smaller, non-commercial traffic. The risk of accidents for and by merchant vessels and other large vessels is mainly analysed, and to a lesser extent the risk of accidents relating to fishing and recreational craft is studied. The routes of fishing and recreational craft are difficult to assess and predict. However, recreational craft and local fishing boats may disrupt commercial traffic and thus pose an indirect risk and may affect the ability of a larger vessel to make an evasive manoeuvre. The significance of the lack of data on the (Transportstyrelsen & Sjöfartsverket, 2009) movements of small boats is considered to be small, as it is heavy traffic that constitutes the primary threat in the nautical risk analysis.

Bathymetry

The probability of grounding has been calculated based on depth data from open sources, which have been processed and simplified for use as bathymetric layers in the IWRAP model. (NOAA, 2022) Based on this information, the probability of successfully anchoring a drifting vessel has also been calculated. The data lacks the level of detail needed to draw conclusions about how grounding occurs in individual locations and should only be seen as a knowledge base for understanding the overall risk profile.

IWRAP model

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

The results for overtaking collision and head-on collision are sensitive to curve alignment of the lateral distributions. Careful examination of the distribution functions is therefore carried out. However, the sum of the two collision types is more robust.

Traffic that does not follow established shipping routes (less than 1 passage per day) is excluded from the model.

The assumptions about the new routes that traffic across Laine is expected to take after the establishment of the OWF are a source of uncertainty. When the park is built, traffic is expected to move north and south, leading to a higher accident rate at the established crossings of the shipping routes, but a lower accident rate at the informal crossing points.

The result for powered grounding and powered collision are sensitive to how the model has been defined with respect to the width of legs. Regardless of this, frequency is estimated to be at low levels and thus make a small contribution to the overall accident frequency, which reduces the significance of this uncertainty.

Uncertainty analysis cumulative effects

Calculated accident frequencies for grounding, allision, and ship collision when nearby OWFs are considered versus not considered are given in Table 42 illustrated Figure 42, Figure 43, Figure 44, and Figure 45.

Table 42. IWRAP results for grounding, collision and allision with and without nearby OWFs.

Calculated accident frequencies for alternative ZERO (no OWF) and EXPC (Laine), summer conditions.

Analysis case	Baseline model		Uncertainty model: Cumulative effects	
	No OWF (traffic model ZERO) 0.S	With Laine (traffic model EXPC) 1.S	No OWF (traffic model ZERO) 0.S-UNC1	With Laine (traffic model EXPC) 1.S-UNC1
Total Groundings	2.5E-01	2.4E-01	2.4E-01	2.4E-01
Powered Grounding	2.2E-01	2.1E-01	2.1E-01	2.1E-01
Drifting Grounding	3.1E-02	3.2E-02	3.1E-02	3.1E-02
Total Allisions	---	1.2E-03	2.1E-03	2.5E-03
Powered Allision	---	4.2E-05	5.1E-04	3.3E-04
Drifting Allision	---	1.2E-03	1.6E-03	2.1E-03
Total Collisions	2.1E-03	3.7E-03	2.2E-03	2.0E-03
Overtaking	5.8E-04	6.7E-04	6.3E-04	6.3E-04
Head-on	6.5E-04	1.1E-03	8.5E-04	8.3E-04
Crossing	1.9E-04	2.2E-04	2.0E-04	1.4E-04
Merging	4.0E-04	1.5E-03	2.8E-04	1.9E-04
Bend	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	2.4E-04

The results show that the cumulative effects of several OWFs have no significant impact on the frequency of grounding.

The allision frequency increases with a higher number of OWFs. The cumulative effects from Laine, Aurum and Kappa are however not linear. While the drifting allision frequency increases with more OWFs, the traffic configuration with Laine, Kappa and Aurum leads to a reduction in powered allision frequency, compared to only Kappa and Aurum.

The collision frequency depends on the assumed routes for each configuration of parks. Considering the cumulative effects of Laine, Kappa and Aurum together, the collision frequency decreases compared to the frequency without OWFs, mainly because crossing, merging and bend collisions decrease.

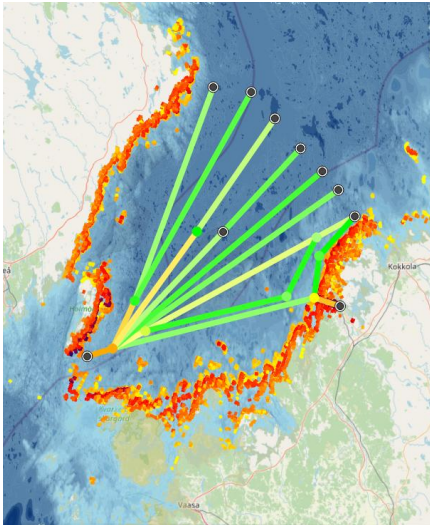
No nearby OWFs

Figure 42. Without Laine, without nearby OWFs (ZERO-S). IWRAP model representation of current ship traffic, summer conditions.

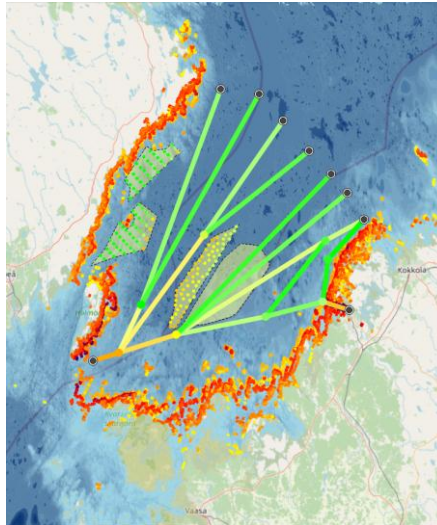
Aurum and Kappa

Figure 43. Without Laine, with nearby OWFs (ZERO-S-UNC). IWRAP model representation of expected ship traffic around Aurum and Kappa, summer conditions.

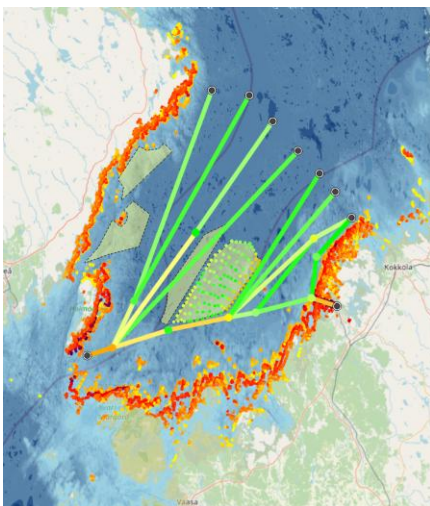


Figure 44. With Laine, without nearby OWFs (EXP-S). IWRAP model representation of expected ship traffic around Laine, summer conditions.

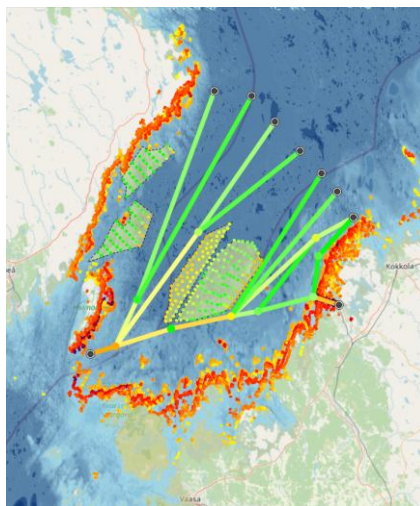


Figure 45. With Laine, with nearby OWFs (EXP-S-UNC). IWRAP model representation of expected ship traffic around Laine, Aurum and Kappa, summer conditions.

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

Uncertainty analysis future traffic flows

The results are presented in Table 43 and can be summarized as follows:

- The probability of allision increases by 35% when traffic increases by 35%. This only applies if a park is established because the risk of allision does not exist without a park.
- The probability of grounding increases by 35% when traffic increases by 35%. This applies regardless of whether a park is established or not.
- The probability of collision increases by 82% when traffic increases by 35%. This applies regardless of whether a park is established or not.

The result is intuitive because grounding and allision are events that affect ships individually. The frequency is expected to be proportional to the amount of traffic, which the result also indicates. The probability of collision, on the other hand, involves two vessels. The frequency is therefore expected to increase proportionally to the square of the increase in traffic, which the result also indicates.

Table 43. Results for uncertainty analysis of future traffic volumes. Current traffic (2022) and 35% increase in traffic volumes. Probability per year with the energy park and the zero alternative, represented by analysis case 1.S (Laine, summer), and analysis case 0.S (no OWF, summer). The percentages in parentheses show the difference in results for a configuration when traffic increases by 35%.

	Traffic volumes 2022		Maximum traffic volumes 2040 (+35%)	
	No OWF	With Laine	No OWF	With Laine
	0.S	1.S	0.S-UNC2	1.S-UNC2
Grounding [per year]	2.5E-01	2.4E-01	3.3E-01 (+35%)	3.3E-01 (+35%)
Allision [per year]	-	1.2E-03	-	1.7E-03 (+35%)
Collision [per year]	2.1E-03	3.7E-03	3.8E-03 (+82%)	6.5E-03 (+82%)

The conclusion is that the increase in the number of collisions and groundings due to increased traffic flows is to be expected regardless of whether the energy park is built or not. The number of allisions depends on the assumption of future traffic volume where the frequency is directly proportional to the amount of traffic.

References

See main report.

Assumptions and parameters in IWRAP

- Drift parameters

In the analysis for summer conditions, IWRAP's default parameters are used for the probability that a ship will blackout or regain manoeuvrability*, see Figure 46.

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

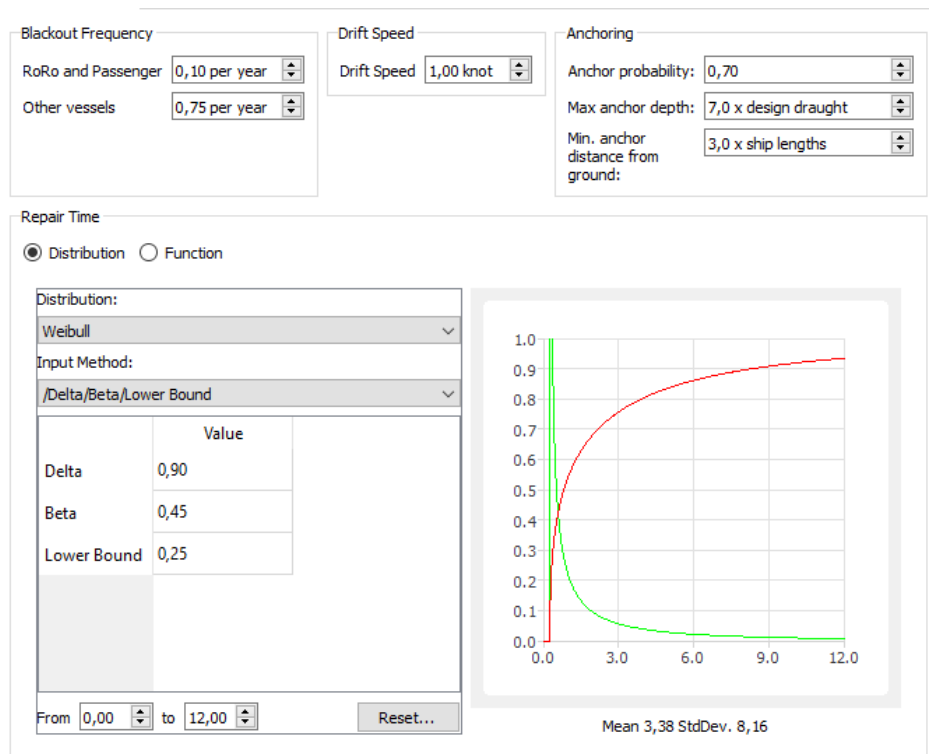


Figure 46. Drift parameters in IWRAP (summer). The value of the parameters affects the probability that the ship will start drifting and how far it is drifting.

The drift speed is in reality determined by many parameters such as currents and wind speed. However in IWRAP is determined in accordance with IWRAP's default parameter values to maintain a constant drift speed of 1 knot.

For winter conditions, IWRAP's default parameters have been adjusted to reflect winter conditions. Blackout probability has been adjusted up by a factor of 2, which represents the probability of a ship getting stuck in the ice. Winter drift speed is set to 2 knots, see Figure 47. Repair and emergency anchoring are not credited.

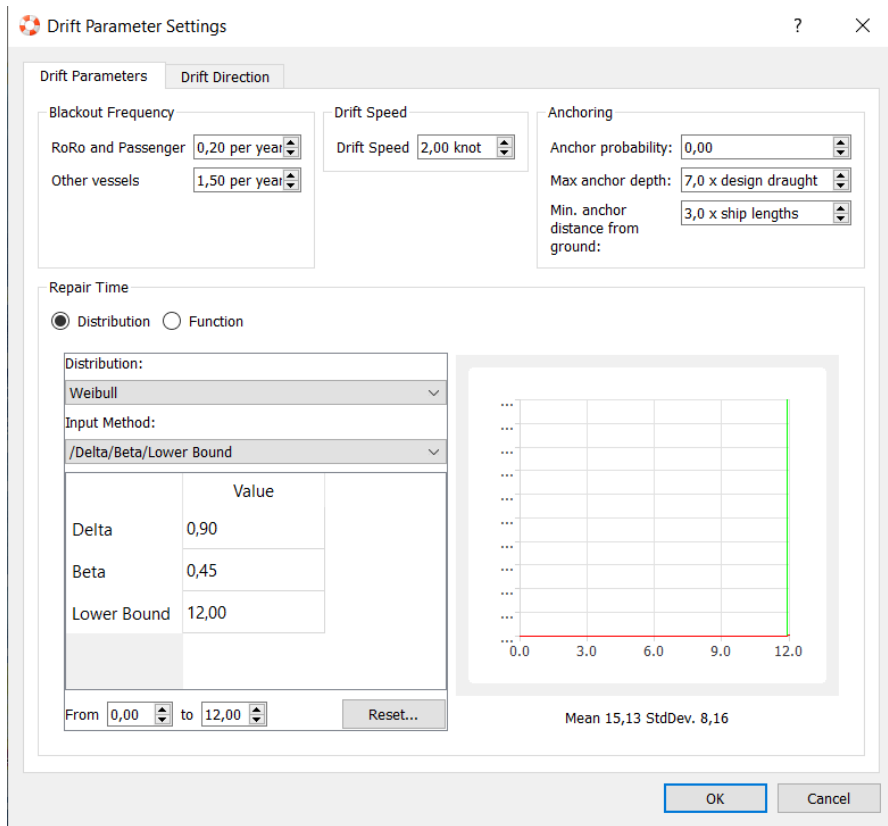


Figure 47. Drift parameters in IWRAP (winter). The value of the parameters affects the probability that ships will start drifting with the ice and how far it is drifting.

• Drift direction

The main report presents wind data for Laine. According to the data, the average wind speed in the region is 6.6 m/s and the prevailing wind direction is from the southwest. Consequently, the most likely drift direction for unmanoeuvrable ships is to the northeast. Figure 48 shows the drift direction set in IWRAP for both summer and winter. Each drift direction has a probability based on how often that drift direction has been observed in the wind data, and a maximum drift distance that is weighted against the average wind strength in the current drift direction.

The maximum drift distance is on average 50 km, which is considered very conservative. However, conservatism is compensated by the fact that the drifting speed in IWRAP can be somewhat low. According to a study reported in PIANC, 90% of vessels drift for an hour, resulting in an average drift distance of 1.7 M (just over 3 km) (PIANC, 2018).

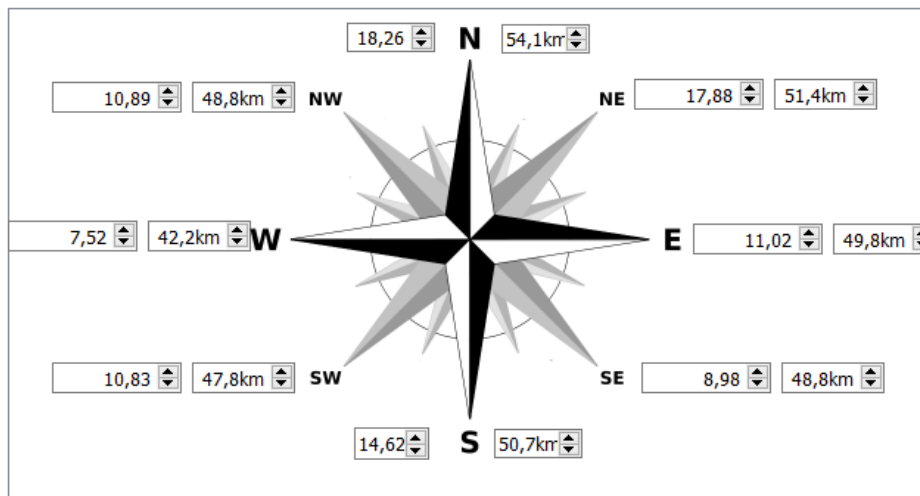


Figure 48. Drift direction with weighting of probability based on observation outcome and maximum drift distance. Note that the figure does not represent a wind rose but a "drift rose" where the direction of drift is the reverse of the wind direction. The values on the left indicate the probability that a ship drifts in that direction.

- **Causation factors**

IWRAP uses the default parameter values for all *causation factors*, i.e. the probability that an evasive maneuver will fail. The values are presented in Figure 49. The magnitude of the factors is derived by IALA, supported inter alia by expert judgements. See for a more detailed description of the derivation. (Engberg, 2019)

Status: Using IALA definitions

Default Causation Factors

Merging:	1,300 E-4	Powered Grounding, on route	1,600 E-4
Crossing:	1,300 E-4	Powered Grounding, no turn	1,600 E-4
Bend:	1,300 E-4	Drifting, grounding	1,000
Headon:	0,500 E-4	Powered Allision, on route	1,600 E-4
Overtaking:	1,100 E-4	Powered Allision, no turn	1,600 E-4
Area moving:	0,500 E-4	Drifting, allision	1,000
Area stationary:	0,500 E-4		

Default Causation Reduction Factors

Passenger Ship: 20,00 Fast Ferry: 20,00

Mean Time Btw. Checks: 180 s

Figure 49. Default values of Causation Factors in IWRAP.

The analysis is made for summer and winter traffic, as the traffic pattern changes during the year. In winter, ice formations affect ship traffic. Ships that get stuck and drift with the ice into a WTG are modelled as a particular accident risk.

As described in the main report, traffic flow can be expected to increase by 35% by 2060. How such an increase affects the frequencies is studied with a sensitivity analysis.

In IWRAP, so-called legs are defined, which are distances along which traffic is modelled. Only the traffic represented in legs is included in the calculation of accident risks in IWRAP. For Laine OWF, legs are defined for ship routes and where the risk of accidents can be affected by the establishment of the park through, for example, changed traffic patterns or the risk of allision. Routes with fewer than 1 passage per day are not modelled as separate legs.

- Distribution

The lateral distribution of traffic in the shipping routes around Laine is assumed to follow a normal distribution in each direction. In IWRAP it is possible to make even more detailed curve adjustments. In the case of Laine OWF, deviations from the normal curve in the dataset are estimated to be temporary variations that are not part of future traffic patterns.

The lateral distributions are determined based on the traffic pattern, which means that they are defined independent of fairways and other traffic routes shown in charts. The lateral distributions for legs that go close to the OWF are assumed to be 1,900 meters from the WTGs as ships are not allowed to travel too close to an OWF³⁰. Traffic that currently passes through the OWF area is assumed to move north and south from Laine and position itself according to the current lateral distribution.

³⁰ Lateral distributions are chosen so that its center line runs at a distance of $D=6L+0.3$ M from the foundation area to follow COLREG where L is the length of the area's "representative vessels" according to the traffic analysis. Standard deviation σ is chosen so that $\sigma=D/2.8$ whereby 98.5% of traffic ends up outside the OWF. (For Laine, the representative vessel is $L=225$ m long according to the traffic analysis, which gives $D=1906$ m and $\sigma=681$ m.)

