

Nautisk riskanalys Najaderna vindkraftspark



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

Författare: Thomas Frödin
Mobil: +46 738716642
thomas.frodin@sweco.se

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

Ändringsförteckning

Ver	Datum	Ändringsbeskrivning	Granskad	Godkänd av
0.1	2024-06-27	UTKAST	Jens Paulsson	Oscar Lindén
0.2	2024-09-06	UTKAST 2	Jens Paulsson, Krister Oom	Jens Paulsson
1	2024-09-18	Slutversion	Jens Paulsson, Krister Oom	Jens Paulsson
1.1	2024-09-27	Slutversion 2	Jens Paulsson, Krister Oom	Jens Paulsson

Sweco AB

Uppdrag

Projektnummer

Kund

Ver

Datum

Upprättad av

Uppdragsledare

RegNo 556542-9841

Nautisk riskutredning Najaderna vindkraftspark

30065032-001

Najaderna offshore AB

1.1

2024-09-27

Sara Hammar, Thomas Frödin

Jens Paulsson

Innehållsförteckning

1.	Inledning	9
1.1	Syfte och mål.....	10
1.2	Metod	10
1.3	Omfattning.....	14
2.	Områdesbeskrivning och förutsättningar.....	17
2.1	Vindkraftsparken och lokala förutsättningar	17
2.2	Säkerhetsavstånd	26
2.3	Framtida fartygstrafik	29
2.4	Fartygsolyckor	30
3.	Riskidentifiering	34
4.	Frekvenser.....	36
5.	Konsekvenser.....	38
6.	Riskanalys och riskvärdering.....	40
6.1	Påsegling (allision)	40
6.2	Fartygskollision.....	48
6.3	Grundstötning.....	55
6.4	Störning av fartygsradar och navigationssystem	58
6.5	Vinterförhållanden	64
6.6	Nedfallande föremål eller iskast från vindkraftverk	66
6.7	Kablar	67
6.8	Kumulativa effekter	68
6.9	Riskmatris.....	75
7.	Riskreducerande åtgärder	78
8.	Osäkerheter.....	83
8.1	Parklayout	83
8.2	Frekvenser	83
8.3	Mänskliga fel	86
8.4	Konsekvenser.....	86
9.	Diskussion	88
9.1	Tidsskala	88
9.2	Risk per område	88
9.3	Allision	89
9.4	Kollision	89
9.5	Grundstötning.....	90
9.6	Is-relaterade risker	91
9.7	Säkerhetsavstånd	93
10.	Slutsats.....	95
11.	Referenser.....	97
Appendix A.	Beräkning av riskindex.....	100
Appendix B.	Störningar på radio- och radarsignaler - kunskapsöversikt	102
Appendix C.	IWRAP-beräkning av olycksfrekvenser	106

Förkortningar och begrepp

AIS	Automatic Identification System. AIS är ett system som gör det möjligt att identifiera ett fartyg och följa dess rörelser. Data rapporteras från varje enskilt fartyg som regelbundet sänder ut information på en digital radiokanal.
ALARP	As Low As Reasonably Practicable (område där risker kan tolereras om tekniskt och ekonomiskt rimliga åtgärder är vidtagna)
Allision	IWRAP skiljer mellan kollision (där två fartyg i rörelse stöter ihop) och påsegling (i IWRAP kallat allision) där ett fartyg i rörelse stöter in i ett stationärt objekt – t.ex. en bro, pir, docka, vindkraftverk eller oljeplattform. Två typer av allision täcks in av IWRAP: - Powered allision (manöverdugligt fartyg stöter i ett stationärt objekt). Sker antingen vid utebliven fartygsmanöver när farleden svänger, eller för fartyg som positionerar sig utanför farleden. - Drifting allision (drivande fartyg stöter i ett stationärt objekt).
Bruttodräktighet	Mått på ett fartygs storlek (den totala inre volymen av ett fartyg)
Causation factor	Antagande i IWRAP om sannolikheten att ett orsakssamband faller ut. En causation factor är den betingade sannolikheten för ett mänskligt misstag eller tekniskt fel i ett olycksförlopp som annars hade kunnat stoppa olyckan
Concept design	Inkluderar en preliminär design av vindkraftsparken och navigationsområden med användning av data och former som anges i riktlinjer tillsammans med annan relevant data som rör fartyg och omgivningen. I den första fasen bestäms endast grova uppskattningar av säkerhetsavstånd (PIANC, 2018).
Detailed design	En mer rigorös process avsedd för att validera, utveckla och förbättra <i>Concept design</i> . Metoderna som används i <i>Detailed design</i> bygger på numerisk analys (till exempel simulering) och kräver därför mer omfattande och detaljerade indata, samt korrekt bedömning och erfarenhet i tolkningen av utdata. Utdata från <i>Detailed design</i> kan ytterligare provas genom nautisk trafikanalys, riskanalys och kostnads-/nyttoanalyser. Resultaten av dessa prövningar kan leda till justeringar och en ytterligare prövning med <i>Detailed design</i> (PIANC, 2018).
Dimensionerat trafikutrymme	Dimensionerat trafikutrymme är beräknat utifrån total bredd på rekommenderat trafikstråk enligt PIANCs rekommendationer om vilken bredd som krävs för viss mängd fartygstrafik i ett fartygsstråk (PIANC, 2018). Den anger således om ett område är tillräckligt brett för att säkerställa säker sjöfart.
Farled	Sjöväg i inlandsvatten, inomskärs eller nära kusten, anvisad genom sjösäkerhetsanordningar eller utmärkt i sjökort eller i nautisk publikation.
Fartygsstråk	En sjöväg som utgör den kortaste navigerbara vägen mellan två punkter. Fartygsstråk är inte föreskrivna eller utmärkta i sjökortet (jämför farleder), men de avsnitt av ett fartygsstråk som går genom ett ruttsystem omfattas av sjötrafikregleringen i ruttsystemet. Fartygsstråk är som regel inte utmärkta med sjösäkerhetsanordningar, i enstaka fall kan det dock förekomma utmärkning i anslutning till fartygsstråk. Avser färdvägar för fartygstrafik utomskärs. Trafikverket likställer fartygsstråk med sjötrafikstråk i <i>Ordlista och begreppsdiagram Farleder och hamnar</i> (Sjöfartsverket, 2011).
FI	Frequency index (frekvensindex på svenska), ett tal som representerar olycksfrekvensen (Maritime Safety Committee, 2018)

IMO	International Maritime Organization
FSA	Formal Safety Assessment (formell riskanalys i enlighet med IMOs metodik)
HEP	Human Error Probability (sannolikheten för mänskligt fel)
HRA	Human Reliability Assessment (analys av sannolikheten för mänskligt felhandlande)
IALA	International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
IWRAP	IALA Waterway Risk Assessment Program (modelleringsverktyg för beräkning av olycksfrekvenser för fartyg)
Kollision	Kollision avser i denna rapport en sammanstötning mellan fartyg om inget annat anges. IWRAP skiljer mellan kollision (där två fartyg i rörelse stöter ihop) och allision (där ett fartyg i rörelse stöter in i ett stationärt objekt – t.ex. en bro, pir, docka, oljeplattform eller vindkraftverk). Fem typer av kollision behandlas i IWRAP: • Head-on (frontalkollision) • Overtaking collision (omkörningskollision) • Crossing collision (korsningskollision) • Merging collision (sammanvävningskollision) • Bend collision (svängkollision)
leg	Seglingsväg eller seglingsetapp mellan två vägpunkter
M	nautisk mil (1 852 meter)
Projektområde	Område för vindkraftsetablering.
Påsegling	Påsegling avser i denna rapport en sammanstötning mellan fartyg och fast objekt, både då fartyget är navigerande och drivande
RI	Risk index, ett tal som representerar storlek på risken (Maritime Safety Committee, 2018)
SI	Severity index (konsekvensindex på svenska), ett tal som representerar allvarlighetsgraden hos konsekvensen av en olycka (Maritime Safety Committee, 2018)
Säkerhetsavstånd	Ett säkerhetsavstånd är det minsta avstånd, med navigerbart vatten, som bör finnas mellan fartygstrafik och vindkraft- eller vindkraftspark. Säkerhetsavståndet avser att ge större handelsfartyg möjlighet att uppfylla sina skyldigheter för undanmanöver enligt COLREG (IMO, 1972).
Säkerhetszon	Vindkraftverk rekommenderas ha en säkerhetszon där sjötrafik inte får förkomma. Säkerhetszonen får vara upp till 500 meter och är i huvudsak till för skydd för vindkraftverken.
Trafikstråk	Ett trafikstråk är ett definierat område där enkelriktad trafik är etablerad. Naturliga hinder, inklusive de som utgör separeringszoner, kan utgöra en gräns. (IMO, n.d.)
TSS	Trafiksepareringssystem – ett område där mötande trafik separeras i olika trafikstråk
Vindkraftspark	En vindkraftspark är ett område där flera vindkraftverk är installerade för att konvertera vindens kinetiska energi till elektrisk energi. Parken kan variera i storlek från några få till hundratals vindkraftverk
Vägpunkt/waypoint	Referenspunkt i navigation; nodpunkt i IWRAP

Sammanfattning

I föreliggande rapport utreds tänkbara olycksrisker som Najaderna vindkraftspark kan utgöra för sjöfarten med konsekvenser för människors liv och hälsa samt för miljön.

Najaderna Offshore AB, ett dotterbolag till Eolus Vind AB, har ansökt om tillstånd för etablering, drift och avveckling av en havsbaserad vindkraftspark, Najaderna vindkraftspark. Den planerade vindkraftsparken är belägen cirka 17 kilometer från fastlandet inom Tierps kommun, Uppsala län. Ungefär halva parken sträcker sig ut i Sveriges ekonomiska zon.

Havsbaserad vindkraft som planeras nära fartygstrafik behöver utredas med avseende på tänkbara olyckor. Detta görs i en nautisk riskanalys. Det grundläggande syftet med riskanalysen är att analysera hur Najaderna påverkar säkerheten för fartygstrafiken avseende människors hälsa och miljö.

Påverkan på riskbilden utifrån platsspecifika förutsättningar kring Najaderna identifierades under en HAZID-workshop. De risker som identifierades på HAZID-workshopen samt övriga nautiska risker som föreligger vid etablering av havsbaserad vindkraft analyseras i denna nautiska riskanalys.

I denna nautiska riskanalys har 25 nautiska risker identifierats, analyserats och utvärderats. Konservativa analysantaganden har tillämpats avsiktligt, d.v.s. antaganden som utvisar från Najaderna större konsekvenser, alternativt högre sannolikhet för olycka, än vad som faktiskt kan förväntas. De flesta risker bedömdes vara försumbara eller kategoriserades som *acceptabla* utifrån kriterier definierade med ursprung i IMO:s FSA-metodik (metodik för riskhantering enligt Formal Safety Assessment) (IMO, 2018). Inga *oacceptabla* risker hittades. Risker som i vissa avseenden har klassificerats som *ALARP* har identifierats, vilket innebär att riskerna anses tolerabla om rimliga riskreducerande åtgärder vidtas.

Najaderna påverkar riskprofilen för sjötrafiken i området enligt följande:

Allision: Najaderna introducerar risken för allision med vindkraftverk. Denna risk är närvarande även under vinterförhållanden, när fartyg kan fastna i isen och driva med isen. Allisionsrisken har bedömts som *acceptabel* för samtliga scenarion, förutom för drivande allision med påverkan på människors säkerhet där risken bedömts ligga lågt inom *ALARP*.

Kollision: Risken för kollision ökar något, främst eftersom Najaderna kommer att orsaka hopträngning av fartygstrafiken öster och söder om Najaderna. Dock är ökningen av kollisionsfrekvensen mycket liten och har bedömts som *acceptabel*. Under anläggningsfasen finns också risk för kollision med arbetsfartyg på väg till/från hamn. Risken med tillkommande arbetsfartyg från Gävle hamn har analyserats och bedömts hamna inom *ALARP*.

Grundstötning: Najaderna medför att inte risken för styrande (powered) grundstötning ökar medan risken för drivande (drifting) grundstötning ökar något. Den tillkommande risken för drivande grundstötning har bedömts ligga inom *ALARP*.

Fartygsradar: Vindkraftsparker till havs kan orsaka störningar på fartygsradar. Inga detaljerade radaranalyser kan genomföras i detta skede, utan avses genomföras vid projektering då slutlig layout bestäms.

Vinterförhållanden: Vindkraftsparker till havs kan påverka isförhållandena i området, vilket påverkar navigationsförhållandena för vintertrafik. Najaderna kan också blockera vinternavigationsrutter, vilket tvingar fartyg att ta längre rutter där de är mer utsatta för faror. Bedömningen av is-relaterade risker till havs omges av en del osäkerheter men klassas konservativt som *ALARP* för att inte riskera att underskatta risken. På grund av Najadernas relativt sydliga lokalisering i Bottniska viken är det dock sannolikt att is-relaterade risker drabbar trafiken kring Najaderna relativt sällan.

Risker som klassats som *ALARP* sammanställs i punktlistan nedan. Numren avser riskens scenarionummer vilka förklaras i analysens riskidentifiering (kapitel 3 på sidan 34).

- 1.2 Fartyg börjar driva och kolliderar med vindkraftverk, konsekvenser för människors säkerhet (drivande allision)
- 1.4 Fartyg fast i isen och driver med isen in i ett vindkraftverk (drivande allision)
- 1.5 Ett fartyg som passerar genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk
- 1.6 Begränsad sikt orsakar att ett fartyg navigerar in i ett vindkraftverk
- 2.7 Kollision med arbetsfartyg på väg till/från hamn – Gävle
- 2.7 Kollision med arbetsfartyg under driftsfasen på väg till från hamn
- 3.2 Fartyg driver på grund (drivande grundstötning)
- 4.1 Störning av fartygsradar (target loss)
- 4.4 Påverkan på sök- och räddningsinsatser
- 5.1 Vindkraftsparken påverkar isbildning
- 5.2 Vindkraftsparken blockerar vinternavigationsrutter (längre rutter som resulterar i grundstötning, kollision och allision)
- 7.1 Kumulativa effekter av flera vindkraftsetableringar i närområdet (gäller främst risken för kollision)

Rekommendationer om åtgärder för att reducera riskerna ges i denna rapport och sammanfattas i tabellen nedan.

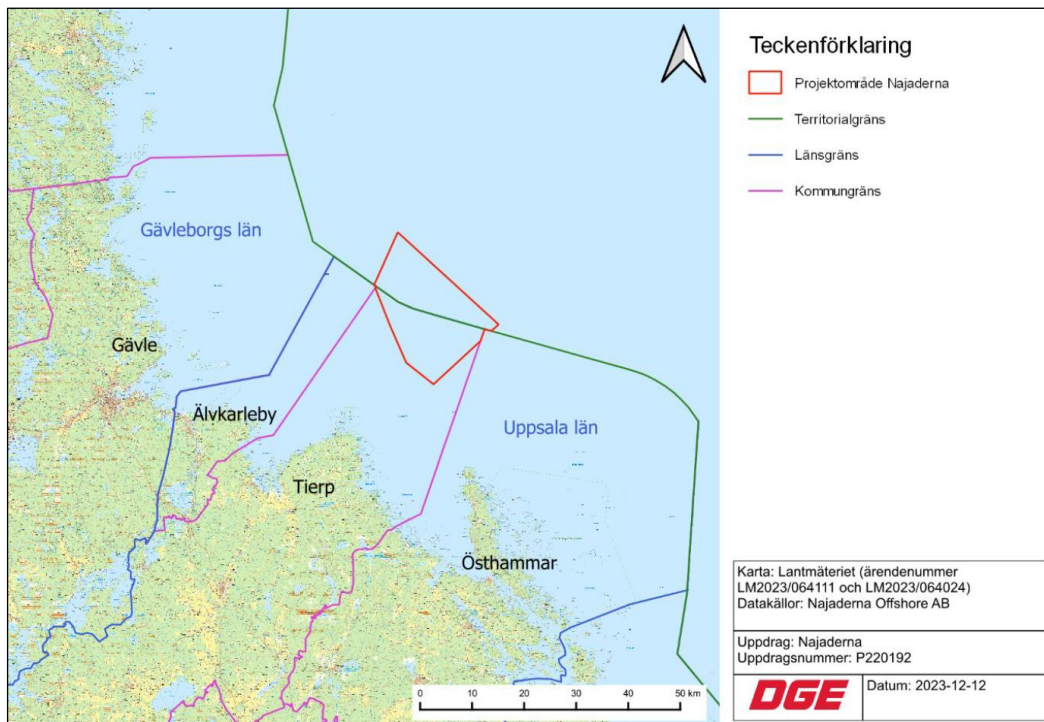
Organisatoriska åtgärder	Fysiska åtgärder
A. Nödstoppsrutiner för vindkraftverk. B. Rutiner för miljöolycka. C. Beredskaps- och räddningsplan. D. Dialog med sjöfartsaktörer. E. Marine coordinator/övervakning. F. Riskanalys anläggnings- och avvecklingsskede. G. Rutin arbetsfartyg. H. Information. I. Förbättra samarbete, samordning och reglering av vintertrafik. J. Utredning av påverkan på sjösäkerhetsanordningar.	K. Nödstoppsfunktion för vindkraftverk. L. Utrustning vid utsläpp. M. Visuell märkning. N. Radio- och radarutmärkning. O. Mistlur. P. ID-märkning. Q. Åtgärder för att begränsa radarstörningar (lost target). R. Layout. S. Etablering av nya/kompletterande sjösäkerhetsanordningar.

Den övergripande slutsatsen är att riskerna som orsakas av Najaderna är *acceptabla* under förutsättning att rimliga åtgärder för att mildra vissa av riskerna vidtas.

1. Inledning

Najaderna Offshore AB (fortsättningsvis Najaderna Offshore), ett dotterbolag till Eolus Vind AB, har ansökt om tillstånd för etablering, drift och avveckling av en havsbaserad vindkraftspark, Najaderna vindkraftspark (fortsättningsvis Najaderna). Den planerade vindkraftsparken är belägen cirka 17 kilometer från fastlandet inom Tierps kommun, Uppsala län. Ungefär halva parken sträcker sig ut i Sveriges ekonomiska zon. Projektområdet utgörs av öppet hav med vattendjup mellan cirka 30 och 70 meter, och omfattar en yta av totalt cirka 350 km². Najaderna planeras för att som mest omfatta 67 vindkraftverk, med en totalhöjd på maximalt 365 meter och installerad effekt per vindkraftverk på 15–25 MW. Najadernas projektområde illustreras i Figur 1.

Denna rapport utgör en nautisk riskanalys för Najaderna. I syfte att konstruera ett värsta tänkbart scenario för Najaderna, där hela projektområdets yta nyttjas, har en fiktiv parklayout med 128 vindkraftverk tagits fram och kommer att användas som beräkningsunderlag i denna riskanalys (för fortsatt förklaring till val av parklayout, se avsnitt 1.3).



Figur 1. Översiktbild över Najadernas projektområde. Hämtad från projektets miljökonsekvensbeskrivning (DGE Mark och Miljö, 2023).

1.1 Syfte och mål

Havsbaserad vindkraft som planeras nära fartygstrafik behöver utredas med avseende på tänkbara olyckor. Det grundläggande syftet med riskanalysen är att analysera hur Najaderna påverkar säkerheten för fartygstrafiken avseende människors hälsa och miljö.

Utredningens mål är att identifiera och beskriva de olycksrisker som Najaderna kan innebära för sjöfarten samt vid behov föreslå riskreducerande åtgärder för att uppnå acceptabel risknivå.

1.2 Metod

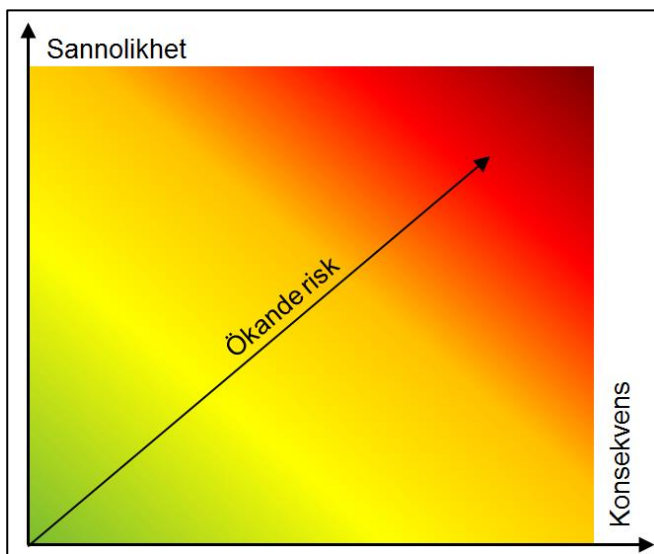
Metodiken följer stegen för riskhantering i Sjöfartsverkets och Transportstyrelsens rekommendationer vid etablering av havsbaserad vindkraft (Sjöfartsverket & Transportstyrelsen, 2023) vilka baseras på rekommendationer från PIANC (2018). Rapporten omfattar inte en kostnads-nyttoanalys av potentiella riskreducerande åtgärder (se även avsnitt 1.3, Omfattning). Detta eftersom inga riskreducerande åtgärder fastställs i detta skede utan enbart föreslås, i syfte att visa att riskerna med existerande åtgärder kan reduceras till acceptabla nivåer, även för en vindkraftpark som med hänsyn tagen till nautiska risker utformats enligt worst case. Vid slutligt fastställande av åtgärder för Najaderna bör åtgärdens nytta jämföras med kostnaden för att säkerställa åtgärdens rimlighet i relation till parkens risknivå. Riskanalysen för navigationsrisker följer i tillämpliga delar metodiken 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).

1.2.1 Riskbegreppet

Risk definieras här som en sammanvägning av sannolikheten för en oönskad händelse och konsekvensen av denna händelse. Sannolikheten beskriver frekvensen för en oönskad händelse och konsekvensen beskriver omfattningen av de skador som kan uppstå.

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



Figur 2. Ökande risk beroende av sannolikhet och konsekvens.

1.2.2 Metodik för riskanalys

Metodiken som används i denna utredning följer riskhanteringsprocessens steg:

- **Riskbedömning** – omfattar riskidentifiering, riskanalys och riskvärdering
 - *Riskidentifiering* – inventering av händelseförlopp (scenarier) som kan medföra oönskade konsekvenser.
 - *Riskanalys* – kvalitativ eller kvantitativ uppskattning av sannolikhet och konsekvens för respektive scenario.
 - *Riskvärdering* – Efter riskanalysen görs en värdering för att avgöra huruvida riskerna kan accepteras eller ej. Som del av riskvärderingen kan även förslag till riskreducerande åtgärder för att sänka riskerna ges.
- **Riskreduktion-/kontroll** – det sista steget i riskhanteringsprocessen omfattar de beslut som tas kopplat till genomförd riskbedömning och de eventuella åtgärder som bedöms vara nödvändiga för att uppnå en acceptabel risknivå.

Således omfattar riskhanteringsprocessen riskbedömning (riskidentifiering, riskanalys och riskvärdering) samt riskreduktion-/kontroll.

Föreliggande riskanalys genomförs med olika metoder beroende på vilken identifierad händelse som analyseras. Frekvenser kvantifieras i första hand genom modellering i programvaran IWRAP Mk2¹. Frekvenser för händelser som inte kan beräknas i IWRAP kvantifieras genom enklare beräkningar, estimering och sakkunnig bedömning. Dessa analyser baseras på erfarenheter från befintligt material, platsens geografiska förutsättningar, tidigare genomförda utredningar med liknande förutsättningar, forskning och tillgänglig statistik.

1.2.3 Kriterier för riskvärdering

Riskvärderingen genomförs med hjälp av en riskmatris enligt Figur 3 där varje risk kategoriseras utifrån sannolikhet (frekvens) och konsekvens. Skalorna för konsekvens och sannolikhet definieras logaritmiskt för att underlätta riskrankning och validering. Om skalorna logaritmeras kan index adderas i stället för att multiplicera kvantiteter (se fördjupad beskrivning i Appendix A). Riskmatrisen baseras på FSA-metodiken som förordas av IMO (Maritime Safety Committee, 2018). Riskindex beräknas som summan av index för frekvens och konsekvens. Matriser av denna typ är vanligt förekommande vid maritima riskbedömningar med avseende på miljökonsekvenser eller konsekvenser för tredje person (allmänheten).

		Konsekvens			
		1	2	3	4
		Ingen allvarlig påverkan	Signifikant påverkan	Allvarlig påverkan	Katastrofal påverkan
Sannolikhet (frekvens)	6 Sannolikt 1 gång per år	7	8	9	10
	5 Troligt 1 gång per 10 år	6	7	8	9
	4 Oväntat 1 gång per 100 år	5	6	7	8
	3 Sällsynt 1 gång per 1 000 år	4	5	6	7
	2 Mycket sällsynt 1 gång per 10 000 år	3	4	5	6
	1 Extremt sällsynt 1 gång per 100 000 år	2	3	4	5

Figur 3. Riskmatris för värdering av navigationsrisker för vindkraftsparken. RI, riskindex², ges av värdena i de färgkodade fälten.

¹ IWRAP är ett modelleringsverktyg för nautiska riskanalyser och används för att bedöma frekvensen för kollision, grundstötning och allision baserade på olika förutsättningar. Programmet rekommenderas av Sjöfartsverket för att modellera sannolikhet för sjöfartsolyckor.

² Riskindex är summan av frekvensindex och konsekvensindex. Risk brukar uttryckas som frekvens × konsekvens, och riskindex är i detta fall 10-logaritmen av frekvens × konsekvens.

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

Sannolikhet graderas enligt en skala över inträffandefrekvens, se Tabell 1. Skalan är sexgradig och löper över spannet från extremt sällsynt till frekventa händelser. Skalan är vanligt förekommande för att kategorisera olika händelser inom sjöfarten och lyfts bland annat fram av IMO (Maritime Safety Committee, 2018).

Tabell 1. Indelning av händelser utifrån inträffandefrekvens som görs vid riskanalys och som avspeglar en förväntad sannolikhet för att en händelse inträffar som kan påverka miljö eller säkerhet. Frekvensindex är framtaget baserat på underlag från IMO (2018).

Index (FI)	Frekvens	Förekomst	Definition
6	1 gång per år ($f=1$)	Frekvent	Händelser som förväntas inträffa varje år i en vindkraftspark.
5	1 gång per 10 år ($f=0,1$)	Sannolikt	Händelser som förväntas inträffa 1 gång på 10 år i en vindkraftspark, det vill säga händelser som förväntas inträffa några gånger under en vindkraftsparks livstid.
4	1 gång per 100 år ($f=0,01$)	Troligt	Händelser som förväntas inträffa 1 gång på 100 år inom en vindkraftspark, det vill säga händelser som förväntas inträffa varje år om 100 vindkraftsparker beaktas.
3	1 gång per 1 000 år ($f=10^{-3}$)	Sällsynt	Händelser som förväntas inträffa 1 gång på 1 000 år i en vindkraftspark, det vill säga händelser som förväntas inträffa varje år om 1 000 vindkraftsparker beaktas.
2	1 gång per 10 000 år ($f=10^{-4}$)	Mycket sällsynt	Händelser som förväntas inträffa 1 gång på 10 000 år, det vill säga händelser som förväntas inträffa mycket sällan även om alla världens vindkraftsparker beaktas.
1	1 gång per 100 000 år ($f=10^{-5}$)	Extremt sällsynt	Händelser som inte förväntas inträffa.

Konsekvenser graderas enligt en skala över allvarlighetsgrad avseende människor och miljö, se Tabell 2. I föreliggande riskvärdering har skalan fyra

steg, från *ingen allvarlig påverkan* till *katastrofal påverkan*. Skolor av denna typ är vanligt förekommande för att kategorisera olika händelser inom sjöfarten och baseras på exempel i IMO:s FSA-metodik (Maritime Safety Committee, 2018).

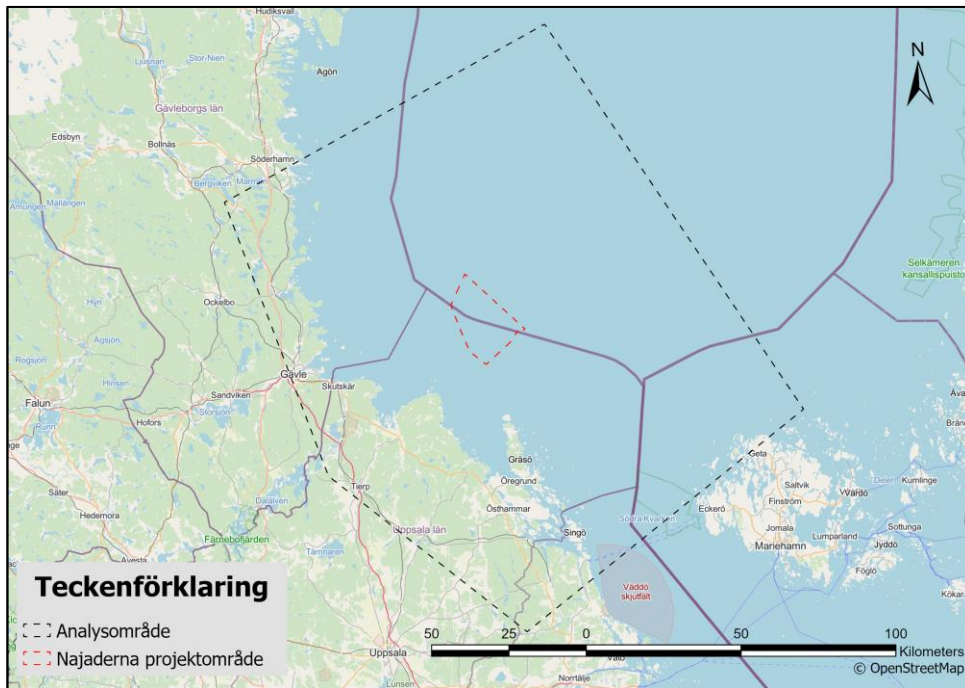
Tabell 2. Indelning av händelser utifrån allvarlighetsgrad som återspeglar en trolig värsta konsekvens av en händelse inom sjöfart avseende dess påverkan på miljö samt människors säkerhet. Konsekvensindex är framtaget baserat på underlag från IMO (2018).

Index (SI)	Konsekvens	Påverkan på människors säkerhet (dödsfall)	Påverkan på miljö (ekvivalent mängd oljeutsläpp)
1	Ingen allvarlig påverkan	Enstaka eller små skador (0,01)	1 ton spill
2	Signifikant påverkan	Många eller allvarliga skador (0,1)	10 ton spill
3	Allvarlig påverkan	Enstaka dödsfall eller flera allvarliga skador (1)	100 ton spill
4	Katastrofal påverkan	Flera dödsfall (10)	1 000 ton spill

När de olika händelserna indexerats med ett sannolikhets- respektive konsekvensindex kan ett riskindex beräknas, se Appendix A.

1.3 Omfattning

Riskbedömningen omfattar risker för sjötrafiken under byggfasen, driftsfasen och avvecklingsfasen av vindkraftsparken Najaderna. Fokus ligger på att analysera eventuell förändring av risknivån som genereras av vindkraftsparken. I Figur 4 illustreras Najadernas projektområde tillsammans med analysområdet, alltså det område inom vilket AIS-data (statistik över sjötrafikflöden) funnits tillgänglig till analysen.



Figur 4. Analysområde och Najadernas projektområde.

Denna utredning följer tillämpliga delar av metodiken för en FSA (*Formal Safety Assessment*). Risker för sjötrafiken som orsakas av vindkraftsparkens uppförande, drift och avveckling analyseras. I enlighet med länsstyrelsens kompletteringsönskemål har även kumulativa effekter från andra närliggande vindkraftsetableringar under utredning analyserats och frekvenser för olycka vid närliggande Natura 2000-områden har beräknats.

Olyckor som involverar handelsfartyg och andra stora fartyg analyseras huvudsakligen, medan olyckor som rör fiske- och fritidsbåtar studeras i mindre utsträckning. Risker som uppstår från vindkraftsparkens arbetsfartyg analyseras i den utsträckning de påverkar handelsfartyg och icke-kommersiella fartyg som passerar genom vindkraftsparken.

Strukturen för denna riskutredning är formulerad utifrån de rekommendationer som framkommer i vägledande dokument och platsspecifika förhållanden. Rekommendationer för riskhantering enligt Sjöfartsverket och Transportstyrelsen (2023) tas i beaktande och följande punkter inkluderas i riskanalysen:

- Områdesbeskrivning och förutsättningar
 - Riskbedömningens omfattning, förutsättningar och kriterier.
 - Beskrivning av sjötrafiken och andra förutsättningar i området.
- Riskidentifiering
 - Genomgång och sammanställning av risker från HAZID genomförd av SSPA (2022c).
- Riskanalys och riskvärdering
- Riskreducerande och riskförebyggande åtgärder
- Osäkerhetsanalys
- Slutsats
 - Rekommendationer för beslutsfattare samt information om identifierade risker

Najadernas påverkan på fartygsradar analyseras baserat på allmän kunskap om radarstörningar och havsbaserad vindkraft. De exakta störningarna av fartygsradarsystem och vid vilka avstånd de förekommer kan endast bedömas med större noggrannhet när den slutliga utformningen av vindkraftsparken och placeringen av vindkraftverken är kända.

Indata till riskbedömningen såsom statistik och expertbedömningar är alltid föremål för olika typer av osäkerhet. Av denna anledning beskrivs de osäkerheter som anses relevanta för denna analys och hur den kan påverka resultaten. Antaganden och expertbedömningar som görs i rapporten definieras med försiktighet och grundar sig till stor del på rekommendationer från Sjöfartsverket och Transportstyrelsen (Sjöfartsverket & Transportstyrelsen, 2023), organisationen PIANC (2018) samt på andra genomförda nautiska riskanalys, bland annat följande:

- Nautisk riskanalys vindpark Poseidon (SSPA, 2022a)
- Nautisk riskanalys vindkraftpark Fyrskäppet (RISE, 2023)
- Navigational Risk Assessment of Hesselö Offshore Wind Farm (DNV, 2021b)

Dessutom används, så långt det är möjligt, standardinställningar för beräkningar i programvaran IWRAP eftersom dessa antaganden gjorts av experter inom risk och sjöfart inom organisationen IALA (IALA, 2024).

Najaderna offshores ansökan om havsbaserad vindkraft berör ett maximalt antal vindkraftverk om 67 stycken. Denna nautiska riskanalys baseras dock på en layout med 128 vindkraftverk. En fiktiv layout med 128 vindkraftverk konstruerades i syfte att ta fram ett värsta tänkbart scenario utifrån ett olycksriskperspektiv. Med 128 vindkraftverk kan hela Najadernas projektområde fyllas ut och vindkraftverk kan placeras längs alla kanter, i alla hörn och relativt tätt. Detta resulterar i högre risknivåer. Dessutom har vindkraftverken inne i projektområdet (innanför raden av vindkraftverk som finns längs projektområdets kanter) placerats slumpartat och inte enligt ett strukturerat mönster. Detta kan också medföra förhöjda risknivåer samt även försvårande av räddningsaktioner. Eftersom en worst case-layout används som underlag till riskberäkningarna bedöms resultatet från riskanalysen som konservativt och överskattat jämfört med hur risknivån bedöms bli baserad på layout med endast 67 vindkraftverk. Worst case-layouten illustreras i Figur 5 i avsnitt 2.1 nedan.

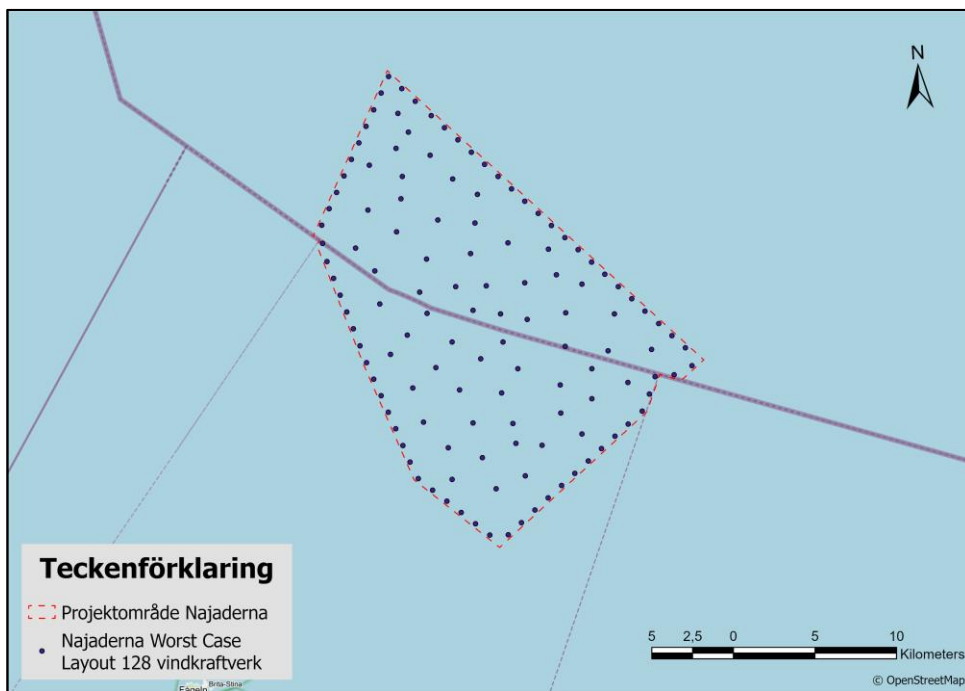
2. Områdesbeskrivning och förutsättningar

2.1 Vindkraftsparken och lokala förutsättningar

Den planerade vindkraftsparken är belägen i svensk ekonomisk zon och i svenskt territorialvatten i havsområdet Södra Bottenhavet. Vindkraftsparkens lokalisering är planerad cirka 17 kilometer utanför fastlandets kustlinje inom Tierps kommun i Uppsala län och strax norr om Argos grund.

Inom projektområdet planeras för upp till 67 vindkraftverk med en maximal totalhöjd på 365 meter.

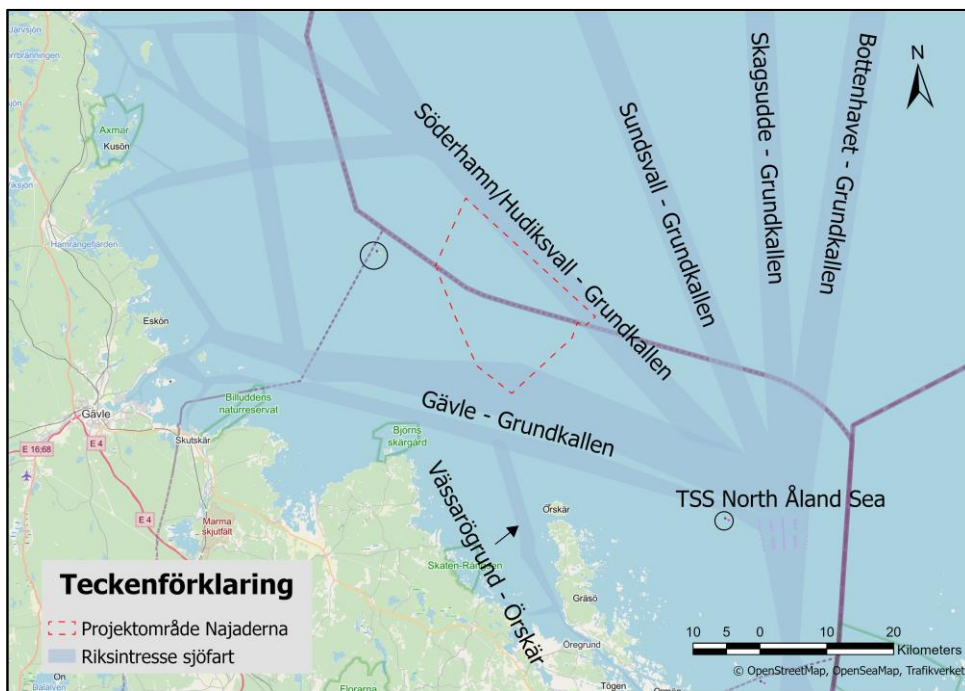
En fiktiv layout med 128 vindkraftverk för Najaderna har tagits fram till denna riskutredning. Layouten syftar till att illustrera ett värsta tänkbart scenario för antal och placering av vindkraftverk inom projektområdet. Exempellayouten illustreras i Figur 5.



Figur 5. Najaderna fiktiv layout, *worst case*-layout, används till beräkningar av risknivå i denna riskutredning.

2.1.1 Sjöfartsområden och trafikmönster

I närheten av Najadernas projektområde för vindkraft finns ett flertal riksintressen för sjöfart som illustreras i Figur 6. Närmaste TSS (TSS North Åland Sea) ligger cirka 37 km sydöst om Najaderna. Det finns även ett antal fyrar på varierande avstånd runt projektområdet där några nämnvärda är Finngrund, Västra Banken, Eggegrund, Björn, Argos Grund och Örskär.



Figur 6. Najaderna och närliggande riksstressen för sjöfart. Cirkarna väster om projektområdet samt väster om TSS North Åland Sea är markeringar för kassunfyrarna Finngrundet (väster om Najaderna) och Grundkallen (sydost om Najaderna).

Som illustrerats i Figur 6 är det två fartygsstråk som angränsar till och delvis överlappar med projektområdet, Gävle – Grundkallen samt Söderhamn/Hudiksvall – Grundkallen. I den trafikanalys som gjordes år 2022 (SSPA, 2022b) över området har trafikmängder och trafikflöden under år 2021 sammanställts. I fartygsstråket Söderhamn/Hudiksvall – Grundkallen gick då 187 passager (SSPA, 2022b). De flesta fartyg som passerade denna passage hade en fartygslängd under 200 meter. I fartygsstråket Gävle – Grundkallen gick 1627 passager (SSPA, 2022b). Inget fartyg hade en längd över 200 meter.

Till den nautiska riskanalysen har ny trafikdata analyserats. Data mellan maj 2023 och april 2024 har använts. Analysåret är representativt även för andra år eftersom det inte utgör ett undantagsår.

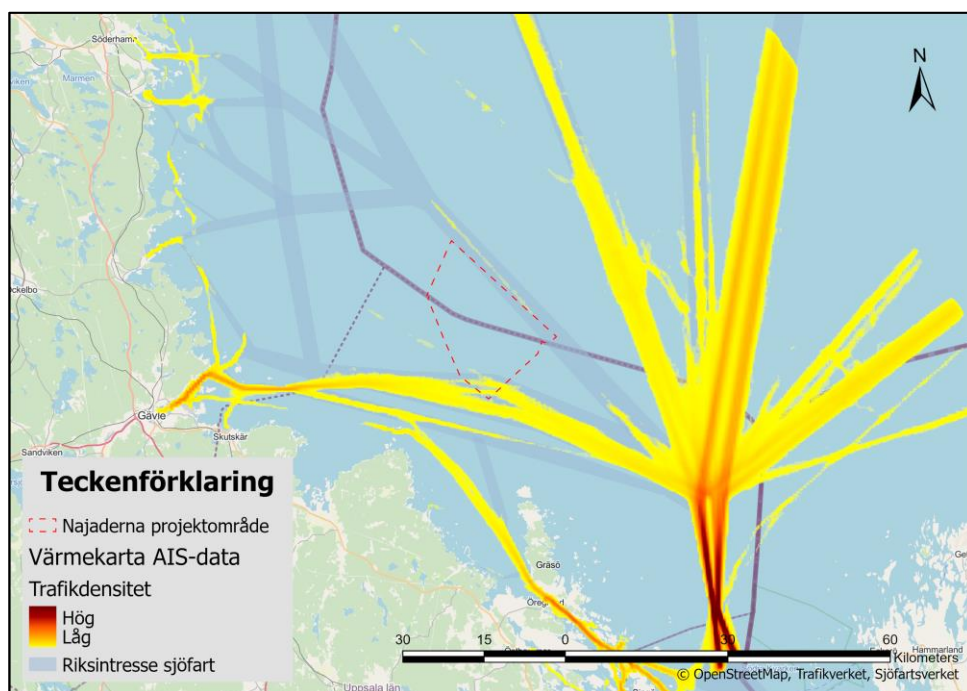
I Figur 7 nedan illustreras en värmekarta över trafiken under detta analysår. En stor majoritet av trafiken i området går genom stråket/riksintressen Skagsudde – Grundkallen beläget cirka 30 km från Najaderna. Genom stråket/riksintresset allra närmast Najaderna i öster (Söderhamn/Hudiksvall – Grundkallen) passerar mycket lite trafik, endast cirka 200 passager under referensåret. I stråket/riksintresset söder om Najaderna (Gävle – Grundkallen) passerade cirka 1 000 passager under referensåret vilket innebär cirka 3 passager per dygn.

Inom riksstress Söderhamn/Hudiksvall – Grundkallen passerade under referensåret (maj 2023 och april 2024) nästan enbart Cargofartyg samt några enstaka tankarfartyg. Storleken på fartygen varierade främst mellan cirka 80 och 120 meter. Endast ett fåtal fartyg översteg en längd på 140 meter. Ett vanligt förekommande fartyg var fartyget Livland med en längd på 100 meter.

Även inom riksstress Gävle – Grundkallen passerar främst cargofartyg men även en del tankarfartyg (enligt statistik från maj 2023 till april 2024). Majoriteten av fartygen är mellan 85 och 105 meter långa men fartyg med en längd upp till

drygt 200 meter förekommer. Cirka 20 fartygspassager med fartyg över 200 meter passerade söder om Najaderna under referensåret. Ett vanligt förekommande fartyg var fartyget Sonoro med en längd på 100 meter. De flesta fartyg som passerar söder om Najaderna ska in till, eller kommer ut från, Gävle hamn. Fartyg till och från Ljusne, Söderhamn och Norrsundet (samtliga är hamnar norr om Gävle) förekommer också. Gävle hamn har ett största tillåtna djupgående på 13 meter. Fartygen som passerar inom Gävle – Grundkallen sammanfaller med de fartyg som främst förekommer inom Sveriges ekonomiska zon i närheten av Najaderna.

Generellt i området kring Najaderna gäller att trafikflödet är relativt lågt jämfört med liknande områden längre söderut, i Östersjön. Framför allt är fartygstrafiken allra närmast Najaderna begränsad.



Figur 7. Värmekarta, illustration av trafikflöde under maj 2023–april 2024 i området kring Najadernas projektområde.

2.1.2 Isförhållanden

Utbredningen av is i Östersjön varierar från vinter till vinter vilket påverkar sjöfarten och fartyg blir ibland beroende av assistans från isbrytare. När isförhållandena blir för svåra kan fartygstrafiken under perioder tvingas ta alternativa rutter. Olika typer av isförhållanden påverkar sjöfarten på olika sätt.

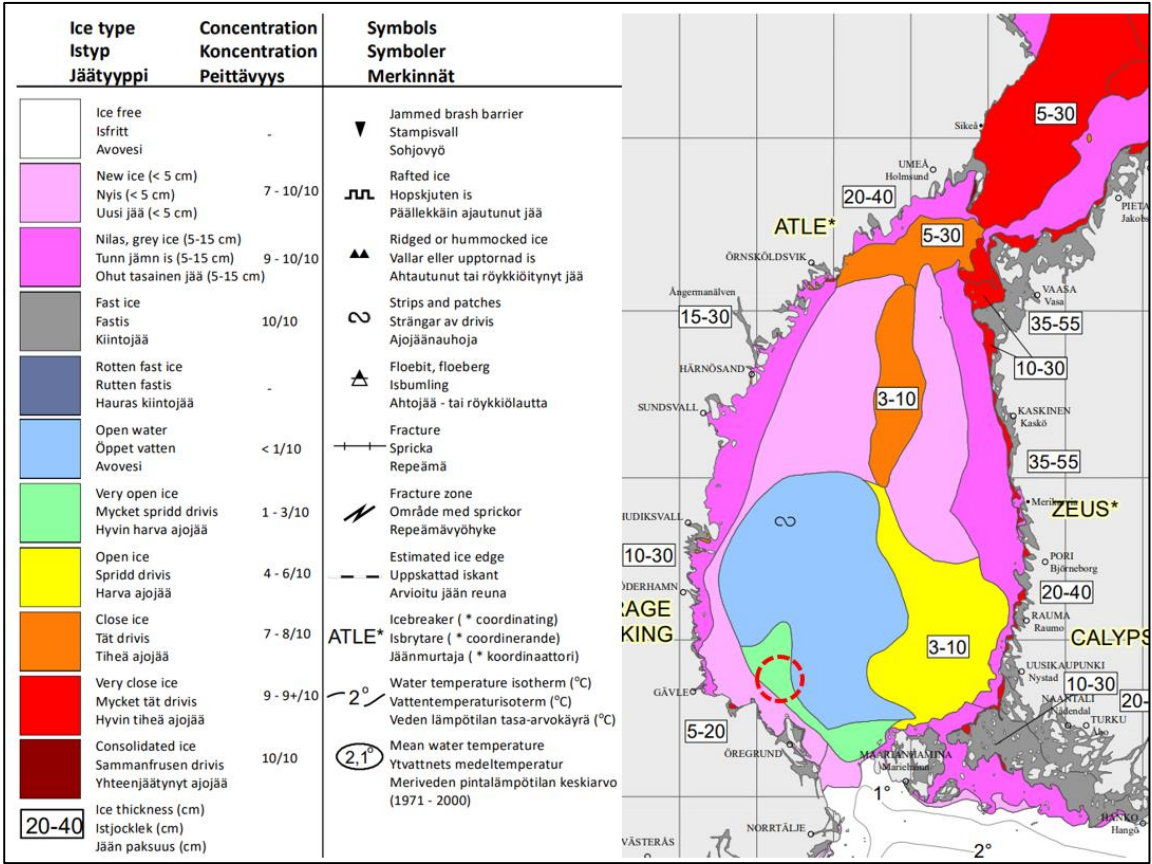
Drivs till havs är ett ständigt faromoment för sjöfarten där fartygsrännor inte kan upprätthållas på samma sätt som i skärgården. Rännorna skjuts vanligen snabbt ihop och kan bilda isvallar. I tillägg medför långvariga nordostliga eller ostliga vindar att havsisen driver in mot den svenska ostkusten där det bildas svårforcerade vallområden som utgör ett hinder för navigation. För aktuellt område är dock den förhärskande vindriktningen västsydvästlig.

Fartyg vid området kring Najaderna kan vara beroende av isbrytarassistans beroende på isförhållandena under vinterhalvåret. Under stränga isvintrar är isbrytarverksamheten av största vikt för att säkerställa navigationssäkerhet och

ett smidigt trafikflöde till hamnar. Isövervakning och utvärdering av isförhållandena lokalt ger beslutsstöd för isbrytarverksamheten. Isbrytare som verkar i området är därför en förutsättning för sjöfartens fortsatta verksamhet i området, och utgör en redan befintlig riskreducerande åtgärd i området kring Najaderna.

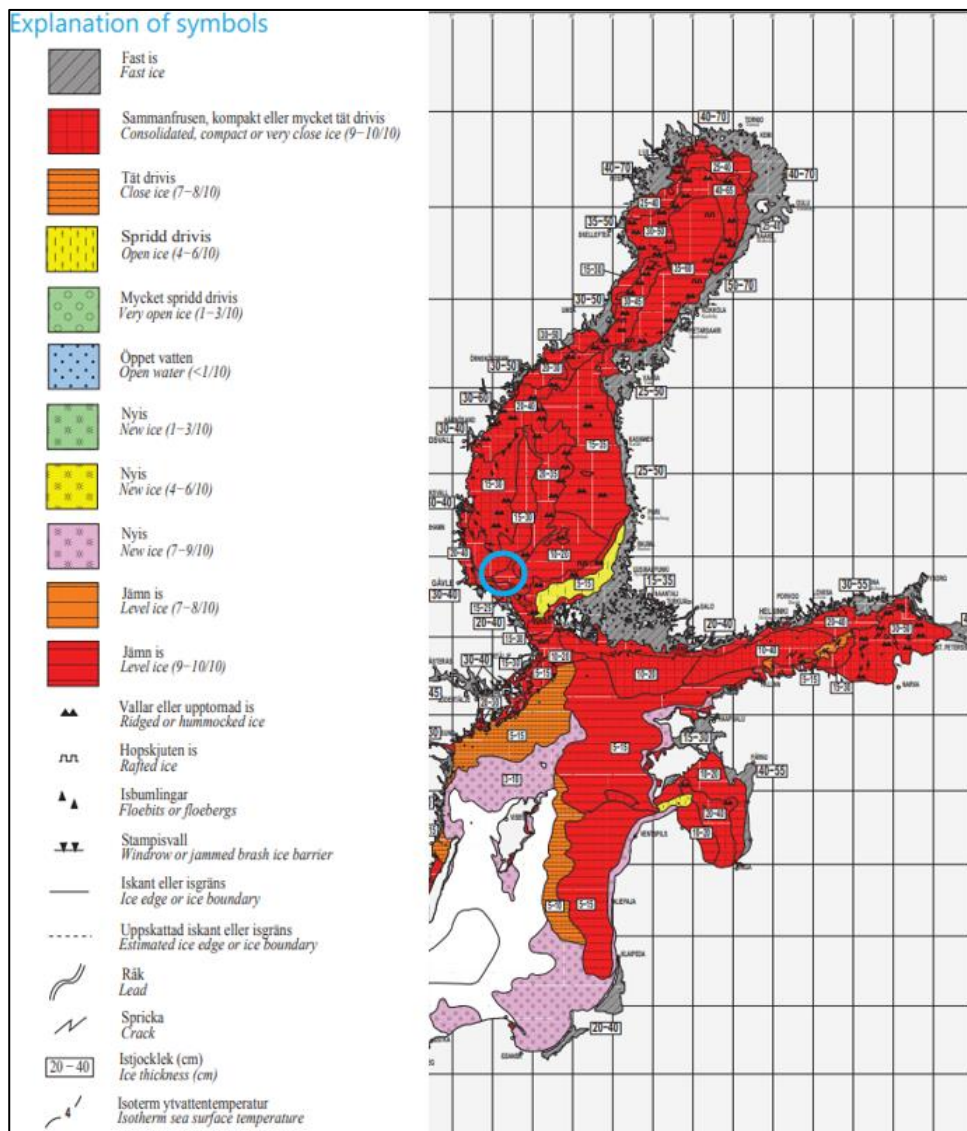
I den senast upprättade sammanfattningen av isvinter och isbrytningsverksamhet från vintern 2021/2022, som var en mild isvinter, uppges att det fanns en del fastis vid Södra Bottenhavets kuster men detta var inget som krävde isbrytarassistans (Sjöfartsverket & SMHI, 2023). Genom att studera AIS-data från vintern 2023/2024 kan det konstateras att endast ett fåtal passager med isbrytare gjordes i området. Detta innebär att även under den senaste vintern, som klassas som normal isvinter av SMHI, så var behovet av isbrytarassistans relativt litet. I kontrast var 2010/2011 en svår isvinter och i sammanfattningen av isvinter och isbrytarverksamhet från vintern 2010/2011 uppges att det fanns assistansbehov under ett par månaders tid i södra Bottenhavet (Sjöfartsverket & SMHI, 2012). Enligt uppgifter i sammanfattningen skedde 71 fartygsassistanser (varav 4 bogseringar) och 86 övervakningar, och sammanlagt 141 assistanser (där ett eller flera fartyg följer efter isbrytaren i en bruten ränna) (Sjöfartsverket & SMHI, 2012). Sammanfattningsvis kan det konstateras att isbrytarassistans blir nödvändig även vid Najadernas sydliga lokalisering vid svårare isvintrar men att behovet troligtvis oftast är mycket begränsat under milda eller normala isvintrar.

Genom att studera iskarter från SMHI (2024) går det att få en bild av isutbredningen inom och runt projektområdet. Under vintern år 2023/2024 (inhämtad AIS-data för analys till denna riskutredning är från år 2023) var det inom och runt projektområdet relativt isfritt. I december 2023 var projektområdet isfritt och i början av januari 2024 förekom nyis och tunn jämn is längs kusten i närheten av projektområdet. Först den 9 februari 2024 fanns nyis i projektområdet och under 1–2 veckors tid fanns tät drivis, spridd drivis, och mycket spridd drivis i och runt projektområdet. Mot slutet av februari var isen borta igen och kom inte tillbaka. Vintern 2023/2024 var en normal isvinter. Av de sex senaste vintrarna har sammanfattningsvis två varit normala och fyra milda isvintrar. Maximal isutbredning inträffade den 12 februari 2024 och isbeläggningen denna dag illustreras i Figur 8.



Figur 8. Maximal isutbredning under 2024 (inträffade 12 februari). Iskartan är hämtad från smhi.se (SMHI, 2024). Ungefärlig lokalisering för Najaderna är markerad med röd streckad cirkel.

Som jämförelse var vintern 2010/2011 en svår isvinter med mycket större isutbredning, där maximal isutbredning denna isvinter inträffade den 25 februari 2011 och ses i Figur 8. Projektområdet var i december isfritt fram till den 28 december 2010 då nyis hade bildats. Därefter var det variationer av istyper i området från nyis till kompakt is och isförhållandena nådde sin kulmen den 25 februari för att sedan mildras i mars månad. Då återgick isförhållandena till spridd drivis, mycket spridd drivis, nyis och mot mitten/slutet av mars till öppet vatten.



Figur 9. Maximal isutbredning under den svåra isvintr 2010/2011. Blå cirkel illustrerar ungefärlig placering av Najaderna.

Genom att studera iskarter från olika vintrar framgår det att området kring Najaderna (Gävlebukten) ofta är ett av de områden som isbeläggs "sist" och har lättare isbeläggning än i övriga Bottenhavet. Anledningar till detta är dels den sydliga geografiska placeringen, dels den förhärskande vindriktningen som tenderar att pressa ismassorna mot den finska sidan av Bottenhavet samt norrut, vilket resulterar i mer frekvent förekommande öppet vatten och/eller lättare isbeläggning än övriga delar av Bottenviken vid samma tillfälle/tidpunkt. Detta innebär att behovet av isbrytarassistans ofta är begränsat i Gävlebukten.

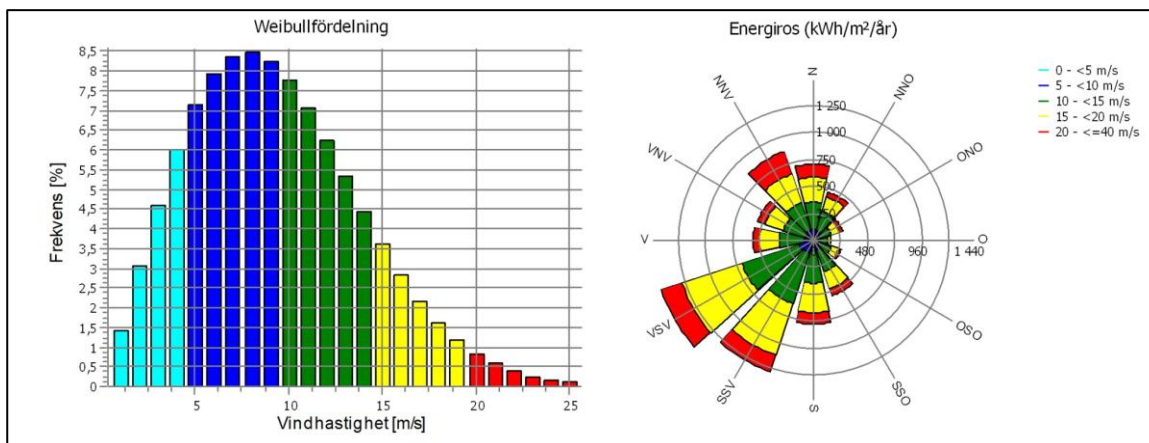
Fartyg som rör sig i området är generellt på väg till eller ifrån de närliggande hamnarna. Vid stränga isvintrar kan dock även fartyg som ska längre norrut i Bottenhavet röra sig i området. Detta inträffar om aktuell isrutt för passage genom Bottenhavet är tillfälligt förlagd av is. I dessa fall kan även fartygen i dessa farvatten behöva isbrytarassistans för passage.

När den operativa isbrytarassistenten är aktiv i området förekommer det vid behov att så kallade väntplatser används. Dessa, av den operativa isbrytartjänsten, anvisade väntplatser är till för att fartyg som behöver invänta isbrytarassistent ska kunna ligga och driva tryggt och säkert i isen och de behöver således utgöras av tillräckligt stora områden. Hänsyn behöver även tas till kringliggande grundområden samt övrig fartygstrafik.

Isrutterna i Gävlebukten sammanfaller ofta med farlederna in och ut ur hamnarna även under de strängaste isvintrarna medan isrutter, i den mån de förekommer så här långt söderut, för passage genom Bottenhavet och norrut varierar beroende på aktuellt isläge.

2.1.3 Vindförhållanden

Vindförhållanden har tagits fram på tre punkter inom projektområdet. Medelvindhastigheten uppgår till cirka 9 m/s, 150 meter över havsytan. I samtliga punkter kommer den förhärskande vindriktningen från västsydväst och sydsydväst. I Figur 10 nedan illustreras Weibullfördelning och energiros för den punkt som har högst medelvindhastighet.

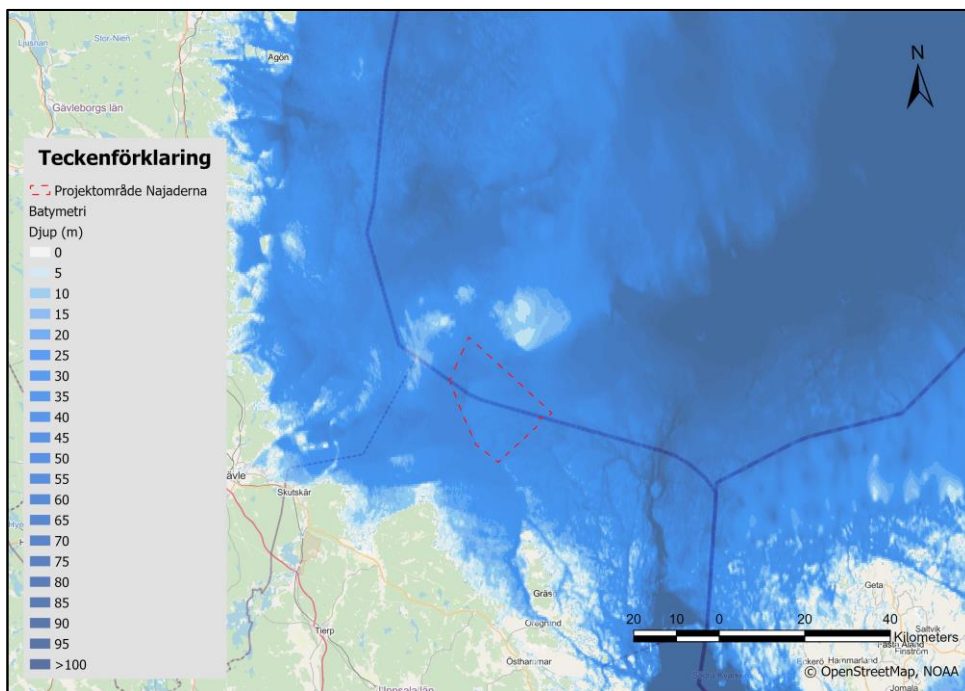


Figur 10. Weibullfördelning och energiros (även kallat vindros) för en av punkterna inom Najaderna (punkten med högst medelvindhastighet).

2.1.4 Batymetri

Najaderna är lokaliserat relativt nära svenska kusten. Vindkraftsparken planeras inom ett område där djupet varierar mellan cirka 30 och 70 meter. Projektområdet angränsar till grundområdet Västra och Östra Banken i norr (även kallad Finngrund), Argos grund i sydöst, samt Campsgrund i sydväst. Cirka 17 km söder om parkens sydligaste del ligger Örskar och Gräsö och cirka 15 km sydväst ligger Björns skärgård. Närmare kusten, mellan cirka 15 och 30 km väster om Najaderna finns också grundområdena Utnallen, Blockbanken, Lövgunds rabbarna och Eggegrund.

Batymetrin, baserad på öppna data (NOAA, 2022), illustreras i Figur 11.



Figur 11. Batymetri inom och i närheten av Najadernas projektområde (NOAA, 2022).

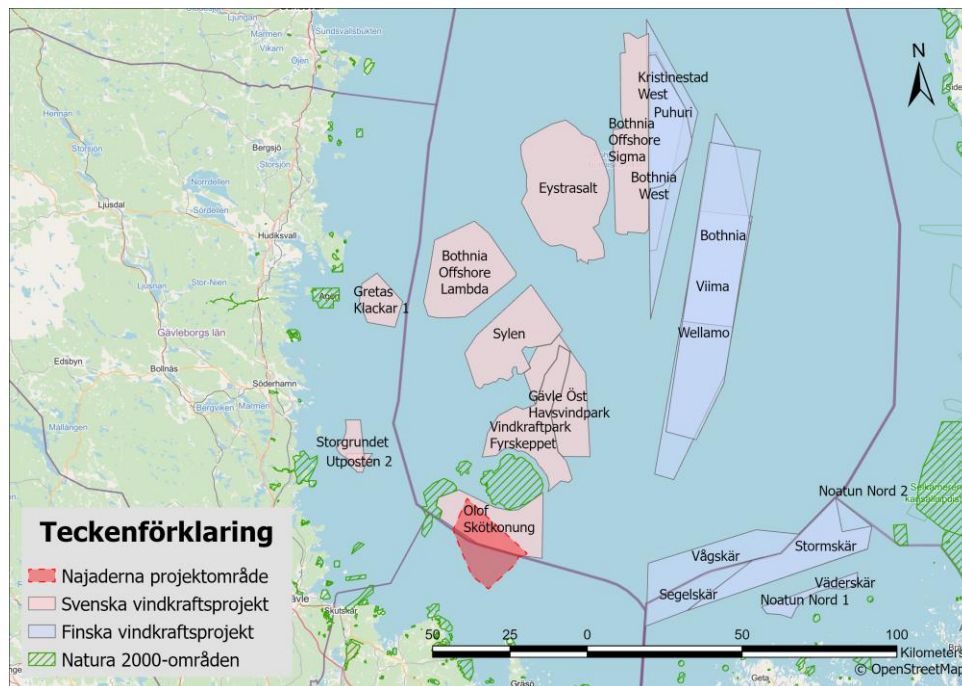
Inom grundet Östra banken uppgår djupet till som minst 1,3 meter enligt sjökortet. Västra bankens grundaste punkt uppgår till 2,3 meter enligt sjökortet. Mellan Östra och Västra banken finns ytterligare ett grundområde där djupet är som minst 6,4 meter enligt sjökortet.

Vid Argos ytterbank strax norr om fyren vid Argos grund finns två grundare områden. Området närmast fyren uppgår som minst till 13,1 meter enligt sjökortet och området längre norrut, närmare Najaderna, uppgår till som minst 16,1 meter enligt sjökortet. Campsgrund är som grundast 8 meter enligt sjökortet.

2.1.5 Övriga förutsättningar

Inom Najadernas närområde planeras även andra vindkraftsparker varför även kumulativa effekter av dessa analyseras i denna nautiska riskanalys, enligt kompletteringskrav från Länsstyrelsen. I direkt närhet till Najaderna planeras vindkraftsparken Olof Skötkonung. Strax nordöst om Najaderna är också vindkraftsparken Fyrskeppet, Gävle Öst Havsvindpark samt Sylen under utredning. Nordväst om Najaderna planeras vindkraftsparkerna Storgundet och Utposten 2. Öster om Najaderna, på finskt vatten, planeras också ett flertal vindkraftsparker, bland annat Vågskär, Segelskär, Noatun Nord, Våderskär, Stormskär, Wellamo, Viima och Bothnia. Samtliga nämnda vindkraftsparker samt ytterligare några parker under utredning illustreras i Figur 12.

I figuren illustreras också Natura 2000-områden i närområdet. Finngrundens norr om Najaderna utgör Natura 2000-områden enligt art- och habitatdirektivet. Förutom dessa förekommer också Natura 2000-områden längs med svenska kusten och finska kusten.



Figur 12. Närliggande parker under utredning samt Natura 2000-områden.

2.2 Säkerhetsavstånd

Rätten till säker passage regleras i FN:s havsrättskonvention (UNCLOS) (United Nations, 1994). I konventionen finns bland annat artikel 60.7 som säger att "Artificiella öar, anläggningar och konstruktioner samt säkerhetszoner runt dessa får inte etableras där de kan hindra användningen av erkända vattenvägar av avgörande betydelse för internationell sjöfart".

Förutom UNCLOS finns även de Internationella reglerna för att förhindra sammanstötningar till sjöss (COLREG) (IMO, 1972). Dessa är konventionsregler som reglerar skyldigheterna för fartyg att undvika kollisioner. Skyldigheterna enligt COLREG är utformade för att främja säkerheten till sjöss och minska risken för kollisioner mellan fartyg. Reglerna rör exempelvis:

- rätt kurs och hastighet
- regler för navigeringsljus och signaler som ska användas för att visa fartygets position
- riktning och avsikter till andra fartyg

Avståndet mellan fartygstrafik och vindkraftverk bestäms individuellt för varje enskilt fall, beroende på bland annat plats, geografiska aspekter och sjötrafik i området.

I Transportstyrelsens och Sjöfartsverkets *Rekommendationer vid projektering och etablering av havsbaserad vindkraft* (Sjöfartsverket & Transportstyrelsen, 2023) berörs bland annat säkerhetsavstånd mellan fartygstrafik och vindkraftverk. Transportstyrelsen och Sjöfartsverket hänvisar till de rekommendationer som PIANC (2018) tagit fram gällande säkerhetsavstånd.

2.2.1 Sjöfartsverket och Transportstyrelsen

Sjöfartsverket och Transportstyrelsen presenterar rekommendationer för säkerhetsavstånd vid projektering och etablering av havsbaserad vindkraft (Sjöfartsverket & Transportstyrelsen, 2023). Som utgångspunkt anser de att säkerhetsavstånd bör beräknas från farledens, ruttsystemets, fartygsstråkets eller riksintressets yttre kant.

Storleken på säkerhetsavståndet bestäms för ett dimensionerande fartyg. Med dimensionerande fartyg avses det teoretiska fartyg som blir gränssättande för beräkning av säkerhetsavstånd mellan vindkraftspark och fartygsstråk. Det dimensionerande fartyget bör vara representativt för de största fartygen i området. Normalt kan det största fartyget i 98 percentilen av samtliga fartygspassager av fartyg med en längd som överstiger 70 meter utgöra det dimensionerande fartyget (Sjöfartsverket & Transportstyrelsen, 2023).

Sjöfartsverket anser i rapporten *Förslag på lämpliga energiutvinningsområden för havsplanerna* (Energimyndigheten, 2023) att säkerhetsavståndet till riksintresse för sjöfart nordöst om vindkraftspark inom det områden som omfattar Najaderna ska vara 1,2 M och säkerhetsavståndet till riksintresse för sjöfart söder om området ska uppgå till 1,3 M. Sjöfartsverket anser också att säkerhetsavstånd ska mätas från riksintressekant.

2.2.2 PIANC

PIANC är en global organisation som utvecklar rekommendationer för att uppnå hållbara transporter till sjöss och på andra vattenvägar (PIANC, 2018). De konservativa bedömningarna av avståndsrekommendationer och utrymmeskrav, som specificeras av PIANC, kan uppnås genom att beskriva deras rekommendationer och visa det tillgängliga manöverutrymmet i öppet vatten.

I rapporten *MarCom Wg 161: Interaction Between Offshore Wind Farms and Maritime Navigation* (PIANC, 2018), presenterar PIANC rekommendationer angående säkerhetsavstånd till vindkraftverk. Rekommendationerna är baserade, bland annat, på COLREG och dess regler avseende säkra passager till sjöss. Ett tvåstegsförfarande presenteras för att säkerställa att de risker som uppkommer vid en etablering av havsbaserade vindkraftsparker är acceptabla:

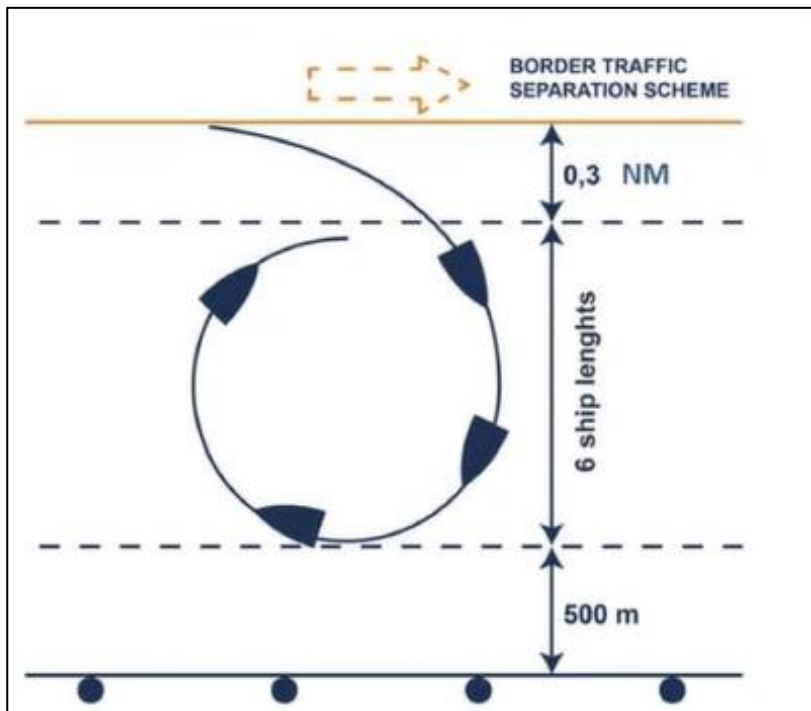
- *Concept design*, ett första steg som ger generella säkerhetsavstånd utifrån en schabloniserad beräkningsmetod.
- *Detailed design*, steg 2, där säkerhetsavståndet efter en fördjupad analys möjligen kan ändras.

Rekommendationen enligt *Concept design* betyder att avståndet från fartyget till en vindkraftspark bör vara sådant att ett fartyg ska kunna utföra en fullständig undanmanöver (360° gir). Ett sådant avstånd uppskattas uppnås vid 5 fartygslängder. För att ge utrymme för eventuella komplikationer uppskattas ett manöverutrymme konservativt till cirka 6 fartygslängder. Dessutom bör en säkerhetszon för vindkraftsparken på maximalt 500 meter också läggas till (UNCLOS säkerhetszon). Detta avstånd kan vara kortare, men ska inte överstiga 500 meter. För att säkerställa att en säker undanmanöver kan göras i samband med att andra fartyg är i närheten, läggs 0,3 M till på säkerhetsavståndet på styrbordssidan. Detta innebär att det minsta avståndet mellan fartyget och vindkraftsparken rekommenderas enligt följande (se även Figur 13):

- På styrbordssidan av fartyget, $d = 556 \text{ meter (0,3 M)} + 6 \text{ fartygslängder} + \text{maximalt } 500 \text{ meter säkerhetszon}$

- På babordssidan av fartyget, $d = 6$ fartygslängder + maximalt 500 meter säkerhetszon

Ovanstående säkerhetsavstånd rekommenderas mellan ett vindkraftverk till havs och närmaste TSS eller fartygsstråk (se Figur 13). Mät punkt för säkerhetsavstånd till vindkraftverk kan enligt PIANC baseras på flertalet aspekter. Exempelvis kan TSS eller farleder tjäna som en första uppskattning, men hänsyn bör även tas till var den faktiska sjötrafiken förekommer utifrån trafikanalyser samt till andra omständigheter.



Figur 13. Illustration av manöverutrymme enligt PIANC (2018). Observera att illustrationen inte är skalenlig.

PIANC har också tagit fram rekommendationer om tillräckliga ytor för navigering baserat på hur många fartyg som rör sig i området. Lämplig bredd på dessa områden beror på antalet fartyg som trafikerar rutten och sammanfattas nedan.

Antal fartyg som använder rutten. Varje fartyg ska kunna ha en tillgänglig navigerbar yta som är två fartygslängder bred (PIANC, 2018):

<4 400 fartyg per år	2 fartyg sida vid sida
>4 400 fartyg och <18 000 fartyg per år	3 fartyg sida vid sida
>18 000 fartyg per år	4 fartyg sida vid sida

Fartygslängden baseras på ett referensfartyg, vars längd motsvarar ett av de större fartygen som förekommer i stråket (PIANC, 2018).

2.2.3 Rekommenderat säkerhetsavstånd och dimensionerat trafikutrymme

Nära/inom Najaderna projektområde går två riksintressen för sjöfart, Söderhamn/Hudiksvall – Grundkallen (öster om Najaderna) och Gävle – Grundkallen (söder om Najaderna). För trafiken som färdas inom dessa

riksintressen behöver ett säkerhetsavstånd mellan fartyget och närmsta vindkraftverk antas som möjliggör en fullständig undanmanöver (360° gir) i enlighet med COLREG. Hur stort säkerhetsavståndet bör vara beror på fartygens längd.

Det dimensionerande fartyget för att ta fram lämpliga säkerhetsavstånd definieras enligt Sjöfartsverkets och Transportstyrelsens rekommendationer som fartyget i den 98:e längdpercentilen bland fartyg större än 70 meter. För trafiken under referensåret (maj 2023–april 2024) uppgår detta fartyg till 205 meter. Detta medför att säkerhetsavståndet blir 1 786 meter³ exklusive säkerhetszon, enligt PIANC:s beräkningsmetod för Concept Design (PIANC, 2018) som återges av Sjöfartsverket och Transportstyrelsen (2023). Detta för att ett fartyg med en fartyglängd på 205 meter (98:e percentilen bland fartyg längre än 70 meter) ska kunna utföra en fullständig undanmanöver (360° gir) i enlighet med COLREG.

Mätpunkterna för säkerhetsavstånd enligt PIANC:s rekommendationer är dock inte alltid desamma som de som Sjöfartsverket och Transportstyrelsen rekommenderar. Eftersom varken Söderhamn/Hudiksvall – Grundkallen och Gävle – Grundkallen utgör en TSS eller ett fartygsstråk med definierade gränser finns ingen definierad punkt varifrån säkerhetsavståndet bör mätas. I avsnitt 2.2.2 ovan sammanfattas dock rekommendationer från PIANC på hur stort utrymme fartyg bör ha till navigering baserat på fartygsstorlek och antal fartyg som passerar inom stråket. Enligt dessa ska bredden på dimensionerat trafikutrymme vara som minst 4 fartyglängder där färre än 4 400 fartyg passerar årligen, vilket är fallet både för Söderhamn/Hudiksvall – Grundkallen och Gävle – Grundkallen. Fartyglängden ansätts till längden på aktuellt dimensionerande fartyg. Rekommenderad bredd på dimensionerat trafikutrymme och säkerhetsavstånd för dessa två sjöfartsområden illustreras i Tabell 3. Mittpunkten för dimensionerat trafikutrymme likställs med mittpunkten för riksintresset för sjöfart.

Tabell 3. Bredd på yta för navigering och undanmanöver i närheten av Najaderna.

Namn på sjöfartsområde	Dimensionerat trafikutrymme enligt PIANC	Säkerhetsavstånd (m)	Dimensionerat trafikutrymme och säkerhetsavstånd	Överlappar med Najaderna
Söderhamn/Hudiksvall – Grundkallen	820 m ⁴	1 786 m	4 392 m	Ja
Gävle – Grundkallen	820 m	1 786 m	4 392 m	Ja

2.3 Framtida fartygstrafik

Trafikverkets senaste prognoser indikerar att godstransport till sjöss förväntas minska med cirka 0,6 % per år fram till 2045 (Trafikverket, 2024) avseende antal tonkilometer per år. Detta innebär att godstransporter till sjöss (mätt i antal tonkilometer) enligt prognos för år 2045 kommer att ha minskat med 13,6 % jämfört med år 2019. Den främsta orsaken till att sjöfart inte ökar, är antagandet att fossila bränslen i framtiden till stor del ersätts av eldrift och att sjöfartens nuvarande stora transporter av råolja och petroleum därför minskar avsevärt.

Den förväntade minskningen kan leda till färre antal fartygstransporter och/eller till att fartygens bruttodräktighet ökar.

³ 205 meter x 6 fartyglängder + 556 meter (0,3 M) = 1 786 meter, beräkning enligt PIANC.

⁴ Bredd på dimensionerat trafikutrymme = 2 fartyglängder x 2 fartyg sida vid sida = 2 x 205 m x 2 = 820 m.

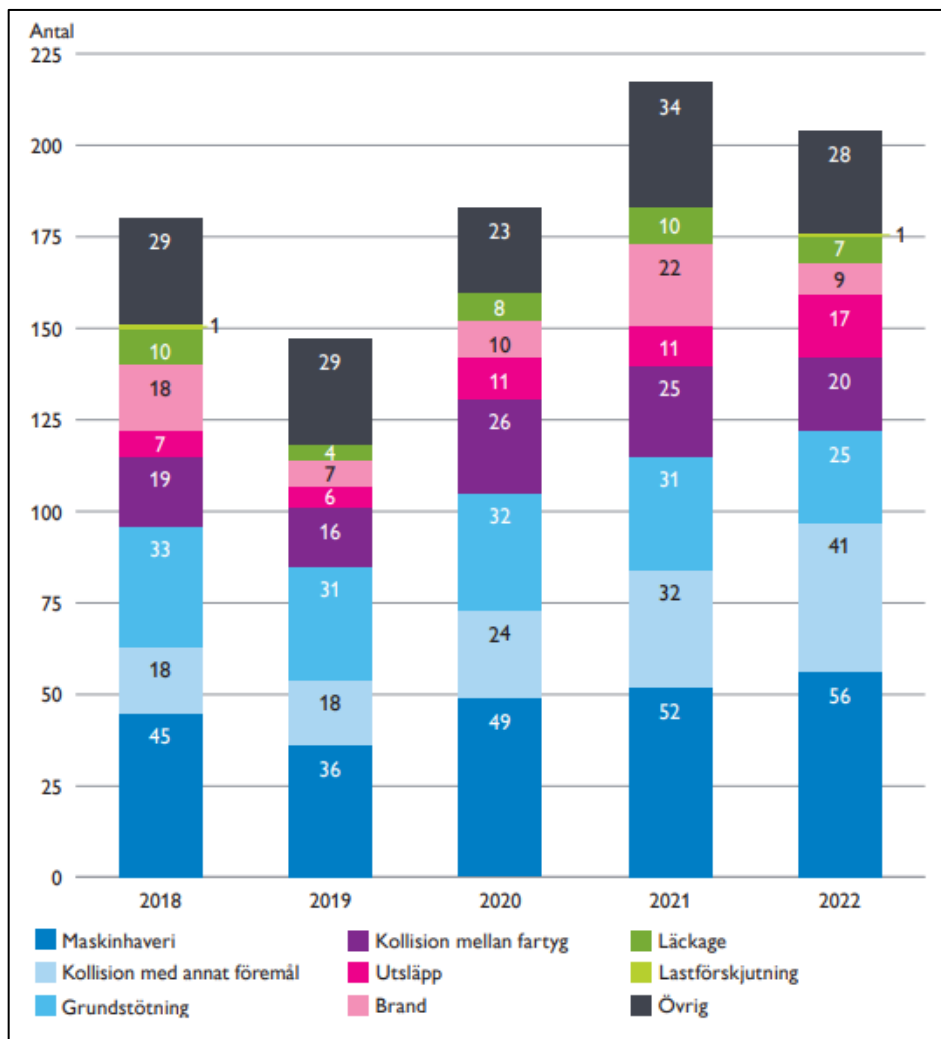
I Trafikverkets tidigare prognoser har det antagits att sjötrafiken ökar med cirka 35 % till år 2040 (Trafikverket, 2023). För att inte underskatta risken med framtida trafik baseras osäkerhetsanalyser för framtida trafik på denna tidigare prognos. I föreliggande analys beaktas framtida fartygstrafik på följande två sätt för att täcka in de båda ytterlighetsalternativen:

- Olycksfrekvenser tas fram för ett grundfall (nuvarande trafik baserat på AIS-data) och ett osäkerhetsanalysfall där framtida trafikflöden antas öka med 35 % till år 2040.
- Olyckskonsekvenser väljs konservativt utifrån antaganden om framtida, större fartyg.

2.4 Fartygsolyckor

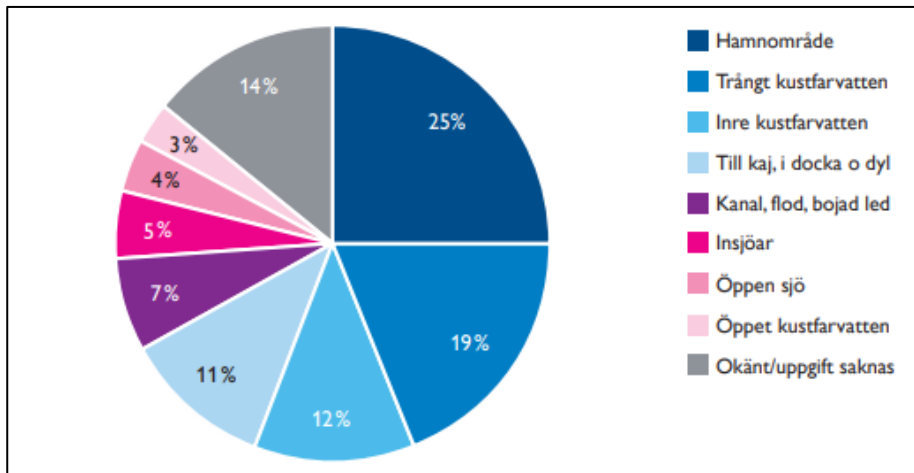
I Transportstyrelsens säkerhetsöversikt från 2022 (Transportstyrelsen, 2022) presenteras olika typer av sjöfartsstatistik i svenska farvatten. Bland annat sammanfattas antalet sjöolyckor för yrkessjöfart årligen mellan år 2003 och 2022. Med svenska farvatten avses Sveriges sjöterritorium enligt lag (1966:374) om Sveriges sjöterritorium.

Sjöolyckor definieras som olyckor som kan härledas till fartygets drift (Transportstyrelsen, 2022). Exempel på sådana olyckor är maskinhaveri, grundstötning, kollision med annat föremål, kollision mellan fartyg, brand, utsläpp, läckage och lastförskjutning. Olyckstyperna och fördelningen mellan inträffade olyckor år 2018–2022 illustreras i Figur 14.



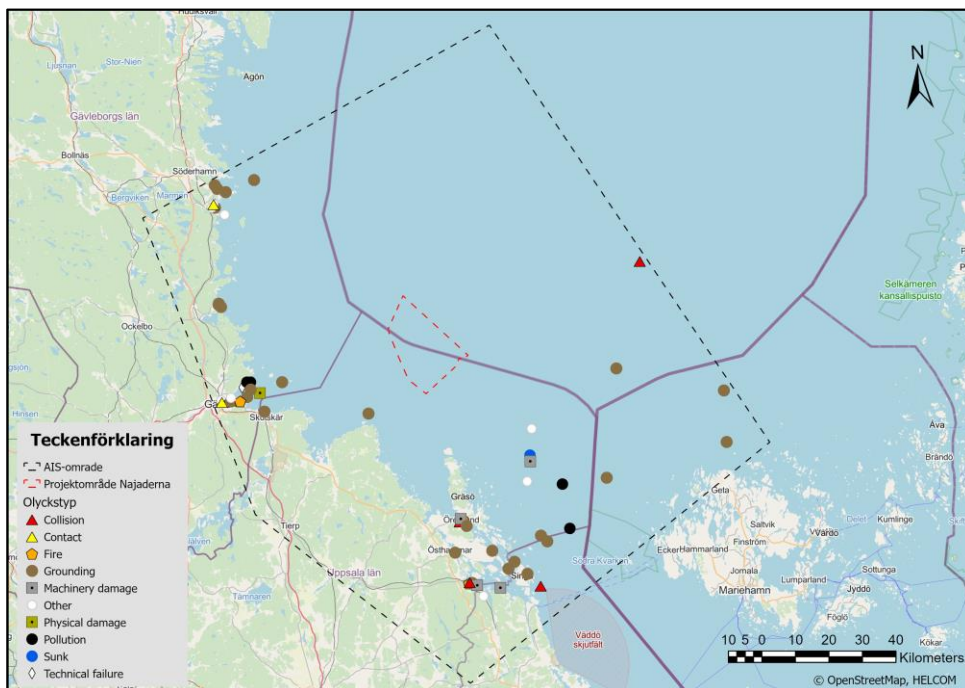
Figur 14. Fördelning av sjöolyckor med yrkessjöfart år 2018–2022. Figuren är hämtad från Transportstyrelsens säkerhetsöversikt från 2022 (Transportstyrelsen, 2022).

Enligt Transportstyrelsens säkerhetsöversikt sker de flesta fartygsolyckor nära kusten (Transportstyrelsen, 2022). År 2022 inträffade endast 7 % av alla sjöolyckor på öppen sjö eller på öppet kustfarvatten. Nästan 70 % av sjöolyckorna inträffade i hamnområden, i trängre kustfarvatten och inre kustfarvatten eller vid kaj. Fördelningen av olyckor i olika typer av farvatten år 2022 illustreras i Figur 15.



Figur 15. Procentuell fördelning av sjöolyckor efter typer av farvatten år 2022. Bilden är hämtad från Transportstyrelsens säkerhetsöversikt från 2021 (Transportstyrelsen, 2022).

Förutom nationell statistik sammanfattad ovan har platsspecifik olycksstatistik från år 1989 till år 2020 sammanställts i Figur 16. Olycksstatistiken är hämtad från HELCOM (2022). 61 olyckor rapporterades inom analysområdet under denna period och bestod främst av grundstötningar (27), följt av övrigt (10), kollision (7), maskinhaveri (5), förorening (4), brand (3), kontakt (2), fysisk skada (1), tekniskt fel (1) samt förlisning (fartyg sjunker) (1).



Figur 16. Illustration av olyckor inom analysområdet mellan år 1989 och år 2020 (HELCOM, 2022).

2.4.1 Fartygsolyckor i vindkraftsparker

I Tabell 4 redovisas tidigare inträffade händelser i världen där fartyg drivit eller kört in i vindkraftverk. Identifiering av tidigare olyckor har gjorts genom att söka i databaser, artiklar och haveriutredningar på internet. Syftet är att kartlägga

förlopp och tänkbara konsekvenser. Listan gör inte anspråk på att vara fullständig.

Tabell 4. Olyckor som inträffat mellan sjötrafik och vindkraftverk.

Händelse	Beskrivning	Konsekvens människa	Konsekvens miljö
Arbetsfartyg i vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk (MAIB, 2013)	2012-11-21: Personalfartyget Island Panther körde in i en ej upplyst del av en turbin vid Sheringham Shoal vindkraftspark i en fart av 12 knop. Det var natt och hårt väder och befälet förlitade sig inte på radar pga. risken för störningar.	Både personal och passagerare fick skador som inte var livshotande (hjärnskakning, bruten arm, skador av krossat glas, käkskador, skador på bröst och rygg).	Skada på för och skrov men inga utsläpp.
Arbetsfartyg i vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk (Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation, 2019)	2018-04-10: Servicefartyget Vos Stone kolliderade med en turbin under konstruktionsfasen av vindkraftsparken Arkona Becken Südost i Östersjön. Orsaken anges vara ett test av nödstyrssystemet som ledde till förlorad kontroll över fartyget.	Tre besättningsmedlemmar ombord på fartyget fick mindre skador.	Skada på fartyg och plattform men inga utsläpp.
Arbetsfartyg i vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk (Jersey Maritime Administration, 2020)	2020-04-23: Servicefartyget Njord Forseti kör i en fart av 20 knop in i fundamentet till en vindturbin vid Borkum Rifgrund vindkraftspark i Nordsjön. Befälhavaren uppges ha justerat VHF och därvid varit distraherad från sin primära uppgift i strid mot regel 5 i COLREG.	Två besättningsmedlemmar evakuerades till sjukhus, och en tredje genomgick senare medicinsk undersökning. Samtliga lämnade sjukhuset inom ett dygn.	Skada på skrov men inga utsläpp.
Fraktfartyg blir ostyrbart och driver in i ett fundament (Marine Safety Investigation Unit, 2022)	2022-01-31: Bulkfartyget Julietta D drev in i ett monopilefundament till en planerad vindturbin i vindkraftsparken Hollandse Kust Zuid, och stötte även i en jacket till en plattform i parken. Fartyget hade drivit i flera timmar efter en kollision med ett annat fartyg.	Fartyget hade evakuerats på sina 18 besättningsmedlemmar med helikopter innan sammanstötningen varför ingen kom till skada i vindkraftsparken. Personal skadades dock i samband med räddning och bogsering.	Fartyget var skadat sedan den tidigare kollisionen och tog in vatten men inga utsläpp har rapporterats.
Navigerande fartyg styr på vindkraftverk (olycksutredning ej publicerad) (Fleetmon, 2023) (Electrek, 2023)	2023-04-26: Fraktfartyget Petra L. körde in i ett vindkraftverk, i Gode 1, i Nordsjön. Fartyget körde med autopilot och hade en kurs som var flera kilometer fel. Olycksutredning pågår.	Inga skadade rapporteras.	Ett hål på 3 meter × 5 meter i skrovet men inga rapporterade utsläpp.

3. Riskidentifiering

En nautisk riskbedömning inkluderar generellt risker som rör påsegling, kollision och grundstötning.

Påverkan på riskbilden utifrån platsspecifika förutsättningar kring Najaderna identifierades under en HAZID-workshop under ledning av SSPA. Workshopen ägde rum den 27 oktober 2022 tillsammans med olika representanter och intressenter för att säkerställa att alla relevanta risker identifierades. Deltagarna på workshopen sammanställs i Tabell 5.

Tabell 5. Deltagare på HAZID-workshop.

Namn	Aktör/organisation
Björn Forsman	SSPA
Maria Bännstrand	SSPA
Malin Wiskman	SSPA
Sebastian Irons	Sjöfartsverket
Amund Lindberg	Sjöfartsverket
Anna Laurell	Sjöfartsverket
Anders Björk	Sjöfartsverket
Måns Larsson	Eolus vind
Greta Aurell	Eolus vind
Anna Lundsgård	Eolus vind
Stina Ternhagen	Kustbevakningen

De viktigaste resultaten från HAZID-workshopen listats i punktform nedan:

- Najadernas projektområde överlappar med fartygstrafik både öster och söder om projektområdet
- Hopträngning av trafik mellan Najaderna och närliggande grundområden (Finngrunden och Argos grund)
- Kort avstånd mellan riksintresse för sjöfart och projektområde – kan orsaka radarstörningar samt ökar risken för allision
- Försvårad miljöräddning och sjöräddning inom projektområdet
- Sämre möjligheter till undanmanöver till följd av etablering av fasta objekt till havs
- Högre kollisionsrisk under anläggnings- och avvecklingsskede

Efter att ha sammanställt och jämfört allmänna risker och risker som identifierats under workshopen, har riskerna i Tabell 6 valts ut som relevanta för vidare analys⁵.

Tabell 6. Identifierade nautiska risker för Najaderna och referens till sektioner i rapporten där risker analyseras.

Id.	Olycksscenario	Referens
1.1	Fartyg styr in i vindkraftverk (powered allision)	6.1.1
1.2	Fartyg driver in i vindkraftverk (drifting allision)	6.1.2
1.3	Fartyg navigerar eller driver nära ett vindkraftverk och träffas av ett rotorblad	6.1.3
1.4	Fartyg fastnar i is och driver med isen in i ett vindkraftverk (drifting allision)	6.1.4
1.5	Fartyg som passerar genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk (allision)	6.1.5
1.6	Begränsad sikt och skydda sjösäkerhetsanordningar medför påsegling av vindkraftverk	6.1.6
2.1	Total kollision (alla kollisionstyper)	6.2.1
2.2	Omkörningskollision	6.2.2
2.3	Frontalkollision	6.2.3
2.4	Korsningskollision	6.2.4
2.5	Sammanvåvningskollision	6.2.5
2.6	Svängkollision	6.2.6
2.7	Kollision med arbetsfartyg under drift- anläggnings- och avvecklingsfas	6.2.7
3.1	Grundstötning styrande (powered grounding)	6.3.1
3.2	Grundstötning drivande (drifting grounding)	6.3.2
4.1	Störning av fartygsradar (target loss)	6.4.1
4.2	Störning av fartygsradar (navigationsstörning)	6.4.2
4.3	Störning av fartygsradar inom vindkraftsparken	6.4.3
4.4	Vindkraftsparken komplicerar sök- och räddningsaktioner	6.4.4
5.1	Förändrad isbeläggning till följd av vindkraftsetablering	6.5.1
5.2	Vindkraftsparken blockerar vinternavigationsrutter	6.5.2
6	Nedfallande föremål eller iskast från vindkraftverk	6.6
7.1	Skador på offshore-kablar	6.7.1
7.2	Kablar förhindrar nödankring	6.7.2
8	Kumulativa effekter av flera vindkraftsetableringar inom samma område	6.8

⁵ Urvalet av risker som analyseras är erfarenhetsbaserat och framtaget av flera experter, både riskanalytiker och sjöfartsexperter. För Najaderna identifierades risker i en HAZID-workshop (SSPA, 2022c). Flertalet riskworkshops och riskidentifieringar för andra liknande vindkraftsparker ligger bakom bedömningen av vilka risker som anses relevanta att analysera (exempelvis följande nautiska riskanalyser: Nautisk riskanalys vindpark Poseidon (SSPA, 2022a), Nautisk riskanalys vindkraftpark Fyrskippet (RISE, 2023), Navigational Risk Assessment of Hesselö Offshore Wind Farm (DNV, 2021b)). Exempel på risker som ska inkluderas i nautiska riskanalyser har också beskrivits översiktligt av Sjöfartsverket och Transportstyrelsen år 2009 (Sjöfartsverket & Transportstyrelsen, 2009) samt med uppdaterad version år 2023 (Sjöfartsverket & Transportstyrelsen, 2023). Risker som kan uppstå för sjöfart vid etablering av havsbaserad vindkraft beskrivs också av PIANC (2018).

4. Frekvenser

Sannolikheten för kollision, grundstötning och påsegling (allision) har beräknats med IWRAP. Beräkningen baseras på en modellering gjord för nollalternativet (ingen vindkraftspark) och för grundfallet (vindkraftspark enligt föreslagen exempellayout med sakliga antaganden om trafikförflyttning). Därtill har vissa osäkerhets- och känslighetsanalysfall genomförts. Modelleringen i sin helhet redovisas i Appendix C. Resultatet kan brytas ner på olika fartygstyper, fartygsstorlekar och fartygsstråk, samt på enskilda vindkraftverk, vilket nyttjas i riskberäkningarna i kapitel 6.

För scenarier där IWRAP inte har kunnat nyttjas har frekvenser uppskattats eller beräknats på andra sätt. Motiv till val av frekvens finns i riskberäkningarna i kapitel 6. En sammanställning av de frekvenser som används återfinns i Tabell 7.

Tabell 7. Beräknade eller uppskattade olycksfrekvenser som används i analysen. Förhållandet mellan beräknad frekvens (årlig sannolikhet) och frekvensindex (1-6) redovisas i avsnitt 1.2.3. Frekvensen avser de tillkommande olyckor som vindkraftsetablering kan ge upphov till.

Id.	Olycksscenario	Frekvens		
		Sannolikhet (per år)	Återkomsttid (år)	Frekvensindex (FI)
1.1	Fartyg styr in i vindkraftverk (powered allision)	4,0E-05	24 881	1,6
1.2	Fartyg driver in i vindkraftverk (drifting allision)	1,2E-03	866	3,1
1.3	Fartyg navigerar eller driver nära ett vindkraftverk och träffas av ett rotorblad	1,0E-05	100 000	<1,0
1.4	Fartygs fastnar i is och driver med isen in i ett vindkraftverk (drifting allision)	2,9E-02	34	4,5
1.5	Fartyg som passerar genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk	5,9E-03	170	3,8
1.6	Begränsad sikt medför påsegling av vindkraftverk	Bidragande faktor vid andra olycksförlopp. Frekvensen kan därför inte skattas separat.		
2.1	Total kollision	4,9E-05	20 387	1,7
2.2	Omkörningskollision	7,5E-06	133 797	0,9
2.3	Frontalkollision	5,4E-05	18 647	1,7
2.4	Korsningskollision	Oförändrad frekvens efter vindkraftsetablering.		
2.5	Sammanvävningskollision	Oförändrad frekvens efter vindkraftsetablering.		

2.6	Svängkollision	Oförändrad frekvens efter vindkraftsetablering.		
2.7	Kollision med arbetsfartyg under anläggnings- och avvecklingsfas	8,1E-04	1 232	2,9
2.7	Kollision med arbetsfartyg under driftsfas	Ingen kvantifiering görs ⁶ .		
3.1	Grundstötning navigerande fartyg (powered grounding)	Oförändrad frekvens efter vindkraftsetablering.		
3.2	Grundstötning drivande fartyg (drifting grounding)	2,9E-03	347	3,5
4.1	Störning av fartygsradar (target loss)	1,0E+00	1	6,0
4.2	Störning av fartygsradar (navigationsstörning)	1,0E-04	10 000	2,0
4.3	Störning av fartygsradar inom vindkraftsparken	1,6E-04	6 300	2,2
4.4	Vindkraftsparken försvårar sök- och räddningsaktioner	Ingen kvantifiering görs ⁷ .		
5.1	Förändrad isbeläggning till följd av vindkraftsetablering	Ingen kvantifiering görs ⁸ .		
5.2	Vindkraftsparken blockerar vinternavigationsrutter	Ingen kvantifiering görs ⁹ .		
6	Nedfallande föremål eller iskast från vindkraftverk	1,0E-05	100 000	1,0
7.1	Skador på offshore-kablar	Ingen kvantifiering görs ¹⁰ .		
7.2	Kablar förhindrar nödankring	Ingen kvantifiering görs ¹¹ .		

⁶ För de scenarion där ingen kvantifiering görs saknas tillräckligt kvantitativt underlag för att beräkningar ska kunna genomföras. Dessa risker hanteras därför kvalitativt.

⁷ Ibid.

⁸ Ibid.

⁹ Ibid.

¹⁰ Ibid.

¹¹ Ibid.

5. Konsekvenser

Denna riskbedömning fokuserar på konsekvenserna för människors hälsa och säkerhet samt miljön vid olyckor. I Tabell 2 på sidan 14 redovisas hur konsekvenserna av en olycka, såsom dödsfall och oljeutsläpp, graderas utifrån allvarlighetsgrad på en skala från 1 till 4, motsvarande *ingen allvarlig påverkan* till *katastrofal påverkan*.

Olika konsekvenser förväntas för olika fartygstyper och händelser. Konsekvenserna som antas i denna riskbedömning sammanställs i Tabell 8. Följande regler tillämpas för att välja konsekvenser:

- Samma konsekvenser antas oavsett fartygsstorlek.
- Samma konsekvenser antas för alla fundamenttyper
- Olika konsekvenser tillämpas beroende på vilka fartyg som är involverade:
 - Konsekvenser för människors hälsa och säkerhet antas vara mer allvarliga om ett passagerarfartyg är inblandat.
 - Konsekvenser för miljön antas vara mer allvarliga om ett tankfartyg är inblandat.
- Konsekvenser av en sammanstötning med ett manöverdugligt fartyg (högre fart) antas vara mer allvarliga än av en sammanstötning där ett fartyg driver.
- Konsekvenser väljs konservativt, d.v.s. till Najadernas nackdel.

Tabell 8. Konsekvenser som antas i ett troligt värsta scenario. Siffrorna som anges vid definitionen av konsekvenserna hänvisar till konsekvensnivåerna i riskmatrisen i avsnitt 1.2.3.

Olyckskategori	Konsekvens för människors hälsa och säkerhet (SI)	Konsekvens för miljön (SI)
Påsegling med manöverdugligt fartyg (<i>powered allision</i>) *	Passagerarfartyg: flera omkomna (4)	Tankerfartyg: motsvarande 1 000 ton oljespill (4)
Fartygskollision	Övriga fartyg: enstaka dödsfall eller flera allvarliga skador (3)	Övriga fartyg: motsvarande 10 ton oljespill (2)
Påsegling med ej manöverdugligt fartyg (<i>drifting allision</i>) *	Passagerarfartyg: enstaka dödsfall eller flera allvarliga skador (3)	Tankerfartyg: motsvarande 100 ton oljespill (3)
	Övriga fartyg: många eller allvarliga skador (2)	Övriga fartyg: motsvarande 10 ton oljespill (2)

* Kraften vid en allision fördelas mellan fartyget och vindkraftverket på ett sådant sätt att inget oljeutsläpp uppstår i 90% av fallen.

Inga rekommendationer för åtgärder för att minska risken beaktas när de förväntade konsekvenserna beskrivs i Tabell 8 ovan. Följande grundantaganden görs, vilka påverkar sannolikheten för att konsekvensen ska falla ut:

- Tankfartyg är utrustade med dubbelskrov till följd av MARPOL-konventionen
- Drivande fartyg går att återstarta med en tidsberoende reparationssannolikhet som redovisas i Appendix A
- Evakuering av besättning och passagerare initieras vid en incident
- Förberedelser för att hantera ett oljespill initieras vid en incident

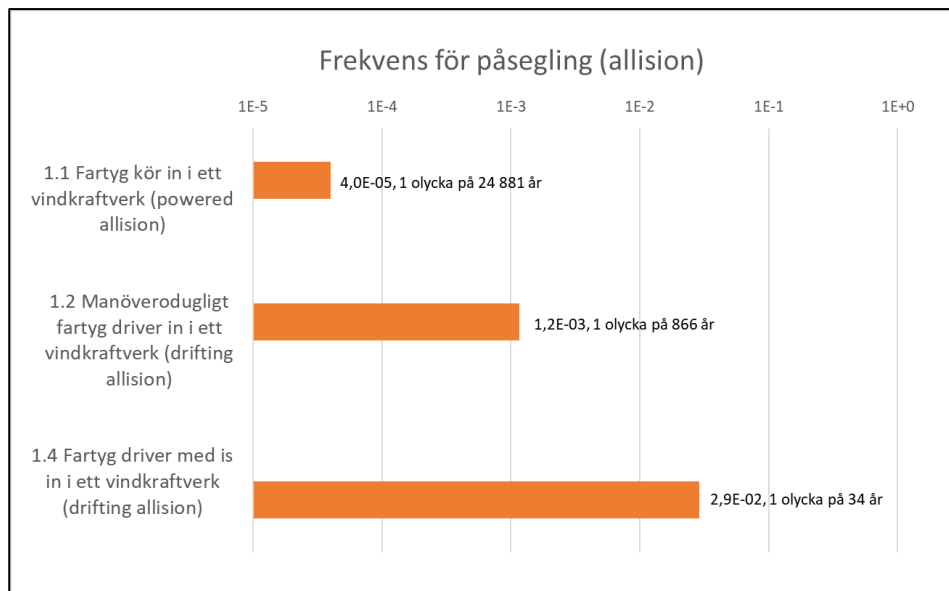
6. Riskanalys och riskvärdering

För de i avsnitt 3 identifierade riskerna beskrivs och bedöms nedan sannolikheten för att de ska inträffa samt konsekvenserna om händelsen inträffar. Sannolikheten uppskattas/beräknas baserat på att inga riskreducerande åtgärder vidtas. Konsekvenserna beskrivs separerat beroende på vad de avser (människors hälsa eller miljö).

Utifrån sannolikheten och konsekvenserna för respektive händelse uppskattas den risk som tillkommer på grund av att en vindkraftspark etableras i området jämfört med nuvarande risknivå (nollalternativet).

6.1 Påsegling (allision)

Vid etablering av Najaderna ökar sannolikheten för olika typer av påsegling. Påsegling innebär att ett fartyg styr eller driver in i en fast struktur, i detta fall i ett vindkraftverk. Den beräknade sannolikheten för olika typer av påsegling redovisas i Figur 17. Påseglingsrisken beskrivs vidare i avsnitt 6.1.1 till 6.1.6.



Figur 17. Illustrerar frekvensen för påsegling/allision (drivande, styrande och drivande i is) till följd av etablering av Najaderna vindkraftspark. Observera att skalan är logaritmisk.

6.1.1 Fartyg styr in i ett vindkraftverk (powered allision)

Navigerande fartyg som passerar Najaderna kan på grund av mänskliga eller tekniska faktorer oavsiktligt styra in i vindkraftsparken och kollidera med ett vindkraftverk (allision). Sannolikheten för att en undanmanöver inte kommer att vara framgångsrik i en sådan situation antas i modelleringen vara $1,6 \cdot 10^{-4}$ (Engberg, 2019).

Eftersom en påkörning sker snabbt tillgodoses inga avhjälpande eller konsekvenslindrande åtgärder såsom evakuering av passagerare eller förberedelser till hantering av en oljespillolycka i riskbedömningen.

Följande bedömning har gjorts av frekvenser och konsekvenser för fartyg som styr in i ett vindkraftverk:

Scenario 1.1, fartyg styr in i ett vindkraftverk: Fartyg som styr in i ett vindkraftverk antas kollidera med vindkraftverket i full fart. Frekvensen för detta beräknas till $4,0 \cdot 10^{-5}$ per år (varav 2 % av olyckorna inträffar med oljetankers, 98 % med övriga fartyg och 0 % med passagerarfartyg¹²). Frekvensen motsvarar en återkomsttid på 24 881 år.

Störst risk för påsegling av vindkraftverk förekommer i fartygsstråken sydväst om Najaderna. En viss del av påseglingsbidraget kommer också från fartygsstråket direkt öster om Najaderna. Fartygskategorin övriga fartyg är den fartygstyp som står för det största påseglingsbidraget. De enskilda vindkraftverk som utgör störst andel av påseglingsrisken är vindkraftverken som är placerade längs med Najadernas sydvästra kant.

I Tabell 9 nedan sammanställs frekvens, konsekvens och risk enligt kriterierna i avsnitt 1.2.3. Scenario 1.1 bedöms som *acceptabel* för både människor och miljö, främst på grund av mycket låg sannolikhet för att händelsen inträffar.

Tabell 9. Beräknad risk för att fartyg styr in i ett vindkraftverk. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö ¹³	Människa	Miljö
1.1	Fartyg styr in i ett vindkraftverk (powered allision)	1,6	3,0	1,5	4,6	3,1

6.1.2 Fartyg driver in i ett vindkraftverk (drifting allision)

Fartyg som passerar Najaderna kan på grund av tekniskt fel (till exempel blackout/maskinhaveri) förlora manöverdugligheten och börja driva. Beroende på vindriktning kan fartyget driva in i vindkraftsparken och kollidera med ett vindkraftverk (allision). Förloppet kan avbrytas om felet blir avhjälp eller genom nödankring alternativt nödbogsering av fartyget.

¹² Andelen fartygstyper som utgör riskbidraget baseras på AIS-data i området. När olycksfrekvenserna beräknas framgår det också av resultatet vilka typer av fartyg som utgör störst riskbidrag inom den analyserade olyckshändelsen. Beroende på var inom analyserat området som olycksfrekvensen är som störst varierar också riskbidraget från olika fartygstyper. Därför kan riskbidraget från olika fartygstyper förändras beroende på vilken typ av olyckshändelse som analyseras. Detta får betydelse eftersom olika fartygstyper medför olika stora konsekvenser.

¹³ Konsekvenserna för miljö bedöms inträffa 1 gång på 10 olyckor.

De flesta fartyg upplever ungefär en blackout per år (antalet blackouter för ett visst fartyg kommer vanligtvis att ligga i intervallet från 0,1 till 2 blackouter per år) (Engberg, 2019). Den faktiska frekvensen av blackout 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 frekvens av blackout (~0,1 per år). För andra fartygstyper är frekvensen av blackout högre (~0,75 per år).

I modelleringen av riskerna från Najaderna har fartygsreparation och nödankring tillgodoräknats som avhjälpande åtgärder. Nödankring tillgodoräknas där djupet är sådant att nödankring bedöms som en rimlig åtgärd. I modelleringen antas nödankring vara möjligt då djupet är mindre än 7 gånger fartygets djupgående. Detta är ett konservativt antagande och många gånger kan nödankring lyckas även på djupare vatten. Nödankring antas lyckas i 70 % av de fall där det utförs.

För ett drivande fartyg kan det finnas tid att vidta konsekvenslindrande åtgärder såsom att evakueras besättning och passagerare från det drivande fartyget samt förbereda livräddning och hantering av utsläpp om fartyget skulle driva mot ett vindkraftverk.

Följande bedömning har gjorts av frekvenser och konsekvenser för fartyg som driver in i ett vindkraftverk:

Scenario 1.2, fartyg driver in i ett vindkraftverk: Fartyg som driver in i ett vindkraftverk antas kollidera med vindkraftverket i en fart av 1–2 knop. Frekvensen för detta beräknas till $1,2 \cdot 10^{-3}$ per år (varav 2 % av olyckorna inträffar med oljetankers, 0 % med passagerarfartyg och 98 % med övriga fartyg). Evakuering av passagerare och förberedelser för att hantera ett oljespill antas påbörjas medan fartyget driver. Frekvensen motsvarar en återkomsttid på 866 år.

Det är främst övriga fartyg som driver från trafikstråken sydväst om Najaderna som kolliderar med vindkraftverk i Najadernas sydvästra område som bidrar till risken. Till viss del utgörs också riskbidraget av fartyg från fartygsstråket direkt öster om Najaderna.

I Tabell 10 nedan sammanställs frekvens, konsekvens och risk enligt kriterierna i avsnitt 1.2.3. Scenario 1.2 bedöms som *acceptabel* för miljö och *ALARP* för människa. Risken för människa ligger dock lågt inom ALARP.

Tabell 10. Beräknad risk för att fartyg driver in i ett vindkraftverk. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvenser (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö ¹⁴	Människa	Miljö
1.2	Fartyg driver in i ett vindkraftverk (drifting allision)	3,1	2,0	1,0	5,1	4,1

¹⁴ Konsekvenserna för miljö bedöms inträffa 1 gång på 10 olyckor.

6.1.3 Fartyg navigerar eller driver nära ett vindkraftverk och träffas av ett rotorblad

Följande bedömning har gjorts av frekvenser och konsekvenser för fartyg som navigerar eller driver nära ett vindkraftverk och träffas av ett rotorblad:

Scenario 1.3, allision med rotorblad: I avsnitt 6.1.1 och 6.1.2 beräknades styrande och drivande allision vara en *sällsynt*¹⁵ till *extremt sällsynt*¹⁶ händelse. Frekvensen för att fartyg ska driva eller navigera så nära ett vindkraftverk att det riskerar att träffas av en vingspets eller ett rotorblad bedöms därför också som en händelse som är minst lika sällsynt som vanlig drivande eller styrande allision (enligt scenario 1.1 och 1.2). Dessutom finns det många faktorer som hindrar att ett fartyg träffas av en vingspets eller ett rotorblad, varav några som kan nämnas är att:

- Få fartyg är så höga att de når rotorbladens svepyta, vilket minskar antalet fartyg som kan träffas av ett rotorblad.
- När ett fartyg närmar sig kan en nödavstängningsfunktion av vindkraftverken aktiveras, på plats eller fjärrstyrd. Denna funktion har hög tillförlitlighet.
- Drivande fartyg kommer även, oftast, ha tid innan de når ett vindkraftverk vilket kan möjliggöra konsekvenslindrande åtgärder som evakuering av passagerare eller förberedelser till hantering av oljespill.

På grund av ovan nämnda faktorer bedöms denna händelse inträffa mer sällan än 1 gång på 1 miljon år i vindkraftsparken¹⁷ vilket motsvarar en mer än extremt sällsynt händelse (frekvens lägre än 1 enligt värderingskriterierna i avsnitt 1.2.3).

I Tabell 11 nedan sammanställs frekvens, konsekvens och risk enligt kriterierna i avsnitt 1.2.3. Denna risk har inte beräknats i IWRAP. Index för frekvens och konsekvens baseras i stället på de beräkningar av allision som genomfördes i avsnitt 6.1.1 och 6.1.2. Konsekvensen sätts till samma som för styrande (powered) allision vilken bedöms som konservativt. Scenario 1.2 bedöms som *acceptabel* för både människor och miljö.

Tabell 11. Uppskattad risk för att fartyg styr eller driver nära ett vindkraftverk och träffas av dess rotorblad. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö ¹⁸	Människa	Miljö
1.3	Fartyg navigerar eller driver nära ett vindkraftverk och träffas av ett rotorblad	<1	3	1,5	<4	<3

¹⁵ För drivande allision.

¹⁶ För styrande allision.

¹⁷ Antagandet baseras på att man var 100:e gång misslyckas med att nödstoppa vindkraftverket och därutöver förväntas ungefär var tionde fartyg som kommer in i parken vara så högt att det når upp till svepytan för vindkraftverket. Först om dessa två scenarier inträffar samtidigt riskerar fartyget en kollision med ett rotorblad.

¹⁸ Konsekvenserna för miljö bedöms inträffa 1 gång på 10 olyckor.

6.1.4 Fartyg fastnar i is och driver med isen in i ett vindkraftverk (drifting allision)

Vind, strömmar eller dravis kan medföra att fartyg fastnar i is och drivs mot vindkraftsparken. Frekvensen för att fartyg fastnar i och driver med is påverkas visserligen inte direkt av byggandet av en vindkraftspark, men konsekvenserna kan bli mer allvarliga eftersom fartyg då kan driva in i ett vindkraftverk. Scenario 1.4 representerar risken för allision med ett vindkraftverk för ett fartyg som driver med isen in i vindkraftsparken.

Ett fartyg kan fastna både i dravis och fast is. Fast is som bryts upp av ett fartyg kan bilda packis som, om vinden (eller strömhastigheten) är tillräckligt hög, kan medföra drift av fartyg med is. Isens drifhastighet kan vara cirka 2–3 % av vindhastigheten (Finnish Maritime Administration & Swedish Maritime Administration, 2005).

För att kunna beräkna frekvensen av scenariot med isbeläggning till havs i IWRAP har parametrar och inställningar justerats baserat på tillgängliga data för att återspegla vinterförhållanden. Dessa parametrar avviker från de officiella parametrarna i programvaran och kan anses relativt konservativa. Följande justeringar görs i IWRAP vid beräkning av allision under vinterförhållanden:

- IWRAP:s generella sannolikhet för att ett fartyg börjar driva ökas med en faktor 2, för att återspegla både det faktum att vinterförhållanden kan orsaka fler incidenter med manöverodugliga fartyg, och att fartyg kan fastna och driva med isen medan de väntar på isbrytarassistans.
- IWRAP:s drifhastighet höjs också från 1 knop till 2 knop, vilket representerar hastigheten för fartyg som driver med isen. 2 knop är ett konservativt antagande eftersom isens drifhastighet uppskattas till 2–3 % av vindhastigheten. Det betyder att 2 knop representerar en vindhastighet över 30 m/s. Den genomsnittliga vindhastigheten i området är cirka 9 m/s, och vindhastigheten är ofta lägre under hårda vintrar.
- Möjlighet till avhjälpande åtgärd för fartyg (ankring eller reparation efter blackout) tillgodoräknas inte. Detta trots att det många gånger kan vara möjligt att ankra, så länge isen inte är för tjock och vattendjupet är sådant att ankring är möjligt. Även reparation av fartyget kan vara möjligt.

Dessa antaganden och justeringar av parametrar anses utgöra värsta tänkbara scenario eftersom modelleringen medför att ett fartyg som fångas av is både driver med högre hastighet och under längre tid än vad som är troligt i verkligheten.

Förutom ovanstående ska det tilläggas att Najaderna är lokaliserad relativt långt söderut i Bottenhavet och isbeläggningen är därför vanligtvis mindre omfattande. Trafikdata som använts i beräkningarna är från vintern 2023–2024 som var en normal isvinter vilken innebar isbeläggning i området under cirka 2 månader. Mycket av fartygstrafiken kan därför fortgå som vanligt under nästan hela året vilket medför att trafikflödet under vinterhalvåret är ungefär jämförbart med trafikflödet under sommaren. I hårdare vinterförhållanden införs också hårdare restriktioner för fartygstrafiken vilket medför att färre fartyg får och kan röra sig i området. Färre fartyg medför också lägre risk för olycka. Eftersom trafiken som använts i beräkningarna för isolyckor representerar trafik med få eller inga restriktioner kopplade till isbeläggning är därför antalet fartyg större än vad det hade varit under en hårdare isvinter. Detta medför att resultatet av denna riskbedömning kan ses som mycket konservativt. Dessutom beräknas risker per

år. Detta innebär att resultatet från denna risk minst kan halveras eftersom vinterförhållanden aldrig pågår mer än halva året. På Najadernas breddgrader är det dessutom högst troligt att ytterligare reduktion av beräknad risknivå tillkommer eftersom vinterförhållanden med påverkan på risken för sjöfart endast förekommer under korta perioder vintertid.

Det ska också tilläggas att hårda isvintrar med stor påverkan på sjöfarten sällan inträffar på de breddgrader där Najaderna avses lokaliseras. Denna risk förväntas därför realiseras betydligt mer sällan än vad resultatet tyder på. Klimatförändringarna medför dessutom troligtvis att vintrarna i framtiden kan bli ännu mildare än vad som hittills inträffat (SMHI, 2021).

Följande bedömning har gjorts av frekvenser och konsekvenser för fartyg som fastnar i is och driver med isen in i vindkraftverk:

Scenario 1.4 drivande allision under isförhållanden: Frekvensen för denna händelse vid etablering av Najaderna är $2,9 \cdot 10^{-2}$ per år (varav 2 % är olyckor som inträffar med oljetankers, 0 % med passagerarfartyg och 98 % med övriga fartyg). Frekvensen motsvarar en återkomsttid på 34 år.

I Tabell 12 nedan sammanställs frekvens, konsekvens och risk enligt kriterierna i avsnitt 1.2.3. Scenario 1.4 bedöms som ALARP för både människor och miljö.

Tabell 12. Beräknad risk för att fartyg fastnar i is och driver in i ett vindkraftverk. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö ¹⁹	Människa	Miljö
1.4	Fartyg fastnar i is och driver med isen in i ett vindkraftverk (drifting allision)	4,5	2,0	1,0	6,5	5,5

På grund av de mycket konservativa antagandena som ligger till grund för denna analys (riskberäkning per år, fler fartyg än vad som väntas under svåra isvintrar, låg sannolikhet för svåra isvintrar på dessa breddgrader samt konservativt inställda parametrar i IWRAP) bedöms risknivån vara representativ, och till och med konservativ, även för svåra isvintrar. Trots att analysen utgått från en normal isvinter (2023-2024) bedöms alltså risknivån även kunna appliceras på svåra isvintrar, exempelvis vintern 2010-2011.

6.1.5 Fartyg som passerar genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk (allision)

Under 2022 passerade cirka 200 fartyg genom Najadernas projektområde. Efter etablering av Najaderna är det troligt att de allra flesta fartyg kommer att välja en rutt utanför Najaderna istället. Endast mindre fartyg (<50 meter) förväntas ha möjlighet att passera genom projektområdet.

Följande bedömning har gjorts av frekvenser och konsekvenser för fartyg som passerar genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk:

¹⁹ Utsläpp vid olycka bedöms inträffa en gång per 10 olyckor.

Scenario 1.5, fartyg som passerar genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk: Cirka 15 % (ungefär 100 passager av totalt cirka 700 passager) av fartygen som passerade genom Najaderna under analysåret (2023–2024) hade en längd på mindre än 50 meter. Dessa fartyg antas välja en rutt genom Najaderna även efter etablering av vindkraftverk. Övriga fartyg antas välja en rutt utanför vindkraftsparken eftersom det inte finns tillräckligt med utrymme för större fartyg för en undanmanöver (360° gir) inne i vindkraftsparken.

Sannolikheten för att ett litet fartyg seglar på ett vindkraftverk uppskattas vara en oväntad händelse (knappt 1 olycka på 100 år)²⁰. Om händelsen inträffar förväntas den leda till flera mindre eller ett fåtal allvarligare skador hos passagerare/besättning på fartyget (Konsekvens, SI = 2). Var tionde gång olyckan inträffar förväntas det leda till ett utsläpp motsvarande upp till 1 ton olja (mindre fartyg bär med sig mindre bränsle och inget av de mindre fartygen är oljefartyg, från AIS-statistiken 2022).

I Tabell 13 nedan sammanställs frekvens, konsekvens och risk enligt kriterierna i avsnitt 1.2.3. Scenario 1.5 bedöms som *ALARP* för människor och *acceptabelt* för miljö.

Tabell 13. Uppskattad risk för att ett fartyg som passerar genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö ²¹	Människa	Miljö
1.5	Fartyg som passerar genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk (allision)	3,8	2,0	1,0	5,8	4,8

6.1.6 Begränsad sikt och skymda sjösäkerhetsanordningar medför påsegling av 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 sikt. I många fall har det noterats att snöfall har försvårat både visuella observationer och användning av radar, även om dessa inte är de enda bidragande faktorerna till en olycka (Finnish Maritime Administration & Swedish Maritime Administration, 2005). En

²⁰ Beräkningarna är baserade på följande:

- 100 fartyg årligen med en längd på <50 meter förväntas passera genom Najaderna efter etablering av vindkraftverk.
- Medelhastigheten för fartygen genom Najaderna 2022 är 10 knop.
- Den längsta tänkbara passage genom Najaderna (båda projektområdet från norr till söder) är 16 M (cirka 30 km).
- Sannolikheten för maskinhaveri (blackout) är densamma som i IWRAP, 1,5 per fartygsår (Engberg, 2019).
- Sannolikheten för mänskligt fel är $3 \cdot 10^{-5}$ per år och nautisk mil (SSPA Sweden AB, 2008).
- Frekvensen för mänskligt eller tekniskt fel är beräknad baserad på ovan information till $5,9 \cdot 10^{-3}$ vilket ger en återkomsttid för olycka på 170 år.
- Fundamenten har beräknats vara 30 meter i diameter och avståndet mellan vindkraftverken är minst 1000 meter. Eftersom vindkraftverkens fundament upptar en så liten del av parkytan bedöms mindre än 10% av alla händelser där ett fartyg drabbas av mänskligt eller tekniskt fel resultera i påsegling av ett vindkraftverk.

²¹ Utsläpp vid olycka bedöms inträffa en gång per 10 olyckor.

annan visuell problematik vid etablering av vindkraft till havs är att parken kan skymma befintliga sjösäkerhetsanordningar, exempelvis fyrar.

Fartygens GPS-system har visat sig vara utsatta och möjliga att störa vilket höjer värdet av att ha visuella referenser (sjösäkerhetsanordningar eller vindkraftverk) för navigering relativt att navigera genom exempelvis ett grundområde intill Natura 2000-områdena norr om Najaderna, vilka saknar öar.

Sjösäkerhetsanordningar spelar en viktig roll vid navigering till havs, framför allt om satellitpositioneringssystem av olika anledningar slås ut eller försämras tillfälligt. Det finns indikationer på att störningar av satellitnavigeringssystem har ökat i svenska och finska farvatten under senare tid. Därmed blir det viktigare att säkerställa att förutsättningarna för att nyttja referenser för navigation (sjösäkerhetsanordningar eller andra visuella referenspunkter till havs) inte försämras vid etablering av havsbaserad vindkraft.

Följande bedömning har gjorts av frekvenser och konsekvenser för att begränsad sikt eller skymda sjösäkerhetsanordningar (fyr, boj eller liknande) gör att ett fartyg styr in i ett vindkraftverk:

Scenario 1.6, begränsad sikt medför påsegling av vindkraftverk: Detta scenario innebär att vindkraftverkens synlighet är begränsad vid dimma, regn, snö och mörker, vilket ökar sannolikheten för att fartyg ska styra in i ett vindkraftverk. Scenariot berör också risken för skymda sjösäkerhetsanordningar med efterföljande olycksproblematik.

Fartyg är generellt utrustade med flera system för informationsinhämtning såsom AIS och fartygsradar. Det krävs således i tillägg ett mänskligt eller tekniskt fel för att begränsad synlighet ska leda till påsegling av vindkraftverk. Scenariot kan således bidra till andra påseglingsrisker (se avsnitt 6.1.1, 6.1.3 och 6.1.5).

Siktpåverkan är invägd i sannolikheten för att missa undanmanöver och ingår således i riskuppskattningen för ovan listade händelser med påsegling av vindkraftverk. Hur mycket sikten bidrar kan inte värderas enkelt men risken klassas konservativt som *ALARP* för vidare hantering.

Radarstörningar från vindkraftverken kan innebära att förmågan att navigera i dåligt väder, vid dimma eller i mörker förändras. Denna risk hanteras dock vidare i avsnitt 6.4.

Vindkraftsparken kan också riskera att skymma befintliga sjösäkerhetsanordningar vilket kan försvåra fartygsnavigeringen i området. Najaderna planeras i närheten av ett flertal fyrar, bland annat fyren vid Argos grund, Björns fyr i Björns skärgård, kassunfyren vid Västra banken och kassunfyren vid Finngrunden. Fyrarna riskerar att skymmas av etablerade vindkraftverk. Vindkraftverken är dock bra referenspunkter för terrester navigation och vindkraftsparken i sig är en mycket tydlig navigationspunkt och kommer att markeras enligt IALA:s rekommendationer. Under dagtid, och vid god sikt, kommer vindkraftsparken att vara synlig visuellt från fartyg som använder omgivande sjövägar. Vindkraftverken kommer även att vara utrustade med fasadbelysning, vilket ökar synligheten och orienteringsmöjligheten även i mörker. Vidare kommer vindkraftverken att utgöra goda radarmål (referenspunkter för fartygsradar) vilket ytterligare bidrar till säker fartygsnavigering. Dessutom kommer fartygstrafiken runt vindkraftsparken att övervakas och fartyg på fel kurs kommer att kunna upptäckas med både radar och AIS-signal.

Hur omfattningen av eventuellt skymda sjösäkerhetsanordningar påverkar sjösäkerheten i området klassas konservativt som *ALARP* för vidare hantering, förslagsvis i samråd med Sjöfartsverket.

Tabell 14 summerar uppskattad risk för scenario 1.6.

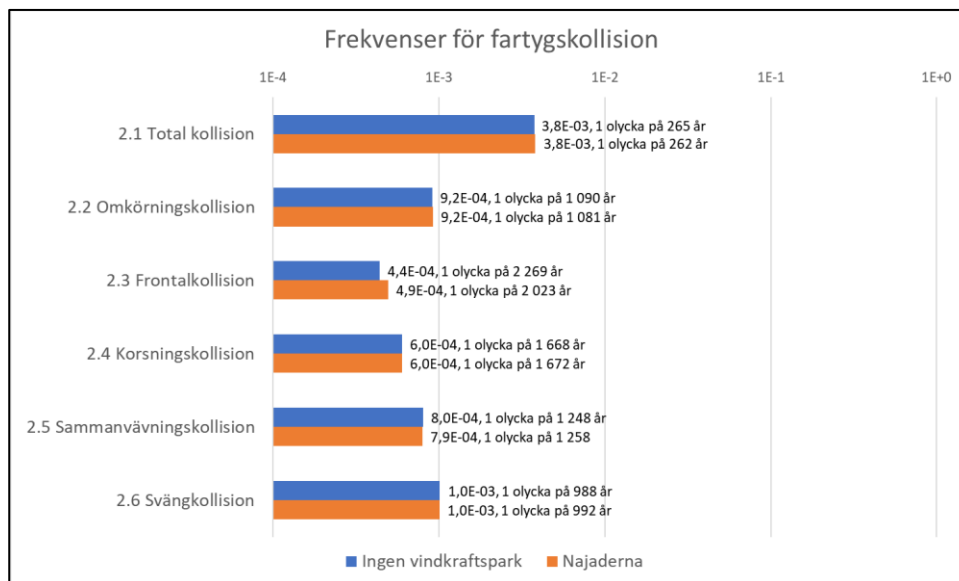
Tabell 14. Uppskattad risk för att ett fartyg kolliderar med ett vindkraftverk på grund av begränsad sikt. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö	Människa	Miljö
1.6	Begränsad sikt och skymda sjösäkerhetsanordningar medför påsegling av vindkraftverk		-		ALARP	

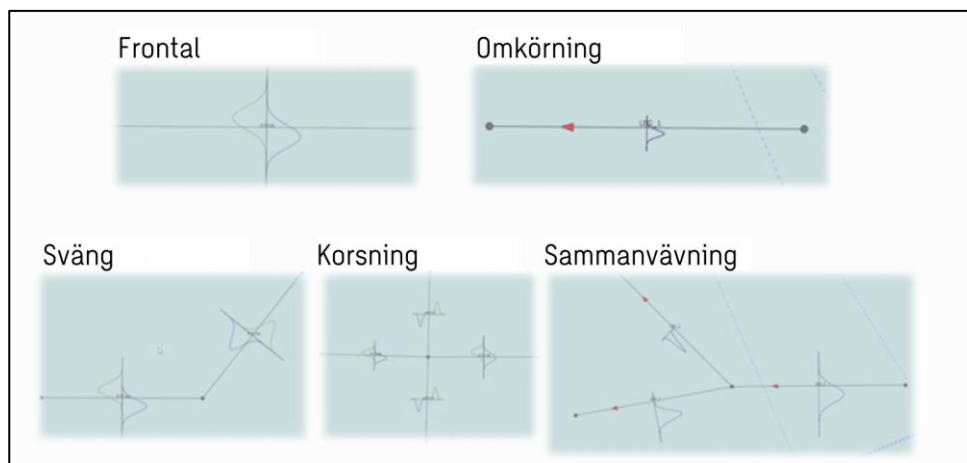
6.2 Fartygskollision

När Najaderna etableras förväntas påverkan på trafikmönstret leda till något tätare trafik utanför projektområdet och kan följaktligen leda till andra situationer där kollisioner kan uppstå, eftersom alla fartyg inte längre kommer att kunna passera genom projektområdet. Detta kan öka sannolikheten för kollisioner.

Kollisionsfrekvensen innan och efter vindkraftsetablering har beräknats baserat på AIS-data från maj 2023 till april 2024. Vid genomförd modellering beräknas sannolikheten för fem olika kollisionstyper; omkörningskollision, frontalkollision, korsningskollision, sammanvävningskollision och svängkollision. Frekvensen för samtliga kollisionstyper samt för total kollision redovisas i Figur 18. I figuren illustreras både kollisionsfrekvensen innan och efter etablering av Najaderna. De olika kollisionstyperna illustreras som bild i Figur 19.



Figur 18. Illustrerar frekvensen för kollision innan och efter etablering av Najaderna (exempellayout). Observera att skalan är logaritmisk.



Figur 19. Bildförklaring av de fem analyserade kollisionstyperna.

Resultatet tyder på att skillnaderna i kollision innan och efter etablering av Najaderna är mycket små. Den totala kollisionsfrekvensen är närmast oförändrad. Frontalkollision är den kollisionstyp som visar på störst förändringar innan och efter etablering av Najaderna. För övriga kollisionstyper är förändringarna mycket små. För kollisionstyperna korsningskollision, sammanvävningskollision och svängkollision tyder återkomsttiden på en något förbättrad kollisionsrisk efter etablering av Najaderna. Mer om detta i avsnitt 6.2.4 till avsnitt 6.2.6 nedan.

För att på ett tydligare sätt kunna se skillnader i kollisionsrisk innan och efter vindkraftsetablering studeras riskförändringarna separat i avsnitt 6.2.1 till 6.2.6 nedan. Där illustreras den tillkommande risken för respektive kollisionstyp efter vindkraftsetablering.

6.2.1 Total kollision (alla kollisionstyper)

När Najaderna är etablerad kommer trafikmönstret att påverkas, med mindre trafik genom vindkraftsparken och tätare trafik runt parken. Följaktligen uppstår nya situationer där kollisioner kan inträffa.

Följande bedömning har gjorts av frekvenser och konsekvenser för total kollision (alla kollisionstyper):

Scenario 2.1 Total kollision (alla kollisionstyper): Den tillkommande frekvensen för total kollision efter etablering av Najaderna uppgår till $4,9 \cdot 10^{-5}$ per år (varav 5 % är olyckor som inträffar med oljetankers, 0% med passagerarfartyg och 95 % med övriga fartyg). Frekvensen motsvarar en återkomsttid för olycka på 20 387 år.

I Tabell 15 nedan sammanställs frekvens, konsekvens och risk enligt kriterierna i avsnitt 1.2.3. Scenario 2.1 bedöms som *acceptabel* för både människor och miljö.

Tabell 15. Beräknad tillkommande risk för total kollision efter etablering av Najaderna. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3. Observera att tabellen illustrerar tillkommande risk, alltså riskskillnaden mellan total kollision innan och efter etablering av Najaderna.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö	Människa	Miljö
2.1	Total kollision (tillkommande efter etablering av Najaderna)	1,7	2,7	2,5	4,4	4,2

6.2.2 Omkörningskollision

När Najaderna etableras kan trafikändringarna medföra fler situationer där omkörningskollision kan ske. Framförallt förväntas trafiken som idag passerar genom Najadernas södra hörn trängas ihop med trafiken som passerar söder om Najaderna. Dessutom förväntas trafiken trängas ihop i stråket direkt öster om Najaderna eftersom möjligheterna för trafiken att sprida ut sig längre öster om parken begränsas av grundområden. Detta medför att mer trafik kommer att färdas inom smalare passager. På grund av att det redan idag går relativt lite trafik i berörda stråk blir dock hopträngningen, och därmed även riskökningen för omkörningskollision, relativt liten.

Följande bedömning har gjorts av frekvenser och konsekvenser för omkörningskollision:

Scenario 2.2 omkörningskollision: Den tillkommande frekvensen för omkörningskollision efter etablering av Najaderna uppgår till $7,5 \cdot 10^{-6}$ per år (varav 9 % är olyckor som inträffar med oljetankers, 0 % med passagerarfartyg och 91 % med övriga fartyg). Frekvensen motsvarar en återkomsttid för olycka på 133 797 år.

I Tabell 16 nedan sammanställs frekvens, konsekvens och risk enligt kriterierna i avsnitt 1.2.3. Scenario 2.2 bedöms som *acceptabel* för både människor och miljö.

Tabell 16. Beräknad tillkommande risk för omkörningskollision efter etablering av Najaderna. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3. Observera att tabellen illustrerar tillkommande risk, alltså riskskillnaden mellan omkörningskollision innan och efter etablering av Najaderna.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö	Människa	Miljö
2.2	Omkörningskollision	0,9	3,0	3,0	3,9	3,9

6.2.3 Frontalkollision

Vid etablering av Najaderna förväntas viss hopträngning öster och söder om vindkraftsparken. Vid hopträngning kan mötande fartyg hamna närmare varandra och risken för frontalkollision kan öka.

Följande bedömning har gjorts av frekvenser och konsekvenser för frontalkollision:

Scenario 2.3 Frontalkollision: Den tillkommande frekvensen för frontalkollision efter etablering av Najaderna uppgår till $5,4 \cdot 10^{-5}$ per år (varav 4 % är olyckor som inträffar med oljetankers, 0 % med passagerarfartyg och 96 % med övriga fartyg). Frekvensen motsvarar en återkomsttid för olycka på 18 647 år.

I Tabell 17 nedan sammanställs frekvens, konsekvens och risk enligt kriterierna i avsnitt 1.2.3. Scenario 2.3 bedöms som *acceptabel* för både människor och miljö.

Tabell 17. Beräknad tillkommande risk för frontalkollision efter etablering av Najaderna. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3. Observera att tabellen illustrerar tillkommande risk, alltså riskskillnaden mellan frontalkollision innan och efter etablering av Najaderna.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö	Människa	Miljö
2.3	Frontalkollision	1,7	3,0	2,7	4,7	4,4

6.2.4 Korsningskollision

Följande bedömning har gjorts av frekvenser och konsekvenser för korsningskollision:

Scenario 2.4 Korsningskollision: För att risknivån för korsningskollision ska förändras efter etableringen av Najaderna krävs att nya situationer där korsningskollision kan inträffa uppstår. Som följd av etablering av Najaderna förväntas antalet stråk söder om Najaderna bli färre, samtidigt som fler fartyg färdas inom de kvarvarande stråken. Detta eftersom trafiken i de stråk som idag går genom projektområdet flyttas in i befintliga stråk utanför projektområdet. Inga nya stråk bildas och antalet korsningar mellan olika stråk blir färre. Till följd av detta uppstår inte heller några nya korsningar som skulle kunna påverka risken för korsningskollisioner. Således bedöms denna risk, enligt beräkningar i IWRAP, inte öka trots etablering av Najaderna.

Det kan dock tänkas att risken för korsningskollisioner borde öka eftersom det blir fler fartyg som färdas inom de kvarvarande korsningarna. Anledningen till att risken för korsningskollision minskar trots hopträngning i kvarvarande stråk är

sannolikt att den riskreducerande effekt som färre korsningar medför överväger den riskökande effekt som kan uppstå vid trängre korsningar, främst eftersom förflyttningen av fartyg inte berör särskilt många fartyg i det aktuella fallet. Hopträngningseffekten blir därmed ganska liten. Som exempel kan det konstateras att om antalet fartyg i ett stråk ökar från 500 fartyg per år till 1 000 fartyg per år så är sannolikheten för möte mellan två fartyg i samma korsning fortfarande relativt låg. 500 fartyg medför ca 1,5 fartyg per dygn och 1 000 fartyg medför ca 3 fartyg per dygn. På ett helt dygn är det sannolikt att de sprids ut under olika tidpunkter oavsett om där färdas 1,5 eller 3 fartyg varje dygn. Risken för konflikter dem emellan förblir därmed låg. Detta resonemang gäller även för sammanvävningskollision och svängkollision som beskrivs i avsnitt 6.2.5 och 6.2.6 nedan.

6.2.5 Sammanvävningskollision

Följande bedömning har gjorts av frekvenser och konsekvenser för sammanvävningskollision:

Scenario 2.5 Sammanvävningskollision: För att risknivån för sammanvävningskollision ska förändras efter etableringen av Najaderna krävs att nya situationer där sammanvävningskollision kan inträffa uppstår. Som följd av etablering av Najaderna förväntas antalet stråk söder om Najaderna bli färre, samtidigt som fler fartyg färdas inom de kvarvarande stråken. Detta eftersom trafiken i de stråk som idag går genom projektområdet flyttas in i befintliga stråk utanför projektområdet. Inga nya stråk bildas och antalet korsningar mellan nya stråk blir färre. Till följd av detta uppstår inte heller några nya punkter som skulle kunna påverka risken för sammanvävningskollisioner. Således förblir denna risk oförändrad trots etablering av Najaderna.

6.2.6 Svängkollision

Följande bedömning har gjorts av frekvenser och konsekvenser för svängkollision:

Scenario 2.4 Svängkollision: För att risknivån för svängkollision ska förändras efter etableringen av Najaderna krävs att nya situationer där svängkollision kan inträffa uppstår. Som följd av etablering av Najaderna förväntas antalet stråk söder om Najaderna bli färre, samtidigt som fler fartyg färdas inom de kvarvarande stråken. Detta eftersom trafiken i de stråk som idag går genom projektområdet flyttas in i befintliga stråk utanför projektområdet. Inga nya stråk bildas och antalet korsningar mellan olika stråk blir färre. Till följd av detta uppstår inte heller några nya punkter som skulle kunna påverka risken för svängkollision. Således förblir denna risk oförändrad trots etablering av Najaderna.

Till följd av att trafik som idag passerar genom Najadernas södra hörn behöver flyttas till söder om Najaderna skapas dock en ny girpunkt för fartyg norrifrån och österifrån. Detta kan i realiteten medföra en något ökad risknivå för dessa fartyg som inte framgår av IWRAP-beräkningarna. Anledningen till att denna eventuella riskökning inte framgår av IWRAP-beräkningarna är att antalet vägpunkter (waypoints) blir färre i IWRAP-modelleringen vilket automatiskt genererar lägre risk för de olycksscenarioer som inträffar vid vägpunkter (waypoints).

Trots en eventuell riskökning för fartyg som tvingas till en ny gir söder om Najaderna bedöms denna risk som mycket låg (acceptabel), främst på grund av att giren endast berör ett mindre antal fartyg årligen.

6.2.7 Kollision med arbetsfartyg under drift-, anläggnings- och avvecklingsfas

Under drifts-, anläggnings- och avvecklingsfasen kan arbets- och servicetrafikfartyg kollidera med den reguljära fartygstrafiken när de navigerar till eller från Najaderna (scenario 2.7). I Tabell 18 illustreras denna risk under anläggnings- och avvecklingsfasen.

Följande bedömning har gjorts av frekvenser och konsekvenser för kollision med arbetsfartyg under anläggnings- och avvecklingsfasen:

Scenario 2.7, Kollision med arbetsfartyg under anläggnings- och avvecklingsfasen: Under anläggnings- och avvecklingsfasen har antalet ytterligare fartygspassager uppskattats till cirka 1 500 passager årligen. Dessa fartyg består till stor del av stora installationsfartyg för kablar, vindturbiner och fundament samt transportfartyg. Installationsfartygen kan uppgå till en längd på cirka 200 meter. Ett antal mindre servicefartyg behövs också i anläggnings- och avvecklingsfasen. Servicetrafikfartygen förväntas uppgå till en längd på cirka 50 meter. Konservativt bedöms 70 % av total arbetstrafik till och från Najaderna utgöras av större installations- och transportfartyg. Resterande 30 % förväntas utgöras av mindre servicefartyg.

I dagsläget är det ännu inte avgjort vilken hamn som kommer att användas som installationshamn. Ett tänkbart alternativ är Gävle hamn. Riskberäkningar med arbetstrafik utgående från Gävle hamn har därför genomförts. Arbetstrafiken från Gävle hamn har lagts till i befintliga stråk mellan hamnen och Najaderna. Detaljer om hur trafiken fördelats i olika stråk kan ses i Appendix C.

Den av vindkraftsparken inducerade frekvensen för denna händelse under etableringen av Najaderna uppskattas till $8,1 \cdot 10^{-4}$ per år (varav 2 % är olyckor som inträffar med oljetankers, 98 % med övriga fartyg och 0 % med passagerarfartyg).

Samma konsekvenser som för andra kollisionstyper antas. Risken som illustreras i tabellen nedan representerar den tillkommande risken som ett resultat av etableringen av Najaderna. Detta innebär att skillnaden mellan kollisionsrisken idag (nollalternativet) och kollisionsrisken under etableringen/avveckling av Najaderna illustreras. Observera att risker med konsekvenser som enbart påverkar arbetsfartygen (inklusive kollisioner mellan enbart arbetsfartyg) också ingår i risksammanställningen i tabellen nedan. Dessa risker klassificeras som arbetsmiljörisker. Därför är risknivån för scenario 2.7 sannolikt något överskattad eftersom endast en mindre del av risken utgörs av utomstående fartyg, d.v.s. fartyg som inte ingår i arbetsflottan för Najaderna.

Den totala kollisionsrisken, inklusive frekvensindex och konsekvensindex, för anläggnings-/avvecklingsfasen är sammanställd i Tabell 18. Kollisionsrisken uppskattas vara ALARP både för människa och miljö.

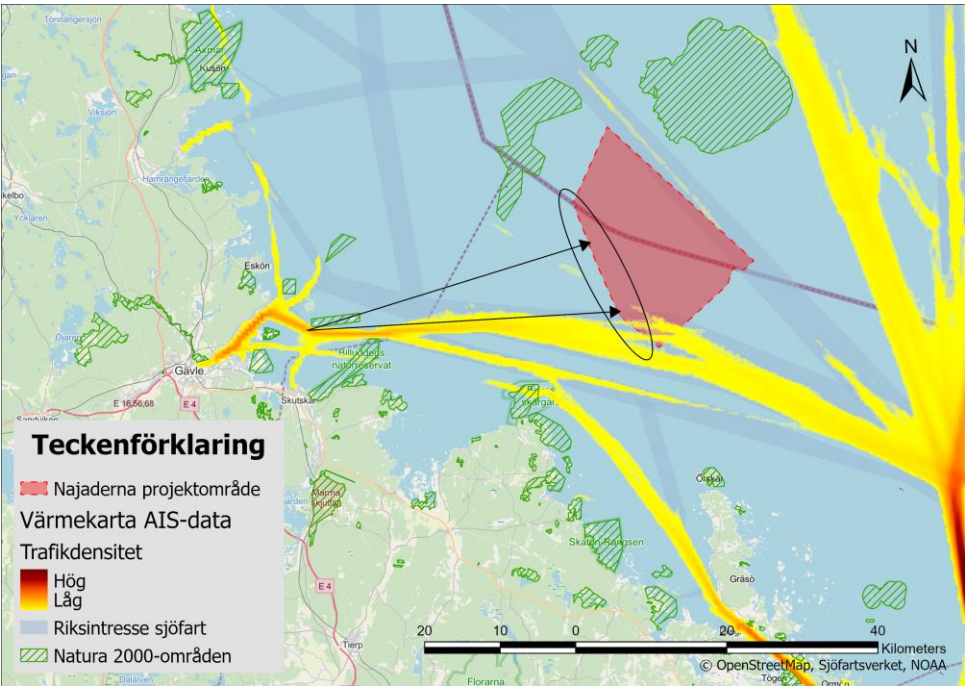
Tabell 18. Beräknad tillkommande risk för kollision i anläggnings- och avvecklingsskede av Najaderna. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3. Observera att tabellen illustrerar tillkommande risk, alltså riskskillnaden mellan kollisionsrisken i nollalternativet och kollisionsrisken i anläggnings- och avvecklingsfas.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö	Människa	Miljö
2.7	Kollision med arbetsfartyg under anläggnings- och avvecklingsfas – arbetsfartyg utgår från Gävle	2,9	3,0	2,4	5,9	5,3

Följande bedömning har gjorts av frekvenser och konsekvenser för kollision med arbetsfartyg under driftsfasen:

Scenario 2.7, Kollision med arbetsfartyg under driftsfasen: Under vindkraftsparkens driftperiod (en period på cirka 40 år) förväntas ungefär 10 servicetillfällen per vindkraftverk och år. Vanligtvis finns det ett servicefartyg inne i vindkraftsparken hela tiden som kontinuerligt arbetar med service, övervakning och underhåll av vindkraftverken. Till och från vindkraftsparken går fartyg uppskattningsvis varje eller varannan vecka för att byta ut servicepersonalen inne i vindkraftsparken. Detta innebär att trafiken till och från vindkraftsparken, genom befintliga sjötrafikstråk, blir relativt sparsam.

Servicetrafiken till och från Najaderna kan förväntas utgå från Gävle hamn, alternativt från Skutskär strax öster om Gävle hamn. Detta medför att servicetrafiken sannolikt tar sig in i vindkraftsparken på dess västra sida. Därmed undviks konflikter med Natura 2000-områdena norr och söder om Najaderna, se Figur 20.



Figur 20. Förväntad infartsväg till Najaderna för servicetrafiken i driftskedet.

Service trafik inne i vindkraftsparken och service trafik till och från vindkraftsparken kan dock färdas via oväntade/ovanliga rutter och kan komma ut från projektområdet in i befintliga sjötrafikstråk på oväntade platser. Detta betyder att fartygstrafiken nära projektområdet kan vara oförutsägbar vilket kan medföra en mindre riskökning i området. Det är dock troligt att endast få konflikter mellan servicefartyg och övrig trafik uppstår, på grund av lågt trafikflöde både öster och söder om Najaderna.

Sammantaget görs bedömningen att den tillkommande risken på grund av service- och underhållstrafik till och från Najaderna klassificeras som *ALARP*, främst för att undvika att underskatta risken (se Tabell 19).

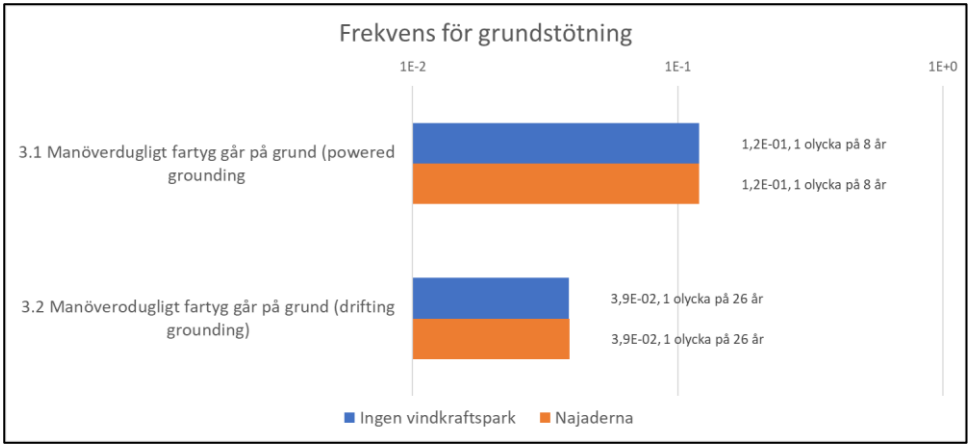
Tabell 19. Uppskattad risk för kollision med arbetsfartyg under driftsfasen, scenario 2.7-drift. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö	Människa	Miljö
2.7-drift	Kollision med arbetsfartyg under driftsfas	-	-	-	ALARP	

6.3 Grundstötning

Efter etablering av havsbaserad vindkraft kan förändrade trafikflöden medföra förändringar av risken för grundstötning i området. I vissa fall ökar grundstötningsrisken och i andra fall kan den även minska till följd av vindkraftsetablering.

Vid etablering av Najaderna förblir grundstötningsrisken enligt IWRAP-beräkningarna närmast oförändrad, vilket också illustreras i Figur 21 nedan. Vissa mycket små skillnader förekommer mellan nollalternativet och parkalternativet för drivande grundstötning vilket beskrivs vidare i avsnitt 6.3.2 nedan. Dessa skillnader är för små för att de ska vara möjliga att urskilja i diagrammet nedan.



Figur 21. Illustrerar frekvensen för grundstötning innan och efter etablering av Najaderna (exempellayout). Observera att skalan är logaritmisk.

Enligt IWRAP-beräkningarna representerar grundstötning den högsta frekvensen av alla olyckstyper i området. En stor del av frekvensen utgörs av styrande grundstötning (powered grounding) för fartyg som färdas nära svenska kusten. Grundstötning inträffar också vid Finngrunden norr om Najaderna.

Vid etablering av havsbaserad vindkraft tillkommer ytterligare fasta referenspunkter för navigering till havs. Enligt kompletteringskrav från Länsstyrelsen beskrivs här hur detta kan medföra en viss reduktion av risk för grundstötning som inte illustreras i de beräkningsresultat som IWRAP levererar. Vindkraftverk till havs kan bidra med indikationer på var säker framfart av fartyg är möjlig. Då dessa dessutom kompletteras med fysisk eller virtuell utmärkning av projektområden och trafikstråk kan en mer ordnad och därmed säkrare sjöfart uppnås i området. I aktuellt fall kan Najaderna tillsammans med utmärkning av projektområdet och/eller trafikstråk möjligtvis bidra med en reducerad risk för grundstötning vid Finngrunden norr om Najaderna. För vidare information om åtgärder för förenklad navigering i området, se kapitel 7 och Appendix B.

För att Najaderna ska kunna etableras i sin helhet (enligt den fiktiva worst case layout som använts i denna analys) krävs att fartyg som idag passerar inom Najadernas södra hörn lägger sin rutt längre söderut, söder om projektområdet. Här är Argos grund och Argos ytterbank beläget och anledningen till att vissa fartyg idag väljer att passera genom Najadernas södra hörn är sannolikt att de vill undvika att köra över Argos grund/Argos ytterbank. Djupet inom Argos ytterbank, söder om Najaderna, är som minst 13,1 meter men uppgår till 16,1 meter något närmare Najadernas södra kant. På grund av relativt ansevärt djup finns det risk för att IWRAP-beräkningarna inte fångar upp eventuell grundstötningsproblematik vid Argos ytterbank och det finns därför en liten risk för att grundstötningsberäkningarna som presenteras nedan är underskattade. Därför görs en fördjupad, kvalitativ analys av grundstötningsrisken vid Argos ytterbank.

För att undersöka möjligheterna för större fartyg att färdas söder om Najadernas projektområde har så kallade UKC-mått samt restriktioner om djupgående i Gävles hamn studerats. UKC står för *Under Keel Clearance* och är ett mått på det vertikala avståndet mellan ett fartygs köl och sjöbotten under fartyget, d.v.s. hur långt det är mellan fartygets undersida och havets botten (grund). För passager in och ut i hamnar anges vanligen minimivärden för UKC, för att fartygen ska planera med marginal, antingen med fasta siffror (exempelvis 1,0 meter) eller som en andel av fartygets djupgående (exempelvis 15% av aktuellt djupgående).

I tillägg till dessa statiska UKC-värden behöver fartygen även beakta effekten av squat (att fartygets djupgående ökar då det gör fart genom vattnet), speciellt vid passage i trånga och grunda farvatten då effekten ökar med minskat vattendjup. Denna effekt kan i sammanhanget benämnas ett dynamiskt tillägg till UKC-värdet.

För den vidare sjöresan måste ytterligare dynamiska tillägg till UKC-beräkningarna beaktas. Dessa kommer av fartygens vertikala rörelser i vattnet som uppkommer då fartyget kränger från sida till sida eller häver sig i sjön. Minimivärden för UKC vid fartygens sjöresor (ute på öppet hav eller mellan angröingarna, lots till lots) bestäms vanligen av riktlinjer i fartygets systematiska säkerhetssystem och kan exempelvis variera mellan 10–50% av fartygets djupgående, men i slutändan tas beslutet av befälhavaren vid varje ruttplanering.

Fartygen med störst djupgående in och ut ur Gävle hamn kan ha upp till maximalt 12,2 meters djupgående vid passagen enligt begränsningarna i farleden (Gävle Hamn AB, 2024). Skulle fartyg med detta djupgående passera över det grundaste området 2,4-3 M NNV om Argos Grund, igenom Argos Ytterbank (16,1 meters djup enligt sjökortet) så har de ett statistiskt UKC-värde på 3,9 meter vilket motsvarar 32 % av djupgåendet. Men, hänsyn behöver också tas till fartygets squateffekt och övriga dynamiska tillägg i form av vertikala rörelser som kommer av att fartyget kränger från sida till sida eller häver sig i sjön.

En kvalificerad bedömning är att fartyg med 12,2 meters djupgående skulle kunna passera säkert över grundområdet 2,4–3 M NNV om Argos Grund, benämnt Argos Ytterbank (16,1 meters djup enligt sjökortet) vid väder som inte ger fartyget betydande sjöhävning eller krängning. Storleken på dessa fartyg gör att det ska till en högre signifikant våghöjd för att framkalla betydande hävning och krängning samtidigt som att när detta väl sker så är de dynamiska tilläggen större än för mindre fartyg. Förhärskande vindriktning i området är en förmildrande omständighet då vindar från sydväst får en kort blåssträcka (fetch). Tillgängligt vattendjup och närheten till kusten bidrar även de till att vågorna blir kortare vilket minskar konsekvenserna av vågornas påverkan på fartygens vertikala rörelser i sjön.

Vid de tillfällen befälhavaren bedömer att det inte är säkert att passera över grundområdet 2,4-3 M NNV om Argos Grund på grund av exempelvis vädersituationen eller egna riktlinjer får fartygen en relativt smal passage på cirka 1 M mellan de båda grundområdena (13,1 meter och 16,1 meter djupa enligt sjökortet) att passera genom. En riskreducerande åtgärd skulle kunna vara att märka ut grundområdet med en sjösäkerhetsanordning (SSA) i samråd med Sjöfartsverket och enligt Transportstyrelsens riktlinjer. Detta underlättar navigering förbi både grund och vindkraftspark.

I avsnitt 6.3.1 och 6.3.2 nedan sammanställs risknivåerna för styrande och drivande grundstötning baserat på beräkningarna genomförda i IWRAP.

6.3.1 Grundstötning navigerande fartyg (powered grounding)

Navigerande fartyg som passerar Najaderna kan på grund av mänskliga eller tekniska faktorer oavsiktligt styra in i ett grundområde och riskerar då en grundstötning. Beräkningarna av risken för powered grounding tyder på en reduktion av risken, om än mycket lite, vid etablering av Najaderna.

Det finns dock en risk för att IWRAP inte i sin helhet fångar upp eventuell grundstötningsproblematik vid Argos grund (se kvalitativ analys av Argos grund i avsnitt 6.3 ovan). Bedömningen är dock att eventuell ökning av risken för powered grounding blir mycket liten, främst på grund av att endast en mindre mängd trafik berörs.

Sammanfattningsvis bedöms risken för powered grounding (**scenario 3.1**) som oförändrad till följd av etablering av Najaderna.

6.3.2 Grundstötning drivande fartyg (drifting grounding)

Fartyg som passerar Najaderna kan på grund av tekniskt fel (till exempel blackout/maskinhaveri) förlora manöverdugligheten och börja driva. Beroende på vindriktning kan fartyget driva in i grundare områden och riskera att gå på grund.

Följande bedömning har gjorts av frekvenser och konsekvenser för fartyg som driver på grund:

Scenario 3.2, Grundstötning drivande fartyg (drifting grounding):

Den tillkommande frekvensen för drivande grundstötning efter etablering av Najaderna uppgår till $2,9 \cdot 10^{-3}$ per år (varav 4 % är oljetankers, 0 % är passagerarfartyg och 96 % är övriga fartyg). Frekvensen motsvarar en återkomsttid för olycka på 347 år.

I Tabell 20 nedan sammanställs frekvens, konsekvens och risk enligt kriterierna i avsnitt 1.2.3. Scenario 3.2 bedöms som ALARP för både människor och miljö.

Av samma anledningar som för powered grounding kan frekvensberäkningarna för drivande grundstötning vara något missvisande på grund av de generella batymetrilager som IWRAP-beräkningarna baseras på. Därför kan risknivån i realiteten vara något högre än vad som illustreras i tabellen nedan. Bedömningen är dock att risknivån fortsatt kommer ligga inom ALARP eftersom endast en mindre mängd trafik påverkas av trafikförändringarna söder om Najaderna.

Tabell 20. Beräknad tillkommande risk för drivande grundstötning efter etablering av Najaderna. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3. Observera att tabellen illustrerar tillkommande risk, alltså riskskillnaden mellan drivande grundstötning innan och efter etablering av Najaderna.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö	Människa	Miljö
3.2	Grundstötning drivande fartyg (drifting grounding)	3,5	2,0	2,1	5,5	5,6

6.4 Störning av fartygsradar och navigationssystem

Störningar i radar- och navigeringssystem kan resultera i en svårtolkad eller missvisande situationsbild, vilket innebär en mer komplex och ibland felaktig beslutsgrund när man navigerar längs en vindkraftspark. Vindkraftverken i sig kan orsaka störningar av fartygsradar och navigationssystem.

Satellitpositioneringssystem har också visat sig vara utsatta på andra sätt, exempelvis av antagonistiska hot. Det finns indikationer på att denna typ av störningar har ökat i svenska och finska farvatten under senare tid. Därmed blir det viktigare att säkerställa att förutsättningarna för att nyttja referenser för navigation (sjösäkerhetsanordningar eller andra visuella referenspunkter till havs) inte försämras vid etablering av havsbaserad vindkraft.

Några av de viktiga begränsningarna hos radar är följande:

- Små fartyg, is och andra små flytande objekt kanske inte upptäcks av radarn.
- Mål i radarns döda vinkel och skuggsektor visas inte.
- Avståndurskiljning – två små mål på samma bäring och liten avståndsskillnad kan visas som ett mål.
- Bäringsurskiljning – två små mål på samma avstånd och liten bäringskillnad kan visas som ett mål.
- Falska ekon.

Isens närvaro 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 isens närvaro leda till svårigheter att se en kustlinje baserat på radarinformation. Det finns fall där det inte har varit möjligt att skilja ekon från isrännor eller iskanter med ekon från radarreflektorer, vilket försämrar kvaliteten på informationen på radarskärmen för navigeringsändamål (Finnish Maritime Administration & Swedish Maritime Administration, 2005). De eventuella radarrelaterade riskerna orsakade av vindkraftsparker analyseras i följande avsnitt.

6.4.1 Störning av fartygsradar (target loss)

Vindkraftverken kan försämra möjligheten att använda fartygsradar för att upptäcka fartyg i närheten av vindkraftsparken samt fartyg som befinner sig framför och bakom vindkraftsparken. Följande bedömning har gjorts av risken för att störningar i fartygsradarn (target loss) orsakar kollision mellan fartyg.

Scenario 4.1, Störning av fartygsradar (target loss): För trafik som passerar genom Najaderna eller på ett avstånd närmare vindkraftsparken än 1,5 M kan radarstörningar uppstå. Fartyg kan ha sin S-bandradar inställd så att target loss inträffar. Händelsen bedöms som frekvent (frekvensindex 6).

Dock förväntas inte störningen leda till att fartyg kolliderar. Radarstörningar är ett välkänt fenomen i kommersiell trafik och sker regelbundet. Det finns rutinemässiga åtgärder för att minimera störningar som en erfaren besättning är medveten om. Dessutom är stora fartyg utrustade med flera olika informationssystem. X-bandradar ger mer exakt information om närliggande mål. Fartyg navigerar generellt med AIS som kompletterar radarbilden om små fartyg i närheten faller bort från radarskärmen. Därmed förväntas inte radarstörningar i sig orsaka en kollision mellan fartyg som passerar genom eller nära parken. Dessutom har studier som utfördes på vindkraftsparken på Kentish flats, England, visat att sjömän kunnat observera och följa andra fartyg som befann sig både inom och på andra sidan av vindkraftsparken med hjälp av radar, trots störningar (BWEA, 2007). Konsekvensen bedöms som ingen allvarlig påverkan (konsekvensindex 1). För mer information om radarstörningar, se Appendix B.

I Tabell 21 nedan sammanställs frekvens, konsekvens och risk enligt kriterierna i avsnitt 1.2.3. Den sammanlagda risken bedöms ligga inom ALARP.

Tabell 21. Uppskattad risk för människors hälsa och miljö för scenario 4.1, Störning av fartygsradar (target loss). Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö	Människa	Miljö
4.1	Störning av fartygsradar (target loss)	6	1	1	7	7

6.4.2 Störning av fartygsradar (navigationsstörning)

Följande bedömning av konsekvenserna och den resulterande risken har gjorts för störning av fartygsradar (navigationsstörning) (**scenario 4.2**). Scenariot innebär att vindkraftsparken skapar så stora störningar i fartygsradar, AIS, VHS, GPS och andra navigations- och kommunikationssystem att trafiken navigerar felaktigt och styr mot ett vindkraftverk. Det finns dock många hinder innan en

störning på fartygsradar och annan navigationsutrustning får ett fartyg som passerar vindkraftsparken att navigera in i ett vindkraftverk:

- Ett fartyg passerar på ett avstånd av $<0,25$ M och upplever störningar av fartygsradar och annan navigationsutrustning²². Med tanke på mängden trafik i området och att majoriteten förväntas följa reglerna i COLREG, är bedömningen att störningar kommer att påverka **<10 passerande fartyg per år**.
- Fartyget navigerar baserat på felaktig information och styr mot vindkraftsparken (felaktig kurs i en annan riktning leder till minskad störning från vindkraftsparken och informationsbilden återgår till att vara entydig och korrekt). Fartyg är utrustade med ett antal navigationssystem baserade på diversifierade tekniska lösningar som tillsammans ger tillräckligt med data för att bestämma position, riktning och avstånd till hinder (vindkraftverk), även om ett eller flera system ger felaktig information eller är otillgängliga. Förekomsten att ett fartyg med radarstörning tar fel kurs, mot vindkraftsparken, uppskattas till **1 gång på 100 fartyg med radarstörningar**.²³
- Misslyckad identifiering av att fartyget är på fel kurs och därmed försenad eller ingen åtgärd. Vindkraftsparken är en mycket tydlig navigationspunkt och kommer att markeras enligt IALA:s rekommendationer. Under dagtid, under normala förhållanden, kommer vindkraftsparken att vara synlig visuellt från fartyg som använder omgivande sjövägar. Vindkraftverken kommer även att vara utrustade med fasadbelysning, vilket ökar synligheten och orienteringsmöjligheten även i mörker. Dessutom kommer fartygstrafiken runt vindkraftsparken att övervakas och fartyg på fel kurs kommer att kunna märkas över AIS. Att ett fartygsbefäl misslyckas med att uppmärksamma vindkraftverk och vidta åtgärder uppskattas inträffa **1 gång på 100 tillfällen där fartyg har kurs mot vindkraftverket**.²⁴
- Fartyget navigerar in i ett vindkraftverk. Fundamenten till vindkraftverken kan vara upp till 30 meter i diameter och avståndet mellan tornen är minst cirka 1 000 meter. Vindkraftverkens fundament utgör därmed endast en mycket liten andel av den totala ytan för vindkraftsparken. Sannolikheten att ett fartyg oavsiktligt navigerar in i vindkraftsparken och därefter kolliderar med ett vindkraftverk uppskattas till **$<10\%$** .

Sammanfattningsvis uppskattas störningar i fartygsradar som leder till att fartyget navigerar in i ett vindkraftverk inträffa mer sällan än 1 gång vart 10 000:e år. Konsekvensen antas vara densamma som i scenario 1.1.

²² Påverkan på fartygsradar och annan navigationsutrustning bedöms inledningsvis vara begränsad för trafik som inte färdas direkt intill parken. För X-bandradar, AIS, GPS och VHS-radio sker eventuella störningar först i omedelbar närhet av vindkraftverken (inom 0,25 M). Störningar med S-bandradar kan förekomma och riskerna för detta beskrivs i avsnitt 6.4.1. Vindkraftverken förväntas inte försvinna från radarn men kan ge upphov till falska ekon och klutter, vilket ger en mer komplex informationsbas. Fenomen som multipath och radioskugga kan förekomma lokalt men har liten inverkan på trafiken i trafikstråken eftersom en stor majoritet av fartygen förväntas passera vindkraftsparken på ett avstånd större än 0,25 M.

²³ 1/100 är ett relativt högt HEP-värde (Human Error Probability) för rutinnavigering och en välkänd störning där många alternativa informationskällor finns tillgängliga. Se kapitel 8, Osäkerheter, för vidare diskussion.

²⁴ Ibid.

Bedömningen är att sannolikheten att störningar från tornen på detta avstånd (<0,25 M) ger så missvisande information att det leder till felaktig navigering och därefter kollision med ett vindkraftverk är försumbar, jämfört med andra orsakande faktorer. Scenariot som leder till en allision förutsätter dålig sikt samt att alternativa navigationssystem inte används, vilket leder till att fartyget oavsiktligt hamnar i vindkraftsparken och navigerar in i ett vindkraftverk.

Risken för att störningar i fartygsradar och annan navigationsutrustning orsakar att fartyg i sjöfartsområden oavsiktligt navigerar in i vindkraftsparken och kolliderar med ett vindkraftverk (scenario 4.2) bedöms därför som acceptabel både med avseende på människors hälsa och miljön. Risknivån för miljö ligger dock lågt inom ALARP, precis över gränsen för acceptabel nivå (se även riskmatris i avsnitt 1.2.3). För mer information om radarstörningar, se Appendix B.

Tabell 22 sammanfattar frekvens, konsekvens och riskindex för scenario 4.2.

Tabell 22. Uppskattad risk för tredje man och miljö för scenario 4.2, Störning av fartygsradar (navigationss störning). Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö ²⁵	Människa	Miljö
4.2	Störning av fartygsradar (navigationss störning)	<2	3,0	1,5	<5	<4

6.4.3 Störning av fartygsradar inom vindkraftsparken

Trafik som färdas i direkt närhet till vindkraftverk (inom 0,25 M) kan uppleva störningar på fartygsradar, AIS, VHS och GPS. I detta scenario (**scenario 4.3**) skapar vindkraftsparken så stora störningar på radar och andra navigations- och informationssystem att fartyg i vindkraftsparken navigerar in i ett vindkraftverk.

För auktoriserad trafik (arbets- och servicefartyg) inkluderas inte denna konsekvens i omfattningen av den nautiska riskbedömningen.

Scenario 4.3 Radarstörningar inom vindkraftsparken: Det antas att mindre fartyg i viss mån kan fortsätta passera genom projektområdet även efter etablering av Najaderna. Risken för att extern trafik som färdas genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk bedöms i avsnitt 6.1.5. Om störningar på radar och andra system tas med i beräkningen ökar risken i olika grad beroende på fartygets storlek och utrustning²⁶:

- Fritidsbåtar navigerar vanligtvis inte med radar. Lekmän som ändå navigerar med radar genom vindkraftsparken kan missförstå radarns bild (precis som i skärgården och på andra platser där radarstörningar förekommer). Eftersom endast få fritidsfartyg förväntas befinna sig i området samtidigt, bidrar detta endast till en försumbar risk. Dessutom

²⁵ Konsekvenserna för miljö antas inträffa 1 gång på 10 olyckor.

²⁶ För professionell sjöfart finns det krav på navigationsutrustning som gäller för alla fartyg över en viss storlek samt för alla passagerarfartyg och tankfartyg. Kraven specificeras i Kapitel V i SOLAS-konventionen. Kort sagt innebär kraven att majoriteten av fartygen som navigerar i svenska vatten är utrustade med bland annat en standardmagnetkompass, elektroniska sjökortsystem, GPS-mottagare, AIS och radar (för större fartyg på redundanta frekvensband och med plotterfunktioner såsom ARPA) eller motsvarande (IMO, 2002).

har mindre fritidsbåtar relativt god manöverförmåga och kan därmed på ett enklare sätt styra bort från ett vindkraftverk.

- För fartyg mindre än 300 bruttoton finns inga krav på redundanta navigationssystem eller AIS och därmed riskerar de, i dålig sikt och på grund av radarstörningar, att navigera baserat på felaktig information.
- Fartyg om 300 bruttoton och mer har krav på AIS. För ännu större fartyg finns ytterligare krav på oberoende radar och målföljningssystem. Om fartyg av denna storlek beslutar sig för att navigera genom vindkraftsparken finns det goda förutsättningar för att få tillräcklig information om omgivningen även vid dålig sikt och störningar i något system. Störningar på AIS, VHS och GPS är i allmänhet mycket lokala och löses när fartygen rör sig. Eftersom mycket få stora fartyg förväntas navigera genom området och dessutom har flera oberoende navigationssystem, bidrar detta till en försumbar risk som inte beaktas ytterligare. Stora fartyg som navigerar genom vindkraftsparken utgör en risk på grund av det begränsade manöverutrymmet, men denna risk drivs inte av vilseledande radarinformation.

Sammanfattningsvis består risken enbart av fartyg i vindkraftsparken (som inte är arbetsfartyg) med bruttotonnage på cirka 20–300 ton som navigerar i dålig sikt med endast radar som verktyg, eftersom övriga fartygstyper (större fartyg och fritidsfartyg) har medel eller andra förutsättningar för att inte drabbas av denna händelse. Att ett fartyg drabbas av radarstörningar som leder till felaktiga beslut antas konservativt ske **10 gånger om året** (vilket motsvarar en händelse under ett oväder per månad och ett fartyg per oväder). Liksom med scenario 4.2 (avsnitt 6.4.2) sätts sannolikheten för att ett fartyg navigerar in i ett vindkraftverk till **<10 %** (vindkraftverken och dess fundament upptar en mycket liten del (<10 %) av den totala ytan för vindkraftsparken). När fartyget närmar sig ett vindkraftverk antas felet kunna identifieras, men sannolikheten att en undanmanöver inte kommer att vara framgångsrik när den krävs sätts fortfarande till $1,6 \cdot 10^{-4}$ (Engberg, 2019). Konsekvensindex sätts till 2 för människors säkerhet och 1 för miljö (eftersom endast var tionde olycka förväntas leda till utsläpp) baserat på erfarenheter från liknande olyckor, se avsnitt 2.4.1.

Totalt sett uppskattas det att ett fartyg i vindkraftsparken som upplever så stora störningar på fartygsradarn att det navigerar in i ett vindkraftverk inträffar mindre än en gång per 1 000 år²⁷. Risken för detta scenario bedöms vara acceptabel med avseende på människors säkerhet och miljön, se Tabell 23.

Tabell 23. Uppskattad risk för scenario 4.3, Störning av fartygsradar inom vindkraftsparken. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö ²⁸	Människa	Miljö
4.3	Störning av fartygsradar inom vindkraftsparken	<3	2	1	<5	<4

²⁷ $<10 \text{ fartyg/år} \cdot 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 10\% = <10^{-3}$ (eller en gång på 1 000 år)

²⁸ Endast var tionde olycka bedöms leda till utsläpp

6.4.4 Vindkraftsparken komplicerar sök- och räddningsinsatser

Havsbaserad vindkraft kan, delvis på grund av störningar i radar och kommunikation och delvis eftersom vindkraftverken utgör fysiska hinder, ha en negativ påverkan på räddningsinsatser. Nödanrop riskerar att försvåras från platser som befinner sig i radarskugga på grund av vindkraftverken. Radarstörningar, påverkan på positionsrapportering inklusive AIS-rapportering och alternativa navigationsverktyg kombinerat med dålig sikt kan leda till en stressig beslutssituation ombord på ett räddningsfartyg vid en sök- eller räddningsinsats. Även radiolokalisering kan försvåras, se även Appendix B.

Följande bedömning har gjorts av hur vindkraftsparken komplicerar sök- och räddningsinsatser. Scenariot i sig är inte en initial händelse, men en faktor som kan komplicera sök- och räddningsinsatser.

Scenario 4.4 Vindkraftsparken komplicerar sök- och räddningsinsatser: Det globala nödradiosystemet för sjöfarten, GMDSS, är sedan 1999 obligatoriskt för all yrkessjöfart. Utrustningskraven är beroende av vilka farvatten som ska trafikeras. Det aktuella projektområdet ligger inom VHF-täckning från en kuststation med kontinuerlig passning av digitala nödanrop via VHF-systemet (över så kallat DSC) (Kommunikationsverket, 2012). Sjö- och flygräddningscentraler kan utöver VHF-radio även larmas via mobiltelefon eller satellittelefon (Sjöfartsverket, 2022).

Vid en olycka i eller nära vindkraftsparken kan navigationen försvåras, både för räddningsfartyg och helikoptrar. Detta innebär också att sökningen efter olycksoffer begränsas eftersom delar av räddningspersonalen behöver fokusera på att ta sig mellan vindkraftverken snarare än att söka efter personer och/eller fartyg i nöd. Besättningen på fartyget i nöd behöver också fokusera mer på sin omgivning för att inte riskera att kollidera med ett vindkraftverk. Trots detta förväntas inte vindkraftverken vara ett stort hinder för sök- och räddningsinsatser med fartyg eftersom avståndet mellan vindkraftverken och avståndet mellan havsytan och den lägsta bladspetsen (>30 meter) ger utrymme för räddningsbåtar att navigera mellan vindkraftverken. Vindkraftverken kan också i vissa fall förenkla en sök- och räddningsinsats eftersom vindkraftverken är tydliga referenspunkter. För helikoptrar är dock rotorbladen på vindkraftverken ett större hinder som även begränsar utrymmet för att navigera inuti vindkraftsparken.

Enligt PIANC (2018) bör vindkraftsparker, där det är möjligt, anläggas i ett regelbundet rutnätsmönster för att underlätta sök- och räddningsinsatser. Detta är inte alltid möjligt av ingenjörs- och anläggningsskäl, till exempel bottenförhållanden och vattendjup, eftersom dessa faktorer kan förhindra att turbiner placeras i ett regelbundet mönster.

Räddningsaktioner inne i vindkraftsparken kan försvåras ytterligare då isförhållanden råder eftersom is inne i vindkraftsparken kan hindra räddningsfartyg från att nå olycksplatsen. Detta kan bland annat leda till att förolyckade inte hinner räddas i tid eller att ett utsläpp inte kan saneras. Service- och underhållsfartyg kommer dock att behöva ha möjlighet att färdas inom parkområdet hela året, även under isförhållanden. Av den anledningen kan vissa färdvägar in och ut ur vindkraftsparken hållas öppna. Dessutom kommer parkområdet att bli ett havsområde under ständig bevakning och vara bemannat under stora delar av året. Detta kan medföra att räddningsaktioner inne i vindkraftsparken kan underlättas eftersom service- och underhållsfartyg inne i parkområdet till viss del kan bistå sjö- och miljöräddningen vid behov.

Bedömning av sannolikheten är beroende av behovet av sök- och räddningsinsatser. Konsekvensen kan förändras till en något svårare sök- och räddningsoperation om ett annat olycksscenario skulle inträffa. Det finns stora osäkerheter kring dessa förhållanden. Därför kan varken sannolikhet eller konsekvens uppskattas kvantitativt med tillräcklig noggrannhet för att kunna dra slutsatser för detta scenario

Sammanfattningsvis betraktas risken som en försvårande omständighet för några av de andra olycksscenarier som tas upp i denna rapport. Den kan inte lätt utvärderas på samma skala som andra risker men klassificeras som risknivå *ALARP* för att hanteras vidare, se Tabell 24.

Tabell 24. Uppskattad risk för scenario 4.4, Vindkraftsparken försvårar sök- och räddningsinsatser. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö	Människa	Miljö
4.4	Vindkraftsparken komplicerar sök- och räddningsinsatser	-	-	-	ALARP	

6.5 Vinterförhållanden

6.5.1 Förändrad isbeläggning till följd av vindkraftsetablering

Vid etablering av havsbaserad vindkraft kan isbildningen i området förändras. Det är inte känt i detalj hur förändringen av isbildning och istäckning kan se ut. Inga studier om hur vindkraftsparker kan förändra bildandet av havsis finns tillgängliga i nuläget. I detta avsnitt beskrivs och diskuteras tänkbara scenarier av förändrad isbildning.

Scenario 5.1 Förändrad isbeläggning: När en vindkraftspark etableras leder det till fler fasta punkter där is kan byggas upp. Samtidigt kan etableringen av vindkraftverk leda till att is bryts upp mot vindkraftverkens fundament. Vindkraftverk till havs kan därmed påverka isförhållandena genom att bygga upp is (åsar och barriärer), bryta upp is och stoppa isrörelser (isstabilisering).

Vindkraftsparkers påverkan på isen kan också sprida sig längre utanför vindkraftsområdet på grund av strömmar och vind. Detta medför att sjöfarten kan påverkas både i vindkraftsparkens direkta närhet och längre från vindkraftsparken.

Beroende på isförhållandena tillämpas storleks- och isklassbegränsningar för fartyg som är berättigade till isbrytarassistans. Vintertrafikrestriktioner är till för att säkerställa säker sjöfart i isförhållanden. Isbrytarna ger assistans till fartygen genom övervakning, dirigering, ledning och bogsering (Traficom & Transportstyrelsen, 2019).

Sammanfattningsvis kan vindkraftverk ha både positiv och negativ påverkan på isförhållandena. På grund av otillräcklig kunskap om hur vindkraftverk till havs påverkar uppbyggnad och uppdelning av is, antas det konservativt att vindkraftsparken kommer att orsaka mer utmanande isförhållanden. Hur vindkraftsparken påverkar isen kan inte lätt utvärderas men klassificeras som risknivå *ALARP* för att hanteras vidare, se Tabell 25.

Tabell 25. Uppskattad risk för scenario 5.1, Förändrad isbeläggning till följd av vindkraftsetablering. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö	Människa	Miljö
5.1	Förändrad isbeläggning till följd av vindkraftsetablering	-			ALARP	

6.5.2 Vindkraftsparken blockerar vinternavigationsrutter

Det faktum att delar av Östersjön och Bottenhavet fryser varje år påverkar sjöfarten. Detta leder till att fartyg ibland blir beroende av isbrytarassistans. Där ishinder förekommer, tvingas trafiken under de isbelagda månaderna till havs ofta att ta andra rutter än under månaderna utan havsis. Olika typer av is kan också påverka sjötrafiken på olika sätt.

Följande bedömning har gjorts om hur vindkraftsparker hindrar vinternavigationsrutter.

Scenario 5.2 Vindkraftsparken blockerar vinternavigationsrutter: Om vindkraftsparken blockerar de snabbaste och enklaste vinternavigationsrutterna, kan isbrytare eller andra bogserbåtar behöva ta en annan rutt, vilket potentiellt kan försena eller komplicera assistansen till fartyg. Denna risk är främst en risk med administrativa och ekonomiska konsekvenser. Det finns dock även potentiella konsekvenser för människors säkerhet och miljön.

Fartyg som måste resa längre sträckor under vinterförhållanden kan vara mer utsatta för riskerna med grundstötning, kollision och allision eftersom sträckan att färdas är längre. Sannolikheten att möta ishinder blir större och fartyg som väntar på assistans utsätts för krafter i isen och risken för skrovsador ökar.

De AIS-data som analyserats i denna riskbedömning indikerar att isbrytarverksamheten i området är begränsad. Isförhållandena i området är de flesta år relativt okomplicerade. Under svåra vintrar kan dock isförhållandena vara sådana att en mer omfattande isbrytarverksamhet är nödvändig. Under sådana år kan vindkraftsparken medföra ett hinder för isbrytarna, framför allt söder om Najaderna där manövreringsutrymmet redan vid öppet vatten begränsas något av Najadernas etablering. Detta beror dels på begränsat avstånd mellan Najaderna och fastlandet i söder, dels på att det i området söder om Najaderna förekommer grund, bland annat Argos grund. Under riktigt ogynnsamma förhållanden, vid svår isvinter och ispress från nordost, kan det vara svårt att utföra isassistans söder om Najaderna. Vid sådana förhållanden kan trafik söderifrån som ska in i Gävle hamn behöva ta en betydligt längre färdväg öster om Finngruden och sedan vidare ned till Eggegrund (alltså runt hela Najaderna). Under dessa förhållanden kan det också uppstå behov av vinternavigationsrutter genom Najadernas projektområde.

Bedömningen är dock att mer omfattande isförhållanden är, och fortsättningsvis kommer vara, relativt sällsynta i områden kring Najaderna. Därför är det sannolikt att Najadernas etablering endast sällan blir ett hinder under isnavigering.

På grund av osäkerheterna kring isnavigering och isbrytares behov i området, eftersom detta inte går att studera i tillgänglig AIS-data, hanteras denna risk som *ALARP* för vidare hantering. Förebyggande åtgärder för att underlätta navigering under svåra vintrar samt mildra eventuella konsekvenser från olyckor under vinterförhållanden bör övervägas. Även om isförhållanden som ger upphov till omständigheterna beskrivna ovan endast uppstår vid stränga isvintrar i det aktuella området så behöver behovet och omfattningen av väntplatser och isrutter utredas, helst i samråd med representanter från Sjöfartsverkets isbrytartjänst. Förslag på åtgärder sammanställs i kapitel 7.

Isskador har inträffat ganska ofta på fartyg för vinternavigation. De typiska isskador som uppstår från exponering bedöms dock som icke allvarliga enligt Winter Navigation Research Board (2005). Risken för att vindkraftsparken blockerar vinternavigationsrutter och medför exponering för krafter i isen bedöms i detta avseende vara *acceptabel*, se Tabell 26.

Tabell 26. Uppskattad risk för scenario 5.2, Vindkraftsparken blockerar vinternavigationsrutter. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö	Människa	Miljö
5.2	Vindkraftsparken blockerar vinternavigationsrutter (längre rutter ger upphov till högre risk för allision, kollision och grundstötning)	-	-	-	ALARP	
5.2	Vindkraftsparken blockerar vinternavigationsrutter (större exponering för krafter i isen)	6	Inga konsekvenser för människors säkerhet eller miljön		Ingen signifikant risk för människors säkerhet eller miljö	

6.6 Nedfallande föremål eller iskast från vindkraftverk

Nedfall av smådelar eller iskast från vindkraftverk kan skada fartyg som passerar genom eller förbi Najaderna. I rapporten *Wind Turbine Tower Collapse Cases: A Historical Overview* (Ma, Martinez-Vazquez, & Baniotopoulos, 2018), identifieras skada/fel på rotorblad som det vanligaste felet på vindkraftverk (18 %). Strukturellt fel, vilket inkluderar tornhaveri och fel på vindkraftverk, står för 9 %. Iskast från rotorblad står för 2 %. Kraftig vind i kombination med mänskligt eller mekaniskt fel rapporteras som de vanligaste underliggande orsakerna.

Även om iskast kan förväntas utgöra en större andel än 2 % i regioner där is är ett problem, är incidenter med iskast mycket ovanliga. Avståndet mellan sjöfartsrutter och vindkraftverk är betydande, vilket resulterar i att endast ett litet antal kast kan nå områden där fartyg passerar.

Scenario 6 Nedfallande föremål eller iskast från ett vindkraftverk: Detta scenario innebär att turbindelar eller is trillar ned eller kastas från vindkraftverk och träffar ett passerande fartyg.

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

Delar från vindkraftverk kastas generellt inte särskilt långa sträckor. Passerande fartyg behöver därför passera mycket nära ett vindkraftverk för att det ska kunna riskera att träffas av is eller en del från vindkraftverket som kastas i väg. Inga obehöriga fartyg bör befinna sig inom säkerhetszonen för ett vindkraftverk (en säkerhetszon tillämpas kring varje vindkraftverk i syfte att skydda vindkraftverket och uppgår till maximalt 500 meter). Dessutom är den tid som fartyg tillbringar i området där kast kan träffa begränsad.

Sannolikheten för att iskast eller kast av andra objekt skulle orsaka en allvarlig olycka på passerande fartyg anses därför vara så låg att risken bedöms som *acceptabel* även om de allvarligaste konsekvenserna konservativt antas (se Tabell 27).

Tabell 27. Uppskattad risk för scenario 6, Nedfallande föremål eller iskast från vindkraftverk. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3.

Id.	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människa	Miljö	Människa	Miljö
6	Nedfallande föremål eller iskast från vindkraftverk	<1	4	4	<5	<5

6.7 Kablar

6.7.1 Skador på offshore-kablar

Följande bedömning har gjorts av risken för skador på offshore-kablar, vilket inkluderar matarkablar, anslutningskablar, förbindelsekablar och eventuellt befintliga kablar.

Scenario 7.1 Skada på offshore-kablar: Vid ankring eller nödankring kan ankaret fastna och riva upp eller skada offshore-kablar eller andra kablar på havsbotten. Oberättigad ankring eller nödankring kan orsaka ett avbrott i vindkraftsparkens drift och kräva omfattande reparationer. Konsekvenser för hälsa och miljön bedöms dock vara uteslutna av följande anledningar²⁹:

- Vid kabelbrott bryts kraftöverföringen och påverkar därmed inte fartyget.
- Vid skadad kabelisolering finns det en möjlighet att ström leds över till ankaret. Eftersom den elektriska strömmen söker den väg med lägst motstånd för att återvända till jorden, förväntas den inte följa en väg som leder upp genom ankaret till fartyget och sedan ner igen.
- Om ett fartyg släpper ankare och drar med sig den skadade kabeln i nära anslutning till fartygets undersida kan det uppstå en kortslutning som på fartyget kan upplevas som en stöt. Händelsen anses inte vara tillräckligt

²⁹ Simon Lindroth, civilingenjör och teknologie doktor i teknisk fysik med inriktning mot elektricitetslära, och Torsten Björn, ingenjör i elektroteknik, båda anställda på Sweco Sverige AB, 2022-01-27.

kraftfull för att orsaka skador på större fartyg, såsom tankfartyg eller lastfartyg. Mindre fartyg, såsom fiskebåtar, förväntas inte kunna dra upp tunga kablar hela vägen upp till fartyget.

Risken för skador på kablar som påverkar fartyg bedöms som försumbar från ett nautiskt perspektiv. Ingen ytterligare riskanalys är därför nödvändig.

6.7.2 Kablar förhindrar nödankring

Följande bedömning har gjorts av konsekvenserna och den resulterande risken för kablar som förhindrar nödankring:

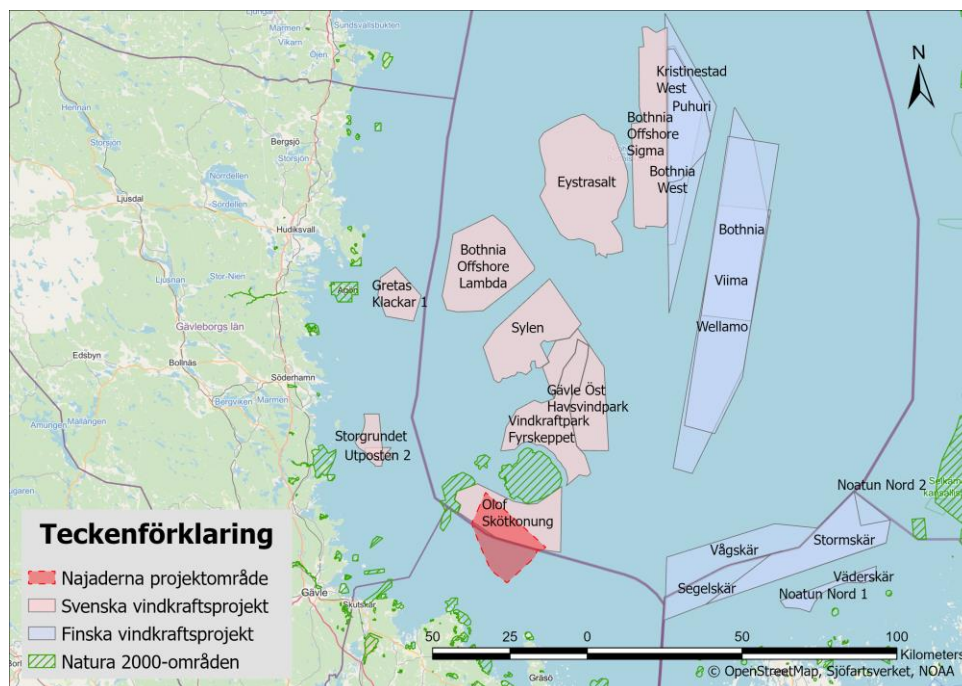
Scenario 7.2 Kablar förhindrar nödankring: Scenariot omfattar att närvaron av överföringskablar kan påverka besättningens vilja att vid behov använda nödankring, vilket gör det svårare att stoppa fartyg från att driva. Det finns dock flera motiv som tyder på att risken för att kablar förhindrar nödankring är mycket låg.

För det första är det, enligt Det Norske Veritas [DNV] (2021), mycket osannolikt att ett fartyg behöver ankra direkt ovanför en överföringskabel eftersom dessa endast upptar en mycket liten yta. För det andra är bedömningen att om en nödsituation trots allt uppstår precis inom platser där kablar finns kommer nödankring att genomföras ändå eftersom olyckan som nödankringen syftar till att förhindra troligtvis kan komma att resultera i värre konsekvenser (för människa och miljö) än vad ankring i kablar medför. Fartyg som driver är också en långsam händelse, vilket innebär att det ofta finns gott om tid för att vidta åtgärder och utrymme för ankring efter att ha passerat kabelområdena.

Sammanfattningsvis är bedömningen att om ett fartyg driver mot en vindkraftspark i ett nödläge så kommer nödankring att genomföras trots kablarna, så länge det inte bedöms vara säkert nog att invänta ankring tills fartyget passerat kabelområdet. Ingen ytterligare riskanalys bedöms därför motiverad för detta scenario.

6.8 Kumulativa effekter

Kumulativa effekter syftar till eventuella effekter på risken som kan uppstå vid etablering av fler vindkraftsparker i området. Ett flertal andra vindkraftsparker förutom Najaderna är under utredning i närområdet. Dessa illustreras i Figur 22 tillsammans med Natura 2000-områden i närområdet.



Figur 22. Samtliga vindkraftsparker under utredning i närheten av Najaderna.

De vindkraftsparker som ligger inom cirka 50 km från Najaderna är följande:

- Olof Skötkonung
- Fyrskäppet
- Gävle Öst Havsvindpark
- Sylén
- Storgundet
- Utposten 2
- Segelskär
- Vågskär
- Wellamo

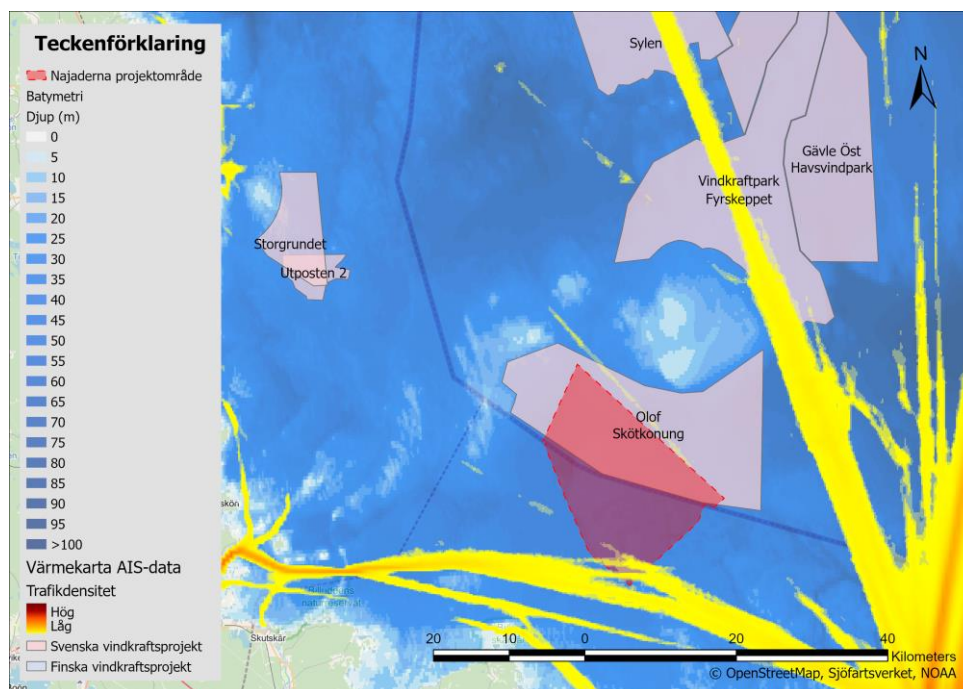
Den vindkraftspark som medför störst kumulativ effekt på Najaderna med hänsyn till navigationsrisker bedöms vara Olof Skötkonung som delvis är planerad inom samma område som Najaderna, se Figur 23. Idag passerar fartyg direkt öster om Najaderna och därmed inom projektområdet för Olof Skötkonung. Olof Skötkonung planerar dock för att etablera en korridor för fartygstrafik genom sitt projektområdet vilket i så fall medför att trafiken inte behöver ta några omvägar för att passera Najaderna och Olof Skötkonung.

Om trafiken däremot inte kommer kunna passera genom Olof Skötkonung efter etablering av vindkraft kan den istället välja att passera söder om Najaderna för att sedan vika av norrut mot Söderhamn och Hudiksvall. Detta scenario medför en mindre trafikökning söder om Najaderna jämfört med dagens trafiksituation.

Ett annat scenario är att trafiken som idag passerar genom Olof Skötkonung väljer att lägga sig öster om parken istället. Eftersom det där dock planeras för flera andra vindkraftsparker, samt att grundområdet och Natura 2000-området Östra banken begränsar genomfart av stora fartyg, kommer i så fall trafiken tvingas passera öster om Fyrskäppet, Gävle Öst Havsvindpark, Bothnia offshore

Lambda och Sylen. Detta medför en stor omväg för fartygstrafiken vilken dock inte påverkas direkt av Najadernas lokalisering, utan snarare av att Olof Skötkonung och Fyrskippet planeras på varsin sida om Östra banken och därmed förhindrar genomfart där. Etablering av Najaderna, Olof Skötkonung och Fyrskippet m. fl. medför att fartygstrafiken i närheten av Natura 2000-områdena vid Finngrundens begränsas. Detta bör därmed även reducera risken för olyckor med konsekvenser på Natura 2000-områdena. Trafiken som detta berör påverkas dock inte av Najadernas etablering i särskilt stor utsträckning. Det är istället främst Fyrskippet, Sylen, Gävle Öst Havsvindpark och Bothnia Offshore Lambda som medför en förflyttning av trafiken bort från Finngrundens (se illustration av dagens trafikflöde genom dessa parker i Figur 23 nedan). Därför analyseras inte denna kumulativa effekt vidare i denna nautiska riskanalys.

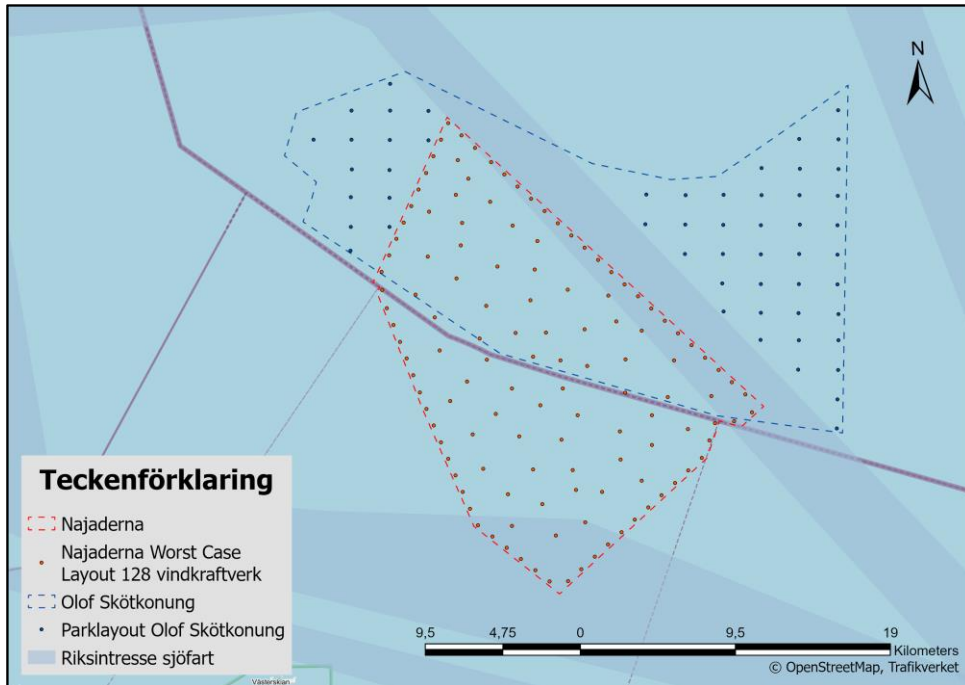
Övriga parker än de som nämns här bedöms inte medföra någon kumulativ effekt på riskerna från Najaderna. Detta beror främst på långt avstånd mellan dessa parker och Najaderna. I scenario 8 nedan analyseras kumulativa effekter till följd av etablering av Najaderna och Olof Skötkonung.



Figur 23. Najaderna med närliggande vindkraftsparker. I figuren illustreras också en värmekarta över fartygstrafiken i området mellan maj 2023 och april 2024 samt batymetri baserad på öppna data.

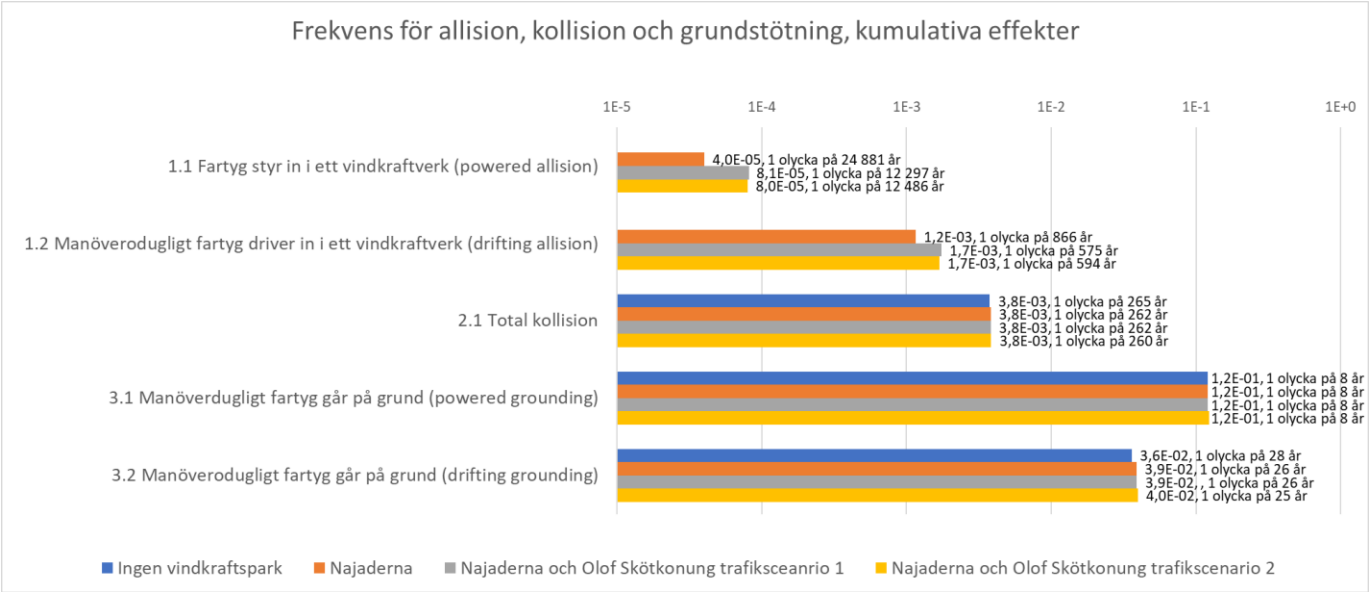
Scenario 8 Kumulativa effekter: Eftersom Olof Skötkonung planeras inom delvis samma område som Najaderna kan inte båda vindkraftsparkerna få tillstånd till etablering av fullständiga vindkraftsparker. Det är däremot tänkbart att en av dessa vindkraftsparker etableras i sin helhet och den andra etableras delvis, inom det område som ligger utanför den andra vindkraftsparkens gränser. Ett tänkbart scenario där hela Najaderna och delar av Olof Skötkonung etableras kan se ut enligt Figur 24. Detta scenario medför att trafiken i stråket direkt öster om Najaderna kan tvingas till ytterligare hopträngning eftersom vindkraftverk etableras även öster om detta stråk. Ökad hopträngning kan medföra ökad risk för frontalkollision och/eller omkörningskollision, likväl som styrande och/eller drivande allision.

Ett alternativt scenario är att fartygstrafiken som idag går genom Olof Skötkonungs projektområde istället väljer att gå söder om Najaderna för att sedan vika av norrut på Najadernas västra sida.



Figur 24. Najaderna med fiktiv worst case-layout på 128 vindkraftverk samt Olof Skötkonung med totalt 53 vindkraftverk. Parklayouten för Olof Skötkonung är baserad på den parklayout som exemplifierats i samrådsunderlaget för Olof Skötkonung vindkraftspark (Deep Wind Offshore, 2022).

Beräknade olycksfrekvenser för grundstötning, allision och fartygskollision med och utan Najaderna och Olof Skötkonung sammanställs i Figur 25. I figuren sammanställs frekvenserna då ingen vindkraftspark etableras, då enbart Najaderna etableras samt om både Olof Skötkonung och Najaderna etableras med två olika trafikscenarion; trafik öster om Najaderna och genom Olof Skötkonung (1) och trafik enbart söder om Najaderna (2). Som illustrerats i Figur 25 finns det inga signifikanta skillnader mellan etableringen av enbart Najaderna eller både Najaderna och Olof Skötkonung, oavsett trafikscenario. En liten ökning av allision sker vid etableringen av båda vindkraftsparkerna jämfört med vid etablering av endast Najaderna. Dock är ökningen av allisionsfrekvensen låg i förhållande till antalet tillagda vindkraftverk.



Figur 25. Beräknade frekvenser för allision, kollision och grundstötning utan vindkraftspark, med Najaderna samt med både Najaderna och Olof Skötkonung.

Den kumulativa påverkan från Olof Skötkonung på den navigationsrelaterade riskprofilen för olika kombinationer av vindparker kan således sammanfattas som i Tabell 28 till Tabell 32 nedan. Tabellerna visar den riskökning som induceras av att etablera en eller flera vindkraftsparker.

Tabell 28. Resultande risk för **styrande allision (powered)** med beaktande av kumulativa effekter om Najaderna och Olof Skötkonung anläggs, eller om de anläggs separat. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3.

Vindpark	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människors hälsa och säkerhet	Miljön ³⁰	Människors hälsa och säkerhet	Miljön
Najaderna	Styrande allision	1,6	3,0	1,5	4,6	3,1
Najaderna och Olof Skötkonung (1)	Styrande allision	1,9	3,0	1,4	4,9	3,3
Najaderna och Olof Skötkonung (2)	Styrande allision	1,9	3,0	1,4	4,9	3,3

³⁰ Konsekvenserna för miljö bedöms inträffa 1 gång på 10 olyckor.

Tabell 29. Resulterande risk för **drivande allision (drifting)** med beaktande av kumulativa effekter om Najaderna och Olof Skötkonung anläggs, eller om de anläggs separat. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3.

Vindpark	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människors hälsa och säkerhet	Miljön ³¹	Människors hälsa och säkerhet	Miljön
Najaderna	Drivande allision	3,1	2,0	1,0	5,1	4,1
Najaderna och Olof Skötkonung (1)	Drivande allision	3,2	2,0	1,1	5,2	4,3
Najaderna och Olof Skötkonung (2)	Drivande allision	3,2	2,0	1,1	5,2	4,3

Tabell 30. Beräknad risk inducerad av vindpark för **fartygskollisioner** med beaktande av de kumulativa effekterna om Najaderna och Olof Skötkonung anläggs, eller om de anläggs separat. Frekvensen representerar hur ofta händelsen förväntas inträffa, **utöver** fartygskollisioner som förväntas hända utan etablering av någon vindpark. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3.

Vindpark	Scenario	Frekvens	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
		(FI)	Människors hälsa och säkerhet	Miljön	Människors hälsa och säkerhet	Miljön
Najaderna	Totala kollisioner	1,7	2,7	2,5	4,4	4,2
Najaderna och Olof Skötkonung (1)	Totala kollisioner	1,7	3,0	2,8	4,7	4,5
Najaderna och Olof Skötkonung (2)	Totala kollisioner	1,9	3,0	2,6	4,9	4,5

³¹ Konsekvenserna för bedöms antas inträffa 1 gång på 10 olyckor.

Tabell 31. Resulterande risk för **styrande grundstötning (powered)** med beaktande av kumulativa effekter om Najaderna och Olof Skötkonung anläggs, eller om de anläggs separat. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3.

Vindpark	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människors hälsa och säkerhet	Miljön	Människors hälsa och säkerhet	Miljön
Najaderna	Styrande grundstötning	-	-	-	Ingen vindparksinducerad risk	
Najaderna och Olof Skötkonung (1)	Styrande grundstötning	-	-	-	Ingen vindparksinducerad risk	
Najaderna och Olof Skötkonung (2)	Styrande grundstötning	3,4	3,0	2,0	6,4	5,4

Tabell 32. Resulterande risk för **drivande grundstötning (drifting)** med beaktande av kumulativa effekter om Najaderna och Olof Skötkonung anläggs, eller om de anläggs separat. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3.

Vindpark	Scenario	Frekvens (FI)	Konsekvens (SI)		Risk (RI)	
			Människors hälsa och säkerhet	Miljön	Människors hälsa och säkerhet	Miljön
Najaderna	Drivande grundstötning	3,5	2,0	2,1	5,5	5,6
Najaderna och Olof Skötkonung (1)	Drivande grundstötning	3,5	2,0	2,1	5,5	5,6
Najaderna och Olof Skötkonung (2)	Drivande grundstötning	3,5	2,0	2,1	5,5	5,6

För att både Olof Skötkonung och Najaderna ska kunna etableras krävs dels den trafikändring som Najaderna medför, dels en tillkommande hopträngning av trafik i stråket som går direkt öster om Najaderna (trafikscenario 1) eftersom några av Najadernas vindkraftverk är placerade inom detta stråk (se Figur 24 ovan). Därmed finns en liten kumulativ effekt i trafikscenario 1 om både Najaderna och Olof Skötkonung etableras. Trots denna effekt är dock total tillkommande kollisionsrisk acceptabel utan åtgärder eftersom trafikförändringarna inte bedöms generera förhöjda risker av sådan betydelse att risken går upp till ALARP eller oacceptabla nivåer. I trafikscenario 2 om både Najaderna och Olof Skötkonung etableras är kollisionsrisknivåerna snarlika som i trafikscenario 1. Endast en liten ökning av kollisionsrisken med konsekvenser för människors säkerhet uppstår i trafikscenario 2 (där risken alltså kvarstår på acceptabla nivåer på grund av att endast få och små trafikförändringar förväntas). Vad avser risken för styrande och drivande allision så ökar båda dessa då både Najaderna och Olof Skötkonung (oavsett trafikscenario) etableras men kombinationen av de två vindkraftsparkerna medför ingen, eller endast en mycket liten, kumulativ effekt. Ökningen av allisionsrisk kommer istället från att det helt enkelt finns fler fasta objekt till havs som fartyg kan kollidera med. De tillkommande vindkraftverken för Olof Skötkonung bidrar dock inte till att risken för allision med Najadernas

vindkraftverk blir högre, vilket är vad som menas med kumulativ effekt. En mycket liten kumulativ effekt av etablering av både Olof Skötkonung och Najaderna uppstår för styrande (powered) allision med konsekvenser för människors säkerhet. För drivande allision eller styrande allision med konsekvenser för miljön uppstår dock ingen kumulativ effekt.

Trots tillkommande antal vindkraftverk till följd av etablering av båda vindkraftsparkerna förblir dessutom riskvärderingen för allision densamma som om enbart en av parkerna skulle etableras (om det för Najaderna är ALARP så är den kumulativa effekten med båda parkerna också ALARP. Detsamma gäller om riskvärderingen är acceptabel).

Den enda egentliga skillnaden i risknivå förekommer för styrande grundstötning som ökar om både Najaderna och Olof Skötkonung etableras och trafikscenario 2 antas. Riskökningen för styrande grundstötning ökar på vissa platser längs med svenska kusten (främst utanför Söderhamn) eftersom trafikflödet i trafikstråk längs med kusten ökar. Risken för styrande allision går från acceptabla nivåer till att ligga inom ALARP vilket kan tyckas vara en stor riskökning. Anledningen till att risknivån ändras på det viset är emellertid att grundstötningsrisken är hög redan innan etablering av havsbaserad vindkraft. Små ändringar av sannolikheten för grundstötning resulterar därför i en mer märkbar ökning av grundstötningshändelser. Observera dock att frekvensökningen för styrande grundstötning endast går från $1,20\text{E-}01$ (frekvens för styrande grundstötning utan Najaderna och Olof Skötkonung) till $1,23\text{E-}01$ efter etablering av både Najaderna och Olof Skötkonung (trafikscenario 2).

Risken för drivande grundstötning är densamma då enbart Najaderna etableras och då både Najaderna och Olof Skötkonung etableras, oavsett trafikscenario.

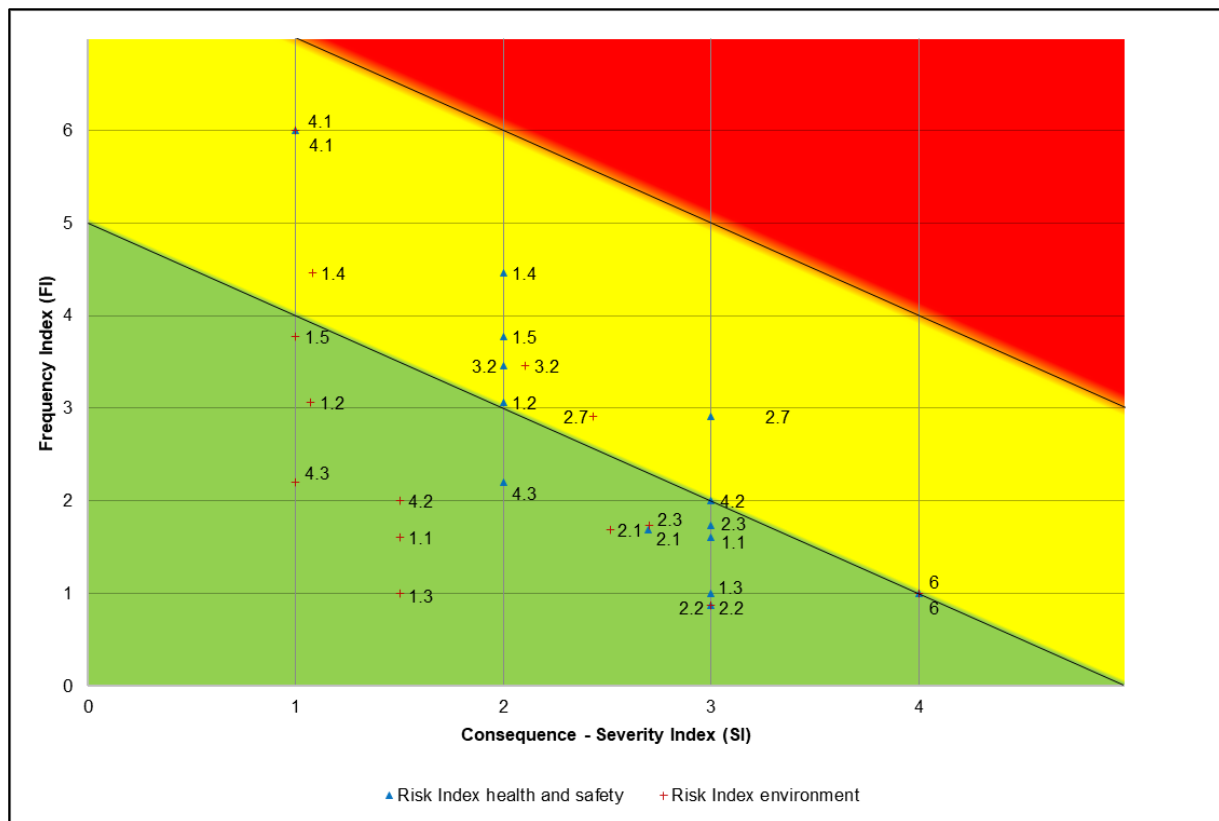
Sammanfattningsvis går det att konstatera att de kumulativa effekterna av etablering av både Olof Skötkonung och Najaderna är små. Däremot ökar riskbilden totalt sett i området till följd av att fler fasta objekt etableras. Detta förändrar riskbilden för fartygstrafiken och påverkar möjligheterna till fri navigering i området. Risknivåerna kvarstår dock på acceptabla nivåer, alternativt ligger de inom ALARP, trots etablering av både Najaderna och Olof Skötkonung.

Viktigt att poängtera är också att trots att den totala riskbilden ökar i området vid etablering av fler vindkraftverk (Najaderna och Olof Skötkonung) så ökar nyttan med vindkraftsetablering mer än vad risken ökar. Risken per vindkraftverk minskar för samtliga olycksscenario förutom för styrande allision då Olof Skötkonung inkluderas i beräkningarna. För styrande allision ökar frekvensen (totalt sett) med $1,24\text{E-}05$ (trafikscenario 1) och $1,11\text{E-}05$ (trafikscenario 2) vilket motsvarar en återkomsttid för olycka på 81 000 respektive 90 000 år.

6.9 Riskmatris

Storleken på de kvantifierade riskerna som presenteras i kapitel 6 sammanfattas i riskmatrisen i Figur 26. De scenarier som efter etableringen av Najaderna resulterar i en oförändrad eller minskad risk illustreras inte i denna matris. Detta gäller också för de scenarier där det inte har varit möjligt att beräkna frekvens- och konsekvensindex. Dessutom illustreras endast riskerna som uppstår vid enbart etablering av Najaderna (inga kumulativa effekter). Beskrivning av scenarionumren som illustreras i Figur 26 återfinns i Tabell 33 nedan.

Den totala summeringen av samtliga risker återfinns i kapitel 7.



Figur 26. Riskmatris som illustrerar beräknade riskindex för både miljö och människors säkerhet, baserat på olycksfrekvens och konsekvens (se Tabell 33 för beskrivning av scenarierna som finns med i riskmatrisen).

Risker inom den gröna zonen är klassificerade som *acceptabla*. Risker inom gul zon är klassificerade som *ALARP* (As Low As Reasonably Practicable, vilket innebär att rimliga riskreducerande åtgärder ska vidtas). Risker inom röd zon klassas som *oacceptabla* och några sådana risker har inte identifierats för Najaderna vindkraftspark.

Tabell 33. Nautiska risker identifierade för Najaderna som presenteras i riskmatrisen i Figur 26.

ID	Scenario
1.1	Fartyg styr in i vindkraftverk (powered allision)
1.2	Fartyg driver in i vindkraftverk (drifting allision)
1.3	Fartyg navigerar eller driver nära ett vindkraftverk och träffas av ett rotorblad
1.4	Fartygs fastnar i is och driver med isen in i ett vindkraftverk (drifting allision)
1.5	Fartyg som passerar genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk (allision)
2.1	Total kollision (tillkommande risk efter etablering av Najaderna)
2.2	Omkörningskollision (tillkommande risk efter etablering av Najaderna)
2.3	Frontalkollision (tillkommande risk efter etablering av Najaderna)
2.7	Kollision med arbetsfartyg under drift-, anläggnings- och avvecklingsfas – arbetsfartyg från Gävle (tillkommande risk till följd av etablering av Najaderna)
3.2	Grundstötning drivande fartyg (drifting grounding)
4.1	Störning av fartygsradar (target loss)
4.2	Störning av fartygsradar (navigationsstörning)
4.3	Störning av fartygsradar inom vindkraftsparken
6	Nedfallande föremål eller kast från vindkraftverk

7. Riskreducerande åtgärder

Tabell 34 listar de risker som identifierats för Najaderna tillsammans med en sammanfattning av riskindex (RI) uppskattat eller beräknat för varje scenario. För de scenarier där risken klassificeras som ALARP listas också rekommenderade riskreducerande åtgärder. 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 längre ner i detta avsnitt.

Figur 3 på sidan 12 illustrerar vad som är en acceptabel nivå av riskindex.

Tabell 34. Nautiska risker identifierade för Najaderna tillsammans med en sammanfattning av uppskattat eller beräknat riskindex för varje risk för människors hälsa och miljön. Index och färgkoder beskrivs i avsnitt 1.2.3.

Id.	Scenario	Risk (RI)		Rekommenderade riskreducerande åtgärder (för oacceptabla risker eller ALARP-risker)
		Människa	Miljö	
Allision (fartygskollision med fasta objekt)				
1.1	Fartyg styr in i vindkraftverk (powered allision)	4,6	3,1	
1.2	Fartyg driver in i vindkraftverk (drifting allision)	5,1	4,1	A. Nödstoppsrutiner för vindkraftverk C. Beredskaps- och räddningsplan D. Dialog med sjöfartsaktörer E. Marine coordinator/övervakning K. Nödstoppfunktion för vindkraftverk
1.3	Fartyg navigerar eller driver in i en diameter om 100 meter kring ett vindkraftverk och träffas av ett rotorblad	<4	<3	
1.4	Fartyg fastnar i is och driver med isen in i ett vindkraftverk (drifting allision)	6,5	5,5	A. Nödstoppsrutiner för vindkraftverk B. Rutiner vid miljöolycka C. Beredskaps- och räddningsplan D. Dialog med sjöfartsaktörer E. Marine coordinator/övervakning K. Nödstoppsfunktion för vindkraftverk P. ID-märkning R. Layout

Id.	Scenario	Risk (RI)		Rekommenderade riskreducerande åtgärder (för oacceptabla risker eller ALARP-risker)
		Människa	Miljö	
1.5	Fartyg som passerar genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk (allision)	5,8	4,8	A. Nödstoppsrutiner för vindkraftverk C. Beredskaps- och räddningsplan D. Dialog med sjöfartsaktörer E. Marine coordinator/övervakning K. Nödstoppsfunktion för vindkraftverk M. Visuell märkning N. Radio- och radarmärkning P. ID-märkning R. Layout
1.6	Påsegling (allision) på grund av begränsad sikt eller skymda sjösäkerhetsanordningar	Bidragande faktor vid andra olycksförlopp. Risken kan därför inte värderas enkelt på samma skala men klassas som ALARP för vidare hantering.		J. Utredning av påverkan på sjösäkerhetsanordningar M. Visuell märkning N. Radio- och radarmärkning O. Mistlur P. ID-märkning Q. Åtgärder för att begränsa radarstörningar (lost target) R. Layout S. Etablering av nya/kompletterande sjösäkerhetsanordningar Betydelsen av radarstörningar kan inte utredas detaljerat i detta skede utan behöver analyseras när slutlig layout är fastställd.
Fartygskollision				
2.1	Total kollision (alla kollisionstyper)	4,4	4,2	
2.2	Omkörningskollision	3,9	3,9	
2.3	Frontalkollision	4,7	4,4	-
2.4	Korsningskollision	Ingen vindkraftsinducerad risk för människa eller miljö		-
2.5	Sammanvävningskollision	Ingen vindkraftsinducerad risk för människa eller miljö		-
2.6	Svängkollision	Ingen vindkraftsinducerad risk för människa eller miljö		-
2.7	Kollision med arbetsfartyg under drift- anläggnings- och avvecklingsfas -	5,9	5,3	B. Rutiner vid miljöolycka C. Beredskaps- och räddningsplan D. Dialog med sjöfartsaktörer E. Marine coordinator/övervakning F. Riskanalys anläggnings- och driftsskede G. Rutin arbetsfartyg H. Information L. Utrustning vid utsläpp
2.7	Kollision med arbetsfartyg under driftsfasen	ALARP		B. Rutiner vid miljöolycka C. Beredskaps- och räddningsplan D. Dialog med sjöfartsaktörer E. Marine coordinator/övervakning F. Riskanalys anläggnings- och driftsskede G. Rutin arbetsfartyg H. Information L. Utrustning vid utsläpp
Grundstötning				
3.1	Grundstötning navigerande fartyg (powered grounding)	Ingen vindkraftsinducerad risk för människa eller miljö		-

Id.	Scenario	Risk (RI)		Rekommenderade riskreducerande åtgärder (för oacceptabla risker eller ALARP-risker)
		Människa	Miljö	
3.2	Grundstötning drivande fartyg (drifting grounding)	5,5	5,6	B. Rutiner vid miljöolycka C. Beredskaps- och räddningsplan D. Dialog med sjöfartsaktörer E. Marine coordinator/övervakning S. Etablering av nya/kompletterande sjösäkerhetsanordningar
Störning av radar och navigationssystem				
4.1	Störning av fartygsradar (target loss)	7,0	7,0	Q. Åtgärder för att begränsa radarstörningar (lost target) S. Etablering av nya/kompletterande sjösäkerhetsanordningar Betydelsen av radarstörningar kan inte utredas detaljerat i detta skede utan behöver analyseras när slutlig layout är fastställd.
4.2	Störning av fartygsradar (navigationstörning)	<5	<4	-
4.3	Störning av fartygsradar i vindkraftsparken	<5	<4	-
4.4	Vindkraftsparken komplicerar sök- och räddningsaktioner	Försvårande omständighet vid andra olycksförlopp. Risker kan därför inte värderas enkelt på samma skala men klassas som ALARP för vidare hantering.		A. Nödstoppsrutiner för vindkraftverk B. Rutiner vid miljöolycka C. Beredskaps- och räddningsplan K. Nödstoppsfunktion för vindkraftverk M. Visuell märkning N. Radio- och radarmärkning P. ID-märkning R. Layout
Vinterförhållanden				
5.1	Förändrad isbeläggning till följd av vindkraftsetablering	Risken är föremål för pågående forskning och kan inte kvantifieras. Klassificerad som ALARP för vidare hantering.		I. Förbättra samarbete, samordning och reglering av vintertrafik.
5.2	Vindkraftsparken blockerar vinternavigationsrutter	Försvårande omständighet vid andra olycksförlopp. Risker kan därför inte värderas enkelt på samma skala men klassas som ALARP för vidare hantering.		I. Förbättra samarbete, samordning och reglering av vintertrafik.
6	Nedfallande föremål eller iskast från vindkraftverk	<5	<5	-
Kablar				
7.1	Kabelskada påverkar fartyg	Försumbar för människor och miljö		-
7.2	Kablar förhindrar nödankring	Försumbar för människor och miljö		-
Kumulativa effekter				
8	Fartyg navigerar in i vindkraftverk (powered allision) – Olof Skötkonung och Najaderna	4,9	3,9	-
	Fartyg driver in i vindkraftverk (drifting allision) – Olof Skötkonung och Najaderna	5,2	4,3	A. Nödstoppsrutiner för vindkraftverk C. Beredskaps- och räddningsplan D. Dialog med sjöfartsaktörer E. Marine coordinator/övervakning K. Nödstoppfunktion för vindkraftverk
	Total kollision – Olof Skötkonung och Najaderna	4,7	4,5	-

Id.	Scenario	Risk (RI)		Rekommenderade riskreducerande åtgärder (för oacceptabla risker eller ALARP-risker)
		Människa	Miljö	
	Fartyg styr på grund (powered grounding) - Olof Skötkonung och Najaderna	Ingen vindkraftsinducerad risk för människa eller miljö		-
	Fartyg driver på grund (drifting grounding) - Olof Skötkonung och Najaderna	6,5	6,1	B. Rutiner vid miljöolycka C. Beredskaps- och räddningsplan D. Dialog med sjöfartsaktörer E. Marine coordinator/övervakning

Nedan redovisas en mer detaljerad beskrivning av åtgärderna som rekommenderas, de är här indelade i kategorierna organisatoriska åtgärder och fysiska åtgärder.

Organisatoriska åtgärder:

- A. Nödstoppsrutiner för vindkraftverk. Nödstoppsrutiner ska tas fram och finnas lokalt samt på distans, exempelvis vid driftcentralen.
- B. Rutiner vid miljöolycka. Konsekvenslindrande åtgärder och rutiner för miljöolycka och utsläpp ska utarbetas.
- C. Beredskaps- och räddningsplan. En beredskaps- och räddningsplan ska utarbetas och regelbundet uppdateras för att förbereda driftorganisationen inför eventuella nödsituationer som kan uppstå, exempelvis påsegling (allision).
- D. Dialog med sjöfartsaktörer. Dialog kring risker bör föras med relevanta sjöfartsaktörer, exempelvis rederier som trafikerar området regelbundet eller står för stora trafikvolymmer.
- E. Marine coordinator/övervakning. Vindkraftsparken kommer under anläggningsfasen att ha en särskild Marine coordinator som kontrollerar och samordnar alla marina operationer. Under anläggning, drift och avveckling kommer övervakning av fartygstrafik i vindkraftsparken och i närområdet att ske, med hjälp av bland annat radar och AIS. Övervakningsfunktionen ansvarar även för alarmering till SOS Alarm och JRCC³².
- F. Riskanalys anläggnings- och driftsskede. Riskanalys tas fram inför anläggning och drift. Resultatet inarbetas i drifttrutiner och beredskaps- och räddningsplan.
- G. Rutin arbetsfartyg. Inför konstruktion tas en rutin fram för hur arbetsfartyg ska navigera säkert. Denna tas fram i dialog med berörda intressenter.
- H. Information. Information om anläggningsarbeten ska annonseras och kommuniceras i god tid till berörda parter innan anläggning/avveckling av vindkraftsparken påbörjas.
- I. Förbättra samarbete, samordning och reglering av vintertrafik. Myndigheter och andra berörda intressenter bör delta i dialog om strategier för adekvat ishantering i Östersjön, t.ex. förbättrat isbrytarsamarbete mellan Finland/Sverige, förberedda rutiner för isbrytare, samordning av fartyg och isbrytare, ankar-/väntplatser längre ut i havsområdet där det inte finns risk att driva mot vindkraftsparken, planering av sjövägar och förbättring av regler och förordningar om hur man hanterar fartyg i isiga förhållanden.

³² Sjöfartsverkets nationella Sjö- och flygräddningscentral, Joint Rescue Co-ordination Centre

- J. Utredning av påverkan på sjösäkerhetsanordningar. När turbinpositionerna fastställs utreds påverkan på befintliga sjösäkerhetsanordningar för att säkerställa att sjösäkerheten i området upprätthålls.

Fysiska åtgärder:

- K. Nödstoppsfunktion för vindkraftverk. Nödstoppsfunktion ska finnas lokalt samt på distans, exempelvis i driftcentral.
- L. Utrustning vid utsläpp. På underhålls- och servicefartyg ska det finnas utrustning för att fördröja och begränsa ett miljöfarligt utsläpp.
- M. Visuellt utmärkning. Säkerställ utmärkning av vindkraftverk och plattformar i enlighet med gällande lagstiftning alternativt i enlighet med branschstandard.
- N. Radio- och radarutmärkning. För att öka synligheten av vindkraftsparken ska AIS- och Raconmärkning³³ ske av utvalda vindkraftverk.
- O. Mistlur. Installation av mistlur på samtliga vindkraftverk eller utvalda vindkraftverk.
- P. ID-märkning. Vindkraftverken förses och märks ut med en unik ID-beteckning för att underlätta arbete vid räddningsinsatser.
- Q. Åtgärder för att begränsa radarstörningar (lost target). Installation av referensbojar³³ i fartygsstråk och andra åtgärder för att minska risken för lost target övervägs och beslutas efter den slutgiltiga utformningen av vindkraftsparken.
- R. Layout. Möjligheter för räddningsaktioner och navigation i vindkraftsparken ska beaktas vid slutgiltig utformning av parken. Räddningsaktioner i vindkraftsparken kan underlättas om vindkraftverken placeras i rader.
- S. Etablering av nya/kompletterande sjösäkerhetsanordningar inom vindkraftsparken. Detta kan göras om befintliga sjösäkerhetsanordningar skymms av vindkraftsparken och kompletterande sjösäkerhetsanordningar behövs för att upprätthålla sjösäkerheten i området. Kan exempelvis göras i form av radarreflektorer, radartransponders (Racon) och ljussignaler.

Eftersom inga händelser (scenarier) klassats som oacceptabelt höga föreslås inga åtgärder som är tvingande ur ett riskperspektiv. Däremot har scenario 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 2.7, 3.2, 4.1, 4.4, 5.1, 5.2 och 8 funnits vara i ALARP. Inom ALARP ska åtgärder som kan anses tekniskt och ekonomiskt rimliga vidtas. . Vilka åtgärder som kommer krävas, samt omfattningen och den exakta utformningen av dessa beslutas i samband med den slutgiltiga utformningen av parken. Undantaget är åtgärd Q där en studie av eventuella radarstörningar kommer att genomföras när vindkraftsparken är anlagd, för att avgöra om det finns ett behov av att vidta åtgärder för att motverka radarstörningar. Potentiella åtgärder som kan vidtas om det visar sig att radarstörningar från parken är så pass omfattande att störningsreducerande åtgärder krävs listas och beskrivs i Appendix B.

³³ Racon (Radar beacon) är en transponder som används för identifiering och navigationshjälpmedel och som installeras exempelvis på ett vindkraftverk eller en fyr alternativt som bojar.

8. Osäkerheter

Nedan redovisas de största källorna till osäkerheter som har identifierats för analysen. Slutsatsen är att även om det finns osäkerheter så är de övergripande resultaten robusta och de framräknade frekvenserna bedöms hamna i rätt intervall även om siffrorna på decimalen får tolkas med viss försiktighet.

Osäkerhetsanalysfall har tagits fram med slutsatsen att de flesta antaganden har liten resultatpåverkan. Undantaget är antaganden om olycksfrekvensen under isförhållanden där detta scenario visar sig ha större betydelse för sannolikheten för att ett manöverodugligt fartyg driver in i ett vindkraftverk (*drifting allision*). Vidare resonemang kring denna risk förs i avsnitt 9.6 nedan.

De flesta osäkerheterna är kända i branschen och hanteras på liknande sätt i nautiska riskanalyser genomförda av andra aktörer (exempelvis genom osäkerhetsanalysfall) vilket garanterar en jämförbarhet mellan olika vindkraftsparker och analyser.

8.1 Parklayout

Riskanalysens resultat kan variera något beroende på vilken parklayout som slutligt antas. Vindkraftsparker där vindkraftverken placeras i symmetriska rader samt glesare längs parkens kanter och hörn medför vanligtvis lägre risker för sjöfarten, med avseende på bland annat allision. Även räddningsinsatser kan underlättas med en symmetrisk parklayout.

Den parklayout som analyserats i denna riskanalys är emellertid en fiktiv worst case-layout. I denna layout har vindkraftverk placerats i samtliga hörn och tätare rader av vindkraftverk står längs projektområdenas kanter. Dessutom har nästan dubbelt så många turbinpositioner använts. Detta medför högre risknivåer än med andra layouter och resultaten är därför konservativa.

8.2 Frekvenser

I frekvensuppskattningen har osäkerheter identifierats kopplade till följande: parametrar, AIS-data, IWRAP-modellen, framtida trafikvolym, förflyttning av trafik, vintertrafik och is. Osäkerheter kring frekvensuppskattningen diskuteras mer i detalj i **Appendix C**. Betydelsen för den beräknade risken summeras kortfattat nedan.

8.2.1 Parametrar

För att minska betydelsen av parametriska osäkerheter så har förvalda parametervärden använts i IWRAP, bland annat sannolikheter för mänskligt felhandlande och funktionsfel på fartyg liksom förutsättningar för nödankring och

reparation. Dessa parametrar har validerats av experter och följer branschstandard, vilket minskar osäkerhetsmarginalen och ökar tillförlitligheten i resultatet.

8.2.2 AIS-data

AIS-data som används i analysen har hög tidsupplösning och bedöms vara tillförlitlig gällande fartygens positioner. Dock saknas uppgifter om mindre, icke-kommersiell trafik. Eftersom trafiken varierar år för år finns en viss osäkerhet i prognoserna som utgår från historisk AIS-data.

8.2.3 IWRAP-modellen

Den noggranna definitionen av legs (definierad seglingsväg i IWRAP, se även *Förkortningar och begrepp* i början av rapporten) och fördelningsfunktioner bidrar till att minska osäkerhetsmarginalen varför påverkan bedöms vara liten.

8.2.4 Framtida trafikvolym

Osäkerhetsanalyser har genomförts (se **Appendix C**) med slutsatsen att resultatet påverkas mycket lite av antagandet om framtida trafikvolym och fartygsstorlekar. Med större trafikvolym erhålls fler fartygskollisioner men riskökningen sker oavsett om det byggs en vindkraftspark eller ej. Frekvensen för allision ökar proportionellt mot trafikvolymen, men eftersom risken beräknas logaritmiskt (det vill säga att en ökning av riskindex med ett steg förutsätter en tiofaldig ökning av frekvensen) så är påverkan på den beräknade risken liten. Osäkerheten om framtida antal fartyg har liten påverkan på de numeriska riskresultaten och ingen påverkan på riskernas kategorisering. Ökningen av framtida fraktvolym kan potentiellt resultera i större fartyg i stället för en ökning av antalet fartyg. Genom att vara konservativ vid uppskattning av konsekvenser beaktas denna osäkerhet i riskbedömningen.

8.2.5 Förflyttning av trafik

Hur trafikmönstret kommer att förändras med etableringen av vindkraftsparken är ett antagande med inverkan på resultaten. Det är osäkert på vilket avstånd fartygen kommer att passera vindkraftverken. En genomgång av brittiska vindkraftsparker visar exempel där sjöfartens lokalisering inte påverkas alls, samt fall där sjöfarten påverkas upp till 1,5 nautiska mil från vindkraftsparken (Anatec, 2016).

De antaganden som gjorts i denna analys angående förändringar i rutten och laterala fördelningar påverkar resultaten, främst den beräknade risken för powered allision (vilken utgör en liten del av det totala resultatet för allision). I IWRAP-modelleringen antas det att några fartyg varje år kommer att välja en rutt genom (vid kanten av) projektområdet. Detta är ett mycket konservativt antagande men risken för allision förblir trots det acceptabel eller ALARP. Vid känslighetsanalyser av trafikförflyttningen (mer hopträngd trafik eller mer utspridd trafik) framgår det att frekvensen för drifting allision påverkas mycket lite (sammansättning av känslighetsanalyserna görs i Appendix C). Däremot förändras frekvensen för powered allision betydligt mer, som dock utgör en mindre del av den totala allisionsfrekvensen. Den totala allisionsrisken påverkas därför endast i liten grad.

Vid känslighetsanalysen med mer utspridd trafik ökar risken för drifting allision till att ligga lågt inom ALARP (riskindex 5.0 och 5.1 för människa respektive miljö),

se **Appendix C**. Detta kan motivera riskreducerande åtgärder. Scenariot innebär dock att flera stora fartyg varje år väljer att lägga sin rutt inom projektområdet. Detta bedöms vara ett mindre troligt scenario. De allra flesta fartyg kommer att vilja passera Najaderna med en viss säkerhetsmarginal just för att undvika olyckor.

När trafiken trängs ihop förändras även risken för kollision något (mer hopträngning ger högre kollisionsrisk), men skillnaderna är mycket små. Se vidare resonemang i **Appendix C**.

Även den totala risken för grundstötning påverkas mycket lite av trafikförändringar. Återkomsttiden för drivande grundstötning ändras med ett fåtal år både då mer hopträngd trafik och mer utspridd trafik antas. Risken för styrande grundstötning ökar något då trafiken antas vara mer utspridd än i standardanalysfallen. Risknivån ligger dock fortfarande på acceptabla nivåer.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att olika modelleringar av trafiken efter parketablering inte påverkar den övergripande riskvärderingen markant och inga risker bedöms gå upp på oacceptabla nivåer.

Hur trafiken förväntas förändras efter etablering av Najaderna illustreras och beskrivs i Appendix C. Inga omfattande trafikförändringar är att vänta till följd av etableringen av Najaderna. Hur flera vindkraftsetableringar kan påverka trafiken i området beskrivs i kapitel 6.8.

När sjöfart tvingas ändra planerad rutt på grund av vindkraftsetableringar i eller i närheten av befintliga trafikstråk kan rutterna bli längre, kostnaderna högre och utsläppen från fartygen öka. Trafikförändringar till följd av etablering av Najaderna är främst att vänta söder och öster om projektområdet. Söder om projektområdet tvingas trafiken till hopträngning och viss förflyttning i sydlig riktning. Denna trafikförändring förväntas inte påverka ruttens längd, kostnad eller utsläpp märkbart. Öster om Najaderna kan trafiken tvingas till en förflyttning österut runt Najadernas sydöstra hörn. Denna förflyttning kan medföra en förlängd rutt på upp till cirka 1 000 meter (ca 0,5 M). Endast små kostnads- och utsläppsökningar är att vänta till följd av denna rutförskjutning, framförallt eftersom endast få fartygspassager berörs.

8.2.6 Vintertrafik

För analys av vinternavigation och associerade risker har analysen använt AIS-data från 2023–2024. Vintertrafikmönstret varierar varje år, och därför är resultaten för vinternavigation ett exempel på hur risker kan påverkas. Den uppskattade risken för fartyg som fastnar i isen och driver med isen in i ett vindkraftverk (scenario 1.4) antas dock vara representativt, eftersom antagandena för möjliga rutter efter etablering av vindkraftsparken är lättare att förutse (fartyg förväntas ta vägar utanför Najadernas projektområde).

För att, i beräkningarna av vinterrisker, kunna ge en så representativ bild av olycksrisker i vinterförhållanden som möjligt justeras vissa parametrar i beräkningsprogrammet IWRAP. Parametrarna som justeras är bland annat, drifhastighet hos drivande fartyg, sannolikheten för lyckad nödankring och förväntad frekvens för maskinhaveri. Drifhastigheten för manöverodugligt fartyg och frekvensen för maskinhaveri fördubblas medan sannolikheten för lyckad nödankring justeras ned till 0. Detta är mycket konservativa antaganden som görs eftersom det är svårt att förutse hur isförhållandena faktiskt kommer att påverka riskbilden i området. Därför är det rimligt att anta att risken för drivande allision under isförhållanden är överskattad.

8.2.7 Is

Det finns begränsat med kunskap om hur vindkraftverk bidrar till uppkomst av isvallar (scenario 5.1. En mer omfattande studie behövs för att fullt ut förstå påverkan. Det är också värt att notera att det finns många andra faktorer som kan påverka bildandet av isvallar och andra isförhållanden, inklusive klimattförändringar och naturlig variabilitet i vädermönster. Osäkerheterna medför att risken kommer att behandlas som ALARP. Det är dock troligt att denna risk överskattas eftersom Najaderna är relativt sydligt lokaliserad och svåra isvintrar sällan förekommer på dessa breddgrader. Frekvensen för vinterrisker är därför sannolikt betydligt lägre än vad resultatet från beräkningarna tyder på. Det är också troligt att antalet svåra isvintrar blir färre i framtiden till följd av klimattförändringarna.

8.3 Mänskliga fel

Vid bedömningen av vissa risker, inklusive hantering av radarstörningar, har sannolikheter för mänskligt felhandlande, *human error probability* (HEP), uppskattats på ett förenklat sätt. Detta är i enlighet med FSA-metoden (Maritime Safety Committee, 2018), som anger:

"Where a fully-quantified FSA approach is required, HRA (Human Reliability Assessment) can be used to develop a set of HEPs for incorporation into probabilistic risk assessment. However, this aspect of HRA can be over-emphasized. Experienced practitioners admit that greater benefit is derived from the early, qualitative stages of task analysis and human error identification. Effort expended in these areas pays dividends because an HRA exercise (like an FSA study) is successful only if the correct areas of concern have been chosen for investigation. "

HEP-värden har valts konservativt på grund av brist på detaljerad information, för att undvika att de analyserade riskerna underskattas.

8.4 Konsekvenser

Konsekvensuppskattningarna bygger på bedömningar i vilka fartyg av olika storlekar och längd bedöms gemensamt. Antaganden om framtida fartygsstorlekar bygger på osäkra prognoser. För att ta höjd för den osäkerhet som följer med konsekvensuppskattningen har konsekvenserna av de identifierade olyckshändelserna valts konservativt. Exempelvis har ingen av de påseglingar av vindkraftverk som inträffat historiskt resulterat i vare sig dödsfall eller utsläpp enligt vad som studerats i denna analys (se avsnitt 2.4.1), men dessa konsekvenser antas ändå i riskanalysen.

Vid allision har det antagits att endast var tionde allision med vindkraftverk resulterar i utsläpp. Detta innebär att konsekvensen för miljön vid en allisionsolycka nio av tio gånger blir obefintlig, medan den en av tio gånger resulterar i ett utsläpp enligt storleken definierad i kapitel 5, Tabell 8 sidan 39. För att illustrera korrekt risktal i riskanalysen för allision (tabellerna i avsnitt 6.1) har konsekvenssiffran för miljöolyckor reducerats med en tiopotens. Om detta inte görs blir summeringen av frekvens och konsekvens för miljöolyckor högre än vad den beräknats vara. Att konsekvensen för miljö i dessa tabeller är låg innebär dock inte att utsläppen, när de väl inträffar, är så små. Ett lägre konsekvenstal syftar istället till att illustrera att frekvensen för ett allvarligt utsläpp är lägre.

Konsekvenstalet för miljö i tabellerna i avsnitt 6.1 kan därför ses som en genomsnittlig siffra för alla allisioner, även de då inget utsläpp inträffar.

9. Diskussion

Totalt har 25 nautiska risker identifierats, analyserats och utvärderats. De flesta risker klassades som försumbara eller kategoriserades som *acceptabla*. Inga oacceptabla risker identifierades. Risker som i vissa avseenden har klassificerats som *ALARP*, vilket betyder att riskerna kan tolereras om rimliga åtgärder vidtas, har påträffats. Rekommenderade åtgärder för att minska riskerna ges i denna rapport.

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

Aspekter som behöver ytterligare diskussion relaterade till tidsskala, allision och vinterrelaterade risker tas upp i kommande avsnitt.

9.1 Tidsskala

Riskerna kvantifieras på årsbasis men representerar ibland en risk för förhållanden som inte finns hela året. De beräknade riskerna speglar således risknivån om risken finns under hela året (det vill säga den beräknade risknivån för att fartyg ska fastna i isen och sedan driva med isen representerar risken om vinterförhållanden skulle råda året runt). Värdena bör inte användas för att uppskatta ackumulerad risk, såvida inte riskerna skalas ner med en faktor som motsvarar den period som riskerna existerar. Detta innebär att beräknad risk för drivande allision i isförhållanden är överskattad (minst fördubblad eftersom vinterförhållanden inte förekommer under längre period än maximalt halva året). Framför allt eftersom Najadernas lokalisering innebär att svåra isförhållanden sällan inträffar och/eller under mycket korta perioder.

9.2 Risk per område

Risk i föreliggande rapport bedöms som den tillkommande risken efter etablering av vindkraftspark gentemot risknivån i nuläget (utan parketablering). Anledningen till att risken illustreras på detta sätt är att den faktiska risknivån annars är helt beroende av hur stort analysområdet är. Ju större område som analyseras, desto högre blir den faktiska risken.

Som exempel så är den grundläggande risken för grundstötning och kollision är relativt hög i Bottniska viken (mellan övre ALARP och oacceptabel enligt kriterier i avsnitt 1.2.3) även utan etablering av Najaderna. Därför är det mer relevant att titta på den tillkommande risk som induceras av vindkraftsparken.

Riskvärderingskriterierna som används i denna riskanalys är därför framtagna just i syfte att beskriva tillkommande risk efter etablering av vindkraft och inte för att värdera den faktiska risken i ett område.

9.3 Allision

Risken för allision, både drivande och styrande (drifting och powered allision) är främst klassad som acceptabel, tills viss del lågt inom ALARP. Den låga risknivån beror främst på lågt trafikflöde i närheten av projektområdet.

För att kontrollera resultatets robusthet har olycksfrekvensen beräknats både om fartygstrafiken sprider ut sig mer eller tränger ihop sig mer jämfört med vad som antagits i standardberäkningen (analysfall 1.1). Sammanställning av känslighetsanalyserna görs i Appendix C. När mer utspridd trafik antas ökar frekvensen för styrande allision (powered allision) till en olycksfrekvens på $7,7 \cdot 10^{-4}$ vilket ger en återkomsttid för powered allision på 1 295 år. I standardberäkningarna för parkalternativet är återkomsttiden för powered allision 24 881 år. Frekvensökningen för powered allision i denna känslighetsanalys är därmed relativt stor och risknivån går upp till ALARP för människors säkerhet vilket innebär att åtgärder kan vara motiverade. Miljörisken kvarstår dock på acceptabla nivåer. Scenariot med så utspridd trafik som antagits i detta känslighetsanalysfall är dock mindre troligt. Trafikspridningen innebär att flera fartyg varje år aktivt kommer att välja en rutt genom Najadernas yttre områden alternativt precis utanför projektområdet. De allra flesta fartyg kommer att vilja passera Najaderna med en viss säkerhetsmarginal just för att undvika olyckor. Dessutom förväntas inte stora fartyg välja en rutt genom projektområdet. Risken för powered allision förväntas därmed i realiteten bli lägre än vad denna känslighetsanalys (mer utspridd trafik) tyder på.

Frekvensen för drivande allision (drifting allision) i detta känslighetsanalysfall (mer utspridd trafik) förändras mycket lite (från en olycka på 886 år till 1 olycka på 911 år). Den totala återkomsttiden för allision (både powered och drifting) går från en olycka på cirka 840 år (standardberäkning, analysfall 1.1) till en olycka på cirka 540 år. Detsamma, fast tvärtom, gäller då trafiken antas trängas ihop mer. I detta fall minskar frekvensen för styrande allision kraftigt (till en olycka på drygt 19 miljoner år) medan frekvensen för drivande allision endast reduceras till 1 olycka på 837 år. Frekvensen för total allision i känslighetsanalysen för mer hopträngning av trafiken landar också på 1 olycka på 837 år eftersom drivande allision utgör nästan hela allisionsbidraget.

Detta innebär att trots att förändringen för styrande allision är mycket känslig för olika antaganden om trafiken så förändras den totala allisionsfrekvensen mycket lite av olika antaganden om trafikförändringar.

Vad som kan konstateras utifrån dessa känslighetsanalyser är att det endast är frekvensen för powered allision som påverkas i märkbar utsträckning av hur trafiken modelleras. Därmed kan resultatet från standardberäkningarna anses vara robusta, och riskerna sammanfattningsvis acceptabla eller inom ALARP.

9.4 Kollision

Risken för total kollision skiljer sig mycket lite mellan nollalternativet och parkalternativet. Den vindkraftsinducerade kollisionsrisken är acceptabel för samtliga kollisionstyper. Tre av dem, korsningskollision, sammanvävningskollision och svängkollision ökar inte alls vid etablering av Najaderna. Detta beror främst på att de trafikförändringar som krävs endast berör en mindre mängd trafik (cirka 3–5 fartyg per dygn) och många gånger krävs endast en mindre justering av ruten för att passera Najaderna på ett säkert sätt.

De fartyg som idag rör sig igenom projektområdet är relativt få vilket endast medför en liten trafikökning i trafikstråken utanför projektområdet.

Den största påverkan på kollisionrisken sker söder om Najaderna eftersom flera befintliga stråk kommer behöva gå ihop till endast ett stråk. Detta innebär att trafiken tvingas trängas ihop på en mindre yta vilket ökar risken något för frontalkollision och omkörningskollision. Frekvensökningen är dock som nämnts fortfarande acceptabel enligt de beräkningar som genomförts.

Förutom en liten trafikökning i stråken söder om Najadernas projektområde skapas också en ny girpunkt för fartyg norrifrån på Najadernas västra sida samt för fartyg österifrån. En tillkommande gir kan öka risken för svängkollision vilket inte illustreras i de kollisionsberäkningar som gjorts för Najaderna. Anledningen till att denna eventuella tillkommande risk inte illustreras i de beräkningar som genomförts är att antalet vägpunkter (waypoints) blir färre i IWRAP-modellen för parkalternativet jämfört med i IWRAP-modellen för nollalternativet. Färre vägpunkter medför, enligt beräkningarna, lägre risk för sådana kollisionstyper som kan uppstå vid vägpunkter (korsnings- sammanvävnings- och svängkollisioner). Riskvärderingen för svängkollisioner (och för total kollisionrisk) bedöms dock kunna kvarstå även om en liten frekvensökning av svängkollisioner skulle tillkomma till följd av ny girpunkt. Detta eftersom endast en mindre mängd trafik berörs av denna trafikförändring.

För att studera resultatens robusthet genomförs också känslighetsanalyser på hopträngning av trafik (se Appendix C). Sambanden mellan hur tätt trafiken förväntas färdas och hur risknivån för kollision förändras är tydliga. Vid mer hopträngning ökar risken något och vid mer utspridd trafik minskar risken för kollision. I båda känslighetsanalysfallen förblir dock den totala riskvärderingen för kollision inom acceptabla nivåer.

Sammanfattningsvis gäller att endast små riskökningar av kollision förväntas efter etablering av Najaderna.

9.5 Grundstötning

Risken för grundstötning ökar något vid etablering av Najaderna. Riskökningen beror enbart på att risken för drivande grundstötning ökar. Den tillkommande risken för drivande grundstötning kommer främst från ökad risk vid grundet Östra banken nordöst om Najaderna. Anledningen till denna ökning är sannolikt att trafiken tvingas färdas något närmare detta grund efter att Najaderna etableras.

Risken för styrande (powered) grundstötning ökar inte till följd av etablering av Najaderna, enligt de beräkningar som genomförts. Det finns dock en risk för att IWRAP inte i sin helhet fångar upp eventuell grundstötningsproblematik vid Argos grund, söder om Najaderna. Den batymetri som används i beräkningarna är baserad på öppna data och därför inte exakt. Havsdjupet kan därför skilja ett antal meter mellan batymetrilagret i IWRAP och verkligheten, vilket kan påverka grundstötningsrisken lokalt. Till följd av etablering av Najaderna kan trafik tvingas passera närmare Argos grund, alternativt närmare andra grundområden längs kusten. Detta kan medföra en riskökning av powered grounding trots att IWRAP-beräkningen tyder på motsatsen. En fördjupad analys av grundstötningsrisken vid Argos grund är genomförd och beskrivs i avsnitt 6.3. Bedömningen är att eventuell ökning av risken för powered grounding troligtvis blir mycket liten, främst på grund av att endast en mindre mängd trafik berörs. Dessutom finns ofta förutsättningar även för större fartyg att färdas genom Argos yttrebank eftersom

fartyg som passerar här inte har ett större djupgående än cirka 13 meter på grund av begränsningarna i Gävle hamn.

Ovan resonemang gäller även för drivande grundstötning. Risken för drivande grundstötning kan vara något högre, framför allt söder om Najaderna, än vad IWRAP-beräkningarna tyder på, men den generella risken för drivande grundstötning bedöms trots detta som *ALARP*.

9.6 Is-relaterade risker

Is-relaterade risker är främst ett problem i mer nordliga vatten. Vid svåra isvintrar kan dock även området kring Najaderna påverkas av komplicerad isbildning och försvårade trafiksituationer. I detta avsnitt diskuteras därför is-relaterade risker och dess osäkerheter. Det är dock troligt att svåra isförhållanden kommer att inträffa relativt sällan kring Najaderna i framtiden. Detta beror dels på Najadernas sydliga lokalisering och dels på att varmare vintrar sannolikt är att vänta till följd av klimatförändringarna.

9.6.1 Vindkraftsparkens påverkan på isbildning

När Najaderna etableras kan fundamenten ha påverkan på isbildningen i området. Havsbaserade vindkraftsparker kan bidra till att bygga upp isvallar vilket representeras av risken som bedöms i avsnitt 6.5.1. Isvallar kan orsaka problem för både fartyg och isbrytare. Vallarna är svåra att bryta igenom, särskilt på grund av det konsoliderade lagret av is, som normalt är tjockare än det omgivande fältet av plan is. Isvallarna utgör det största hindret för vinternavigation. Mer kunskap om hur vindkraftsparker till havs 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 det arktiska klimatet, inklusive klimatförändringar och naturliga variationer i vädermönster. Risken klassificeras som *ALARP* och bör behandlas ytterligare.

9.6.2 Fartyg fastnar i isen och driver med isen in i ett vindkraftverk

Varje år fastnar fartyg i isen och driver med isflak. Isens drivhastigheten kan ligga inom intervallet cirka 2–3 % av vindhastigheten. Frekvensen påverkas inte av etableringen av en vindkraftspark, men konsekvenserna är allvarigare. Denna risk studeras i avsnitt 6.1.4 och klassificeras som *ALARP*.

Vad som dock är noterbart vid beräkningar av denna risk är att fartygens drivhastighet med is höjs till 2 knop för fartyg som fastnar och driver med isflak. För att fartyg i is ska driva i 2 knop krävs en vindhastighet över 30 m/s³⁴. Den genomsnittliga vindhastigheten i området är cirka 9 m/s, och vindhastigheten är ofta lägre under hårda vintrar.

9.6.3 Vindkraftsparken blockerar vanliga vinternavigeringsrutter

Denna risk är främst en risk med administrativa och ekonomiska konsekvenser. Det finns dock även konsekvenser relaterade till människors hälsa och säkerhet samt miljön. Fartyg som måste färdas längre sträckor under vinterförhållanden kan vara mer utsatta för riskerna med grundstötning, kollision och allision eftersom den tillryggalagda sträckan är längre. Denna risk studeras i avsnitt 6.5.2

³⁴ 2 knop $\approx$ 1 m/s

Vindhastighet = (2 knop) / (3%) = (1 m/s) / (0.03) = 33.33 m/s

och klassificeras som ALARP. Sannolikheten för att stöta på massiva isvallar blir större. Det kan förekomma förseningar i assistans vid nödsituationer och stillastående fartyg som väntar på assistans utsätts då för krafter i isen och risken för skrovskador ökar. Denna risk studeras också i avsnitt 6.5.2 och bedöms vara en försumbar risk för människor och miljön.

9.6.4 Isskador på fartygsskrov

Fartyg som navigerar i ett kompressivt isfält kan fastna och få skador på skrovet som en följd av kontakt med is. Isskador inträffar ganska ofta hos fartyg under vinternavigation. Alla fartyg som navigerar i isbelagda vatten måste vara isklassade enligt finsk-svenska isklassregler. Dessutom måste de följa aktuella trafikrestriktioner, annars får de inte navigera i regionen och har inte rätt till isbrytarassistans. Konsekvenserna av typiska isskador är inte allvarliga, men sprickor i skrovet kan orsaka ett läckage av vatten in i fartyget. Denna konsekvens anses inte vara ett hot mot människor eller miljön (Winter Navigation Research Board, 2005).

9.6.5 Grundstötning

Vid vinternavigation kan en drivande grundstötning orsakas av is om den förhindrar att de avsedda och nödvändiga manövrarna görs för att hålla fartyget på rätt kurs. Drivande grundstötning är en konsekvens när fartyg fastnar i, och driver med isen. Konsekvensen av en sådan olycka förväntas dock inte bli mer allvarlig till följd av vindkraftsetablering.

9.6.6 Kollision

Kollisionsrisken i avsnitt 6.2 antas konservativt representera också kollisionsrisken under vinterförhållanden där fartygstransiterna är färre, hastigheterna är ofta låga och konsekvenserna av incidenterna vanligtvis inte så allvarliga. Denna kollisionsrisk kategoriseras som *acceptabel*.

Kollisionsrisken under anläggnings- avvecklings- och driftsfasen klassas som ALARP på grund av relativt stora mängder tillkommande trafik jämfört med befintlig trafik i befintliga trafikstråk. Det är dock tänkbart att arbete med anläggnings- och avvecklingsskede av parken anpassas till väderförhållanden i möjligaste mån. Detta innebär att mindre arbete och färre passager med arbetsfartyg görs under de delar av året då området är isbelagt.

9.6.7 Fartygsradar

När fartygsradarn justeras för att undvika störningar, kan även is bli mindre synlig eller osynlig på radarskärmen. Riskbedömningen av störningar i fartygsradarn i avsnitt 6.4 berör inte vinterrisker specifikt. Denna risk kommer att bedömas mer i detalj i radarsstudien som föreslås efter vindkraftsetablering (se kapitel 7).

9.6.8 Sammanfattning av is-relaterade risker

Sammanfattningsvis kan vindkraftsparker påverka isförhållandena i området, vilket påverkar navigationsförhållandena för vintertrafik. Najaderna kan blockera vinternavigationsrutter, vilket tvingar fartyg att ta längre rutter där de är mer utsatta för faror. Några av de vinterrelaterade riskerna klassificeras som ALARP och åtgärder för att mildra riskerna listas i kapitel 7.

På grund av Najadernas lokalisering är det dock sannolikt att isrelaterade risker uppstår sällan. Isbeläggningen vid Najaderna är ofta kortvarig och mindre

omfattande. Därmed är det sannolikt så att många av de isrelaterade riskerna bedömts mycket konservativt och att de i själva verket kan anses vara acceptabla. På grund av osäkerheterna kring vindkraftsetablering och isbeläggning får dock bedömningen av de isrelaterade riskerna kvarstå som ALARP.

9.7 Säkerhetsavstånd

I avsnitt 2.2 beskrivs befintliga rekommendationer, både nationella och internationella, om säkerhetsavstånd mellan fartygstrafik och vindkraftverk till havs. Ett säkerhetsavstånd mellan fartygstrafik och vindkraftverk syftar till att ge utrymme för säker undanmanöver om behov av detta uppstår. I avsnitt 2.2.3 sammanställs dimensionerat trafikutrymme samt de säkerhetsavstånd som bedöms nödvändiga enligt rekommendationer från PIANC. I denna sammanställning framgår det att dimensionerat trafikutrymme och säkerhetsavstånd överlappar med Najaderna både öster och söder om projektområdet. Ätminstone då dimensionerat trafikutrymme utgår från medelpunkten i de riksintressen för sjöfart som är etablerade öster och söder om Najaderna.

På grund av att Najaderna omges av flera grundområden blir trafikens möjligheter till förändrad rutt begränsad. Öster om Najaderna finns det begränsat med utrymme för trafiken att förflyttas i östlig riktning på grund av Finngrundens nordöst om projektområdet. Detta innebär att trafiken kommer behöva passera Najaderna relativt centrerat i det redan etablerade riksintresset för sjöfart och vid behov av undanmanöver med 360-graders gir riskerar större fartyg att komma in i projektområdet. Mängden fartyg som passerar direkt öster om Najaderna är dock mycket få (färre än ett fartyg per dygn enligt statistik från maj 2023-april 2024) och sannolikheten för behov av undanmanöver med 360-graders gir blir därför mycket låg. Dessutom kan fartyg, för att hålla ett säkert avstånd både till Najaderna och till grundet Östra banken, justera ruten något runt Najadernas östra hörn. Fartygen kan ta ut en mindre gir runt detta hörn för att sedan följa Najadernas östra kant och till sist passera även Östra banken på ett säkert avstånd. Detta medför en marginellt förlängd rutt, men antal fartyg som berörs är få.

Söder om Najaderna finns dels en del grundare områden, dels kust inom ett inte alltför långt avstånd från Najadernas södra hörn. Vid etablering av Najaderna krävs en viss hopträngning av trafik i stråken som går in och ut ur Gävle hamn. Dimensionerat trafikutrymme och säkerhetsavstånd enligt PIANCs metodik, utifrån medelpunkten i riksintresset för sjöfart söder om Najaderna, tar upp en så pass stor yta att delar av säkerhetsavståndet överlappar med Najaderna. Detta innebär att vid behov av undanmanöver i form av en 360 graders-gir riskerar fartyg att komma in i projektområdet. Men detta beror på var passerande fartyg väljer att lägga sin rutt i relation till Najaderna, vilket också gäller för passerande fartyg öster om Najaderna.

Den genomförda nautiska riskanalysen har dock visat på relativt låga risknivåer efter etablering av Najaderna. Risken för allision (påsegling av vindkraftverk, powered allision och drifting allision) har bedömts som nästan enbart acceptabel (ALARP för drivande allision med konsekvenser för människor) vilket betyder att den parklayout (antal vindkraftverk samt placering av dessa) som analyserats inte skapar så höga risknivåer för sjöfarten att justeringar bedöms nödvändiga.

Sjöfartsverket och Transportstyrelsen (2023) rekommenderar att säkerhetsavstånd mäts från gränsen av befintliga riksintressen för sjöfart. En sådan metod medför att säkerhetsavståndet upptar en stor yta av Najadernas projektområde. Detta innebär att stora delar av den energiproduktion som Najaderna kan bidra med går till spillo. Med tanke på de låga risknivåer som Najaderna medför bedöms ett säkerhetsavstånd som ligger i linje med Sjöfartsverkets och Transportstyrelsens rekommendationer inte vara motiverat. De risker som analyserats ligger alla på acceptabla nivåer, alternativt inom ALARP. Enligt ALARP-principen ska risker inom ALARP reduceras i den mån det kan anses tekniskt och ekonomiskt rimligt. Genom att anta säkerhetsavstånd enligt Sjöfartsverkets och Transportstyrelsens rekommendationer försvinner cirka 30 vindkraftverk från den layout som analyserats i denna riskanalys. Detta medför en förlust på minst 450 MW energiproduktion vilket bedöms vara en mycket hög kostnad för en riskreducerande åtgärd som avser att reducera risker som redan ligger på relativt låga nivåer. Bedömningen är därför att detta inte kan anses vara en tekniskt och ekonomiskt rimlig åtgärd enligt ALARP-principen.

10. Slutsats

I denna nautiska riskanalys har 25 nautiska risker identifierats, analyserats och utvärderats. Konservativa analysantaganden har tillämpats avsiktligt. Najaderna påverkar riskprofilen för sjötrafiken i området enligt följande:

Allision: Najaderna introducerar risken för allision med vindkraftverk. Denna risk är närvarande även under vinterförhållanden, när fartyg kan fastna i isen och driva med isen. Allisionsrisken har dock bedömts som *acceptabel* för samtliga scenarion, förutom för drivande allision med påverkan på människors säkerhet då risken bedömts ligga lågt inom *ALARP*.

Kollision: Risken för kollision ökar något, främst eftersom Najaderna kommer att orsaka hopträngning av fartygstrafiken öster och söder om Najaderna. Dock är ökningen av kollisionsfrekvensen mycket liten och har bedömts som *acceptabel*. Under anläggningsfasen finns också risk för kollision med arbetsfartyg på väg till/från hamn. Risken med tillkommande arbetsfartyg från Gävle hamn har analyserats och bedömts hamna inom *ALARP*.

Grundstötning: Najaderna medför att risken för styrande (powered) grundstötning inte ökar medan risken för drivande (drifting) grundstötning ökar något. Den tillkommande risken för drivande grundstötning har bedömts ligga inom *ALARP*.

Fartygsradar: Vindkraftsparker till havs kan orsaka störningar på fartygsradar. Inga detaljerade radaranalyser kan genomföras i detta skede.

Vinterförhållanden: Vindkraftsparker till havs kan påverka isförhållandena i området, vilket påverkar navigationsförhållandena för vintertrafik. Najaderna kan också blockera vinternavigationsrutter, vilket tvingar fartyg att ta längre rutter där de är mer utsatta för faror. Bedömningen av is-relaterade risker till havs omfattas av en del osäkerheter men klassas konservativt som *ALARP* för att inte riskera att underskatta risken. På grund av Najadernas relativt sydliga lokalisering i Bottniska Viken är det dock sannolikt att is-relaterade risker drabbar trafiken kring Najaderna relativt sällan.

De flesta risker bedömdes vara försumbara eller kategoriserades som *acceptabla*. Inga *oacceptabla* risker hittades. Risker som i vissa avseenden har klassificerats som *ALARP* har identifierats, vilket innebär att riskerna kan tolereras om rimliga riskreducerande åtgärder vidtas. Risker som klassats som *ALARP* är följande:

- 1.2 Fartyg börjar driva och kolliderar med vindkraftverk, konsekvenser för människors säkerhet (drivande allision)
- 1.4 Fartyg fast i isen och driver med isen in i ett vindkraftverk (drivande allision)

- 1.5 Ett fartyg som passerar genom vindkraftsparken kolliderar med ett vindkraftverk
- 1.6 Begränsad sikt orsakar att ett fartyg navigerar in i ett vindkraftverk
- 2.7 Kollision med arbetsfartyg på väg till/från hamn – Gävle
- 2.7 Kollision med arbetsfartyg under driftfasen på väg till från hamn
- 3.2 Fartyg driver på grund (drivande grundstötning)
- 4.1 Störning av fartygsradar (target loss)
- 4.4 Påverkan på sök- och räddningsinsatser
- 5.1 Vindkraftsparken påverkar isbildning
- 5.2 Vindkraftsparken blockerar vinternavigationsrutter (längre rutter som resulterar i grundstötning, kollision och allision)
- 7.1 Kumulativa effekter av flera vindkraftsetableringar i närområdet (gäller främst risken för kollision)

Rekommendationer om åtgärder för att reducera riskerna ges i denna rapport och sammanfattas i Tabell 35 nedan. Åtgärderna utgör exempel på riskreducerande åtgärder och dess omfattning och utbredning bör arbetas fram tillsammans med berörda myndigheter i ett senare skede när projektets slutliga layout är fastställd.

Tabell 35. Summering av riskreducerande åtgärder.

Organisatoriska åtgärder	Fysiska åtgärder
A. Nödstoppsrutiner för vindkraftverk. B. Rutiner för miljöolycka. C. Beredskaps- och räddningsplan. D. Dialog med sjöfartsaktörer. E. Marine coordinator/övervakning. F. Riskanalys anläggnings- och avvecklingsskede. G. Rutin arbetsfartyg. H. Information. I. Förbättra samarbete, samordning och reglering av vintertrafik. J. Utredning av påverkan på sjösäkerhetsanordningar.	K. Nödstoppsfunktion för vindkraftverk. L. Utrustning vid utsläpp. M. Visuell märkning. N. Radio- och radarutmärkning. O. Mistlur. P. ID-märkning. Q. Åtgärder för att begränsa radarstörningar (lost target). R. Layout. S. Etablering av nya/kompletterande sjösäkerhetsanordningar.

Den övergripande slutsatsen är att risken som orsakas av Najaderna är *acceptabel*, under förutsättning att rimliga åtgärder för att mildra vissa av riskerna vidtas. Risker relaterade till vinternavigation och is antas inte ha allvarliga konsekvenser för människors hälsa och säkerhet eller för miljön, men klassificeras som *ALARP* för att försäkra att osäkerheterna inte leder till en underskattning av riskerna.

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*. Hämtat från <https://doi.org/10.17226/26430>
- Deep Wind Offshore. (2022). *Vindkraftpark Olof Skötkonung Samrådsunderlag*.
- DGE Mark och Miljö. (2023). *Miljökonsekvensbeskrivning Najaderna vindkraftpark*.
- DNV. (2021). *Navigational Risk Analysis of Frederikshavn offshore wind farm*. DNV.
- DNV. (2021b). *NAVIGATIONAL RISK ASSESSMENT OF HESSELØ OFFSHORE WIND FARM*.
- Electrek. (2023). Hämtat från <https://electrek.co/2023/06/04/cargo-ship-offshore-wind-turbine/> [2023-08-24]
- Energimyndigheten. (2023). *Förslag på lämpliga energiutvinningsområden för havsplanerna*.
- 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.
- Fleetmon. (den 24 augusti 2023). Hämtat från <https://www.fleetmon.com/maritime-news/2023/41741/general-cargo-ship-collided-wind-turbine-damaged-n/>
- Gävle Hamn AB. (2024). *Marine Terminal Information Booklet, Energy and Chemical port of Gävle*.
- 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.
- IALA. (2024). *Risk analysis and management - IWRAP*. Hämtat från <https://www.iala-aism.org/technical/risk-analysis-and-management/risk-management-tools/quantitive-risk-management-tools-iwrap/> [2024-09-18]
- 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. (2018). *Revised guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process*.

- 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.
- Kommunikationsverket. (2012). *Handbok i VHF-radiokommunikation för radiooperatörer med kustcertifikat*.
- 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).
- Marine Safety Investigation Unit. (2022). *MARINE SAFETY INVESTIGATION REPORT, Safety investigation into the loss of control of the Maltese registered bulk carrier JULIETTA D*.
- 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, Red.) Hämtat från MNA/053/010/0626: <https://www.gov.uk/government/publications/mgn-372-guidance-to-mariners-operating-in-vicinity-of-uk-oreis>
- NOAA. (2022). *Bathymetric Data Viewer*. Hämtat från <https://www.ncei.noaa.gov/maps/bathymetry/> [2023-02-22]
- PIANC. (2018). *MarCom WG Report no 161 – 2018, Interaction between offshore Wind farms and maritime navigation*.
- RISE. (2023). *Nautisk riskanalys vindkraftpark Fyrskeppet*.
- Sjöfartsverket & SMHI. (2012). *Sammanfattning av isvintern och isbrytarverksamheten 2010/2011*.
- Sjöfartsverket & SMHI. (2023). *Sammanfattning av isvintern och isbrytningsverksamheten 2021/2022*.
- Sjöfartsverket & Transportstyrelsen. (2009). *Vägledning vid projektering och riskanalys av vindkraftsetableringar utmed svenska kusten*.
- Sjöfartsverket & Transportstyrelsen. (2023). *Sjöfartsverkets och Transportstyrelsens rekommendationer vid projektering och etablering av havsbaserad vindkraft*.
- Sjöfartsverket. (2011). *Ordlista och begreppsdiagram Farleder och hamnar*.
- Sjöfartsverket. (2021). *Sjöfartsverkets referensstationsnät. IALA/DGPS*. Hämtat från DGPS - Differential Global Positioning System: <https://www.sjofartsverket.se/contentassets/ef2f62594e4b4214bd4dc9268117cb89/iala-dgps-2016.pdf>
- Sjöfartsverket. (2022). *Ufs A. Underrättelser för sjöfarande. Allmänna upplysningar*.
- SMHI. (2021). *Framtida isutbredning i svenska farvatten - Analys av isförhållandena runt år 2040 och 2070*.
- SMHI. (2024). *Havsis*. Hämtat från <https://www.smhi.se/data/oceanografi/havsis> [2024-05-23]
- Snöberg, J. (2002). *Nautisk instrumentteknik Radar (utbildningskompendium Kalmar Maritime Academy)*.
- SSPA. (2022a). *Nautisk riskanalys vindpark Poseidon*.

SSPA. (2022b). *Trafikanalys Najaderna*.

SSPA. (2022c). *Hazidprotokoll Najaderna*.

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.

Traficom & Transportstyrelsen. (2019). *Guidelines for the Application of the 2017 Finnish-Swedish Ice Class Rules*.

Trafikverket. (2023). *Prognos för godstransporter 2040 - Trafikverkets Basprognoser 2023*.

Trafikverket. (2024). *Prognos för godstransporter 2045 - Trafikverkets Basprognoser 2024*.

Transportstyrelsen. (2022). *Säkerhetsöversikt sjöfart 2022*.

United Nations. (1994). *United Nations Convention on the Law of the Sea*.

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.

Beräkning av riskindex

I riskanalys är det vedertaget att beräkna risk som en produkt av sannolikhet och konsekvens:

$$\text{Risk} = \text{sannolikhet} \times \text{konsekvens}$$

Ekvation 1

Enligt FSA-metodiken (Maritime Safety Committee, 2018) är det lämpligt att definiera konsekvensindex (SI) och frekvensindex (FI) på en logaritmisk skala. Ett riskindex (RI) etableras genom att addera frekvens- och konsekvensindex:

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

Ekvation 2

Riskindex för en händelse som rankats som sällsynt (FI=3) och med allvarlighetsgraden signifikant (SI=2) får då riskindex RI=5 (se riskmatrisen i Figur 3 i den nautiska riskanalysen).

Förhållandet mellan risk och riskindex kan uttryckas enligt följande:

$$\log_{10}(\text{Risk}) = \log_{10}(\text{sannolikhet}) + \log_{10}(\text{konsekvens})$$

Ekvation 3

För en del händelser förväntas olika konsekvenser beroende på vilket eller vilka fartyg som är involverade (kollision med ett passagerarfartyg kan leda till fler dödsfall medan kollision med en oljetanker kan leda till mer oljespill). För sådana händelser beräknas riskindex som summan av riskbidragen från varje typ av händelse:

$$\text{RI} = \log_{10}(f_1c_1 + \dots + f_nc_n) + K$$

Ekvation 4

där RI är riskindex enligt värdering ovan, f_i är frekvensen (per år) för händelsen i , c_i är konsekvensen (uttryckt i säkerhetsindex) för händelsen i , och K är ett konstant heltal för att beräknat riskindex ska motsvara korrekt risknivå i matrisen i Figur 3 i den nautiska riskanalysen.

Exempel

Antag att en viss olyckstyp inträffar med en frekvens på $f = 5 \cdot 10^{-5}$ per år. Detta motsvarar en återkomsttid 20 000 år (det vill säga att en olycka förväntas

inträffa i genomsnitt en gång på 20 000 år). Frekvensen omfattar alla olyckor av en viss typ, oavsett fartygskategori. I detta exempel antas att oljetankers står för 10 % av alla olyckor, passagerarfartyg står för 1 % och lastfartyg för 89 % av denna typ av olyckor.

Beroende på fartygstyp leder olyckan till olika konsekvenser. En olycka med en oljetanker antas leda till ett oljeutsläpp på 1 000 ton olja medan olycka med övriga fartygstyper antas leda till ett utsläpp på 10 ton olja.

Miljörisken för de enskilda fartygskategorierna beräknas då till följande:

$$Risk_{olje} = f_{olje} \cdot C_{olje} = 10 \% \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 1\,000 = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ [ton olja per år]}$$

$$Risk_{pass} = f_{pass} \cdot C_{pass} = 1 \% \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 10 = 5,0 \cdot 10^{-6} \text{ [ton olja per år]}$$

$$Risk_{last} = f_{last} \cdot C_{last} = 89 \% \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 10 = 4,45 \cdot 10^{-4} \text{ [ton olja per år]}$$

För att översätta miljörisken till att passa in i riskmatrisen i Figur 3 i den nautiska riskutredningen antas $K_{miljö}=7$ och med hjälp av uttrycket i *Ekvation 4* beräknas riskindex avseende miljö enligt följande:

$$RI = \log_{10}(Risk_{olje} + Risk_{pass} + Risk_{last}) + K_{miljö} = \log_{10}(5,45 \cdot 10^{-3}) + 7 \approx 4,7$$

Den beräknade risken i detta exempel, $RI=4,7$, är mindre än 5 och skulle således placera sig något under ALARP-nivån i riskmatrisen i Figur 3 i den nautiska riskutredningen.

Vid plottning av risken i riskmatrisen antas $f = 5 \cdot 10^{-5}$ per år vilket på frekvensaxeln är mindre än 1 gång på 10 000 år men mer än 1 gång på 100 000 år. Exakt räknat är inträffandeindex $FI = \log_{10}(5 \cdot 10^{-5}) + 6 \approx 1,7$. Den "typiska" konsekvensen för en olycka kan uttryckas som ett förhållande mellan risk och frekvens, $SI = RI - FI \approx 4,7 - 1,7 \approx 3,0$ vilket på konsekvensaxeln skulle placeras rätt efter konsekvensen "Allvarlig påverkan" motsvarande ett utsläpp på strax över 100 ton olja. Typfrekvensen representerar således inte något enskilt fall utan är ett genomsnitt av flera delscenarier, viktat efter hur stor andel olika fartygstyper utgör av den totala olycksfrekvensen.

Appendix B. Störningar på radio- och radarsignaler - kunskapsöversikt

Moderna fartyg är utöver radar i regel utrustade med navigationssystem där radiosignaler, satellitnavigationssystem och signaler från andra sensorer ombord kopplas ihop med radarbilden på ARPA eller separat på en elektronisk sjökortsdisplay (ECS eller ECDIS). Vindkraftsparker kan ha påverkan på såväl dessa navigationssystem som på visuell sikt.

Fartygsradar

Fartygsradar är ett viktigt verktyg för sjöfartssäkerhet och navigering på sjön. Det finns två huvudtyper av fartygsradar: X-bandradar och S-bandradar. Dessa två radarsystem kompletterar varandra.

X-bandradar är en högfrekvent radar (9 GHz) som vanligtvis används för kortdistansdetektion av föremål och för att hjälpa till med navigering och positionering av fartyget.

S-bandradar (3 GHz) är effektiv på längre avstånd och kan användas för att upptäcka både föremål som är nära fartyget och föremål på längre avstånd.

Fartygsradar är, tillsammans med AIS, ett av de viktigaste verktygen ombord för såväl navigation som för att undvika kollision, särskilt vid dålig sikt.

Vindkraftverk kan reflektera radarsignaler och kan därmed interferera med radarsystem i närområdet. Det är välkänt att havsbaserad vindkraft har påverkan på fartygsradar vilket kan påverka möjligheten till lokalisering, upptäckt och identifiering av radarmål i närheten av vindkraftverk. Vidare kan blinda områden uppstå i skuggan av ett vindkraftverk.

Den vanligaste påverkan är en ökning av signaler som reflekteras och orsakar kraftiga ekon på radarns display, vilket komplicerar beslutsunderlaget för navigationen (Committee on Wind Turbine Generator Impacts to Marine Vessel Radar, 2022). Inom 1,5 M från vindkraftverk finns risk för att fenomen såsom multipeleko, indirekta ekon och sidolobekon kan uppstå (MCA, 2008).

Multipelekon uppstår när radarsignalen studsar mellan vindkraftverk och fartyget några gånger innan den fångas upp av radarantennen. Multipeleko kan också vara eko från många olika mål i samma riktning som fartygets huvudmål. **Indirekta ekon** uppstår när radarpulsen reflekteras på flera föremål innan den når tillbaka till

radarantennen. **Sidolobsekon** är ekon som finns utanför radarantennens huvudlob, alltså ekon från radarmål som befinner sig i antennens sidlober.

Radarutrustningen justeras av den som navigerar fartyget för att minimera störningarna. Ekon kan reduceras genom att justera inställningarna (gain, range eller anticlutter sea). Detta kan antingen göras automatiskt eller manuellt. Eftersom åtgärden samtidigt minskar möjligheten att upptäcka svaga ekon som till exempel mindre båtar och bojar blir det en avvägning att göra mellan för mycket och för lite ekon (Snöberg, 2002).

Nyare fartyg är utrustade med navigationsstöd såsom ARPA (Automatic Radar Plotting Aid) eller radarplotter som ger information om rörelseriktning hos andra objekt såsom fartyg. En modern ARPA innehåller en uppsättning funktioner för att avgöra risken för kollision, bland annat med information om CPA (closest point of approach) och TCPA (time to closest point of approach). Systemet kan exempelvis larma när TCPA faller under ett tröskelvärde som sätts av användaren. När ARPA används för att följa radarmål nära en vindkraftspark så kan ARPA:n, på grund av ovan nämnda radarstörningar, tappa sitt mål (lost target) eller hoppa till ett annat mål (target swap).

Studier som utfördes på vindkraftsparken på Kentish flats, England, visar att sjömän kunnat observera och följa andra fartyg som befann sig både inom och på andra sidan av vindkraftsparken med hjälp av radar trots ovanstående effekter (BWEA, 2007).

PIANC anger att det är hög sannolikhet för spökekon på X-bandsradar på avstånd kortare än 0,25 M (500 meter). Sannolikheten för target loss (små mål) beaktas också som hög på avstånd kortare än 1,5 M (2 778 meter). Säkerhetsavstånd för att undvika interferens har av sjöbefäl satts till 0,8 NM. PIANC rekommenderar sammantaget ett minimiavstånd på 1,5 M mellan fartygstrafik och vindkraftsparker för att minimera störningar på fartygsradar och ARPA (Maritime Safety Committee, 2018). Rapporten betonar att den som navigerar fartyget ska justera sin radarutrustning för att få exakta resultat vid användning av ARPA. Vid felaktig inställning på radarn så kan ekon och lost target förekomma oavsett avstånd från vindkraftsparken enligt PIANC.

Satellitnavigation

Reflektioner från byggnader och andra stora, massiva föremål kan leda till precisionsproblem med GPS (Sjöfartsverket, 2022). Fenomenet när GPS-signalen från satelliten reflekteras i en hög byggnad innan den når mottagaren kallas multipath, och förekommer på handelsfartyg även utan vindkraftverk i närheten. Störningar som härrör från multipath genereras av kranar och master på fartygen havs. Det är möjligt att minimera störningarna på mottagaren genom specifika inställningar (Maritime Safety Committee, 2018).

För att få en bättre positionsnoggrannhet går det att installera en DGPS-mottagare, vilket är standard på de allra flesta moderna handelsfartyg. Sjöfartsverket har i samarbete med grannländerna och efter IALA:s rekommendationer etablerat ett referensstationsnät för GPS (Sjöfartsverket, 2021). Enligt PIANC behövs ett säkerhetsavstånd mellan såväl vindkraftverk och fartyg som mellan vindkraftverk och DGPS-referensstation för att DGPS:ens noggrannhet ska upprätthållas. För 160 meter höga vindkraftverk anges avståndet till 1,2 km. Detta avstånd är beräknat på förutsättningar gällande vinklar och tornhöjder som kan avvika lite från

det aktuella projektområdet och får därför ses som en fingervisning. Säkerhetsavståndet gäller endast störning av signalen från referensstationen vilket innebär att positionsnoggrannheten med GPS förväntas upprätthållas även inom detta avstånd.

Radiokommunikation

VHF är radiofrekvenser som i sjöfarten nyttjas för kommunikation inklusive nödanrop.

AIS använder två kanaler på VHF-bandet för överföring av digital information. AIS är ett autonomt system som gör det möjligt att från ett fartyg och från land identifiera och följa fartygsrörelser. Position, kurs och fart hämtas från samma system som används för fartygets navigation, normalt en GPS- eller DGPS-mottagare (Sjöfartsverket, 2022).

Det globala nödradiosystemet för sjöfarten, GMDSS, är sedan 1999 obligatoriskt för all yrkessjöfart. Utrustningskraven är beroende av vilka farvatten som ska trafikeras. Det aktuella projektområdet ligger inom VHF-täckning från en kuststation med kontinuerlig passning av digitala nödanrop via VHF-systemet (över så kallat DSC) (Kommunikationsverket, 2012). Sjö- och flygräddningscentraler kan utöver VHF-radio även larmas via mobiltelefon eller satellittelefon (Sjöfartsverket, 2022).

Enligt PIANC (2018) påverkar etableringen av vindkraftsparker täckningsområdet för VHF när fartyg befinner sig bortom en vindkraftspark. Det finns studier som bekräftar interferens med VHF, som under vissa omständigheter kan påverka inte bara analog röstkommunikation men även DSC- och AIS-signaler. Betydelsen av störningarna på VHF-kommunikation inklusive AIS bedöms dock vara obetydlig enligt studier som gjorts. Erfarenheter från bland annat North Hoyle visar att kommunikationen fungerar bra över VHF och mobiltelefon inne i parken. Problem med radiopejling av VHF-signalen inträffade emellertid när pejlande fartyg var närmare än 50 meter till ett vindkraftverk som skuggade radiosändaren (Howard, 2004).

Terrester navigation

Uppförandet av en vindkraftspark innebär att den visuella informationen förändras. Vindkraftverk fungerar som tydliga navigationsmärken till havs vilket underlättar navigering i allmänhet samt vid sjöräddningsaktioner. Vindkraftverken kommer att utrustas med fasadbelysning enligt IALA:s rekommendationer.

Vidare kan vindkraftverken skymma befintliga navigationsmärken. Parken skulle teoretiskt kunna skymma sjömärken på ett avstånd upp till 16 nautiska mil och då riskerar Najaderna att skymma fyrarna Finngrundet och Västra banken för fartygstrafiken. För att avhjälpa konsekvenserna av detta kan påverkan utredas då parkens slutliga layout beslutats och lämpliga åtgärder tas fram i samråd med till exempel Sjöfartsverket. Exempel på åtgärder kan vara etablering av nya sjösäkerhetsanordningar.

Kompasser förväntas inte påverkas nämnvärt av vindkraftsparken. Enligt PIANC (2018) är det osannolikt att vindkraftverken och kraftledningarna skulle kunna påverka magnetiska kompasser. Större fartyg har i allmänhet gyrokompasser som inte påverkas av magnetiska störningar, i tillägg till magnetkompass.

Åtgärder radar- och radiostörningar

När vindkraftsparken är anlagd rekommenderas att en studie av eventuella radarstörningar genomförs, för att avgöra om det finns ett behov av att vidta åtgärder för att motverka radarstörningar samt eventuell övrig påverkan på andra radiosignaler. Om sådana behov uppstår finns potentiella åtgärder för att minska dessa störningar beskrivna nedan:

Installation av referensbojar i etablerade trafikstråk och/eller för att avgränsa projektområdet – referensbojar kan också utrustas med radarreflektorer eller Racon³⁵ för extra synbarhet.

Ny radarstation - Om ett byggt vindkraftverk eller en anlagd vindkraftspark hindrar eller försvårar ordnandet av fartygstrafikservice i området kan en ny radarstation etableras. En ny radarstation kan täcka upp en eventuell försämring av den påverkade radarns prestanda som orsakas av en vindkraftspark som byggs i området.

Repeaters i vindkraftsparken – Repeaters kan förstärka, förlänga eller återutsända radiosignaler. Vid installation av repeaters i vindkraftsparken kan täckningen i parken förbättras.

Installation av mobilmaster i vindkraftsparken – syftar till att öka mobiltäckningen till havs om störningar till följd av parketableringen uppstår.

Övervakningskameror och övervakningsradar för isläget - Om vindkraftsparken inverkar på vintersjöfarten i området, förbättras övervakningen av helhetsbilden av isläget och isarnas rörelser samt behovet av isbrytningsassistans i rätt tid i området genom att kameror och/eller radar läggs till i vindkraftverkens konstruktioner.

Virtuella AtoNs (Aids to Navigation) - Ett virtuellt navigeringshjälpmedel (AtoN) kan användas i situationer då det inte är praktiskt möjligt att etablera ett fysiskt navigeringshjälp såsom en boj eller en fyr. I det här fallet kan virtuellt hjälpmedel för navigering användas överallt där en AIS-kuststation kan konfigureras för att skicka information för att markera sin plats och därmed hjälpa besättningen på ett fartyg att få den nödvändiga informationen i realtid. Virtuella navigationshjälpmedel är anpassningsbara då exempelvis väder eller årstider förändrar navigationsförhållandena.

Ny VHF-kuststation – VHF används för kommunikation till havs mellan fartyg och mellan fartyg och landbaserade VHF-stationer. Installation av kompletterande VHF-kuststation kan behövas om störningar på befintliga VHF-stationer uppstår till följd av parketableringen.

³⁵ Racon (Radar beacon) är en transponder som används för identifiering och navigationshjälpmedel.

Appendix C. IWRAP-beräkning av olycksfrekvenser

I denna bilaga redovisas de frekvensberäkningar (sannolikhet) som ligger till grund för riskutredningen för Najaderna avseende kollisionsrisk, grundstötning samt risk för fartyg att navigera eller driva in i vindkraftsparken och kollidera med ett vindkraftverk (i bilagan används begreppet påsegling om när fartyg kolliderar med vindkraftverk och andra fasta strukturer).

Syfte

Följande sannolikheter beräknas:

- Sannolikheten att fartyg navigerar eller driver in i ett vindkraftverk
- Sannolikheten att fartyg driver med is in i ett vindkraftverk
- Sannolikheten för kollision mellan fartyg
- Sannolikheten för grundstötning

Beräkningarna görs för en parklayout med total 128 vindkraftverk.

Metod

Kvantitativa uppskattningar av frekvenser för navigationsrisker görs i enlighet med tillämpbara delar av *Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process* (Maritime Safety Committee, 2018). Till beräkningarna används IWRAP som är ett verktyg för att tillämpa FSA-metodik. I IWRAP beräknas frekvenser för kollisioner, grundstötningar och påseglingar för fartyg som färdas längs definierade stråk. Indata bygger på historisk statistik samt expertskattningar där data saknas.

Beräkningarna görs med en probabilistisk modell som tas fram för fartygstrafiken i det aktuella området. Modellen bygger dels på sannolikheten att fartyg tappat styrningen eller håller en kurs och fart som kan resultera i en olycka om ingenting görs, dels på sannolikheten att alla åtgärder för att undvika

en olycka misslyckas när fartyget befinner sig i ett sådant läge³⁶. Med hjälp av modellen beräknas sannolikheten för kollision och påsegling med och utan vindkraftverk.

IWRAP-modell

Frekvenserna beräknas med den kommersiella versionen av programvaran IWRAP Mk2.

I IWRAP modelleras fartygsstråk i form av delsträckor som kallas *legs*. För trafiken längs varje leg beräknas sannolikheten för kollisioner mellan fartyg av typen frontalkollision samt omkörningskollision.

Punkter där fartygsstråken ändrar riktning, går samman eller korsas modelleras i IWRAP med en *waypoint*. För trafiken genom en waypoint beräknas sannolikheten för en svängkollision, sammanvävningskollision respektive korsningskollision.

Endast den trafik som representeras i legs ingår i beräkningen av olycksrisker i IWRAP. För Najaderna definieras legs för fartygsstråk och där olycksrisken kan påverkas av vindkraftsetableringen genom exempelvis förändrat trafikmönster eller risk för påsegling.

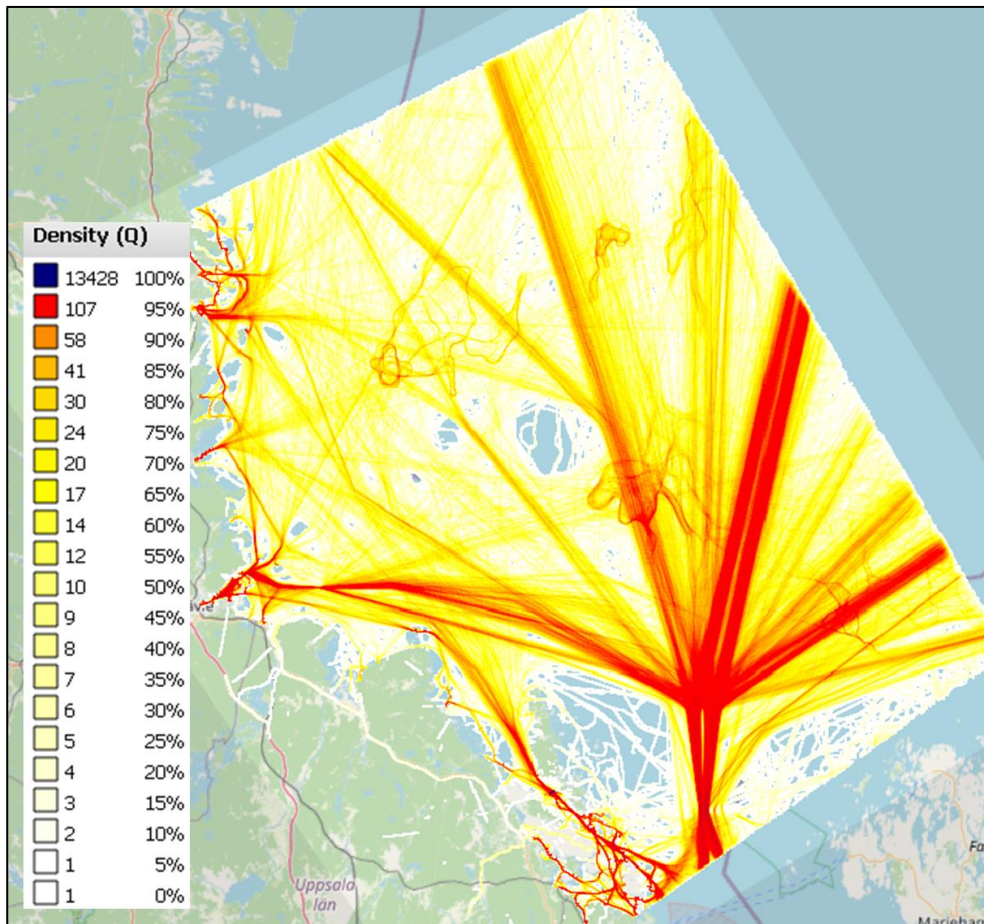
I instruktionerna för programvaran IWRAP Mk2 (Engberg, 2019) ges en utförlig beskrivning av teori och arbetssätt för IWRAP.

Trafikdata

AIS-data under år från 1 maj 2023 till och med 31 april 2024 (inköpt från Sjöfartsverket) används som indata för att skapa modellen av trafikens utsträckning och mönster. I dataunderlaget ingår uppgifter om cirka 2 000 fartyg och sammanlagt cirka 15 000 fartygspassager i området, se Figur 27.

Analysen görs helårsvis. Inga märkbara skillnader finns under vintern (endast cirka två månader var isbelagda under vintern 2023–2024). Därför används samma trafikmönster i samtliga beräkningar (både för sommar- och vinterförhållanden, med och utan isbeläggning). Detta är också konservativt vid beräkningar under vinterförhållanden eftersom det går mer trafik i området under sommarhalvåret.

³⁶ Sannolikheten att fartyg förlorar manöverförmåga eller bibehåller kurs och fart som kan leda till en olycka modelleras med laterala fördelningar som representerar trafik och som baseras på statistik i form av AIS-data om position, storlek och andra relevanta parametrar. Möjligheten att undvika en olycka baseras på antaganden om chanserna att lyckas med undanmanövrar där det krävs eller att lyckas återställa fartygets maskin- och styrförmåga samt att lyckas med nödankring för drivande fartyg. Dessa antaganden är inställningar i IWRAP och presenteras i slutet av denna bilaga.



Figur 27. Fartygsdensitet runt Najaderna baserat på AIS-data.

Fartygstrafiken beskrivs del i trafikanalysen för Najaderna (SSPA, 2022b) samt i kapitel 2 i huvudrapporten.

Validering

IWRAP Mk2 är en validerad programvara. Att den specifika modellen för Najaderna är korrekt säkerställs genom noggrann modell- och resultatgranskning. AIS-data kontrolleras även i GIS.

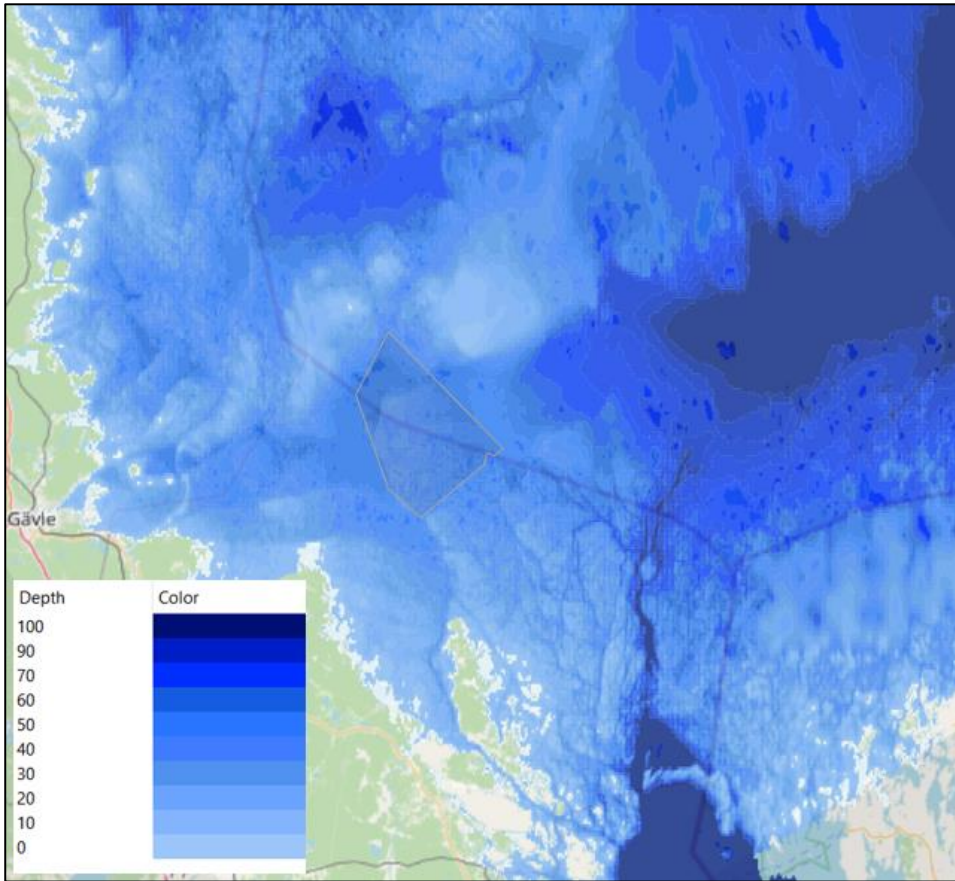
Modellering

En modell av trafiken inklusive laterala fördelningar för fartygen och sannolikheten för situationer där fartyg riskerar att kollidera alternativt styra in i vindkraftsparken skattas i IWRAP utifrån trafikdata.

Najaderna planeras relativt nära svenska kusten och i närheten av ett flertal grundområden. Vattendjupet inom projektområdet uppgår till mellan cirka 30 och 70 meter. Utanför projektområdet, i närheten av Najaderna förekommer områden där djupet inte är mer än ett par meter (bland annat inom grundområdet Finngrunden som ligger strax norr om Najaderna).

Förutom djupets betydelse för sannolikheten för grundstötning så påverkar djupet även möjligheten att nödankra ett manöverodugligt fartyg. Vattendjupet modelleras med hjälp av polygoner baserade på öppen batymetridata från

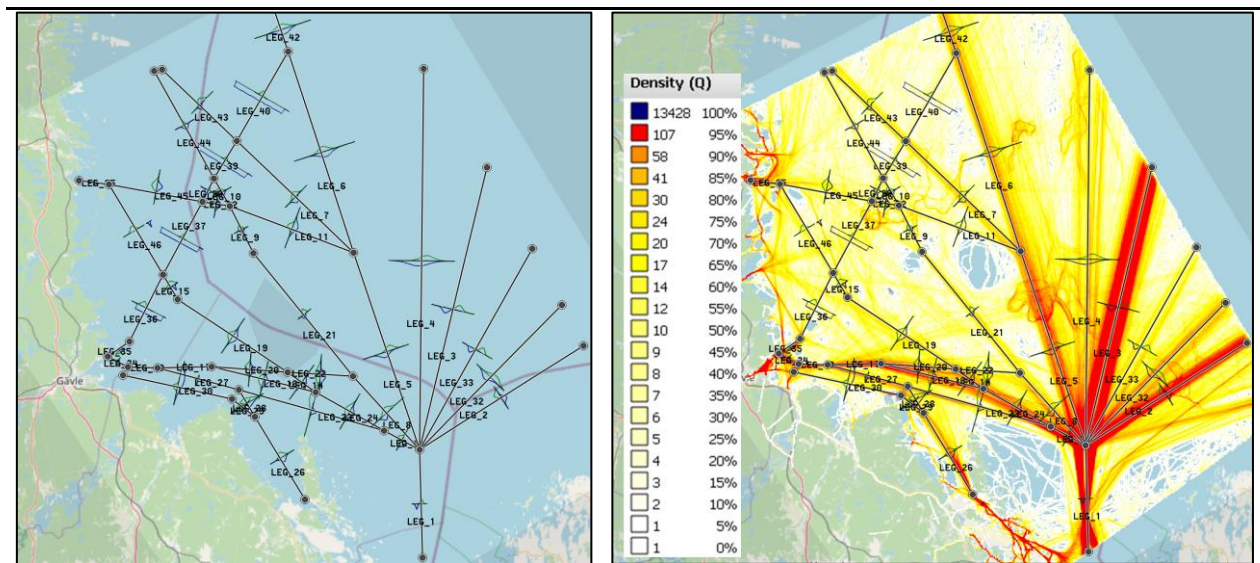
NOAA National Oceanic for Atmospheric Administration (NOAA, 2022), se Figur 28.



Figur 28. Representation av batymetri i IWRAP (NOAA, 2022). Najaderna är beläget cirka 45 kilometer öster om Gävles kust och illustreras i grått i figuren.

Trafiken modelleras i IWRAP genom att definiera legs som representerar de fartygsstråk som identifierats i dataunderlaget. De enskilda fartyg (de fartyg som inte utgör stråk) som idag tar genvägen över Najaderna modelleras inte i IWRAP. Skälet är att möjligheterna är begränsade i IWRAP att modellera trafik som inte följer etablerade fartygsstråk. Genom Najadernas sydligaste hörn passerar ett större antal fartyg som tillsammans bildar ett definierat fartygsstråk. Detta stråk inkluderas i trafikmodellen och flyttas ut ur Najaderna vid modellering av det fiktiva parkalternativet. Detta stråk inkluderas då i andra befintliga stråk söder om Najaderna vilket medför en hopträngning av trafik söder om Najaderna.

Modellen i IWRAP av trafiken kring Najaderna visas i Figur 29. Denna modell illustrerar trafiken så som den såg ut under referensåret (1 maj 2023 till och med 31 april 2024).

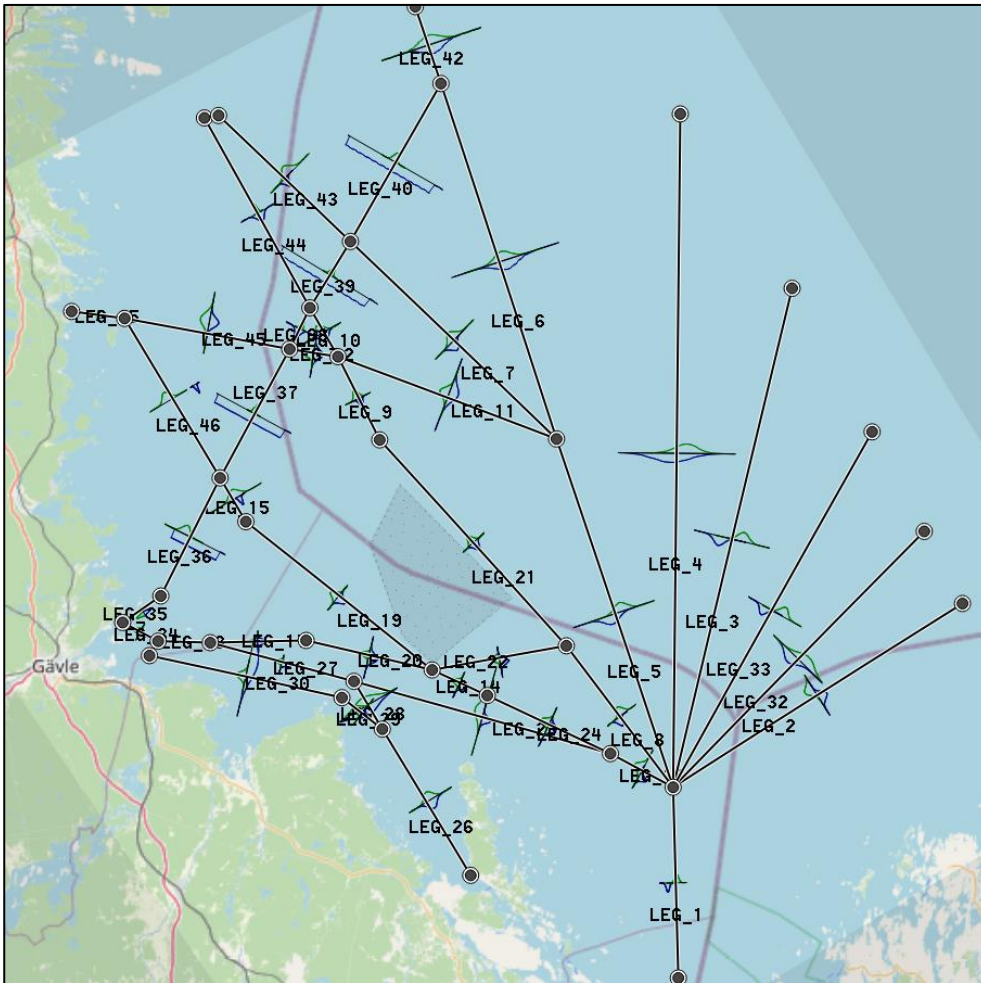


Figur 29. IWRAP-modell över trafiken kring Najaderna. Representation i IWRAP-modell av fartygstrafik i området (nuläge, referensår). Trafiken modelleras i IWRAP genom att definiera legs som representerar samtliga fartygsstråk kring Najaderna. Hur IWRAP-modellen förhåller sig till trafikmönstret framgår av figuren till höger som visar en värmekarta baserad på AIS-data tillsammans med IWRAP-modellens legs och waypoints.

I Figur 30 nedan illustreras förväntat trafikmönster efter etablering av Najaderna. Den mest markanta skillnaden från grundmodellen (modellering av dagens fartygstrafik i Figur 29 ovan) är förflyttning av den trafik som idag passerar genom Najadernas södra hörn. Dessa fartygspassager flyttas ned för att istället passera Najaderna söder om projektområdet. Detta resulterar i en hopträngning av trafiken söder om projektområdet.

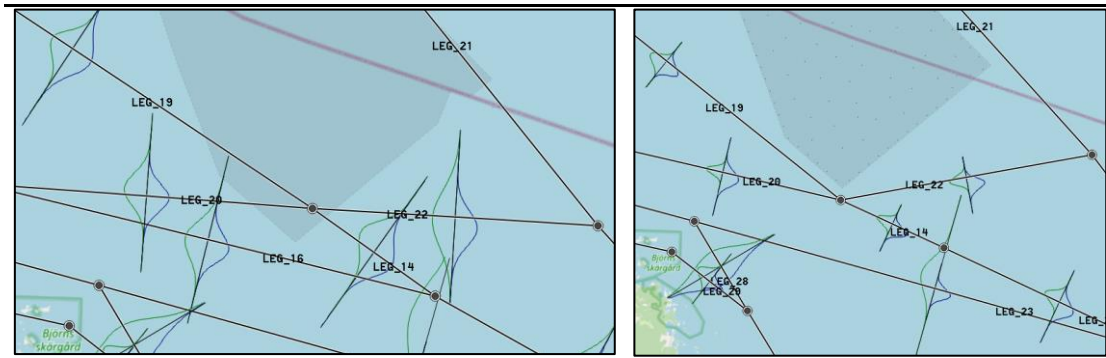
Förutom denna trafikflytt förväntas också en viss flytt och hopträngning av trafiken i stråket direkt öster om Najaderna. Trafiken i samtliga stråk där hopträngning antagits (öster, söder och till viss del väster om Najaderna) har antagits trängas ihop i en sådan omfattning att 99,7 % (tre standardavvikelser) av trafiken positionerar sig utanför projektområdet. Detta innebär att ett fåtal fartyg årligen förväntas färdas inom (i kanten av) projektområdet vilket är ett konservativt antagande.

Inga nya stråk förväntas uppkomma och inga befintliga stråk förväntas försvinna efter etablering av Najaderna. Trafiken som idag går i befintliga stråk behöver inte ta nya, längre färdvägar i särskilt stor omfattning och klimatavtrycket från sjöfarten förblir därför närmast densamma även efter etablering av Najaderna. Endast ett fåtal fartyg som idag rör sig rakt igenom projektområdet behöver lägga om sin rutt (gäller främst större fartyg) och detta kan medföra ett större klimatavtryck till följd av längre färdväg.

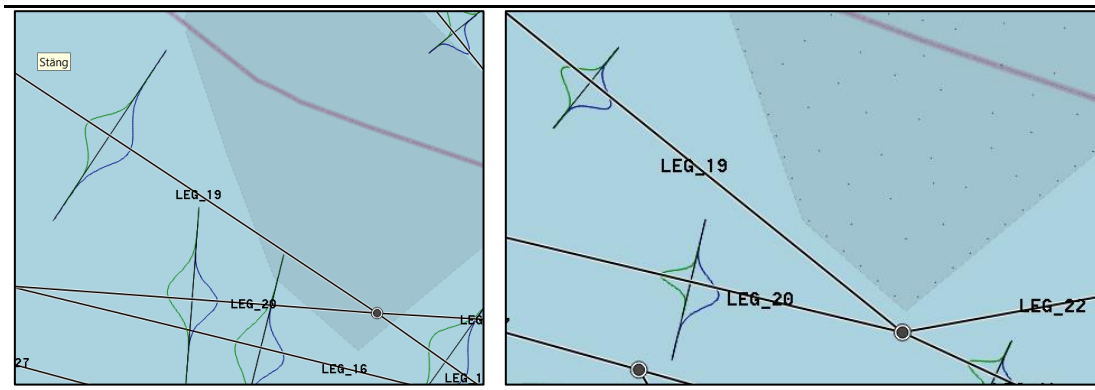


Figur 30. IWRAP-modell över trafiken kring Najaderna. Förväntat trafikmönster efter etablering av Najaderna. Den största skillnaden jämfört med nulägesmodellen (modell över referensåret i Figur 29) är förflyttning av fartygsstråket som idag passerar genom Najadernas södra hörn. Dessa fartygspassager flyttas in i befintliga fartygsstråk söder om Najaderna istället. Utöver detta förväntas viss hopträngning av trafiken i stråket direkt öster om Najaderna. Mer detaljerad illustration av denna trafikförändring illustreras i Figur 31, Figur 32 och Figur 33 nedan.

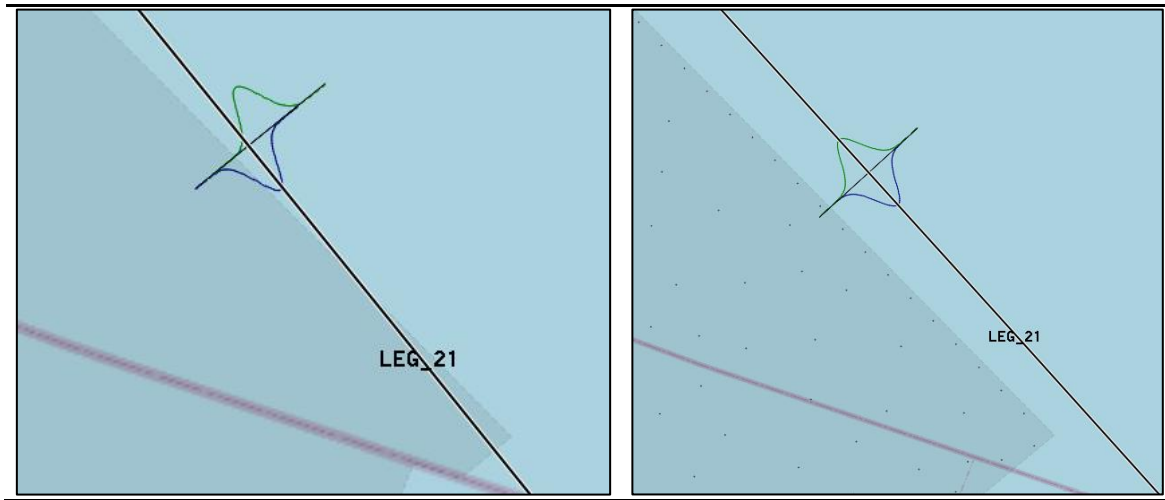
De största trafikändringarna illustreras i Figur 31, Figur 32 och Figur 33.



Figur 31. Trafikmönster (laterala fördelningar) av trafiken innan etablering av Najaderna (figur till vänster) och förväntat trafikmönster efter etablering av Najaderna (figur till höger) söder om Najaderna/i Najadernas södra hörn. Leg 16 söder om Najaderna har flyttats in i Leg 20 och Leg 14 och båda dessa stråk har sedan flyttats så att de istället passerar söder om Najaderna. Även leg 19 och leg 22 flyttas tillsammans med leg 20 och leg 14 och placeras så att de passerar söder om projektområdet. Dessutom har trafiken i flera legs söder om Najaderna trängts ihop så att 99,7 % av samtliga fartyg väljer en rutt utanför projektområdet. Detta illustreras av normalfördelningarna i figurerna, där gröna kurva representerar fartygstrafik som rör sig i västlig riktning och blå kurva representerar fartygstrafik som rör sig i östlig riktning.



Figur 32. Trafikmönster (laterala fördelningar) av trafiken innan etablering av Najaderna (figur till vänster) och förväntat trafikmönster efter etablering av Najaderna (figur till höger) i leg 19 som passerar väster om Najaderna. Leg 19 har flyttats så att stråket istället passerar utanför projektområdet. Dessutom har hopträngning genomförts så att 99,7 % av samtliga fartyg passerar utanför projektområdet.



Figur 33. Trafikmönster (lateral fördelningar) av trafiken innan etablering av Najaderna (figur till vänster) och förväntat trafikmönster efter etablering av Najaderna (figur till höger) i leg 21 som passerar öster om Najaderna. Leg 21 har flyttats något längre österut så att det passerar utanför projektområdet. Dessutom har fartygstrafiken trängts ihop för att rymmas utanför Najaderna men samtidigt inte passera rakt över grundet Östra Banken (del av Finngrundet) nordöst om Najaderna.

Analysfall

En sammanställning av de analysfall som körts i IWRAP återfinns tillsammans med en beskrivning i Tabell 36.

I analysfallen representeras vindkraftsparken av enskilda vindkraftverk med en fundamentsdiameter på 30 meter vilket representerar ett worst case-scenario av bredd på vindkraftverkens fundament.

Osäkerhetsanalys görs för att kvantifiera hur osäkerheter påverkar resultatet:

- Antagande om framtida trafikflöden (oförändrat respektive +35 %) i enlighet med avsnitt 2.3 i den nautiska riskanalysen

Tabell 36. Analysfall och beskrivning av modellering.

ID	Beskrivning	Kommentar	Trafikmodell
0.1	Nollalternativ	Ingen park	ZERO
0.2	Nollalternativ med is	Ingen park, isförhållanden ³⁷	ZERO
1.1	Parkalternativ	Antal vindkraftverk: 128 st	EXPC
1.2	Parkalternativ med is	Antal vindkraftverk: 128 st	EXPC
2.1	Anläggnings- och avvecklingsskede	Ingen park, alla arbetsfartyg förväntas komma från hamnen i Gävle	EXPC-con
3.1	Närliggande parker, Olof Skötkonung och Najaderna, trafikscenario 1	Hela Najaderna samt delar av Olof Skötkonung etableras. Antal vindkraftverk: 128+53 st	EXPC_NP1
3.3	Närliggande parker, Olof Skötkonung och Najaderna, trafikscenario 2	Hela Najaderna samt delar av Olof Skötkonung etableras. Antal vindkraftverk: 128+53 st	EXPC_NP3
4.1	Nollalternativ, framtida trafik	Ingen park, trafikökning med 35 %	ZERO+35 %
4.2	Parkalternativ, framtida trafik	Antal vindkraftverk: 128 st, trafikökning med 35 %	EXPC+35 %
5.1	Parkalternativ, mer hopträngd trafik	Antal vindkraftverk: 128 st, tätare trafikflöde	EXPC_tät
5.2	Parkalternativ, mer utspridd trafik	Antal vindkraftverk: 128 st, glesare trafikflöde	EXPC_spridd

Beskrivning av analysfall

Analysfall utförs för olika modelleringar som motsvarar olika representationer av vindkraftsparken. För varje analysfall beräknas sannolikheten för kollision, grundstötning samt påsegling (gäller endast parkalternativen) utifrån aktuell modellering.

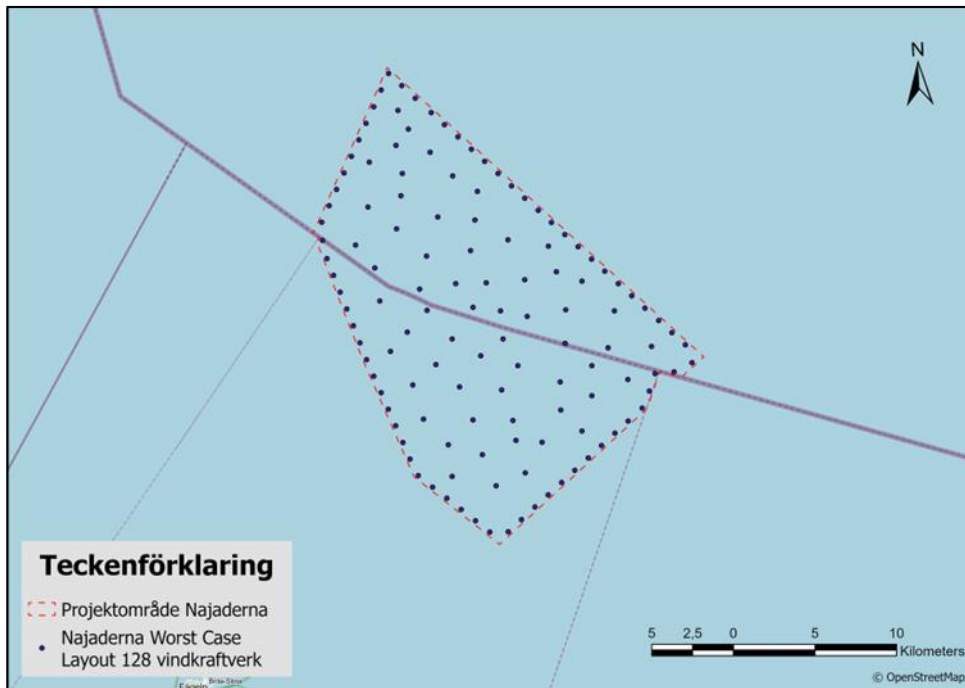
Nollalternativet

Nollalternativet, det vill säga området utan vindkraftspark, representeras av analysfall 0.1 som inte innehåller någon modellerad struktur som fartyg kan driva/styra in i. Även analysfall 0.2 och 4.1 baseras på samma modell (ingen park, trafikmodell ZERO).

Parkalternativ

Parkalternativet innebär en vindkraftspark med vindkraftverk inom en cirka 350 km² stor area, se Figur 34. 128 vindkraftverk modelleras som en worst case fiktiv layout.

³⁷ Hur isförhållanden modelleras i IWRAP beskrivs i avsnittet längst ned i bilagan: *Antaganden och parametrar i IWRAP*.



Figur 34. Parkalternativ, layout för analysfall 1.1, 1.2 och 3.2.

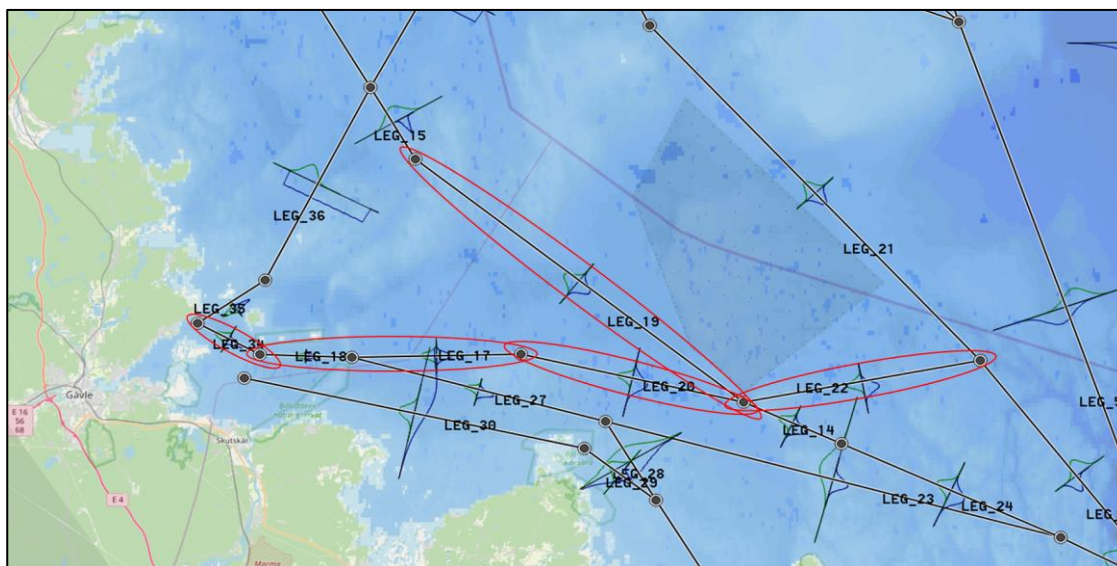
Trafikvolymen antas i parkalternativet vara nästan densamma som idag. Etablering av vindkraftspark Najaderna antas medföra viss förflyttning av trafik som idag passerar genom Najadernas projektområde samt hopträngning av trafiken i de fartygsstråk som passerar nära Najaderna.

Anläggnings- och avvecklingsskede

Anläggnings- och avvecklingsskedet representeras av analysfall 2.1. I nuläget är det inte känt vilken hamn som kommer användas i anläggnings- och avvecklingsskedet. Gävle hamn är en tänkbar anläggnings/avvecklingshamn. Därför beräknas risker i anläggnings- och avvecklingsskede som om arbetsfartygen utgår från Gävle. Eftersom detta scenario tvingar arbetsfartyg att passera i stråken till/från Gävle hamn samt söder om Najaderna, där det också förekommer många grunda områden och navigeringsytorna är relativt små, förväntas också Gävle hamn utgöra en anläggnings/avvecklingshamn med relativt komplicerade trafiksituationer under anläggnings- och avvecklingsskedet. Trafikmodellen är densamma som för parkalternativet förutom att mängden trafik i vissa stråk mellan Gävle hamn och Najaderna ökar.

Anläggnings- och avvecklingsskedet förväntas generera totalt cirka 1 400 tur- och retur-resor till och från projektområdet. Cirka 70 % av dessa resor förväntas bestå av större installations- och transportfartyg. Dessa fartyg kan vara upp till 200 meter långa. Resterande 30 % av trafiken förväntas bestå av mindre servicefartyg med en längd på cirka 50 meter. De stora installations- och transportfartygen modelleras som en ökning av antalet General Cargo-fartyg och de mindre fartygen modelleras som en ökning av Support ship i IWRAP.

I vilka legs trafikökningen förväntas i de båda fallen illustreras i Figur 35.



Figur 35. Illustration av vilka stråk som förväntas belastas av arbetsfartyg under anläggnings- och avvecklingsskede av Najaderna.

Osäkerhetsanalys framtida trafik

Osäkerhetsanalysen för framtida trafik bygger på analysfall 0.1 (nollalternativet) och analysfall 1.1 (128 vindkraftverk). Osäkerhetsanalysen utförs genom en uppskalning av framtida trafikflöden.

Nollalternativet i osäkerhetsanalysen för framtida trafik representeras av analysfall 4.1 med ett trafikflöde som skalats upp från trafikmodell ZERO med en faktor 1,35 jämfört med dagens trafik. Faktorn representerar en ökning med 35 % i transportarbete för sjöfarten som konservativt i detta analysfall får representeras av en motsvarande ökning i antal fartyg.

Parkalternativet i osäkerhetsanalysen representeras av analysfall 4.2 med ett trafikflöde som likaså skalats upp med en faktor 1,35 jämfört med förväntat trafikflöde (trafikmodell EXPC) efter etablering av Najaderna.

Observera att i den senaste prognosen som Trafikverket tagit fram för sjöfart förväntas sjöfarten snarare minska i framtiden. Därför är en ökning med 35 % av trafiken ett mycket konservativt scenario.

Känslighetsanalys trafikfördelning

Två känslighetsanalyser genomförs i syfte att kunna studera trafikfördelningens påverkan på resultatet. De två genomförda känslighetsanalyserna är följande:

Känslighetsanalys mer hopträngd trafik: I de stråk som passerar nära Najaderna reduceras spridningen kring trafikens förväntade medelpunkt med 50 %. Detta görs genom att reducera standardavvikelsen för trafikfördelningen. Om standardavvikelsen i grundberäkningarna antagits vara 500 meter antas den i känslighetsanalysen till 250 meter.

Känslighetsanalys mer utspridd trafik: I de stråk som passerar nära Najaderna ökas spridningen kring trafikens förväntade medelpunkt med 50 %. Detta görs genom att öka standardavvikelsen för trafikfördelningen. Om

standardavvikelsen i grundberäkningarna antagits vara 500 meter antas den i känslighetsanalysen till 750 meter.

Resultat

I följande avsnitt redovisas sannolikheten för kollision, grundstötning och påsegling av vindkraftverk. Beräkningarna görs baserat på modelleringen i IWRAP. En resultatsammanfattning återfinns i Tabell 37.

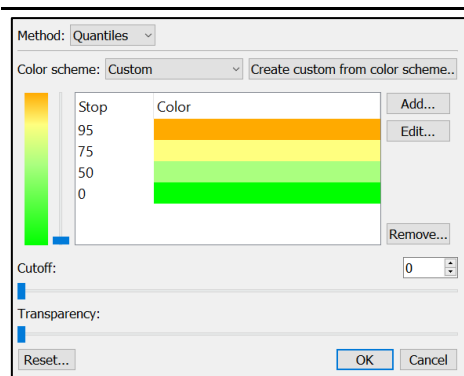
Tabell 37. Resultat för grundstötning, kollision och påsegling. Beräknad sannolikhet per år för nollalternativet (området utan park) och för parkalternativ för Najaderna (analysfall 1.1), totalt 128 vindkraftverk.

	Nollalternativet Ingen park	Najaderna fiktivt parkalternativ, 128 vindkraftverk
	0.1	1.1
Grundstötning [per år]	1,6E-01	1,6E-01
- varav grundstötning med manöverdugligt fartyg, powered grounding	1,2E-01	1,2E-01
- varav grundstötning med drivande fartyg, drifting grounding	3,6E-02	3,9E-02
Påsegling [per år]	---	1,2E-03
- varav påsegling med manöverdugligt fartyg, powered allision	---	4,0E-05
- varav påsegling med drivande fartyg, drifting allision	---	1,2E-03
Kollision [per år]	3,8E-03	3,8E-03
- varav omkörningskollision (overtaking collision)	9,2E-04	9,2E-04
- varav frontalkollision (head-on)	4,4E-04	4,9E-04
- varav korsningskollision (crossing collision)	6,0E-04	6,0E-04
- varav sammanvävningskollision (merging collision)	8,0E-04	7,9E-04
- varav svängkollision (bend collision)	1,0E-03	1,0E-03

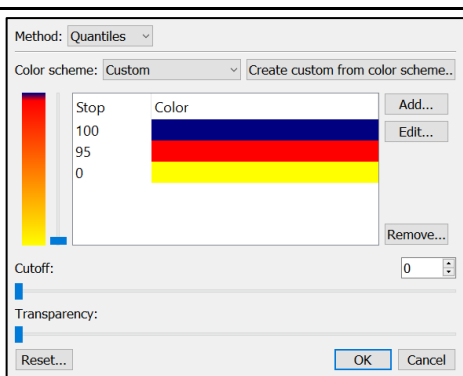
Figurerna som illustrerar frekvenser för allision och kollision längre ner i denna bilaga representeras av en färgskala som definieras enligt Figur 36. Färgskalan visar det relativa bidraget till den beräknade frekvensen för allision från vindkraftverk och andra modellerade strukturer. Samma färgskala används för att visa det relativa bidraget till den beräknade frekvensen för kollision från olika legs och waypoints.

Figurerna som illustrerar frekvenser för grundstötning längre ner i denna bilaga representeras av en färgskala som definieras enligt Figur 37.

Observera att färgskalan inte kan relateras till riskbedömningskriterierna i den nautiska riskanalysen. Färgerna är endast ett sätt att jämföra den relativa frekvensen från olika delar i modellen, till exempel för att se vilka vindkraftverk som är mer eller mindre exponerade för påsegling av fartyg. Färgerna/graderingen är inte heller kopplade till exakt frekvens för den analyserade olyckstypen, utan illustrerar den relativa olycksfrekvensen. Färgerna illustrerar en viss procentandel av olika frekvensnivåer. Till exempel illustrerar orange färg (för allisions- och kollisionshändelser) de fem högsta procentandelarna av olycksfrekvenser³⁸.



Figur 36. Färgskala som representerar frekvensen för allision och kollision.



Figur 37. Färgskala som representerar frekvensen för grundstötning.

Allision

Som framgår av Tabell 38 och Tabell 39 är sannolikheten att ett fartyg styr eller driver in i vindkraftsparken $4,0 \cdot 10^{-5}$ respektive $1,2 \cdot 10^{-3}$ per år motsvarande en återkomsttid på cirka 24 881 år (powered allision) och 866 år (drifting allision). Drifting allision står för 97 % av det totala riskbidraget för allision.

De tre största bidragen från fartyg som styr in i vindkraftsparken (powered allision) härrör från följande fartygsstråk (Tabell 38):

Tabell 38. Bidrag för styrande allision (powered allision) från olika fartygsstråk nära Najaderna.

Gävle – Grundkallen	53 %
Stråk väster om Najaderna (ej namngett, leg 19 i IWRAP-modell)	37 %
Söderhamn/Hudiksvall - Grundkallen	9 %
Summa powered allision (per år)	4,0E-5

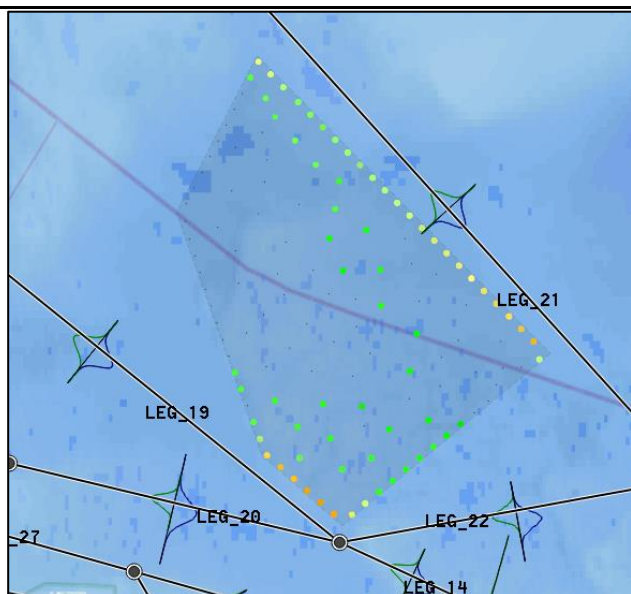
De tre största bidragen från fartyg som drabbas av blackout och driver in i vindkraftsparken (drifting allision) härrör från följande fartygsstråk (Tabell 39):

³⁸ Exempel: Om man har totalt 100 olycksfrekvenser illustrerade på kartan, kommer de fem högsta olycksfrekvenserna att illustreras i orange, den femte till den tjugofemte största olycksfrekvenserna kommer att illustreras i gult, osv. Olycksfrekvenserna jämförs därför endast med andra olycksfrekvenser inom samma analys (som illustreras på samma karta). Orange illustrerar höga olyckstal och grönt illustrerar låga olyckstal.

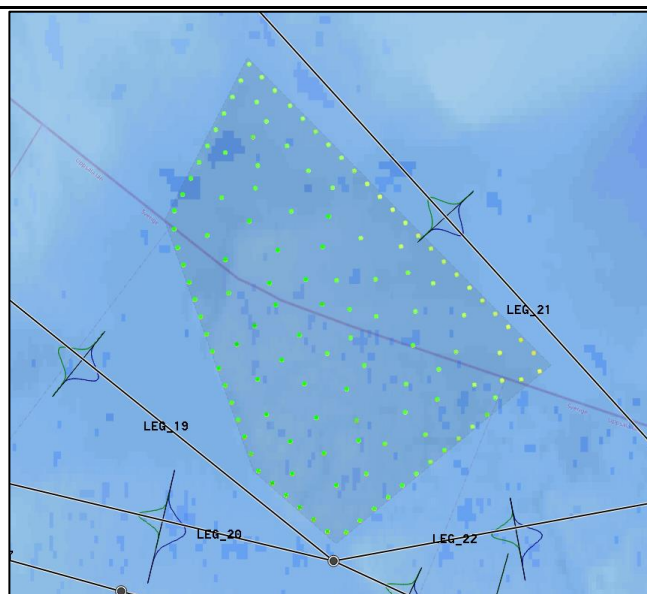
Tabell 39. Bidrag för drivande allision (drifting allision) från olika fartygsstråk nära Najaderna.

Gävle – Grundkallen	19 %
Stråk väster om Najaderna (ej namngett, leg 19 i IWRAP-modell)	14 %
Söderhamn/Hudiksvall - Grundkallen	13 %
Summa drifting allision (per år)	1,2E-3

De vindkraftverk som är mest exponerade för allision i analysfall 1.1 (parkalternativ) illustreras i Figur 38 och Figur 39 nedan. I figurerna framgår det att stora delar av allisionsbidragen kommer från trafik öster om projektområdet (främst för drivande allision). För styrande allision (powered allision) kommer de största riskbidragen från trafik söder om Najaderna. De vindkraftverk som inte illustreras i dessa figurer bidrar inte med någon allisionsrisk alls (gäller enbart powered allision).



Figur 38. Vindkraftverk exponerade för powered allision, analysfall 1.1 parkalternativ.



Figur 39. Vindkraftverk exponerade för drifting allision, analysfall 1.1 parkalternativ.

Resultatet för powered allision är känsligt för olika antaganden om trafikmönster. Känslighetsanalyser för både mer utspridd och mer hopträngd trafik har genomförts (sammansättning av känslighetsanalyserna görs längre ned i denna bilaga). Resultatet från känslighetsanalyserna visar att frekvensen för powered allision påverkas märkbart vid de olika hopträngningsscenarierna. Frekvensen för powered allision ökar eller minskar med minst en till två tiopotenser i de olika känslighetsanalysfallen. Frekvensen för drifting allision påverkas dock mycket lite och eftersom drifting allision står för de allra största delarna av den totala allisionsfrekvensen (cirka 97 %) påverkas den totala allisionsfrekvensen relativt lite vid olika antaganden om trafikfördelningar.

I tillägg har frekvenser för allision för fartyg som driver med isen analyserats under vinterförhållanden när området kring Najaderna är täckt av is. Antagandena i IWRAP för denna analys beskrivs längre ned i detta appendix (Antaganden och parametrar i IWRAP). IWRAP är inte ett adekvat verktyg för modellering av powered allision eller kollision mellan fartyg i vinterförhållanden,

men kan användas för att studera frekvensen för drivande allision under vinterförhållanden. Frekvensen för drivande allision under vinterförhållanden (med isbeläggning) ökar märkbart i jämförelse med drivande allision i öppet vatten. Drivande allision under isförhållanden beräknas inträffa en gång vart 34:e år medan drivande allision i öppet vatten endast förväntas inträffa cirka en gång på 866 år. Antagandena som görs för att modellera vinternavigering är dock mycket konservativa. Dessutom beräknas frekvenserna som om isförhållandena skulle vara i ett helt år, vilket aldrig är fallet. Därmed kan olycksfrekvensen för drivande allision under isförhållanden minst halveras när ackumulerad risk över tid studeras. Dessutom är Najaderna lokaliserat relativt långt söderut vilket medför att svåra isvintrar eller långvarig isbeläggning sällan inträffar och vinternavigationsriskerna förväntas därför endast inträffa ett fåtal gånger under vindkraftparkens livstid.

Kollision

Sannolikheten att två fartyg kolliderar i området är i nollalternativet $3,8 \cdot 10^{-3}$ per år motsvarande en återkomsttid på 265 år (se Tabell 40). Endast en liten frekvensskillnad uppstår vid etablering av Najaderna. Den totala kollisionsfrekvensen efter etablering av Najaderna uppgår till $1,2 \cdot 10^{-3}$ vilket ger en återkomsttid på 262 år.

Den största förändringen uppstår för frontalkollision. Efter etablering av Najaderna ökar frekvensen för frontalkollision från $4,4 \cdot 10^{-4}$ (en olycka på 2 269 år) till $4,9 \cdot 10^{-4}$ (en olycka på 2 023 år). Bidraget kommer främst från fartygskategori *övriga fartyg*.

Förändringen av frekvens för frontalkollision har dock liten påverkan på den totala frekvensökningen för kollision. Anledningen till detta är att risken för svängkollision står för en betydligt större andel av riskbidraget och frekvensen för svängkollision ökar inte, enligt IWRAP-beräkningarna, mellan nollalternativet och parkalternativet. Risken för svängkollisioner är störst i korsningspunkten mellan leg 1 och alla de stråk som mynnar ut från denna. Leg 1 går genom TSS North Åland. Frekvensen för svängkollision kommer främst från fartygstyp *övriga fartyg* både innan och efter etablering av Najaderna.

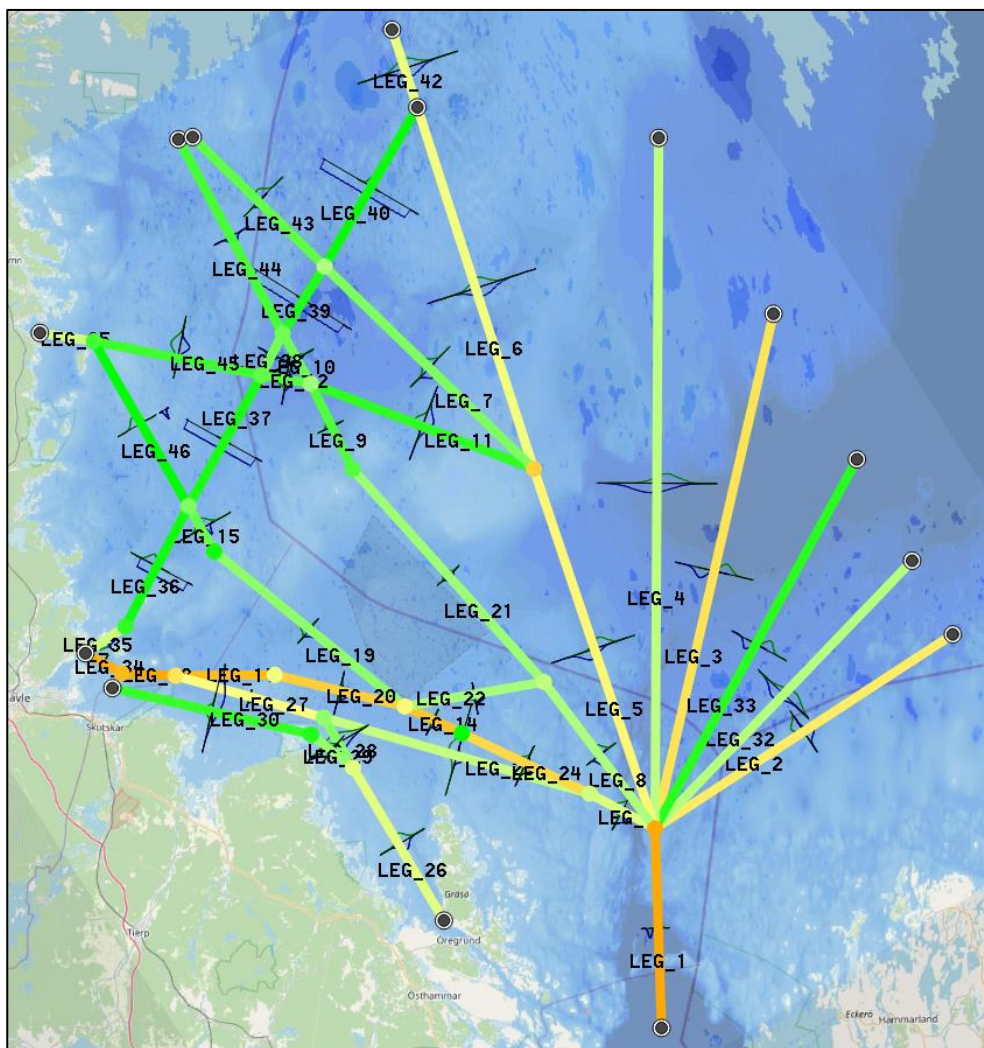
Frekvensen för korsningskollisioner, sammanvävningskollision och svängkollisioner ökar inte till följd av etablering av Najaderna. Detta beror på att fartygstrafiken söder om Najaderna tvingas till hopträngning i färre antal stråk än idag (utan parketablering). De stråk som passerar genom södra delen av Najadernas projektområde idag flyttas in i ett befintligt stråk söder om projektområdet. Detta innebär att en vägpunkt (waypoint) försvinner. Eftersom korsningskollisioner, sammanvävningskollision och svängkollisioner endast inträffar vid vägpunkter minskar alltså frekvensen för dessa typer av kollisioner enligt beräkningarna i IWRAP. Reduktionen är dock så liten att den knappt märks och i realiteten går det inte att räkna med någon förbättrad kollisionssituation söder om Najaderna. Framförallt inte eftersom en ny girpunkt skapas för viss trafik söder om Najaderna. Denna tillkommande gir kan medföra en ökad risk för svängkollisioner, som dock inte framgår av IWRAP-beräkningarna. Därför är det mer representativt att studera den totala kollisionsfrekvensen som tyder på en liten ökning av kollisionsrisk. Ökningen är dock så pass liten att den klassas som acceptabel. Denna riskvärdering bedöms kunna kvarstå även om en liten frekvensökning av svängkollisioner skulle tillkomma till följd av ny girpunkt. Detta eftersom endast en mindre mängd trafik berörs av denna trafikförändring.

Stråket genom TSS North Åland (leg 1 i Figur 40) bidrar med störst kollisionsrisk (total kollision) både innan och efter etablering av Najaderna. Detta beror på att detta stråk innehåller flest antal fartygspassager.

Hur olika fartygsstråk (legs) och vägpunkter (waypoints) bidrar till resultatet indikeras i Figur 40 där orange illustrerar högre frekvens för kollision och grönt illustrerar lägre frekvens för kollision.

Tabell 40. Resultat kollision. Den beräknade sannolikheten per år är oförändrad mellan nollalternativet (området utan park) och för grundfallet med etablering av Najaderna (parkalternativet)

	Nollalternativ (ingen park)	Parkalternativ (etablering av Najaderna)
Total kollision	3,8E-03	1,2E-03
- varav omkörningskollision (overtaking collision)	9,2E-04	9,2E-04
- varav frontalkollision (head-on)	4,4E-04	4,9E-04
- varav korsningskollision (crossing collision)	6,0E-04	6,0E-04
- varav sammanvävningskollision (merging collision)	8,0E-04	7,9E-04
- varav svängkollision (bend collision)	1,0E-03	1,0E-03



Figur 40. Illustration av beräknad sannolikhet för kollision mellan fartyg där varmare toner indikerar högre sannolikhet för kollision. Figuren representerar kollisionsfrekvensen för parkalternativet (med etablering av Najaderna).

För att ta reda på hur kollisionsfrekvensen beror på olika antagande om trafik studeras detta i två genomförda känslighetsanalysfall (sammanställning av känslighetsanalyserna görs längre ned i denna bilaga). Sambandet mellan hur trafiken trängs ihop och hur risken för kollision ändras är tydligt stringent. Vid ökad hopträngning av trafiken ökar också risken för kollision något och när trafiken sprids ut mer minskar risken för kollision. Det är främst risken för frontalkollision som förändras. Skillnaderna mellan de båda känslighetsanalysfallen och standardanalysfallet är dock mycket små. Kollisionsrisken i båda känslighetsanalyserna förblir inom *acceptabel* risknivå.

Grundstötning

Som framgår av Tabell 37 (samtliga analysfall) är sannolikheten att ett fartyg går på grund $1,6 \cdot 10^{-1}$ per år motsvarande en återkomsttid på cirka 6 år. Resultatet består till 75 % av sannolikheten att ett manöverdugligt fartyg kör på grund (powered grounding) och till 25 % av sannolikheten att ett fartyg med blackout driver på grund (drifting grounding). Frekvensen påverkas mycket lite av etableringen av Najaderna.

Etablering av Najaderna medför en något ökad frekvens för drivande grundstötning. Återkomsttiden för drivande grundstötning går från en olycka på 28 år (nollalternativet) till en olycka på 26 år (parkalternativet). Frekvensen för styrande grundstötning är oförändrad innan och efter etablering av Najaderna.

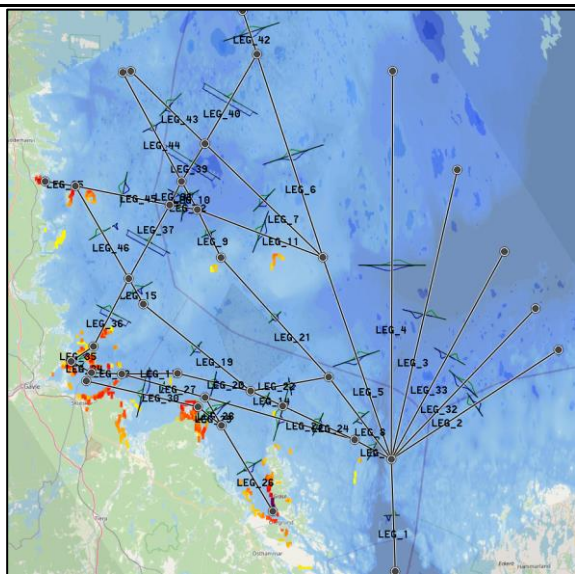
Var fartyg går på grund framgår av Figur 41 och Figur 42 nedan. Bidraget från manöverdugliga fartyg som går på grund (powered grounding) utgörs främst av fartyg längs med kusten samt mellan Gräsö och fastlandet söder om Najaderna. Viss del av bidraget till powered allision kommer också från grundstötningar vid Finngrundn norr om Najaderna.

Fartyg som driver på grund (drifting grounding) utgörs förutom av kustnära trafik också av fartyg norr om Åland samt längs med stråket genom TSS North Åland. Drivande grundstötning inträffar också vid Finngrundn norr om Najaderna. Störst bidrag till risken för drivande grundstötning kommer från områdena mellan Åland och fastlandet, längs med stråket genom TSS North Åland, vilket med stor sannolikhet beror på högt trafikflöde. En liten ökning av risken för drivande grundstötning inträffar vid grundområdet Östra Banken nordöst om Najaderna efter etablering av vindkraftsparken. Detta beror troligtvis på att vindkraftverken tvingar fartygen öster om Najaderna lägga sin rutt något längre österut vilket leder till att de hamnar närmare detta grund. Trafikförändringen rör dock endast få fartyg och någon markant riskökning uppstår inte.

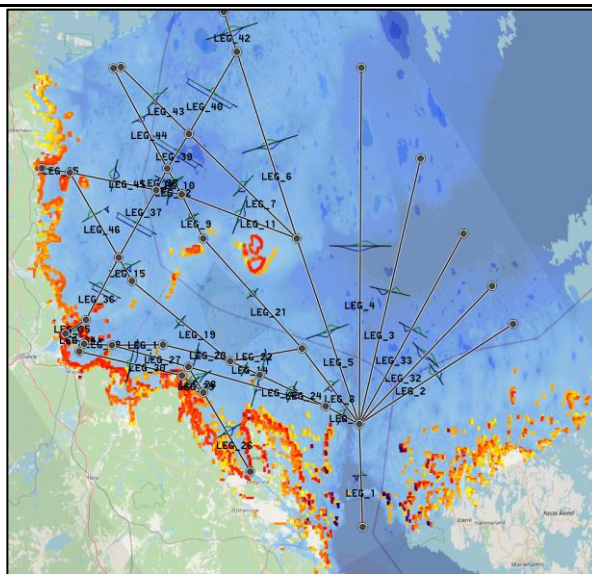
Vid etablering av Najaderna kan också risken för grundstötning söder om Najaderna påverkas. Detta beror på att fler fartyg tvingas ta en rutt närmare fastlandet samt i närheten av de grundområden som förekommer söder om parken (bland annat Argos grund). Det går inte att vara helt säker på hur grundstötningsrisken i detta område kommer att påverkas efter etablering av Najaderna. På grund av att batymetrilagret som används i beräkningarna är relativt grovt finns det dock en risk för att vissa områden är grundare än vad detta lager lyckas fånga upp. Därmed kan även risken för grundstötning i detta område vara något högre än vad beräkningarna tyder på.

En fördjupad, kvalitativ analys av navigering över Argos ytterbank (mellan fyren vid Argos grund och Najadernas södra kant) har genomförts och beskrivs i avsnitt 6.3 i den nautiska riskanalysen. Slutsatsen från denna analys är att de fartyg som ska in till Gävle hamn har en begränsning på 12,2 meter djupgående vilket i de allra flesta fall betyder att dessa fartyg även kan passera över grundområdet med ett djup på 16,1 meter (enligt sjökortet) i Argos ytterbank. Svåra väderförhållanden som bland annat medför kraftiga krängningar kan dock försvåra passagen.

Bedömningen är dock att eventuell ökning av risken för grundstötning blir mycket liten, främst på grund av att endast en mindre mängd trafik berörs.



Figur 41. Powered grounding efter etablering av Najaderna, trafikmodell EXPC.



Figur 42. Drifting grounding efter etablering av Najaderna, trafikmodell EXPC

Grundstötningsrisken beräknas även under vinterförhållanden med isbeläggning i området. Den tillkommande frekvensen för drivande grundstötning ökar med exakt en tiopotens då isförhållanden råder. Frekvensen för styrande grundstötning förblir oförändrad trots isbeläggning.

Osäkerhetsanalys framtida trafik

Transportstyrelsens tidigare prognoser indikerar att godstransport till sjöss förväntas öka med cirka +1,7 % per år fram till 2040 (Trafikverket, 2023) avseende antal tonkilometer per år. Detta innebär att godstransporten (mätt i antal tonkilometer) år 2040 kommer att öka med cirka 33,2 % jämfört med 2023. Enligt nya prognoser som tagits fram år 2024 förväntas dock att godstransport till sjöss minskar med cirka 0,6 % per år fram till 2045 (Trafikverket, 2024) avseende antal tonkilometer per år. Detta innebär att godstransporter till sjöss (mätt i antal tonkilometer) enligt prognos för år 2045 kommer att ha minskat med 13,6 % jämfört med år 2019.

För att ta höjd för framtida osäkerheter och har en osäkerhetsanalys för framtida trafik gjorts baserat på den tidigare prognosen som förväntade en ökning av sjötrafiken fram till år 2040. I denna analys har trafiken i närheten av Najaderna förväntats öka med 35 % fram till år 2040. Beräkningar har genomförts med detta framtida trafikflöde. Det är dock troligt att en del av ökningen i stället kommer bestå av större fartyg med tyngre last. Därmed är det inte säkert att ökningen av antalet fartyg följer det antagande som gjorts i denna analys utan i realiteten i stället blir lägre.

Osäkerheten i antagandet om framtida trafikflöden undersöks genom osäkerhetsanalysfall där risktillskottet för vindkraftsparken vid dagens trafikflöde jämförs med risktillskottet vid 35 % mer trafik.

Resultatet presenteras i Tabell 41 och kan sammanfattas enligt följande:

- Sannolikheten för påsegling och grundstötning ökar med cirka 35 % när trafiken ökar med 35 %.

- Sannolikheten för kollision ökar med cirka 82 % när trafiken ökar med 35 %.

Resultatet är intuitivt eftersom grundstötning och påsegling är händelser som drabbar fartyg individuellt. Frekvensen förväntas vara proportionell mot mängden trafik vilket resultatet också indikerar. Sannolikheten för kollision involverar däremot två fartyg. Frekvensen förväntas därför öka proportionellt mot kvadraten av ökningen i trafik vilket resultatet likaså indikerar.

Tabell 41. Resultat osäkerhetsanalys framtida trafikflöden. Dagens trafik och 35 % ökade trafikflöden. Sannolikhet per år med vindkraftspark respektive nollalternativet, representerade av analysfall 4.1 (utan Najaderna, med trafikökning 35 %) och analysfall 4.2 (med Najaderna och trafikökning 35 %). Resultaten jämförs med nollalternativ och parkalternativ utan trafikökning (analysfall 0.1 och 1.1). Procenttalen inom parentes visar resultatskillnaden för en konfiguration när trafiken ökar med 35 %.

	Dagens trafik		35 % ökad trafik	
	Utan Najaderna	Med Najaderna	Utan Najaderna	Med Najaderna
	0.1	1.1	4.1	4.2
Kollision [per år]	3,8E-03	3,8E-03	6,9E-03 (+82 %)	7,0E-03 (+82 %)
Grundstötning [per år]	1,6E-01	1,6E-01	2,1E-01 (+35 %)	2,2E-01 (+35 %)
Allision [per år]	---	1,2E-03	---	1,6E-03 (+35 %)

Slutsatsen är att ökningen av antalet kollisioner till följd av ökade trafikflöden är att vänta oberoende av om vindkraftsparken anläggs eller ej. Antalet påseglingar beror på antagandet om framtida trafikvolym där frekvensen är direkt proportionell mot mängden trafik. Sammantaget väntas en ökning med $4,2 \cdot 10^{-4}$ påseglingshändelser per år (total allision) om trafiken ökar med 35 % jämfört med vad som är att vänta med dagens trafik.

Känslighetsanalys trafikfördelning

Resultatet från känslighetsanalyserna sammanställs i Tabell 42 och jämförs med resultatet från analysfall 1.1 (parkalternativ med standard trafikfördelning). Den största skillnaden mellan analysfallen uppstår för powered allision. Total allisionsrisk ändras dock betydligt mindre eftersom driftring allision upptar nästan hela riskbidraget för allision och därmed blir styrande för den totala allisionsrisken.

Frekvensen för kollision förändras också något. Där är dock skillnaderna mycket små. Frekvensen för grundstötning ändras också mycket lite. Skillnaderna är dock så små att de inte illustreras i sammanställningen i Tabell 42 nedan.

Sammanfattningsvis går det att konstatera att trafikens fördelning i stråken endast medför en liten påverkan på den sammanlagda risken för parken. Riskvärderingarna för samtliga risker förutom drivande allision förblir desamma för båda känslighetsanalyserna (acceptabla risker i standardberäkningen förblir acceptabla och risker inom ALARP i standardberäkningen förblir inom ALARP även i känslighetsanalyserna). Vid känslighetsanalysen med mer utspridd trafik ökar risken för drivande allision till att ligga lågt inom ALARP (riskindex 5.0 och 5.1 för människa respektive miljö).

Tabell 42. Resultat för grundstötning, kollision och påsegling. Beräknad sannolikhet per år för nollalternativet (området utan park) och för fiktivt parkalternativ för Najaderna (analysfall 1.1), totalt 128 vindkraftverk.

	Najaderna fiktivt parkalternativ, 128 vindkraftverk	Najaderna fiktivt parkalternativ, 128 vindkraftverk, mer hopträngd trafik	Najaderna fiktivt parkalternativ, 128 vindkraftverk, mer utspridd trafik
	1.1	5.1	5.2
Grundstötning [per år]	1,6E-01	1,6E-01	1,6E-01
- varav grundstötning med manöverdugligt fartyg, powered grounding	1,2E-01	1,2E-01	1,2E-01
- varav grundstötning med drivande fartyg, drifting grounding	3,9E-02	3,9E-02	3,9E-02
Påsegling [per år]	1,2E-03	1,2E-03	1,9E-03
- varav påsegling med manöverdugligt fartyg, powered allision	4,0E-05	5,1E-08	7,7E-04
- varav påsegling med drivande fartyg, drifting allision	1,2E-03	1,2E-03	1,1E-03
Kollision [per år]	3,8E-03	3,9E-03	3,8E-03
- varav omkörningskollision (overtaking collision)	9,2E-04	9,3E-04	9,2E-04
- varav frontalkollision (head-on)	4,9E-04	5,1E-04	4,7E-04
- varav korsningskollision (crossing collision)	6,0E-04	6,0E-04	6,0E-04
- varav sammanvävningskollision (merging collision)	7,9E-04	7,9E-04	7,9E-04
- varav svängkollision (bend collision)	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03

Osäkerheter

Beräkningarna rymmer osäkerheter i såväl modell som data. I följande avsnitt redovisas de källor till osäkerhet avseende data, parametrar, program och modell som har identifierats kopplat till analysen.

De flesta osäkerheterna är kända i branschen och hanteras på liknande sätt (exempelvis genom osäkerhetsanalysfall) vilket garanterar en jämförbarhet mellan olika vindkraftsparker och analyser.

Slutsatsen är att även om det finns många osäkerheter så är de övergripande resultaten robusta och de framräknade frekvenserna bedöms hamna i rätt intervall även om siffrorna på decimalen får tolkas med viss försiktighet. För några val vid modellering har osäkerhetsanalysfall tagits fram med slutsatsen att betydelsen av de flesta antagandena är liten.

Risiknivåerna framräknade i denna nautiska riskanalys gäller dock för den parklayout som analysen utgått ifrån, det vill säga en fiktiv layout med 128

vindkraftverk relativt tätt placerade inom projektområdet. Najaderna avser endast att innehålla drygt hälften av dessa vindkraftverk vilket därmed förväntas medföra lägre risknivå för sjöfarten i närområdet, än den som räknats fram i denna analys. Resultaten i denna nautiska riskanalys ska därför ses som konservativa i relation till den parklayout som tillståndsansökan berör.

Parametrar

I IWRAP görs många antaganden, bland annat om sannolikheter för mänskligt felhandlande och funktionsfel på fartyg liksom förutsättningar för nödankring och reparation. Ett urval av gjorda antaganden redovisas sist i detta dokument tillsammans med korta motiveringar till varför de har valts.

För de flesta värdena har de förvalda inställningarna i IWRAP använts. Således ligger IALA expertbedömningar bakom flera gjorda val vilket borgar för att rätt kompetens ligger bakom besluten och därmed minskad osäkerhetsmarginal. Att använda de förvalda inställningarna innebär också att branschstandard följs vilket tillser att det finns en jämförbarhet mellan olika studier. Där de förvalda inställningarna har frångåtts är detta redovisat och motiverat.

Tester har gjorts för att studera betydelsen av osäkerheten hos olika antaganden i IWRAP. Flera av parametrarna står i direkt proportion till analysresultatet vilket innebär att osäkerhet kring parametrarna leder till lika stor osäkerhet i resultatet. Slutsatsen är att för de parametrar som har stor betydelse för resultatet (såsom *blackout frequency*) så slår påverkan proportionellt på alla layouter. Det innebär att även om den beräknade absoluta risken är förbunden med viss osäkerhet så är det relativa resultatet desto mer tillförlitligt. För de parametrar som har liten betydelse för resultatet är osäkerheten också av liten betydelse för resultatet.

AIS-data

Informationen om fartygstrafiken som analysen bygger på, AIS-datan, har hög tidsupplösning (sekundskala) och bygger på såväl satellit- som terrester information. Osäkerheten i uppgifterna om fartyg och deras positioner bedöms därför vara mycket liten. Den osäkerhet som föreligger är i stället att AIS-datan saknar uppgifter om mindre, icke-kommersiell trafik. I huvudsak analyseras olycksrisken för och av handelsfartyg och andra större fartyg och i mindre omfattning studeras olycksrisker avseende fiske- och fritidsbåtar. Fiske- och fritidsbåtar rutter är svåra att bedöma och förutsäga. Fritidsbåtar och lokala fiskebåtar kan emellertid störa den kommersiella trafiken och därmed utgöra en indirekt risk och kan påverka möjligheten för ett större fartyg att göra en undanmanöver. Ju fler fartyg, desto fler risker helt enkelt. Betydelsen av bristen på data om den privata trafiken bedöms vara liten eftersom det är den tunga trafiken som utgör det primära hotet i navigationsområdet.

En annan osäkerhet i AIS-data är att beroende på den metod som används när man bearbetar datan, kan resultatet av antalet passager variera. När man bearbetar AIS-data antas förutsättningar för hur lång en passage är. Beroende på detta antagande kan olika antal passager illustreras i det modellerade materialet. För de beräkningar som genomförts i denna analys har inställningarna som bestämmer en passagelängd i Figur 43 använts.

Minimum duration	
10 min	▲▼
Min speed:	
0,2 kn	▲▼
Minimum time below speed limit before stop:	
600 min	▲▼
Min distance:	
100 m	▲▼
Timeout:	
600 min	▲▼
Deadzone timeout:	
300 min	▲▼
☐ Calculate speed	Reset...

Figur 43. Inställningar i IWRAP för import av AIS-data.

Batymetri

Sannolikheten för grundstötning har beräknats baserat på djupdata från öppna källor, som har bearbetats och förenklats för användning som batymetriska lager i IWRAP-modellen (NOAA, 2022). Baserat på denna information har även sannolikheten för att framgångsrikt ankra ett drivande fartyg beräknats. Datan saknar den detaljnivå som behövs för att dra slutsatser om hur grundstötningar sker på enskilda platser och bör endast ses som en kunskapsbas för att förstå den övergripande riskprofilen.

IWRAP-modellen

Resultaten i IWRAP är känsliga för definitionen av legs. Små variationer i antaganden kan ge stor resultatpåverkan. Därför har stor noggrannhet lagts vid att definiera legs så att deras bredd matchar trafikunderlaget.

Resultaten för omkörningskollision och frontalkollision är känsliga för kurvanpassning av de laterala fördelningarna. Noggrann granskning av fördelningsfunktionerna görs därför. Summan av de båda kollisionstyperna är dock mer robust.

Trafik som inte följer etablerade fartygsstråk exkluderas från modellen. Denna trafik utgör en mycket liten del av den totala trafiken i området och begränsningen bedöms ha liten påverkan på det totala resultatet.

Fartyg som passerar genom projektområdet för Najaderna i nollalternativet, och inte följer ett stråk där flera passager färdas årligen (stråk som kan urskiljas ur värmekarta), omfattar en liten del av den totala trafiken men kan ändå tänkas bidra till olycksrisken eftersom den inte följer etablerade fartygsstråk utan korsar eller ansluter till dessa på oväntade ställen. När vindkraftsparken anläggs förväntas denna trafik flytta in i de etablerade fartygsstråken vilket leder till en högre olycksfrekvens i fartygsstråkens etablerade korsningar, men en lägre olycksfrekvens vid de korsningspunkter som utgår.

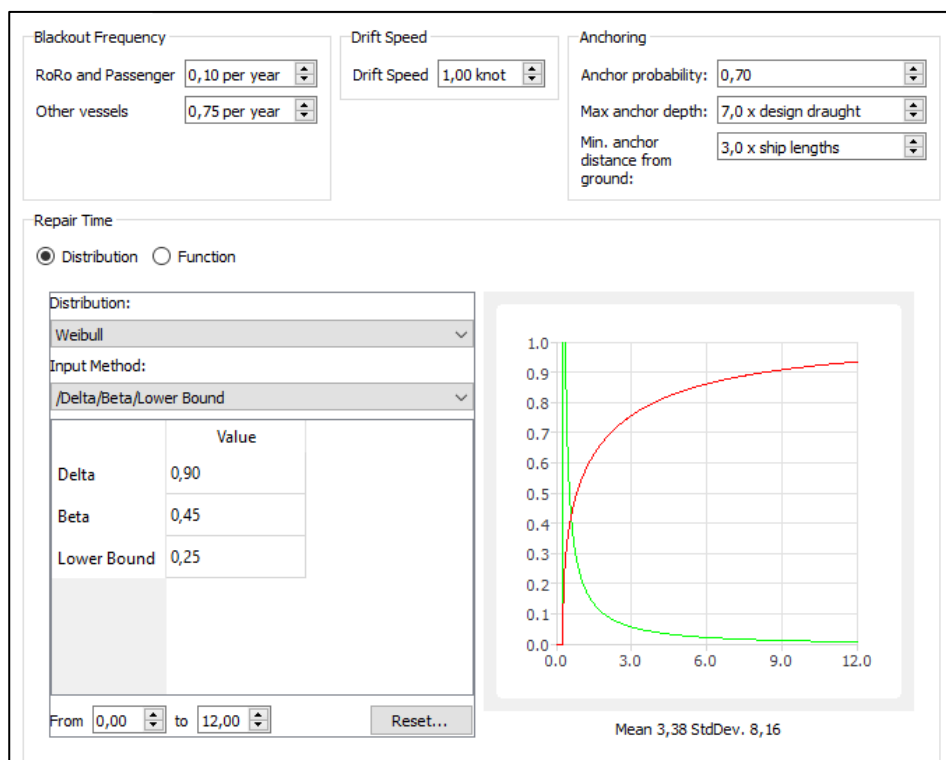
Osäkerheternas påverkan på resultatet medför mindre riskförändringar för kollision, allision och grundstötning. Riskförändringarna är dock små och

resultatet av känslighetsanalyserna faller inom samma riskvärdering som för standardberäkningarna. Att det följer en stor osäkerhet med varje beräknat värde har därför en liten betydelse för slutsatserna.

Antaganden och parametrar i IWRAP

Driftparametrar

I analysen används IWRAP:s förvalda parametrar för sannolikheten att ett fartyg får blackout respektive återfår manöverförmågan³⁹, se Figur 44.



Figur 44. Driftparametrar i IWRAP. Värdet på parametrarna påverkar sannolikheten att fartyg börjar driva och hur långt det driver.

Drifthastigheten bestäms i verkligheten av många parametrar såsom strömmar och vindhastighet men ansätts i enlighet med IWRAP:s förvalda parametervärden att hålla en konstant drifthastighet på 1 knop.

IWRAP är avsett för att beräkna frekvenser på öppet vatten, inte för isförhållanden. För att kunna uppskatta frekvensen för allision för fartyg som driver med isen har parametrar och inställningar i IWRAP justerats baserat på tillgängliga data för att återspegla vinterförhållanden, och avviker därmed från de officiella parametrarna. Sannolikheten för maskinhaveri har justerats upp med en faktor 2, vilket representerar sannolikheten för att ett fartyg fastnar i isen. Drifthastigheten för fartyg som fastnat i is är inställd på 2 knop, se Figur 45. Sannolikheten för lyckad reparation eller nödankring sätts till 0.

³⁹ Värdena grundas på expertbedömningar vilka antas vara hämtade från metodstudien vid Kriegers flak (SSPA Sweden AB, 2008).

Drift Parameter Settings

Drift Parameters | Drift Direction

Blackout Frequency

RoRo and Passenger: 0,20 per year

Other vessels: 1,50 per year

Drift Speed

Drift Speed: 2,00 knot

Anchoring

Anchor probability: 0,00

Max anchor depth: 7,0 x design draught

Min. anchor distance from ground: 3,0 x ship lengths

Repair Time

☒ Distribution ☐ Function

Distribution: Weibull

Input Method: /Delta/Beta/Lower Bound

	Value
Delta	0,90
Beta	0,45
Lower Bound	12,00

From 0,00 to 12,00 **Reset...**

Mean 15,13 StdDev. 8,16

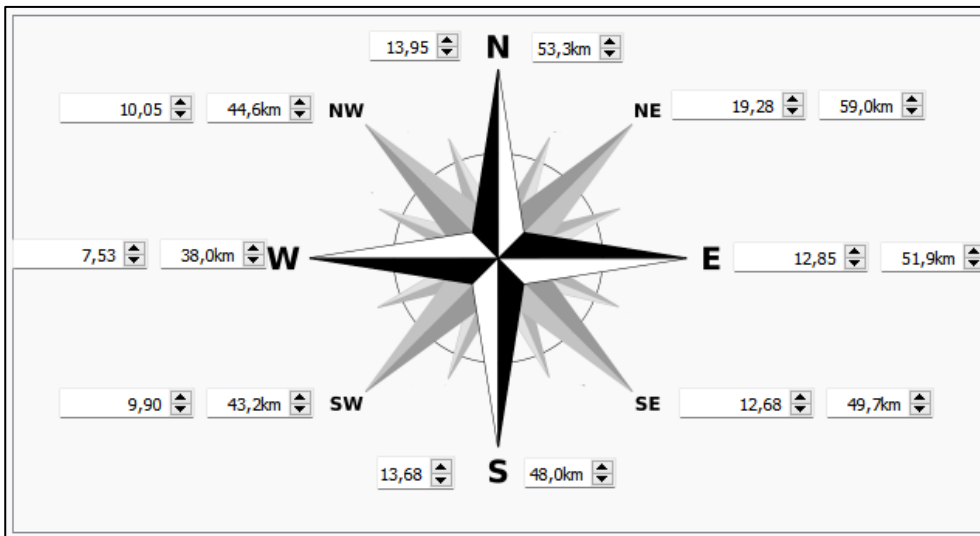
OK **Cancel**

Figur 45. Driftparametrar i IWRAP under vintern (vid isbeläggning). Värdena på parametrarna påverkar sannolikheten att fartyg börjar driva med is samt hur snabbt och långt det driver.

Driftriktning

I den nautiska riskanalysen redovisas vinddata för Najaderna. Enligt datan är medelvindhastigheten i området cirka 9 m/s på 150 meters höjd och den förhärskande vindriktning kommer från sydväst. Den mest sannolika driftriktningen för fartyg som förlorar styrningen är följaktligen åt nordöst. I Figur 46 visas den driftriktning som ansätts i IWRAP. Varje driftriktning har dels en sannolikhet som baseras på hur ofta den driftriktningen observerats i vinddatan, dels en maximal driftsträcka som är viktad mot den genomsnittliga vindstyrkan i aktuell driftriktning.

Den maximala driftsträckan är i genomsnitt 50 km vilket bedöms vara mycket konservativt. Detta kompenseras dock av att drifthastigheten i IWRAP kan vara något lågt satt. Enligt en studie återgiven i PIANC (2018) driver 90 % av fartygen i en timme vilket resulterar i en genomsnittlig driftsträcka på 1,7 M (drygt 3 km).



Figur 46. Driftriktning med viktning av sannolikhet utifrån observationsutfall och maximal driftsträcka. Notera att figuren *inte* representerar en vindros utan en "driftros" där driftriktningen är den omvända mot vindriktningen. Värdena till vänster anger andelen av gångerna som ett fartyg driver i respektive riktning.

Causation factors

I IWRAP används de förvalda parametervärdena för samtliga *causation factors*, det vill säga sannolikheten att en undanmanöver misslyckas. Värdena redovisas i Figur 47. Storleken på faktorerna är härledda av IALA, bland annat med stöd av expertbedömningar. Se Engberg (2019) för en närmare beskrivning av härledningen.

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

Figur 47. Förvalda värden på Causation Factors i IWRAP.