



TECHNICAL REPORT

DONG ENERGY

6 vindmøller ved Frederikshavn
Vurdering af sejladsikkerheden i området

FEBRUAR 2008

REPORT No. 646046- REP – 02


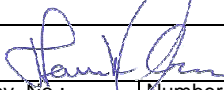
REVISION No. 0

DET NORSKE VERITAS



TECHNICAL REPORT

Date of first issue: 2008-02-06	Project No.: 646046	DET NORSKE VERITAS DANMARK A/S Region Nordic Countries Tuborg Parkvej 8 2900 Hellerup Denmark Tel: +45 39 45 48 00 Fax: +45 39 45 48 01 http://www.dnv.com Org. No. 65549 VAT
Approved by: Tove Feld	Organisational unit: Wind Turbine Projects	
Client: DONG Energy	Client ref.: Ms. Tove Kjær Hansen	
<p>Summary:</p> <p>Denne rapport omhandler den tekniske risikovurdering for sejladsikkerhed i forbindelse med opførelse af 6 vindmøller øst for Frederikshavn. To placeringer af møllerne en base case og en alternativ placering er evalueret.</p> <p>Den totale kollisionsfrekvens for "base case" og den "alternative" placering er ens for de placeringen af møllerne når der ses bort fra fiskesfartøjer. Frekvensen er fundet til $5.4 \cdot 10^{-3}$ pr. år, svarende til en returperiode på 185 år. Når fiskesfartøjer inkluderes stiger kollisionsfrekvensen betragteligt og returperioden er fundet til 5 år og 10 år for henholdsvis "base case" og den "alternative" placering. Disse frekvenser er konservative dels fordi sandsynligheden for en menneskelig fejl og/eller radar fejl regnes dobbelt så stor for fiskesfartøjer som for andre skibe, samt fordi den modellerede trafik med fiskeskibe afspejler en usædvanlig situation med ekstrem høj fiskeriaktivitet, som kun forekommer i en kort periode (1 til 2 måneder) med flere års mellemrum. Ovennævnte frekvenser er ikke reduceret pga. eventuelle risikoreducerende tiltag, som måske bliver indført og de kan derfor anses som øvre værdier.</p> <p>Den alternative placering reducerer sandsynligheden for at et fiskesfartøj kolliderer mod en mølle. Men da konsekvenserne ved disse kollisioner vil være lave og fordi de evaluerede frekvenser skønnes meget konservative, styres valget af mølle placering ikke af den beregnede indflydelse på kollisionsrisikoen, men mere af rent praktiske hensyn til fiskeriet ved møllerne.</p>		

Report No.: 646046- REP - 02	Subject Group:	
Report title: 6 VINDMØLLER VED FREDERIKSHAVN		
JANUAR 2008		
Work carried out by: Claus Fridtjof Christensen		
		
Work verified by: Henrik Gluver		
		
Date of this revision: 2008-02-06	Rev. No.: 0	Number of pages: 48

Indexing terms

--

- No distribution without permission from the client or responsible organisational unit, i.e. free distribution within DNV after 3 years
- Strictly confidential
- Unrestricted distribution



<i>Indholdsfortegnelse</i>	<i>Side</i>
1 INTRODUKTION	1
2 RESUME OG KONKLUSION	2
3 EVALUERED E HAZARDER	4
3.1 Risiko vurdering	4
3.2 Hazarder til nærmere undersøgelse	6
4 MILJØ FORHOLD	8
4.1 Vanddybde	8
4.2 Is	9
4.3 Bølger	9
4.4 Vind	9
4.5 Strøm	10
4.6 Sig tbarhed	10
5 VINDMØLLERNE	11
6 SKIBSTRAFIK OG SEJLRUTER	14
6.1 Data grundlag	14
6.1.1 Nord og sydgående trafik - Rute B	16
6.1.2 Flådefartøjer, fiskefartøjer og lystbåde	18
6.1.2.1 Lystbåde	18
6.1.2.2 Flådefartøjer	18
6.1.2.3 Fiskefartøjer	19
6.2 Skibstrafik og Sejlru ter	20
7 KOLLISIONSMODEL	25
8 KOLLISIONSFREKVENSER	26
8.1 Hoved resultater Base Case placeringen	26
8.2 Hoved resultater for alternativ placering	26
8.3 Detaljeret resultater for base case placering	27
8.3.1 Drivende skib	27
8.3.2 Direkte påsejling	28
8.4 Detaljeret resultater for alternativ placering	29
8.4.1 Drivende skib	29
8.4.2 Direkte påsejling	30
9 SKIBSULYKKER I OMRÅDET	32

TECHNICAL REPORT

10	RISKOREDUCERENDE TILTAG	33
10.1	Evaluering af tiltag	33
11	REFEFENCER.....	35
12	APPENDIX A: INTRODUCTION TO MARCS	36
12.1	Overview	36
12.2	Critical Situations	37
12.3	Data used by MARCS	37
12.3.1	Traffic Image Data	37
12.3.2	Internal Operational Data	39
12.3.3	External Operational Data	39
12.3.4	Environment Data	40
12.4	Description of Accident Frequency Models	40
12.4.1	The ship – ship Collision Model	40
12.4.2	The Powered Grounding Model	41
12.4.3	The Drift Grounding Model	42
12.5	Repair Recovery Model	43
12.6	Recovery of Control by Emergency Tow	44
12.7	Recovery of Control by Anchoring	45
12.8	Description of Accident Consequence Models	46
12.9	Marine Accident Risk Acceptance Criteria, Targets and Benchmarks	46
12.10	Risk Analysis, Assessment and Management	48



1 INTRODUKTION

I forbindelse med forundersøgelser for etablering af 6 vindmøller øst for Frederikshavn skal sejladsikkerheden vurderes.

Nærværende rapport omhandler en analyse af sejladsikkerheden i området og er en overbygning på HAZID'en (HAZard IDentification) som tidligere er udført og rapporteret. Analysen er en detaljeret frekvensanalyse af nogle af de hazarder, som er identificeret i forbindelse med opstilling af de 6 møller, hvor risikoen enten ikke kunne vurderes under HAZID'en eller hvor risikoen blev fundet høj. De tilhørende konsekvenser er ikke evalueret eftersom frekvenserne er lave, når der ses bort fra fiskefartøjer, og den tilhørende risiko derfor også er begrænset.

Den anvendte fremgangsmåde er diskuteret med Søfartsstyrelsen og er i overensstemmelse med styrelsen forventninger til en sejladsrisikoanalyse for en vindmøllepark i et område med begrænset skibstrafik.

To mølleplaceringer er evalueret. Den første er valgt ud fra blandt andet visuelle kriterier, samt havbundsforhold, således at forskellige fundamentals koncepter kan afprøves.

Den anden placering er hovedsagelig valgt ud fra fiskernes trawl rute ned langs med og gennem mølle rækken. Denne placering giver således fiskerne mulighed for fortsat at trawle i området, uden at risikoen for at trawlet fanges af møllefundamentet bliver unødigt stor.

Risikovurdering er baseret på anerkendte matematiske modeller, som er udviklet til sådanne analyser, og den anvender modelparametre, der er baseret på relevante historiske (statistiske) data. Resultatet af risikoanalysen er estimater for hyppigheden af forskellige ulykkehændelser og disse udtrykkes sædvanligvis som returperioder. Returperioden er den forventede gennemsnitlige periode, der vil gå fra en hændelse er sket til den samme type hændelse sker igen.

Den matematiske model indeholder en stringent repræsentation af de tilfældigheder og usikkerheder, der styrer om en hændelse sker eller ej. Så selvom risikoanalysen gør forudsigelser omkring et ret tilfældigt element ved møllerne, så udgør analysen med sin stringens et vigtigt element i den rationelle beslutningsproces omkring en hensigtsmæssig placering af parken under hensyntagen til sejladsikkerheden.

Med udgangspunkt i de bestemte risikobidrag for de forskellige identificerede ulykkestyper (hazarder), er mulige risikoreducerende tiltag identificeret og en eventuel implementering af disse er diskuteret.



2 RESUME OG KONKLUSION

Nærværende analyse er sidste element i evalueringen af sejladsikkerheden omkring de 6 møller ved Frederikshavn, og er en overbygning på HAZID'en, hvor mulige ulykkesscenarier blev identificeret. De ulykkesscenarier som ikke kunne evalueres eller blev skønnet at være uacceptable under HAZID'en er her evalueret på baggrund af yderligere information fra blandt andet fiskerne i området.

Kollisionsfrekvenser

De fundne kollisionsfrekvenser for de to betragtede placeringer af de 6 vindmøller er samlet i Tabel 2-1 nedenfor. Det skal bemærkes, at de rapporterede frekvenser – især for fiskefartøjerne – er tilstræbt at være konservative estimer. Den modellerede aktivitet af fiskefartøjer i farvandet er baseret på meget gunstige fiskesæsoner, der forekommer med flere års mellemrum. Aktiviteten er derfor sat noget over det typiske niveau. Sandsynligheden for at et fiskefartøj kommer på kollisionskurs mod en mølle og ikke undgår kollisionen er endvidere sat til at være dobbelt så stor, som for andre skibstyper. Dette vurderes også at være en konservativ antagelse.

Årlig kollisionsfrekvens og tilhørende retur periode	Direkte påsejling (Menneskelig / radar fejl)	Sideværts kollision (Drivende skib)	Total frekvens
Base Case eksklusiv fiskefartøjer	$5.0 \cdot 10^{-3} / 199$	$3.6 \cdot 10^{-4} / 2780$	$5.4 \cdot 10^{-3} / 186$
Base Case fiskefartøjer	$1.7 \cdot 10^{-1} / 6$	$5.3 \cdot 10^{-3} / 187$	$1.8 \cdot 10^{-1} / 5$
Total	$1.8 \cdot 10^{-1} / 6$	$5.7 \cdot 10^{-3} / 176$	$1.8 \cdot 10^{-1} / 5$
Alternativ eksklusiv fiskefartøjer	$5.1 \cdot 10^{-3} / 197$	$3.5 \cdot 10^{-4} / 2850$	$5.4 \cdot 10^{-3} / 184$
Alternativ fiskefartøjer	$9.4 \cdot 10^{-2} / 11$	$3.6 \cdot 10^{-3} / 281$	$9.8 \cdot 10^{-2} / 10$
Total	$1.0 \cdot 10^{-1} / 10$	$3.9 \cdot 10^{-3} / 256$	$1.0 \cdot 10^{-1} / 10$

Tabel 2-1: Årlig kollisionsfrekvens og den tilhørende returperiode for de to mulige placeringer af de 6 møller.

Af ovenstående resultater fremgår det, at kollisionsfrekvensen for fiskefartøjer reduceres med ca. 45% ved den alternative placering, mens bidraget fra den øvrige trafik forbliver uændret.

Det ses at bidraget fra fisketrafikken tydeligt dominerer risikobilledet, idet dette bidrag udgør 95-97 % af den totale risiko for kollisioner. De konservative antagelser vedrørende fisketrafikken og ulykkeshyppigheden for disse er stærkt medvirkende til denne forskel. Hertil kommer at fordi fiskefartøjerne generelt er små og typisk ikke sejler stærkt vil konsekvenserne af et fiskefartøjs kollision mod en mølle være begrænset. Den store hyppighed af kollisioner med fiskefartøjer udgør derfor ikke en stor risiko. Den meget lavere hyppighed af kollisioner med andre skibe, hvor konsekvensen for møllen kunne være større, gør at risiko bidraget herfra også er lille.

Konsekvens af kollisioner

Konsekvenserne ved en kollision er ikke evalueret i nærværende analyse. Konsekvensen vil være mere usikker end kollisionsfrekvensen, og det vil afhænge af om fokus er på personsikkerhed eller eksempelvis miljøpåvirkning. Det skal dog bemærkes, at statistik fra kollisioner i danske farvande viser, at kun ca. hver 10. kollision medfører olieudslip, og at personskade sker endnu sjældnere.



TECHNICAL REPORT

De estimerede kollisionsfrekvenser dækker alene ”alvorlige kollisioner” hvor enten skibet eller møllen skal repareres efter kollisionen. I tillæg hertil kan bemærkes at kollisionsenergien for et sideværtsdrivende skib på grund af den lavere hastighed typisk vil være mindre end ved en direkte påsejling (bovkollision). Derfor vil skaderne i en sideværts kollision typisk være mindre – på såvel skib som mølle. Kun i relation til miljøkonsekvenser vil der i sideværts kollisioner være større mulighed for beskadigelse af brændstoftankene langs skibssiden, hvor en sideværts kollision giver mulighed for at en kan åbne en brændstoftank placeret langs skibssiden. Ved direkte påsejling (bovkollision) beskadiges skibet ofte primært i den forreste del, hvor brændstoftankene af samme årsag ikke er placeret. Derfor vil olieudslip kun sjældent opstå i en direkte påsejling.

For de hyppigere kollisioner fra fiskefartøjer kan konsekvensen være tab af trawlet. Dette vil udgøre ret betydeligt tab for fiskeren og det forventes at fiskerne vil reagere på denne økonomiske risiko ved at være mere agtpågivende i deres sejlads i nærheden af møllerne. Denne effekt kan ikke tages i regning i beregningen, og udgør derfor endnu et konservativt element i beregningen af kollisionsfrekvensen for fiskefartøjer.

Risikoreducerende tiltag

Ses alene på den kommercielle skibstrafik vil kollisionsfrekvenserne for direkte påsejling kunne reduceres med mindst 20 % hvis mølleparken markeres med RACON og AIS. Denne reduktion svarer til, hvad der typisk er brugt i andre tilsvarende analyser og er en værdi som er godtaget af BSH* i Tyskland. Det antages endvidere, at RACON og AIS ikke vil reducere kollisionsfrekvensen for fiskefartøjer, idet de sejler tættere på møllerne ved passage og vil gennemføre fiskeri i umiddelbar nærhed af møllerne. Ekstra markering af møllerne (RACON/AIS) vil derfor ikke have samme effekt som for den øvrige kommercielle trafik, der er klar over, at de ikke skal i nærheden af møllerne.

Implementeres RACON og AIS øges returperioden for kollisioner mod møllerne for kommerciel trafik (færger og handelsskibe) til omkring 225 år, hvilket er en stigning på ca. 40 år, mens returperioden for kollision mod møllerne fra et fiskefartøj skønnes uændret.

De 6 møllers indflydelse på radar og kommunikationsudstyr er evalueret på baggrund af et studie udført på vegne af Maritime and Coastguard Agency (MCA) i England. På baggrund af dette studie er det evalueret, at de 6 møller ikke vil påvirke GPS (Global Positioning System), magnetiske kompas, VHF radio eller mobil telefoner.

Af studiet fremgår det, at møllerne kan påvirke funktionaliteten af radaren på skibene i nærheden af møllerne. Der kan opstå skyggebilleder eller blinde områder, hvis skibene er meget tæt på eller inde i en møllepark, men da der her kun er tale om 6 møller og stort set alt kommercielt trafik (færger og handelsskibe) passerer øst om de 6 møller, er det konkluderet, at møllerne ikke vil påvirke skibenes radar og har derfor ikke betydning for sejladsikkerheden.

Konklusion

Med basis i de ovenfor givne resultater og redegørelser mener vi at den risiko, som de planlagte 6 møller udgør for skibsfarten i området, er acceptabel. Møllernes placering vil derfor ikke være dikteret af den beregnede kollisionsrisiko, men kan styres af praktiske forhold herunder hensynet til fiskeriet omkring møllerne og til fiskeskibenes passage igennem mølleparken.

* BSH: Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie



3 EVALUEREREDE HAZARDER

En HAZID (HAZard IDentification) blev udført på Scandic Hotel i Frederikshavn torsdag d. 30. august 2007. Hovedformålet var at identificere ulykkesscenarier, som kunne opstå som følge af etablering af de 6 møller ved Frederikshavn. Redegørelsen omfatter således kun ændringer i risikobilledet forårsaget af etableringen af de 6 møller, mens den nuværende generelle sejladsrisiko i området ikke er omhandlet.

De relevante hazarder blev identificeret via en systematisk brain-storming, hvor alle skibstyper blev gennemgået under hensyntagen til deres specifikke behov, og adfærd og dette blev gjort for både installationsfasen og operationsfasen. Herudover blev mere generelle emner som møllernes indflydelse på navigationen i området og eventuel indflydelse på SAR (Search And Rescue) operationer kort diskuteret. Risikoen for en del af de identificerede hazarder kunne umiddelbart skønnes, men enkelte kunne enten ikke evalueres eller også blev risikoen fundet så høj, at en nærmere evaluering var påkrævet.

Vurderingen af risikoen fra de identificerede hazarder er beskrevet nedenfor. For yderligere information henvises til den detaljerede redegørelse i HAZID rapporten ref. /2/.

3.1 Risiko vurdering

Risikoen forbundet med en hændelse afhænger såvel af hvor hyppigt hændelsen forekommer, som af hvor store konsekvenser den har. Risikovurdering er således en målestok for såvel hændelsens hyppighed som af dens konsekvenser. Målestokken anvendt ved den afholdte HAZID summeres i det følgende.

Konsekvenserne var inddelt i følgende kategorier:

- P: Person sikkerhed
- D: Skade relateret til materiel
- E: Skade på miljøet

For hver kategori er konsekvensen inddelt i forskellige klasser som vist i Tabel 3-1.

TECHNICAL REPORT

C#	Konsekvens / alvorlighed	Beskrivelse	Ækvivalent omkostning
4	Katastrofe	P: Tab af mere end 2 menneskeliv D: Omkostning for skib/skib eller skib/mølle kollision E: Olie spild på mere end 280 tons	Mere end 100 mio. kr
3	Alvorlig	P: Tab af 1 til 2 menneskeliv D: Omkostning for skib/skib eller skib/mølle kollision E: Olie spild mellem 28 og 280 tons	Mellem 10 og 100 mio. kr
2	Moderat	P: Moderat skade, syge fravær, hospitalsbehandling, invalidering D: Omkostning for skib/skib eller skib/mølle kollision mindre skader E: Olie spild mellem 3 og 28 tons	Mellem 1 og 10 mio. kr
1	Lav	P: Mindre skade, syge fravær. D: Omkostning for skib/skib eller skib/mølle kollision mindre skader E: Olie spild mindre end 3 tons	0 til 1 mio. kr

Tabel 3-1: Konsekvens klasser.

Hyppigheden (frekvensen) er på samme måde inddelt i 4 grupper som vist i Tabel 3-2.

P#	Hyppighed per år	Beskrivelse
-4	Sjælden 1/1000 til 1/10 000	Vil med meget høj sandsynlighed ikke forekomme i møllernes levetid*
-3	Lav 1/100 til 1/1000	Vil formentlig ikke ske i mølleparkens levetid
-2	Moderat 1/10 til 1/100	Kan forekomme i mølleparkens levetid
-1	Høj 1 til 1/10	Vil formentlig forekomme flere gange i mølleparkens levetid

Tabel 3-2: Hyppigheds klasser.

Approksimative skøn for konsekvens og hyppighed bestemmer i forening risikoen for den evaluerede hazard. En grov risiko screening af hazarderne kan derefter gøres ud fra risikomatricen i Tabel 3-3. Med denne afgøres det om risikoen ved hazarden er uacceptabel, om den kan tolereres, eller om risikoen er ubetinget acceptabel. Risikoen *R* findes ved at addere værdien for frekvensen og konsekvensen og negative værdier angiver således acceptable hazarder (grøn), mens positive værdier medfører, at hazarden er uacceptabel (rød).

Konsekvens / Alvorlighed		Sandsynlighed / Likelihood			
		-4	-3	-2	-1
Katastrofe	4	0,1	1	10	100
Alvorlig	3	0,01	0,1	1	10
Moderat	2	0,001	0,01	0,1	1
Lav	1	0,0001	0,001	0,01	0,1

Tabel 3-3: Risiko matrix – samfundsøkonomisk tab i mio. kr per år.

* Møllernes levetid er ca. 20 år



Følgende betegnelser er anvendt i ovenstående matrice:

- Rødt område: Uacceptabel risiko. Risikoen skal reduceres (Årlige omkostninger på mere end 1 mio. kr)
- Gult område: Medium risiko. Skal overvejes ved hjælp af ALARP (As Low As Reasonably Practicable) (Årlige omkostninger på omkring 0,1 mio. kr)
- Grønt område: Acceptable risiko. Ingen yderligere aktion påkrævet (Årlige omkostninger på under 10.000 kr)

3.2 Hazarder til nærmere undersøgelse

I Tabel 3-4 nedenfor er listet de hazarder, som blev identificeret under HAZID'en, men hvor risikoen ikke umiddelbart kunne evalueres eller hvor den blev fundet så høj, at det krævede nærmere analyse.

Evalueringen af disse hazarder, er baseret på de evaluerede frekvenser givet i kapitel 8, samt den konsekvens, som blev skønnet under HAZID'en. De risikoreducerende tiltag givet i Tabel 3-4 er forslag til at nedbringe den beregnede risiko. Disse forslag er ikke taget i regning ved bestemmelse af frekvenserne i Tabel 3-4.

TECHNICAL REPORT

#	Delsystem	Afvigelse	Hazard	C	P	R	Risiko reducerende tiltag/ Rekommandation
4	Hurtigfærge	Menneskelig fejl eller teknisk svigt	Direkte påsejling	4	-5 ⁽¹⁾	-1	AIS og racon på ydermøllerne
5	Konventionel færge	Ruten skal ændres mod syd for færger til Norge	Drivende kollision med mølle	3	-4	-1	Slæbebåd i Frederikshavn vil kunne komme til undsætning
6	Konventionel færge	Ruten skal ændres mod syd for færger til Norge	Direkte påsejling	3	-3	0	AIS (Automatic Identification System) på møllerne og RACON (RADar og beaCON) på yderste mølle i hver ende
7	Fiskeri	Fisker i mølle område	Mindre kollision med mølle som følge af mindre/ingen manøvreedygtighed	1	-2	-1	
8	Fiskeri	Fisker i mølle område	Større kollision med mølle som følge af mindre/ingen manøvreedygtighed	2	-3	-1	
10	Fiskeri	Fisker sejler igennem møllerne	Direkte påsejling	2	-3	-1	
16	Skibe i transit i rute B	Menneskelig fejl eller teknisk svigt	Direkte påsejling	2	-4	-2	AIS på møllerne og racon på yderste mølle i hver ende
17	Skibe i transit i rute B	Havari / black-out	Drivende kollision med mølle	2	-4	-2	Slæbebåd i Frederikshavn vil kunne komme til undsætning da driv længden typisk vil være 4-5 km før kollision
19	Skibe til/fra Frederikshavn fra/mod nord	Menneskelig fejl eller teknisk svigt	Direkte påsejling	3	-3	0	AIS på møllerne og racon på ydermøllerne
20	Skibe til/fra Frederikshavn fra/mod nord	Havari / black-out	Drivende kollision med mølle	2	-4	-2	Slæbebåd i Frederikshavn vil i nogle tilfælde komme til undsætning, men for den korteste driv længde ca. 1 km vil dette have begrænset effekt

Tabel 3-4: Hazarder evalueret på baggrund af nærværende analyse. De detaljerede resultater er givet i kapitel 8.

¹⁾ Frekvensen er mindre end den laveste kategori givet i Tabel 3-2

Af Tabel 3-4 fremgår det, at kollision med færger på ruten mellem Frederikshavn og Oslo (#6 i tabellen) er i ALARP området og risikoreducerende tiltag - så som opsætning af RACON og AIS - skal overvejes.

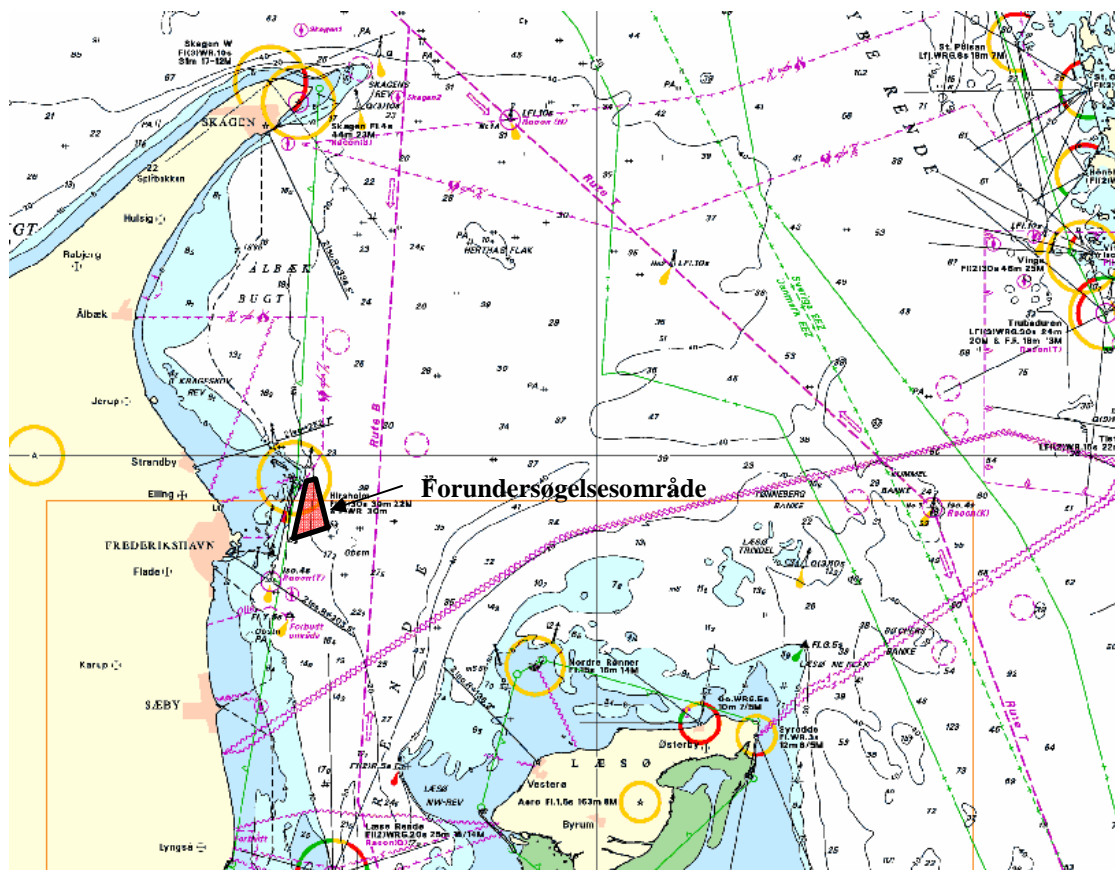
Af HAZID rapporten, ref. /2/ fremgår det også at risikoen i forbindelse med installation i højsæsonen, hvor der er mange passager med hurtigfærger, vurderet at være for høj. Denne risiko er håndteret ved, at det anbefales at installation ikke sker i denne periode og at installation altid koordineres med hurtigfærgerne. Dette gælder også ved almindeligt vedligehold, hvor der er persontransport mellem skib og mølle.

Endelig bør bølgelast fra en passerende hurtigfærge evalueres og medtages i design basis for møllerne.

TECHNICAL REPORT

4 MILJØ FORHOLD

Nedenfor er givet en kort beskrivelse af de miljøforhold i forundersøgelingsområdet, se Figur 4-1, som kan have indflydelse på sejladsikkerheden i området. Dette er parametre som vanddybde, is, vind, bølger, strøm og sigtbarhed.



Figur 4-1: Området omkring forundersøgelingsområdet ved Frederikshavn.

4.1 Vanddybde

Vanddybden i området, hvor møllerne kan placeres, varierer mellem 10 og 20 meter. Vanddybden stiger mod øst og er størst i det sydøstlige hjørne hvor vanddybden overstiger 20 meter. Det skal dog bemærkes, at der øst for forundersøgelingsområdet er lokalområder, hvor vanddybden er helt ned til 12,4 meter, og skibe med stor dybgang vil derfor holde sig i god østlig afstand af undersøgelingsområdet. Nordvest for området ligger øerne Hirsholmene, som tvinger den kystnære trafik mod øst.

Tidevandsforskellen er meget begrænset og typisk af størrelsesordenen 0,3 meter.

TECHNICAL REPORT

4.2 Is

Området ligger i den nordlige del af Kattegat og derfor tæt på Skagerrak. I Skagerrak forekommer som regel kun drivis, der er opstået ved løsrivelse af fastis i Kattegat, mens fastis i strenge isvintre kan give alvorlige problemer i den sydlige del af Kattegat. I sidste århundrede var der i gennemsnit isvintre hver ca. 6. år, men den globale opvarmning vil formentlig reducere dette yderligere.

Is øst for Frederikshavn er således meget begrænset, og vil derfor ikke have nævneværdig indflydelse på skibstrafikken i området.

4.3 Bølger

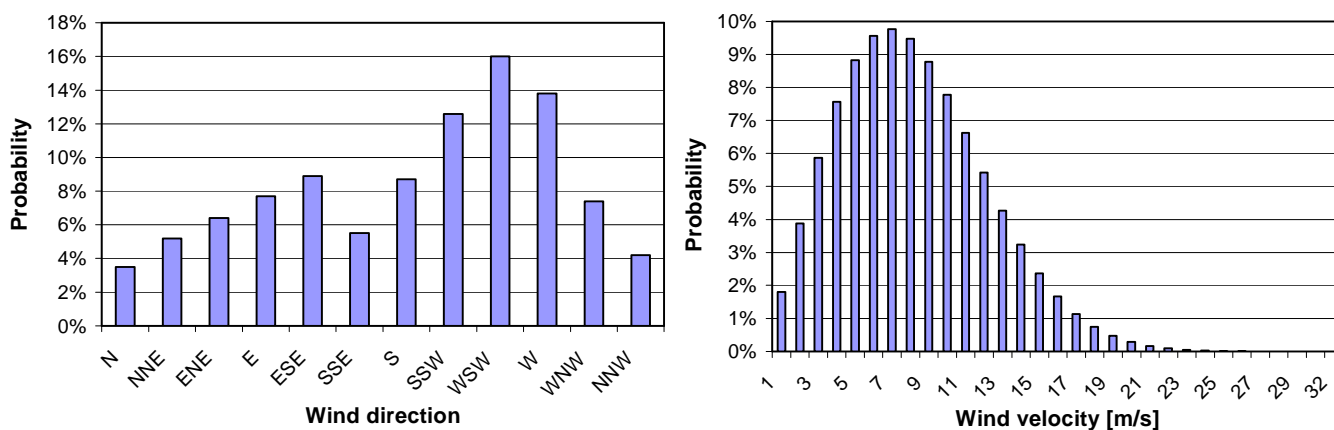
Bølgerne i området er vind genererede og deres størrelse afhænger derfor af vanddybde, vindhastighed og det frie stræk, over hvilket bølgerne kan bygges op. Det største frie stræk er fra nord, men denne vindretning er sjælden og vindhastigheden ved vind fra nord og dermed også bølgehøjden vil ofte være begrænset.

Den signifikante bølgehøjde er typisk under 1 m, men betydeligt større bølger kan forekomme.

4.4 Vind

De typiske vindretninger er fra vest til sydvest, og det er også fra disse retninger, at vindhastigheden er højest. Stærke vinde - dvs. vind af større hastighed end 14 m/s - kan forekomme i alle årets måneder, men er hyppigst i vinterhalvåret. Middelvind hastigheden ligger typisk imellem 6 og 8 m/s og er mindst om sommeren og størst om vinteren.

På grund af højdevariationen langs kysten varierer vinden i området. Nedenstående hastigheds og retningsfordeling, givet i Figur 4-2, er anvendt i nærværende analyse og er taget fra DONG Energy's produktions beregninger for de 6 møller.



Figur 4-2: Hastigheds og retningsfordeling for området med de 6 vindmøller.



4.5 Strøm

Strømmen i Kattegat og de indre danske farvande er stærkt betinget af såvel afvandingen af Østersøen som af meteorologiske forhold. Afvandingen fra Østersøen fører til en overvejende nordgående overfladestrøm. Men vindens indflydelse på havstrømmene er stor nok til at overskygge denne generelle tendens, hvorfor der ikke kan bestemmes generelle typiske forhold for strømmens retning og hastighed.

Udstrømmende overflade Kattegatvand føder den Baltiske strøm, en strøm som løber mod uret rundt i Skagerrak og er koncentreret langs den svenske og den norske kyst. Bredden af denne strøm er typisk 10 km.

Strømhastigheden i forundersøelsesområdet er normalt meget begrænset (typisk under ca. 15 cm/s), men strømhastigheder op mod 1 m/s øst for forundersøelsesområdet ud mod rute B kan opserveres.

Ved store strømhastigheder er retningen sædvanligvis nord eller syd gående, mens mindre strømhastigheder kan være vestgående.

4.6 Sigtbarhed

Tåge, der her er defineret ved at sigtbarheden er mindre end 1 km, kan forekommer hele året, men er hyppigst i forårs månederne, hvor opvarmningen over land sker hurtigere end over vand.

Tåge forekommer i gennemsnit over hele året ca. 4 dage om måneden og hyppigheden aftager med afstanden fra land. Kraftig tåge forekommer sjældnere, og det vurderes derfor, at tåge kun har begrænset indflydelse på sejladsikkerheden.

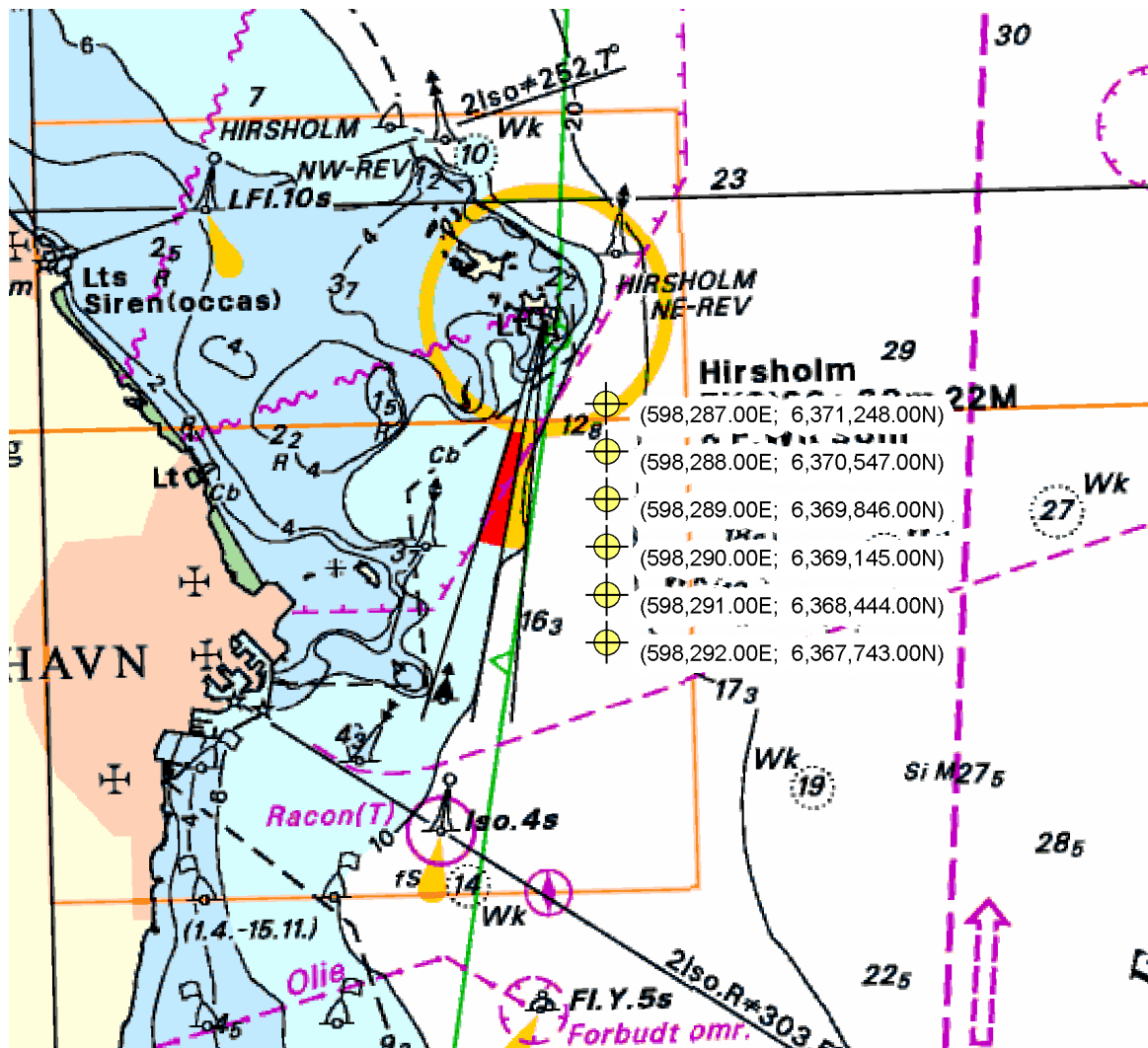
TECHNICAL REPORT

5 VINDMØLLERNE

Møllerne er placeret på omkring 14 meters vanddybde på en nord-sydgående linie nordøst for Frederikshavns havn. Placering af de 6 vindmøller er vist i Figur 5-1. Den korteste afstand fra møllerne til land (Frederikshavn) er godt 4 km.

Møllerne vil være forsøgsmøller i størrelsen 3,5 til 4,5 MW med forskellig funderingskoncepter. Nacelle* højden vil være mellem 85 og 115 meter og afstanden fra vandspejlet til vingespids i højeste position omkring 150 til 200 meter. Afstanden mellem møllerne forventes at være 700 m.

Tårnets diameter nær vandspejlet, der er relevant i forbindelse med en skibskollision mod møllen, vil være omkring 10 meter inklusive bådlanding.



Figur 5-1: Placering af de 6 møller (Base case).

Koordinaterne for de 6 enkelte møller er givet i Tabel 5-1.

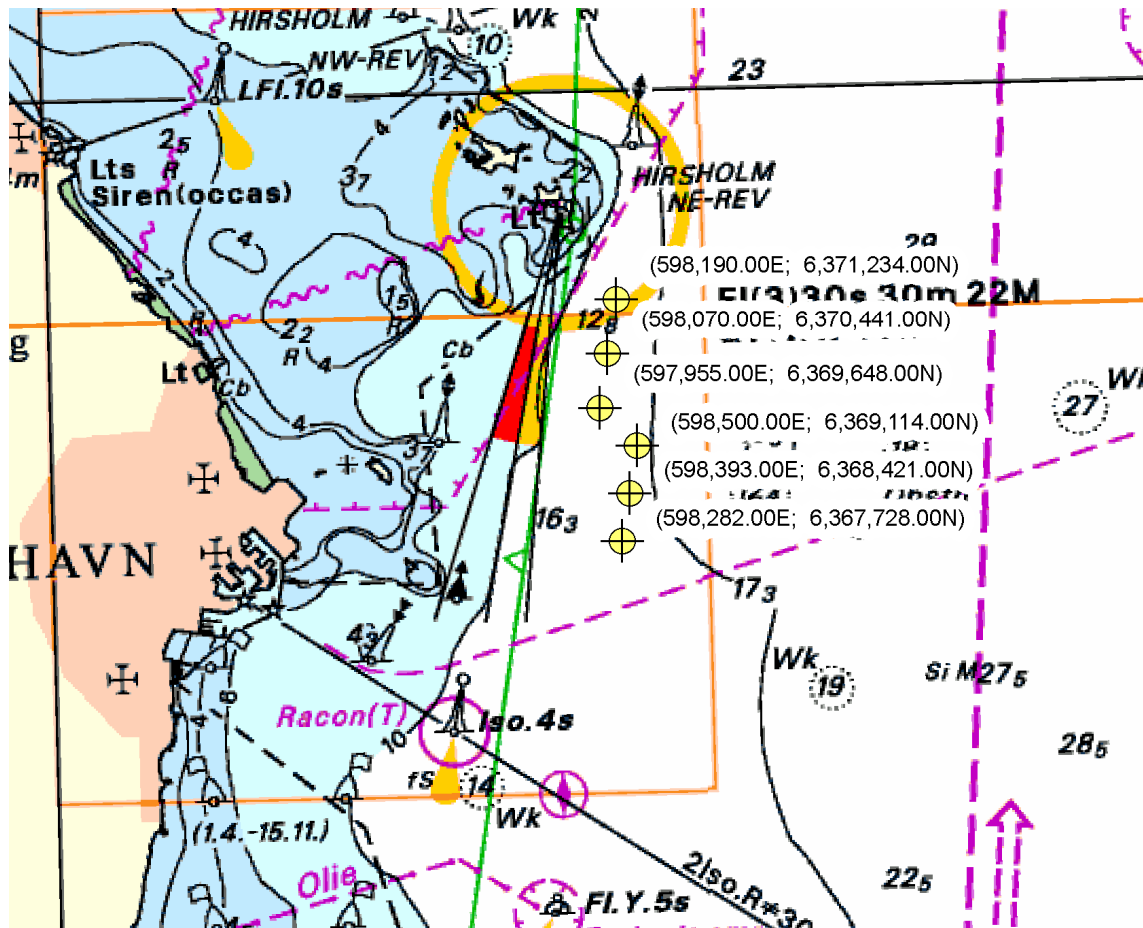
* Nacellen er generator- og gearhuset på toppen af møllens tårn hvorpå rotoren er monteret.

TECHNICAL REPORT

Mølle	Beskrivelse	Northing	Easting
1	Mølleposition 5	6367743	598292
2	Mølleposition 6	6368444	598291
3	Mølleposition 7	6369145	598290
4	Mølleposition 8	6369846	598289
5	Mølleposition 9	6370547	598288
6	Mølleposition 10	6371248	598287

Tabel 5-1: Møllepositioner for de 6 møller.

Den alternative placering, som er bestemt ud fra fiskernes ønske om en større gennemsejlingsåbning for trawlere (en trawlgennemsejlingsport), er vist i Figur 5-2 og Tabel 5-2.



Figur 5-2: Placering af de 6 møller ud fra fiskerikriterier.

Koordinaterne for de 6 enkelte møller er givet i Tabel 5-1.



TECHNICAL REPORT

Mølle	Beskrivelse	Northing	Easting
1	Mølleposition 5	6367728	598282
2	Mølleposition 6	6368421	598393
3	Mølleposition 7	6369114	598500
4	Mølleposition 8	6369648	597955
5	Mølleposition 9	6370441	598070
6	Mølleposition 10	6371234	598190

Tabel 5-2: Møllepositioner for de 6 møller ud fra fiskerikriterier.

De 3 nordligste møller er her lidt tættere på land, mens nummer 2 og 3 fra syd er skubbet lidt mod øst for at etablere den større gennemsejlingsåbning for trawlere.

TECHNICAL REPORT

6 SKIBSTRAFIK OG SEJLRUTER

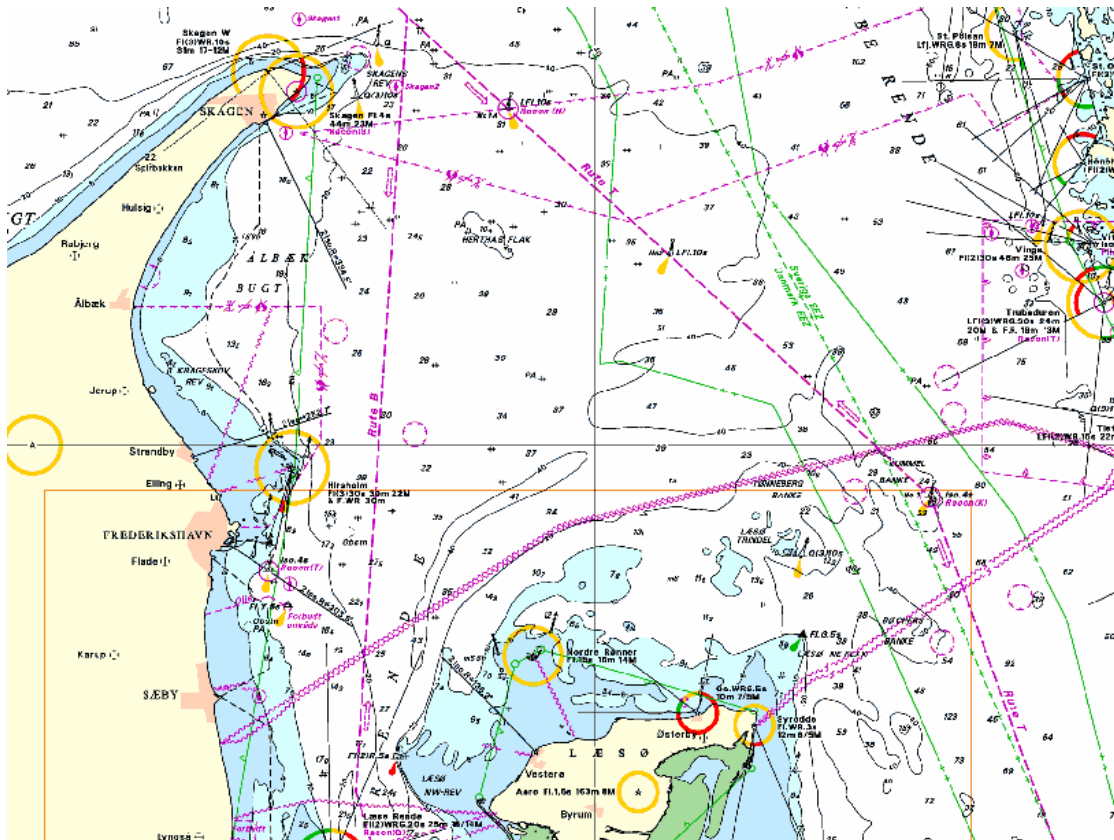
6.1 Data grundlag

Skibstrafikken er analyseret ud fra AIS (Automatic Identification System) data fra Farvandsvæsnets net for en periode på 4 måneder (01.01.2007 til 30.04.2007) samt informationer fra Frederikshavn Havn. Dette betyder at AIS dataene for skibstrafik til og fra Frederikshavn Havn kan verificeres, og generelt er der fundet god overensstemmelse.

På baggrund af ovennævnte data er sejlruterne omkring møllerne identificeret sammen med trafikintensiteten af de forskellige skibstyper.

Ikke alle skibe har AIS og disse skibe vil ikke være dækket af ovennævnte data. Skibstyper som ikke er dækket, er lystbåde, mindre fiskere samt flådefartøjer. Da flådestationen ligger i Frederikshavn, vil der være en del aktivitet med flådefartøjer. Sejladsikkerheden for ovennævnte skibstyper er evalueret ved HAZID'en, da skibene ikke indgår i AIS datagrundlaget. Risikoen for kollision med disse fartøjer, er derfor vurderet ved hjælp af personer, der kender til disse skibstyper og som deltog i HAZID'en.

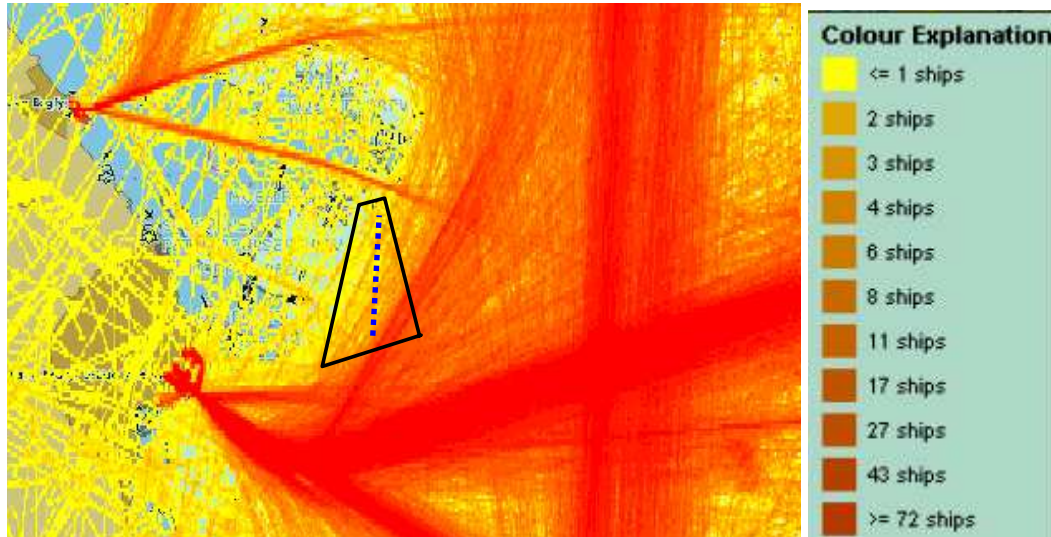
Hovedparten af skibstrafikken omkring Frederikshavn er færgetrafik. Hertil kommer at kommercielle skibe med begrænset dybgang – typisk 4 til 6 meter – kan følge rute B, som er en nord-syd gående sejlroute godt 6 sømil (ca. 11 km) øst for Frederikshavn, frem for dybvandsruten rute T, som går øst om Læsø og dermed ligger langt væk fra forundersøgelsesområdet. Disse sejlrufter er vist i Figur 6-1.



Figur 6-1: Transitruter i området øst for Frederikshavn.

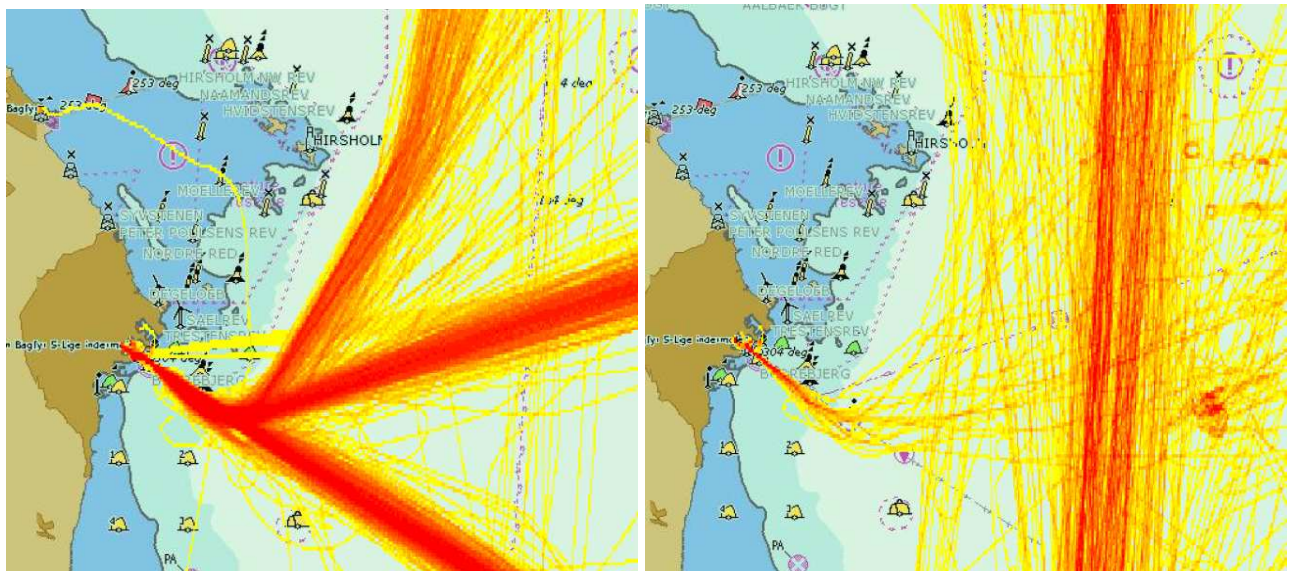
TECHNICAL REPORT

Sejlruterne er identificeret ud fra det faktiske sejlads mønster i området og det kan bestemmes ud fra opsamlede AIS data. Figur 6-2 viser tætheden af AIS positionsrapporter for de første 4 måneder i 2007.



Figur 6-2: AIS-plot for perioden 01.01.2007 til 30.04.2007 – alle skibe.

Det noteres at Figur 6-2 indeholder en del spor, der går ind over land. Dette er en indikation af fejldata men da gul svarer til en meget lav intensitet (et skib i løbet af 4 måneder) er omfanget af fejlregistreringer ikke så stort, som Figur 6-2 umiddelbart indikerer. De typiske sejlruter er veldefinerede i Figur 6-2, men hvis AIS-tætheden i stedet dannes for specifikke skibstyper - som vist i Figur 6-3 - bliver ruterne endnu tydeligere.



Figur 6-3: AIS-plot for perioden 01.01.2007 til 30.04.2007 – Venstre passagerskibe – højre tankere.

Baseret på Figur 6-3 samt information fra Frederikshavn Havn er følgende sejlruter øst for Frederikshavn identificeret.

TECHNICAL REPORT

- Frederikshavn – Læsø (Færge rute)
- Frederikshavn – Sydgående trafik (følger Læsø ruten det første stykke)
- Frederikshavn – Gøteborg (Færge rute med almindelig og hurtigfærge)
- Frederikshavn – Oslo (Færge rute)
- Rute B (Nord-sydgående sejlroute øst for Frederikshavn med tankere og cargo skibe)

Trafikken til og fra Frederikshavn Havn er stærkt domineret af færgetrafik. Cirka 5000 færger anløber Frederikshavn hvert år mod knap 900 andre skibe (stykgoods, tankere, lodsboade, slæbebåde etc). Af færgerne går ca. 13 % til Oslo, 62 % til Gøteborg og 25 % til Læsø.

Med udgangspunkt i last, manøvreegenskaber og navigationsmønster, er skibene er opdelt i følgende 6 typer:

- Cargo (Stykgoods)
- Færger
- Hurtig færger
- Tanker
- Andet
- Fisker

Årsagen til denne inddeling er følgende:

Færger sejler i rutefart og har derfor normalt et stort lokalkendskab. Hertil kommer at de har mere end et fremdriftsmaskineri og derved øget pålidelighed og at de sædvanligvis sejler noget hurtigere end handelsskibene. *Hurtig færgerne* adskiller sig derudover ved at sejle meget hurtigere end den øvrige trafik.

Tankere er taget ud for sig selv fordi de kan bære last (olie) der drastisk forøger miljøkonsekvensen ved en kollision. Endelig er *fiskerne* isoleret, da de er små og har lille dybgang, typisk kender området godt og derfor sejler tættere på møllerne, både i transit til og fra fiskeområdet, men også under selve fiskeriet.

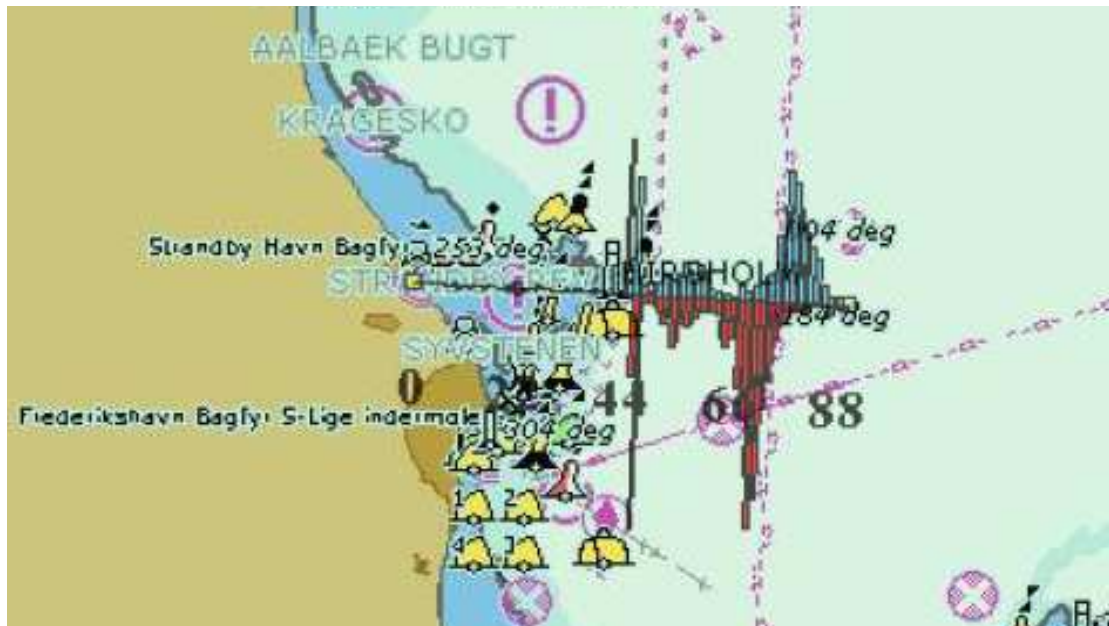
Gruppen *Cargo (Stykgoods)* omfatter øvrige handelsskibe. Skibene er typisk ikke specielt hurtige, de kan sejle i rutefart men gør det ikke nødvendigvis og kan omfatte både moderne, veludstyrede skibe og ældre, udtjente skibe med dårligt uddannet mandskab.

Endelig dækker typen *Andet* over mindre skibe (lodsboade, slæbebåde mm) samt skibe der ikke kan klassificeres ud fra AIS-data.

6.1.1 Nord og sydgående trafik - Rute B

Den nord og sydgående skibstrafik langs Rute B er analyseret ud fra AIS-data. Den præcise placering af skibstrafikken er vist i Figur 6-4 for en linie (snit) nord for Frederikshavn, hvor den vestlige del af linen går igennem forundersøgelingsområdet.

TECHNICAL REPORT



Figur 6-4: Fordelingen af skibstrafikken vinkelret på rute B. Rød sydgående – blå nordgående.

Sammenholdes Figur 6-4 med Figur 6-2 ses det, at den første ”pukkel” i fordelingen længst mod vest hovedsagelig skyldes færger mellem Oslo og Frederikshavn, samt en lille smule andet skibstrafik til og fra Frederikshavn. Samtidig ses det, at godstrafikken på rute B følger denne rute meget nøje. Af den samlede nord og sydgående trafik følger ca. 75 % rute B, mens de sidste 25 % sejler tættere på forundersøgelsesområdet.

Den sydgående skibstrafik er ca. 10 % større end den nordgående, hvilket formentlig skyldes, at skibene generelt er tungere lastet ud af dansk farvand end ind i dansk farvand, og derfor følger nogle skibe rute B ind i dansk farvand, men må følge rute T ud på grund af den større dybgang.

For en del af AIS registreringerne er skibstypen ikke angivet, men ved at sammenholde AIS-data med informationer fra Frederikshavn Havn er det fundet, at en stor del af disse er færger. Antages det at ca. halvdelen af registreringerne uden skibstype er færger, findes antallet af passager af den viste linie for nord og sydgående skibstrafik, som ikke er færger, til ca. 7000 per år. Hovedparten af dette er Cargo skibe, mens antallet af tankere er knap 1100 per år og derfor ikke uvæsentligt.

Den estimerede skibstrafik for de forskellige ruter er givet i Tabel 6-1. Bemærk at der for færgeruterne også er medtaget anden trafik, som vil følge disse ruter et stykke ud af Frederikshavn Havn afhængig af hvilken destination de har. Ruters placering er skitseret i Figur 6-5.



TECHNICAL REPORT

	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4	Rute 5
Skibstype	Rute B	Frederikshavn - Nordgående inkl. Oslo færger	Frederikshavn – Sydgående	Frederikshavn – Gøteborg	Frederikshavn – Læsø
Cargo	2700	300	400	400	0
Færger	0	1200	0	4350	2400
Hurtig færger	0	0	0	1450	0
Tanker	1100	100	0	100	0
Andet	3200 ¹⁾	100	100	100	0
Total	7000	1700	500	6400	2400

Tabel 6-1: Estimeret skibstrafik på de forskellige ruter.

¹⁾ Skibs typen er ikke opgivet for hovedparten af disse skibe (betegnet "N/A" i AIS dataene)

Af Tabel 6-1 fremgår det, at den største trafik i farvandet øst for Frederikshavn er færgetrafik, men hvis man kommer tilstrækkeligt langt mod øst ud til rute B, så er der en ikke ubetydelig nord og sydgående trafik af blandt andet mindre tankere og cargo skibe. Den gennemsnitlige dybgang for cargo skibene er lidt under 5 meter, mens den gennemsnitlige dybgang for tankerne er lidt over 5 meter, hvilket indikerer at det er tankere med begrænset størrelse.

6.1.2 Flådefartøjer, fiskefartøjer og lystbåde

Flådefartøjer, nogle fiskefartøjer og de fleste lystbåde i området anvender ikke AIS og er derfor ikke med i ovennævnte analyse. Disse skibe vil i mindre grad følge specifikke sejlruiter og er derfor ikke indeholdt i trafikken på ovennævnte sejlruiter.

6.1.2.1 Lystbåde

Lystbåde vil ikke være i stand til at yde betydelig skade på store vindmøller og deres fundamenter, og miljøpåvirkningerne ved en kollision vil være begrænset på grund af den begrænsede mængde olie, disse skibe indeholder.

For personer på disse skibe, vil der dog være en personrisiko, samt en økonomisk risiko i forbindelse med kollision mod en vindmølle. Disse risici er identificeret og vurderet under en HAZID på Scandic Hotel i Frederikshavn torsdag d. 30. august 2007. Her blev det konkluderet, at risikoen for lystsejlere er acceptabel, mens risikoen for store motorbåde er i ALARP området.

For de store motorbåde blev det dog også konkluderet, at de ikke altid følger søfartsreglerne og det er derfor meget svært, at indføre tiltag som reducere risikoen for disse.

6.1.2.2 Flådefartøjer

Flådefartøjerne kan have en betydelig størrelse og derved kan konsekvensen ved kollision mod en mølle også blive betydelige. Disse risici blev ligeledes identificeret og vurderet under samme HAZID. Tommy Pedersen fra Flådestationen Frederikshavn udtalte, at møllerne ikke ville være et problem for dem, og de meget sjældent sejlede i området omkring møllerne. Risikoen for at et flådefartøj kolliderer mod en mølle blev derfor vurderet til at være acceptabel.



TECHNICAL REPORT

6.1.2.3 Fiskefartøjer

Skib - mølle kollision med fiskefartøjer blev ligeledes diskuteret under HAZID'en, men da Svend Erik Andersen og Erik Nielsen fra Strandby Havn og fiskeriforening ikke kunne vurdere risikoen blev det besluttet at man skulle afvente fiskeriundersøgelsen fra Krog Consult, ref. /1/.

På baggrund af fiskeriundersøgelsen besluttede Søfartsstyrelsen, at fiskeruter skulle medtages i den detaljerede frekvensanalyse.

Da hverken sejlruiter, det årlige antal af fiskeskibe eller skibsstørrelser fremgik af fiskeriundersøgelsen, blev disse størrelser diskuteret og fastsat på et møde med de lokale fiskere fredag d. 11. januar 2008 i Strandby nord for Frederikshavn.

På mødet deltog:

Tove Kjær Hansen	(DONG Energy)
Claus Pedersen	(Næstformand i Strandby Fiskeriforening)
Einer Klitlund	(Fisker fra Strandby)
Jery Gotlibsen	(Fisker fra Strandby)
Robert Lassen	(Formand for Frederikshavn Fiskeriforening)
Carsten Krog	(Krog Consult)
Claus F. Christensen	(DNV)

Af diskussionen fremgik det, at intensiteten af fiskere i området varierer over året og fra år til år, sådan at forstå at hvis der er fisk i området, så vil der hurtigt komme fiskere fra andre byer i en meget kort periode. Dette betyder, at vurderingen af fisketrafikken er meget usikker, men de indlagte ruter og den tilhørende trafik er konservative og svarer til ekstrem situationen. Denne situation vil typisk finde sted i forår eller sommer månederne og som en meget konservativ approksimation kan den antages at forekomme i 1 til 3 måneder om året.

Fiskefartøjerne er alle mindre fartøjer med typisk 2 personer ombord. Det største skib som kan komme ind til Strandby er ca. 225 DWT, hvilket betyder at alle fiskefartøjer tilhøre den mindste skibsklasse (DWT<1000), der er anvendt i analysen.

Fejlfrekvenser for fiskefartøjer blev også diskuteret på mødet. Frekvensen for motorstop (drivende skib) blev vurderet til ca. 1 gang per år, hvilket svare til fejlfrekvensen for andre skibe, der er afhængige af et fremdrift maskineri.

Frekvensen for direkte påsejling blev også diskuteret. Størrelsen for denne er svær at fastsætte, men ud fra ulykkesstatistik er fiskefartøjer ofte impliceret i uheld og der er derfor foreslået at øge denne frekvens. Frekvensen er derfor fordoblet i denne analyse.

To typer ruter er identificeret. Ruter hvor fiskefartøjet er på vej ud til fiskepladsen (hastighed 8-9 knob) og en rute hvor der fiskes (hastighed 3 knob).

Ruten hvor der fiskes går ned langs med møllerne og krydser gennem møllerækken omkring midten. Transit ruterne går ud fra Strandby (2 ruter) og mod syd, samt fra Frederikshavn og mod nord. Øvrige transit ruter er ikke relevante pga. den store afstand til møllerne.

Følgende relevante sejlads mønstre er identificeret for fisketrafikken:

TECHNICAL REPORT

- Fiskerute langs med møllerne fra nord mod syd og med en krydsning gennem møllerækken (max 30 daglige passager 5 dage om ugen i højsæsonen)
- Transit rute fra Strandby syd om Hirsholm videre mod syd (10 daglige ture ud og 10 hjem i højsæsonen 5 dage om ugen). Halvdelen er antaget at sejle gennem møllerækken.
- Transit rute fra Strandby nord om Hirsholm (større dybde) og så videre mod syd (10 daglige ture ud og 10 hjem i højsæsonen 5 dage om ugen). Meget konservativt (på den sikre side) er det antaget at alle disse sejler mod syd og ingen mod øst.
- Transit rute fra Frederikshavn mod nord. (15 daglige ture ud og 15 hjem i højsæsonen 5 dage om ugen). Alle skibe er antaget at sejle gennem møllerækken.

Den sæsonafhængige fisketrafik er omregnet til årlig trafik ved at antage at den maksimale trafik forekommer i 3 måneder om året og at der ikke er nogen trafik i de resterende 9 måneder. Dette svarer til at skalere den ovenfor definerede maksimale daglige trafiktal med en faktor 60.

Bemærk også at enten er det fiskerne fra Strandby eller fiskerne fra Frederikshavn, der har behov for at sejle igennem møllerækken – de vil ikke begge passere møllerne. Med aktive fiskepladser nord eller syd for møllerækken er det kun enten fiskere fra Frederikshavn eller fiskerne fra Strandby krydse igennem møllerækken. Samtidig vil de mindste skibe sejle tættere på land og dermed ikke have behov for at krydse gennem møllerækken. Dette er ikke taget i regning hvorfor estimatet for den samlede årlige fisketrafik omkring møllerne vurderes at være konservativt.

6.2 Skibstrafik og Sejlruiter

Ud fra ovenstående gennemgang er ruter, årlig antal passager og størrelsesfordeling for de enkelte ruter fastlagt og summeret i nedenstående tabeller og figurer.

Den årlige skibstrafik på de identificerede ruter er givet i Tabel 6-2. Skibstrafikken svarer til året 2007 og tallene er anvendt direkte i analysen uden nogen fremskrivning af skibstrafikken.

TECHNICAL REPORT

Skibspassager per år	Sejlruter									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cargo	2700	300	400	400	0	0	0	0	0	0
Færger	0	1200	0	4350	2400	0	0	0	0	0
Hurtig færger	0	0	0	1450	0	0	0	0	0	0
Tanker	1100	100	0	100	0	0	0	0	0	0
Andet	3200	100	100	100	0	0	0	0	0	0
Fisker	0	0	0	0	0	600	600	1200	1800	1800

Tabel 6-2: Estimeret årlig antal skibspassager for de forskellige ruter fordelt på skibstyper.

Størrelsesfordelingen af de forskellige skibstyper er bestemt ud fra AIS-data fra Farvandsvæsenet. Med udgangspunkt i definerede linier har Farvandsvæsenet identificeret skibe der krydser disse linier og etableret en type og størrelsesfordeling for trafikken. To af disse linier bestemmer den nord-sydgående trafik og den sidste linie bestemmer den øst-vestgående trafik.

Størrelsesfordelingen af skibene der passerer de to linier som fanger den nord-sydgående trafik er meget ens, og der er her anvendt et gennemsnit af resultatet fra de to linier.

Disse størrelsesfordelinger er givet i Tabel 6-3.

DWT	0-1000	1000-3000	3000-5000	5000-10000	10000-20000	20000-40000	40000-80000
Cargo	65,5 %	10,2 %	13,3 %	0,9 %	0,1 %	10,0 %	0,0 %
Færger	53,7 %	2,3 %	44,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Hurtig færger	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Tanker	62,3 %	14,8 %	13,8 %	8,4 %	0,3 %	0,5 %	0,0 %
Andet	95,9 %	2,3 %	1,8 %	0,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %

Tabel 6-3: Størrelsesfordeling for skibe på rute 1, 2 og 3.

DWT	0-1000	1000-3000	3000-5000	5000-10000	10000-20000	20000-40000	40000-80000
Cargo	2,3 %	14,0 %	22,5 %	59,7 %	0,3 %	1,3 %	0,0 %
Færger	41,5 %	18,7 %	11,9 %	27,6 %	0,2 %	0,2 %	0,0 %
Hurtig færger	97,6 %	2,4 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Tanker	62,6 %	15,1 %	13,4 %	5,0 %	1,7 %	2,2 %	0,0 %
Andet	53,5 %	10,5 %	13,4 %	22,7 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %

Tabel 6-4: Størrelsesfordeling for skibe på rute 4.

Skibene på rute 5 (færgeruten til Læsø) og fiskeruterne (rute 6 til 10) er alle mindre fartøjer med DWT < 1000.

De identificerede sejlruter er givet i Figur 6-5 for "base case" placeringen af møllerne, og koordinaterne for de tilhørende way-points er givet i Tabel 6-5 sammen med den tilhørende spredning på ruten (et mål for hvor tæt skibene følger den ideelle sejlrute).

Skibstrafikkens fordeling på tværs af sejlruen er antaget at være en sammensat fordeling, hvor 98 % er beskrevet ved en normalfordeling med middelværdi svarende til idealsejlruen og en spredning som angivet i Tabel 6-5. De resterende 2 % er uniform fordelt over en længde svarende til 6 gange spredningen i normalfordelingen. Denne fordelingsantagelse stemmer godt overens med hvad der er observeret andre steder i de indre danske farvande.

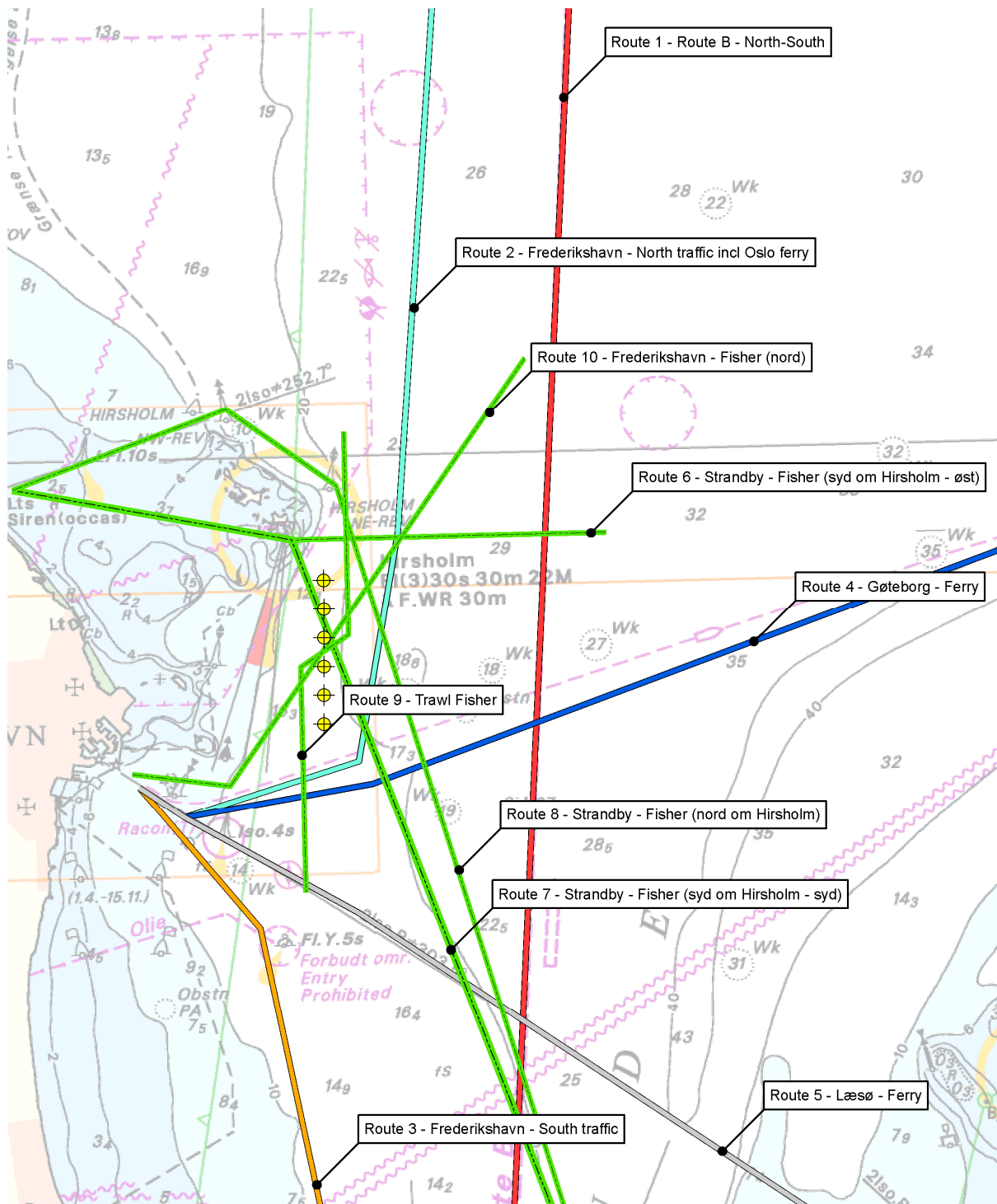
TECHNICAL REPORT

Rute	Beskrivelse	Longitude	Latitude	Spredning [nm]
1	Route B - North-South	57.7081	10.757	0.7
1		57.2686	10.703	0.7
1		57.2156	10.733	0.7
2	Frederikshavn - North traffic incl Oslo ferry	57.4286	10.562	0.1
2		57.4219	10.580	0.1
2		57.4333	10.651	0.2
2		57.4833	10.669	0.3
2		57.7092	10.721	0.5
3	Frederikshavn – South traffic	57.4286	10.562	0.1
3		57.3972	10.610	0.2
3		57.2153	10.706	0.5
4	Gøteborg – Ferry	57.4286	10.562	0.1
4		57.4219	10.580	0.1
4		57.4283	10.657	0.2
4		57.4975	11.030	0.5
5	Læsø – Ferry	57.4286	10.562	0.1
5		57.4219	10.580	0.1
5		57.4000	10.650	0.2
5		57.2992	10.919	0.2
6	Strandby - Fisher (syd om Hirsholm - øst)	57.4944	10.513	0.1
6		57.4822	10.626	0.1
6		57.4822	10.754	0.2
7	Strandby - Fisher (syd om Hirsholm – syd)	57.4944	10.513	0.1
7		57.4822	10.626	0.1
7		57.2972	10.750	0.4
8	Strandby - Fisher (nord om Hirsholm)	57.4944	10.513	0.1
8		57.5111	10.601	0.1
8		57.4939	10.645	0.1
8		57.2972	10.750	0.4
9	Trawl Fisher	57.5056	10.648	0.1
9		57.4611	10.648	0.1
9		57.4708	10.629	0.1
9		57.4458	10.629	0.1
10	Frederikshavn – Fisher (nord)	57.4317	10.559	0.1
10		57.4286	10.599	0.1
10		57.5208	10.723	0.1

Tabel 6-5: Way-point og spredningen for skibsfordelingen på tværs af sejlruterne.

For den alternative placering af møllerne ændres de to midterste way-points for rute 9, samt et for rute 7, således at ruterne passerer midt mellem to møller. Disse ændrede way-points er angivet med rødt under det oprindelige way-point i Tabel 6-5.

TECHNICAL REPORT

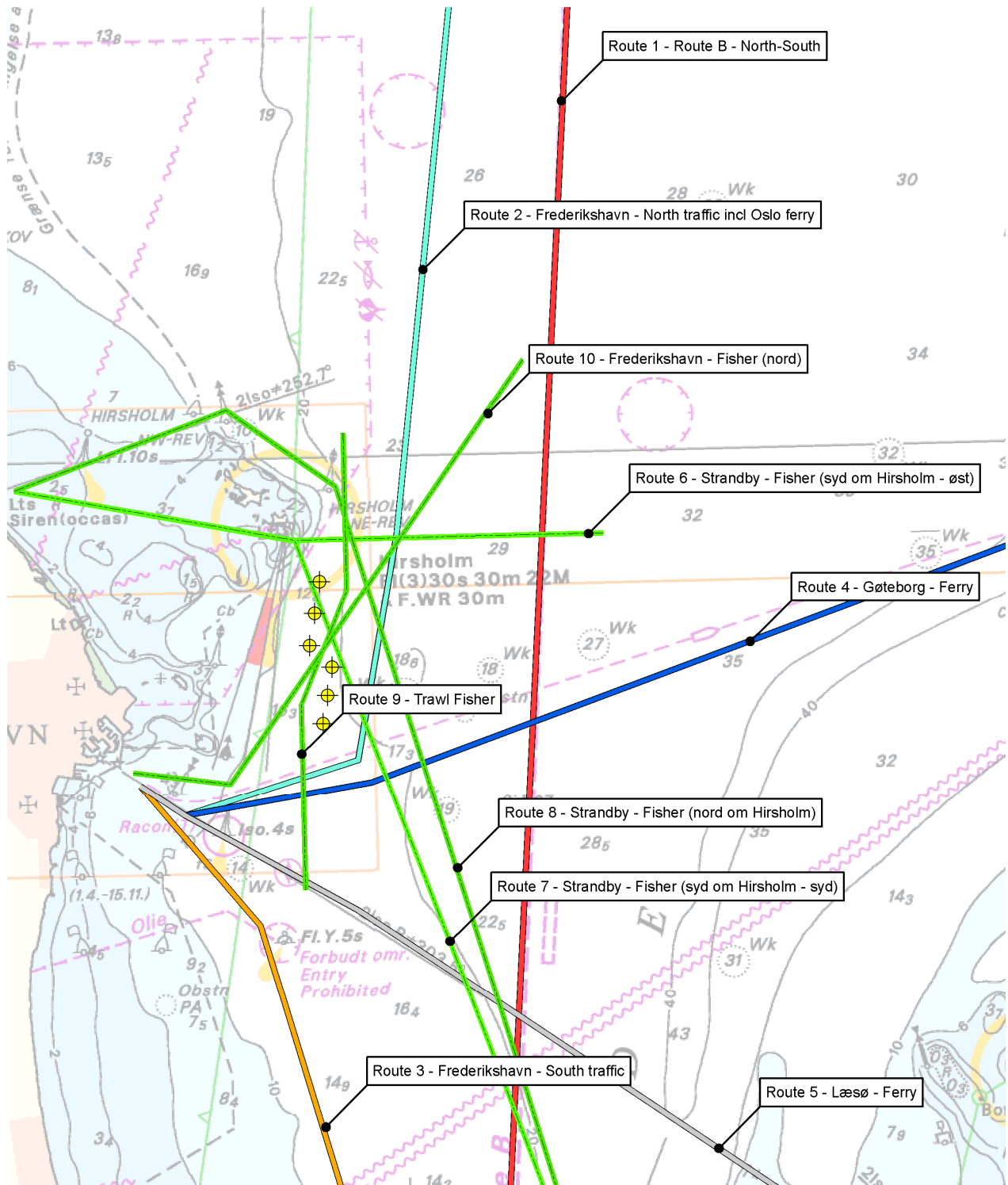


Figur 6-5: Sejlruiter inklusive fiskeruter (grønne linier) for base case placeringen.

Den alternative mølle placering påvirker ikke sejlruiterne, bortset fra trawlruten (rute 9) ned langs med møllerne og som krydser gennem mølle rækken.

Ved den alternative placering, hvor der er en trawlgennemsejling skal trawl fiskerne ikke dreje så skarpt for at få trawlet gennem møllerækken og risikoen for en kollision mellem skibet og møllen eller trawlet og møllen mindskes, se Figur 6-6.

TECHNICAL REPORT



Figur 6-6: Sejlruiter omkring møllerne ved den alternative placering med trawlgennemsejling.



7 KOLLISIONSMODEL

Nærværende analyse fokuserer på skibskollisioner mod de 6 møller, som planlægges opstillet øst for Frederikshavn. Skibstrafikken i området, hvor møllerne er placeret, er begrænset og området besejles stort set kun af mindre fartøjer. Opstillingen af møllerne vil derfor ikke flytte en nævneværdig mængde skibstrafik, og en eventuel forøgelse af skib-skib kollisioner, som følge af en øget trafik intensitet øst for området, er vurderet til at være forsvindende.

Analysen omhandler derfor alene de to følgende overordnede kollisionsscenerier.

- Direkte påsejling af et operationsdygtigt skib forårsaget af en menneskelig fejl eller radarfejl i dårlig sigtbarhed. Kollisionen vil ske med fuld hastighed eller nær ved fuld hastighed.
- Kollision med et drivende skib pga. maskinnedbrud eller ”black-out”. Skibet vil typisk drive sideværts og kollisionen vil ske med en reduceret hastighed.

For en mere detaljeret gennemgang af modellen henvises til Appendiks A.

Det skal bemærkes, at de fundne frekvenser er usikre og vil i nogen grad afhænge af de antagelser og parametervalg som er gjort i modellen. For at mindske usikkerheden og gøre analysen mere sammenlignelig med resultater fra andre analyser, er de forskellige modelparametre, som indgår i kollisionsmodellen, valgt i overensstemmelse med de parametre som blev aftalt i en arbejdsgruppe under BSH (“Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie”) i Tyskland, og som bestod af DNV (Det Norske Veritas), GL (Germanischer Lloyd) og Marin fra Holland.

Af andre væsentlige forudsætninger skal nævnes følgende:

Da den typiske vindretning er vestlig og strømretningen typisk er nord – sydgående vil den hyppigste drivretning være væk fra møllerne, da skibstrafikken vest for møllerækken er yderst begrænset. Derfor modelleres kun vindens effekt på et drivende skib, mens strømmens effekt negligeres.

Sandsynligheden for at et fiskefartøj kommer på kollisionskurs mod en mølle og ikke undgår kollisionen er endvidere sat til at være dobbelt så stor, som for andre skibstyper. Dette er valgt med udgangspunkt i generelle erfaringer, ulykkesstatistikken for fiskefartøjer og diskussion af emnet med fiskerne.



8 KOLLISIONSFREKVENSER

Nedenfor er hovedresultaterne for de to mulige placeringer af de 6 vindmøller summeret og diskuteret. Det bemærkes, at de rapporterede frekvenser for fiskefartøjer er konservative, da den modellerede aktivitet repræsenterer den værste tænkelige situation med en sjældent god fiskesæson med mange fiskefartøjer tæt på møllerne. Fiskeriet varierer fra år til år og i de seneste år har fiskeaktiviteten i området været begrænset så de fundne frekvenser overvurderer derfor kollisionsrisikoen for sådanne år.

Samtidig er en stor del af kollisionerne for fiskeruten ned langs og gennem møllerækken relateret til travl – møllekollision. Frekvenserne er derfor opgivet med og uden fiskefartøjer.

8.1 Hoved resultater Base Case placeringen

For ”base case” placeringen, hvor de 6 møller er placeret på en række med konstant afstand, fås den årlige kollisionsfrekvens uden bidrag fra fiskefartøjer til $5.4 \cdot 10^{-3}$ svarende til en returperiode på 186 år. Medtages bidrag fra fiskefartøjer stiger frekvensen til $1.8 \cdot 10^{-1}$ og returperioden falder til godt 5 år. Det er forudsat, at RACON og/eller AIS markering ikke påvirker risikoen for kollision med fiskefartøjer, og andre tiltag med effekt for fiskefartøjer er ikke identificeret. Yderligere reduktion af det dominerende bidrag fra fiskefartøjer vurderes derfor ikke mulig. I Tabel 8-1 er vist, hvordan frekvensen er fordelt mellem de to scenarier direkte påsejling og drivende kollision.

Årlig kollisionsfrekvens og tilhørende retur periode	Direkte påsejling (Menneskelig / radar fejl)	Sideværts kollision (Drivende skib)	Total frekvens
Base Case eksklusiv fiskefartøjer	$5.0 \cdot 10^{-3} / 199$	$3.6 \cdot 10^{-4} / 2780$	$5.4 \cdot 10^{-3} / 186$
Base Case fiskefartøjer	$1.7 \cdot 10^{-1} / 6$	$5.3 \cdot 10^{-3} / 187$	$1.8 \cdot 10^{-1} / 5$
Total	$1.8 \cdot 10^{-1} / 6$	$5.7 \cdot 10^{-3} / 176$	$1.8 \cdot 10^{-1} / 5$

Tabel 8-1: Årlig kollisionsfrekvens for Base Case placeringen med og uden fiskefartøjer.

Det dominerende risikobidrag kommer fra fiskefartøjer, som enten sejler gennem møllerækken eller som fisker ned langs med og gennem møllerne. Det største bidrag fra anden trafik er fra færger til og fra Oslo, som sejler ud syd om møllerne og herefter mod nord. Af de to typer kollisionsscenerier giver direkte påsejling det største bidrag blandt andet på grund af den korte afstand mellem sejlruterne og møllerne, især for fiskeruterne. Bidraget fra kollision af et drivende skib er meget begrænset. For yderligere resultater henvises til afsnit 8.3.

8.2 Hoved resultater for alternativ placering

For den alternative placering, hvor der er lavet en trawlgennemsejlings port mellem møllerne er frekvenserne stort set uændret for den kommercielle trafik, mens kollisionsfrekvensen for fiskefartøjer næsten halveres. Ses alene på den kommercielle trafik er den årlige kollisionsfrekvens bestemt til $5.4 \cdot 10^{-3}$ svarende til en returperiode på 184 år. Medtages fiskefartøjer bestemmes den årlige frekvens til $1.0 \cdot 10^{-1}$ svarende til en returperiode på 10 år. Frekvensen er dermed reduceret med 45% i forhold til base case placeringen.

Fordelingen af frekvensen mellem de to scenarier er vist i Tabel 8-2.

Årlig kollisionsfrekvens og tilhørende retur periode	Direkte påsejling (Menneskelig / radar fejl)	Sideværts kollisjon (Drivende skib)	Total frekvens
Alternativ eksklusiv fiskefartøjer	$5.1 \cdot 10^{-3} / 197$	$3.5 \cdot 10^{-4} / 2850$	$5.4 \cdot 10^{-3} / 184$
Alternativ fiskefartøjer	$9.4 \cdot 10^{-2} / 11$	$3.6 \cdot 10^{-3} / 281$	$9.8 \cdot 10^{-2} / 10$
Total	$1.0 \cdot 10^{-1} / 10$	$3.9 \cdot 10^{-3} / 256$	$1.0 \cdot 10^{-1} / 10$

Tabel 8-2: Årlig kollisionsfrekvens for Alternativ placeringen med og uden fiskefartøjer.

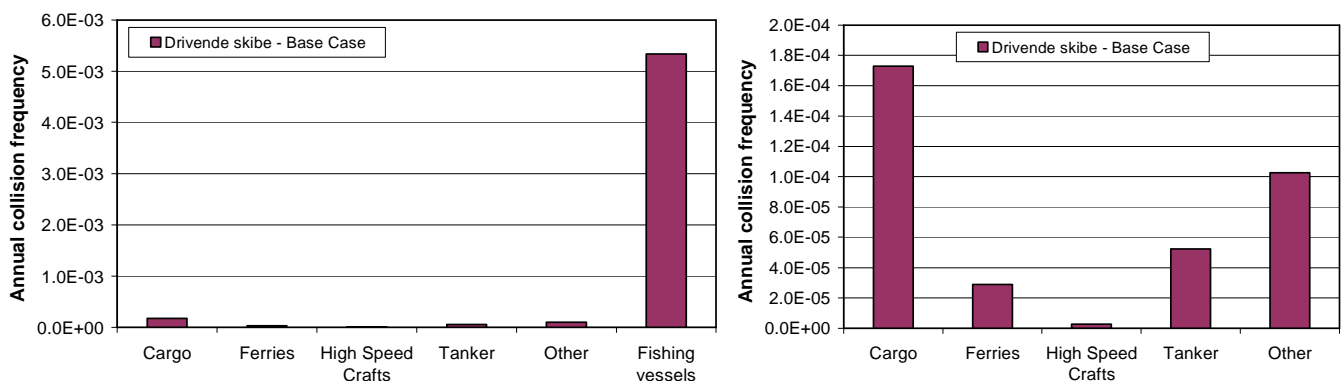
Det største risikobidrag kommer fortsat fra fiskefartøjer, som sejler gennem møllerækken eller som fisker ned langs med og gennem møllerne. Ses der bort fra fiskeskibene, er det dominerende bidrag fortsat færger til og fra Oslo, som sejler ud syd om møllerne og herefter mod nord. Med hensyn til kollisjonsscenerier er det største bidrag er fortsat fra en direkte påsejling pga. den korte afstand mellem sejlruterne og møllerne. Bidraget fra en kollisjon med drivende skib er fortsat meget begrænset. For yderligere resultater henvises til afsnit 8.4.

8.3 Detaljeret resultater for base case placering

I dette afsnit gives en mere detaljeret redegørelse for kollisionsfrekvenserne for de to typer kollisjonsscenerier herunder fordelingen af frekvensbidrag fra de forskellige sejlruter og skibstyper.

8.3.1 Drivende skib

Den årlige kollisionsfrekvens med et drivende skib er nedenfor vist fordelt på sejlruter og skibstyper, samt med og uden fiskefartøjer.



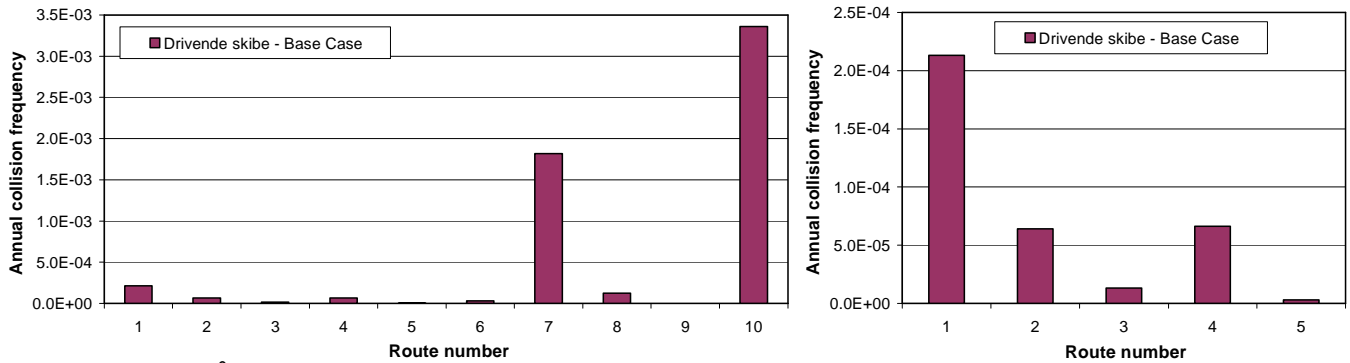
Figur 8-1: Årlig kollisionsfrekvens for drivende skib fordelt på skibstyper med og uden fiskefartøjer.

Af Figur 8-1 fremgår det, at det største bidrag til kollisionsfrekvensen kommer fra ”Fiskefartøjer”, og dette skyldes primært at disse skibe forventes at sejle meget tæt på møllerne. Sekundært er hyppigheden af fejl, der leder til kollisjon, også regnet noget højere for disse skibe.

Betragtes den øvrige trafik, er det bidraget fra ”cargo” skibe, som dominerer. Selvom færgerne dominerer trafikken, er disse skibe mere pålidelige (f.eks. har de to hovedmaskiner) og dette mere

TECHNICAL REPORT

end opvejer dominansen i trafikbilledet. Den næststørste del af trafikken – cargo skibene – giver dermed anledning til det største bidrag til kollisionsrisikoen for den øvrige trafik.

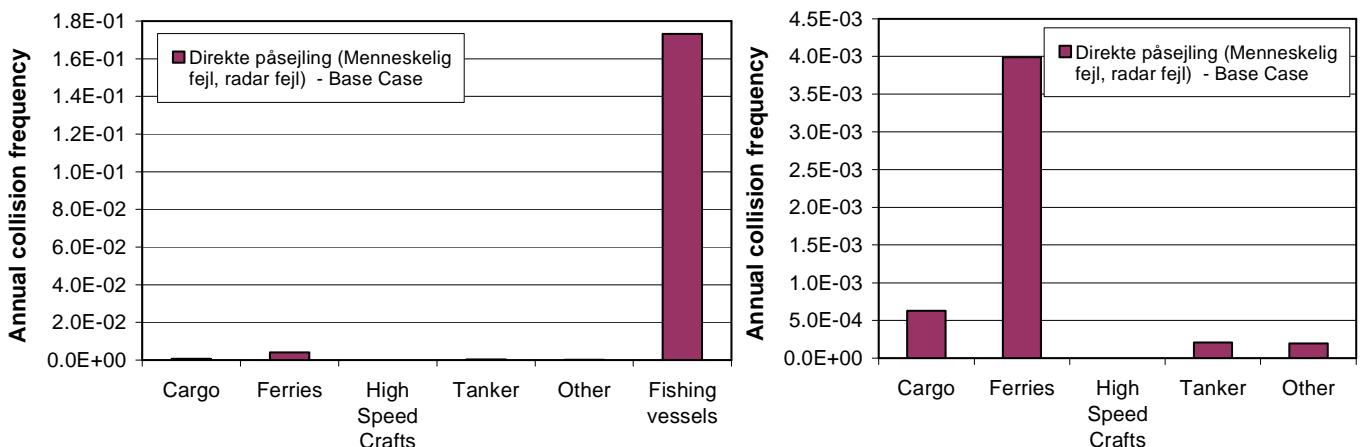


Figur 8-2: Årlig kollisionsfrekvens for drivende skib fordelt på sejlrufter med og uden fiskefartøjer.

Af Figur 8-2 fremgår det, at de største bidrag kommer fra fiskeruterne 7 og 10, mens bidraget fra rute 1 er dominerende, når der ses på den øvrige trafik. Rute 1 repræsenterer den nord-sydgående trafik, som følger rute B. Det skal her påpeges at fiskefartøjer, der er i færd med fiskeri, ikke antages at kunne drive mod møllerne, da trawlskovle, garn og øvrige fangstredskaber vil virke som drivanker.

8.3.2 Direkte påsejling

Kollisionsfrekvensen for direkte påsejling pga. menneskelig fejl eller radar fejl i dårlig sigtbarhed er nedenfor opdelt i bidrag fra sejlrufter og skibstyper.



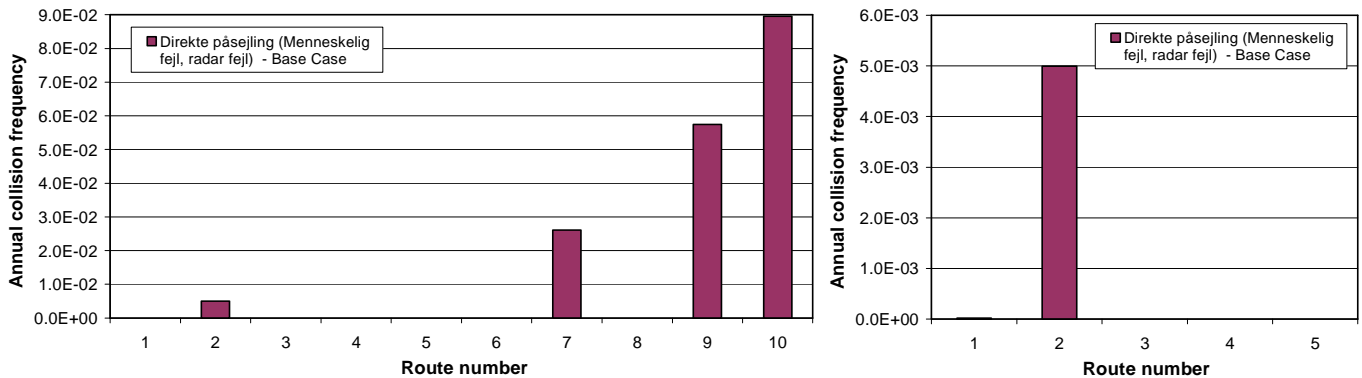
Figur 8-3: Årlig kollisionsfrekvens for direkte påsejling fordelt på skibstyper med og uden fiskefartøjer.

Hyppigheden af direkte påsejling domineres af bidraget fra fiskefartøjer, der udgør mere end 97% af den samlede risiko. Årsagen til denne dominans er også her, at fiskerne sejler meget tæt på møllerne og at der regnes med en noget højere fejlfrekvens for disse skibe.

Det næststørste bidrag kommer fra færgetrafikken. Størrelsen af dette bidrag skyldes hovedsagelig det store antal færgepassager, samt at færgerne til Oslo sejler relativt tæt på den sydlige mølle. I

TECHNICAL REPORT

modsatning til bidraget til drivende skibe, slår færgernes større pålidelighed ikke igennem i forhold til direkte kollision, idet dette scenarium primært skyldes menneskelige fejl og/eller ydre faktorer.



Figur 8-4: Årlig kollisionsfrekvens for direkte påsejling fordelt på sejlruiter med og uden fiskefartøjer.

Af Figur 8-4 fremgår det, at det største bidrag kommer fra rute 10, som er fiskere fra Frederikshavn, der sejler ud gennem møllerækken. De øvrige bidrag fra fisketrafikken kommer fra fiskeruterne 7 og 9, der ligesom rute 10 passerer igennem møllerækken.

Ses der bort fra fiskefartøjer (rute 6-10), domineres frekvensen for påsejling af bidraget fra rute 2 imellem Frederikshavn og nordlige destinationer. Denne rute anvendes primært af færgerne til Oslo.

8.4 Detaljeret resultater for alternativ placering

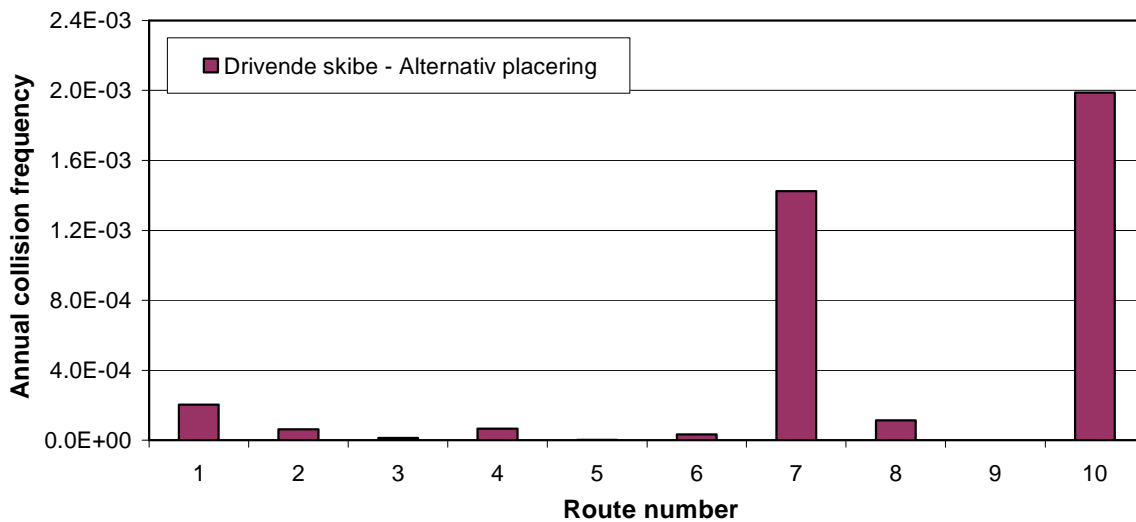
For ”base case” placeringen fremgår det, at omkring 97 % af alle risikoen hidrører fra fiskefartøjerne, mens bidraget fra den øvrige trafik er meget begrænset. Bidraget fra fisketrafikken vides dog at være overvurderet bl.a. fordi fiske aktiviteten og dermed trafikken er overvurderet.

En alternativ placering er derfor undersøgt, dels for at forsøge at nedbringe fiskefartøjernes risikobidrag og dels for at påvirke fiskernes trawlroute mindst muligt. Møllerne er altså placeret således, at der kan fiskes ned igennem møllerækken, uden at der skal foretages store kursændringer. I dette afsnit præsenteres og diskuteres resultaterne for denne løsning.

8.4.1 Drivende skib

Den årlige kollisionsfrekvens for skibe, der ikke passerer meget tæt på møllerne, er stort set uændret. Kun bidraget fra fiskefartøjerne er ændret lidt, så fordelingen af bidrag fra de forskellige skibstyper svare stort set til fordelingen givet i Figur 8-2. Fordelingen af bidrag til kollisionsfrekvensen fra sejlruiterne ændres kun lidt, idet bidragene fra rute 7 og 10 er reduceret lidt, se Figur 8-5. Bidraget fra rute 9, der udelukkende repræsenterer trawlende skibe, er igen sat til nul. Motivationen for dette er at fiskegrej (trawl, trawlskovle, garn mm.) vil fungere som drivanker, hvis skibet mister motorkraften.

TECHNICAL REPORT

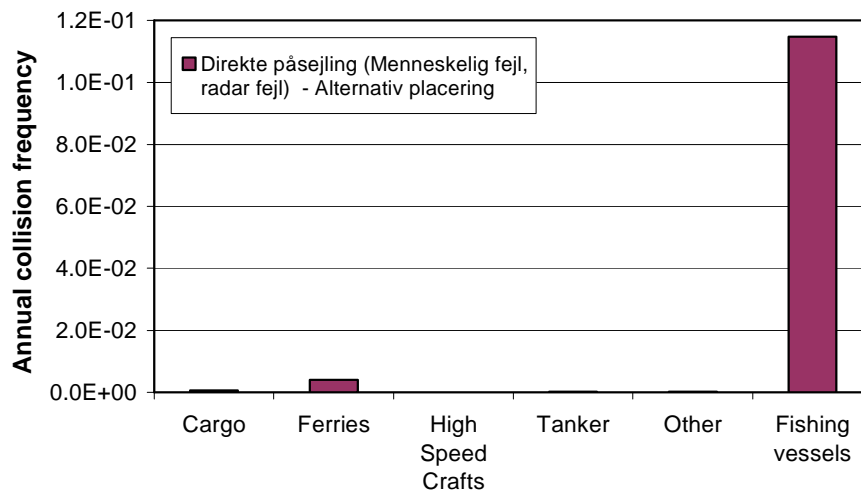


Figur 8-5: Årlig kollisionsfrekvens for drivende skib fordelt på skibstyper og sejlruiter for den alternative placering.

8.4.2 Direkte påsejling

Risikoen for direkte påsejling er ved den alternative placering reduceret med omkring 35 %.

Figur 8-6 viser kollisionsfrekvensens fordeling på skibstyper, og det ses at det dominerende bidrag fortsat kommer fra fiskefartøjer.

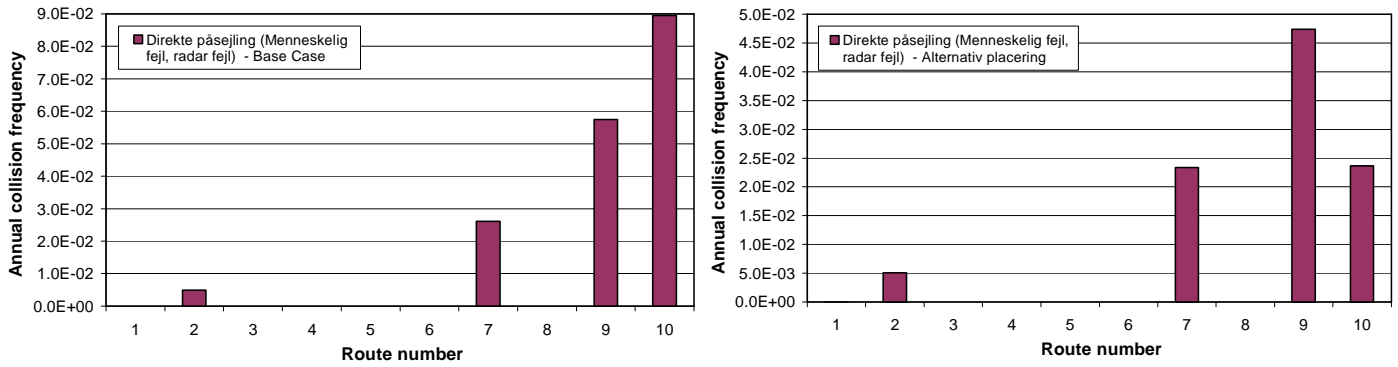


Figur 8-6: Årlig kollisionsfrekvens for direkte påsejling fordelt på skibstyper for alternative placering.

I Figur 8-7 er kollisionsfrekvensens fordeling på sejlruiter sammenholdt med "base case" placeringen. Af sammenligningen ses det, at den alternative placering har en reducerende virkning på især rute 9 og 10, mens virkningen på rute 7 er meget begrænset. Kollisionsfrekvensen er stadig stærkt domineret af fiskefartøjer, men det skal stadig bemærkes, at bidraget fra fiskefartøjerne vurderes til at være konservativt.



TECHNICAL REPORT



Figur 8-7: Årlig kollisionsfrekvens for direkte påsejling fordelt på sejlruiter. Base case (venstre) og Alternativ placering (højre).



TECHNICAL REPORT

9 SKIBSULYKKER I OMRÅDET

For at lave en overslagsmæssig verifikation af de evaluerede kollisionsfrekvenser er de her sammenlignet med ulykkesstatistikken for området omkring de 6 møller.

De registrerede søulykker er modtaget fra Bente Jensby fra Søfartsstyrelsen og er et udtræk fra deres ulykkesdatabase, som omfatter søulykker med danske skibe i både dansk og udenlandsk farvand (her svensk farvand), samt søulykker med udenlandske skibe i dansk farvand

Udtrækket dækker en 10-årig periode fra 1998 til 2007 for området Kattegat: 01040 Ø - 5600 N - Svinbådan/Nakkehoved - 5745 N. Dette område er meget stort og er derfor reduceret, således at der kun er medtaget ulykker som ligger i et område på ca. 25x50 km eller svarende til ca. 1250 km² omkring de 6 møller. Dette område dækker således ikke T-ruten, som indeholder en del mere trafik.

I dette reducerede område er der i den 10-årige periode kun registreret 2 ulykker og begge er med mindre fiskefartøjer. Disse er givet i Tabel 9-1.

NAVN	SKIBSTYPE	STØRRELSE [BRT]	FLAGSTAT	ULYKKES- DATO	HÆNDELSE I DETALJER
Gratia	Fiskefartøj	19,96	Danmark	1. aug. 2001	Kæntring Skibet forkert lastet (stabilitets svigt)
Finiki	Fiskefartøj	15,10	Danmark	12. sep. 2001	Brand - lastrum/tank Teknisk fejl ved hjælpemaskineri til skibets kraftforsyning

Tabel 9-1: Ulykker i området omkring de 6 mølle for perioden 1998 til 2007.

Ud fra ulykkesstatistikken ses det at det er rimeligt, at sandsynligheden for en kollision mellem mølle og fiskefartøj er størst, hvilket er i overensstemmelse med resultaterne fundet i kapitel 8.

Der er ikke registreret ulykker med færger eller andre større fartøjer i området, hvilket også er i overensstemmelse med de meget små ulykkesfrekvenser, der er beregnet for disse typer skibe.

Ovenstående sammenligning er dog kun indikativ. En egentlig sammenligning kan ikke laves, da møllerne ikke er installeret endnu og det herudover er svært at sammenholde tallene på grund af de forskellige områdestørrelser de dækker.



10 RISKOREDUCERENDE TILTAG

Selv om kollisionsrisikoen er fundet at være begrænset, bør forskellige risikoreducerende tiltag ud over den alternative placering vurderes.

I nærværende afsnit er forskellige tiltag, som kan indføres for at reducere risikoen yderligere, identificeret. Generelt bør sådanne tiltag vurderes efter et ALARP princip (As Low As Reasonable Practical), hvilket populært betyder, at hvis omkostningerne for tiltaget er begrænset eller at tiltaget giver en meget høj nytteeffekt, så bør tiltaget indføres. På grund af de forholdsvis lave kollisionsfrekvenser er der ikke lavet en egentlig kost-nytte evaluering, men tiltagene er vurderet ud fra en generel erfaring.

Mulige risikoreducerende foranstaltninger er givet nedenfor.

1. Tydelig markering af møllerækken på søkort og i navigationshåndbøger.
2. Lysmarkering af parken for skibs- og flytrafik.
3. Markering med AIS transponder på den sydlige og/eller nordlige mølle.
4. Markering med RACON på den sydlige og/eller nordlige mølle.
5. Installation af bøjle syd-øst for den sydligste mølle.
6. Afstand mellem havoverflade og vingspids.
7. Rækkefølge af installation af møllerne.
8. Installationsperiode.

Det skal bemærkes, at siden der er tale om forsøgsmøller, vil de formentlig blive installeret over en længere periode og vil have forskellige udformninger. Dette kunne medføre at fundamentene vil være forskellige og disse ikke nødvendigvis er optimeret til at modstå eller begrænse konsekvensen ved en skibskollision.

Det skal bemærkes, at ingen af ovennævnte risikoreducerende tiltag er taget i regning i nærværende analyse.

10.1 Evaluering af tiltag

Nedenfor er givet en kvalitativ vurdering af de identificerede tiltag.

Tiltag 1 og 2:

Lysmarkering og afmærkning i søkort, er krævet i henhold til internationale og nationale regler, og vil under alle omstændigheder blive indført.

Tiltag 3 og 4:

Installation af AIS transponder og/eller RACON. Da AIS og RACON er to forskellige systemer vil de være et fint supplement for hinanden. Da møllerne ikke vil blive installeret på en gang kan det medføre, at AIS og racon transponder skal flyttes flere gange, hvilket vil øge udgiften betragteligt. Da den sydligste mølle er den mølle, som er mest udsat for en eventuel alvorlig kollision vil det være denne mølle som skal markeres med AIS og racon, eventuelt sammen med den nordligste. Hvis udgifterne til demontering af udstyret fra en mølle og installation på en anden mølle er meget store, kan det være relevant at opstille den sydligste mølle først.

TECHNICAL REPORT

Ud fra en kost – nytte værdi kan det være svært at vise, at markering af møllerne med RACON eller AIS rentabel på grund af den lave kollisionsfrekvens. Endvidere vurderes det, at disse tiltag ikke vil have nogen reducerende effekt over for fiskefartøjerne, som kender området og vil sejle meget tæt på.

Hvis udgifterne til drift og installation af AIS og RACON er begrænset anbefales det dog at montere dette på den sydligste mølle.

Tiltag 5:

Installation af bøje syd-øst for den sydligste mølle. Ideen med bøjen er, at give skibene et way-point, der sikrer at der holdes en tilstrækkelig afstand til møllerækken. Problemet er dog, at hvis afstanden bliver for stor, vil skibene sejle indenom mellem mølle og bøje og da fiskefartøjernes ”sikre afstand” til møllerne er meget begrænset, så vil dette tiltag ikke have betydning for disse mindre fartøjer. Tiltaget vurderes derfor til at have meget begrænset effekt, og da udgiften til at opsætte og vedligeholde en bøje ikke er ubetydelige, anbefales dette tiltag ikke.

Tiltag 6:

Afstand mellem havoverflade og vingspids. Da der i sommermånederne er en del trafik af lystbåde til og fra Skagen, anbefales det at holde en minimums afstand mellem vinge spids og havoverflade på ca. 30 m. Dette vil reducere kollisionsrisikoen mellem mast og vinger betydeligt, da det er en meget lille del af lystfartøjerne som har en mastehøjde på over 30 m.

Tiltag 7:

Rækkefølge af installation af møllerne. For at reducere kollisionsrisikoen anbefales det at møllerne installeres i sammenhængende gruppe(r), således at de af skibstrafikken opfattes som en møllerække og ikke enkelt objekter som skal passeres.

Tiltag 8:

Installationsperiode. På grund af de store sæsonvariationer i færgetrafikken, samt fordi hurtig færgen genererer meget høje og anderledes dønninger, bør installation af møllerne ikke foregå i højsæsonen. Samtidig bør det altid koordineres med hurtigfærgens sejlplan således at man kender tidspunktet for passagen af de særlige dønninger og kan forberede sig på dem. Dette blev også identificeret og diskuteret under HAZID'en.



11 REFEFENCER

- /1/ ”Fiskerimæssige interesser i forundersøgelsesområde for opstilling af seks vindmøller øst for Frederikshavn”, Krog Consult, November 2007.
- /2/ ”Hazard Identifikation og Kvalitativ Risiko Evaluering af Sejladssikkerheden for 6 Vindmøller ved Frederikshavn”, DNV, Report N0. 646046-HAZ01, rev. B, Oktober 2007.

12 APPENDIX A: INTRODUCTION TO MARCS

12.1 Overview

The Marine Accident Risk Calculation System (MARCS) was developed by DNV to support our marine risk management consultancy business. The MARCS model provides a general framework for the performance of marine risk calculations. A block diagram of the model is shown in Figure 12-1.

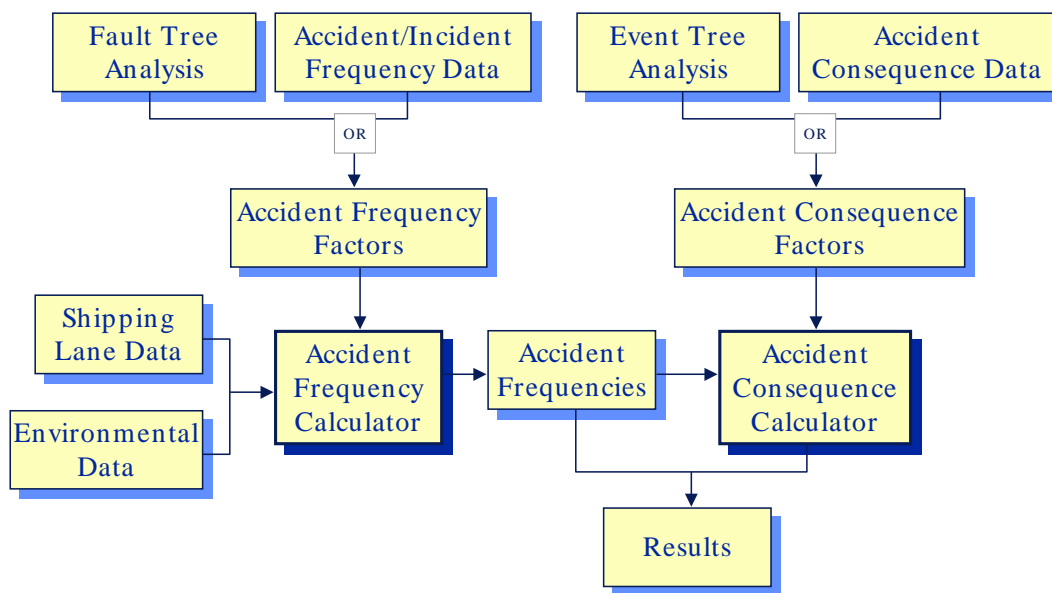


Figure 12-1: Block Diagram of MARCS

The MARCS model classifies data into 4 main types:

- Shipping lane data describes the movements of different marine traffic types within the study area;
- Environment data describes the conditions within the calculation area, including the location of geographical features (land, offshore structures etc) and meteorological data (visibility, wind rose, currents and sea state);
- Internal operational data describes operational procedures and equipment installed onboard ship – such data can affect both accident frequency and accident consequence factors;
- External operational data describes factors external to the ship that can affect ship safety, such as VTMS (Vessel Traffic Management Systems), TSS (Traffic Separation Schemes), and the location and performance of emergency tugs – such data can affect both accident frequency and accident consequence factors.

As indicated in Figure 12-1, accident frequency and consequence factors can be derived in two ways. If a coarse assessment of accident risk is required, the factors may be taken from worldwide historical accident data. Alternatively, if a more detailed study is required, these factors may be derived from generic fault trees or event trees which have been modified to take account of specific local factors.



12.2 Critical Situations

MARCS calculates the accident risk in stages. It first calculates the location dependent frequency of critical situations (the number of situations which could result in an accident –“potential accidents” – at a location per year; a location is defined as a small part of the study area, in this case about 1/8 nautical mile square, but depending on the chosen calculation resolution). The definition of a critical situation varies with the accident mode. MARCS then assesses the location dependent frequency of serious accidents for each accident mode via “probability of an accident given a critical situation” parameters. A “serious accident” is defined by Lloyds as any accident where repairs must be made before the ship can continue to trade. Finally, the location dependent accident consequence, and hence risk, is assessed.

12.3 Data used by MARCS

12.3.1 Traffic Image Data

The marine traffic image data used by MARCS is a representation of the actual flows of traffic within the calculation area. Marine traffic data is represented using lane data structures. Different traffic types are divided into separate marine databases in order to facilitate data verification and the computation of different types of risk (for example, crude oil spill risk versus human safety). A typical traffic lane is shown in Figure 12-2. The following data items are defined for all lanes:

1. The lane number (a unique identifier used as a label for the lane);
2. The lane width distribution function (Gaussian, truncated Gaussian or uniform);
3. The lane directionality (one-way or two-way);
4. The annual frequency of ship movements along the lane;
5. A list of waypoints, and an associated lane width parameter at each waypoint;
6. The vessel size distribution on the lane.

Additional data may be attached to the lane, such as: the hull type distribution (single hull, double hull, etc) for tankers; the loading type (full loading, hydrostatic loading) for tankers; ship type etc.

TECHNICAL REPORT

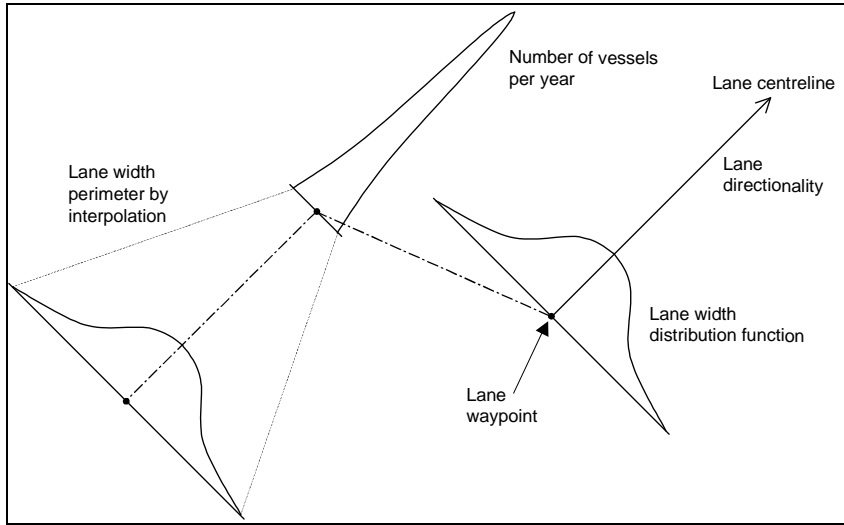


Figure 12-2: Shipping Lane representation used in MARCS

Detailed surveys of marine traffic in UK waters in the mid 1980s (e.g. HMSO, 1985) concluded that commercial shipping follows fairly well defined shipping lanes, as opposed to mainly random tracks of individual ships. Further detailed analysis of the lanes showed that the lateral distribution across the lane width was approximately Gaussian, or truncated Gaussian plus a small part uniform distributed for traffic arriving in coastal waters from long haul voyages (e.g. from the US or Canada). The transverse ship distribution is also investigated in Øresund where the analysis is based on registrations carried out by VTS Drogden.

The shipping lane distributions used in MARCS are shown in Figure 12-3.

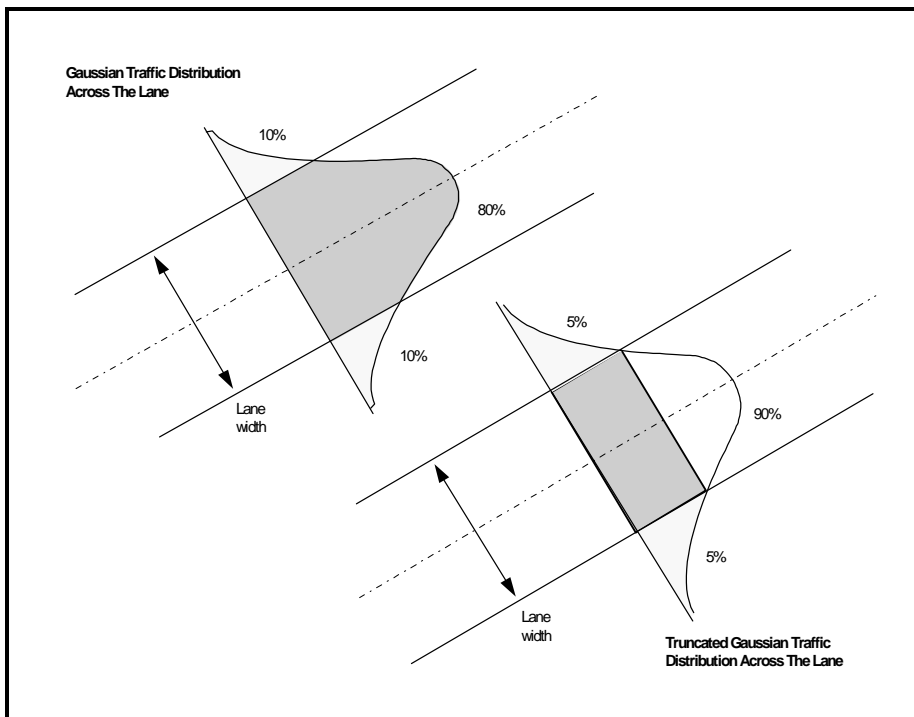


Figure 12-3: Shipping Lane Width Distribution Functions used in MARCS



TECHNICAL REPORT

The marine traffic description used by MARCS is completed by the definition of four additional parameters for each type of traffic:

- Average vessel speed (generally 8 to 18 knots);
- Speed fraction applied to faster and slower than average vessels (generally plus/minus 20%);
- Fraction of vessels travelling faster and slower than the average speed (generally plus/minus 20%);
- Fraction of vessels that exhibit "rogue" behaviour (generally set to 0%, though historical accident data in many geographical areas shows a small proportion of (usually) smaller vessels undergo accidents through lack of watch keeping (bridge personal absent or incapacitated)).

A rogue vessel is defined as one that fails to adhere (fully or partially) to the Collision Avoidance Rules (Cockcroft, 1982). Such vessels are assumed to represent an enhanced collision hazard. These four parameters can be specified as a function of location within the study area for each traffic type.

The marine traffic image is made up by the superposition of the defined traffic for each contributing traffic type.

12.3.2 Internal Operational Data

Internal operational data is represented within MARCS using either worldwide data or frequency factors obtained from fault tree analysis or location specific survey data. Fault tree parameters take into consideration factors such as crew watch-keeping competence and internal vigilance (where a second crew member, or a monitoring device, checks that the navigating officer is not incapacitated by, for example, a heart attack). Examples of internal operational data include:

- The probability of a collision given an encounter;
- The probability of a powered grounding given a ship's course is close to the shoreline;
- The frequency (per hour at risk) of fires or explosions.

Internal operational data may be defined for different traffic types and/or the same traffic type on a location specific basis.

12.3.3 External Operational Data

External operational data generally represents controls external to the traffic image, which affect marine risk. In MARCS it relates mainly to the location of VTS zones (which influence the collision and powered grounding frequencies by external vigilance, where external vigilance means that an observer external to the ship may alert the ship to prevent an accident) and the presence and performance of emergency towing vessels (tugs) which can save a ship from drift grounding.



12.3.4 Environment Data

The environment data describes the location of geographical features (land, offshore structures etc.) and meteorological data (visibility, wind rose, sea currents and sea state).

Poor visibility arises when fog, snow, rain or other phenomena restricts visibility to less than 2 nautical miles. It should be noted that night-time is categorised as good visibility unless fog, for example, is present.

Wind rose data is defined within 8 compass points (north, north-east, east etc) in 4 wind speed categories denoted: calm (0 – 20 knots); fresh (20 to 30 knots); gale (30 to 45 knots); and storm (greater than 45 knots). Sea state (wave height) within MARCS is inferred from the wind speed and the nature of the sea area (classified as sheltered, semi-sheltered or open water).

Sea currents are represented as maximum speeds in a defined direction within an area.

12.4 Description of Accident Frequency Models

The section describes how MARCS uses the input data (traffic image, internal operational data, external operational data and environment data) to calculate the frequency of serious accidents in the study area.

12.4.1 The ship – ship Collision Model

The collision model calculates the frequency of serious inter-ship powered collisions at a given geographical location in two stages. The model first estimates the frequency of encounters (critical situations for collision - when two vessels pass within 0.5 nautical miles of each other) from the traffic image data using a pair-wise summation technique, assuming no collision avoiding actions are taken. This enables the calculation of either total encounter frequencies, or encounter frequencies involving specific vessel types.

The model then applies a probability of a collision for each encounter, obtained from fault tree analysis, to give the collision frequency. The collision probability value depends on a number of factors including, for example, the visibility or the presence of a pilot. Figure 12-4 shows a graphical representation of the way in which the collision model operates.

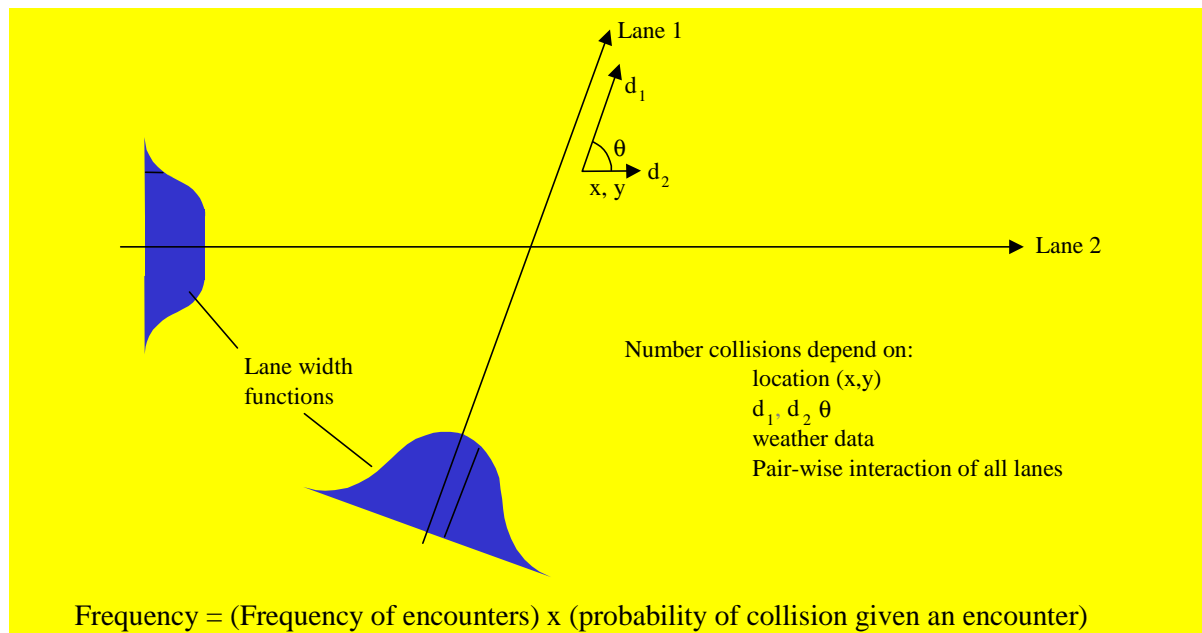


Figure 12-4: Graphical representation of the collision model

In Figure 12-4, d_1 refers to the density of traffic associated with lane 1 at the location x, y . The frequency of encounters at location x, y through the interaction of lanes 1 and 2 is proportional to the product of d_1, d_2 and the relative velocity between the lane densities.

12.4.2 The Powered Grounding Model

The powered grounding frequency model calculates the frequency of serious powered grounding accidents in two stages. The model first calculates the frequency of critical situations (sometimes called “dangerous courses” for powered grounding accidents). A critical situation is defined as a planned course change point (waypoint) located such that failure to make the course change would result in grounding within 20 minutes navigation from the planned course change point if the course change is not made successfully.

The frequency of serious powered groundings is calculated as the frequency of critical course changes multiplied by the probability of failure to make the course change correctly. Figure 12-5 shows a graphical representation of the way in which the powered grounding model operates.

TECHNICAL REPORT

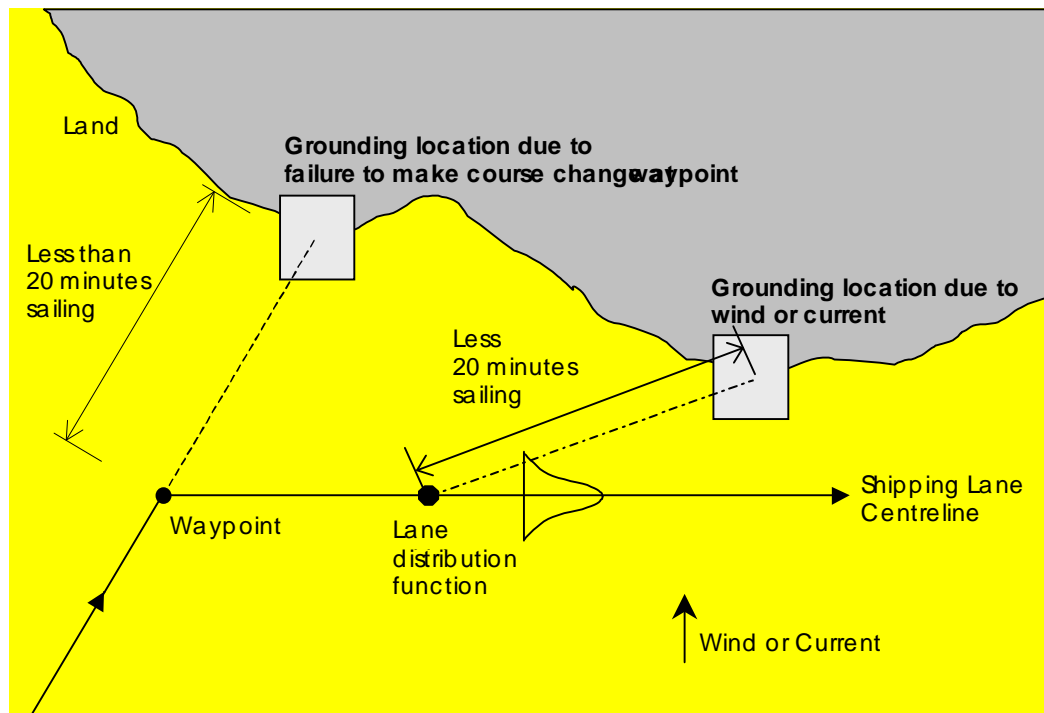


Figure 12-5: Graphical representation of the powered grounding model

The powered grounding parameters are derived from the fault tree analysis of powered grounding. The powered grounding fault tree contains 2 main branches:

- Powered grounding through failure to make a course change whilst on a dangerous course. A dangerous course is defined as one that would ground the vessel within 20 minutes if the course change were not made.
- Powered grounding caused by crew inattention and wind or current from the side when the ship lane runs parallel to a shore within 20 minutes sailing (the frequency of this hazard mode is not assessed in this project).

Both these branches are illustrated in Figure 12-5. The powered grounding frequency model takes account of internal and external vigilance, visibility and the presence of navigational aids (radar) in deducing failure parameters.

12.4.3 The Drift Grounding Model

The drift grounding frequency model consists of two main elements as follows: first, the shipping activities image is combined with the ship breakdown frequency factor to generate the location and frequency of vessel breakdowns; second, the recovery of control of drifting ships can be regained by one of 3 mechanisms: a) repair, b) emergency tow assistance, or c) anchoring. Those drifting ships that are not saved by one of these three mechanisms (and do not drift out into the open sea) contribute to the serious drift grounding accident frequency results.

The number and size distribution of ships which start to drift is determined from the ship breakdown frequency, the annual number of transits along the lane and the size distribution of

TECHNICAL REPORT

vessels using the lane. The proportion of drifting vessels which are saved (fail to ground) is determined from the vessel recovery models. The drift grounding frequency model is illustrated in Figure 12-6.

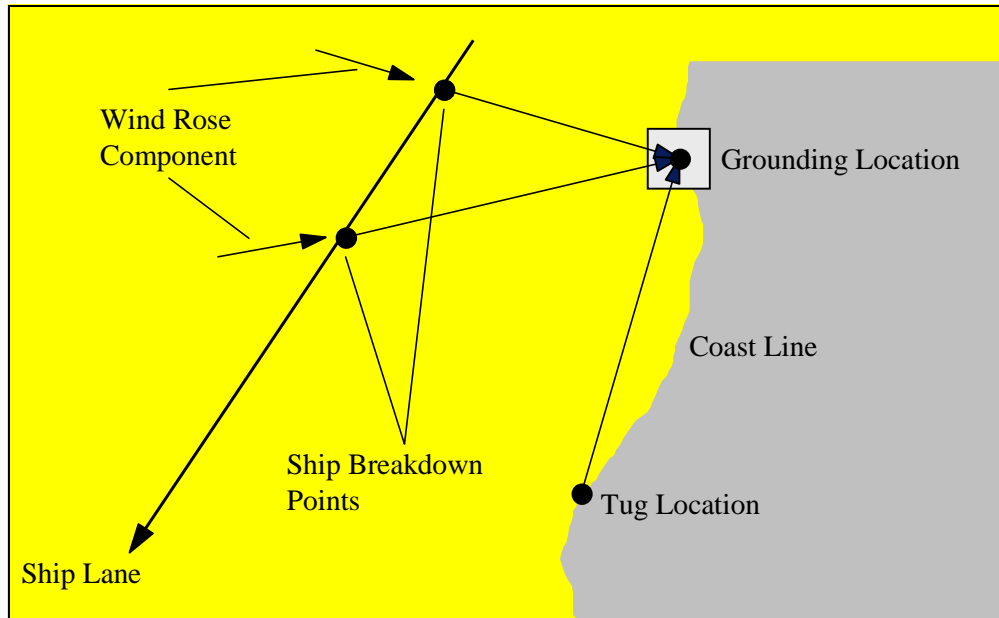


Figure 12-6: Graphical representation of the drift grounding model

Implicit in Figure 12-6 is the importance of the time taken for the ship to drift aground. When this time is large (because the distance to the shore is large and/or because the drift velocity is small) then the probability that the ship will recover control before grounding (via repair or tug assistance) will be increased.

12.5 Repair Recovery Model

Vessels which start to drift may recover control by effecting repairs. For a given vessel breakdown location, grounding location and drift speed there is a characteristic drift time to the grounding point. The proportion of drifting vessels which have recovered control by self-repair is determined from this characteristic drift time and the distribution of repair times.

The graph given in Figure 12-7 is the values agreed in the risk harmonisation group under BSH.

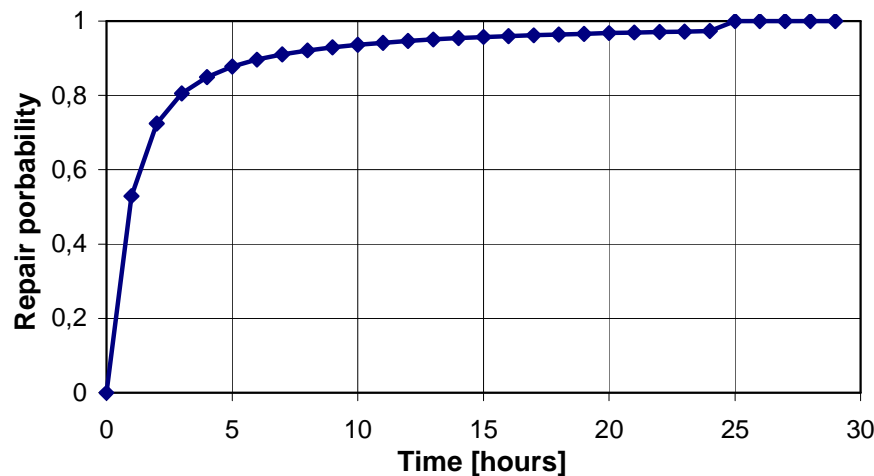


Figure 12-7: Graphical representation of the self repair save mechanism

12.6 Recovery of Control by Emergency Tow

Drifting vessels may be brought under control (saved from grounding or collision) by being taken in tow by an appropriate tug. It should be noted that the tug save model assumes a save is made when the ship is prevented from drifting further towards the shoreline by the attachment of a suitable tug. In practice, two or more tugs would be required to complete the ship save, by towing the vessel to a safe location, but this aspect of the save is not modelled in MARCS.

Two types of tug can be represented within MARCS. Close escort tugs move with ships through their transit, thus their time to reach a drifting ship is always small. Pre-positioned tugs are located at strategic points around the study area. The model works by calculating for each tug:

- If the tug can reach the drifting vessel in time to prevent it grounding. This time consists of the time to reach the ship (almost zero when close escorting) and the time to connect and take control of the ship (which is a function of sea state);
- If the tug can reach the ship before it grounds, then the adequacy of the tug with regard to control of the ship is evaluated. (The presence of several tugs of differing power is assumed to be represented by the presence of one tug of the largest power. This is because only one tug is usually used to exert the main “saving” pull. Other tugs present are used to control the heading of the disabled ship, and to bring the ship to a safe location.)
- When several tugs of various capabilities can reach the drifting ship in time, then the tug with the best performance is assumed to be connected to the ship and takes control of the largest proportion of the drifting vessels.

The tug model contains parameters to take explicit account of:

- The availability of the tug (some tugs have other duties);
- The tugs response time (delay before assistance is summoned);

TECHNICAL REPORT

- The tug speed (as a function of sea state);
- The time to connect a line and exert a controlling influence on the ship (as a function of sea state);
- The performance of the tug (identified as the maximum control tonnage for the tug) as a function of wind speed and location (since the wind speed and the fetch control the sea state).

Tug performance parameters can take account of ship wind and wave resistance, tug wind and wave resistance and tug length and propulsion arrangement (open versus nozzle) which influences the propulsion efficiency.

12.7 Recovery of Control by Anchoring

The anchor save model is derived with reference to the following reasoning:

1. Anchoring is only possible if there is a sufficient length of suitable water to prevent the ship running aground. Suitable water is defined as a depth of between 30 fathoms (about 60m - maximum for deployment of anchor) and 10 fathoms (about 20m - minimum for ship to avoid grounding). Sufficient length is calculated as 100m for anchor to take firm hold of the seabed + 300m to stop ship + 300m for length of ship + 100m for clearance = 800m, or 0.5 nautical miles (to be slightly conservative).
2. If such a track exists, then the probability that the anchor holds is calculated as a function of the wind speed and the sea bottom type (soft sea beds consist predominantly of sands, silts and muds). If the anchor hold, then an anchor save is made.

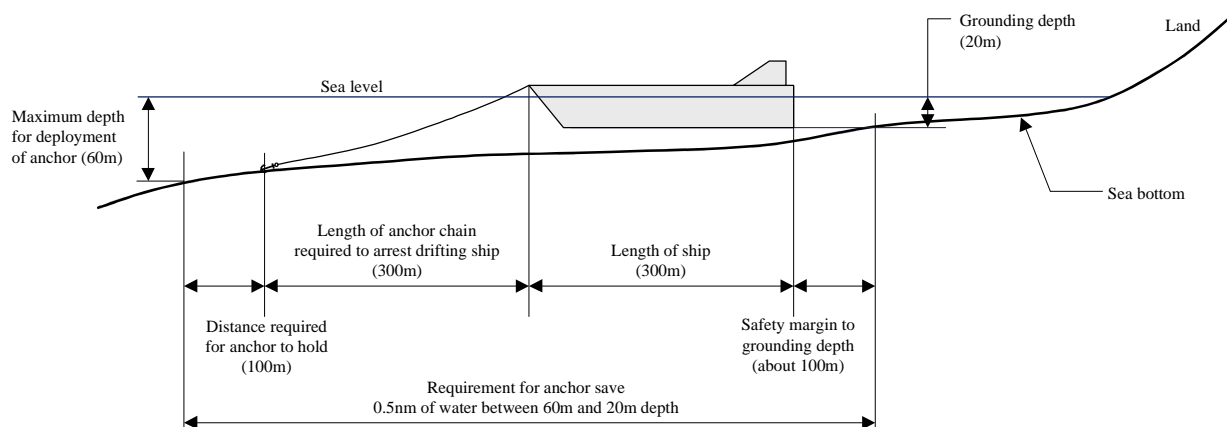


Figure 12-8: Graphical representation of the Anchor save mechanism

The anchor save model is conservative in that it under-predicts the effectiveness of this save mechanism for average and smaller ships.

12.8 Description of Accident Consequence Models

Marine transport risks are estimated by combining the frequencies of serious accidents with the accident consequences, given a serious accident. Marine accident consequences are typically expressed in terms of cargo spilled, lives lost or financial loss.

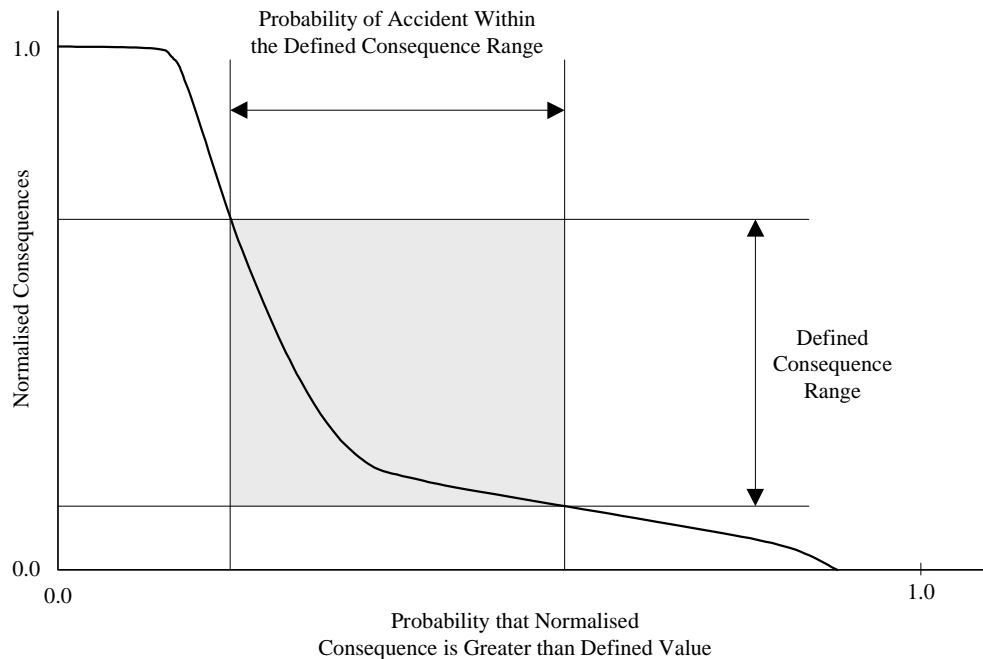


Figure 12-9: Generic Accident Consequence versus Probability Curve

Previous projects performed by DNV have developed crude oil outflow models for different accident types (collision, fire/explosion etc) and different hull configurations (single hull, double hull etc). These models (normalised cumulative probability distributions) take the generic form shown in Figure 12-9. The curve shows the normalised consequence (in terms of, for example, cargo mass outflow into the environment) versus the probability that the consequence is greater than this value. Thus the normalised consequence of 1.0 (equal to total loss of all cargo carried) occurs for relatively low probabilities, whereas the probability that the normalised consequence is greater than a small fraction of the cargo carried generally approaches 1.0 for single hulled ships.

12.9 Marine Accident Risk Acceptance Criteria, Targets and Benchmarks

In general, responsible operators define their objective as zero accidents. However a risk assessment that estimates zero risk from an operation is not credible. The objective of risk management is, therefore, to ensure that estimated risk levels for an operation are acceptable (by comparison to risk acceptance criteria or through cost-benefit analysis). Where risks are not acceptable, additional risk reduction measures are introduced to reduce the risks to acceptable levels.



 TECHNICAL REPORT

Marine accidents result in losses/impacts in 3 main areas:

- Human fatalities;
- Environmental impacts due to cargo or fuel oil release;
- Financial impacts.

It would be convenient if established criteria existed to judge the acceptability of the risks posed by a specific operation or trade. However, at the present time there are no established, generally accepted criteria which can be used to judge if calculated marine risk levels are acceptable. This statement is especially true for accidents involving the release of cargo into the marine environment.

In order to address this lack of criteria, risk analysts within DNV have proposed risk acceptance criteria for application in the marine industry. It is important to emphasise that, at this stage, the criteria quoted below are neither official DNV criteria nor are they recognised by regulatory bodies. Individual human fatality criteria are given in Table 14.1.

Risk Acceptance Criteria	Value
Maximum tolerable risk for crew members	1 fatality per thousand at risk per year
Maximum tolerable risk for ship passengers	1 fatality per ten thousand at risk per year
Maximum tolerable risk for public ashore	1 fatality per ten thousand at risk per year

Table 12-1: Proposed Individual Human Fatality Risk Acceptance Criteria for the Shipping Industry (Spouge, 1997)

The criteria shown in Table 12-1 are closely related to the HSE individual risk criteria (HSE 99, ref. /8/), which in turn are based upon observed fatality rates in a number of industries in the UK.

Table 12-2 shows total loss and oil spill targets proposed by DNV for the shipping industry. It should be noted that DNV do not consider it is essential to meet these targets, but if they are not met it may indicate that cost-effective risk reduction measures may be available.

Risk Targets	Value
Target total ship loss frequency	2 losses per thousand ship-years
Target cargo spill risk	20 tonnes per million tonnes transported
Target bunker oil spill risk	20 tonnes per million tonnes consumed

Table 12-2: Proposed Total Loss, Cargo Spill and Bunker Spill Targets for the Shipping Industry

The targets shown in Table 12-2 are based on an analysis of the worldwide shipping fleet and accident data between 1981 and 1997. They may be seen as desirable “stretch targets” based on observed accident statistics, which show an average of 70 tonnes of cargo split per million tonnes transported. There are significant uncertainties in both the cargo/bunker pollution statistics and total cargo transportation tonnage. The pollution targets shown in Table 12-2 should, therefore, be regarded as preliminary at this stage.

The risk targets shown in Table 12-2 are derived from marine accident data, which is sometimes under-reported. Marine risk assessment uses conservative accident models, which tend to over-

TECHNICAL REPORT

predict risk levels. Thus comparison of the risk targets shown in Table 12-2 with risk assessment results can give mis-leading results. For this reason, DNV often compare calculated risk levels with “risk benchmarks” (risks calculated in other areas). This comparison of “like with like” is thought to provide a better interpretation of risk results.

12.10 Risk Analysis, Assessment and Management

The process of estimating the frequency of accidents and the range of potential accident consequences (using MARCS, other quantitative methods or qualitatively) is called risk analysis. When combined with the evaluation of the significance of risk results the process is called risk assessment. In general, risk assessment entails finding robust answers to questions such as:

- Are the risks acceptable?
- What can be done to reduce the risks further?
- Are risk reduction measures cost effective?

Clearly the answers to these questions are related. For example, higher risks may be acceptable if there are no more cost-effective risk reduction measures to be applied.

The acceptability of risks can be determined by reference to risk acceptance criteria (such as those proposed in Section II.6 above), other risk targets or benchmarks, expert judgement or the ALARP (As Low As Reasonably Practicable) principle. Risk acceptance criteria are defined in some areas of risk assessment by regulators (mainly human fatality risk). Such criteria are often derived by expert judgement assessment of suitable benchmarks. For example, the UK Health and Safety Executive have set a maximum tolerable individual human fatality risk criteria for workers of less than 10^{-3} fatalities per year. This criterion is similar to fatality frequencies observed in the more dangerous UK industries, such as construction and mining.

When regulators have not set specific risk acceptance criteria, as is generally the case for risks to the environment, the acceptability of risks can be argued on the basis that other operations (benchmarks) with comparable or higher risks are accepted by regulators on behalf of society. Alternatively, or in addition, a thorough assessment of alternative risk reduction measures on risk levels could be used to argue a risk level is ALARP and hence acceptable. Such an analysis may be supported by a formal (quantitative) cost benefit analysis, which may show that implementing further risk reduction measures is disproportionately expensive compared with the risk reduction achieved.

Risk management is the process of using risk analysis, risk assessment and other inputs to maintain risk levels within bounds which are acceptable to the operator and their stakeholders.

- o0o -