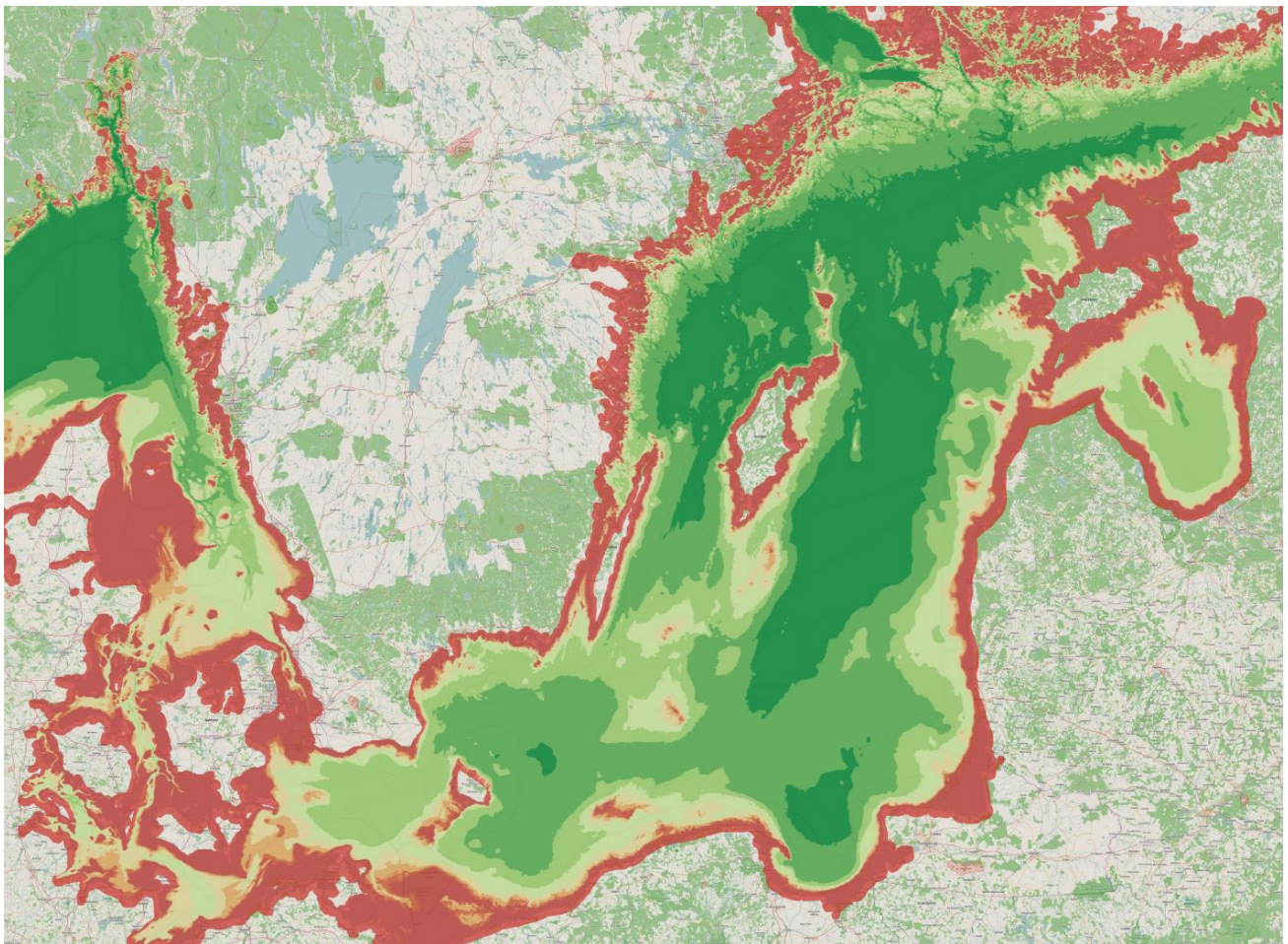


Omdirigeringsanalys av sjöfart kring Hoburgs bank och Midsjöbankarna

Underlag inom svensk havsplanering



© OpenStreetMap contribution SSPA Sweden

Havs- och vattenmyndigheten
Datum: 2017-04-10

ISBN 978-91-87967-59-7

Havs- och vattenmyndigheten
Box 11930, 404 39 Göteborg
www.havochvatten.se

SSPA Sweden AB, rapport Nr: RE20168000-01-00-B, 2017-03-17
Författare: Björn Forsman

Omdirigeringsanalys av sjöfart kring Hoburgs bank och Midsjöbankarna

Björn Forsman, SSPA Sweden AB

Havs- och vattenmyndighetens rapport 2017:11

Förord

Havs- och vattenmyndigheten har beställt rapporten *Omdirigeringsanalys av sjöfart kring Hoburgs bank och Midsjöbankarna* som ett underlag i arbetet med svensk havsplanering. De svenska havsplanerna ska redovisa den lämpligaste användningen av havet ur ett samhällsekonomiskt perspektiv och med hänsyn till miljön.

Den tidigare utredningen *Sjöfart och naturvärden vid utsjöbankar i centrala Östersjön* (HaV rapport 2016:24) har föreslagit att delar av fartygsrutterna genom centrala Östersjön förändras för att minska skadorna från sjöfart på hotade bestånd av sjöfågel och tumlare. När en sådan omdirigering övervägs inom den svenska havsplaneringen måste det vara klarlagt vilka ekonomiska och utsläppsmässiga konsekvenser åtgärden skulle medföra.

Analysen omfattar en detaljerad analys av dagens sjötrafik med beräkningar av förbrukning och emissioner samt jämförelser med scenarion där sjötrafiken omdirigerats för att minska miljöbelastningen på bankarna. Vattendjupet i de rutten som sjötrafiken nyttjar påverkar i hög grad framdrivningsmotståndet och därmed även bränsleförbrukning och emissioner. Detta innebär att omdirigering till längre leder inte nödvändigtvis leder till proportionell ökning av bränsleförbrukningen och för vissa fartyg kan omdirigering till djupare leder innebära bränslebesparingar även om distansen ökar. Konsekvensanalyserna i studien inkluderar därför beräkningsmodeller för inverkan av vattendjupet som baserats på omfattande modellförsöksstudier.

Omdirigeringsanalys av sjöfart kring Hoburgs bank och Midsjöbankarna har tagits fram av Björn Forsman vid SSPA Sweden AB. Författaren ansvarar för rapportens innehåll.

Göteborg, 10 april 2017

Björn Sjöberg

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING.....	9
1	INLEDNING 11
1.1	Bakgrund och syfte.....11
1.2	Syfte.....11
1.3	Genomförande och metodik..... 12
1.4	Avgränsningar 12
2	TRAFIKANALYS OCH ALTERNATIVA OMDIRIGERINGSALTERNATIV 13
2.1	Aktuellt sjötrafikområde 13
2.1.1	Sjötrafikregler..... 14
2.1.2	Marina miljöskyddsregler 14
2.1.3	Känsliga och särskilt sårbara områden 15
2.2	Nulägesbild av sjötrafik i området 18
2.2.1	Sjötrafikmönster..... 18
2.2.2	Passagestatistik 2015..... 21
2.3	Omdirigering24
2.3.1	Alternativ 1 – Djupvattenleden söder om Hoburgs bank.....25
2.3.2	Alternativ 2 – Leden väster om Gotland26
2.3.3	Effektivitets- och miljöoptimering av alternativ 27
3	KONSEKVENSBERÄKNINGAR – FÖRBRUKNING OCH EMISSIONER..... 29
3.1	Framdrivningsmotstånd och inverkan av begränsat vattendjup29
3.2	Bränsleförbrukning och emissionsuppskattning 31
3.2.1	Resultatredovisning och nyckeltal 31
3.3	Jämförande energi- och bränsleförbrukningsberäkningar33
3.3.1	Nulägesbild – Förbrukningsberäkning33
3.3.2	Omdirigeringsalternativ 1 – Förbrukningsberäkning för djupvattenleden.....33
3.3.3	Omdirigeringsalternativ 2 – Förbrukningsberäkning för leden väster om Gotland.....33
3.3.4	Jämförande förbrukningsberäkningar – Omdirigeringsalternativen 34
3.4	Optimering av omdirigering mellan alternativ 1 och 2 37
3.5	Jämförande beräkning av emissioner och externa kostnader..... 37
3.5.1	Växthusgaser38
3.5.2	Luftföroreningar.....38
3.5.3	Externa kostnader38
3.5.4	Jämförande emissionsberäkningar – omdirigeringsalternativen.....38

3.6	Utökad konsekvensberäkning – kollision- och grundstötningsrisker 39	
3.6.1	Nulägesbild - kollision- och grundstötningsrisker	40
3.6.2	Omdirigeringsalternativ 1, djupvattenleden – kollision- och grundstötningsrisk	41
3.6.3	Omdirigeringsalternativ 2, leden väster om Gotland – kollision- och grundstötningsrisk	42
3.6.4	Jämförande analys av kollision- och grundstötningsrisker.....	42
3.7	Utökad konsekvensberäkning – miljövinster relaterade till passageavstånd.....	43
3.7.1	Förhärskande vindförhållanden.....	44
3.7.2	Relativ sannolikhet att operationella utsläpp når Hoburgs bank	44
4	SLUTSATSER.....	47
5	REFERENSER.....	49
	BILAGA 1.....	51
	BILAGA 2.....	58

Sammanfattning

SSPA har anlåtats för att ta fram underlag för Havs- och vattenmyndighetens havsplaneringsuppdrag, genom att utreda konsekvenser av möjliga omdirigeringsalternativ för fartygstrafiken kring de känsliga Midsjöbankarna och Hoburgs bank. Rapporten syftar till att ge myndigheten ett välgrundat underlag för att utforma och motivera eventuella förslag till omdirigering av fartygstrafik.

En detaljerad analys av dagens sjötrafik, baserad på AIS-data från hela 2015, har genomförts och jämförts med scenarion där motsvarande sjötrafik omdirigerats till alternativa leder för att minska miljöbelastningen på bankarna.

Konsekvensberäkningarna för de två huvudalternativen; djupvattenleden söder om Hoburgs bank respektive leden väster om Gotland, analyseras var för sig genom att all omdirigerad trafik förutsätts passera endera leden.

Inverkan av grunt vatten kan ge betydande motståndsökning och det är därför viktigt att skillnaderna mellan lederna beaktas så att grundvatteneffekternas inverkan på beräknade förbruknings- och emissionsvärden ger en rättvisande bild. SSPA har genom omfattande systematiska modellförsök tagit fram och nyttjat detaljerade empiriska beräkningsmodeller för grundvatteneffekterna.

Av de analyserade och jämförda omdirigeringsalternativen ger det väster om Gotland en lägre total bränsleförbrukning än djupvattenleden söder om Hoburgs bank. Båda omdirigeringsalternativen är längre än dagens rutt norr om Hoburgs bank, men förlängningen är något mindre för alternativet väster om Gotland än djupvattenleden.

De beräknade förbrukningsökningarna för omdirigeringsalternativen är lägre än de procentuella förlängningarna. Detta beror att grundvatteneffekten är mindre för de djupare omdirigeringsalternativen än för den i dag trafikerade ruten norr om Hoburgs bank.

Beräknade bränsle- och energiförbrukningsuppgifter har även kombinerats med emissionsdata för att uppskatta de respektive omdirigeringsalternativens konsekvenser avseende emissioner av växthusgaser och förorenande ämnen. Samhörande kostnadsökningar och indirekta kostnader presenteras också.

Omdirigeringsalternativet väster om Gotland är marginellt gynnsammare än djupvattenruten ur förbrukningssynpunkt, men konsekvensberäkningar avseende kollision- och grundstötningsrisker indikerar att djupvattenleden är fördelaktigare vad avser olycksrisker och eventuella stora oljeutsläpp.

Små operationella oljeutsläpp med begränsad varaktighet, anges ofta vara orsaken till omfattande fågeldöd vid bankarna. Redovisat beräkningsexempel

visar att omdirigeringsåtgärder som ökar avståndet mellan sjötrafiklederna och bankarna kan ha goda förutsättningar att förbättra situationen.

1 Inledning

1.1 Bakgrund och syfte

I Havs- och vattenmyndighetens havsplaneringsuppdrag ingår att föreslå hur olika samhällsintressen såsom skydd av känsliga havsmiljöer och sjöfartens effektivitetskrav kan tillgodoses med minsta möjliga konflikter. De stora utsjöbankarna Norra och Södra Midsjöbankarna och Hoburgs bank har stora miljövärden men exponeras också för miljöbelastningar från de stora fartygstrafikstråk som idag passerar genom eller nära de känsliga områdena. Som underlag för havsplaneringsuppdraget undersöker Havs- och vattenmyndigheten därför hur miljöskyddet skulle kunna stärkas genom omdirigering av sjötrafiken till alternativa leder som ger lägre belastning och vilka konsekvenser det skulle innebära för miljö- och sjöfartsintressen.

SSPA har fått i uppdrag att ta fram utredningsunderlag genom att kombinera detaljerad analys av dagens sjötrafik med beräkningar av förbrukning och emissioner och jämfört med scenarion där motsvarande sjötrafik omdirigerats för att minska miljöbelastningen på bankarna. Konsekvensberäkningarna omfattar bl. a. inverkan av vattendjupet på fartygens framdriftsmotstånd och bränsleförbrukning.

SSPA har tillgång till detaljerad trafikstatistik från AIS (Automatiskt indentifikationssystem) samt andra fartygsdatabaser och har utvecklat effektiva analysmetoder för ”big data”. Krav på AIS-utrustning för alla fartyg över en viss storlek regleras i den internationella konventionen SOLAS¹. SSPA har utvecklat system för att jämföra bränsleförbrukning och risknyckeltal mellan dagens sjötrafikbild och alternativa miljö- och effektivitetsoptimerade fartygsrutter och trafikmönster. Genom systematiska modellförsök och fullskalemätningar har SSPA också förfinat metoderna för noggrann prediktering av inverkan från begränsat vattendjup på fartygsmotstånd och bränsleförbrukning.

1.2 Syfte

Syftet med denna analys är att ge Havs- och vattenmyndigheten ett objektiva och välunderbyggt underlag för att motivera och förankra eventuella förslag till omdirigering av fartygstrafik, som kan komma att presenteras i de havsplaneringsdokument som nu utarbetas. Området kring de aktuella utsjöbankarna är ett väl känt exempel på känslig miljö med hotade arter och där negativ påverkan från sjöfarten dokumenterats. Därför är det särskilt intressant att pröva och belysa vilka nyckeltal som kan beräknas och användas

¹ SOLAS, IMO Convention for the Safety of Life at Sea

för avvägning mellan miljönytta och eventuella negativa konsekvenser för sjöfarten.

1.3 Genomförande och metodik

De alternativa omdirigeringsscenarion som analyserats har definieras utifrån förslag som skisserats i tidigare utredningsunderlag (Larsson, 2016).

Etablerade källor för fartygsdata, specifika emissionsfaktorer har använts och tillämpade analysmetoder redovisas på ett transparent sätt. Indata, beräkningar och analysresultat har granskats och kvalitetssäkrats i enlighet med SSPAs kvalitetsrutiner. Metodiken tillämpas och vidareutvecklas även inom olika forskningsuppdrag för mer komplexa konsekvensberäkningar och analyser av andra havsområden och trafikstyrningsåtgärder.

Resultat redovisas i denna rapport på svenska men en engelsk översättning kommer också att tas fram. Rapporten har först levererats i utkastversion för granskning. Efter kommentarer från uppdragsgivaren har en överarbetning gjorts och denna slutliga rapportversion levererats.

1.4 Avgränsningar

Geografiskt avgränsas studien primärt till området kring Norra och Södra Midjöbankarna och Hoburgs bank. De jämförande sjötrafikanalyserna omfattar dock ett större område, där det exempelvis även beaktas att trafik som omdirigeras från östra till västra sidan av Gotland förutsätts att välja en rutt som inte passerar mellan Gotland och Gotska Sandön.

Statistiskt underlag för beskrivning av nuvarande sjötrafik avgränsas tidsmässigt till data registrerad under 2015. Framskrivning av förväntade framtida sjötrafikflöden kan uppskattas men onoggrannheten för prognoser bedöms vara relativt stor för ett 15 till 20-årsperspektiv och är därför inte inkluderade i redovisad analys.

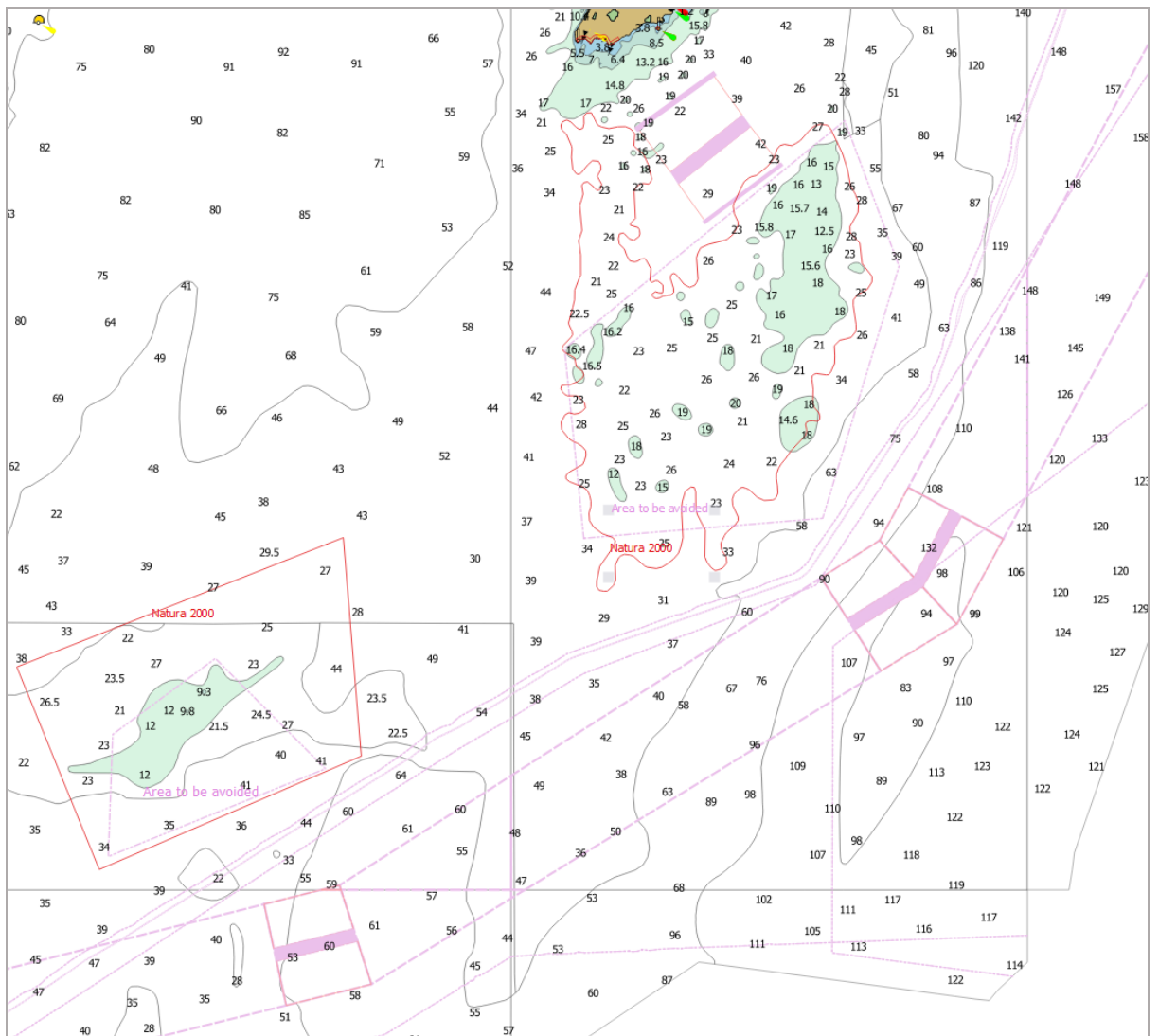
Konsekvensberäkningar presenteras i kvantitativa termer, men absoluta talvärden för exempelvis förbrukning och emissioner är behäftade med viss onoggrannhet. Analyser och jämförelser av olika omdirigeringsalternativ bör därför i första hand bedömas utifrån ett komparativt perspektiv.

De prövade och jämförda omdirigeringsförslagen beskrivs med avseende på lokalisering och trafikflöden men omfattar inte detaljerade beskrivningar av hur de skall inrättas eller hur efterlevnaden skall övervakas. För att exempelvis genomföra trafikstyrning genom inrättande av nya trafiksepareringar (TSS, Traffic Separation Scheme) och områden som bör undvikas (AtbA, Areas to be Avoided), förutsätts internationellt samarbete på myndighetsnivå och en konsensus-attityd ifrån sjöfartsnäringsintressen.

2 Trafikanalys och alternativa omdirigeringsalternativ

2.1 Aktuellt sjötrafikområde

Det aktuella sjötrafikområdet söder om Gotland och öster om Öland framgår av sjökortsutdragen i Figur 1 nedan och av översiktsskilderna i Figur 2.



Figur 1. Detalj, Sjökortsutdrag Hoburgs bank och Norra Midsjöbanken med de respektive Natura 2000 områdena markerade med röd linje. AtbA och TSS (samt kabel och pipeline) markerade med violett.

2.1.1 Sjötrafikregler

De genom IMO införda internationella sjövägsreglerna COLREG², innebär i grova termer att högertrafik gäller och att fartyg vid möte på korsande kurser är väjningspliktigt för fartyg som kommer från styrbord (visar röd lanterna) samt att upphinnande fartyg också har väjningsplikt.

Förutom de allmänna regler som ges av COLREG, regleras dagens sjötrafik kring bankarna av ett antal platsspecifika, internationellt överenskomna ruttsystem (ships' routeing systems). Dessa omfattar bl.a. trafiksepareringssystem (TSS), rekommenderade leder, djupvattenleder (DW route) och förbudsområden (Areas to be Avoided, AtbA). De flesta ruttsystem är rekommendationer men trafiksepareringssystem (TSS) kan, genom IMO-beslut göras obligatoriska (Se SOLAS Kapitel V regel 1 till 10). Följande ruttsystem gäller i det område som omfattas av denna studie och är av betydelse för omdirigeringsalternativen. Dessa är formulerade som rekommendationer som bör följas:

- TSS North Hoburgsbank (IMO Resolution A.977(24)2005)
- TSS South Hoburgsbank (IMO Colreg.2/Cirk.61, MSC 87 2010)
- TSS Midsjöbankarna (IMO Colreg.2/Cirk.61, MSC 87 2010)
- TSS Off Öland Island (IMO Colreg.2/Cirk.37, MSC 59 1991)
- DW 25m Deep-water route off Gotland Island (IMO Resolution A.977(24)2005)
- AtbA Hoburgsbank (IMO Resolution A.977(24)2005)
- AtbA Norra Midsjöbanken (IMO Resolution A.977(24)2005)

Sjövägsreglerna enligt COLREG finns på svenska samlade i Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om sjövägsregler (TSFS_2009:44). Regler kring ruttsystem finns i (TSFS_2010:157), och med IMO-referenser i (TS, 2013) och (Helcom, 2016).

2.1.2 Marina miljöskyddsregler

De två AtbA vid Hoburgs bank och Norra Midsjöbanken är införda med stöd av den klassificering som särskilt känsligt havsområde (Particularly Sensitive Sea Area, PSSA), som IMO beslutat skall gälla för Östersjön. Genom beslut på regional nivå, inom HELCOM³ och OSPAR⁴ har även andra typer av marina skyddsområden (Marine Protected Areas, MPA) inrättats. Med stöd av EUs Fågeldirektiv samt Art- och habitatdirektiv har två Natura 2000 områden

² COLREG, IMO Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972.

³ HELCOM, Baltic Marine Environment Protection Commission.

⁴ OSPAR, 1992 the Oslo Convention against dumping and was broadened to cover land-based sources and the offshore industry by the Paris Convention of 1974.

också utpekats kring Hoburgs bank respektive Norra Midsjöbanken. Det kan noteras, se

Figur 1, att gränserna för AtbA och Natura 2000 områdena för de respektive bankarna inte sammanfaller. Natura 2000 området vid Hoburgs bank har en oregelbunden form men de övriga områdena avgränsas av rätlinjiga gränser.

Utöver dessa regler kring sjötrafik och marina skyddsområden är Östersjön klassificerad som specialområde beslutade enligt IMOs MARPOL-konvention⁵. Östersjön är utpekad som kontrollområde för luftutsläpp av svavel från fartyg (SECA, Sulphur Emission Control Area). Östersjön är vidare specialområde gällande olja, toalettavfall och fast avfall vilket innebär att strängare utsläppskrav gäller för dessa avfallsslag inom området. IMO beslutade 2016 att förbud mot utsläpp av toalettavfall från kryssningsfartyg inom Östersjöns specialområde ska gälla för existerande fartyg från 1 juni 2021 och för nybyggda fartyg från 1 juni 2019. Nyligen har IMO även beslutat att Östersjön även skall bli ett specialområde vad gäller avgasutsläpp av kväveoxider (NOx) och därmed bli ett NECA (Nitrogen Emission Control Area).

2.1.3 Känsliga och särskilt sårbara områden

Hoburgs bank är sedan 2005 ett fastställt Natura 2000 område enligt Fågeldirektivet (SPA) och Art- och habitatdirektivet (SCI/SAC) och omfattar ett grundområde på 123 000 ha med vattendjup mellan 10 och 30 m. Hoburgs bank tillhör, tillsammans med Norra och Södra Midsjöbanken de globalt viktigaste övervintringsområdena för Alfågel. Pga. av artens snabbt minskande population är den globalt rödlistad (*vulnerable*) enligt IUCN⁶ och även regionalt rödlistad (*endangered*) enligt HELCOM. (Larsson, 2016).

Norra Midsjöbanken är sedan 2009 också Natura 2000 område enligt samma direktiv. Området har en yta av 98 000 ha och vattendjup mellan 8 och 30 m.

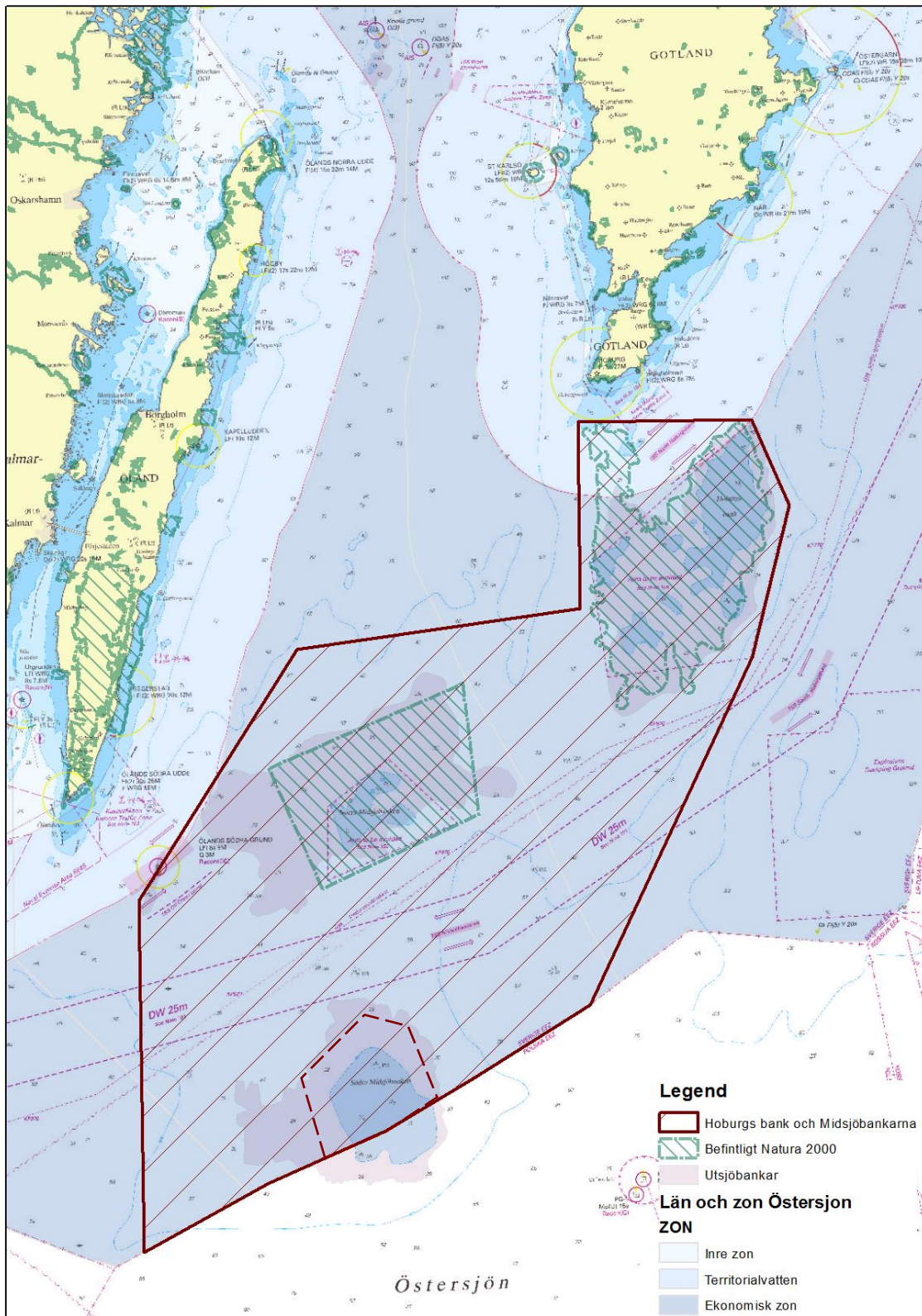
I projektet SAMBAH⁷ har vidare konstaterats att området kring utsjöbankarna Hoburgs bank och Midsjöbankarna, särskilt under perioden maj – oktober, utgör det viktigaste området för fortplantning och kalvning av tumlare i Östersjön (AquaBiota, 2016). Östersjöpopulationen är liten och är klassificerad som akut hotad (*critically endangered*) enligt HELCOM. Som en konsekvens av dessa resultat har förslag till en utvidgning av Natura 2000 skyddet utarbetats. Naturvårdsverket föreslog i en hemställan till regeringen ett Natura 2000 område för tumlare som täcker alla de tre utsjöbankarna (NV_05874_15, 2016). Storleken för det föreslagna området är avsevärt större än tidigare beslutade Natura 2000 områden, se Figur 2 nedan. I förslaget öppnar Naturvårdsverket dock för att vissa motstående intressen såsom sjöfartens farleder skulle kunna undantas från vissa regleringar inom området. I

⁵ MARPOL, IMO International Convention for the Prevention of Pollution from Ships

⁶ IUCN, the International Union for Conservation of Nature

⁷ SAMBAH, Static Acoustic Monitoring of the Baltic Sea Harbour Porpoise

Regeringens beslut, som togs 14 december 2016, valde Miljö- och energidepartementet (M-dep, 2016) att exkludera Södra Midsjöbanken från området, vilket markerats med streckad linje i Figur 2.



Figur 2. Av Naturvårdsverket föreslaget utvidgat Natura 2000 område kring Hoburgs bank och Midsjöbankarna för att förstärka skyddet av den hotade populationen av Östersjötumlare. Den av regeringen beslutade utvidgningen av området inkluderar dock inte Södra Midsjöbanken, vilket markeras av streckad linje i figuren.

2.2 Nulägesbild av sjötrafik i området

Representativa kvalitativa sjötrafikbilder åskådliggörs genom att alla fartygsspår som registrerats under viss tidsperiod ritas som linjer i en karta och där olika fartygstyper kan anges av olika färg på linjen. Trafiktätheten kan också åskådliggöras genom att områden och stråk med olika många spår anges med en färgskala så att tätare trafik separeras från glesare i en s.k. densitetsplott, se Figur 4. För kvantitativ statistisk bearbetning av sjötrafikdata definieras vanligen olika passagelinjer tvärs trafikflödena, över vilka antalet registrerade passager anges och karakteriseras med avseende på fartygstyp/-storlek, passageriktning/-hastighet/-vinkel mm.

En nulägesbild för analys av befintlig sjötrafik i det aktuella området har tagits fram från AIS-registreringar insamlade från handelsjöfart (A-AIS, fartygstyp kod 60-90) för helår 2015. Varje identifierad fartygsrörelse till/från en hamn inom analysområdet eller över dess yttre rand definieras som en resa och beskrivs av en vektorbana med varierande hastighet, kursriktning och vattendjup. Baserat på AIS-registreringarnas fartygs-Id (MMSI-Nr), associeras varje fartyg och resa, genom sökning i separat fartygsdatabas, med en kategori av; fartygstyp, storleksintervall-/deplacementsintervall, lastläge och blockkoefficient.

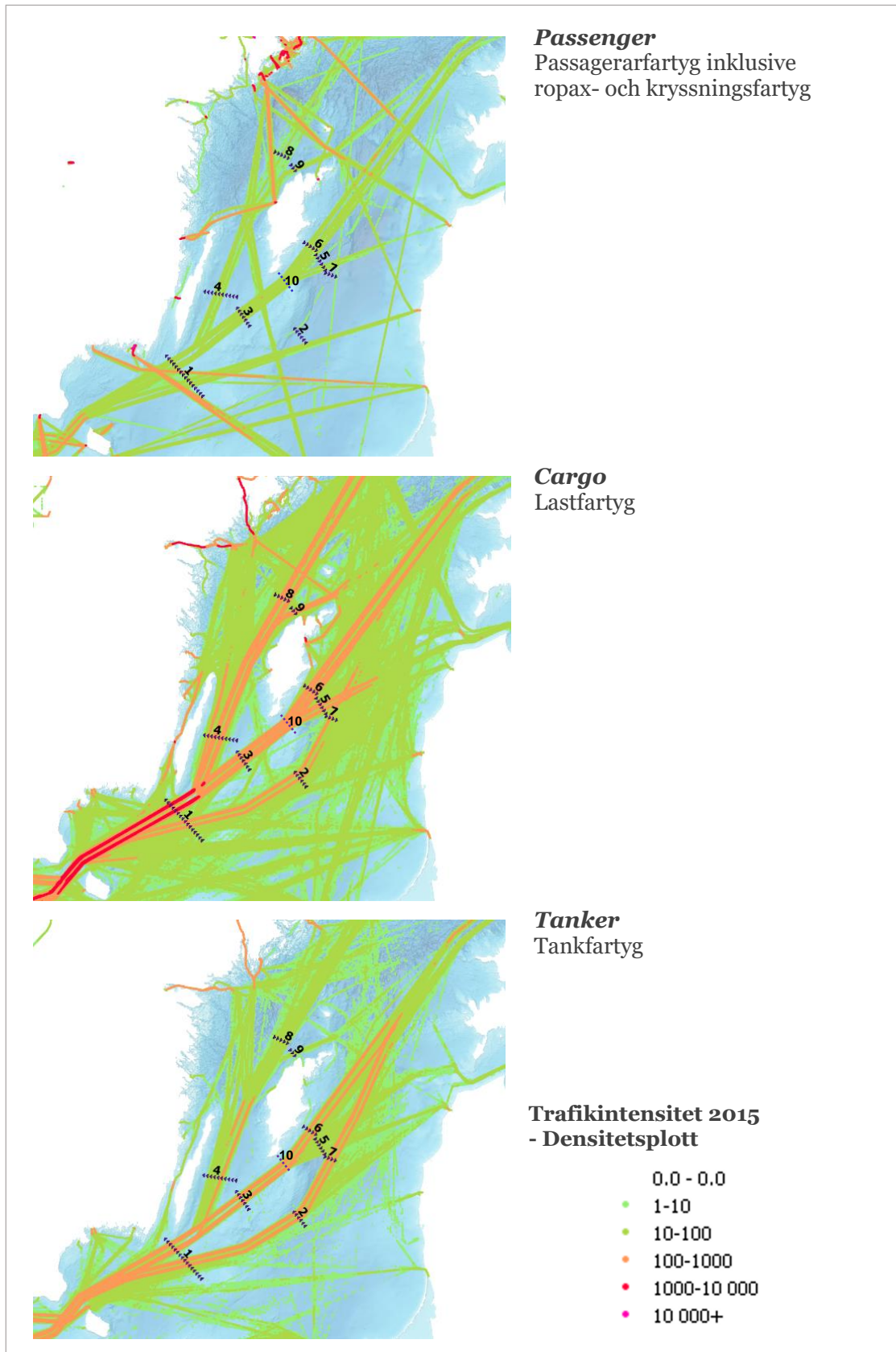
2.2.1 Sjötrafikmönster

I Figur 8 nedan visas en representativ sjötrafikbild för området där alla registrerade passager av handelsfartyg, dvs passagerafartyg, tankfartyg och lastfartyg under en månad är inritade. I figuren definieras även tio olika passagelinjer som används för kvantitativ analys, baserad på all trafik registrerad under hela året 2015.



Figur 3. Passagelinjer (1-10) för specificering av sjötrafikflöden. Flödesmönstret (röda linjer) representerar registrerade fartygsrörelser (alla handelsfartyg) under en månad (juni 2015).

De tre olika fartygskategorierna uppvisar något olika trafikmönster vilket framgår av densitetsplottarna i Figur 4 nedan, där de registrerade passagera delats upp i olika figurer. Av figurerna framgår bl.a. att djupvattenleden söder om Hoburgs bank (angiven som DW 25m i sjökortsutdraget i Figur 1), främst trafikeras av tankfartyg. Kategorin tankfartyg är den kategori som omfattar flest stora fartyg med djupgående större än 12 m och därmed är hänvisade till djupvattenleden. Vidare kan noteras att kategorin passagerarfartyg, vilken även inkluderar s.k. ropax-färjor i linjetrafik och kryssningsfartyg, inte använder djupvattenleden samt att viss reguljär trafik passerar i nord-sydlig riktning mellan Hoburgs bank och de båda Midsjöbankarna.



Figur 4. Densitetsplottar uppdelat per fartygskategori. AIS-registreringar helår 2015. Kartan baserad på ett rutnät med cellstorlek 250 x 250 m, cellens färg indikerar antalet registrerade in/ut passager i cellen.

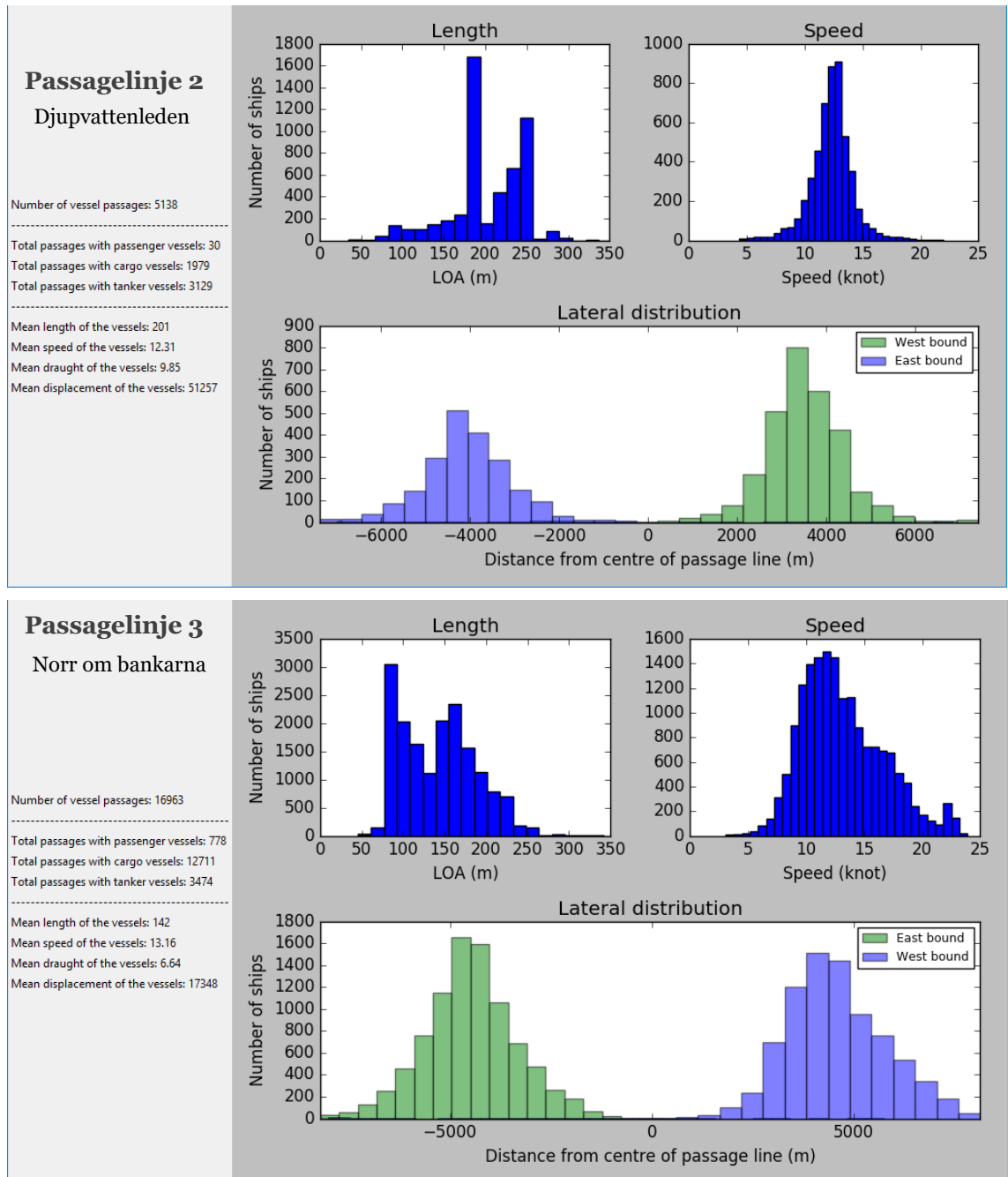
2.2.2 Passagestatistik 2015

I Tabell 1 nedan anges antalet registrerade fartygspassager under 2015 för fyra utvalda passagelinjer med uppdelning per fartygstyp (*passenger*, *cargo*, *tanker*) och i olika fartygsstorleksintervall definierade av fartygslängden. (Längd över allt, LoA enligt AIS-informationen med eventuella korrigeringar från annan fartygsdatabas). Motsvarande statistik för övriga passagelinjer återfinns i Appendix 1.

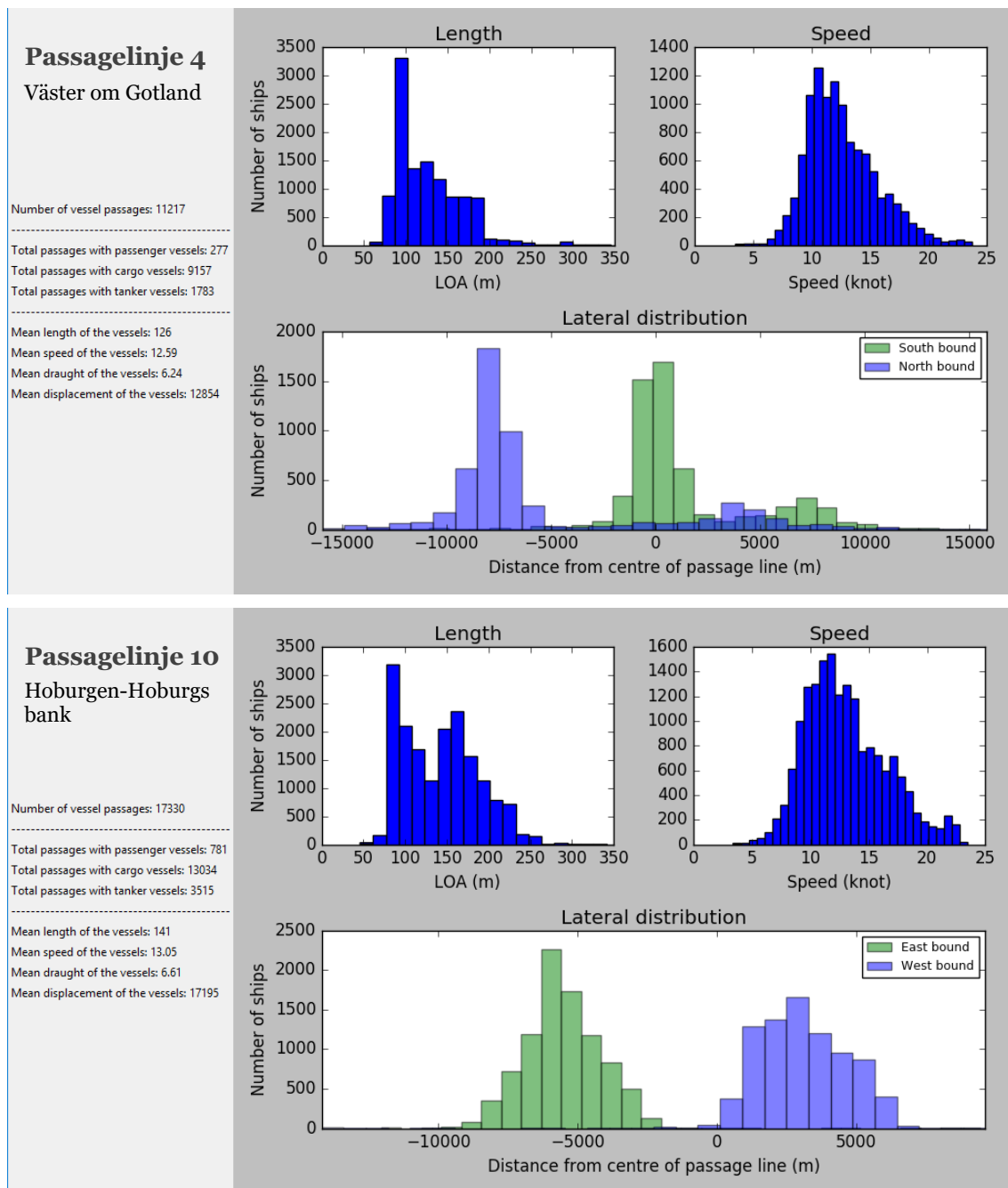
Tabell 1. Passagestatistik 2015 över respektive definierad passagelinje. Uppdelat per fartygskategori och fartygsstorlek angivet av längdintervall (Längd över allt, LoA [m]).

Passagelinje 2 Djupvattenleden							
		Total					5 253
Längdintervall, m	-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250+	Summa
Passenger	0	0	1	4	4	23	32
Cargo	1	252	169	729	912	24	2 087
Tanker	1	47	197	1 428	943	518	3 134
Passagelinje 3 Norr om bankarna							
		Total					16 961
Längdintervall, m	-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250+	Summa
Passenger	0	2	4	163	510	97	776
Cargo	1	3 830	3 832	3 929	1 118	1	12 711
Tanker	0	253	1 487	1 504	141	89	3 474
Passagelinje 4 Väster om Gotland							
		Total					11 216
Längdintervall, m	-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250+	Summa
Passenger	0	3	6	44	104	119	276
Cargo	0	3 063	3 661	2 294	133	6	9 157
Tanker	0	316	1 305	140	13	9	1 783
Passagelinje 10 Hoburgen – Hoburgs bank							
		Total					16 155
Längdintervall, m	-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250+	Summa
Passenger	0	2	4	153	474	99	732
Cargo	1	3 742	3 647	3 690	1 052	1	12 133
Tanker	0	245	1 409	1 424	134	78	3 290

Antalet fartygspassager för respektive längdintervall återges även i histogram för respektive passagelinje i figurerna nedan. Registrerad passagehastighet återges också i histogramform per passagelinje liksom det laterala passageavståndet från de respektive passagelinjernas mittpunkt för trafik i respektive riktning. Motsvarande statistik för övriga passagelinjer återfinns i tabellform och histogram i Appendix 1.



Figur 5. Passagestatistik 2015, histogram för passagelinje 2, 3, 4 och 10: Antal fartygspassager för respektive längdintervall, registrerad passagehastighet och laterala passageavståndet från de respektive passagelinjernas mittpunkt.



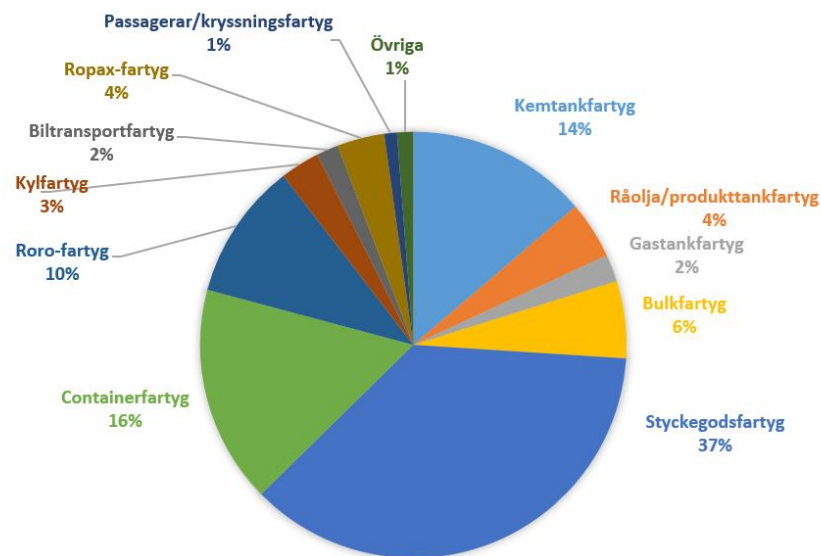
Figur 5 (fortsättning).

Av histogrammen framgår att merparten av dagens sjötrafik (ca 16 000) passerar i leden norr om Midsjöbankarna och Hoburgs bank. I leden väster om Gotland registrerades färre passager (ca 11 200) och en något mindre genomsnittlig fartygsstorlek medan djupvattenleden söder om Hoburgs bank visar ca 5 300 passager av större genomsnittlig storlek och med dominans av tankfartyg. Den genomsnittliga passagehastigheten varierar mellan 12,2 – 13,1 knop mellan de aktuella ruttalternativen. Registrerade passagehastigheter över passagelinje 10, lagd tvärs det grunda området mellan Hoburgen och Hoburgs bank, avviker inte nämnvärt (medelhastigheten minskar mindre än 1 %)

jämfört med de vid passagelinje 3 (ca 40 m vattendjup) för trafiken norr om Midsjöbankarna och Hoburgs bank.

De största fartygen, mätt i fartygslängd, som passerade den nuvarande leden norr om Hoburgs bank var kryssningsfartyg med längd 330 m, bredd 44 m och djupgående 8,6 m, med en fart av 17 knop. De registreringar med störst djupgående härrör från bulk- och tankfartyg i längdintervallet 190-230 m varav ett tjugotal anger ett djupgående större än 12 m (trots att fartyg med djupgående större än 12 m rekommenderas att använda djupvattenleden, DW25 Off Gotland Island). De flesta fartygspassagera med stort djupgående (större än 10 m) sker i riktning mot sydväst. Tankfartyg av s.k. aframax-storlek med längd 245-250 m och bredd 44 m går dock ofta i nordostlig riktning utan last med djupgående 8-9 m i leden norr om Hoburgs bank, medan de på återresan i sydvästlig riktning, i lastat läge med djupgående 14-15 m, återfinns i djupvattenleden söder om Hoburgs bank. De största tankfartygen av s.k. Suezmax-storlek med längd 275-285 m och bredd 48-50 m väljer vanligen djupvattenleden även utan last i nordostlig riktning.

Av Figur 6 nedan framgår att de numerärt vanligaste fartygen i leden norr om Hoburgs bank är lastfartyg av olika typ, de flesta styckegods-fartyg (*general cargo*) och containerfartyg, medan en femtedel är tankfartyg. Bulkfartygen står för 6 % och ropax-, passagerar- och kryssningsfartyg står för 5 %.



Figur 6. Fördelning av kommersiella fartygstyper över passagelinje 3 i leden norr om Hoburgs bank enligt registreringar av AIS under 2015. Notera att flera av kemtankfartygen kan antas transportera oljeprodukter.

2.3 Omdirigering

Relevanta alternativa omdirigerings-scenarion har definierats i samråd mellan Havs- och vattenmyndigheten och SSPAs nautiska expertis. För konsekvensberäkningarna har nulägesbildens registrerade sjötrafik vid

passagelinje 3 (ca 16 000), med undantag för de som anlöpt eller avgått från hamn på östra Gotland, fördelats ut på de respektive omdirigeringsalternativen. Den mindre andel som anlöpt eller avgått från hamnar på östra Gotland är relativt liten (< 500), består främst av mindre fartyg med litet djupgående och exkluderas från de två analyserade huvudalternativen för omdirigering.

Den kvarvarande, från omdirigeringen exkluderade trafiken, norr om Hoburgs bank förutsätts dock omdirigeras till en något nordligare rutt på sträckan mellan TSS Off Öland Island och Hoburgen så att passageavståndet till Norra Midsjöbanken ökas. För konsekvensanalysen bedöms dock inte denna mindre omdirigeringsåtgärd påverka det samlade resultatet nämnvärt, varför detta trafikflöde inte innefattas i de jämförande konsekvensberäkningarna.

De två huvudalternativen; Djupvattenleden söder om Hoburgs bank respektive leden väster om Gotland, analyseras initialt var för sig i konsekvensberäkningarna genom att all omdirigerad trafik förutsätts passera endera leden.

De respektive ledernas sträckningar framgår av Figur 7 nedan. Den nuvarande rutten och de båda analyserade omdirigeringsalternativen, sammanfaller i sydväst vid de brytpunkter (way points) som anges av TSS Bornholmsgat (IMO, 2005) och mittpunkterna av dess tvärgående begränsningslinje i nordost för respektive riktning. I nordost sammanfaller originalrutten med leden väster om Gotland i motsvarande punkter av den västra tvärgående begränsningslinjen av TSS Off Hankoniemi Peninsula (Hankö) (IMO, Colreg.2/Circ.61. MSC 87, 2010). Djupvattenleden sammanfaller med originalrutten i centrum för respektive riktning av TSS Kõpu peninsula (Dagö) (IMO A.284(VIII), 1973). Alla redovisade jämförande beräkningar gäller för rutterna mellan TSS Bornholmsgat och TSS Off Hankoniemi Peninsula (Hankö) vid Finska vikens västra del. För de brytpunkter som inte definieras av existerande TSS, har brytpunkter identifierats i överensstämmelse med AIS-registreringar på motsvarande rutter.

2.3.1 Alternativ 1 – Djupvattenleden söder om Hoburgs bank

I huvudalternativ 1 omdirigeras trafiken från rutten norr om Hoburgs bank till den befintliga djupvattenleden DW 25 m, söder om Hoburgs bank. För fartygstrafik till eller från hamnar i Finska viken innebär denna omdirigering en förlängning av distansen med ca 17,6 nm⁸ eller ca 5,1 % räknat på den sträcka där rutterna inte sammanfaller.

Beträffande omdirigering till befintlig djupvattenled, bedöms detta enklare och säkrare än ett alternativ⁹ som skulle innebära att trafiken omdirigeras till en ny

⁸ Nautisk mil, 1 nm = 1 852 m

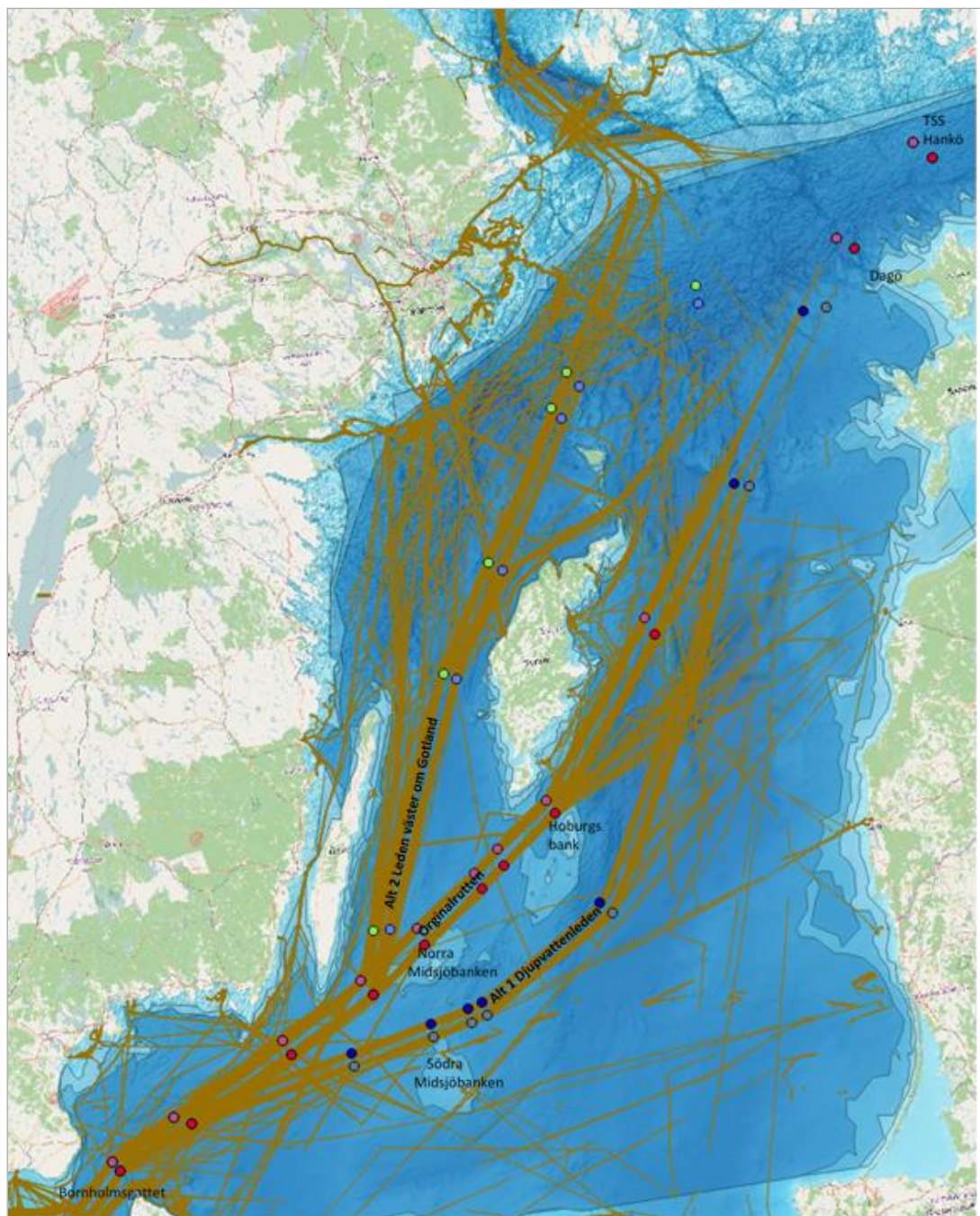
⁹ Ett sådant alternativ, söder om befintlig djupvattenled, har föreslagits för vidare utredning i (Larsson, 2016).

separat led söder om befintlig djupvattenled, vilket skulle öka antalet möten på korsande kurser. Bredden av befintlig djupvattenled bedöms tillräcklig för att härbärgera tillkommande trafik utan nämnvärd riskpåverkan av ökad intensitet.

2.3.2 Alternativ 2 – Leden väster om Gotland

I huvudalternativ 2 omdirigeras trafiken från rutten norr om Hoburgs bank till leden väster om Gotland och norr om Gotska Sandön. För fartygstrafik till eller från hamnar i Finska viken innebär detta en något mindre förlängning av distansen, ca 13,9 nm eller ca 4,0 % räknat på den sträcka där rutterna inte sammanfaller.

Praktiskt innebär detta omdirigeringsalternativ att TSS Off Öland Island modifieras så att vinkeln kring fyren Ölands södra grund ändras så att farledsriktningen nordost om fyren riktas om (eventuellt även med förlängd TSS norrut, för att åstadkomma önskad ökning av passageavståndet till Norra Midsjöbanken för eventuell kvarvarande trafik norr om Hoburgs bank) mot TSS West Klintehamn.



Figur 7. Översiktlig karta med dagens rutt norr om Hoburgs bank samt de två analyserade omdirigeringsalternativen, angivna av brytpunkter för nordost- respektive sydvästgående trafik. Jämförande analyser görs för sträckorna mellan de ruttgemensamma brytpunkterna i Bornholmsgattet respektive Finska viken.

2.3.3 Effektivitets- och miljöoptimering av alternativ

Alternativa omdirigeringsscenarion kan definieras vad avser lokalisering, tillämpning för olika fartygstyper/storlekar, tillämpning under olika tidsperioder/säsonger eller tillämpning av möjliga strategier för effektivitets- och miljöoptimering.

Exempelvis kan alternativen omfatta varianter där omdirigeringen endast genomförs under en del av året (okt-april), då fågellivet vid bankarna är mest sårbart. Det är vidare känt att grundvatteneffekter påverkar fartygens framdrivningsmotstånd och därmed bränsleförbrukningen och genom att välja rutter med större vattendjup och anpassad hastighet vid passage av grundare områden, kan strategier för förbrukningsoptimering utvecklas. Olika tillämpningar av sådana alternativa omdirigeringar och optimeringar påverkar konsekvensberäkningarna och kostnad-nyttjämförelser mellan olika omdirigeringsalternativ.

Vidare kan omdirigering till andra rutter genomföras under olika villkor vad gäller krav på oförändrad ankomsttid, ETA¹⁰, oförändrad fart eller minimering av förbrukning och emissioner. Omdirigeringsalternativ som innebär att distansen till destinationshamnen ökar, kan kompenseras genom en viss hastighetsökning vilket dock troligen kommer att öka den totala förbrukningen något. Hur, var och under vilken tidsperiod en sådan fartkompensation kan göras beror i hög grad av den totala resans längd.

För de redovisade optimeringsalternativen förutsätts optimeringsstrategierna liksom varianterna med fartanpassning för bibehållen ETA respektive bibehållen genomsnittshastighet, endast tillämpas och redovisas för den del av ruten där omdirigeringsalternativet inte sammanfaller med nuläget.

¹⁰ ETA, Estimated Time of Arrival

3 Konsekvensberäkningar – förbrukning och emissioner

AIS-registreringarna tillsammans med kompletterande fartygsdata från separat fartygsdatabas används för att, för varje registrerad fartygspassage längs en given rutt, beräkna dess framdrivningsmotstånd, effektbehov och bränsleförbrukning vid aktuellt vattendjup och med den hastighet som registrerats vid passagelinje 3, se Figur 3.

Beräkningar har även gjorts för en förbrukningsoptimerad hastighetsprofil med samma medelhastighet som registreringen vid passagelinje 3. Optimeringen gjordes med avseende på tilläggsmotstånd från grundvatteneffekter så att totalförbrukningen längs ruten minimeras. De registrerade skillnaderna mellan resultat av förbrukningsoptimerade beräkningar och beräkningar vid konstant fart, visade sig dock vara små. Eftersom registrerade skillnader bedöms vara mindre än beräkningsnoggrannheten, redovisas dessa resultat ej kvantitativt i denna rapport.

3.1 Framdrivningsmotstånd och inverkan av begränsat vattendjup

För varje fartygskategori och underkategori har relevanta matematiska samband mellan fart, framdrivningsmotstånd, effektuttag, bränsleförbrukning samt inverkan av vattendjup formulerats. Beräkning av energiförbrukning baseras på etablerade hydrodynamiska modeller enligt ITTC-57¹¹, se Bilaga 2.

I beräkningarna ingår förutom fartygens hastighet, som erhålls från AIS-data samt huvuddimensioner som kompletteras genom jämförelse med annan fartygsdatabas, även den s.k. blockkoefficienten, c_b . Genom regressionsanalys i SSPAs modellförsöksdatabaser har varje fartyg som registrerats i AIS-statistiken också associerats med en viss blockkoefficient som nyttjas vid bestämning av framdrivningsmotståndet.

Uppgifter om de passerande fartygens djupgående har hämtats från AIS-registreringarna. I enstaka fall då dessa uppgifter saknats eller är uppenbart felaktiga, har djupgående hämtats från fartygsdatabasen och då tagits som medelvärdet av djupgående vid fullast- och ballastkonditionerna.

Inverkan av grunt vatten kan ge betydande motståndsökning och eftersom djupet varierar mellan de analyserade ruttalternativen är det viktigt att skillnaderna mellan lederna beaktas så att grundvatteneffekternas inverkan på

¹¹ ITTC, International Towing Tank Conference, NGO ansvarig för hydrodynamiska prognoser för fartyg

beräknade förbruknings- och emissionsvärden ger en rättvisande bild vid jämförelse mellan den nu nyttjade leden norr om Hoburgs bank och de analyserade omdirigeringsalternativen. Ett antal olika formler för uppskattning av grundvatteneffektens omfattning och samband mellan hastighet, vattendjup och fartygsdimensioner har förslagits i litteraturen och SSPA har genom omfattande systematiska modellförsök med olika fartygstyper och betingelser tagit fram detaljerade empiriska beräkningsmodeller, bl.a. inom forskningsprojektet SWABE¹² (SSPA, 2009). Dessa beräkningsmodeller har använts för att bestämma ett grundvattentillägg till det enligt ovan beräknade motståndet i djupt vatten (ITTC-57), för varje registrerad fartygspassage längs de alternativa rutterna.

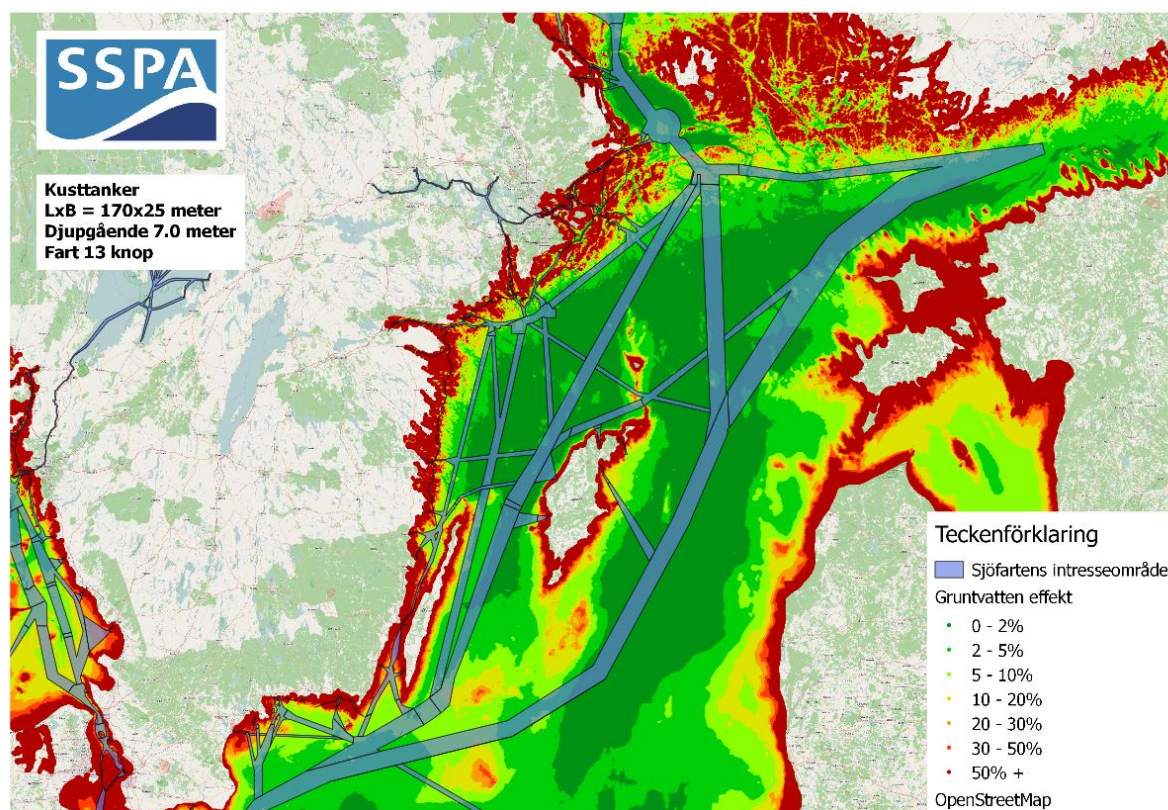
Sjökortets uppgifter om aktuellt vattendjup längs de registrerade fartygsrutterna är relativt glesa och har därför kompletterats med mera detaljerade batymetriska data från andra tillgängliga databaser. Vid beräkning av grundvatteneffekternas inverkan har vattendjupet längs de aktuella rutterna interpolerats fram genom att botten beskrivs av sammanhängande lutande triangulära ytor med hörnen på djup som ges av data från EMODnet¹³, i ett rutnät med cellstorlek som transformerats till 100 x 100 m.

Även andra detaljerade djupdata som erhållits från Havs- och vattenmyndigheten (framtagna av SGU) för området norr om Hoburgs bank, har jämförts med EMODnet, men beräkningsresultaten beträffande uppskattade bränsleförbrukningar har inte påverkats av de marginella skillnader i djupmodellering som de olika dataseten ger.

Grundvatteneffekten och dess inverkan på fartygens framdrivningsmotstånd, beror främst av vattendjupet, fartygets djupgående samt övriga dimensioner och dess hastighet, och kan exempelvis uttryckas som en procentuell ökning av framdrivningsmotstånd och effektbehov vid en viss hastighet för ett visst fartyg. I Figur 8 nedan illustreras grundvatteneffektens beräknade inverkan i geografisk form med ett exempel för ett mindre fartyg, typ kusttanker med dimensioner; längd 170 m, bredd 25 m och djupgående 7,0 m vid en fart av 13 knop. Av färgskalan framgår att motståndet för denna kusttanker i 13 knop kan öka med upptill 30 % exempelvis vid passage norr om Hoburgs bank och att betydande delar av de större sjöfartsstråken går i områden där grundvatteneffekterna ger 2-5 % motståndsökning jämfört med djupt vatten.

¹² Joint Industry Project SWABE, (Shallow Water and Bank Effects), coordinated by SSPA

¹³ EMODnet, European Marine Observation and Data Network, <http://www.emodnet-hydrography.eu/>



Figur 8. Exempel på geografisk fördelning av grundvatteneffektens ökning av fartygets framdrivningsmotstånd för en kusttanker vid farten 13 knop. I figuren har även ett förslag till Sjöfartens användningsområde lagts in med blå färg, som det skisserats av Havs- och vattenmyndigheten i oktober 2016.

3.2 Bränsleförbrukning och emissionsuppskattning

Beräknade data om framdrivningsmotstånd och energibehov har kombinerats med data om verkningsgrad och bränsletyp samt specifik bränsleförbrukning för respektive motortyp, se Bilaga 2. Med hjälp av etablerade empiriska data för specifika emissionsfaktorer (Brynolf, 2014) har därefter även de totala emissionerna av olika avgaskomponenter uppskattats kvantitativt. I uppskattningen antas hälften av förbrukningen på den analyserade sträckan utgöras av MGO (Marine Gas Oil) och hälften av tjockare oljekvaliteter eller blandningar som uppfyller SECA-kravet om högst 0,1 % svavelinnehåll. De senare benämns nedan ULSFO (Ultra Low Sulphur Fuel Oil). Den antagna fördelningen mellan dessa kvaliteter baseras på uppgifter om levererade proportioner från Stena Oil, som är en av de största bunkerleverantörerna i Västerhavet och Östersjön.

3.2.1 Resultatredovisning och nyckeltal

För den analyserade sjötrafiken har totala årliga kvantiteter av energibehov, bränsleförbrukning (i ton och SEK) beräknats. Dessa redovisas tillsammans med beräknade emissioner från den omdirigerade sjötrafikandelen dels i den

nuvarande leden norr om Hoburgs bank samt i de två alternativa rutterna i djupvattenleden söder om Hoburgs bank respektive väster om Gotland. Specifika emissionsfaktorer varierar för olika typ, inställning och ålder av motor samt för typ av bränsle och måste därför uppskattas som genomsnittsvärden för den analyserade trafiken. Emissionsfaktorer enligt Tabell 2 har använts för beräkning av de respektive emissionskomponenterna:

Tabell 2. Sammanställning av bränsleegenskaper och specifika emissionsfaktorer som använts för jämförande emissionsuppskattningar. Indikativa prisuppgifter anges i tabellens sista rad.

Bränsletyp	MGO	Ref/Komm	ULSFO	Ref/Komm
Emissionsfaktorer				
Energiinnehåll	43 MJ/kg	(Andersson, 2016)	40,5 MJ/kg	
Kolinnehåll	87,4	(MEPC, 66/21)	84,9%	(MEPC, 66/21)
Koldioxid, CO₂	73 g/MJ MGO	(MEPC, 66/21)	77 g/MJ ULSFO	(MEPC, 66/21)
Koldioxid, CO₂	3,14 ton/ton MGO	(Brynolf, 2014)	3,12 ton/ton ULSFO	HFO (Brynolf, 2014)
Dikväveoxid, N₂O	0,15 kg /ton MGO	(Brynolf, 2014)	0,14 kg/ton ULSFO	HFO (Brynolf, 2014)
Svaveloxid, SOx (SO₂)	2,0 kg/ton MGO	0,1 % svavel (Brynolf, 2014)	2,0 kg/ton ULSFO	(Brynolf, 2014)
Kväveoxider, NOx (NO₂)	64,5 kg/ton MGO	(Brynolf, 2014)	64,8 kg/ton ULSFO	(Brynolf, 2014)
Partiklar, PM (PM₁₀)	0,47 kg/ton MGO	(Brynolf, 2014)	2,84 kg/ton ULSFO	HFO med 0,1% eller skrubber för uppfyllnad av SECA (Brynolf, 2014)
Pris	3 800 SEK/ton	Göteborg 30 juni 2016 (Ship_and_bunker, 2017)	3 500 SEK/ton	Rotterdam 30 juni 2016 (Ship_and_bunker, 2017)

För uppskattning och jämförelse av bränslekostnaderna för de olika analyserade alternativen, används även ett indikativt värde för bränslepriset. Priset för de angivna bränsletyperna varierar kraftigt och snabbt och det finns inget entydigt värde för 2015 eller 2016. Prisvariationerna mellan MGO och ULSFO är dock relativt små och prisutvecklingen över tid är snarlik. Det valda värdet i Tabell 2 är högre än de priser som gällde under 2015 men bedöms rimligt för att göra grova bedömningar av konsekvenser för de totala bränslekostnaderna vid användning av omdirigeringsalternativen.

Analysområdets yttre rand definieras så att de delar av fartygens resor som ligger utanför analysområdet inte påverkas nämnvärt av de analyserade omdirigeringsalternativen.

3.3 Jämförande energi- och bränsleförbrukningsberäkningar

Ett antal olika bränsleförbrukningsberäkningar har gjorts för olika scenarier med nuvarande trafik, de två huvudalternativen för omdirigering samt för olika villkor för effektivitets- och förbrukningsoptimering. Eftersom analyserna i första hand avser att ge jämförande resultat mellan de olika alternativen, har all sjötrafik som inte berörs av omdirigeringsalternativen undantagits och ingår ej i de presenterade förbrukningsberäkningarna.

De kvantitativa förbrukningsvärden som presenteras representerar således endast den trafik som under 2015 registrerades passera norr om Hoburgs bank (passagelinje 3, i Figur 3), exklusive de som anlöpte eller av gick från hamnar på östra Gotland. Presenterade bränslemängder motsvarar den som skulle förbrukats under den del av sjöresan där den omdirigerade rutten avviker från den ursprungliga norr om Hoburgs bank.

3.3.1 Nulägesbild – Förbrukningsberäkning

I denna beräkning förutsätts varje fartyg passera den aktuella analyserade sträckan (360,6 nm) med en konstant hastighet enligt den registrering som gjorts vid passagelinje 3. Den exakta hastighetsprofilen över hela den analyserade sträckan kan inte bestämmas för varje fartygsrutt, eftersom AIS-täckningen är något ofullständig i de delar som ligger nordost om Gotland närmare Finska Viken. Antagandet att hastigheten hålls konstant bedöms överskatta förbrukningen något eftersom den inte beaktar att mera djupgående fartyg kan tillämpa optimeringsåtgärder som innebär att hastigheten reduceras över särskilt grunda passager, exempelvis omedelbart norr om Hoburgs bank. De jämförande analyser som prövats med fartanpassningsalgoritmer för förbrukningsoptimering indikerar dock endast marginella besparingsmöjligheter.

3.3.2 Omdirigeringsalternativ 1 – Förbrukningsberäkning för djupvattenleden

På motsvarande sätt som för nulägesbildens förbrukningsberäkningar, har beräkningar gjorts för omdirigeringsalternativ 1 till djupvattenleden. Beräkningar har gjorts både för en medelhastighet som motsvarar den ursprungligen registrerade (vid passagelinje 3) samt vid en medelhastighet som ökas för att kompensera för den längre distansen jämfört med leden norr om Hoburgs bank. Dessa beräkningar benämns nedan ”constant average speed” respektive ”constant ETA”.

3.3.3 Omdirigeringsalternativ 2 – Förbrukningsberäkning för leden väster om Gotland

I detta fall har motsvarande trafik som i omdirigeringsalternativ 1, omdirigerats till leden väster om Gotland och norr om Gotska Sandön.

Förbrukningsberäkningar har även här gjorts för fallen konstant hastighet ”constant average speed” respektive ”constant ETA”.

3.3.4 Jämförande förbrukningsberäkningar – Omdirigeringsalternativen

I Tabell 3, nedan presenteras beräknade förbrukningar för helår 2015 i ton (lika fördelat mellan MGO och ULSFO) samt procentuellt relativt nulägesbildens (100 %) beräkning. Motsvarande distanser anges också i nm respektive procentuellt relativt nulägesbildens. Här framgår att den 12,5 nm längre leden väster om Gotland ger totalt 4 144 ton högre förbrukning medan den 18,1 nm längre djupvattenleden vid en konstant hastighet ger 7 362 ton högre total förbrukning per år. Den procentuella förbrukningsökningen vid ”constant speed” för leden väster om Gotland är dock endast 1,4 % respektive 2,6 % för djupvattenleden. Motsvarande totala årliga bränslekostnadsökning pga. ökad förbrukning är omkring 15 respektive 27 miljoner kronor.

Vid de aktuella hastigheterna innebär de längre distanserna en fördröjd ETA av storleksordningen 1-1½ h. Om denna fördröjning skall kompenseras genom högre medelhastighet ”constant ETA” under den omdirigerade delen av rutten blir förbrukningsökningen 8,8 % för leden väster om Gotland respektive 13,3 % för djupvattenleden. Detta skulle motsvara ökade bränslekostnader med omkring 92 respektive 139 miljoner kronor per år.

Tabell 3. Sammanställning av beräknade totala förbrukningsvärden för alla analyserade fartyg i nuvarande rutt norr om Hoburgs bank och distanserna för de separat analyserade alternativen.

Nulägesbild/ Omdirigeringsalternativ Hela fartygspopulationen	Bränsleförbrukning (ton)		Relativ för- brukning i % av original	Distans (nm)	Relativ distans i % av original	Tid vid viss typisk hastighet (h:min)	Bränsle- kostnad (MSEK)
	MGO	ULFS					
Original rutt Nulägesbild, constant speed:	143 050	143 050	100,0%	360,6	100,0%	27:44 vid 13 knop	1 044
Alt 1 Djupvattenled, constant speed :	146 731	146 731	102,6%	378,7	105,0%	29:08 vid 13 knop	1 071
Alt 2. Led V Gotland, constant speed :	145 122	145 122	101,4%	373,1	103,5%	28:42 vid 13 knop	1 059
Alt 1 Djupvattenled, constant ETA	162 124	162 124	113,3%	378,7	105,0%	27:44 vid 13,7 knop	1 184
Alt 2. Led V Gotland, constant ETA:	155 591	155 591	108,8%	373,1	103,5%	27.44 vid 13,4 knop	1 136

Anledningen till att de beräknade förbrukningsökningarna för omdirigeringsalternativen enligt tabellen ovan är lägre än de procentuella förlängningarna av omdirigeringsalternativen är att den motståndskomponent som är relaterad till grundvatteneffekten är mindre för omdirigeringsalternativen än för den i dag trafikerade rutten norr om Hoburgs bank.

Av de totalt ca 16 208 fartygspassagera som ingår i den tabellerade summan är det 786 (4,8 %) som enligt beräkningarna skulle minska sin förbrukning med upp till 2 % genom att nyttja ruttalternativet väster om Gotland. Dessa

4,8 % svarar för 11 % av den totala bränsleförbrukningen i alternativet väster om Gotland. Övriga 15 422 fartyg (95 %) representerar 89 % av totalförbrukningen och får en ökad förbrukning när de väljer alternativet väster om Gotland.

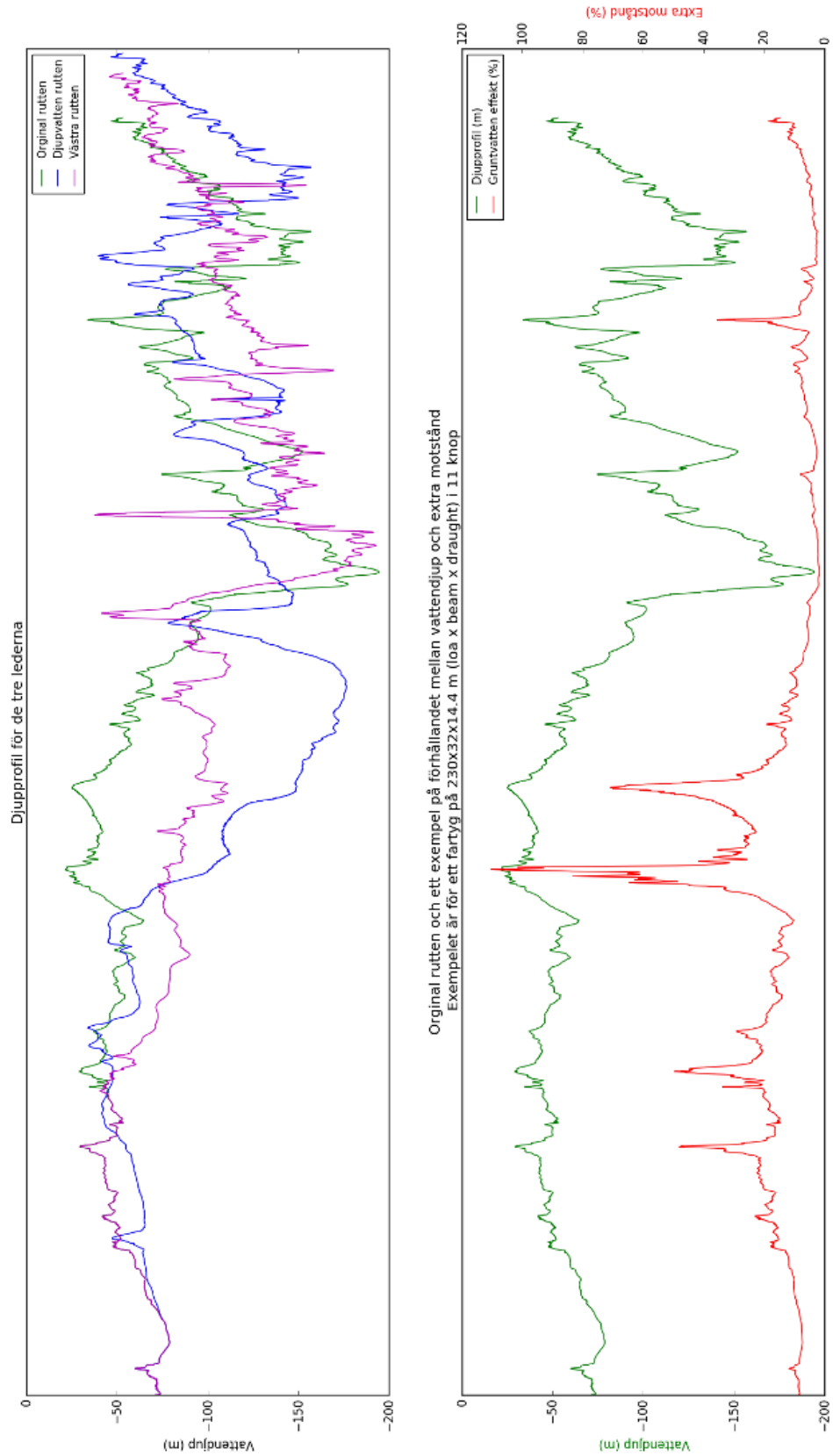
För ruttalternativet djupvattenleden söder om Hoburgs bank är det endast omkring 100 fartyg som får lägre förbrukning än för dagens rutt norr om Hoburgs bank. För övriga fartyg ökar förbrukningen i varierande grad upp till ca 4 %.

Som förväntat är det främst stora, djupgående fartyg som uppvisar bränslesparningar när de framförs i de alternativa rutterna medan mindre, grundgående fartyg vid låg hastighet får ökad förbrukning i de längre alternativrutterna. Skillnaderna mellan förbrukning i de respektive alternativen är emellertid relativt små.

Det övre diagrammet i Figur 9 nedan illustrerar hur vattendjupet varierar längs de tre ruttalternativen. Diagrammets startpunkt till vänster representerar de tre rutternas gemensamma startpunkt i Bornholmshavet och till höger är de sammanfallande sträckorna vid Hanko i Finska viken förskjutna i förhållande till de respektive rutternas längd.

Det undre diagrammet visar samma (gröna) djupprofil för originalrutten men här tillsammans med ett exempel på hur tilläggsmotståndet orsakat av grundvatteneffekter kan variera (röd linje) under motsvarande rutt. Av den röda kurvans toppar framgår att tilläggsmotståndet i detta fall kan bli upp till 100 % (enligt skalan till höger i diagrammet) vid passage av de grundaste ruttavsnitten. Detta exempel visar ett stort fartyg med djupgående 14,4 m vid en hastighet av 11 knop som dock normalt inte skall passera originalrutten vid denna lastkondition.

De tre djupprofilerna i det övre diagrammet representerar trafiken i nordostlig riktning och eftersom de nordost- respektive sydvästgående trafikflödena separeras lateralt (ca c-c 4 nm) av TSS:er, varierar djupprofilerna något i de respektive flödesriktningarna. Som framgår av analysen av AIS-statistik fördelar sig den verkliga trafiken lateralt över farledsytans bredd och i praktiken varierar djupprofilen även något mellan fartyg på samma rutt i samma riktning. Detta ger viss onoggrannhet vid prediktering av tilläggsmotståndet eftersom det inte exakt kan förutsägas hur nära farledsytans mittlinje som varje fartyg kommer att följa sin rutt längs de analyserade omdirigeringsalternativen.



Figur 9. Djupvariation längs de tre analyserade rutterna i nordostlig riktning och exempel på tilläggsmotståndets variation längs originalruttens djupprofil. Exemplet representerar ett fartyg med längd 230 m, bredd 32 m, djupgående 14,4 m vid 11 knop.

3.4 Optimering av omdirigering mellan alternativ 1 och 2

Jämförelserna i Tabell 3, ovan indikerar att totala minskningen av grundvatteneffekterna är större för det kortare omdirigeringsalternativet 2, leden väster om Gotland, än för det något längre alternativ 1, djupvattenleden. Därför är det uppenbart att varje fartyg oavsett storlek och hastighet kommer att få lägre förbrukning i leden väster om Gotland än i djupvattenleden och därmed är omdirigeringsalternativ där olika fartyg omdirigeras till olika alternativ inte heller fördelaktiga.

Jämförelser liknande de i Figur 9 visar dock att skillnaderna i tilläggsotstånd mellan sydväst- och nordostgående trafik är relativt stora och det kan inte uteslutas att vissa fartyg skulle kunna spara bränsle genom att använda olika rutter för sydväst- respektive nordostgående passager.

Ett omdirigeringsalternativ där endast de ca 5 % av fartygen som inte får ökad förbrukning av att välja ruttalternativet väster om Gotland skulle omdirigeras till detta alternativ medan övrig trafik tillåts vara kvar norr om Hoburgs bank, är teoretiskt möjligt. De skulle innebära en viss minskad sjötrafikbelastning inom Natura 2000 området Hoburgs bank och dessutom en minskning av total bränsleförbrukning och emissioner men bedöms inte attraktiv eftersom en relativt stor trafikandel blir kvar i leden norr om Hoburgs bank.

Teoretiskt är det också möjligt att hitta ett omdirigeringsalternativ som innebär att en något större andel omdirigeras i en sådan proportion att den totala förbrukningen förblir oförändrad och trafikbelastningen i Natura 2000 området Hoburgs bank minskar ytterligare.

De skillnader i totalförbrukning, 1,4 % respektive 2,6 % som indikeras i resultattabellen, Tabell 3 är dock relativt små i förhållande till andra faktorer som kan påverka den faktiska förbrukningen och skillnaderna bör inte betraktas som entydigt konklusiva vid val av omdirigeringsalternativ.

3.5 Jämförande beräkning av emissioner och externa kostnader

Beräkning av bränsle- och energiförbrukningsuppgifter har kombinerats med emissionsdata enligt kapitel 3.2 för att uppskatta de respektive omdirigeringsalternativens konsekvenser avseende emissioner av växthusgaser och luftförorenande ämnen.

För att underlätta vidare uppskattning av omdirigeringsåtgärdernas samhällsekonomiska kostnader har bränslekostnaden (se Tabell 3) och externa kostnader för de respektive emissionskomponenterna också beräknats enligt gängse beräkningsmetoder. För uppskattning av samhällskostnader orsakade av utsläpp av växthusgaser från transporter i Sverige används vanligen

kalkylvärden framtagna av den myndighetsövergripande samrådsgruppen ASEK¹⁴ där såväl Trafikverket och Sjöfartsverket ingår (ASEK6.0, 2016). ASEKs kalkylvärden för växthusgaser är tillämpbara för landtransporter såväl som för sjötransporter.

För utsläpp av övriga luftförorenade avgaskkomponenter saknar dock ASEK kalkylvärden för sjötransporter. Därför används istället värden från Ricardo-AEA, som ger etablerade Europeiska riktlinjer inklusive specifika kalkylvärden för sjötransporter i Östersjön, (Ricardo, 2014).

3.5.1 Växthusgaser

Den växthusgas som främst är av intresse är koldioxid, CO₂ men dieselmotorer ger även viss emission av lustgas (dikväveoxid, N₂O), som är en omkring 265 gånger starkare växthusgas (IPCC, 2014). Så länge CO₂ genereras av fossila bränslen är N₂O emissionen dock av underordnad betydelse eftersom mängderna enligt beräkningarna är av avsevärt lägre storleksordning.

3.5.2 Luftföroreningar

De totala emissionerna av kväveoxider NO_x och partiklar PM har uppskattats utifrån beräknad totalförbrukning av de respektive bränsletyperna med de emissionsfaktorer som anges i kapitel 3.2. Emissioner av svaveloxid SO_x är beräknade baserat på att det använda bränslet har en svavelhalt av 0,1 % i enlighet med SECA-reglerna.

3.5.3 Externa kostnader

Externa kostnader för klimatpåverkan och luftföroreningar har beräknats med hjälp av faktorer enligt nedan hämtade från ASEK respektive Ricardo (omräknade till SEK enligt 9,69 SEK/EUR):

Tabell 4. Nyttjade kalkylvärden för omräkning från emissionsmängder till externa kostnader.

Växthusgaser		Luftförorening Ricardo-AEA, Baltic Sea		
CO ₂ eq Ricardo-AEA	CO ₂ ASEK 6.0	NO _x	PM	SO ₂
870 SEK/ton	1 104 SEK/ton	45 540 SEK/ton	133 720 SEK/ton	50 870 SEK/ton

3.5.4 Jämförande emissionsberäkningar – omdirigeringsalternativen

Som framgår av tabellen nedan blir skillnaderna mellan de samhällsekonomiska kostnaderna orsakade av avgasutsläppen från den

¹⁴ ASEK Arbetsgruppen för samhällsekonomiska kalkyl- och arbetsmetoder inom transportområdet

omdirigerade fartygstrafiken proportionell mot de beräknade skillnaderna i bränsleförbrukning.

Redovisade kostnader kan värderas mot de samhällsekonomiska nyttor som förutses uppnås genom omdirigeringsalternativen. Interna kostnader i form av kostnader för fartygens ökade bränsleförbrukning liksom ökade kostnader genom förlängd restid kan också beaktas för övergripande kostnads-nyttovärderingar av redovisade omdirigeringsalternativ.

Tabell 5. Jämförande sammanställning av emissionsberäkningar och samhällsekonomiska kostnader.

Nulägesbild/ Omdirigeringsalternativ	Växthusgaser (ton)		Luftförorening (ton)			Klimatpåverkan kostnad CO2eq (tusen SEK)		Luftförorening kostnad (tusen SEK)
	CO2	N2O	NOx	PM	SO2	(Ricardo)	(ASEK)	(Ricardo)
Hela fartygspopulationen								
Original rutt Nulägesbild, constant speed:	921 939	43,0	19 050	487	578	813 974	1 064 018	962 192
Alt 1 Djupvattenled, constant speed:	945 659	44,2	19 540	500	593	834 916	1 091 394	986 948
Alt 2. Led V Gotland, constant speed :	935 293	43,7	19 326	494	587	825 764	1 079 430	976 129
Alt 1 Djupvattenled, constant ETA	1 044 865	48,8	21 590	552	655	922 504	1 205 888	1 090 484
Alt 2. Led V Gotland, constant ETA:	1 002 761	46,8	20 720	530	629	885 331	1 157 295	1 046 543

3.6 Utökad konsekvensberäkning – kollisions- och grundstötningsrisker

Kollisions- eller grundstötningsolyckor med handelsfartyg medför ofta utsläpp av bunkerolja. Stora lastfartyg i Östersjön kan ha totala bunkervolymer på upp till 5 000 ton oftast uppdelade på ett antal mindre tankar. I vissa fall är bunkertankarna placerade direkt mot fartygsbotten eller fartygssidan och om skrovet penetreras kommer bunkerolja ut i omgivande vatten. Östersjön har länge varit förskonad från riktigt stora oljeutsläpp men omkring en femtedel av trafiken utgörs av oljetankfartyg som vid eventuella kollisions- eller grundstötningsolyckor kan ge mycket stora utsläpp om en eller flera lasttankar skadas.

Trafikstyrningsåtgärder som TSS och särskilt anvisade djupvattenleder har införts och utformats för minimera olycksriskerna och omdirigeringsåtgärder som innebär förändrade trafikflöden kan därmed också ge en förändrad riskbild. Av denna anledning är det motiverat att i den aktuella

omdirigeringsanalysen även inkludera jämförande konsekvensberäkningar avseende kollisions- och grundstötningsriskerna i det berörda området. En sådan analys har genomförts med hjälp av det av IALA¹⁵ rekommenderade verktyget IWRAP¹⁶. Inverkan av omdirigeringsåtgärderna, korsande farleder och avstånd från bankarna mm kan då jämföras med nulägesbilden och visa på om, var och vilka olycksrisker som skulle öka eller minska genom alternativa omdirigeringsåtgärder.

Resultaten av IWRAP beräkningarna illustreras med hjälp av trafikflödesbilder där strandnings- och grundstötningsriskerna anges av färgade kustlinjekonturer eller djupkurvor, där en relativ färgskala anger sannolikheten för grundstötning orsakade av navigationsfel (powered grounding) eller av tekniska fel som gör fartyget manöverodugligt (drifting grounding).

Kollisionssannolikheter beräknas separat för; omkörningar (overtaking), frontalkollisioner (head on), korsningar (crossing), farledsknutpunkter (merging), farledskrökar (bend) samt för fartyg, exempelvis fiskefartyg, som inte följer särskilda rutter (area).

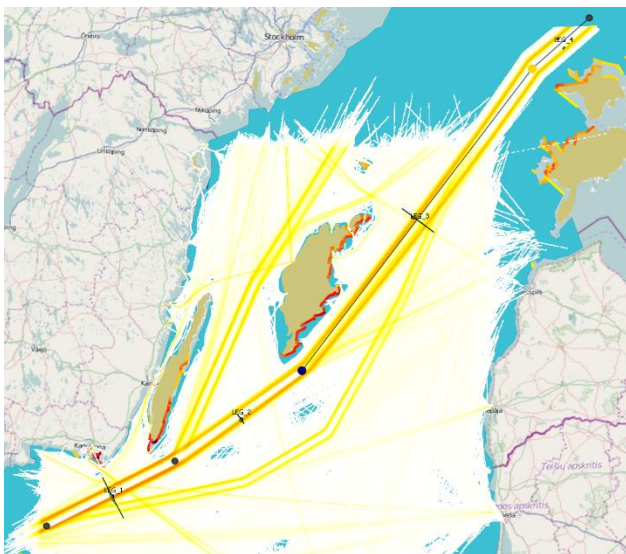
Kvantitativa beräkningsresultat ges även som sannolikhet eller förväntad återkomstperiod för respektive olyckstyper men absoluta tal bör tolkas med försiktighet eftersom riskerna påverkas av en rad olika omständigheter och särskilda lokala förhållanden som inte kan modelleras i detalj. Jämförande analyser mellan olika alternativ, såsom de här analyserade omdirigeringsalternativen, kan dock ge värdefull information om hur de olika alternativen kan påverka olycksriskerna.

3.6.1 Nulägesbild - kollisions- och grundstötningsrisker

I Figur 10, nedan presenteras resultaten av IWRAP-beräkning av kollisions- och grundstötningssannolikhet för nulägesbildens trafiksituation. Av färgskalorna i figuren kan förhöjd grundstötningssannolikhet (rödare nyans) noteras längs Ölands och Gotlands sydöstra kustkonturer jämfört exempelvis med de västra kustkonturerna av Öland, Gotland och de Estländska kustöarna.

¹⁵ IALA, förr: International Association of Lighthouse Administrations. Organ för Navigationsutveckling

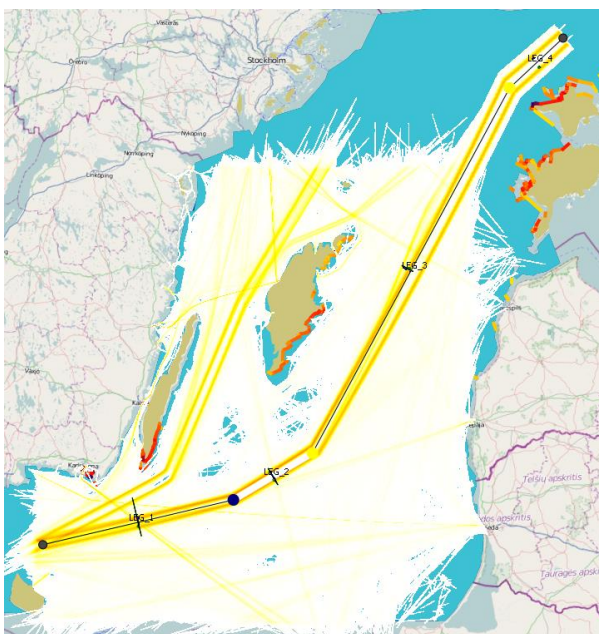
¹⁶ IWRAP, IALA Waterway Risk Assessment Program



Figur 10. Resultat av IWRAP-beräkning av kollision- och grundstötningssannolikhet för nulägesbildens trafiksituation.

3.6.2 Omdirigeringsalternativ 1, djupvattenleden – kollision- och grundstötningssannolikhet

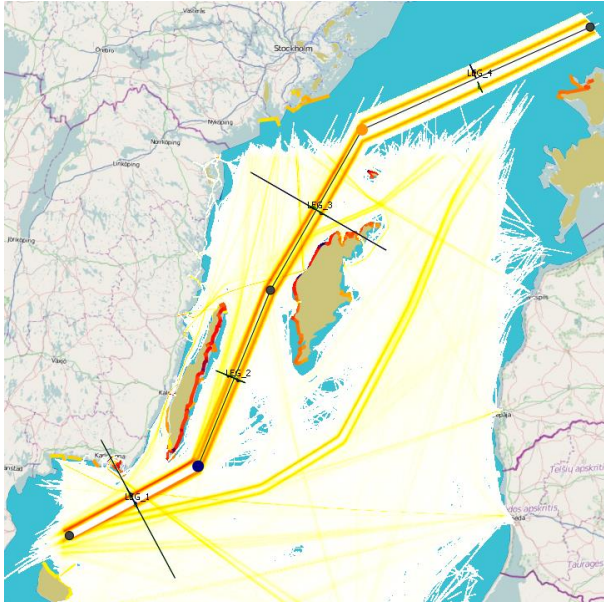
Figur 11, nedan presenterar resultaten av grundstötningssannolikhet för omdirigeringsalternativ 1, djupvattenleden söder om Hoburgs bank. Grundstötningssannolikheterna kring Hoburgs bank på södra Gotland är i detta fall lägre än i föregående fall med nulägesbildens.



Figur 11. Resultat av IWRAP-beräkning av kollision- och grundstötningssannolikhet för omdirigeringsalternativ 1, djupvattenleden.

3.6.3 Omdirigeringsalternativ 2, leden väster om Gotland – kollisions- och grundstötningsrisk

Figur 12, nedan presenterar resultaten av kollisions- och grundstötnings-sannolikhet för omdirigeringsalternativ 2, i vilken dagens trafik norr om Hoburgs bank, omdirigerats till leden väster om Gotland. Av färgskalorna i figuren framgår att sannolikheten för grundstötning vid Hoburgen och längs Gotlands östra kustlinje minskar väsentligt medan den ökar längs den västra kustlinjen samt längs Öland östra kustlinje.



Figur 12. Resultat av IWRAP-beräkning av kollisions- och grundstötnings-sannolikhet för omdirigeringsalternativ 2, leden väster om Gotland.

3.6.4 Jämförande analys av kollisions- och grundstötningsrisker

Det analysområde som omfattas av de ovan presenterade IWRAP-beräkningarna omfattar endast den andel av sjötrafiken i området som berörs av omdirigeringen och de kvantitativa resultat som återges reflekterar därför endast den trafikandel som är föremål för olika omdirigeringsalternativ. Skillnaderna mellan de olika analyserade omdirigeringsalternativen ger dock en vägledande bild av hur de respektive alternativen kan förväntas påverka sannolikheterna för kollisioner och grundstötningar i det aktuella området.

Tabell 6 nedan har beräknade förväntade återkomstperioder för kollisions- respektive grundstötningshändelser sammanställt för nulägesalternativ och för de två omdirigeringsalternativen. Notera att låg sannolikhet motsvaras av ett högt värde på förväntad återkomstperiod.

Tabell 6. Jämförande sammanställning av beräknade förväntade återkomstperioder för grundstöttnings- och kollisionshändelser för nulägesbilden och de analyserade omdirigeringsalternativen.

Förväntad återkomstperiod år	Nulägesbild - Trafik norr om Hoburgs bank	Omdirigerings- alternativ 1 - djupvattenleden	Omdirigerings- alternativ 2 – leden V Gotland
Typ av händelse			
Grundstötning, powered grounding	-	-	13 år
Grundstötning, drifting grounding	18 – 20 år	52 år	3,0 år
Grundstötning, totalt	18 – 20 år	52 år	2,5 år
Kollision, totalt	20 – 26 år	17 år	4,3 år

Som tidigare nämns bör de beräknade kvantitativa sannolikhetsvärden eller återkomstperioderna tolkas med försiktighet, men jämförelser mellan de beräknade värden som sammanställts i

Tabell 6, ovan indikerar att omdirigeringsalternativ 1, ger klart lägre sannolikhet för grundstötningar (högre förväntad returperiod) genom att en stor andel av trafiken omdirigeras till en rutt på större avstånd från grunda områden längs kustlinjerna. Kollisionssannolikheten tycks däremot öka marginellt, vilket indikeras av en förväntad returperiod av 17 år i stället för 20 som anges för nulägesbilden. Omdirigeringsalternativ 2 till leden väst om Gotland, indikeras vara förenad med väsentligt högre värden för grundstöttnings- såväl som kollisionssannolikhet.

Notera vidare att jämförelser av beräknade returperioder för kollisioner kan vara missvisande eftersom endast den omdirigerade andelen av trafiken beaktats och eventuella kollisioner med övriga fartyg i omdirigeringsalternativen därmed underskattats. Generellt sett innebär omdirigering från den nuvarande leden norr om Hoburgen till någon av de idag befintliga mindre trafikerade lederna väster om Gotland eller djupvattenleden söder om Hoburgs bank att det totala antalet farledskorsningar typ merging och crossing minskar och därmed troligen även sannolikheten för kollisioner.

3.7 Utökad konsekvensberäkning – miljövinster relaterade till passageavstånd

Förbättring avseende skyddet av fågelliv och bullerstörning av tumlare på bankområdena avgörs inte primärt av de totala förbruknings- och emissionsnivåerna eller olyckssannolikheter, däremot är effekter kopplade till sjötrafikens passageavstånd från bankarna av största betydelse. I underlagsrapporten (Larsson, 2016) noteras att det finns ett stort mörkertal vad gäller de små s.k. operationella oljeutsläppen som skadar fåglar. Det konstateras i rapporten att; ”En rimlig åtgärd borde därför vara att i största möjliga utsträckning skilja hoten i tid och rum.... dvs. att modifiera

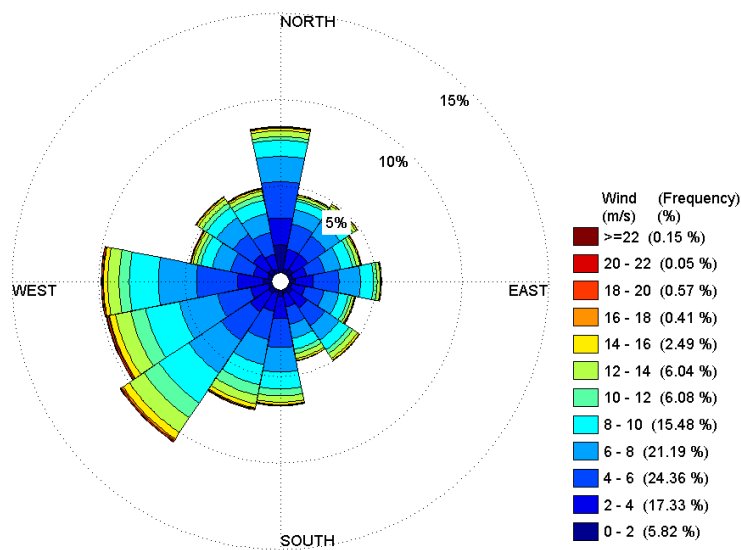
fartygsrutter så att avståndet mellan intensivt nyttjade rutter och känsliga områden ökar.”

Förändringar av passageavstånd för de respektive analyserade rutterna framgår exempelvis av Figur 7. Jämförande kvantitativa beräkningar av möjlig drift av s.k. operationella oljeutsläpp, kan också ge värdefull information om hur risken att olja skall nå de känsliga bankområdena, skiljer sig för de respektive rutterna. Aspekter relaterade till förhärskande vindriktning, avdunstningstid och förväntad drifttid för små begränsade oljeutsläpp bör då särskilt beaktas.

3.7.1 Förhärskande vindförhållanden

Den förhärskande vindriktningen för aktuellt havsområde är enligt observationer vid Hoburg på Gotland mellan sydväst och väst.

SMHI har sammanställt vindstatistik från mätstationen vid Hoburg under lång tid och resultaten redovisas vad gäller riktningsfördelning och vindhastighetsfördelning i en s.k. vindros i Figur 13 nedan. Dessa mätningar bedöms representera de rådande vindförhållandena längs de analyserade ruttalternativen norr respektive söder om Hoburgs bank väl.



Figur 13. Vindros från mätstation Hoburg på södra Gotland. Mätdata från perioden 1939 – aug 2012. Medelvindhastighet 6,2 m/s.

3.7.2 Relativ sannolikhet att operationella utsläpp når Hoburgs bank

I området finns inga dominerande havsströmmar som väsentligt påverkar förflyttning av ett eventuellt oljeutsläpp från en position längs sjötrafikrutterna. Därför bedöms förflyttningen främst avgöras av vindriktning och vindhastighet. Mätningar av hur vinddrift påverkar oljeutsläpp i havet indikerar ofta att drifhastigheten uppgår till storleksordningen 3 % av vindhastigheten (Forsman, 1997). Trots många fall av oljeskadad fågel vid

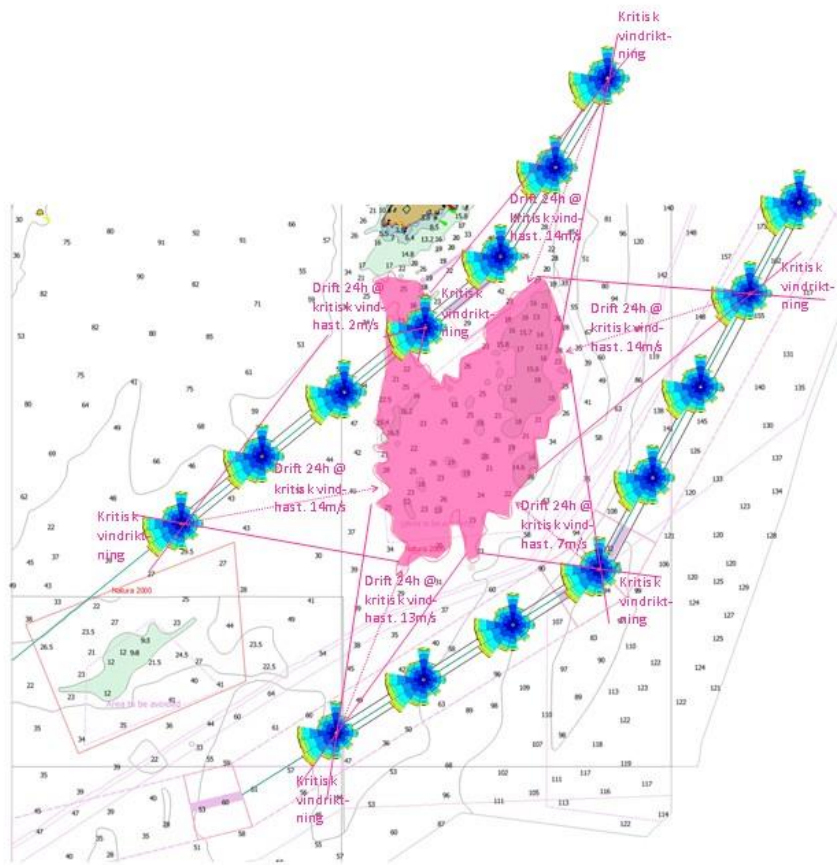
bankarna finns det få observerade och dokumenterade utsläpp från området, vilket antas bero på att små operationella utsläpp också antas avdunsta eller dispergeras tämligen snabbt. Varaktigheten av hur länge ett utsläpp på ytan bedöms kunna vara skadligt för fåglar beror av oljetyp, temperatur och vindförhållanden, men eftersom utsläppen sällan kan observeras är det rimligt att anta att varaktigheten är av storleksordningen något dygn.

Med hjälp av dessa antaganden och data från vindrosen, har en jämförande beräkning utförts för tänkta möjliga operationella utsläpp fördelade längs de respektive rutterna. Beräkningsgången illustreras schematiskt i Figur 14 nedan, där kritiska vindriktningar och avstånd mellan rutten och det känsliga bankområdet identifieras. I varje möjlig utsläppspunkt motsvaras avståndet till områdets rand av en viss minsta kritisk vindhastighet för att oljeutsläppet skall hinna nå området inom den antagna varaktighetstiden (24 h i figuren). Vindrosen ger då för varje kritisk riktning en sannolikhet för att den kritiska vindhastigheten skall överskridas och att olja därmed kan uppträda inom det rosamarkerade känsliga bankområdet.

Av Figur 14 framgår att dagens rutt norr om banken passerar väsentligt närmare, och även igenom det markerade känsliga området. Vid jämförande beräkningar med olika antaganden om utsläppens varaktighet, ger det korta avståndet från rutten norr om banken stort utslag om en kort varaktighet antas. Dominansen av de västliga till sydvästliga vindarna bidrar också till större sannolikhet att olja skall nå bankområdet från rutten norr om banken.

Vid antagandet om 24 h varaktighet, blir den beräknade sannolikheten för att operationella utsläpp från de analyserade ruttavsnitten skall nå bankområdet omkring 10 gånger större från den norra rutten än från den södra. Om varaktigheten istället antas vara 48 h blir skillnaden mindre, men fortfarande omkring 5 gånger större.

Om små operationella oljeutsläpp med begränsad varaktighet, från fartyg som passerar på den etablerade rutten norr om Hoburgs bank, är orsaken till den omfattande fågeldöden, visar beräkningsexemplet att omdirigeringsåtgärder som ökar avståndet mellan sjötrafiklederna och bankarna kan ha goda förutsättningar att förbättra situationen.



Figur 14. Schematisk illustration av beräkningsmodell för jämförelse av sannolikheten att vinddrift av operationella oljeutsläpp når det känsliga bankområdet vid Hoburgs bank. Illustrationen representerar ett fall där ett operationellt utsläpp antas vara kvar på ytan under 24 h. De inlagda små vindrosorna indikerar positionerna av tänkta operationella utsläpp och identifierar vilka vindriktningsintervall som är kritiska för respektive position.

4 Slutsatser

Tillgängliga data från AIS-statistik och övriga fartygsdatabaser ger bra underlag för noggranna sjötrafikanalyser i det berörda havsområdet. Den vektorisering av AIS-data som SSPA utvecklat gör att stora datamängder, inkluderande alla registrerade fartygsrörelser i aktuella farleder kan hanteras med rimliga beräkningstider. Genom detaljerad modellering av havsområdets batymetri och djupprofiler längs de analyserade rutterna i kombination trovärdiga beräkningsmodeller för grundvatteneffekternas inverkan, har jämförande bränsleförbruknings- och emissionsberäkningar presenterats i rapporten.

Av de analyserade och jämförda omdirigeringsalternativen ger det väster om Gotland en lägre total bränsleförbrukning än djupvattenleden söder om Hoburgs bank. Båda omdirigeringsalternativen är längre än dagens rutt norr om Hoburgs bank men förlängningen är något mindre för alternativet väster om Gotland (3,5 %) än djupvattenleden (5,0 %). Den beräknade ökningen av bränsleförbrukningen för omdirigeringsalternativen är mindre än den relativa förlängningen, vilket förklaras av större vattendjup och därmed mindre tilläggsmotstånd orsakat av grundvatteneffekter. Vissa fartyg med stort djupgående kan förväntas få minskad bränsleförbrukning genom att nyttja något av omdirigeringsalternativen.

Om sjötrafiken i de alternativa rutterna skulle kompensera den längre distansen med en högre hastighet för att nå destinationen vid samma tidpunkt som i den i dag nyttjade leden, blir de relativa förbrukningsökningarna större än den relativa förlängningen.

Beräknade kvantiteter av luftförorenade avgaser och växthusgaser liksom uppskattade externa kostnader för dessa, är väsentligen proportionella mot förbrukningen. Uppskattad ökning av de totala bränslekostnaderna står i direkt proportion till förbrukningen och är av likartad storleksordning som förändringarna av externa kostnader.

Omdirigeringsalternativet väster om Gotland är marginellt gynnsammare än djupvattenruten ur förbrukningssynpunkt, men konsekvensberäkningar avseende kollision- och grundstötningsrisker indikerar att djupvattenleden är klart fördelaktigare vad avser olycksrisker. Genom att samla trafiken från lederna norr och söder om Hoburgs bank till en led i den befintliga djupvattenleden, minskas antalet farledskorsningar och kollisionsriskerna kan förväntas minska jämfört med dagens situation. Kollisionsolyckor kan potentiellt leda till mycket stora oljeutsläpp och omfattande miljöskador.

Den alarmerande situationen med omfattande fågeldöd vintertid vid utsjöbankarna anses ofta vara kopplad till små operationella oljeutsläpp. Redovisade beräkningsexempel från Hoburgs bank och vindens förväntade påverkan av operationella utsläpp, styrker att omdirigeringsåtgärder som ökar

avståndet mellan sjötrafiklederna och bankarna kan ha goda förutsättningar att förbättra situationen.

5 Referenser

- Andersson, K. S.-B. (2016). *Shipping and the Environment - Improving Environmental Performance in Marine Transportation*. Springer.
- AquaBiota, C. J. (2016). *Skyddsvärda områden för tumlare i svenska vatten*. AquaBiota. Report 2016:04.
- ASEK6.0. (2016). *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6.0, 2016-04-01*. Trafikverket.
- Brynolf, S. (2014). *Environmental assessment of Present and Future Marine Fuels*. Gothenburg: Chalmers University of Technology .
- Forsman, B. (1997). *Oljan är lös - Handbok i kommitté oljeskyd. Statens Räddningsverk. R61-158/97*.
- Helcom. (2016). *HELCOM Baltic Sea Clean Shipping Guide 2016*. 26.8.2016.
- IMO. (2005). *COLREG.2/Circ.56,6 December. New and amended traffic separation scheme*.
- IPCC. (2014). *IPCC AR5 GWP10. Intergovernmental panel on climate change, Fifth assessment report, GWP10*. WHO, UNEP.
- ITTC. (u.d.). *ITTC Fresh Water and Seawater Properties*. Hämtat från <http://itc.info/downloads/Archive%20of%20recommended%20procedures/2011%20Recommended%20Procedures/7.5-02-01-03.pdf>
- ITTC. (u.d.). *ITTC Recommended Procedures*. Hämtat från <http://itc.info/downloads/Archive%20of%20recommended%20procedures/2002%20Recommended%20Procedures/7.5-02-03-01.4.pdf>
- Kristensen, H. O. (u.d.). *Shipowners DK*. Hämtat från https://www.shipowners.dk/services/beregningsvaerktoejer/download/basic_model_linkarea_link/163/wp-2-report-4-resistance-and-propulsion-power.pdf
- Larsson, K. (2016). *Sjöfartoch naturvärden vid utsjöbankar i centrala Östersjön*. Havs- och vattenmyndigheten. Rapport 2016:24.
- MAN. (u.d.). *MAN Marine Engines & Systems*. Hämtat från <https://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/propeller-aftship/basic-principles-of-propulsion.pdf?sfvrsn=0>
- MEPC. (66/21). *2014 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for SHIPS*. IMO, Resolution MEPC.245(66). 66/21/Add.1, Annex 5. 4 April 2014.
- NV_05874_15. (2016). *Hemställan om utpekande av Natura 2000-områden för tumlare*. Naturvårdsverket, 2016-11-10.
- Ricardo. (2014). *Ricardo-AEA/R/ ED57769, Update of the Handbook on External Costs of Transport*. 2014-01-08 .

Ship_and_bunker. (2017). *Statistics retrieved from:*
<http://shipandbunker.com/prices/emea/nwe>.

TS. (2013). *Traffic Separation Schemes, 2013-05-22*. Transportstyrelsen, Sektionen för sjötrafik och flygplatser.

TSFS_2009:44. (u.d.). *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om sjövägsregler, TSFS 2009:44.*

TSFS_2010:157. (u.d.). *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om ruttsystem och andra av IMO särskilt beslutade sjötrafikregler. TSFS 2010:157.*

Bilaga 1

AIS-registreringar 2015 – statistik

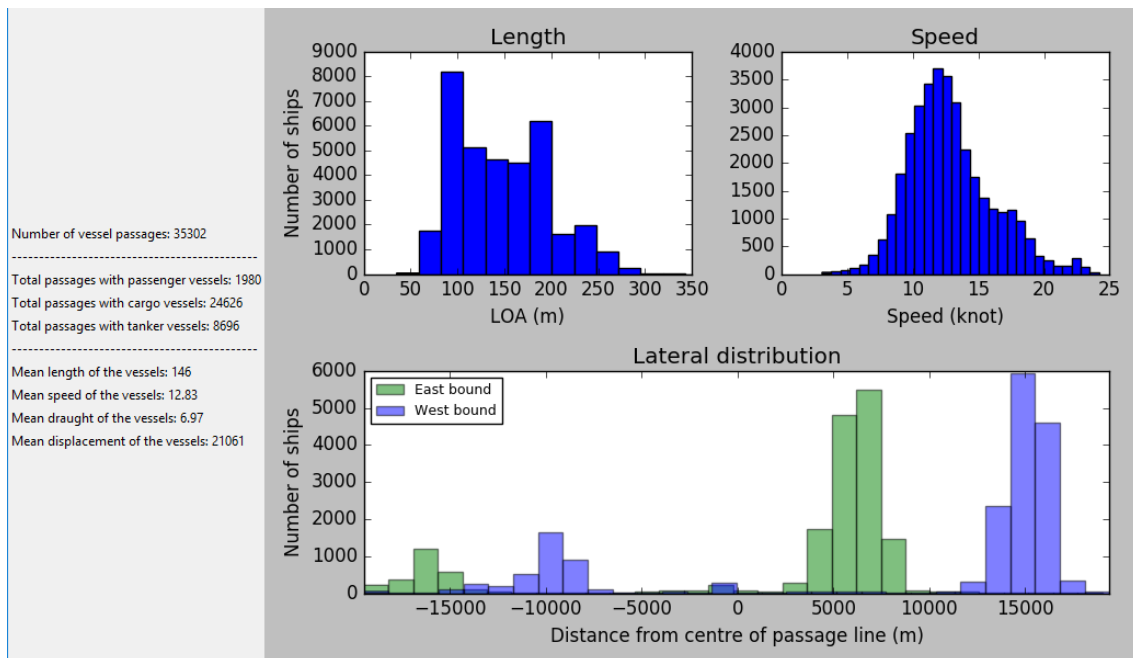
Passagestatistik 2015 över respektive definierad passagelinje. Uppdelat per fartygskategori och fartygsstorlek angivet av längdintervall (Längd över allt, LoA [m]).

Passagelinje 1								
		Total					35 299	
Längdintervall, m	-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250+	Summa	
Passenger	0	5	9	1 053	670	240	1 977	
Cargo	3	7 383	7 803	7 160	2 241	36	24 626	
Tanker	2	659	3 060	3 197	1 113	665	8 696	
Passagelinje 2 Djupvattenleden								
		Total					5 253	
Längdintervall, m	-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250+	Summa	
Passenger	0	0	1	4	4	23	32	
Cargo	1	252	169	729	912	24	2 087	
Tanker	1	47	197	1 428	943	518	3 134	
Passagelinje 3 Norr om bankarna								
		Total					16 961	
Längdintervall, m	-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250+	Summa	
Passenger	0	2	4	163	510	97	776	
Cargo	1	3 830	3 832	3 929	1 118	1	12 711	
Tanker	0	253	1 487	1 504	141	89	3 474	
Passagelinje 4 Väster om Gotland								
		Total					11 216	
Längdintervall, m	-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250+	Summa	
Passenger	0	3	6	44	104	119	276	
Cargo	0	3 063	3 661	2 294	133	6	9 157	
Tanker	0	316	1 305	140	13	9	1 783	
Passagelinje 5								
		Total					4 605	
Längdintervall, m	-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250+	Summa	
Passenger	0	1	0	123	7	21	152	
Cargo	2	1 562	1 248	415	197	1	3 425	
Tanker	0	78	511	371	48	20	1 028	
Passagelinje 6								
		Total					12 071	
Längdintervall, m	-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250+	Summa	
Passenger	0	1	4	37	500	42	584	
Cargo	2	2 135	2 589	3 472	910	0	9 108	
Tanker	0	166	954	1 105	85	69	2 379	

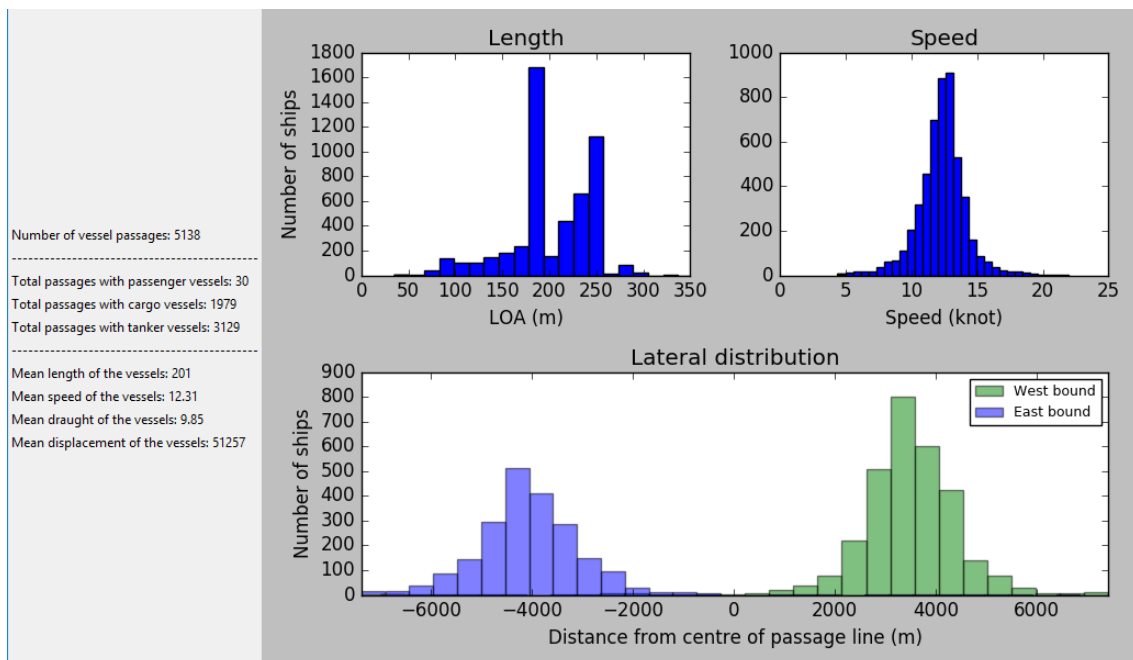
Passagelinje 7							
		Total					
		4 577					
Längdintervall, m	-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250+	Summa
Passenger	0	0	1	3	5	16	25
Cargo	0	101	150	599	794	20	1 664
Tanker	0	33	155	1 274	872	554	2 888
Passagelinje 8							
		Total					
		6 504					
Längdintervall, m	-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250+	Summa
Passenger	0	3	5	34	12	83	137
Cargo	0	1 493	2 431	1 486	92	6	5 508
Tanker	0	103	680	73	3	0	859
Passagelinje 9							
		Total					
		1 802					
Längdintervall, m	-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250+	Summa
Passenger	0	6	1	14	95	5	121
Cargo	8	460	561	550	14	0	1 593
Tanker	0	53	66	2	0	0	121
Passagelinje 10 Hoburgen – Hoburgs bank							
		Total					
		16 155					
Längdintervall, m	-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250+	Summa
Passenger	0	2	4	153	474	99	732
Cargo	1	3 742	3 647	3 690	1 052	1	12 133
Tanker	0	245	1 409	1 424	134	78	3 290

Passagestatistik 2015, histogram för passagelinjerna 1-10: Antal fartygspassager för respektive längdintervall, registrerad passagehastighet och laterala passageavståndet från de respektive passagelinjernas mittpunkt.

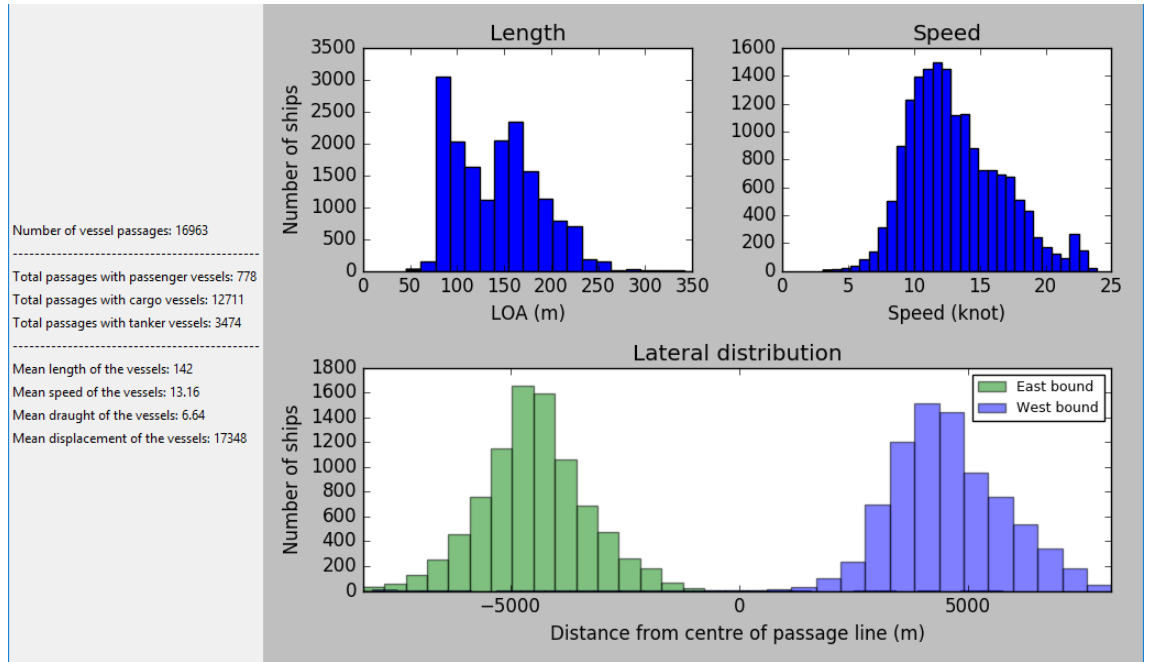
Passagelinje 1



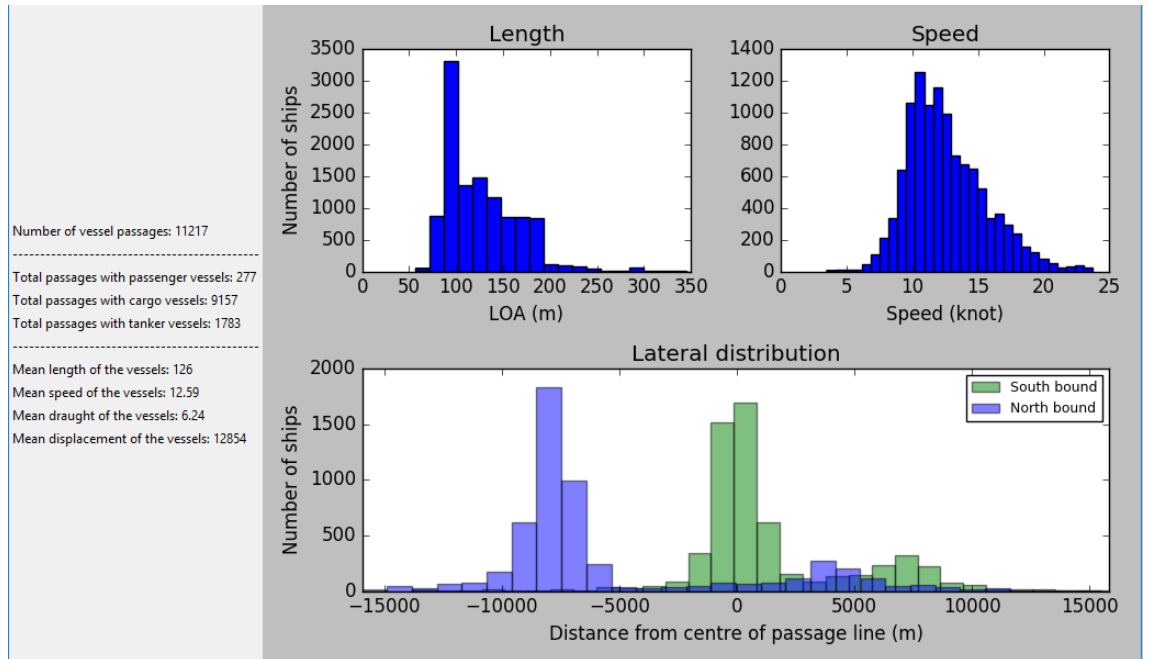
Passagelinje 2



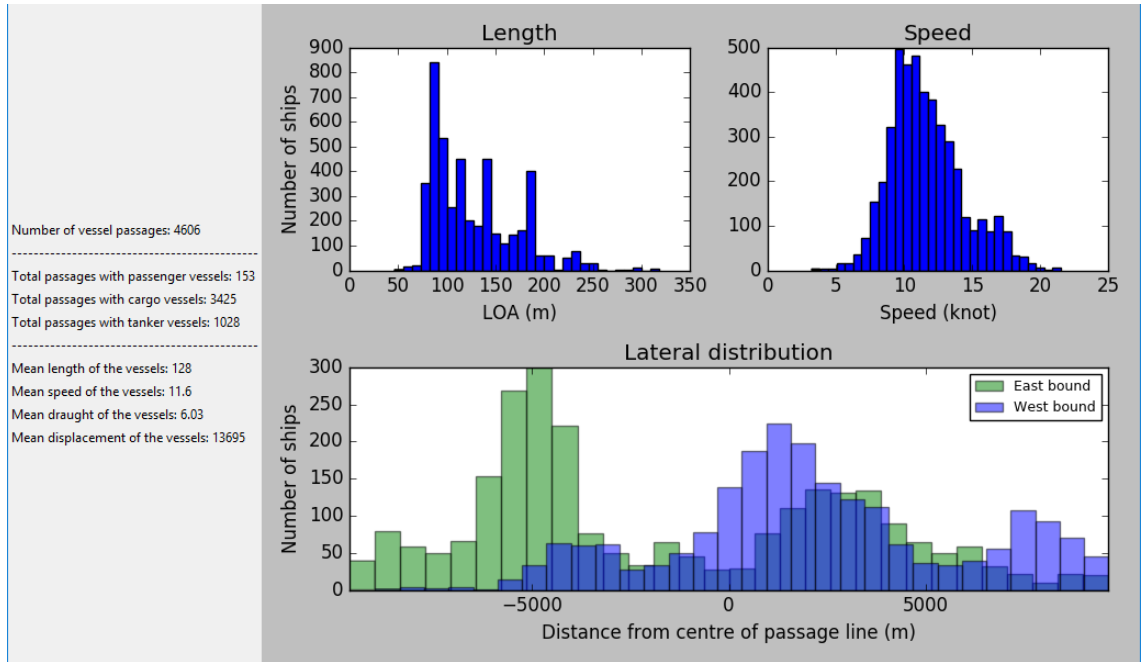
Passagelinje 3



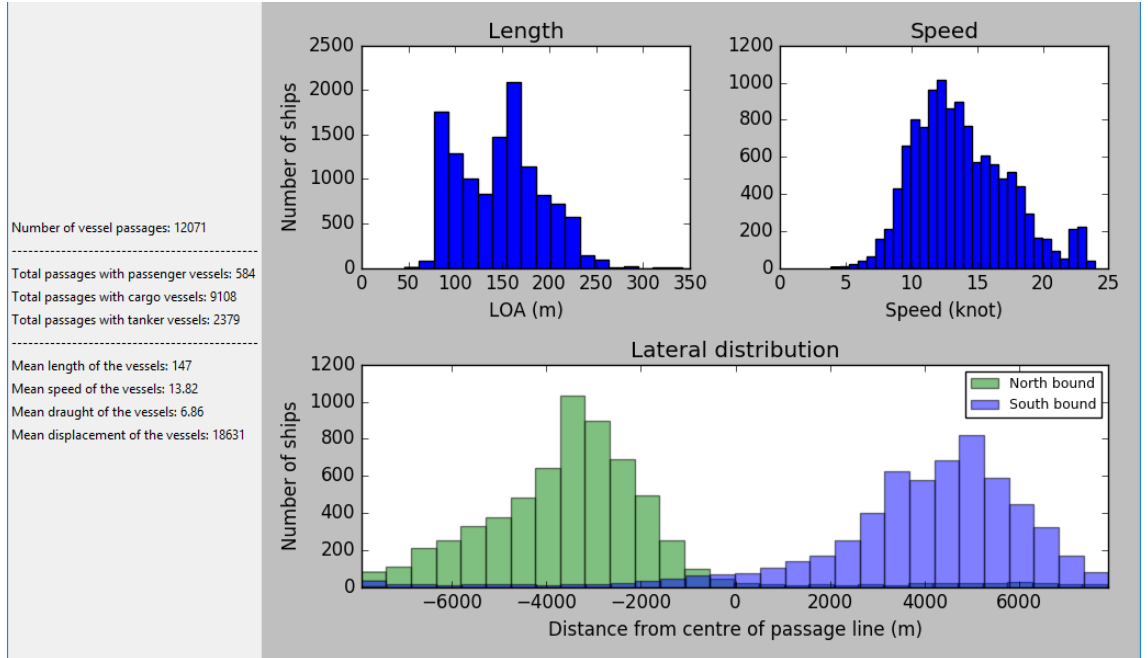
Passagelinje 4



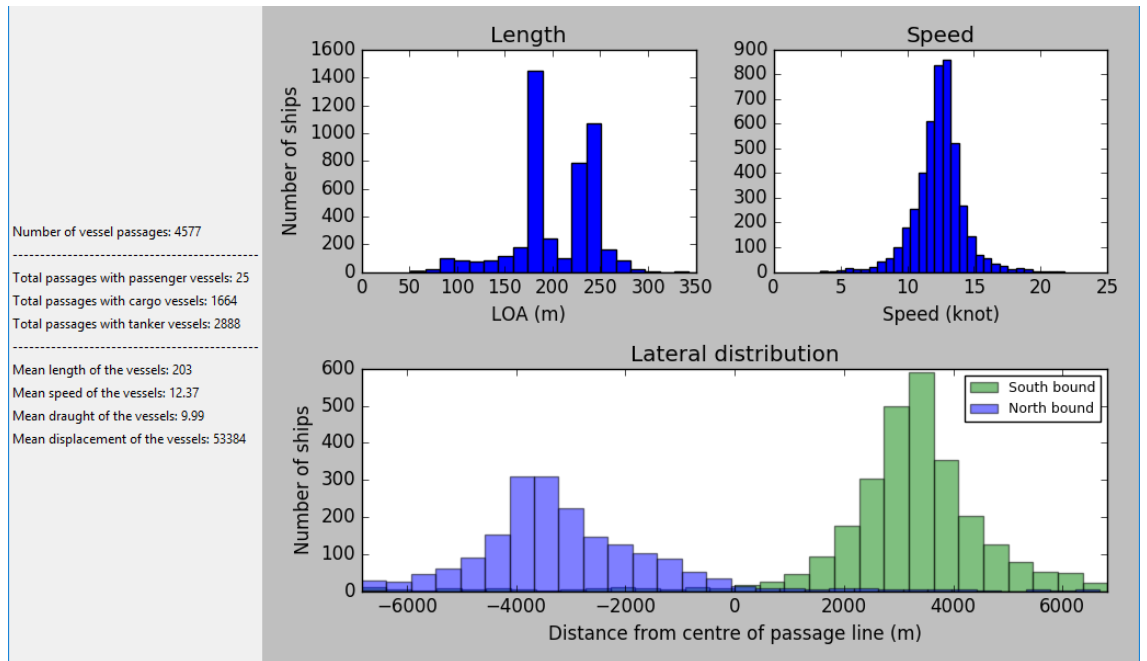
Passagelinje 5



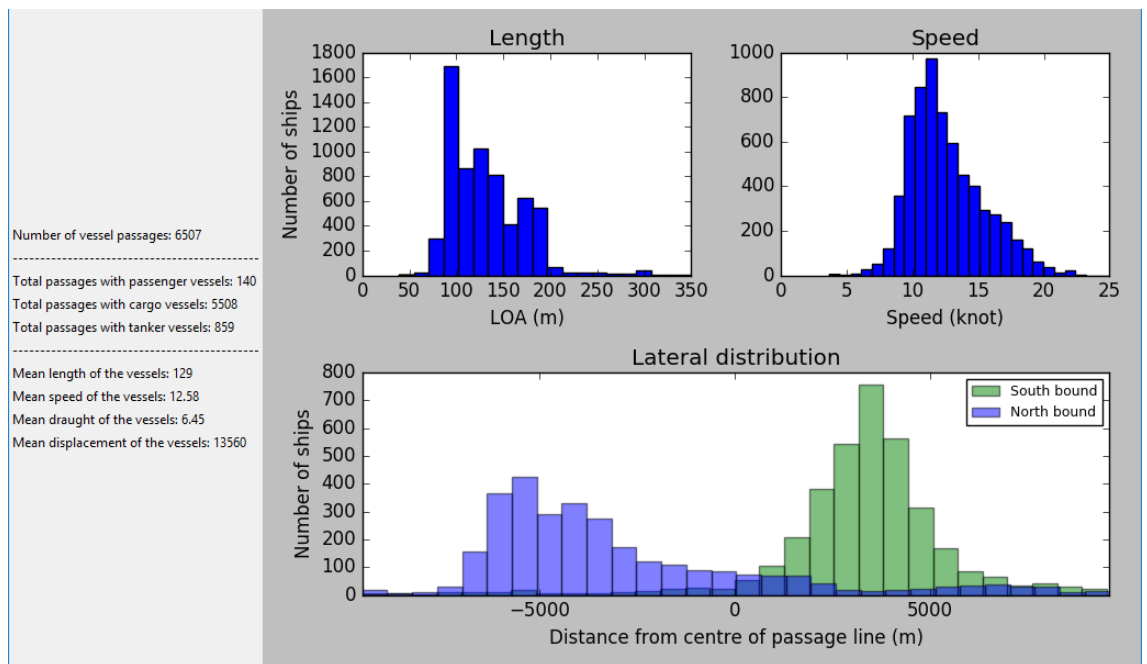
Passagelinje 6



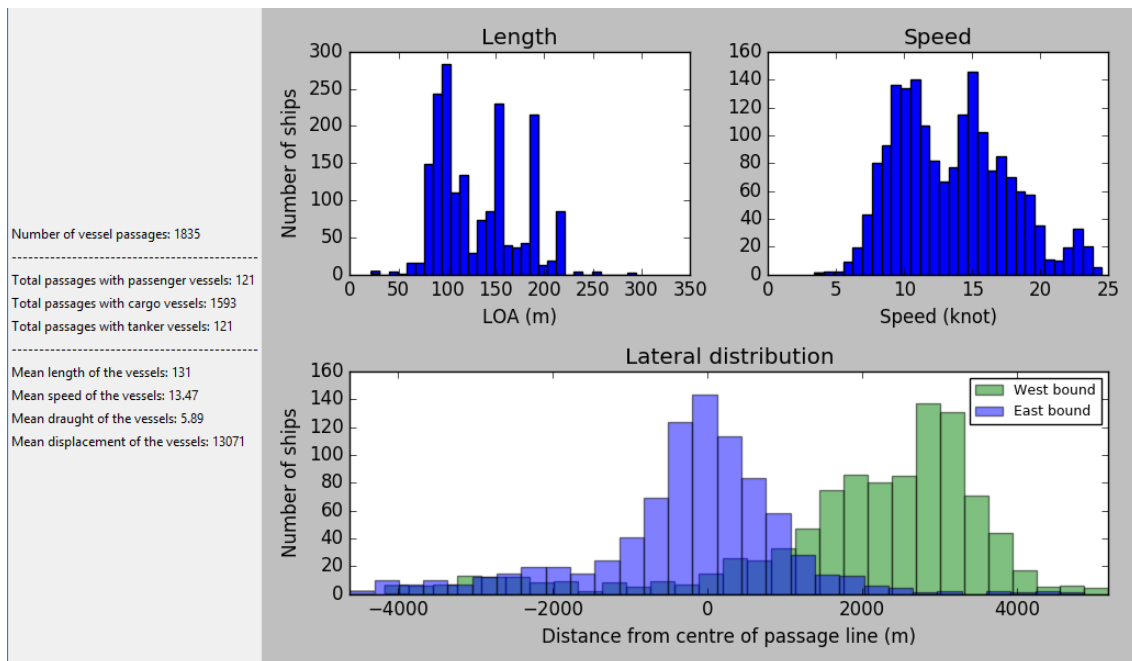
Passagelinje 7



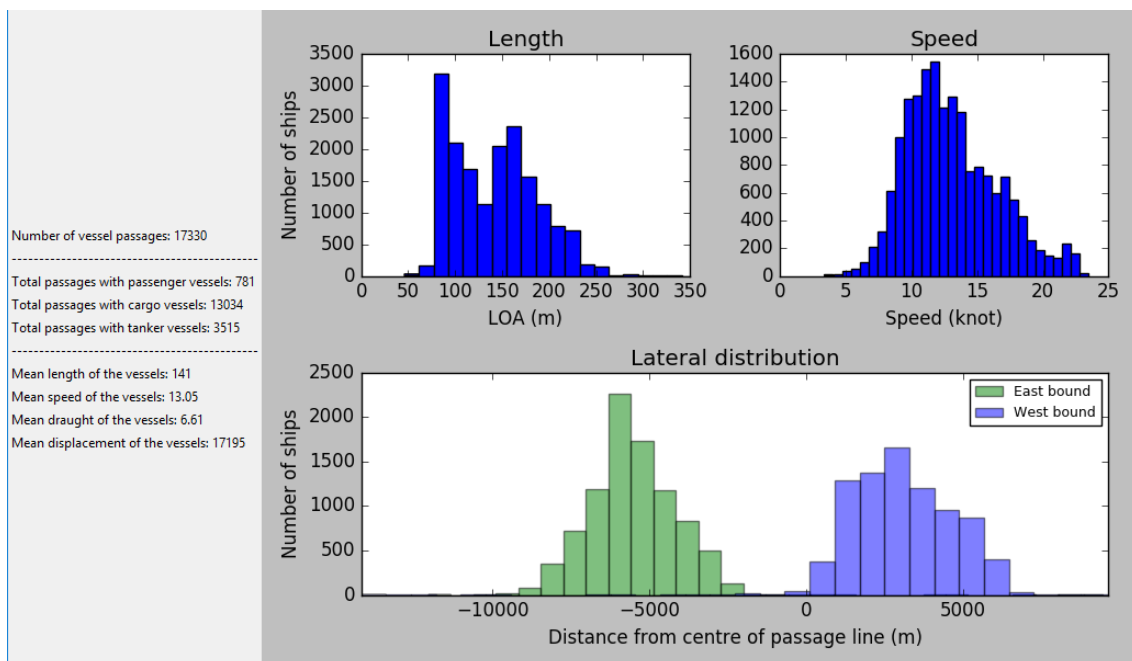
Passagelinje 8



Passagelinje 9



Passagelinje 10



Bilaga 2

Beräkning av framdrivningsmotstånd och energibehov enligt ITTC 57 för djupt vatten

Framdrivningsmotståndet R , för fartyg i djupt stilla vatten beräknas enligt ITTC 57 (ITTC, ITTC Recommended Procedures) med vattenegenskaper enligt ITTC (ITTC, ITTC Fresh Water and Seawater Properties) samt med Denny-Mumfords metod för beräkning av våt yta S . För här redovisade beräkningar har S förenklat beräknats utifrån fartygets dimensioner och blockkoefficienten c_b .

R: Resistance

ρ : Water density

v: Speed

S: Wetted surface

C_T : Resistance coefficient

$$R = \frac{1}{2} \rho * v^2 * S * C_T$$

Motståndskoefficienten beräknas utifrån residualmotståndskoefficienter enligt (ITTC, ITTC Recommended Procedures). Reynoldstalet bestäms av fartygets hastighet och längd.

R_n : Reynolds number

$$C_F = \frac{0.075}{(\log(R_n) - 2)^2}$$

$$C_R = C_F * 0.2$$

$$C_A = 0.0004$$

$$C_T = C_R + C_F + C_A$$

Det beräknade motståndet omräknas till en erforderlig släpenergi som behövs för en given distans enligt:

E_h : Hull energy

d: Distance

$$E_h = R * d$$

För att få fram det verkliga energibehovet måste även totalverkningsgraden beaktas. Den bestäms utifrån produkten av propeller-, skrov- och

transmissionsverkningsgraden och är i här redovisade beräkningar antagen vara 0,6, baserat på tabellvärden enligt (MAN) och (Kristensen).

För att uppskatta bränsleförbrukning och avgasemissioner måste även fartygets motors verkningsgrad beaktas. Praktiskt taget alla de registrerade fartygspassagera sker med fartyg som drivs av marina dieselmotorer av varierande storlek och vars verkningsgrader kan variera beroende på typ, storlek, ålder, driftförhållande mm. För den här aktuella fartygsflottan bedöms värdet 0,4 vara ett representativt värde. Multiplicerat med den ovan antagna verkningsgraden för propeller, skrov och transmission blir den totala verkningsgraden då 0,24.

Som framgår ovan är den uppskattade genomsnittliga totalverkningsgraden förenad med osäkerhet vilket medför att beräknade absolutvärden av energibehov och förbrukningar bör tolkas med försiktighet, men för de aktuella jämförelserna mellan rutten norr om Hoburgs bank och de analyserade omdirigeringsalternativen, bedöms noggrannheten vara fullt tillräcklig.

Beräkningarna gäller stilla djupt vatten och för att göra realistiska uppskattningar av energi- och bränsleförbrukning används vanligen även ett schablon tillägg, s.k. sjömarginal eller sea margin för att ta hänsyn till inverkan av vågor och vind vid verklig operationell drift av fartyget. Totalt energibehov beräknas då enligt exemplet nedan, med en sjömarginal av 15 %.

E: Total energy

$$\eta: \text{Total efficiency} = 0.24$$

$$m: \text{Sea Margin} = 0.15$$

$$E = \left(\frac{E_h}{\eta} \right) * (1 + m)$$

I de i denna rapport redovisade beräkningarna har ingen sjömarginal räknats in ($m=0$) vid beräkning av bränsleförbrukning och emissioner. Detta bedöms inte påverka den jämförande analysen men det kan inte uteslutas att en detaljerad statistisk metrologisk jämförelse mellan de olika omdirigeringsalternativen skulle indikera viss skillnad av relevanta sjömarginalvärden.

För kvantitativ beräkning av den totala bränsleförbrukningen i ton, måste även bränslets specifika energiinnehåll beaktas. Eftersom Östersjön sedan 2015 är ett SECA-område används praktiskt taget (undantaget fartyg som drivs med LNG eller är utrustade med skrubberanläggning) endast dieselbränslen med 0,1 % svavel. Dessa kan vara MGO (Marine Gas Oil) eller olika typer av tjockolja eller blandningar med låg svavelhalt, ULSFO (Ultra Low Sulphur Fuel Oil).

F: Fuel

$$\begin{aligned} \rho_F: \text{Specific energy, Heavy Fuel Oil, HFO and ULSFO} \\ = 40,5 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}} \end{aligned}$$

$$\rho_F: \text{Specific energy, Marine Gas Oil, MGO} = 43 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}}$$

$$F = \frac{E}{\rho_F}$$

I den aktuella analysen antas att fördelningen mellan användning av ULSFO och MGO är lika, dvs. hälften av förbrukningen sker med respektive bränsletyp.

Omdirigeringsanalys av sjöfart kring Hoburgs bank och Midsjöbankarna

Underlag inom svensk havsplanering

Inom svensk havsplanering övervägs en omdirigering av fartygsrörelser i centrala Östersjön för att minska skadorna från sjöfart på hotade bestånd av sjöfågel och tumlare. Det måste vara klarlagt vilka ekonomiska och utsläppsmässiga konsekvenser en sådan åtgärd skulle medföra. Denna rapport omfattar en detaljerad analys av dagens sjötrafik med beräkningar av förbrukning och emissioner samt jämförelser med scenarion där sjötrafiken omdirigerats för att minska miljöbelastningen på bankarna.

Havs- och vattenmyndighetens rapport 2017:11
ISBN 978-91-87967-59-7

Havs- och vattenmyndigheten
Postadress: Box 11 930, 404 39 Göteborg
Besök: Gullbergs Strandgata 15, 411 04 Göteborg

Tel: 010-698 6000
www.havochvatten.se