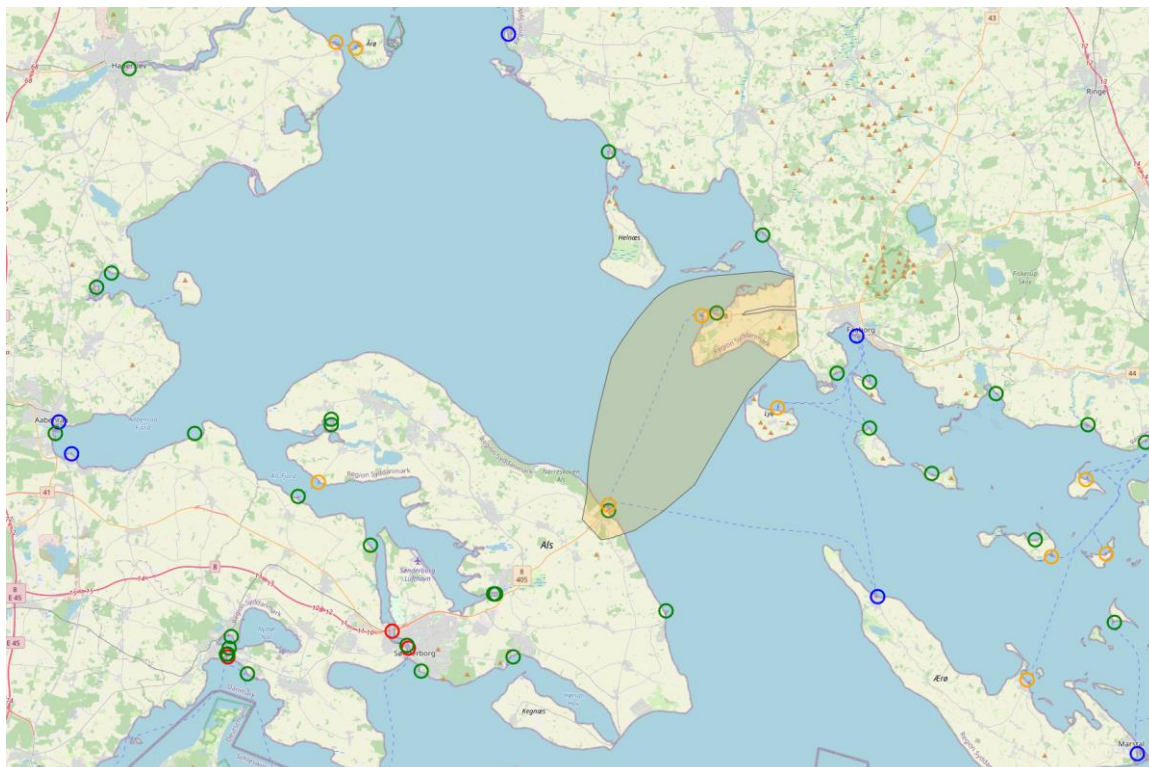


Til  
**Sund og Bælt**

Dokumenttype  
**Teknisk rapport**

Dato  
**December, 2022**

# ALS-FYN TEKNISK FORUNDERSØGELSE SEJLADSANALYSE



# ALS-FYN TEKNISK FORUNDERSØGELSE SEJLADSANALYSE

Projekt navn **Forundersøgelse – Als-Fyn**  
Projekt nr. **1100052138**  
Modtager **Nis Nonboe Andersen**  
Dokumenttype **Teknisk rapport**  
Version **3.0**  
Dato **2022-12-22**  
Udarbejdet af **MASOE**  
Kontrolleret af **TOKJ**  
Godkendt af **TOKJ**  
Beskrivelse **Teknisk rapport vedr. sejlads og skibstrafik**

Rambøll  
Hannemanns Allé 53  
DK-2300 København S

T +45 5161 1000  
<https://dk.ramboll.com>

## INDHOLD

<b>1.</b>	<b>Indledning</b>	<b>3</b>
1.1	Ophav til rapporten og baggrund	3
1.2	Placering af undersøgelsesområdet	3
1.3	Rapportens opbygning	3
<b>2.</b>	<b>Farvandet af interesse</b>	<b>4</b>
2.1	Farvandet det sydlige Lillebælt	4
2.2	Havne i området	5
2.2.1	Færgehavne	6
2.2.2	Erhvervshavne	6
2.2.3	Lystbådehavne	6
<b>3.</b>	<b>Skibstrafikken i området</b>	<b>7</b>
3.1	Trafiktæthedskort	8
3.2	Trafiktælling på passagelinjer	9
3.2.1	Trafik igennem undersøgelsesområdet	9
3.2.2	Rute vest om Søndre Stenrøn	10
3.2.3	Rute øst om Søndre Stenrøn	11
3.2.4	Sammenligning med trafikken i 2018	12
3.2.5	Militære fartøjer i området	13
<b>4.</b>	<b>Vurdering af gennemsejlingsmuligheder</b>	<b>14</b>
4.1	Antal gennemsejlingsfag	14
4.1.1	Fortsat færgetrafik mellem Fynshav og Ærø	15
4.2	Gennemsejlingsfagenes højde på en broforbindelse	16
4.2.1	Det sydlige gennemsejlingsfag	17
4.2.2	Det nordlige gennemsejlingsfag	18
4.3	Gennemsejlingsbredde	19
4.3.1	Det sydlige fag	19
4.3.2	Det nordlige fag	19
<b>5.</b>	<b>Kollisionslaster</b>	<b>21</b>
<b>6.</b>	<b>Forslag til yderligere studier</b>	<b>24</b>
6.1	Kritiske møder sydlige fag	24
6.2	Kritiske møder nordlige fag	24
6.3	Antallet af lystsejlere:	24
6.4	Højden af lystfartøjer og landfastning på Fyn-siden:	24
6.5	Fremtidig trafik til og fra Lillebælt	24
6.6	Vurdering af kollisionsfrekvenser og risikoanalyse	25
<b>7.</b>	<b>Konklusioner</b>	<b>26</b>
<b>8.</b>	<b>Referencer</b>	<b>27</b>

## APPENDIX

### Appendix A

Tabel med fordelinger af skibstrafikken

## 1. INDLEDNING

### 1.1 Ophav til rapporten og baggrund

Rambøll gennemfører for Sund og Bælt en teknisk forundersøgelse vedr. en mulig fast forbindelse mellem Als og Fyn, den såkaldte Als-Fyn-forbindelse. Denne rapport behandler sejladsikkerhedsmæssige aspekter omkring en fast forbindelse baseret på en analyse af skibstrafikken i området.

Rapporten tager udgangspunkt i den tidligere screening fra 2019 omhandlende Als-Fyn-forbindelsen /1/ og forundersøgelser vedr. Kattegatforbindelsen /2/. Til analysen benyttes skibstrafikdata i form af AIS (Automatic Identification System) data fra Søfartsstyrelsen /3/ for år 2021. Ifølge den Internationale Maritime Organisation /14/ skal alle fartøjer større end 300 brutto tonnage (BT) på internationale rejser, alle fragtskibe fra 500 BT på nationale rejser, og alle passagerskibe, have en AIS sender ombord. Dermed giver AIS data et godt indtryk af særligt den kommercielle trafik. Da der ikke er krav til lystsejlere om at have AIS ombord, betyder det, at antallet af lystsejlere i et givent område er et mørketal. Derudover er der ikke krav om, at militærskibe har tændt for deres AIS-transmitter, og der vil derfor kunne være militærskibe, som ikke fremgår af datasættet. Slutteligt bør nævnes at der er også gjort brug af opslag i den Danske Havnelods /4/. Anvendelsen af et helt års AIS data vurderes i udgangspunkt at være tilstrækkeligt for en deskriptiv trafikanalyse i området og giver således et retvisende indtryk af trafikken.

### 1.2 Placering af undersøgelsesområdet

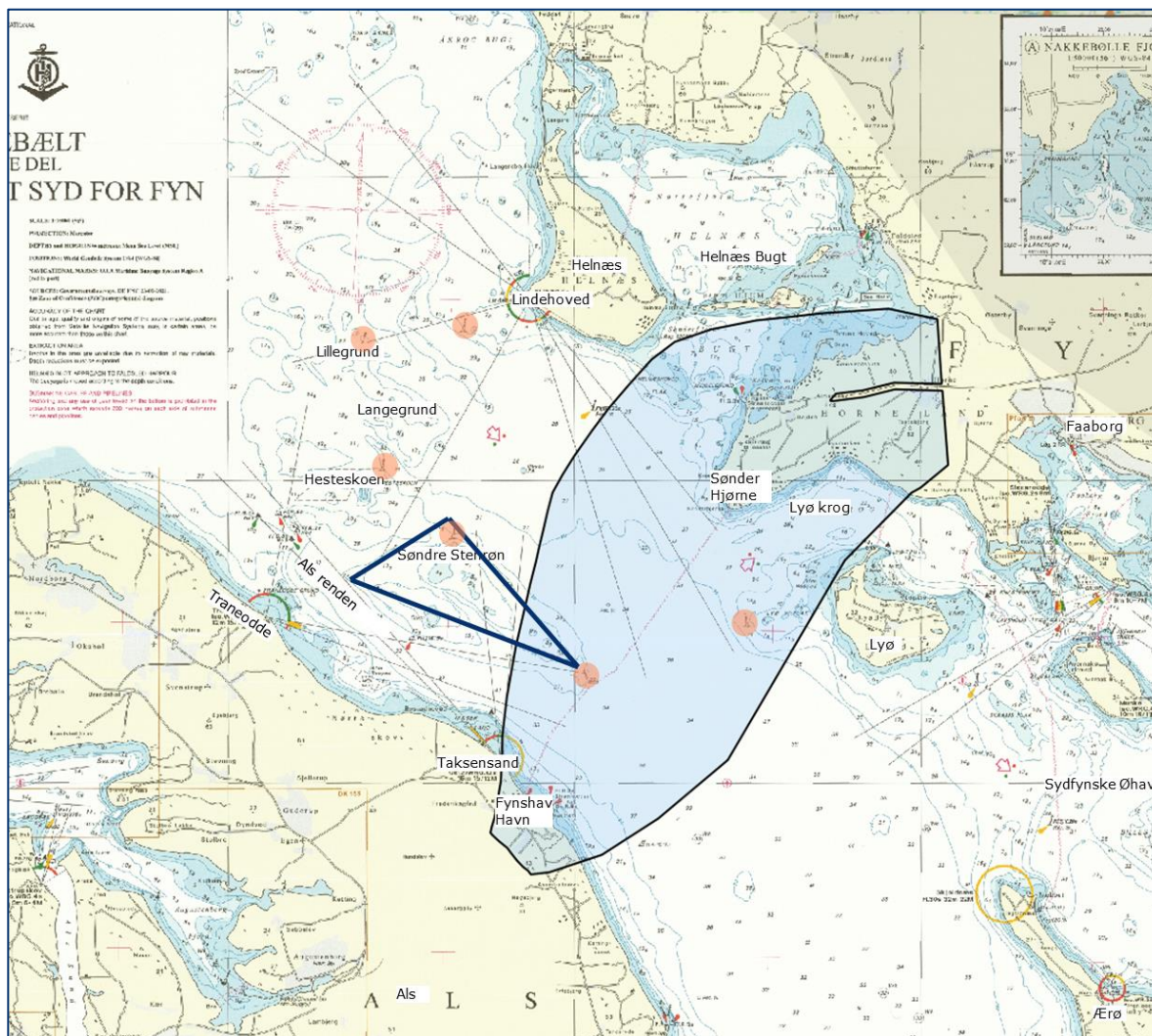
Der er udpeget et undersøgelsesområde, i hvilket der skal beskrives et antal løsningsmodeller (anlægstekniske løsninger samt korridor). Tages udgangspunkt i den korteste rute igennem undersøgelsesområdet bliver længden af korridoren omkring 11 km og går fra Fynshav på Als til Sønderhjørne ved Horne Næs på Fyn.

### 1.3 Rapportens opbygning

Rapporten er opbygget med en indledende beskrivelse af farvandet af interesse i afsnit 2. Derefter indeholder afsnit 3 en detaljeret beskrivelse af skibstrafikken i området, hvorefter afsnit 4 indeholder en indledende vurdering af behov for gennemsejlingsmuligheder under forudsætning af at al trafikken i området skal tilgodeses. Herunder behov for frihøjder, gennemsejlingsbredder og dybgang. I afsnit 5 indikeres kollisionslaster for repræsentative skibe i området, og afsnit 6 beskriver forslag til yderligere, uddybende studier. Anbefalinger til foreløbige designforudsætninger er opsummeret i afsnit 7.

## 2. FARVANDET AF INTERESSE

Når farvandet af interesse udpeges, tages udgangspunkt i undersøgelsesområdet, der ses på Figur 2-1.



Figur 2-1: Søkort for farvandet af interesse. Undersøgelsesområdet er indrammet med en sort streg og svagt blålig farve. De orange cirkler angiver bølger, der markerer områder med lav vanddybde. Der er indsat stednavne der benyttes i teksten.

### 2.1 Farvandet det sydlige Lillebælt

Løsningsmodellerne vil gå på tværs af det sydlige Lillebælt. Dette farvand møder mod øst det Sydfynske Øhav, der afskærmes fra Østersøen af de større øer Ærø og Langeland. Mod vest er Åbenrå Fjord hvor Åbenrå Havn og Ensted Olieterminal ligger, og som giver adgang til Als Fjord og Als Sund med Sønderborg by beliggende på begge sider. Fra Als Fjord er der adgang til Augustenborg Fjord.

Sejles sydpå ud af Lillebælt kommer man til den vestlige ende af Østersøen med Flensborg Fjord og adgang til Kieler Kanalen. Sejles mod nord kommer man igennem den snævre del af Lillebælt

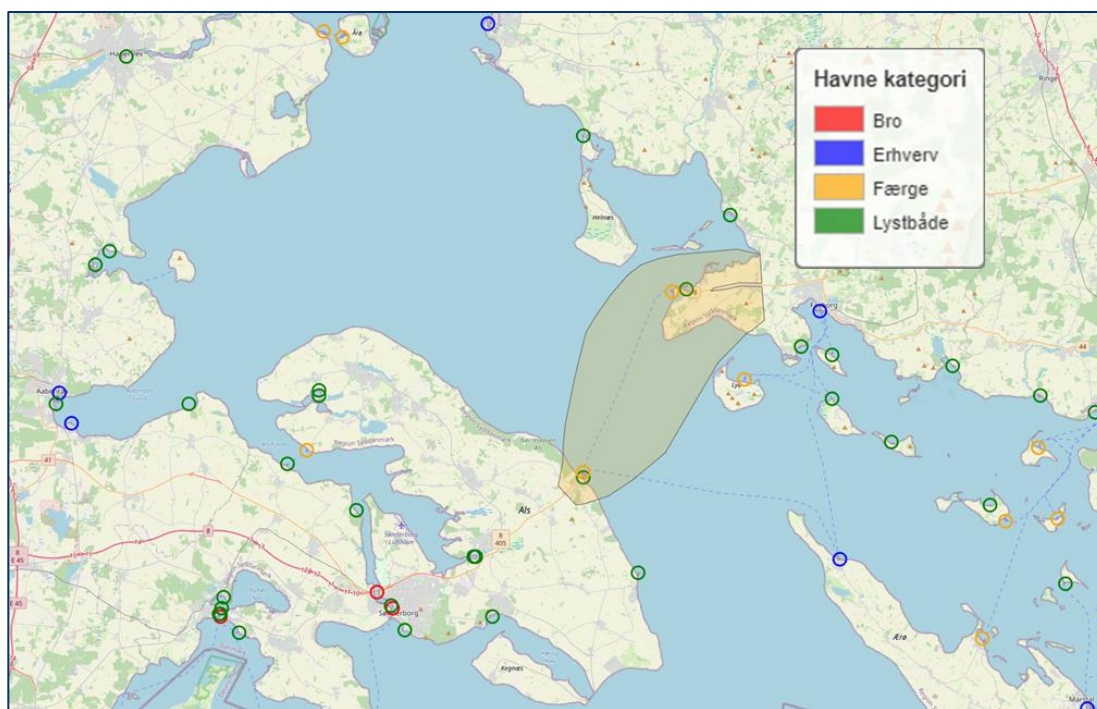
med adgang til Haderslev og Kolding fjord. Videre mod nord passerer man under Gamle hhv. Nye Lillebæltsbro efterfulgt af havnene i hhv. Middelfart og Fredericia.

Syd for undersøgelsesområdet er der rigeligt dybde, over 20 m, så selv skibe med stor dybgang kan sejle her. På den nordlige side af undersøgelsesområdet ligger et lavvandsområde, Søndre Stenrøn, hvor dybden falder til omkring 4,4 m. Området er markeret med hhv. en nord- og syd kompasafmærkning, for skibe der sejler øst om området. Skibe sejlede på den vestlige side ledes igennem området af Taksensand og Traneodde fyr, samt et rød-grønt bøjesæt. På søkortet er området markeret med en trekant. Akkurat nord for forefindes igen et lavvandsområde kaldet Hestekoer, der betyder at sejlads øst om Søndre Stenrøn skal holde sig øst for markeringen. Skibe gående vest om Søndre Stenrøn skal følge den markerede sejlrende. I det følgende benævnes ruten vest om som Søndre Stenrøn for Als rende; se Figur 2-1. Tilstedeværelsen af lavvandsområderne betyder, at skibstrafikken fra syd mod nord, vil finde forskellige veje afhængig af de enkelte skibes destination. Skibe fra syd med destination i Åbenrå Fjord eller med dybgang på mere end 6,5 m vil sejle vest igennem Als renden, mens øvrige kan sejle øst om området. Skibe, der sejler ud af Åbenrå Fjord mod syd eller nord, skal flette sammen med den øvrige nord-syd gående trafik i Lillebælt.

Sejlads videre nordpå op igennem Lillebælt er mulig. Således vil der være farvandsruter til havnene i Assens, Haderslev og Kolding, samt til Skærbækværket.

## 2.2 Havne i området

Langs kysterne i Lillebælt omkring Als og det Sydfynske Øhav er adskillige broer og havne placeret. I Figur 2-2 nedenfor er vist placeringen af disse med cirkler på et kortudsnit. Cirklernes farve indikerer havnens primære formål, eller alternativt om der er tale om en bro. F.eks. ses det at Als er forbundet med Jylland via to broer.



Figur 2-2: Kort med broer og færge-, erhvervs- og lystbådehavne i det sydlige Lillebælt som opgivet i den danske havnelods /4/.

### 2.2.1 Færgehavne

Grundet det store antal øer i Lillebælt og syd for Fyn findes i farvandet en del færgehavne. Als og Fyn er også forbundet via færger, og her sejler de to færger M/F Fynshav og M/F Frigg Sydfyen /5/. Færgerne drives af Alslinjen. Ruten går fra Fynshav Færgehavn til Bøjden Færgehavn. Ligeledes fra Fynshav Færgehavn sejler rederiet Ærøfærgerne til Søby på Ærø. Fra Ærø sejler også en færge til hhv. Faaborg og Svendborg på Fyn.

### 2.2.2 Erhvervshavne

Der findes en række erhvervshavne, der benytter sig af Lillebælt. Disse havne er Åbenrå Havn, Ensted Olieterminal, Faaborg Havn, Assens Havn, og Ærø havn, og fremgår af Figur 2-2. Foruden de omtalte havne, der også fremgår af Figur 2-2, kan nævnes Kolding havn og Skærbækværket, som to havne, der også modtager mellemstore skibe på over 100 m længde.

Åbenrå Havn kan modtage tørlast fragtskibe med længder op til 300 m og en stor dybgang. Åbenrå Havn er i en udviklingsfase, hvor havnen har overtaget nye arealer fra det tidligere Enstedværket, og havnen kan måske uddybe sin sejlrende i nærmeste fremtid /6/. Ensted Olieterminal, ved siden af Åbenrå Havn, opereres af Interterminals Nordics og benyttes til opmagasinering af olie der ind- og udskibes herfra. Terminalen kan modtage tankskibe op til 350 m i længde, såkaldte VLCC super tankers. Den maksimale dybgang for et anløbende skib er 17 m /7/.

Assens Havn er en mindre erhvervshavn, der kan modtage skibe op til 130 m i længde og 20 m bredde. Den største dybgang er på 7 m. Foruden kajen med opmagasinering rummer havnen også skibsværftet Assens Skibsvært A/S /8/. Ved havnen er også en lystbådehavn.

Faaborg havn er både færgehavn, trafikhavn og lystbådehavn og har således mange aktiviteter. Det største skib, der kan lægge til kaj, er 190 m, 25 m bredt og med en dybgang på mindre end 7 m i havnens bassin for færge og trafikhavn. Fra havnen sejler færger til Ærø, Avernakø og Lyø.

På Ærø findes tre havne. I Søby, hvor færgerne til og fra hhv. Jylland og Fyn sejler, Marstal havn som primært er lystbådehavn, men også huser noget erhvervsfiskeri, og Ærøskøbing havn, som har færgehavn og erhverv med skibe op til 120 m længde og 6,5 m dybde.

### 2.2.3 Lystbådehavne

Fra Figur 2-2 fremgår det, at der er flere lystbådehavne, særligt omkring Als og op langs Jyllands østlige kyst ud til Lillebælt og i det Sydfynske Øhav.



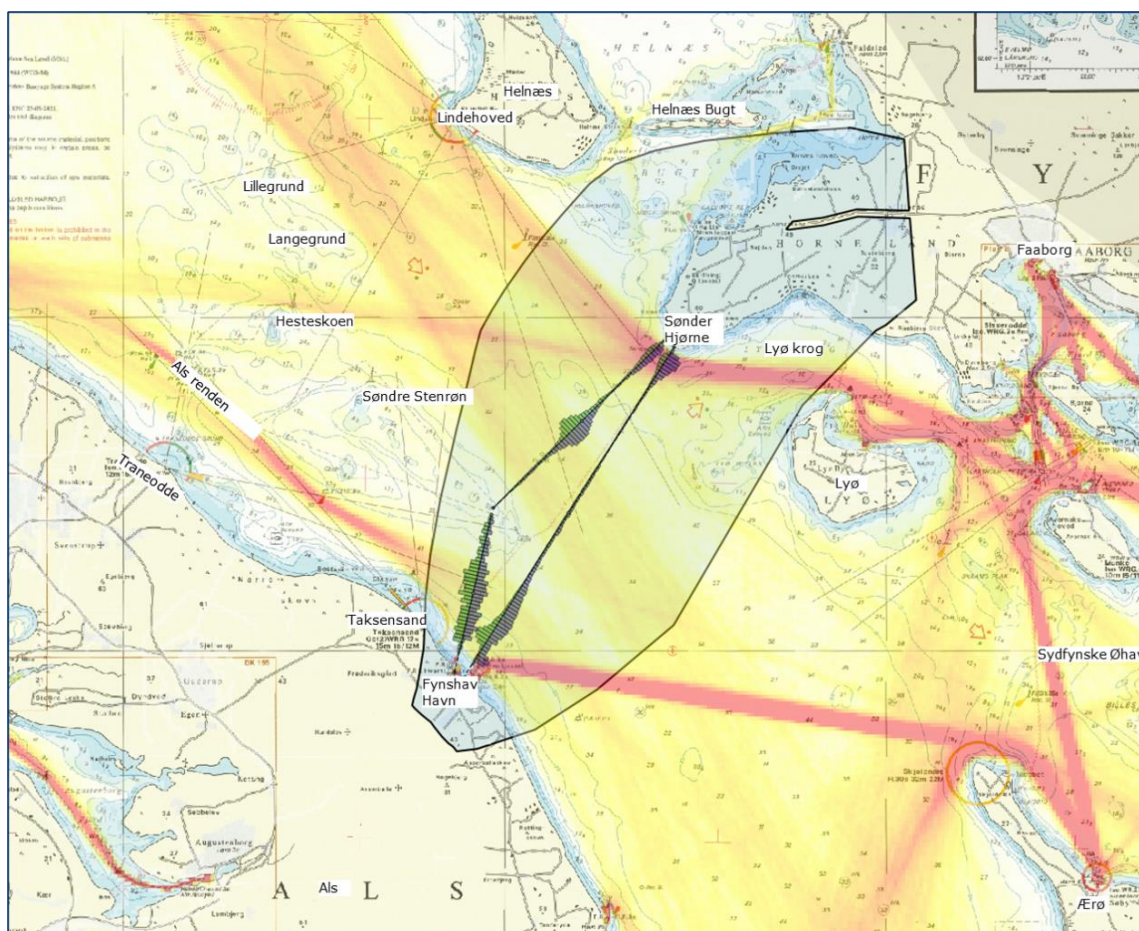
### 3. SKIBSTRAFIKKEN I OMRÅDET

Her præsenteres en gennemgang af trafikken, der sejler i undersøgelsesområdet og benytter sig af de lokale havne. Gennemgangen baseres på AIS data for år 2021 hentet fra Søfartsstyrelsen. Det antages, at Alslinjens rute Fynshav – Bøjden ikke vil være i drift, når en evt. fast forbindelse er sat i drift, da der ikke vil være et økonomisk grundlag herfor. Derfor tages færgerne M/F Friggs Sydfyen og M/F Fynshav ud af den videre analyse. I AIS data er færgerne identificeret ud fra deres MMSI- og IMO-nummer, se Tabel 3-1.

**Tabel 3-1: Informationer om Alslinjens færger**

Navn	IMO	MMSI
M/F Friggs Sydfyen	8222824	219000606
M/F Fynshav	9183025	219000577

Ud fra AIS data er lavet trafiktæthedskort, og skibenes bevægelser igennem undersøgelsesområdet beskrives ud fra tre passagelinjer, der er placeret som vist i Figur 3-1. En linje beskriver al trafik der sejler nord-syd igennem undersøgelsesområdet. For de to mindre skarpe linjer er der registreret trafik, der sejler hhv. vest og øst om Søndre Stenrøn.



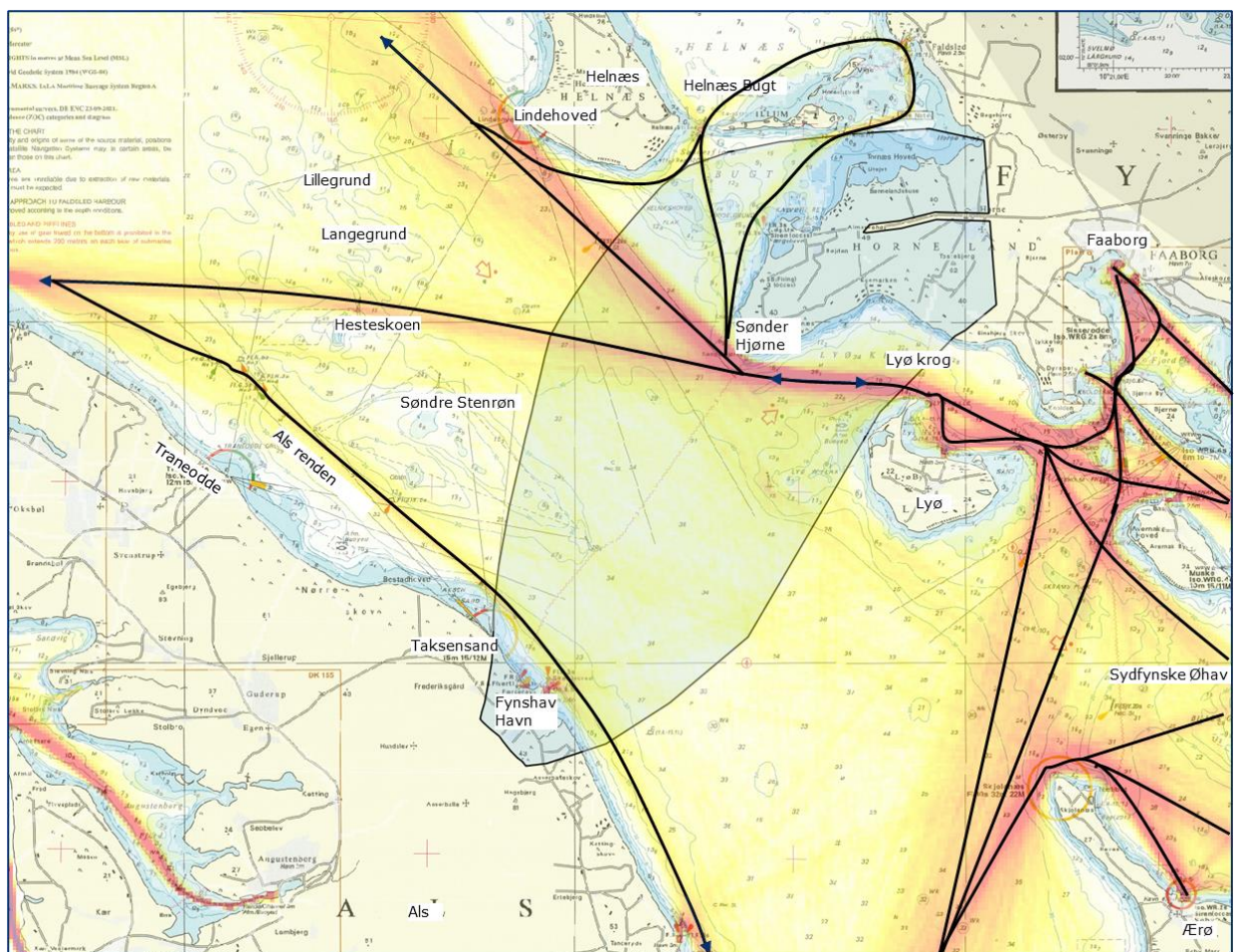
**Figur 3-1: Trafiktæthedskort for alle fartøjstyper i 2021. Linjer med barplots på er passagelinjer over hvilken trafikken er talt.**

Af Figur 3-1 ses det at skibene navigerer hhv. øst og vest om Søndre Stenrøn, afhængig af deres destination som forventet ud fra dybdeforholdene for området, se afsnit 2.1.

### 3.1 Trafiktæthedskort

For at beskrive trafikken er udarbejdet to yderligere trafiktæthedskort, der viser hvor skibene af specifikke typer sejler i området. Ved at opdele trafikken i forskellige fartøjstyper ses tydeligere hvilke ruter, der gælder for f.eks. lystsejlere. Trafiktæthedskortene beskriver med farver koncentrationen af trafikken i området. Det fortæller ikke hvor meget trafik der er, men hvordan den fordeler sig. En rød farve indikerer høj trafiktæthed, mens gullige over i hvide farver indikerer lille til neglige trafikkoncentrationer.

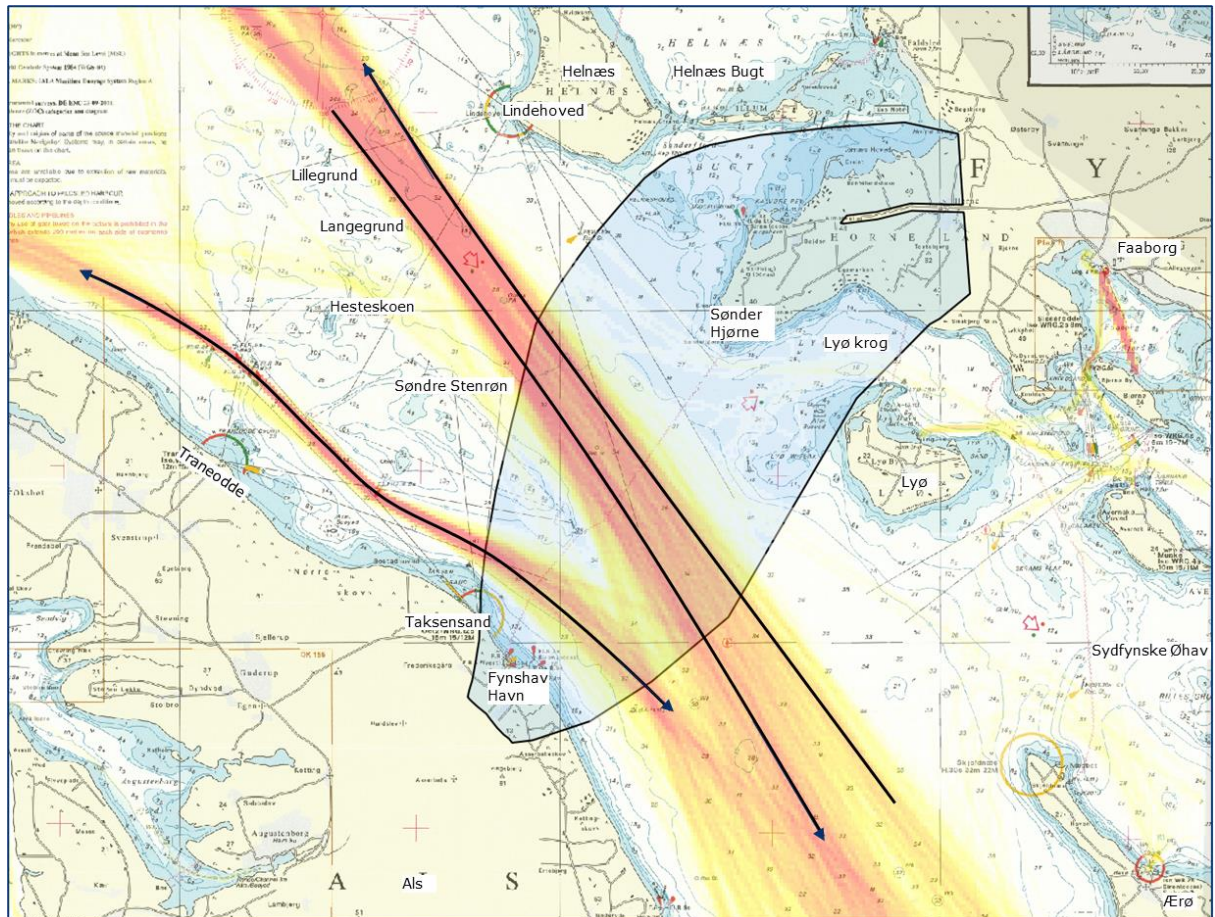
Trafiktætheden for lystfartøjer er vist i Figur 3-2 og domineres af sejlads til og fra det Sydfynske Øhav via Lyø Krog nord om Lyø. Fra Sønder Hjørne på Fyn udspringer to ruter. En over munden til Helnæs Bugt og langs vestkysten af Helnæs, videre ind i Lillebælt, samt en der krydser Lillebælt nord om Als og ind i Åbenrå Fjord. Der observeres lidt kystnær trafik langs Als' kyst.



**Figur 3-2: Trafiktæthedskort for lystfartøjer i 2021. Sorte pile angiver hyppigt brugte ruter for lystsejlere i området.**

Et kort med trafiktætheden for fragt- og tankskibene igennem undersøgelsesområdet, Figur 3-3, viser at de sejler ad de to ruter beskrevet i afsnit 2.1. En rute vest om Søndre Stenrøn og igennem Als renden, og en anden rute øst om Søndre Stenrøn. På ruten gennem Als renden ses en stor koncentration af trafikken ved den smalle passage ved mellem Traneodde og Hesteskoen.

Denne passage er målt til at være cirka 280 m bred hvor vanddybden er mere end 20 m. Generelt ses, at trafikken syd for undersøgelsesområdet er spredt ud. Igennem undersøgelsesområdet og nord herfor er trafikken koncentreret til specifikke ruter grundet områdets dybdeforhold og bøjemarkeringer.



**Figur 3-3: Trafiktæthetskort for fragt- og tankskibe i 2021.**

På ruten øst om Sødre Stenrøn, sejler skibene imellem bøjerne ved Lillegrund og ud for Lindehoved fyr. Meget lidt trafik observeres at passere ind i det Sydfynske Øhav til f.eks. Faaborg eller Ærø.

Sydgående trafik ses at flette sammen syd for undersøgelsesområdet, hvor trafikken er forholdsvis spredt.

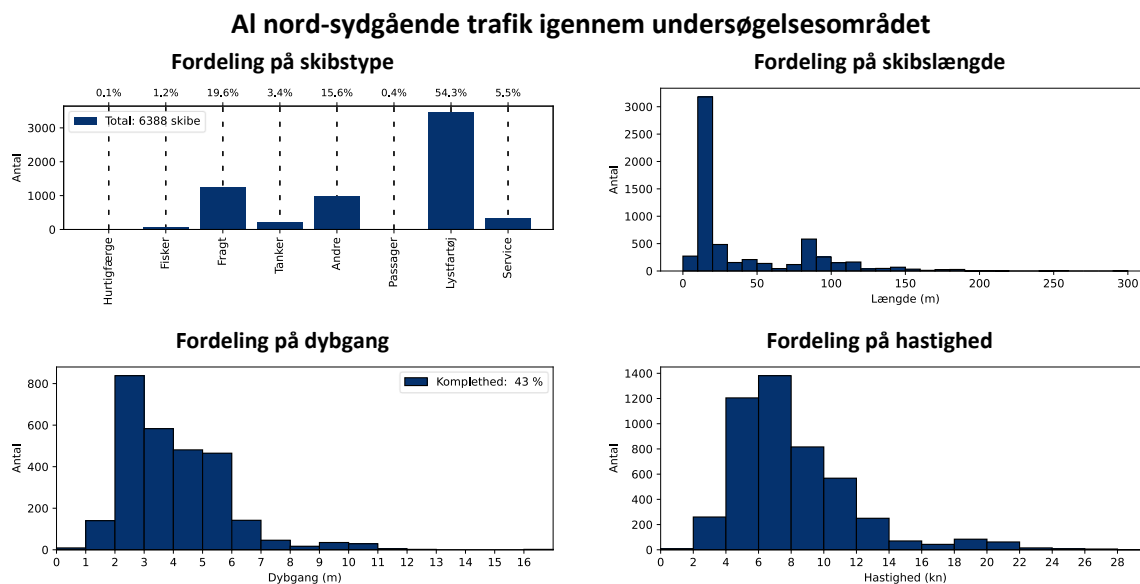
### 3.2 Trafiktælling på passagelinjer

På Figur 3-1 fremgår en række passagelinjer over hvilke trafikken er talt op for år 2021. Disse linjer ligger som de også gjorde i den tidligere screening fra 2018, se /1/. I dette afsnit gennemgås passagelinjerne for 2021 og sammenlignes med trafikken for 2018.

#### 3.2.1 Trafik igennem undersøgelsesområdet

Af Figur 3-4 fremgår trafikkarakteristikken for al nord-sydgående trafik igennem undersøgelsesområdet. Øverst til venstre er opgørelsen over antal passager på skibstype med en angivelse af det totale antal observerede skibe. Over hver søjle er angivet den procentuelle andel skibstypen udgør af den samlede trafik. Øverst til højre ses fordelingen af skibenes længde i meter med intervaller på 10 m. Nederste venstre graf viser skibenes dybgang i 1 m intervaller

med en angivelse af hvor mange procent af observerede passager, der havde en kendt dybgang på skibet. Grafen nederst til højre viser hastigheden i knob (kn) i intervaller af 2 kn, se også Appendiks A, hvor tabeller med detaljerede fordelinger af skibenes længde, dybgang og hastighed er vist.

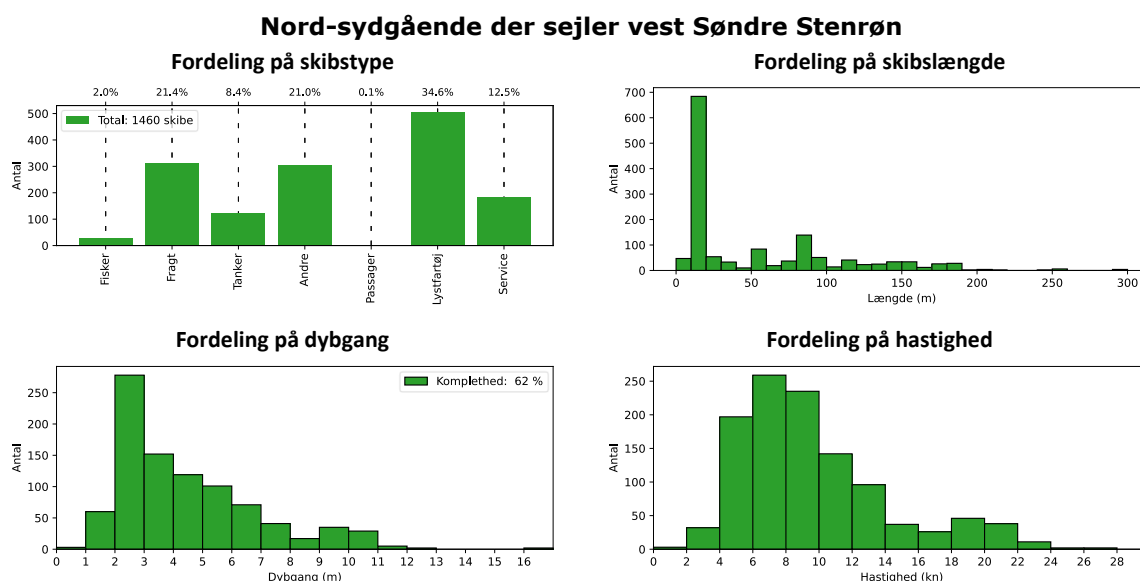


**Figur 3-4: Beskrivelse af al nord-sydgående trafik igennem undersøgelsesområdet fordelt efter skibstype (øverst venstre), skibslængde (øverst højre), dybgang (nederst venstre) og hastighed (nederst højre).**

Igennem undersøgelsesområdet er registreret 6388 passager, se Figur 3-4, til at have passeret i 2021 når der ses bort fra Alslinjens to færger. Af disse er langt størstedelen, cirka 50%, lystfartøjer. Den næstmest forekommende skibstype er fragtskibe, herunder skibe med tørgods. Der er en større kategori af andre fartøjer, og endeligt er der observeret fiskeskibe, tankskibe og serviceskibe, såsom slæbebåde. Blandt andre skibe er observeret 322 passager af militærskibe, svarende til cirka 32% af alle andre skibe. Flere end 100 af disse passager vedrører to mindre skibe. Disse, FYRHOLM og BIRKHOLM med en længde på ca. 29 m, krydser i perioder gentagende gange frem og tilbage i farvandet. Ses på alle skibenes fordeling på længde er hovedparten af skibene mellem 10 m og 20 m hvilket er typisk længde for et lystfartøj. De øvrige skibe har længde op til omkring 190 m, med enkelte registrerede skibe med længder op til ca. 300 m. Ses på dybgangen for skibene kan det konstateres, at 57 % ikke har opgivet en dybgang. De øvrige 43 % af registreringerne har dybgang mellem 0,1 m og 16,5 m. Typisk har mindre lystbåde ikke opgivet deres dybgang, hvorfor områder med stor aktivitet af lystbåde har en lille datakomplethed for dybgang. Hastighederne, skibene er passeret med, er mellem 1 kn og 29 kn. Hovedparten af skibene sejler i området med hastigheder omkring 6 kn.

### 3.2.2 Rute vest om Søndre Stenrøn

Karakteristikken for trafikken vest om Søndre Stenrøn, igennem Als renden er vist i Figur 3-5. Øverst til venstre er opgørelsen af antal passager på skibstype med en angivelse af det totale antal observerede skibe. Over hver søjle er angivet den procentuelle andel fartøjstypen udgør af den samlede trafik. Øverst til højre ses fordelingen af skibenes længde i meter med intervaller på 10 m. Nederst til venstre vises skibenes dybgang i 1 m intervaller med en angivelse af hvor mange procent af observerede passager havde en kendt dybgang på skibet. Grafen nederst til højre viser hastigheden i intervaller af 2 kn, se Appendiks A.

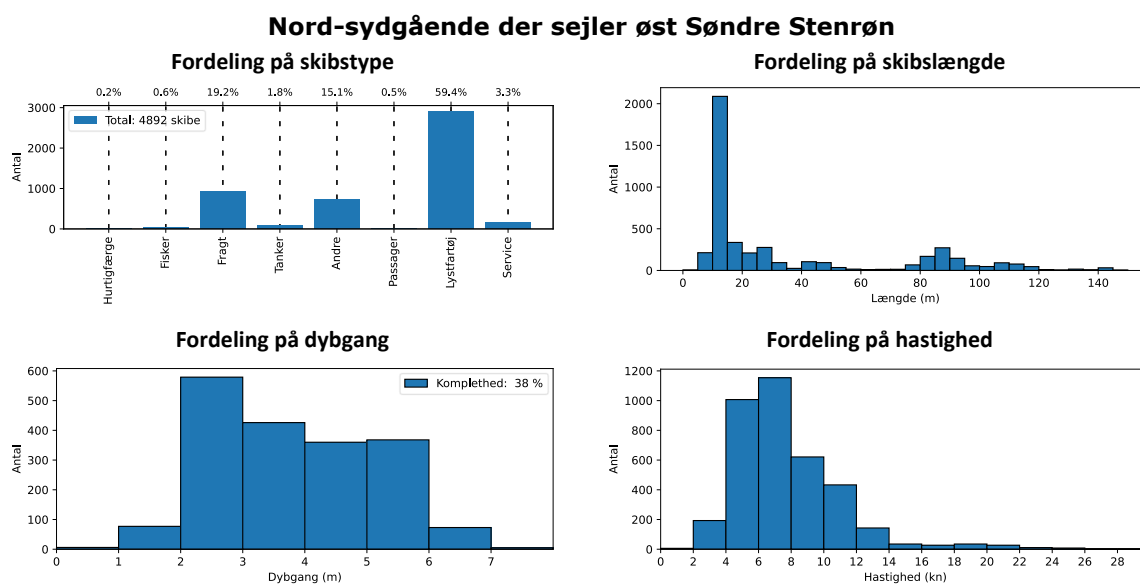


**Figur 3-5: Beskrivelse af al nord-sydgående trafik der sejler vest om Søndre Stenrøn – fordelt efter skibstype (øverst venstre), skibslængde (øverst højre), dybgang (nederst venstre) og hastighed (nederst højre).**

Den nord-sydgående trafik vest om lavvandsområdet ved Søndre Stenrøn udgøres primært af frugt, tankere, service og andre skibe, der tilsammen udgør 63,3 % trafikken. Lystsejlere udgør 34,6 %, mens fiskere og passagerskibe kun udgør 2,1 % af trafikken. Blandt andre skibe er registreret 26 passager af militære skibe hvilket udgør 8 % af kategorien andre skibe. I alt er registreret 1460 skibe, svarende til 4 skibe om dage. Længdefordelingen på skibene domineres af små skibe, hvilket skyldes lystfartøjerne, der typisk er mellem 10 m og 20 m lange. De øvrige skibe har længder op til 300 m, dog kun med få skibe længere end 190 m. 62 % af skibene opgiver en dybgang, og denne spænder fra 0,1 m til 16,5 m, med flest skibe mellem 2 m og 3 m. Hastigheden af skibene er typisk omkring 8 kn, om end der er en større andel med hastigheder fra 8 kn til 22 kn.

### 3.2.3 Rute øst om Søndre Stenrøn

Fordelingerne for trafikken ad den nordlige rute der sejler øst om lavvandsområdet Søndre Stenrøn er vist i Figur 3-6. Øverst til venstre er opgørelsen af antal passager på skibstype med en angivelse af det totale antal observerede skibe. Over hver søjle er angivet den procentuelle andel fartøjstypen udgør af den samlede trafik. Øverst til højre ses fordelingen af skibenes længde i meter med intervaller på 5 m. Nederst til venstre viser skibenes dybgang i 1 m intervaller med en angivelse af hvor mange procent af observerede passager havde en kendt dybgang på skibet. Grafen nederst til højre viser hastigheden i knob (kn) i intervaller af 2 kn, se Appendiks A.



**Figur 3-6: Beskrivelse af al nord-sydgående trafik der sejler vest om lavvandsområdet ved Søndre Stenrøn – den nordlige rute fordelt efter skibstype (øverst venstre), skibslængde (øverst højre), dybgang (nederst venstre) og hastighed (nederst højre).**

Nord-sydgående trafik vest om lavvandsområdet ved Søndre Stenrøn besejles primært af lystsejlere som udgør 59,4 % af trafikken. Blandt andre skibe er observeret 337 passager af militærskibe, og således udgør flådefartøjer ca. 46 % af kategorien andre skibe. Som for den samlede trafik gennem undersøgelsesområdet, se afsnit 3.2.1, udgøres de fleste af disse passager af skibene FYRHOLM og BIRKHOLM med samlet over 150 passager over den nordlige passagelinje. Skibene krydser frem og tilbage i området og vender ofte rundt imellem de to passagelinjer. Den nordlige passagelinje krydses derfor oftere end passagelinjen lidt længere mod øst. I alt er registreret 4892 skibe svarende til 13,4 skibe per dag. Længdefordelingen på skibene domineres af små skibe, hvilket skyldes lystfartøjerne, der på denne rute typisk er omkring 10 m. De øvrige skibe har længder op til 150 m, dog kun med få skibe længere end 120 m. 38 % af skibene opgiver en dybgang, og denne spænder fra 0,1 m til 8 m, med flest skibe mellem 2 m og 6 m. Hastigheden af skibene er typisk omkring 7 kn, om end der er en større andel med hastigheder fra 8 kn til 14 kn, og en hale på fordelingen med hastigheder op til 26 kn.

### 3.2.4 Sammenligning med trafikken i 2018

Hvordan 2021 skibstrafikken i området ser ud sammenlignet med år 2018 fremgår af Tabel 3-2. Ses på skibsintensiteten er der sket en stigning fra 2018 på 3834 skibe igennem området til 6388 i år 2021. En stor stigning er set på alle tre passagelinjer. Når der isoleret ses på antallet af frugt og tankskibe til og fra området – generelt de største skibe – er disse meget sammenlignelige mellem de to år. Forskellen ligger altså i den øvrige trafik under andre skibe. Her er det særligt antallet af registrerede lystsejlere, der har ændret sig. Om dette skyldes at flere lystsejlere benytter AIS, eller der reelt er sket en stigning i antallet af lystsejlere kan ikke afgøres ud fra indeværende rapport. Der er også i 2021 registreret en øget trafik med slæbebåde, uddybningsfartøjer, osv. i forhold til optællingen fra 2018.

Trods forskelle i trafikken mellem 2018 og 2021 vurderes trafikken for 2021 at være repræsentativ for området, når der ses på de største skibe og andelen af frugt- og tankskibe. Afvigelser f.eks. i antallet af uddybningsfartøjer må være forventeligt da uddybninger gøres efter behov og ikke nødvendigvis på forudbestemte tidspunkter.

Tabel 3-2: Sammenligning af trafikken i 2018 fra /1/ og 2021 på de tegnede passagelinjer.

Rute/Passagelinje	Intensitet/år		Fragtskibe/år		Tankskibe/år		Andre /år	
	2018	2021	2018	2021	2018	2021	2018	2021
Gennem undersøgelsesområdet	3834	6388	1436	1251	218	217	2180	4920
Øst om Søndre Stenrøn	3092	4892	1075	939	83	88	1935	3865
Vest om Søndre Stenrøn	739	1460	355	312	135	122	249	1026

Den nuværende energikrise samt krigen i Ukraine har betydet, at Åbenrå Havn har genoptaget import af kul. Kullet importeres med store skibe til Åbenrå Havn hvor det forgangene Enstedværkets kajanlæg og arealer benyttes til import af kul til kraftværker i Østersøen. Det foregår ved, at store skibe sejler kullet ind til Åbenrå Havn hvor det lastes på mindre skibe som fragter det videre. Omskibning af kul på havnen forventes at være midlertidig, til og med 2023 med foreløbig mulighed for forlængelse ind i 2024 /16/.

### 3.2.5 Militære fartøjer i området

Blandt flådefartøjerne, der sejler i området, er observeret NATO allierede flådefartøjer samt forskellige mindre danske flådefartøjer i bl.a. Holm og Diana klassen og kongeskibe Dannebrog. Den danske flådes største skibe som Iver Huitfeldt-, Absalon og Thethis klasserne er ikke observeret i området, og det er ukendt om disse fartøjer potentielt kan eller vil skulle sejle i området. Det aktive flådefartøj observeret i området med størst længde er den tyske korvet F262 Erfurt som er 90 m langt. Fordi militærfartøjerne ikke nødvendigvis har tændt deres AIS sender, vides det ikke om alle passage af militærfartøjer i området er registreret eller ej.

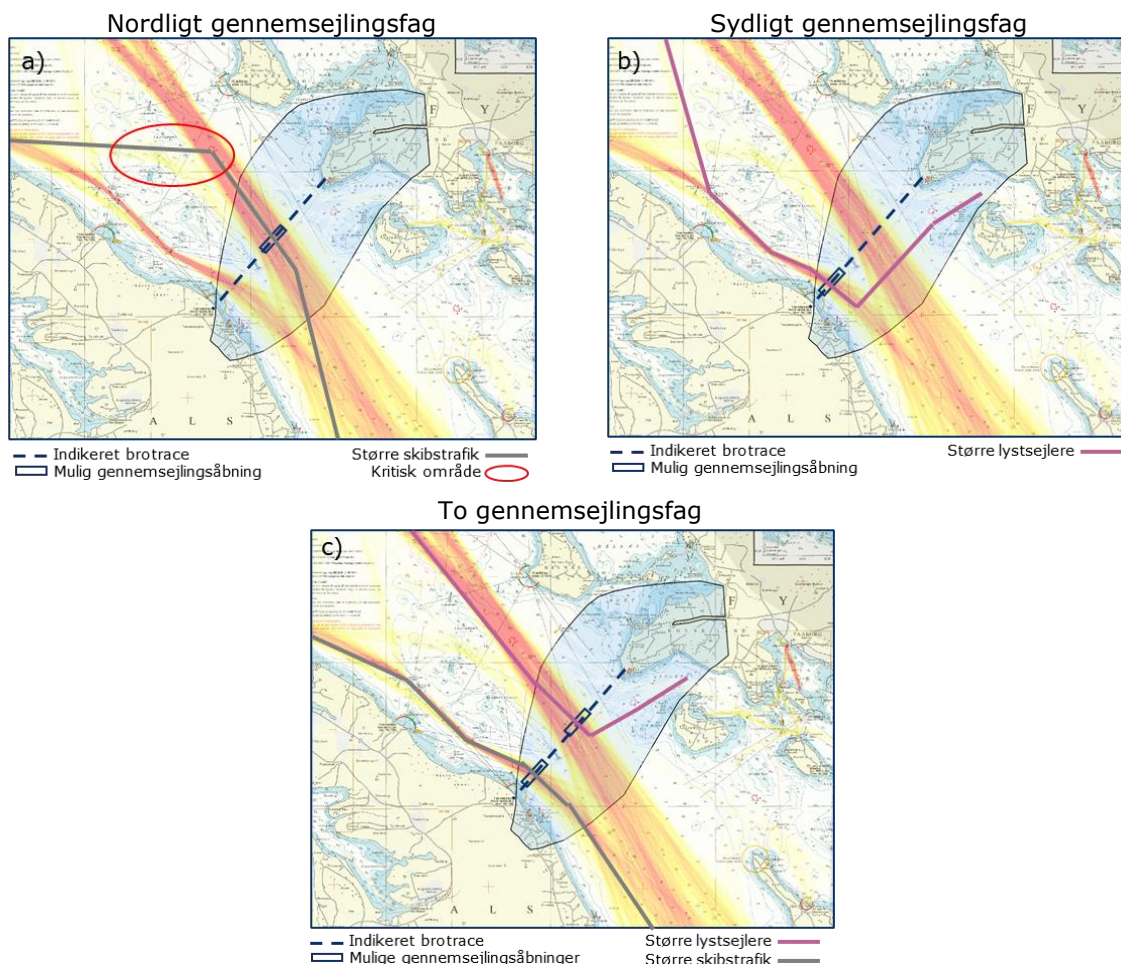
## 4. VURDERING AF GENNEMSEJLINGSMULIGHEDER

Nedenstående vurdering er lavet under forudsætning af, at al den eksisterende skibstrafik også i fremtiden skal have uhindret mulighed for at passere igennem området. Desuden er det forudsat, at den faste forbindelse etableres inden for undersøgelsesområdet og med den korteste linjeføring. Ved etablering af en tunnelløsning forventes gennemsejlingsforholdene principielt at kunne fastholdes uændrede og således ikke påvirke skibstrafikken i området. Ved etablering af en broløsning skal der være relevante gennemsejlingsmuligheder og nødvendige tiltag broløsningen in mente. Overordnede rammer for mulige gennemsejlingsåbninger er beskrevet i det følgende.

### 4.1 Antal gennemsejlingsfag

I tilfælde af etablering af en bro mellem Als og Fyn sikrer gennemsejlingsfag, at skibstrafikken kan passere under broen. Som følge af det lavvandede område ved Søndre Stenrøn er der principielt forskellige muligheder; a) en broløsning med et nordligt gennemsejlingsfag (øst for Søndre stenrøn), b) et sydligt gennemsejlingsfag, eller c) to gennemsejlingsfag, se Figur 4-1.

Forskellige muligheder for udlægning af gennemsejlingsfag



Figur 4-1: Principielle muligheder for placering af gennemsejlingsfag for en broløsning mellem Als og Fyn.

Scenarie a) med en broforbindelse med et gennemsejlingsfag placeret øst Søndre Stenrøn vil kræve, at den eksisterende trafik, der sejler vest via Als rende, skal følge trafikken øst om lavvandsområdet, som illustreret i Figur 4-1. Fra søkortet fremgår det at området generelt har



mindre dybde end Als renden, og der er enkelte banker med vanddybder under 7 m, f.eks. nord for Lillegrund og Lindehoved. Således kan det blive nødvendigt for en nordlig et-fags løsning, at der uddybes og vedligeholdes en sejlrende, i fald de største skibe fortsat skal kunne sejle til og fra Åbenrå Fjord. Et alternativ er scenarie b), der er en sydlig et-fags-løsning, hvor alt trafikken skal vest om Søndre Stenrøn og sejle igennem Als rende, hvor dybdeforholdene tillader passage af de største skibe. Med yderligere skibstrafik på denne rute vil plads igennem Als renden kunne være udfordret hvorfor uddybning til en bredere rende eller andre former for trafikregulering kan være nødvendig. Samtidigt vil flere skibe skulle omlægge deres eksisterende rute. For lystsejlere ind og ud af Lyø Krog vil et enkelt fag på modsatte side af Lillebælt være en stor omvej, som illustreret på Figur 4-1.

Alternativ c) i Figur 4-1 foreslår at der laves to gennemsejlingsfag. I dette alternativ er det muligt at fjerne behovet for at lave og vedligeholde en ny sejlrende ved Lillegrund og Langegrund. Det ene fag placeres i brotracéets sydlige ende, hvor skibe med stor dybgang sejler igennem Als renden. Det andet fag placeres i den nordlige ende og tillader den øvrige trafik at sejle i Lillebælt, hvormed trængsel i Als renden undgås. Endeligt tillader et nordligt fag større lystsejlere at sejle under broen uden at skulle krydse Lillebælt.

Uanset løsningen, bør brofagene individuelt placeres, så de giver skibstrafikken færrest mulige gener. Dvs. at de tillader en så vinkelret passage igennem navigationsåbningen som muligt.

Afhængig af den endelige løsning, kan en række tiltag være relevante, ligesom løsningen kan betyde at dele af den hidtidige trafik forhindres i at besejle Lillebælt. Sådanne tiltag inkluderer:

- Anmelderpligt
- Lodspligt
- Slæbebådspligt
- Tilladelse for passage af særlige skibe, samt midlertidigt forbud for øvrige skibe
- Lukning for gennemsejling grundet vejrlig
- Inddragelse af areal til ankringsområder på hver side af broen
- Anvendelse af Vessel Traffic Service (VTS) som på Storebælt og i Femern Bælt
- Opsætning af radarer
- Kørselsforbud på broen ved passage særlige skibe
- Forbud for skibe med en vis højde over vandoverfladen eller dybgang

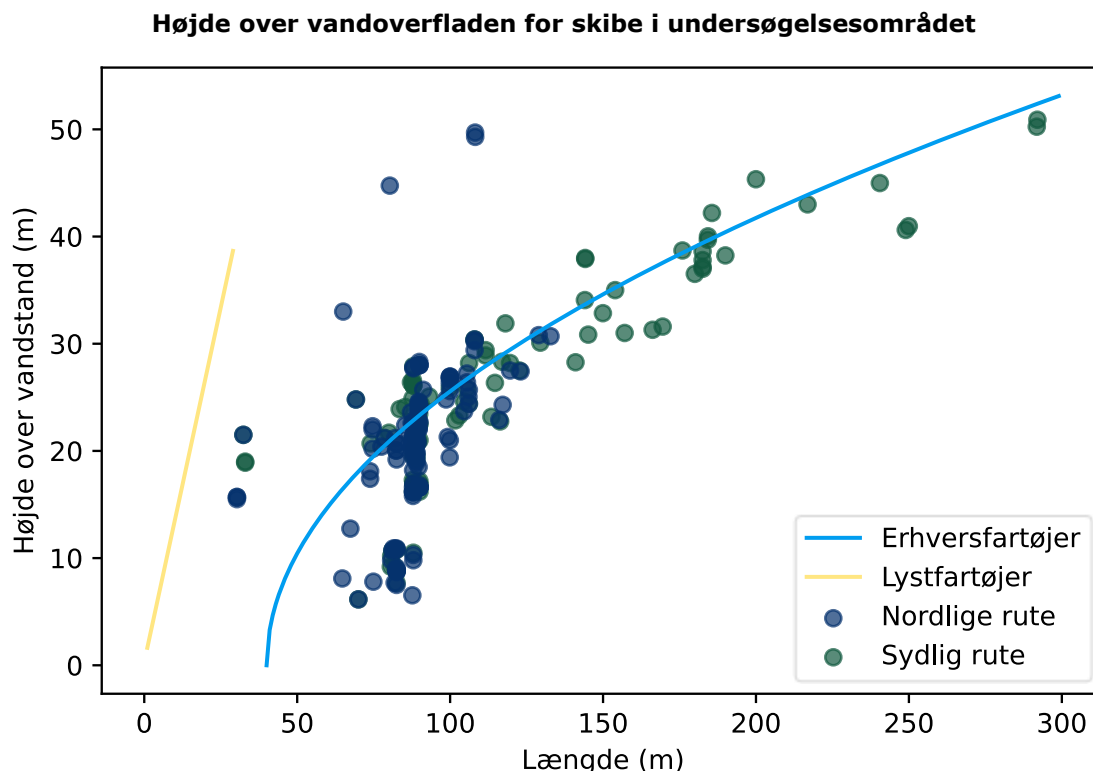
Der er ikke i nærværende rapport taget stilling til, om ovenstående typer af tiltag er gennemførlige og rimelige i forhold til en given broløsning.

#### **4.1.1 Fortsat færgetrafik mellem Fynshav og Ærø**

Færgen mellem Fynshav og Ærø ses på trafiktæthedskort for alle fartøjstyper i Figur 3-1, og denne færge vil fortsat kunne være i drift efter ibrugtagning af en fast forbindelse mellem Als og Fyn. Alternativet til færgen vil være at passere den nye, faste forbindelse mellem Als og Fyn, for derefter at tage færgen fra Faaborg til Ærø. I forhold til fortsat drift af færgehavnen Fynshav bør placeringen af landgangen for en broforbindelse overvejes. Placeres landgangen nordvest for Fynshav vil færgen kunne besejle Fynshav fra øst uden at passere broen. I dette tilfælde vil færgen blot udgøre en mindre risiko for kollisioner mod broens strukturelle elementer ved fejlnavigering eller motorsvigt. Placeres landgangen sydøst for Fynshav vil færgen til/fra Ærø derimod skulle passere broen for at besejle Fynshav. Afhængig af placeringen af broen og gennemsejlingsfag vil dette kunne bidrage til en øget risiko for kollisioner mod broen såvel som mellem færger og anden trafik i området ved navigering i umiddelbar nærhed af gennemsejlingsfaget.

## 4.2 Gennemsejlingsfagernes højde på en broforbindelse

Gennemsejlingshøjde vurderes ud fra eksisterende gennemsejlende erhvervsskibes højde over vandoverfladen, se Figur 4-2. Disse højder er fundet ved at kombinere skibenes afstand fra køl til mastetop, med deres dybgang fra AIS data, hvor den mindste opgivne dybgang er anvendt. Dermed fås den mest repræsentative højde over vandoverfladen. For at finde afstanden køl til mastetop er lavet opslag på IHS Markits Sea Web database /10/. Fra AIS data kunne 554 skibe identificeres i databasen. Af disse, er det kun 219 skibe, der har en afstand fra køl til mastetop registreret.



**Figur 4-2: Højde over vandoverfladen for skibe i undersøgelsesområdet. Approksimationen for lystfartøjer er baseret på Rambølls database over lystbåde. Approksimationen for erhvervsfartøjer er lavet ud fra indeværende rapports data.**

På Figur 4-2 er vist højde for erhvervsskibe, der sejler øst om Søndre Stenrøn med blå cirkler og vest om Søndre Stenrøn med grønne cirkler. En sammenhæng mellem erhvervsskibenes længde og deres højde over vandoverfladen er lagt ind med en lyseblå kurve og er generelt lig de approksimationer anvendt på Kattegatstudiet /2/, men er tilpasset så skibe med længder over 200 m er indregnet. Den blå kurves sammenhæng mellem skibslængde og højde over vandoverfladen er

$$H = 3.3\sqrt{LOA - 40} \text{ m},$$

hvor LOA angiver skibets længde (Length Over All). Generelt gælder, at jo længere skibet er, desto højere over vandoverfladen er det. Det bemærkes dog, at der er enkelte punkter der afviger fra kurven og de øvrige punkter. Disse er identificeret som fragtskibe, der har en stor køl til mastetop afstand på op til 54 m, men en længde på omkring 110 m. Andre skibe, der viser stor afvigelse, er tre mindre skibe med længder omkring 30 m. Disse er slæbebåde, der bl.a. benyttes til at skubbe pramme på omkring 100 meters længde. I sådanne tilfælde bliver den samlede skibslængde på 130 m, og en højde på 20 m over vandoverfladen er således normal. Den gule

kurve viser en approksimation af forholdet mellem lystfartøjers længde og højde og er givet ved en ret linje på formen

$$H = 1.3225 * LOA + 0.308 \text{ m.}$$

Det fremgår af figuren, at der vil være behov for en større gennemsejlingshøjde for ruten vest om Søndre Stenrøn, end for ruten øst om Søndre Stenrøn, hvis en broløsning skal tillade den nuværende skibstrafik at passere uden ruteomlægninger eller begrænsninger af skibstrafikken.

I tillæg til identificerede skibes højder i Figur 4-2 er i Tabel 4-1 nedenfor indsat længde, bredde, dybgang og estimerede højde for nogle af den danske flådes aktive fartøjer. Listen er ikke udtømmende.

**Tabel 4-1: Den danske flådes skibsklassers og deres overordnede skibsdimensioner**

Skibsklasse	Længde (m)	Bredde (m)	Dybgang (m)	Højde (m)
Iver Huitfeld	139	20	6,4	36
Absalon	137	20	6,3	38
Thetis	112	14	6	29
Dannebrog	78	10	3,6	26
Knud	61	15	5	19
Flyvefisken	54	9	2,6	-
Diana	43	8	2	12
Holm	29	6	2	14

De estimerede højder for de forskellige skibsklasser er gjort med udgangspunkt i skitsetegninger for hvert skib. Det skønnes at højderne er repræsentative for hver klasse, omend der ikke kan tages højde for, at skibene vil modtage andet udstyr eller blive ombygget hvormed højden kan ændres. Som altid er estimater behæftet med usikkerhed som også her for flådeklassernes højder er ukendte.

#### 4.2.1 Det sydlige gennemsejlingsfag

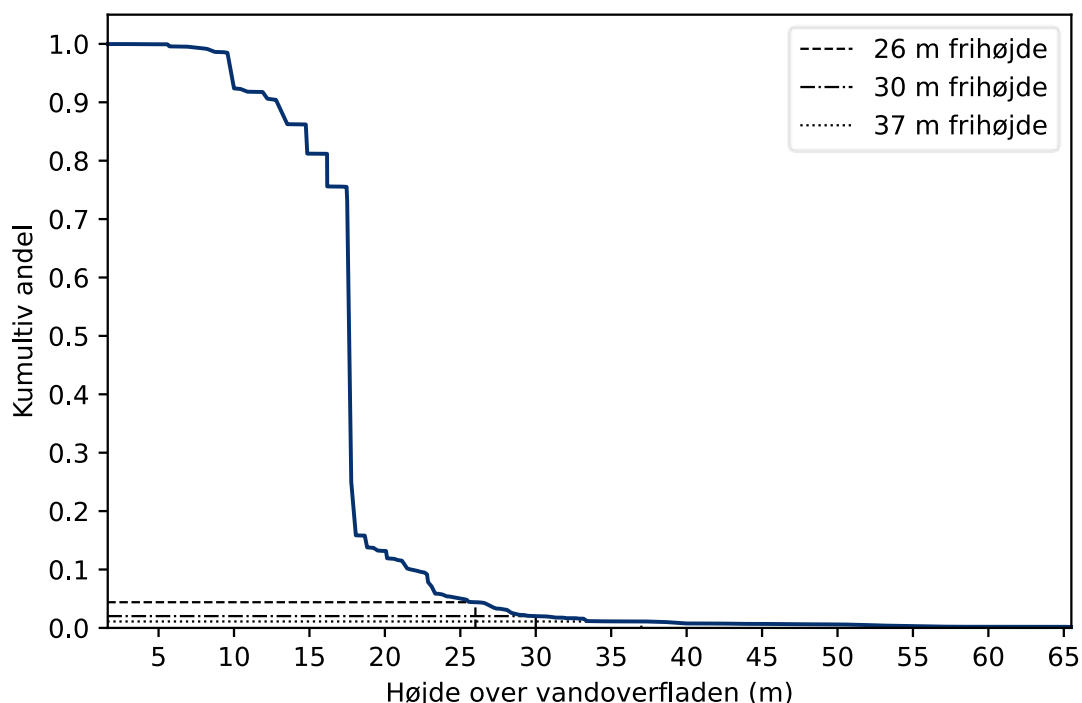
Skibe med størst længde og højde er identificeret på ruten vest om Søndre Stenrøn. Her registreres der højder over vandoverfladen på op til 51 m. For gennemsejlingsfagets frihøjde skal der foruden skibets højde tages højde for ændringer i middelvandstanden, stormfloder, klimaforandringer i broens levetid og en sikkerhedsmargin for skibene. Endvidere skal tages i betragtning, at de eksisterende Lillebæltsbroer har begrænset gennemsejlingshøjde på 33 m for Den Gamle Lillebæltsbro /9/. Givet, den eksisterende trafik fortsat skal sejle i Lillebælt, skal gennemsejlingshøjden for det sydlige fag bestemmes ud fra, at den bliver eneste rute til Lillebælt for de største skibe til bl.a. Åbenrå Havn, Kolding Havn og Skærbækværket.

Den fremtidig trafik er til nærværende rapport ikke undersøgt, men det kan ikke udelukkes, at de eksisterende aktiviteter og skibsstørrelser også i fremtiden vil være aktuelle. Derfor anbefales det at det sydlige gennemsejlingsfag får en frihøjde på minimum 60 m, hvilket tillader største skibe inklusiv diverse marginer at passere. Hvis Als-Fyn forbindelsen i sig selv ikke skal være en begrænsning for skibstrafikken, kan gennemsejlingshøjden være den samme som på Storebæltsbroens østbro, der er 65,5 m.

#### 4.2.2 Det nordlige gennemsejlingsfag

Højden af det nordlige gennemsejlingsfag kan ligeledes bestemmes ud fra den eksisterende trafik, såfremt det skal sikres, at størstedelen af trafikken kan passere som i dag, så evt. trængsel igennem den sydlige korridor undgås. Endvidere er det hensigtsmæssigt, at lystsejlere for hovedpartens tilfælde kan passere det nordlige fag således, at lystsejlere til og fra det Sydfynske øhav via Lyø Krog ikke nødvendigvis skal benytte det sydlige fag, da det medfører en stor omvej. Til formålet benyttes sammenhængen mellem skibenes længde og højde over vandoverfladen som vist i Figur 4-2 i kombination med skibenes længde som opgivet i AIS data, der fremgår af Figur 3-6 øverste højre figur. Denne kombination giver Figur 4-3, der viser hvor stor en andel af skibene på ruten øst om Søndre Stenrøn hvis højde over vandoverfladen er større end et bestemt antal meter. Der er også lagt tre linjer ind på kurven. Disse viser andelen af skibe med højder over vandet ved hhv. 26 m, 30 m og 37 m svarende til 4 %, 2 % og 1 %.

**Fordelingen af skibes højde over vandoverfladen i meter**



**Figur 4-3: Fordelingen af skibes højde over vandoverfladen i meter. Anden aksens læses, som andelen af skibe med en højde større end x antal meter på første aksens.**

Fra Figur 4-3, vil en gennemsejlingshøjde på ruten øst om Søndre Stenrøn på 26 m betyde, at 4 % af den nuværende trafik skal omlægges og bruge det sydlige gennemsejlingsfag, hvilket svarer til cirka 196 skibe pr. år. Det vurderes at svare til en stigning i trafik på ruten vest om Søndre Stenrøn på 13 % i forhold til i dag. Ved en frihøjde på 30 m øges trafikken på igennem det sydlige fag med 7 %. En frihøjde på 37 m påvirker ikke trafikken på ruten øst om Søndre Stenrøn nævneværdigt i forhold til 30 m frihøjde. Hvor stor en øget trafikmængde på ruten vest om Søndre Stenrøn, der kan ske før kritiske møder mellem skibene, opstår for hyppigt, vil kræve yderligere studier at afgøre.

### 4.3 Gennemsejlingsbredde

Bredden på gennemsejlingsfagene er ligeledes relevant i forhold til sikker passage. Nedenfor er der gjort indledende overvejelser om gennemsejlingsbredder for hhv. et sydligt og et nordligt gennemsejlingsfag.

#### 4.3.1 Det sydlige fag

I lighed med øvrige brodesign estimeres bredden af gennemsejlingsfaget ud fra skibslængden af de største skibe, der skal passere broen, hvorefter en videre optimering af designet kan foretages. Den mindste bredde et skib kræver for at passere er en faktor 1,6 gange skibets længde /11/, /12/, som også vurderet for gennemsejlingsfag ved en mulig broforbindelse vest for Samsø /15/. Er det nødvendigt at to skibe passerer samtidig i modgående retninger, skal bredden øges til 3,2 gange det største skibs længde. I det tilfælde at skibene skal passere broen med en vinkel i forhold til normalen på broen, vil den effektive bredde skulle være endnu større. Først ved vurdering af specifikke broløsninger vil det være muligt at vurdere, om disse giver anledning til at skibsruter omlægges og hvad en konsekvens heraf vil være, i forhold til gennemsejlingsbredden. For indeværende forudsættes, at skibene kan passere vinkelret på broen. Intensiteten af trafikken vest om lavvandsområdet nødvendiggør ikke på nuværende tidspunkt, at gennemsejlingsbredden skal øges til mere end 1,6 gange største skibs længde, da frekvensen af skibe er på 4 skibe om dagen for alle skibe og mindre end 3 skibe om dagen, hvis der ses bort fra lystsejlere. Det længste skib observeret på ruten vest om lavvandsområdet er næsten 300 m langt, og vil således kræve en gennemsejlingsbredde på  $1,6 \times 300 \text{ m} = 480 \text{ m}$ , hvorfor en bredde på eksempelvis 500 m mellem bropillerne i gennemsejlingsfaget vurderes at være nødvendig, med mindre yderligere detaljerede undersøgelser af forskellige foranstaltning kan godtgøre, at gennemsejlingsfaget kan gøres smallere. Sådanne tiltag er allerede omtalt i afsnit 4.1.

#### 4.3.2 Det nordlige fag

For det nordlige gennemsejlingsfag vurderes i lighed med det sydlige fag bredden ud fra det største skib. Dog er det tænkt, at det nordlige fag skal tillade mest mulig trafik at passere, mens skibe over en vis størrelse skal benytte det sydlige fag. Gennemsejlingsbredden vil typisk være væsentligt bredere end et skibs bredde og dermed i sig selv ikke afgørende for om et skib vil forsøge at passere under en bro. Det er derimod broens frihøjde. Således vurderer et skib sin passage ud fra frihøjden og dernæst bredden. De foreslåede frihøjder på 26 m, 30 m og 37 m vurderes at svare til, at skibe med længder på omtrent 102 m, 122 m og 166 m vil kunne passere under broen.

Ud fra trafikintensiteten i undersøgelsesområdet, er der ikke den store effekt ved en frihøjde på 37 m i forhold til 30 m. Men de 37 m sikrer at alt trafik, inkl. lystsejlere, på ruten øst om Søndre Stenrøn med meget få undtagelser kan passere igennem Lillebælt. Ved 30 m vil de største skibe skulle benytte det sydlige fag, ligesom de største lystsejlere vil skulle gøre det. Ved 26 m er det kun skibe op til cirka 100 m samt hovedparten af lystsejlerne der kan benytte sig af faget. En frihøjde på 30 m vurderes på denne baggrund som hensigtsmæssig for det nordlige gennemsejlingsfag.

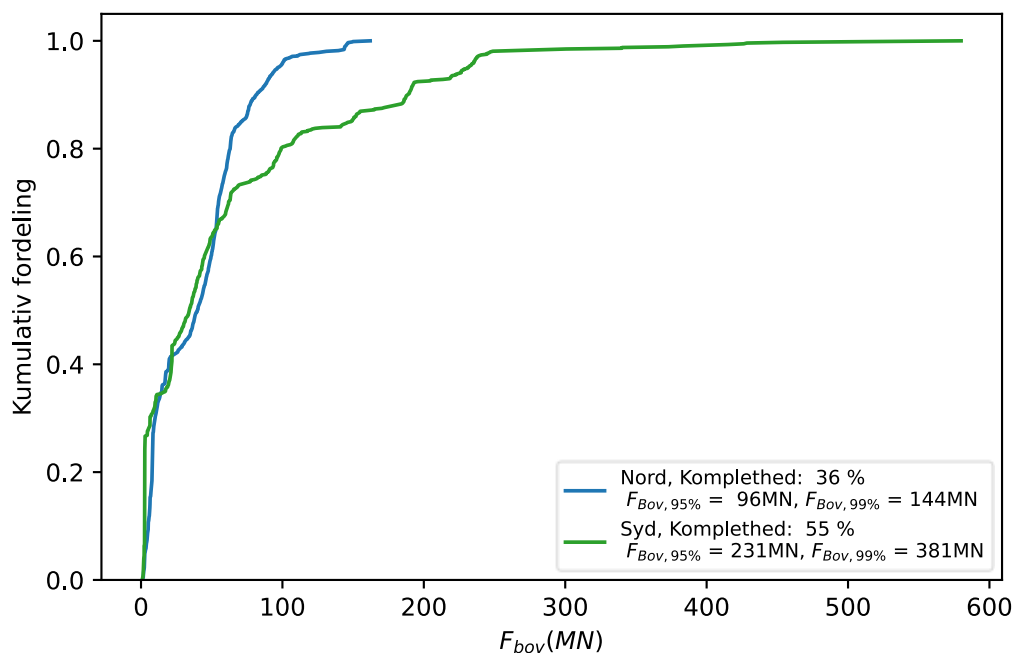
Ses der på trafikintensiteten, er denne 13,4 skibe per dag for alle skibstyper, fraregnes lystbåde falder intensiteten til 5,6 skibe per dag. Antages at alle passager af større skibe kan foretages uden mødesituationer fås en nedre grænse for bredden af gennemsejlingsfaget som 1,6 gange længden af det længste skib. For en gennemsejlingshøjde på 30 m svarer dette til omtrent 196 m. Hvis den nordlige gennemsejling skal tillade mest mulig trafik og kunne passeres af større lystsejlere, vurderes mødesituationer som uundgåelige. For at reducere risikoen i forbindelse med mødesituationer kan man øge bredden, således, at der tillades dobbeltrettet trafik. Det medfører en bredde på 3,2 gange største skibs længde. For en gennemsejlingshøjde på 30 m svarer dette

til en gennemsejlingsbredde på omtrent 390 m. Frekvensen for mødesituationer kan undersøges nærmere hvorved bredden på gennemsejlingsfaget bør kunne optimeres og reduceres fra de 390 m. For eksempel kan gennemsejlingen udlægges som to enkeltrettede gennemsejlingsfag.

## 5. KOLLISIONSLASTER

Til at beregne en forventet kollisionslast fra et skib mod en brokonstruktion tages udgangspunkt i Eurocodes 1991-1-7:2007 /13/ afsnit C.4.4 og formel C.11. Denne formel beskriver den dynamiske regningsmæssige stødlast for et havgående handelseskib med en dødvægtstonnage (DWT) mellem 500 og 300.000 DWT.

I Figur 5-1 er vist den kumulative fordeling af stødlasten fra mindste til største stødlast, for henholdsvis ruterne øst og vest om Søndre Stenrøn. Figurteksten angiver for hver rute andelen af skibe det er muligt at finde en stødlast for, samt hvad stødlasten er for hhv. 95 % og 99 % fraktilerne. De skibe, for hvilke der ikke er en stødlast, skyldes, at de enten ikke har opgivet en længde, en dybgang eller der ikke er registreret en hastighed for skibet. Sammenlignes kompletheden i Figur 5-1 med den i Figur 3-5 og Figur 3-6, ses at den er lidt mindre for stødlasten sammenlignet med kompletheden for dybgangen. Bemærk at de største skibe på begge rute er med, og at mange af de udeladte skibe er lystfartøjer, der primært er mindre og lette konstruktioner. De forventes således at bidrage mest i den lave ende af stødlast-spektrret for alle fartøjer.



**Figur 5-1: Den dynamisk regningsmæssige stødlast i MN for skibe gennem det nordlige (blå) og det sydlige (grøn) gennemsejlingsfag fra Eurocodes 1991-1-7:2007 /13/.**

Stødlasterne for begge ruter ved bestemte percentiler er samlet i Tabel 5-1. Ruten vest om Søndre Stenrøn, lig tidligere undersøgelser /1/, giver den største stødlast, som her er fundet til at være på 580 MN. Ses bort fra den største procent af laster falder stødlasten til 381 MN ved 99 % percentilen. Ved 98.4 % percentilen er stødlasten halveret, til 290 MN i forhold til maksimum. Stødlasten på 95 % percentilen er 231 MN. Det store fald i stødlast, når der ses bort fra de øverste percentiler skyldes, at de meget store fragt- og tankskibe, med længer på 250 m eller mere, kun udgør en lille andel af skibene i området.

Tabel 5-1: Stødlaste i MN på de to ruter øst og vest om Søndre Stenrøn ved forskellig percentiler.

Percentil	Vest om Søndre Stenrøn	Øst om Søndre Stenrøn
100	580	162
99	381	144
98,4	290	-
95	231	96
90	-	81

På ruten Øst om Søndre Stenrøn, er den maksimale stødlast vurderet til 162 MN, mens den er 144 MN ved 99% percentilen. Ved 95 % percentilen er stødlasten 96 MN og ved 90 % percentilen er stødlasten halveret i forhold til maksimum. Det noget mindre fald i stødlast trods større fald i percentil, skyldes, at størrelsen af skibene på ruten øst om Søndre Stenrøn har en langt mindre spredning sammenlignet ruten vest om Søndre Stenrøn.

Til foregående to afsnit, skal det bemærkes, at der ikke er taget højde for de fartøjer for hvilke der ikke kunne findes en stødlast. Det forventes, at stort set alle af disse er mindre skibe og lystfartøjer, der således ikke bidrager til den maksimale stødlast, men bidrager til den kumulative fordeling, således, at de største stødlaster i realiteten udgør en endnu mindre percentil, end det fremgår af Figur 5-1.

Den endelige stødlast bør bestemmes i forhold til "Eurocode 1: Last på bærende konstruktioner – Del 1-7: Generelle laster – Ulykkeslast", samt det tilhørende nationale annek "DS/EN 1991-1-7 DK NA:2013" og "Tillæg broer: 2015 Afsnit 3.2 (1) Acceptabels risikoniveau og 4 Stødpåvirkning". Heri fremgår det, at sandsynligheden for strukturelt svigt skal være mindre end  $10^{-7}$  pr. år for de kritiske svigtformer i henhold til Metode I til eftervisning af acceptabelt risikoniveau for broer i konsekvensklasse CC3 udsat for ulykkeslast. Alternativt kan risikoniveauet vurderes ved anvendelse af Metode II, hvilket inkluderer en ALARP-analyse og en eftervisning af, at sandsynligheden for svigt med stor fare for tab af menneskeliv ikke overstiger  $10^{-5}$  pr. år (for vejbroer).

Nøjagtig fastlæggelse af designskibe og designlaster vil følge af mere detaljerede kollisionsstudier og risikoanalyse som del af det fremtidige arbejde. Yderligere analyser af den fremtidige trafikudvikling vil derudover kunne afdække, om antallet af de største skibe forventes at stige, hvilket vil kunne have betydning for designlasterne. Med det nuværende udgangspunkt vurderes en designlast ved hovedspændet mod syd på omtrent 580 MN og designlasten ved hovedspændet mod nord på omtrent 162 MN, altså uden yderligere vurdering af kollisionsfrekvensen må det forventes, at de mest udsatte bropiller må skulle designes for de største skibe i området.

Muligheder for optimering af konstruktionen i forhold til stødlaster kan f.eks. gøres ved at placere broen, så bropiller og/pyloner løber over lavvandsområderne, sådan, at den lavere dybde danner en naturlig stødpude for de største skibe, givet bundforholdenes karakter tillader dette. Broen kan ligeledes optimeres i forhold til de manøvrer de største skibe gør, hvormed de taber fart, der igen mindsker stødlasten ved en kollision.

For drivende skibe vil stødlasten være mindre da hastigheden er mindre, men den dynamiske masse vil være større. Størrelsen af stødlasten vil dog stadig være signifikant og kunne være dimensionsgivende for områder af broen, der ikke er udsat for direkte stødlast. Hvis det største



skib skulle drive og kolliderede med broen, estimeres den potentielle stødlast til at være op til 182 MN.

## 6. FORSLAG TIL YDERLIGERE STUDIER

### 6.1 Kritiske møder sydlige fag

Sejlrenden igennem det sydlige fag og Als renden, skal være markeret ligesom den vil være ned til 280 m bred på sit smalleste sted. Sejlrendens længde fra nordlig side af undersøgelsesområdet og igennem sejlrenden er opmålt til cirka 11 km. Ved passage af skibe med længder over 175 m vil der kunne opstå kritiske møder i sejlrenden, hvor afstanden mellem to modgående fartøjer er mindre end det største skibs komfortzone. Derfor anbefales det at undersøge hyppigheden af kritiske møder og passager igennem sejlrenden og vurdere, om den tilhørende risiko er acceptabel. Samtidig kan bidraget fra skibe, der pga. begrænsninger på det nordlige fag skal benytte det sydlige fag, inkluderes i vurderingen, da det øger trafikmængden på ruten vest om Søndre Stenrøn.

### 6.2 Kritiske møder nordlige fag

Som en del af optimering på en designbasis kan det undersøges hvor tit kritiske passager af to modgående skibe sker igennem det nordlige fag. Dels i forhold til at flytte trafik fra nordlige til sydlige passage, dels i forhold til optimering af gennemsejlingsbredden i det nordlige gennemsejlingsfag. I forhold til brodesign og tilhørende sejladsrisiko kan det også vurderes om ét dobbeltrettet gennemsejlingsfag eller to ensrettede gennemsejlingsfag adskilt af en bropille/pylon er mest optimalt. Anvendelse af simuleringer af skibstrafikken ved passage af området kan ligeledes anvendes til at kvalificere en eventuel reduktion af bredden af gennemsejlingsfaget.

### 6.3 Antallet af lystsejlere:

Ved trafikanalyse af AIS data fås kun viden om den trafik fra skibe der medbringer en AIS sender. Det er Rambølls erfaringer at dette mørketal er omkring en faktor 10 i forhold til AIS bærende lystfartøjer. Lystfartøjer udgør i forvejen den største individuelle skibstype, men samtidig den mindst kendte type af trafikken i området. Derfor er det relevant at belyse mørketallet af lystsejlere i Lillebælt. Traditionelt gøres dette ved observationer af f.eks. havneløb eller smalle stræder hvor en observatør kan overskue alt trafikken i området. Lillebælt er dog så stort et område, at dette ikke praktisk lader sig gøre. I stedet kan AIS data eksempelvis parres med opgørelser for Danmarks Statistik over overnatninger i danske havne og den Danske Havnelods i en statistisk model, der belyser forholdet mellem antal overnatninger i en havn og antallet af lystsejlere dette nødvendigvis måtte kræve. Samtidig kan udviklingen i antallet af overnatninger over tid hjælpe til at belyse om antallet af lystsejlere er stigende eller mørketallet af lystsejlere er blevet mindre fordi flere medbringer en AIS sender ombord.

### 6.4 Højden af lystfartøjer og landfastning på Fyn-siden:

Ligesom mørketallet af lystsejlere er usikkert, er højden af sejlskibe også behæftet med en vis usikkerhed. Derfor foreslås det at udvide den eksisterende parametriske relation mellem et sejlskibs længde og dets mastehøjde, med større skibe, f.eks. Tall Race skibene, der måler op til omkring 60 m i længde. Den nuværende længde-højde relation dækker kun skibe med længder op til cirka 20 m. Videre foreslås det at undersøge andelen af lystsejlere med en vis øvre højde. Hertil kan Storebæltsbroens vestbro anvendes, da dennes brofags højder er kendte og AIS data viser lystsejlere der sejler igennem alle fagene. Dermed kan fås en relation mellem antal lystskibe med bestemte højder. Endeligt bør det også overvejes hvad frihøjden under de mest kystnære brofag skal være for at tillade en kystnær trafik af lystsejlere, som særligt er relevante omkring Sønder Hjørne på Fyns vestlige tip.

### 6.5 Fremtidig trafik til og fra Lillebælt

Af hensyn til den fremtidige erhvervsudvikling af havne ud til Lillebælt syd for Den Gamle Lillebæltsbro, er det relevant at undersøge trafikens udvikling, særligt i forhold til behovet for

større skibe end de, der i dag sejler til og fra Åbenrå havn. Åbenrå Havn er en af de havne med størst dybgang i dansk farvand, og det betyder, at havnen kan modtage og håndtere særligt store skibe. Afhængig af gennemsejlingshøjden for det sydlige fag er der risiko for at en broforbindelse vil mindske Åbenrå Havns erhvervsmæssige muligheder.

### **6.6 Vurdering af kollisionsfrekvenser og risikoanalyse**

Nøjere fastlæggelse af designskibe, designlaster og accept af et brodesign forventes først at kunne foretages i en fremtidig og mere detaljeret projektfase. Dog vil det være relevant på nuværende stade at foretage en indledende modellering af kollisionsfrekvenser mod mulige broelementer for nærmere at vurdere hvorvidt en broløsning vil kunne accepteres i henhold til Eurocode 1991-1-7. En sådan analyse vil kunne indeholde forslag til mitigerende handlinger for at sandsynliggøre, om der vil kunne opnås et acceptabelt risikoniveau, herunder f.eks. forstærkning af udvalgte broelementer, etablering af skibstrafikovervågning, etablering af beskyttelsesværker og placering af broen for at mindske naturlige kollisionsretninger fra forbipasserende skibe. Detaljerede cost-benefit-analyser (ALARP-analyser) forventes ikke at kunne foretages på forundersøgelsesniveau.

## 7. KONKLUSIONER

Analysen er baseret på den aktuelle skibstrafik i området og indikerer, at der er behov for to gennemsejlingsfag for at sikre uhindret passage af den nuværende skibstrafik. Med en linjeføring inden for undersøgelsesområdet vurderes umiddelbart behov for et sydligt gennemsejlingsfag med en bredde på 500 m og en frihøjde på 60 m, samt et nordligt gennemsejlingsfag med en bredde på 390 m og en frihøjde på 30 m. Placeringen af broen bør overvejes i forhold til, om den kan placeres, så skibstrafikken naturligt ledes igennem gennemsejlingsfagene og dermed reducere sandsynligheden for skibskollisioner mod forskellige dele af broen. Størrelsen og placeringen af gennemsejlingsfagene bør vurderes yderligere under hensyntagen til skibstrafikkens bevægelsesmønstre, samt eventuelle muligheder for at reducere kollisionsrisici.

I forhold til kollisionslaster vurderes det – uden yderligere risikoanalyse – at de mest udsatte bro piller ved gennemsejlingsfagene bør designes til at kunne modstå kollisionslaster på ca. 580 MN (sydligt gennemsejlingsfag), hhv., 165 MN (nordligt gennemsejlingsfag). En yderligere analyse af kollisionsfrekvenser og indledende vurdering af mulige risikoreducerende tiltag vil evt. kunne reducere disse stødlaster.

Endeligt er fremsat en række forslag til yderligere sejlads- og geotekniske undersøgelser der hjælper til at optimere designet af broen i forhold til frihøjder, gennemsejlingsbredder, dens placering og kollisionslaster. Alt sammen med henblik på at mindske anlægsomkostninger og gener forbundet med en evt. fast forbindelse.

## 8. REFERENCER

- /1/ Rambøll for Vejdirektoratet, rapporten Als Fyn Forbindelsen Teknisk Screening og anlægsoverslag, 2019
- /2/ COWI for Sund og Bælt Holding A/S, Kattegatforbindelsen Kyst-kyst Anlægstekniske forundersøgelser
- /3/ Søfartsstyrelsens hjemmeside om AIS data, <https://dma.dk/safety-at-sea/navigational-information/ais-data>, besøgt september 2022
- /4/ Den danske havnelods, [www.dendanskehavnelods.dk](http://www.dendanskehavnelods.dk), besøgt August 2022
- /5/ Alslinjens hjemmeside, <https://www.alslinjen.dk/om-alslinjen%2Ffaerger>, besøgt August 2022
- /6/ Artikel i Der Nordschleswiger fra 05-08-2021 om Apenrade/Åbenrå Havn, <https://www.nordschleswiger.dk/de/apenrade-tingleff-wirtschaft/hafendirektor-tiefe-foerde-ist-unser-grosser-vorteil>, besøgt September 2022.
- /7/ Interterminals Oilterminal hjemmeside vedr. Ensted Olieterminal, <https://interterminals.com/assets/danish-terminals/ensted/facilities-facts/>, besøgt August 2022
- /8/ Assens Skibsværfts A/S hjemmeside, <https://www.asyard.dk/>, besøgt September 2022.
- /9/ Vejdirektoratets side om Den Gamle Lillebæltsbro, <https://www.vejdirektoratet.dk/den-gamle-lillebaeltsbro>, besøgt August 2022.
- /10/IHS Markits hjemmeside for <https://ihsmarkit.com/products/sea-web-maritime-reference.html>, besøgt august 2022
- /11/"Guide Specifications and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges", 2nd Edition, 2009, AASHTO.
- /12/"Ship Collision With Bridges: The Interaction Between Vessel Traffic and Bridge Structures", Ole Damgaard Larsen, IABSE, 1993
- /13/Eurocode 1991-1-7:2007
- /14/IMOs hjemmeside ang. Regulativet: SOLAS regulation V/19 - Carriage requirements for shipborne navigational systems and equipment, <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/AIS.aspx>, besøgt August 2022
- /15/COWI, Kattegatforbindelsen Kyst-Kyst – Anlægstekniske forundersøgelser – KKV – Sejladsforhold og risiko for skibskollision, Juni 2021.
- /16/ Nyhed vedr. ind- og udskibning af kul på Åbenrå Havn, <https://www.energy-supply.dk/article/view/866502/kullet-vender-tilbage-til-ensted>, besøgt November 2022

## **APPENDIX A**

### **TABEL MED FORDELINGER AF SKIBSTRAFIKKEN**

**Tabel A1- 1: Liste med procentvise fordelinger over registreret længde, dybgang og hastighed, for hver passageline. Nedenstående liste er lavet med baggrund i observerede passager. Således referer andelen 1 % til 1 % af de kendte meningsfulde værdier der står under linjen "stk".**

Andel (%)	Al trafik			Vest om Søndre Stenrøn			Øst om Søndre Stenrøn		
	Længde (m)	Dybgang (m)	Hastighed (knob)	Længde (m)	Dybgang (m)	Hastighed (knob)	Længde (m)	Dybgang (m)	Hastighed (knob)
<b>Stk</b>	<b>6029</b>	<b>2794</b>	<b>4784</b>	<b>1415</b>	<b>915</b>	<b>1127</b>	<b>4584</b>	<b>1894</b>	<b>3714</b>
<b>1</b>	6.8	1.3	2.7	5.8	1.5	2.9	7.0	1.3	2.8
<b>2</b>	7.9	1.5	3.1	8.1	1.5	3.5	7.9	1.5	3.2
<b>3</b>	8.4	1.6	3.4	8.8	1.6	3.9	8.3	1.6	3.5
<b>4</b>	8.8	1.6	3.7	9.1	1.6	4.2	8.7	1.8	3.7
<b>5</b>	9.1	1.8	3.9	9.3	1.6	4.3	9.0	1.9	3.9
<b>6</b>	9.2	1.8	4.1	9.5	1.7	4.4	9.1	1.9	4.1
<b>7</b>	9.3	1.8	4.2	9.6	1.7	4.5	9.2	2.0	4.3
<b>8</b>	9.4	1.9	4.3	9.8	1.7	4.7	9.3	2.1	4.4
<b>9</b>	9.5	1.9	4.5	10.0	1.7	4.9	9.4	2.1	4.5
<b>10</b>	9.6	1.9	4.6	10.1	1.7	5.0	9.5	2.1	4.6
<b>11</b>	9.7	1.9	4.7	10.2	1.8	5.1	9.6	2.1	4.7
<b>12</b>	9.8	1.9	4.8	10.4	1.8	5.2	9.7	2.1	4.8
<b>13</b>	10.0	2.0	4.8	10.5	1.8	5.3	9.8	2.2	4.9
<b>14</b>	10.1	2.0	4.9	10.6	1.8	5.4	9.9	2.2	5.0
<b>15</b>	10.1	2.0	5.0	10.8	1.8	5.5	10.0	2.2	5.0
<b>16</b>	10.2	2.1	5.1	10.9	1.8	5.5	10.1	2.2	5.1
<b>17</b>	10.3	2.1	5.2	11.0	1.8	5.7	10.2	2.3	5.2
<b>18</b>	10.4	2.2	5.2	11.1	1.9	5.7	10.3	2.4	5.2
<b>19</b>	10.5	2.2	5.3	11.3	1.9	5.8	10.4	2.4	5.3
<b>20</b>	10.6	2.2	5.4	11.4	1.9	5.9	10.5	2.4	5.3
<b>21</b>	10.7	2.4	5.4	11.5	1.9	6.0	10.5	2.4	5.4
<b>22</b>	10.8	2.4	5.5	11.6	1.9	6.1	10.6	2.5	5.4
<b>23</b>	10.9	2.4	5.6	11.8	1.9	6.2	10.7	2.5	5.5
<b>24</b>	11.0	2.4	5.6	11.9	1.9	6.3	10.8	2.5	5.6
<b>25</b>	11.0	2.5	5.7	12.1	1.9	6.3	10.9	2.5	5.6

Andel (%)	Al trafik			Vest om Søndre Stenrøn			Øst om Søndre Stenrøn		
	Længde (m)	Dybgang (m)	Hastighed (knob)	Længde (m)	Dybgang (m)	Hastighed (knob)	Længde (m)	Dybgang (m)	Hastighed (knob)
26	11.1	2.5	5.7	12.3	2.0	6.4	11.0	2.6	5.7
27	11.2	2.5	5.8	12.6	2.0	6.5	11.0	2.6	5.7
28	11.3	2.5	5.9	12.9	2.0	6.6	11.1	2.6	5.8
29	11.4	2.6	5.9	13.1	2.0	6.7	11.2	2.7	5.8
30	11.4	2.6	6.0	13.3	2.4	6.8	11.3	2.7	5.9
31	11.5	2.7	6.0	13.5	2.4	6.9	11.3	2.7	5.9
32	11.6	2.7	6.1	13.7	2.5	7.0	11.4	2.7	6.0
33	11.7	2.7	6.1	13.8	2.5	7.0	11.5	2.8	6.0
34	11.8	2.8	6.2	14.0	2.6	7.2	11.6	2.8	6.1
35	11.8	2.9	6.2	14.1	2.7	7.3	11.6	2.9	6.1
36	11.9	2.9	6.3	14.1	2.8	7.3	11.7	2.9	6.2
37	12.0	3.0	6.3	14.2	2.9	7.4	11.8	3.0	6.2
38	12.2	3.0	6.4	14.3	2.9	7.5	11.9	3.0	6.3
39	12.4	3.0	6.4	14.3	3.0	7.6	11.9	3.0	6.3
40	12.5	3.1	6.5	14.4	3.0	7.6	12.0	3.1	6.4
41	12.7	3.1	6.6	14.5	3.1	7.8	12.2	3.1	6.4
42	12.9	3.2	6.6	14.5	3.2	7.9	12.4	3.2	6.5
43	13.1	3.3	6.7	14.6	3.4	8.0	12.6	3.3	6.5
44	13.3	3.4	6.8	14.7	3.6	8.0	12.7	3.3	6.6
45	13.5	3.4	6.8	14.7	3.6	8.1	12.9	3.4	6.7
46	13.7	3.5	6.9	14.8	3.7	8.2	13.1	3.4	6.8
47	13.9	3.5	7.0	14.9	3.7	8.3	13.3	3.5	6.8
48	14.1	3.6	7.0	14.9	3.7	8.3	13.5	3.5	6.9
49	14.2	3.6	7.1	15.0	3.7	8.4	13.7	3.5	6.9
50	14.4	3.7	7.2	15.5	3.8	8.5	13.9	3.6	7.0
51	14.5	3.7	7.3	16.8	3.8	8.6	14.2	3.6	7.1
52	14.7	3.7	7.3	19.2	3.8	8.7	14.4	3.7	7.1
53	14.8	3.8	7.4	19.9	3.8	8.8	14.6	3.7	7.2



Andel (%)	AI trafik			Vest om Søndre Stenrøn			Øst om Søndre Stenrøn		
	Længde (m)	Dybgang (m)	Hastighed (knob)	Længde (m)	Dybgang (m)	Hastighed (knob)	Længde (m)	Dybgang (m)	Hastighed (knob)
54	14.9	3.8	7.5	24.2	3.9	8.9	14.8	3.7	7.3
55	15.5	3.8	7.6	25.0	4.0	9.0	15.3	3.8	7.3
56	16.6	3.9	7.6	30.9	4.1	9.1	16.4	3.8	7.4
57	17.9	3.9	7.7	32.7	4.2	9.1	17.5	3.9	7.5
58	19.4	4.0	7.9	39.8	4.3	9.3	19.1	3.9	7.6
59	20.1	4.1	8.0	49.1	4.4	9.3	19.6	4.0	7.6
60	22.1	4.1	8.0	49.3	4.4	9.4	21.0	4.0	7.7
61	24.1	4.2	8.1	49.5	4.5	9.5	21.9	4.1	7.8
62	24.8	4.2	8.2	49.7	4.5	9.6	23.7	4.1	7.9
63	28.1	4.3	8.4	49.8	4.6	9.8	24.6	4.2	8.0
64	28.5	4.4	8.5	53.8	4.7	10.0	28.0	4.2	8.0
65	28.9	4.5	8.6	66.8	4.7	10.0	28.2	4.3	8.1
66	29.7	4.5	8.7	72.9	4.8	10.2	28.5	4.4	8.2
67	32.7	4.5	8.8	75.5	4.9	10.3	28.7	4.4	8.3
68	39.2	4.6	8.9	77.7	5.0	10.4	28.9	4.5	8.4
69	42.3	4.6	9.0	79.2	5.1	10.6	29.6	4.5	8.5
70	44.9	4.7	9.1	79.6	5.1	10.7	32.5	4.6	8.7
71	46.8	4.8	9.2	80.0	5.2	10.9	39.2	4.6	8.8
72	49.4	4.8	9.3	81.2	5.3	11.0	42.1	4.6	8.9
73	51.9	4.9	9.4	81.9	5.4	11.4	42.9	4.7	9.0
74	67.1	4.9	9.6	83.4	5.5	11.5	46.1	4.8	9.1
75	74.4	5.0	9.7	86.1	5.6	11.6	46.9	4.8	9.3
76	78.1	5.0	9.9	87.1	5.7	11.8	54.1	4.9	9.4
77	79.7	5.1	10.0	87.7	5.7	12.0	72.8	4.9	9.5
78	81.2	5.2	10.2	88.7	5.9	12.2	74.8	5.0	9.7
79	81.6	5.2	10.3	89.3	6.0	12.4	79.8	5.0	9.8
80	82.7	5.3	10.5	89.6	6.2	12.6	81.3	5.1	10.0
81	85.4	5.3	10.6	90.0	6.3	12.7	81.7	5.1	10.1

Andel (%)	Al trafik			Vest om Søndre Stenrøn			Øst om Søndre Stenrøn		
	Længde (m)	Dybgang (m)	Hastighed (knob)	Længde (m)	Dybgang (m)	Hastighed (knob)	Længde (m)	Dybgang (m)	Hastighed (knob)
82	87.1	5.3	10.7	100.5	6.5	12.9	83.2	5.2	10.3
83	87.5	5.4	10.9	108.3	6.5	13.1	86.0	5.2	10.4
84	87.8	5.5	11.1	109.8	6.6	13.4	87.2	5.3	10.5
85	88.4	5.5	11.2	111.7	6.8	13.7	87.5	5.3	10.7
86	89.0	5.6	11.4	118.5	6.9	14.4	87.9	5.3	10.9
87	89.4	5.7	11.6	123.1	7.1	14.9	88.3	5.4	11.0
88	89.7	5.7	11.9	131.2	7.4	15.3	88.9	5.4	11.2
89	91.4	5.8	12.2	136.7	7.5	16.5	89.3	5.5	11.4
90	98.1	5.9	12.4	140.7	7.8	17.2	89.6	5.5	11.6
91	103.1	6.0	12.7	143.7	8.3	17.8	90.0	5.6	11.8
92	107.2	6.2	12.9	157.1	8.9	18.4	96.5	5.7	12.0
93	110.4	6.4	13.4	158.1	9.4	18.8	99.5	5.7	12.2
94	113.4	6.5	14.2	159.6	9.5	19.3	106.0	5.8	12.6
95	115.5	6.8	15.6	173.1	9.6	19.9	107.6	5.9	13.2
96	127.9	7.4	17.6	175.6	10.0	20.6	111.7	5.9	14.3
97	140.4	8.2	19.0	180.4	10.3	21.0	113.5	6.0	16.6
98	148.7	9.5	20.1	183.3	10.4	21.5	116.3	6.2	19.4
99	175.4	10.3	21.7	199.6	10.8	22.5	132.2	6.4	21.8
100	292.0	16.5	55.4	292.0	16.5	30.8	149.0	7.4	57.7