

SUND & BÆLT HOLDING A/S

KATTEGATFORBINDELSEN KYST-KYST -
ANLÆGSTEKNISKE FORUNDERSØGELSER

KKV – SEJLADSFORHOLD OG RISIKO FOR SKIBSKOLLISION

FAGNOTAT

ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

INDHOLD

1	Introduktion	3
2	KKV-korridorer og tilhørende broløsninger	4
3	Skibstrafik og aktuelle sejladssforhold	7
4	Sejladssforhold med KKV broløsninger	18
4.1	Gennemsejlingens begrænsning af skibstrafikken	18
4.2	Hovedbroens gennemsejlinger	21
4.3	Sekundære gennemsejlinger	27
4.4	Sammenfatning	31
5	Kollisionsrisiko	34
5.1	Evaluerings af kategori IV kollisioner	38
5.2	Evaluerings af løsningernes kollisionsrisiko	42
5.3	Sammenfatning	47
6	Valget af gennemsejlingen over Samsø Rende	51
6.1	Gennemsejling i de betragtede løsninger	51
6.2	Performance af et gennemsejlingsarrangement	52
6.3	Omkostning ved omladning øst om Samsø	56
6.4	Anlægsomkostninger	56
6.5	Omladnings- og risikoomkostninger	59
6.6	Korrigerede anlægsomkostninger og diskontering	61
6.7	Omkostningsoptimering af gennemsejlingsåbningen	62

PROJEKTNR.

A134385

DOKUMENTNR.

A134385-GS-NOT-002

VERSION

1.0

UDGIVELSES DATO

10. juni 2021

BESKRIVELSE

UDARBEJDET

HEGLX

KONTROLLERET

TSH/IBK/PTR

GODKENDT

PTR

6.8	Sammenfatning	75
7	Sammenfatning og samlet evaluering	78
8	Forslag til yderligere undersøgelser	80
9	Referencer	82

1 Introduktion

Dette fagnotat er et bidrag til de anlægstekniske forundersøgelser af kyst-til-kyst delen af en Kattegatforbindelse. Notatet fokuserer alene på de sejladsmæssige problemstillinger relateret til kyst-kyst delen imellem Samsø og Jylland (KKV), der helt eller delvist er baseret på brokonstruktioner. Notatet er en fortsættelse af de indledende linjeføringsundersøgelser – se ref. [1] og [2] – og leverer grundlag for evalueringerne i baggrundsrapporten for de anlægstekniske forundersøgelser – se ref. [3].

En fast broforbindelse vil kræve ændringer i sejladsens arrangement og påvirke sejladssikkerheden, og disse ændrings omfang og karakter vil have betydning for skibsfartens og søfartsmyndighedernes indstilling overfor etablering af en fast forbindelse. For at belyse dette perspektiv præsenterer og diskuterer notatet skibstrafikkens nuværende omfang og arrangement i området, og beskriver, hvordan de enkelte løsninger kan eller vil ændre dette arrangement, og vurderer i hvilken udstrækning disse ændringer vil influere på sejladssikkerheden.

Skibstrafikkens tilstedeværelse vil omvendt lede til en risiko for påsejling og beskadigelse af brokonstruktionerne i den faste forbindelse, og størrelsen og karakteren af denne risiko vil have betydning for, om den faste forbindelse vurderes at udgøre et tilstrækkeligt sikkert og pålideligt infrastrukturprojekt. Notatet belyser og evaluerer denne risiko ved kvalitative vurderinger og approksimative estimater for løsningerne under hensyn til de usikkerheder, som modelleringen er underlagt.

De undersøgte korridorer og tilhørende broløsninger introduceres kort i afsnit 2, hvorefter skibstrafikken og de aktuelle sejladsforhold beskrives og diskuteres i afsnit 3. Sejladsforholdene med de undersøgte korridorer og broløsninger diskuteres i afsnit 4 og mulige arrangementer af sejladsen omkring broløsningerne præsenteres og evalueres kvalitativt med fokus på sejladssikkerheden og logistisk hensigtsmæssige arrangementer. Broløsningernes eksponering for skibskollisioner diskuteres i afsnit 5 og der gives en kvalitativ evaluering af i hvilken udstrækning risikoen for skibskollisioner vurderes at blive en udfordring for de foreslåede broløsninger for KKV.

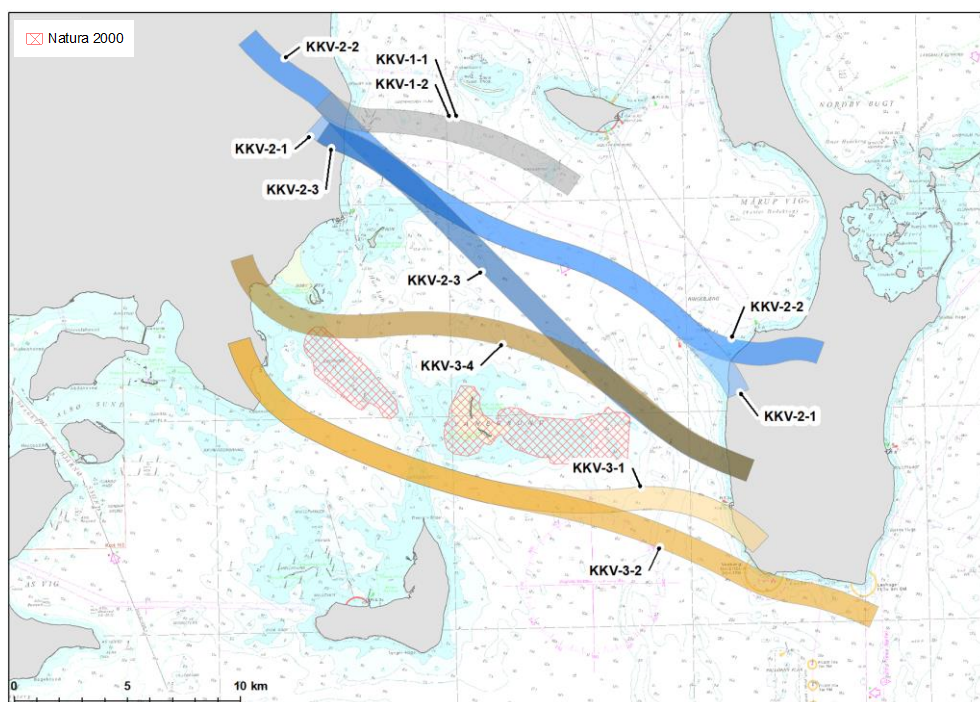
Gennemsejlingen for erhvervstrafikken ved Samsøs vestkyst er et centralt element for alle de rene broløsninger for KKV, og den vil sætte en grænse for, hvor stor en del af den nuværende erhvervstrafik, der vil kunne passere en ren broløsning. Elementerne i valget af denne gennemsejling diskuteres i afsnit 6 og det illustreres, hvorledes beslutningen kan støttes af en omkostningsbaseret optimering, der inddrager begrænsningen af skibstrafikken, anlægsomkostningerne ved gennemsejlingen, og kollisionsrisikoen ved en given konfiguration af gennemsejlingen. Disse overvejelser er ikke konkluderende i forhold til et faktisk arrangement, men giver et oplæg til, hvordan den centrale beslutning om gennemsejlingens arrangement kan støttes, når antallet af mulige løsninger for KKV er reduceret. I afsnit 7 sammenfattes de kvalitative evalueringer for sejladsforholdene og for risikoen for skibskollisioner ved de betragtede løsninger. Endelig giver afsnit 8 en sammenfatning af de undersøgelser, som dette notat har identificeret som relevante for det videre arbejde med en fast forbindelse, der helt eller delvis er baseret på brokonstruktioner.

2 KKV-korridorer og tilhørende broløsninger

For KKV er der betragtet 8 korridorer, hvortil der er overvejet løsninger helt eller delvist baseret på broløsninger – se Tabel 2-1. Figur 2-1 viser den del af korridorerne, der indeholder brodelen. Siden brodelen af de kombinerede løsninger KKV-1.1 og KKV-1.2 er identiske og siden KKV-2.1 og KKV-2.2 kun adskiller sig med lokale forskelle ved ilandføringen, som ikke har betydning for hverken sejladsforhold eller kollisionsrisiko, er der reelt kun tale om 5 forskellige korridorer, hvori der er overvejet broløsninger.

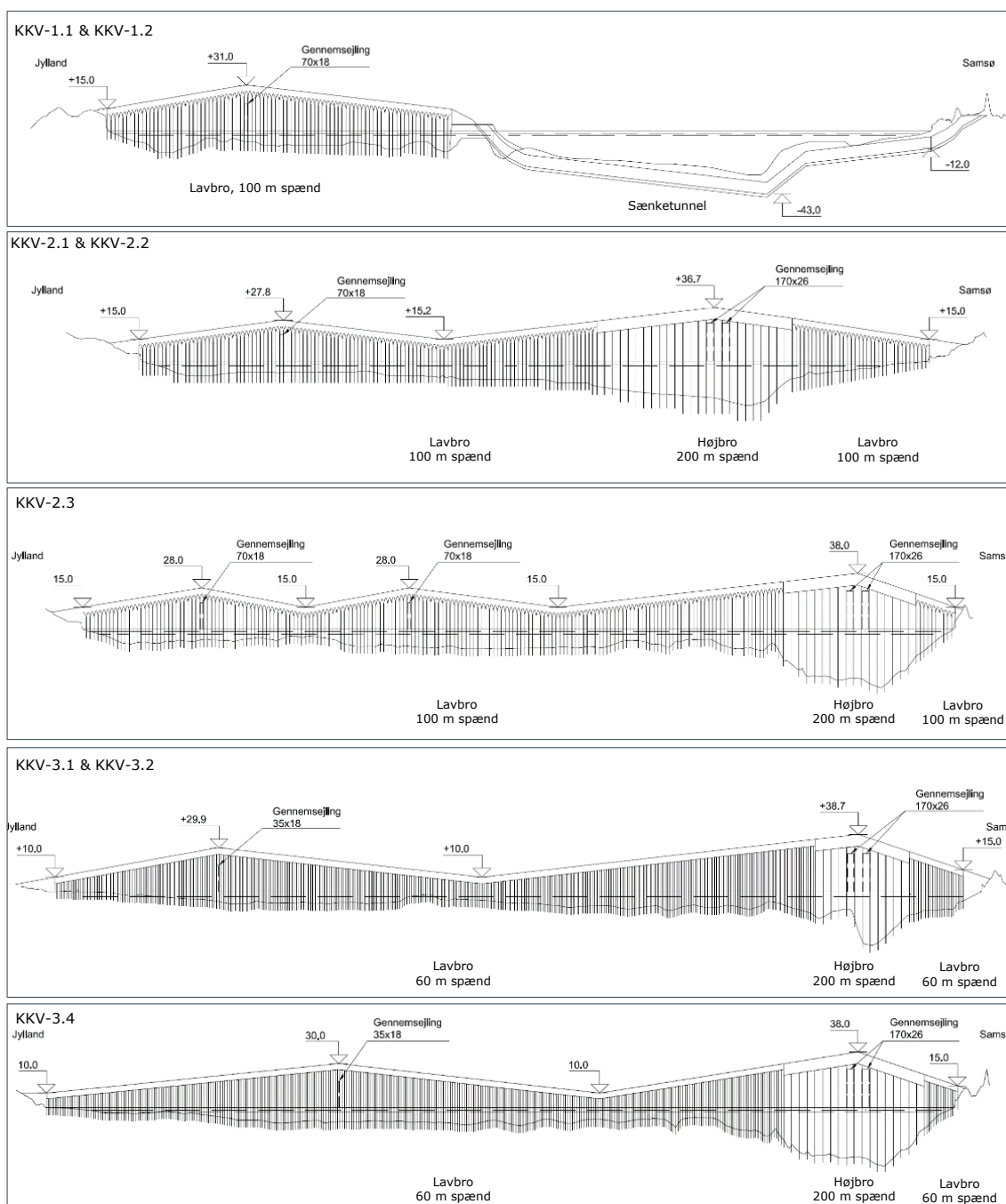
Tabel 2-1 *Betragtede løsninger for KKV korridorer imellem Samsø og Jylland.*

Korridor og ilandføringspunkter	Bro	Sænketunnel	Boret tunnel
KKV-1.1 Onsbjerg Nord - Hou	X	x	
KKV-1.2 Onsbjerg Syd - Hou	x	x	
KKV-2.1 Onsbjerg Syd - Hou	x		
KKV-2.1 Onsbjerg Syd - Hou	Ren tunnelloøsning		x
KKV-2.2 Onsbjerg Nord - Hou	x		
KKV-2.3 Fogedmark - Hou	x		
KKV-3.1 Kolby Kås - Gylling Næs	x		
KKV-3.3 Kolby Kås - Søby	Ren tunnelloøsning		x
KKV-3.4 Fogedmark - Gylling	x		
KKV-3.5 Fogedmark - Søby	Ren tunnelloøsning		x
KKV-3.2 Samsø Syd - Gylling Næs	x		



Figur 2-1 *Brodelen af de betragtede korridorer, der helt eller delvis er baseret på broløsninger, vist på søkort sammen med Natura 2000 områder.*

Brodelen af de kombinerede løsninger KKV-1.1 og KKV-1.2 går fra Hou til en kunstig ø ved Kirkegrund sydvest for Tunø, hvor forbindelsen overgår til en sænketunnel – se Figur 2-2. De rene broløsninger indeholder en østlig hovedbro med 2 gennemsejlingsfag – et til hver retning – og et eller to mindre gennemsejlingsfag i den vestlige del af korridoren, som primært er tiltænkt fritidssejlad. Hovedbroen er foreslået som en højbro med 200 m spændvidde på den strækning omkring gennemsejlingen, hvor der er store vanddybder. Lavbroerne på de øvrige dele af broen anvender et spænd på 100 m for løsningerne i KKV-1 og KKV-2 korridorerne og på 60 m for løsningerne i KKV-3 korridorerne.



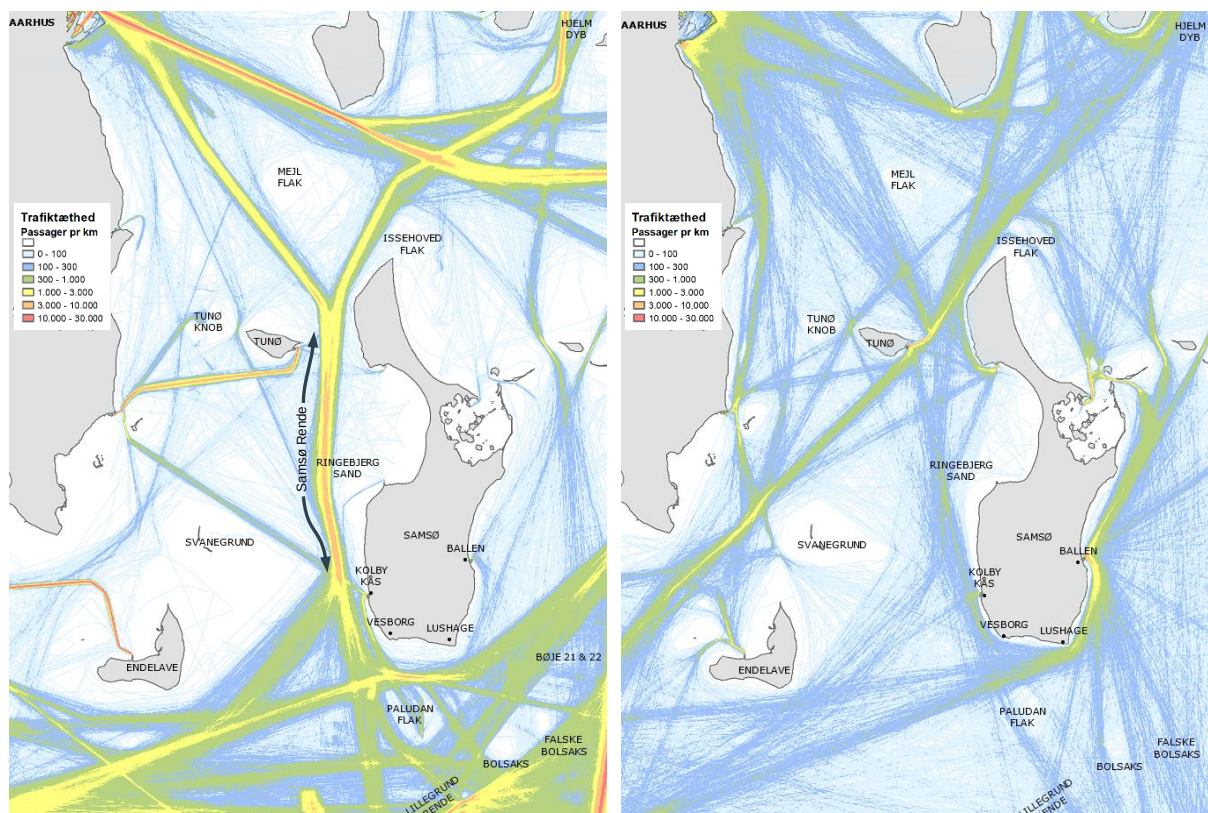
Figur 2-2 Længdeprofiler for de betragtede broløsninger.

Længdeprofilerne for KKV-1.2, KKV-2.2 og KKV-3.2 vil adskille sig fra henholdsvis KKV-1.1, KKV-2.1 og KKV-3.1 ved ilandføringen på forbindelsens østlige ende. Disse forskelle har dog ikke betydning for den nærværende sejlads-mæssige evaluering.

De broløsninger, der ligger til grund for denne sammenlignende evaluering af de undersøgte korridorer, er skitseforslag, der endnu ikke er optimerede. I forhold til sejladsen vil optimering af løsningerne primært omfatte antal, placering og størrelse af gennemsejlinger. Eventuelle justeringer af løsningernes gennemsejlinger forventes ikke at ændre på den relative evaluering af broløsningernes korridorer på de øvrige anlægstekniske evalueringsparametre – projektering, udførelse og geoteknik – eller give årsag til væsentlige ændringer i evalueringen af korridorernes og løsningernes miljømæssige forhold eller anlægsomkostninger. Dette bør dog bekræftes i en eventuel senere fase af forundersøgelserne.

Alle rene broløsninger anvender det samme arrangement af gennemsejlinger for erhvervstrafikken vest for Samsø, med separate gennemsejlinger for hver retning i hvert sit 200 m brospænd. Dette arrangement er baseret på en indledende evaluering af, hvor stor en del af den nuværende trafik vest for Samsø, der vil kunne passere en sådan bro – se ref. [4]. Ændring af denne begrænsning vil påvirke alle rene broløsninger på lige fod og vil dermed ikke ændre løsningernes relative evaluering. Under forudsætning af, at de sekundære gennemsejlinger for fritidstrafikken kan arrangeres med den standard spændvidde, der er forudsat i den vestlige lavbro, kan de viste gennemsejlinger flyttes og suppleres, uden at det leder til ændringer af de øvrige anlægstekniske parametre – herunder anlægsøkonomien – der er tilstrækkelige til at påvirke den relative evaluering og anbefaling af løsningerne.

De navigationsmæssige optimeringer af broløsningerne, der kunne være relevante at betragte på nuværende stade af undersøgelserne, vil ikke ændre på broløsningernes indbyrdes placering i den samlede anlægstekniske og -økonomiske evaluering. De rene broløsningers placering i forhold til tunnellsøsninger og til de kombinerede bro- og tunnellsøsninger, kunne påvirkes af en ændret strategi i valget af gennemsejlingsfag i hovedbroen. Men sådanne overvejelser skal støttes af en mere nuanceret analyse og afvejning, end det nuværende stade af undersøgelserne giver basis for. I afsnit 6 er der givet en indledende analyse af den sejlads-mæssige og anlægsøkonomiske betydning ved andre valg af gennemsejlingsåbninger og gennemsejlingskonfigurationer til inspiration for det videre arbejde.



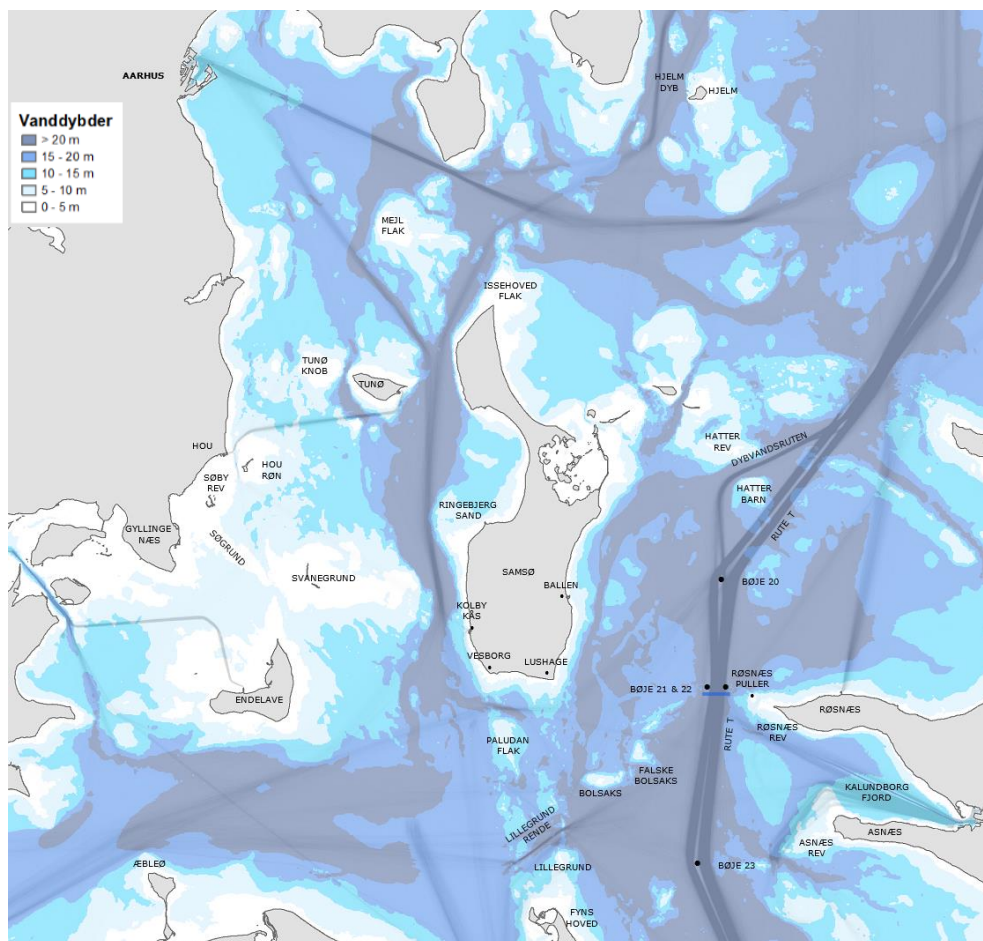
Figur 3-3 Trafiktætheden i farvandet vest for Samsø: Erhvervstrafik (venstre) og Fritidstrafik (højre). Baseret på AIS data for året 2018. (Lokal forstørrelse af Figur 3-1 og Figur 3-2)

KKV berører alene farvandet mellem Samsø og Jylland – se Figur 3-3 – hvor erhvervstrafikken primært benytter ruten langs vestkysten af Samsø (herefter betegnet *Samsø Rende*). Fritidstrafikken er fokuseret omkring områdets øer – EnDELAVE, Tunø og Samsø – og omkring lystbådehavnene i Aarhus og Hou.

Den nuværende færgetrafik mellem Samsø og Hou og Aarhus er taget ud af trafikbilledet, idet en fast forbindelse formodes at eliminere det praktiske og økonomiske grundlag for disse ruter. Udover erhvervstrafikken i Samsø Rende vil KKV dermed primært krydse og eventuelt påvirke: færgeruten Hov-Tunø, servicetrafikken til vindmølleparken ved Tunø Knob og en begrænset trafik mellem Hou og Kolby Kås. Denne øvrige trafik vil have lokale interessenter og det forventes at en fast forbindelses betydning for denne trafik vil kunne afklares og løses uden at påvirke korridormulighederne for den faste forbindelse.

Den stærke fokusering af trafikken i Samsø Rende er betinget af batymetrien mellem Samsø og Jylland som er illustreret i Figur 3-4. I den nordlige ende af farvandet giver to relativt smalle løb øst og vest om Mejl Flak tilstrækkelig vanddybde til sejlads med skibe på op over 300 meters længde. Det vestlige løb skaber forbindelse til Aarhus havn, hvor det vil være vanddybderne nær Aarhus, der udgør en begrænsning for denne trafik. Det østlige løb fører op mod passagen i Hjelm Dyb for trafik via Grenå og videre herfra ud i Kattegat. Denne østlige passage tilbyder generelt større dybder end den vestlige. Fra Tunø og sydover tilbyder Samsø Rende rigelig dybde til selv større skibe og den primære udfordring i den sydlige del, er rendens indsnævring og slyngende forløb mellem Samsø og Svanegrund. Syd herfor breder renden sig ud igen og trafikken har et mere frit

rutevalg afhængig af destinationen, hvilket trafiktætheden i Figur 3-3 tydeligt viser.



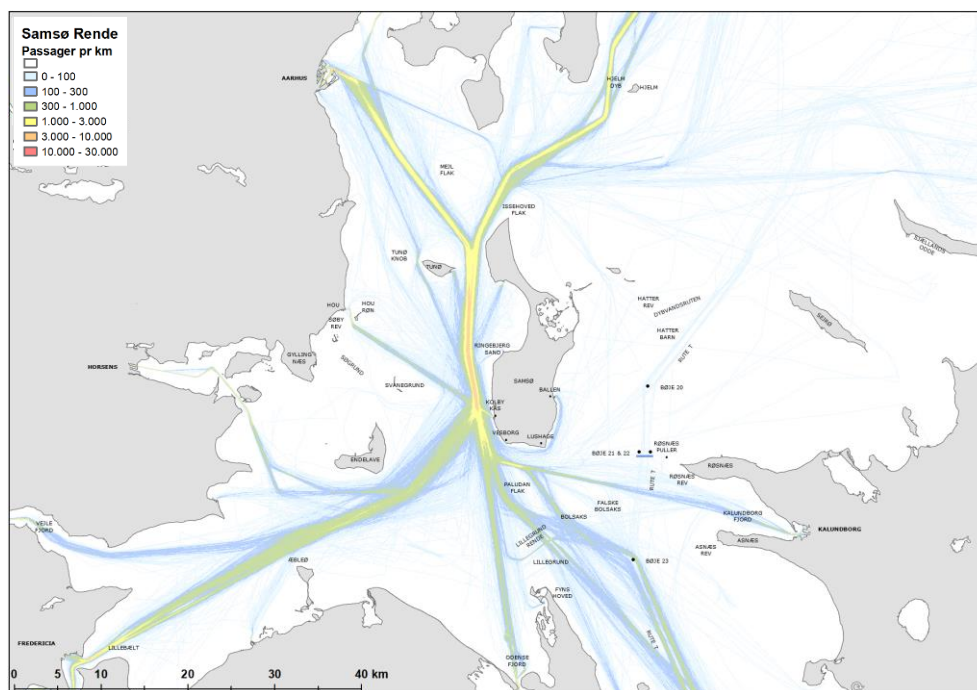
Figur 3-4 Batymetrien i området. Tætheden af skibstrafikken er antydet med en underliggende mørkfarvning

I den sydlige del af farvandet berørt af KKV korridorerne udgør Svanegrund, Søgrund og Søby Rev et samlet område med utilstrækkelig vanddybde til de større erhvervsskibe. Passagen i Samsø Renden ved Kolby Kås er den eneste dybe passage og den anvendes af al erhvervstrafik med skibe af betydende størrelse. Kun 4 erhvervsskibe med en længde over 30 m er i 2018 registreret at have passeret vest om Svanegrund. Al nord- eller sydgående trafik med skibe over 100 m er passeret i Samsø Renden ved Kolby Kås.

Den snævert fokuserede rute for trafikken i Samsø Rende fra Tunø til Kolby Kås er således ikke betinget af en snæver batymetrisk kanal, men repræsenterer blot den direkte vej imellem indsnævringerne i nord og syd og passagen vest om grunden ved Ringebjerg Sand.

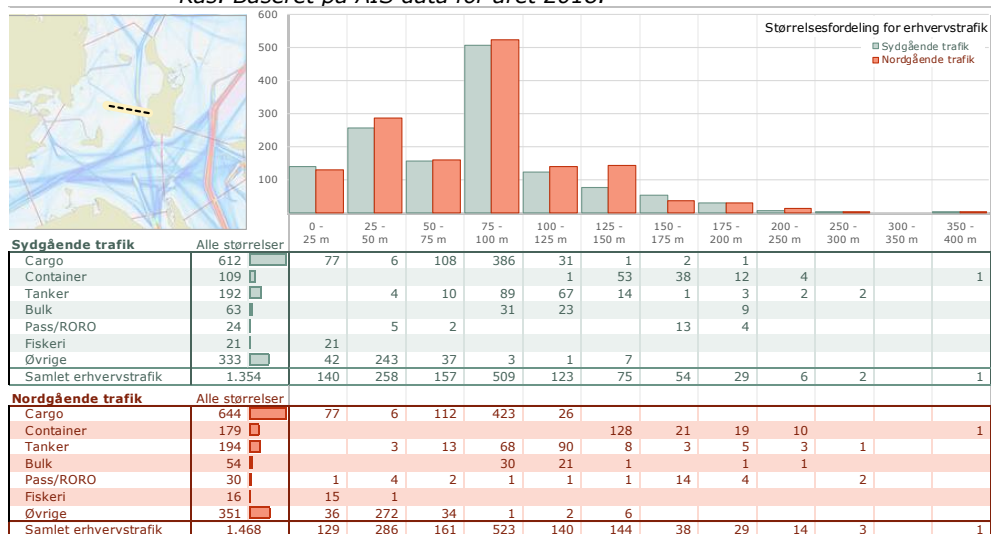
Modsat den internationale Rute T mellem Sjælland og Samsø foregår sejladsen vest om Samsø alene i nationalt farvand. En international aftale pålægger Danmark at tillade alle skibes uhindrede passage igennem de tre bæltter – Lillebælt, Storebælt og Øresund – også selvom passagen gennem Lillebælt er i nationalt farvand. Da sejlads fra Rute T til Lillebælt er mulig via passagen mellem Samsø og Fyn vil ændringer i betingelserne for sejladsen i Samsø Rende ikke krænke denne særlig ret til passage.

Trafiktætheden vist i Figur 3-5 er den trafik, der er registreret at passere i Samsø Renden ud for Kolby Kås. (Denne trafik refereres i det følgende som "trafikken der benytter Samsø Renden".) Tætheden viser at trafikken fra Aarhus Havn og gennem Hjelm Dyb bidrager ligeværdigt i nord, mens trafikbilledet er mere diffust i syd, med Lillebælt/Fredericia som en tydelig dominerende destination. Ifølge opgørelsen af trafikken i Samsø Renden i Tabel 3-1 og i Figur 3-6 udgør de små skibe med en længde på 25-50 m og de mellemstore skibe med en længde på 75-100 m de største bidrag til trafikken. Stykgodsskibe ("Cargo") udgør med over 1.200 årlige passager den største andel, og disse skibe er hovedsageligt mellem 50 m og 100 m lange. Dernæst følger småskibe uden specifik type ("Øvrige") med knap 700 årlige passager og tankskibstrafikken med ca. 400 årlige passager. Tankskibene er typisk mellem 75 m og 125 m lange. Endelig udgør containertrafikken knap 300 årlige passager og disse skibe er typisk 125 til 200 m lange.

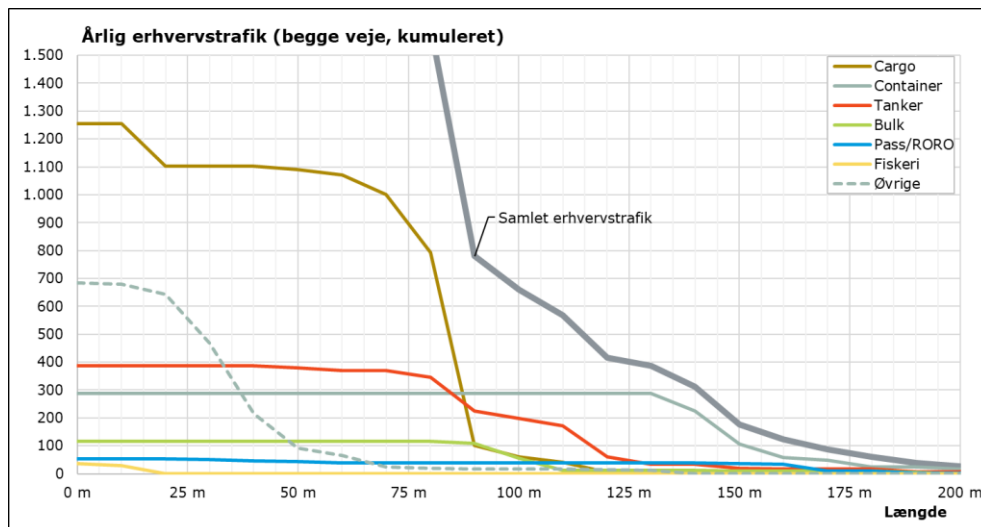


Figur 3-5 Tætheden af erhvervstrafik, der benytter Samsø Rende ved Kolby Kås. Baseret på AIS data for året 2018.

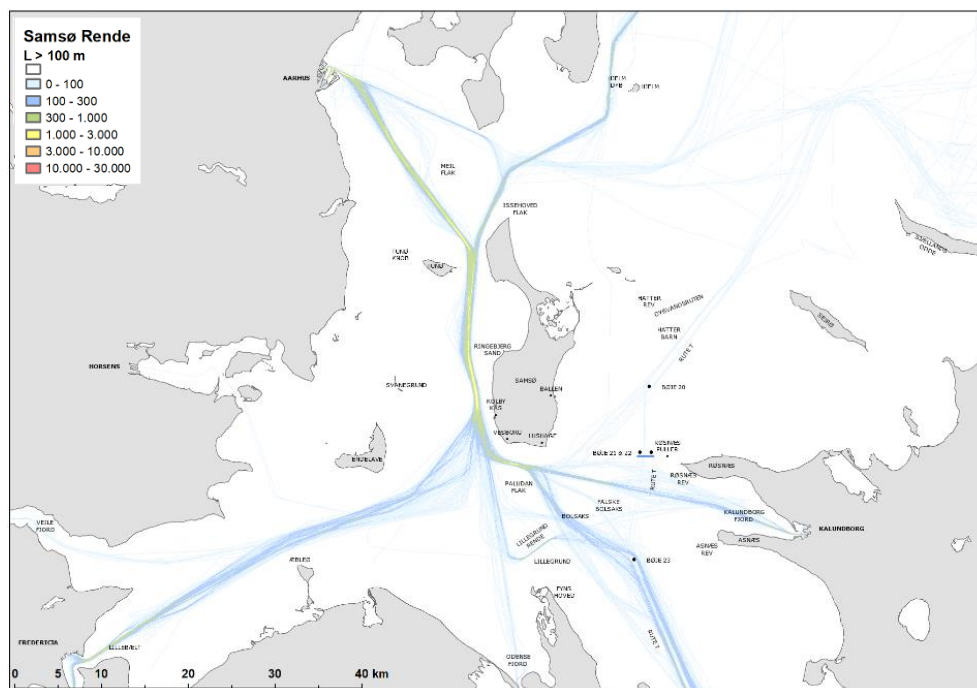
Tabel 3-1 Sammensætning af erhvervstrafik der benytter Samsø Renden ved Kolby Kås. Baseret på AIS data for året 2018.



Den store andel af trafikken med skibe mindre end 100 m har tidligt i forundersøgelserne – se [4] – ledt til en målsætning om, at en bro over Samsø Renden som et minimum skal tillade passage af 100 m lange skibe. Sammenlignes trafiktheden i Figur 3-5 med tætheden af skibe større end 100 m vist i Figur 3-7, bemærkes udover den forventede lavere trafikintensitet dels at sejladsen foregår i mere fokuserede korridorer, og dels at trafikken i større grad er relateret til Aarhus, Lillebælt og Storebælt.

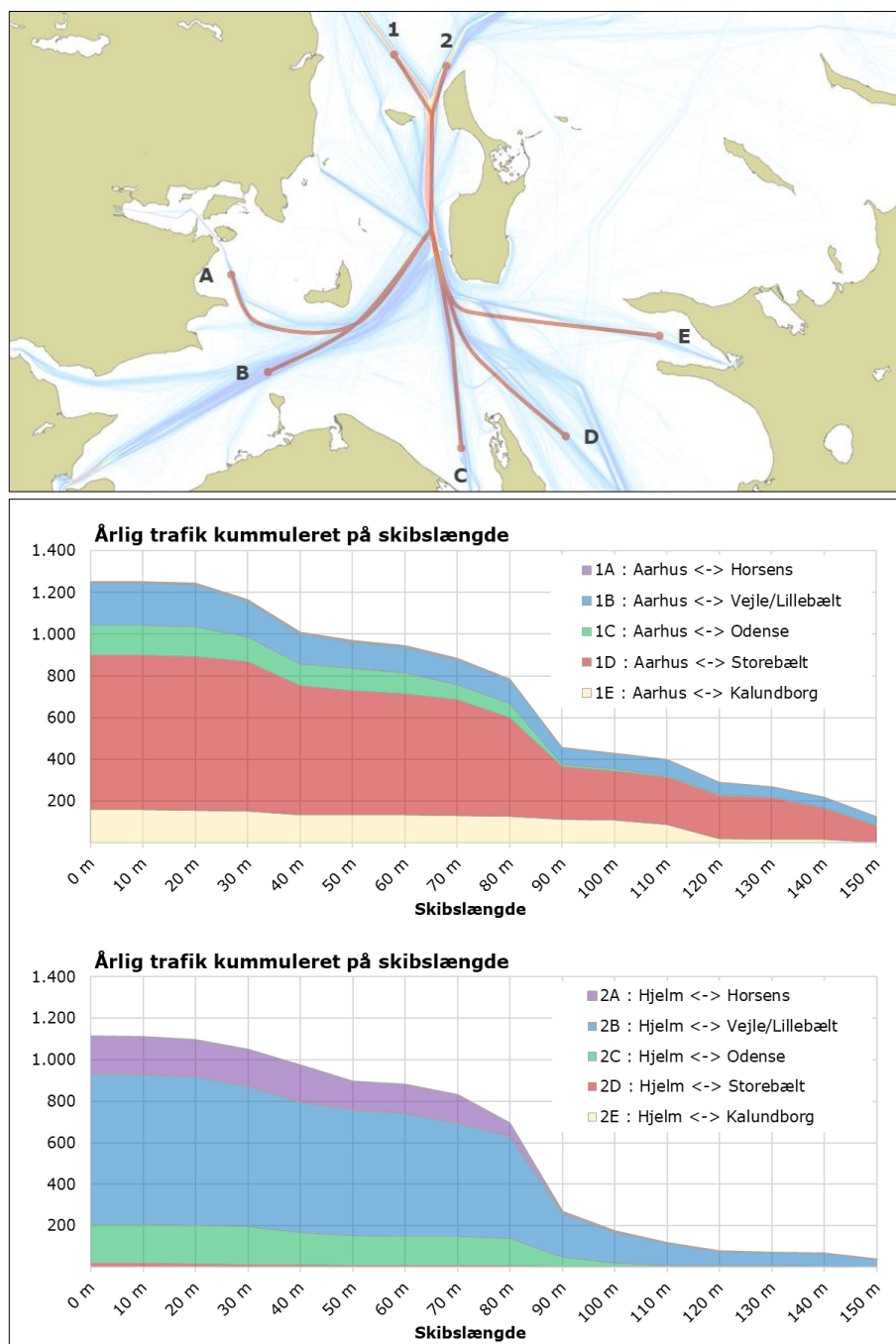


Figur 3-6 Sammensætning af erhvervstrafik, der benytter Samsø Renden. Baseret på AIS data for året 2018.



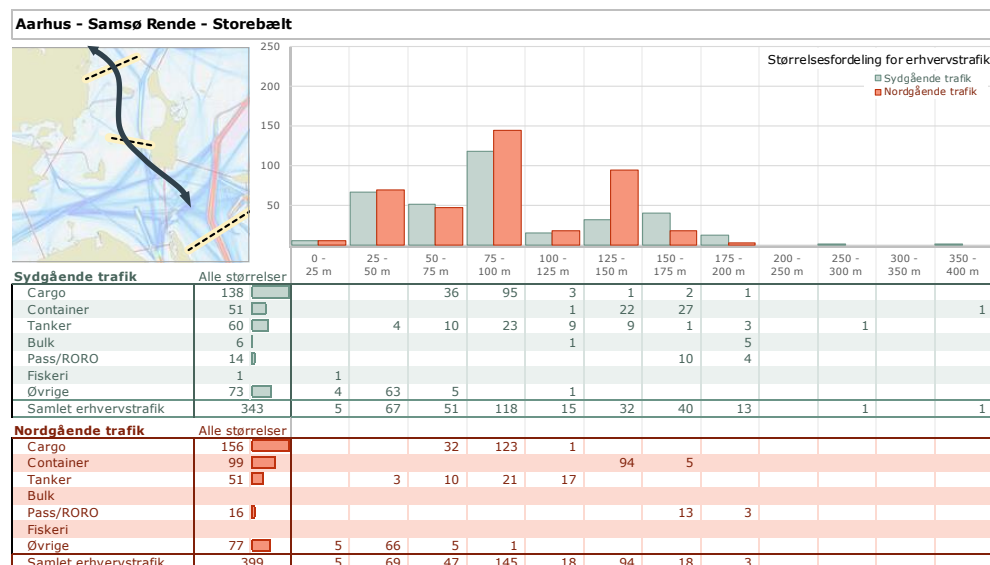
Figur 3-7 Tætheden af erhvervstrafik med skibe længere end 100 m, der benytter Samsø Rende. Baseret på AIS data for året 2018.

Sammenfatningen af en mere detaljeret analyse af logistikken for passagerne i Samsø Renden i Figur 3-8 viser, at de dominerende trafikstrømme forløber mellem Aarhus og Storebælt, og mellem Hjelmsø Dyb og de sydvestlige destinationer Lillebælt, Fredericia og Vejle. For de større skibe (længde over 100 m) dominerer trafikken mellem Aarhus og Storebælt (235 passager), fulgt af trafikken mellem Hjelmsø Dyb og Lillebælt/Fredericia/Vejle (150 passager), Aarhus og Kalundborg (111 passager) og endelig Aarhus og Lillebælt/Fredericia/Vejle (76 passager). De større skibe, der anvender Samsø Renden, er dermed primært "krydsende trafik" – dvs. mellem Aarhus i nordvest og Storebælt/Kalundborg i sydøst, og mellem Kattegat i nordøst og Lillebælt i sydvest. Skibe i denne trafik, der er for store til at passere en KKV-broforbindelse, vil således skulle omlægges til gå øst om Samsø. Den detaljerede sammensætning for disse krydsende trafikstrømme er sammenfattet i Tabel 3-2 og Tabel 3-3 og de tilsvarende kumulative fordelinger i Figur 3-9 giver grundlag for at evaluere, hvor megen trafik for hver skibstype, der vil blive berørt af en begrænsning på størrelsen af skibe, der kan passere en KKV-broforbindelse.

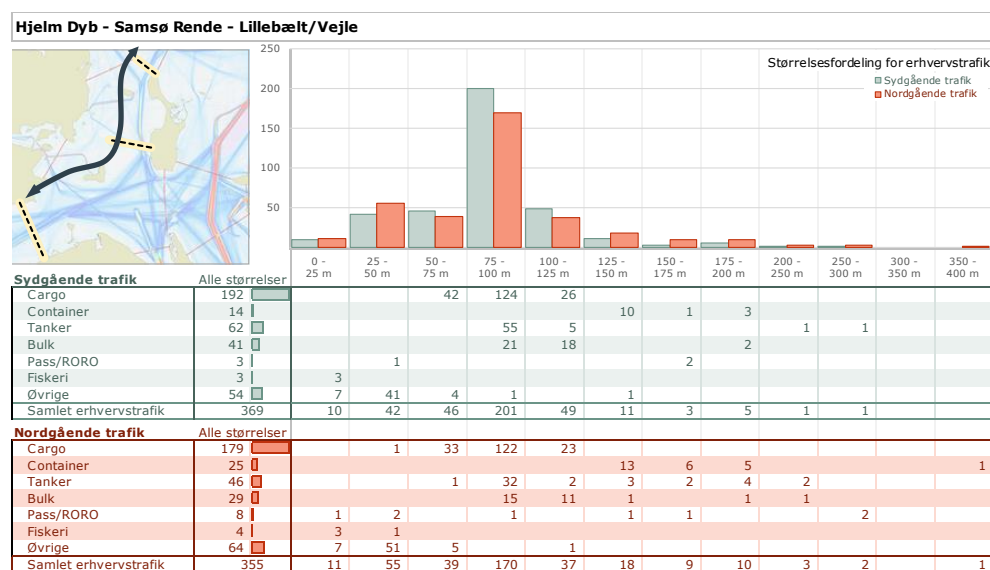


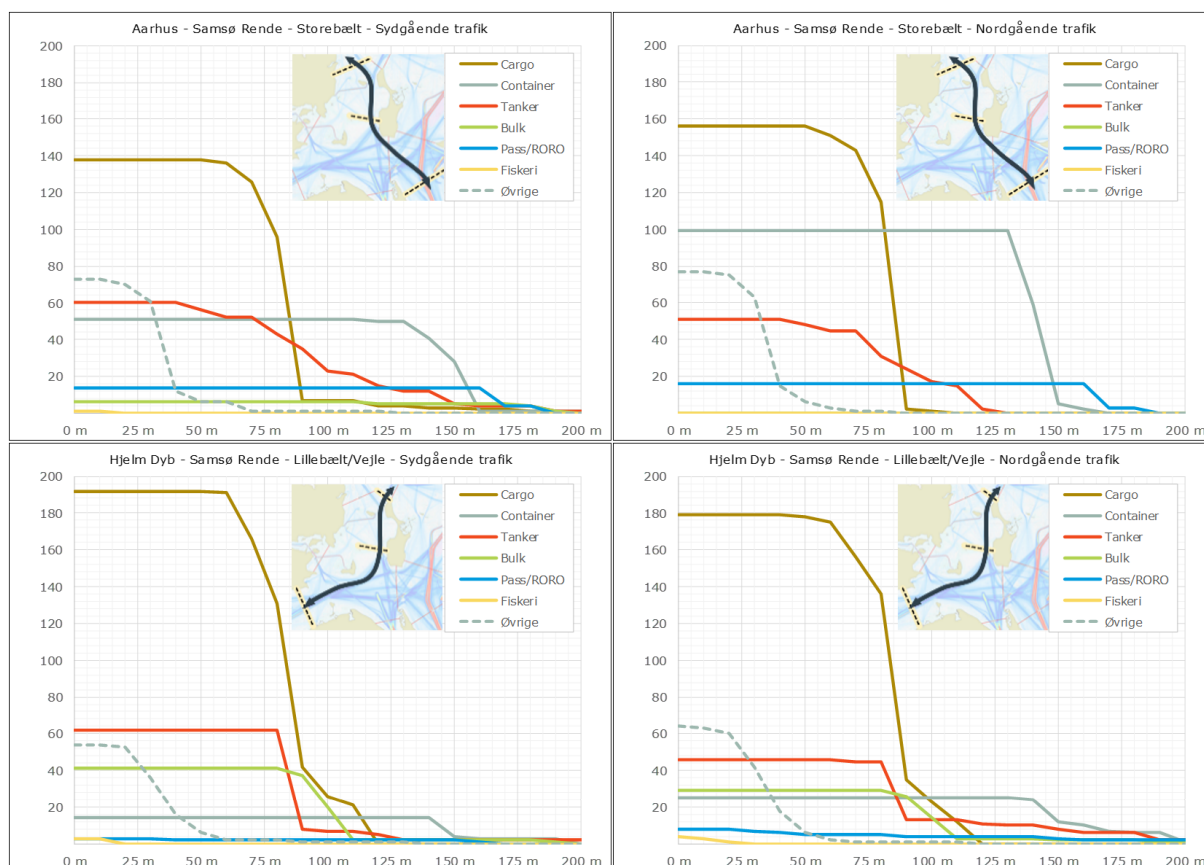
Figur 3-8 Sammenligning af trafikvolumen og størrelsesfordeling for udvalgte trafikstrømme gennem Samsø Rende. Nordligt udgangspunkt i Aarhus (øverst) og nordligt udgangspunkt i Hjelm Dyb (nederst).

Tabel 3-2 Volumen og sammensætning af trafikken gennem Samsø Renden mellem Aarhus og Storebælt. Baseret på AIS data for 2018



Tabel 3-3 Volumen og sammensætning af trafikken gennem Samsø Renden mellem Hjelms Dyb og Lillebælt/Vejle. Baseret på AIS data for 2018

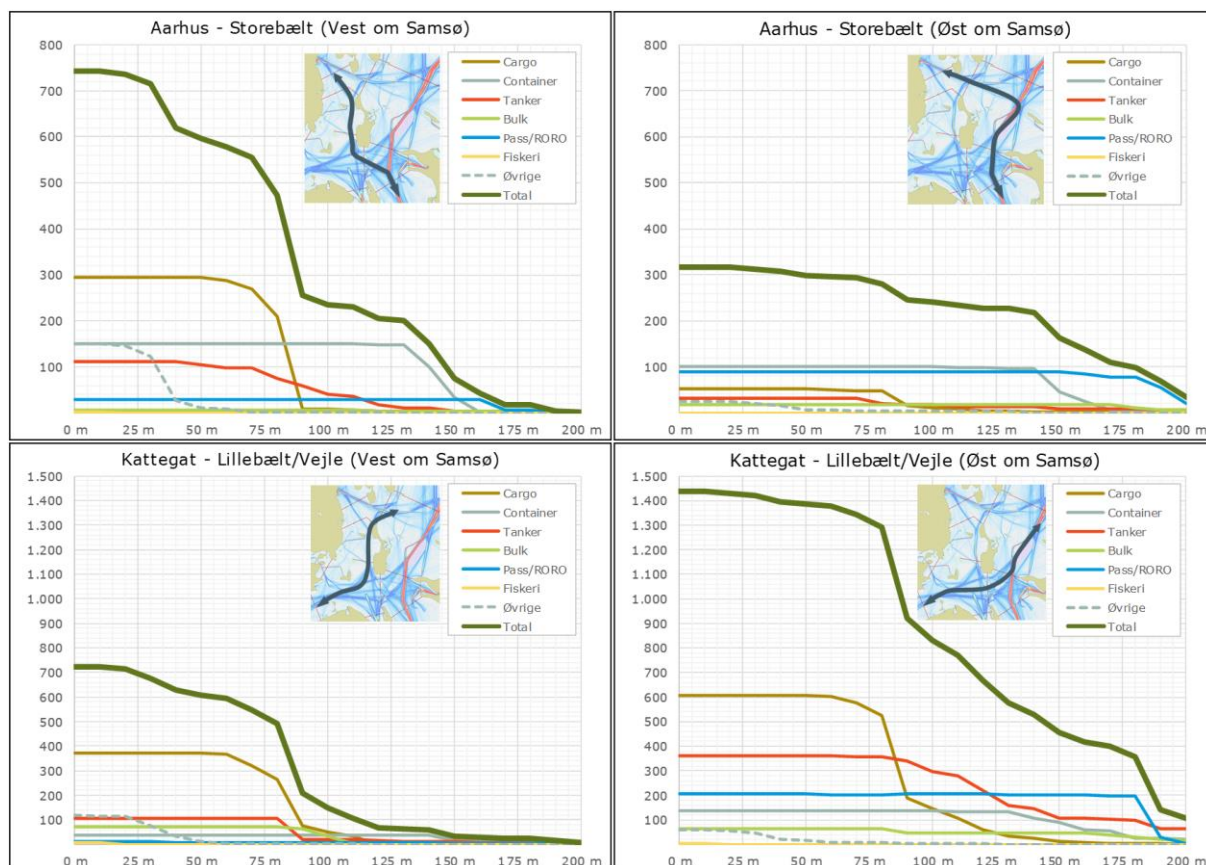




Figur 3-9 Kumulative fordelinger af de "krydsende trafikstrømme" gennem Samsø Rende. Aarhus – Storebælt (øverst) og Kattegat – Lillebælt (nederst)

Stykgodstrafikken (Cargo) udgør den største andel af trafikken i begge retninger af begge krydsende trafikstrømme, og den bliver stort set ikke berørt af en begrænsning på skibslængden på 100 m. Ca. 1/3 af tankskibstrafikken bliver berørt på Aarhus-Storebælt og det samme er tilfældet for bulktrafikken på Kattegat-Lillebælt. En mindre trafik på 30 årlige passager med passager- eller RO-RO-skibe bliver forhindret på Aarhus-Storebælt. For containertrafikken vil en begrænsning på 100 m forhindre alle registrerede passager i 2018 (150 passager på Aarhus-Storebælt og 39 på Kattegat-Lillebælt), så for denne trafiktype kunne der være tale om en mere systematisk/logistisk begrænsning. Denne størrelse af containerskibe anvendes i feedertrafikken, der sørger for lokaldistributionen imellem de store containerhavne og de lokale destinationer i regionen. Dette forhold bør undersøges nærmere i relation til den endelige evaluering og beslutning om begrænsninger i skibstrafikkens passage af en broløsning for KKV.

I vurdering af hvor stor en gene begrænsningen ved en broforbindelse er, er det relevant at sammenholde den trafik, som potentielt tvinges til at gå øst om Samsø, med den trafik, der allerede nu (dvs. i 2018) selv har valgt ruten øst om Samsø. De kumulative diagrammer vist i Figur 3-10 giver grundlag for en sådan sammenligning.

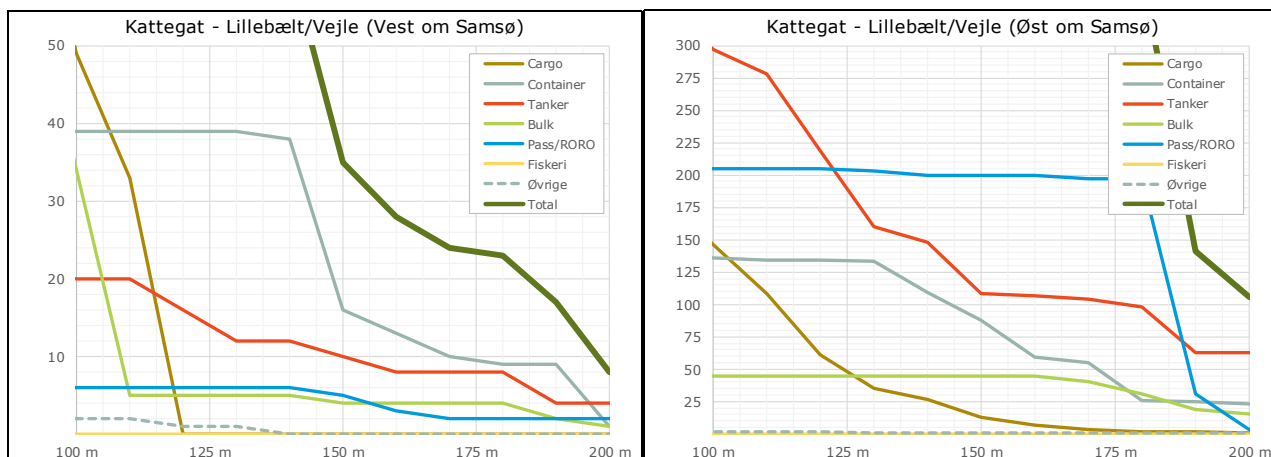


Figur 3-10 Sammenligning af de "krydsende trafikstrømme" der anvender ruterne vest og øst om Samsø.

For trafikken mellem Aarhus og Storebælt er den samlede trafik vest om Samsø væsentlig større end trafikken øst om Samsø. Men denne forskel ligger primært i trafikken med skibe under 100 m, hvor der kun er ca. 70 passager øst om Samsø i forhold til ca. 500 passager vest om Samsø. For skibe over 100 m er trafikken omtrent den samme vest og øst om Samsø – hhv. 235 og 241 passager. Trafikken vest om Samsø er domineret af de førnævnte containerskibe på 130-160 m, og samme trafiksegment er også fremtrædende i trafikken øst om. Trafikken øst om Samsø omfatter en trafik af større passager/ro-ro skibe (over 150 m) hvoraf et mindre antal (21) er store passagerskibe (krydstogtskibe) på 200-300 m længde. Dette trafiksegment går i meget mindre udstrækning vest om Samsø.

For trafikken mellem Lillebælt/Vejle og Kattegat er billedet omvendt, idet trafikken øst om Samsø er dobbelt så stor som trafikken vest om Samsø. Det indikerer at fordelene ved at sejle vest om Samsø er mindre for denne trafik end for trafikken mellem Aarhus og Storebælt. Det er primært for trafik gennem Hjelms Dyb at ruten vest om Samsø er kortere, så valget af ruten vest om Samsø kan dermed være betinget af lokalt havneanløb eller andet formål nord for Hjelms Dyb – f.eks. at skibet skal have lods af/på ved Grenå.

Fokuseres alene på skibe længere end 100 m ses i Figur 3-11 at trafikken vest om Samsø er domineret af containerskibe på 130 – 200 m (feederskibe), sådan som det også er tilfældet for trafikken i Samsø Renden generelt (se Figur 3-6) og for trafikken mellem Aarhus-Storebælt. Øst om Samsø er trafikken i dette containersegment godt 3 gange større end vest om Samsø.



Figur 3-11 Nuancering af diagrammer for trafikken mellem Lillebælt og Kattegat på trafik med skibe med en længde over 100 m.

Ovenstående diskussion af betydningen af en eventuel begrænsning af trafikken vest om Samsø er indikativ og har fokuseret på de dominerende trafikstrømme. En mere tilbundsående undersøgelse af de underliggende erhvervsmæssige mønstre og betingelserne for den trafik, der påvirkes af en broløsning, vil være nødvendig før det kan besluttes om og i hvilken udstrækning en broløsnings begrænsning af skibstrafikken er samfundsmæssig acceptabelt.

Skibstrafikkens tillægsomkostning ved omlægning af trafikken med skibe, der ikke kan passere en broløsning, er undersøgt i [5] og nøgleresultater herfra anvendes i vurdering af et kost-optimalt brospænd i afsnit 6.

4 Sejladsforhold med KKV broløsninger

Den mest betydende ændring af sejladsforholdene med en KKV broløsning er, at trafikken i Samsø Renden vil blive begrænset af broens gennemsejling. Muligheden for at etablere et hensigtsmæssigt og sikkert arrangement af sejladsen omkring gennemsejlingen afhænger af korridorens placering og af gennemsejlingens placering i korridoren. Korridorens krydsning af trafikken i Samsø Renden evalueres i forhold til hvor gunstig en krydsningsvinkel, der kan opnås og i hvilken udstrækning denne gunstige vinkel opnås på bekostning af det sejlads-mæssige arrangement hen til broen.

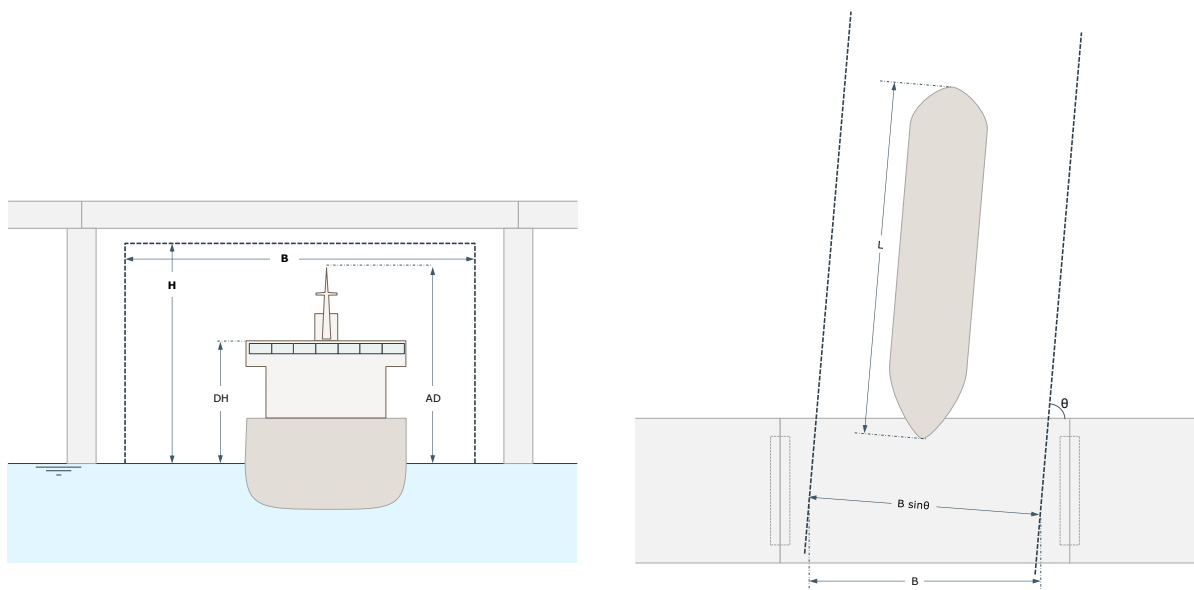
Den vestlige del af korridoren vil influere på fritidssejladsen og den regionale erhvervstrafik med mindre skibe. Højden af gennemsejlingerne i denne del af broen er generelt sat til 18 m, men den kan ændres uden at påvirke anlægskostningen, i den detaljeringsgrad der foreligger på nuværende tidspunkt, væsentligt. Bredden af de foreslåede gennemsejlinger er afledt af den valgte spændvidde af lavbroen, og antallet er skønnet, men kan også ændres uden at påvirke estimatet for anlægskostningerne væsentligt. Med disse relativt mange frihedsgrader for justeringer, er grundlaget for at evaluere korridorerne og broløsningerne ret åbent og dermed vanskeligt at gøre konkret. Evalueringen af denne vestlige del af broerne vil dermed primært tage udgangspunkt i, om spændvidden af lavbroen er tilstrækkelig til en gennemsejlingsåbning.

Begrænsningen af trafikken i Samsø Renden med en bro i KKV er en fælles præmis for alle korridorerne. Valget af gennemsejlingsåbningerne eller -åbningen og dermed af trafikens begrænsninger, er en beslutning med lokal- og trafikpolitiske interesser, og som derfor kræver dialog. Den endelige begrænsning af trafikken vil potentielt kunne ændre dette notats absolutte evaluering af sejladsforholdene omkring de enkelte løsninger, men den vil ikke ændre på den relative rangering af korridorerne og deres løsninger. Den umiddelbare betydning af gennemsejlingens højde og bredde for begrænsningen af trafikken beskrives i afsnit 4.1. (I afsnit 6 gives en bredere introduktion til analyse og beskrivelse af de umiddelbare elementer, der har betydning for eller kan påvirke beslutningen om gennemsejlingens størrelse, og der præsenteres en rationel model til sammenvægtning af disse forskellige facetter i beslutningen.) Afsnit 4.2 diskuterer og evaluerer de mulige arrangementer for korridorerne og de tilhørende broløsninger af erhvervstrafikken ved gennemsejlingen i Samsø Renden. Afsnit 4.3 behandler arrangementet af sejladsen omkring og igennem den vestlige del af broløsningerne, som primært vedrører fritidssejladsen. Evalueringen af korridorerne sammenfattes oversigtsmæssigt i afsnit 4.4.

4.1 Gennemsejlingens begrænsning af skibstrafikken

Størrelsen af broens navigationsåbninger udgør den fysiske begrænsning for den skibstrafik, der vil kunne passere gennem en broløsning. Højden H af gennemsejlingsåbningen sætter den mest specifikke grænse for størrelsen, idet skibe med master eller antenner, der er højere end den angivne åbning, risikerer at få beskadiget disse ved passage af broåbningen. Åbningens bredde B udgør en anden, mere indirekte form for begrænsning, idet skibets manøvreegenskaber – herunder dets drejeradius og pladskravet ved typiske nødmanøvrer – afgør, hvor stor en bredde navigatøren typisk vil foretrække at have til rådighed ved passage af en broåbning. Dette manøvre-mæssige pladskrav er proportionalt med

skibets længde L , hvorved det bliver skibets længde og ikke dets bredde, der afgør hvor bred en åbning, et skib af en given størrelse har behov for.



Figur 4-1 Navigationsåbningens og skibets geometri og skibets passage.

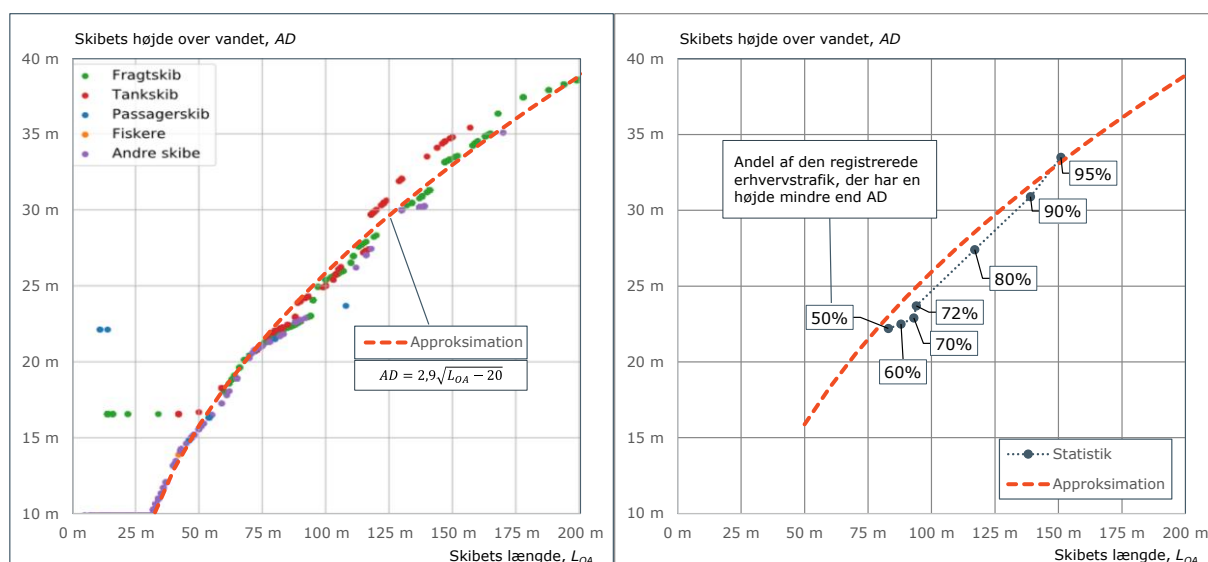
Navigationsåbningens bredde måles langs brolinjen, og den fulde bredde vil kun reelt være til rådighed, når skibet passerer broen vinkelret på brolinjen. Passerer skibet broen under en vinkel θ , hvor $\theta=90^\circ$ svarer til en vinkelret passage, vil navigationsåbningens effektive bredde være reduceret til $B \sin \theta$ set i skibets sejlrkning (se Figur 4-1). Ved mere skæve krydsningsvinkler, vil pillernes udstrækning på tværs af broen tillige kunne bidrage til en yderligere reduktion af den bredde, som skibet effektivt har til rådighed i en skæv passage.

Vejledninger for design af broer over navigeret farvand – se ref. [6] og [7] – anbefaler at gennemsejlingen designs med en bredde fra 1,6 til 3,2 gange længden af de største skibe, der forventes at passere. I indre farvande og med trafikken arrangeret i ensrettede spor med en gennemsejling til hver retning, som det aktuelt er foreslået for hovedbroen i broløsningerne for KKV, vil 1,6 gange skibslængden være tilstrækkelig. Når samme gennemsejling anvendes til passage i begge retninger, vil den samlede navigationsåbning således skulle være 3,2 gange længden af det største skib – svarende til at hver retning altid har 1,6 gange længden til rådighed. Hvis hyppigheden af situationer, hvor to store skibe mødes under eller nær bropassagen, er meget lille, kan det overvejes at reducere spændvidden. Men denne beslutning skal baseres på en mere detaljeret risikovurdering – se afsnit 6.2.

Anbefalingen for åbningens bredde i forhold til skibets længde er etableret i relation til et sikkert design af broen. Skibsfarten selv vurderer ikke åbningens tilstrækkelighed på denne forenkede måde og vil derfor ikke reagere så direkte på gennemsejlingsåbningens bredde, at skibe længere end åbningens bredde divideret med 1,6 eller 3,2 vil undlade at forsøge passage. Skibene vil i første omgang tage bestik af navigationsåbningens højde, og hvis deres mastehøjde er mindre, vil de overveje passage; også selvom åbningens bredde er mindre end 1,6 gange skibets længde. Af hensyn til broens sikkerhed er det derfor vigtigt, at åbningens bredde er afstemt med højden, så den reelle fysiske begrænsning af

skibenes størrelse – sat via højden – ikke tillader passage af skibe, der er for lange i forhold til åbningens bredde. De lokale betingelser i farvandet – strøm og vind – kan spille en rolle for hvor stor en åbningsbredde, der vil være nødvendig. Beslutningen om tilstrækkelig spændvidde støttes derfor almindeligvis med navigationssimuleringer af sejladsen igennem den planlagte bro.

De indledende undersøgelser af trafikken gennem Samsø Renden (ref. [4]) præsenterer en korrelation imellem længde og højde over vandet af forskellige typer af erhvervsskibe (Figur 3-1 i ref. [4]). Og baseret på den observerede trafik for 2018 er denne relation anvendt til en statistisk vurdering af, hvor stor en del af den registrerede erhvervstrafik, der kan passere under en bro med en given frihøjde og hvor lange disse skibe kan være (Tabel 3-1 i [4]). Den etablerede korrelation imellem skibenes længde (L_{OA}) og deres højde over vandet (AD) er vist i Figur 4-2, sammen med en simpel approksimerende kurve.



Figur 4-2 Approsimativ relation imellem skibslængde (L_{OA}) og skibets højde over vandet (AD). Vist til venstre på Figur 3-1 fra [4] og vist til højre sammen med statistikken fra Tabel 3-1 i [4].

Approximationen kan anvendes til en indikativ afstemning af den nødvendige bredde (B) af navigationsåbningen for en given højde (H):

$$B = 1,6 \times [(H/2,9)^2 + 20] \quad (\text{for erhvervstrafik})$$

Denne relation forudsætter envejs passage i navigationsåbningen og at ruten krydser broen i en ret vinkel. Navigationsåbningerne over Samsø Renden for de foreslåede løsninger vist i Figur 2-2 er 26 m høje. Baseret på ovenstående relation skal bredden være større end 160 m, så den 170 m brede navigationsåbning, der er afsat i hovedbroens 200 m spænd, er dermed tilstrækkelig hvis der kan opnås en rimelig vinkelret passage af broen. Gennemsejlingsåbningerne i den ny Storstrømsbro på 26×160m er evalueret igennem en serie navigationssimuleringer og er fundet tilstrækkelige for op til 100 meter lange skibe. Ved en skæv krydsningsvinkel skal B erstattes af $B \cdot \sin \theta$, hvor θ er vinklen imellem skibenes krydsningsretning og brolinjen – se Figur 4-1.

De sekundære navigationsåbninger i den vestlige del af KKV-broløsningerne er 18 m høje, hvilket under forudsætning om envejspassage af et erhvervsskib vil

kræve en bredde af gennemsejlingen på 94 m. De sekundære gennemsejlinger, med bredder fra 35 til 70 meter, er dermed ikke afstemt til erhvervstrafik. De største erhvervsskibe, der vil kunne passere (under) broen i disse gennemsejlinger, vil være for lange i forhold til bredden af gennemsejlingen. Det kan derfor blive nødvendigt aktivt at forhindre for store skibe at anvende disse gennemsejlinger. Som eksempel er der etableret en tilsvarende begrænsning af trafikken gennem Vestbroen over Storebælt, og den håndhæves aktivt af VTS Storebælt.

Fritidssejladserne er sammensat af sejl- og motordrevne fartøjer, men det er sejlskibene og deres mastehøjde, der stiller de egentlige krav til gennemsejlingen. Relationen mellem sejlskibets længde L og mastehøjde AD er også undersøgt i ref. [4] og på basis af en række typiske fritidssejlskibe på op til 22 meters længde, foreslås i ref. [4] følgende lineære relation imellem skibets længde og mastens højde over vandet:

$$AD = 1,32 \times L + 0,31 \text{ m}$$

Antages det – noget konservativt – at forholdet imellem navigationsåbningens bredde B og sejlskibets længde L mindst skal være 3,2, kan regressionen mellem AD og L definere et mindstekrav til navigationsåbningens bredde, som funktion af højden H :

$$B = 2,4 \times H + 0,75 \text{ m} \quad (\text{for sejlskibe til fritidssejladser})$$

Højden af de sekundære navigationsåbninger er generelt sat til 18 m, og for sejlskibe ville det således betyde, at den en mindste bredde af gennemsejlingen bør være 44 m. Ikke overraskende vil sejlskibene med en mastehøjde på 18 m således kræve en mindre navigationsbredde end erhvervsfartøjer med en tilsvarende mastehøjde.

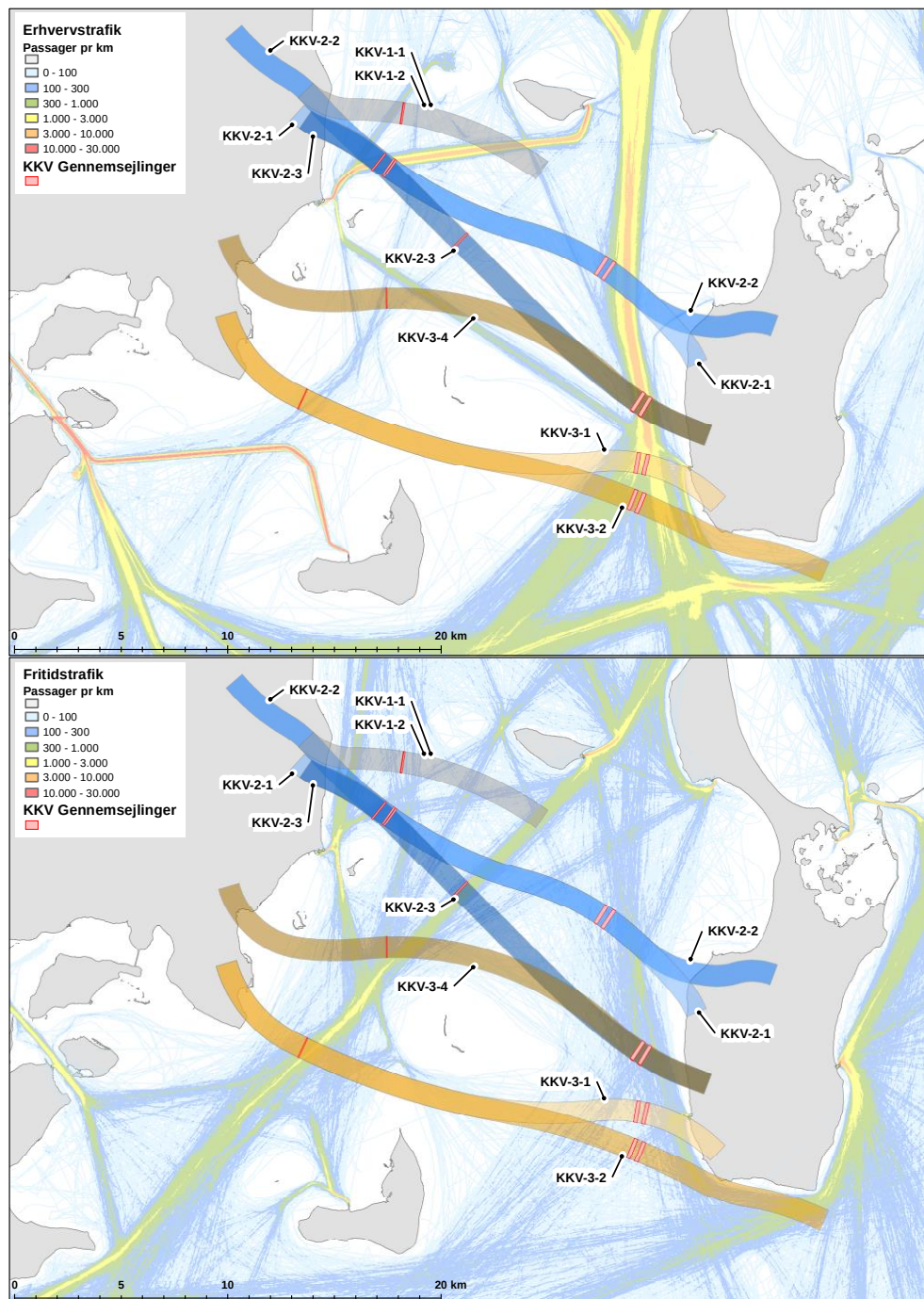
Vurderingen af den faste forbindelses betydning for sejladsforholdene i dette notat, er knyttet til en anlægningsteknisk forundersøgelse af broløsninger, der endnu ikke er optimeret i forhold til trafikken. Frihøjderne i de foreslåede gennemsejlinger kan ændres, uden at påvirke de estimerede anlægsomkostninger nævneværdigt, så længe broens spændvidde fastholdes. Det er derfor ikke relevant at evaluere broløsningerne baseret på den begrænsning, som den foreslåede højde på gennemsejlingerne giver anledning til. Frihøjden vil kunne justeres hvis det viser sig nødvendigt. På nuværende stade af projektet vil det kun være broens spændvidde i gennemsejlingsfagene, der kunne have omkostningsmæssig betydning. Derfor er det alene gennemsejlingsbreddens tilstrækkelighed – evt. korrigeret for krydsningsvinklen – der evalueres.

Oplæg til en mere nuanceret og totaløkonomisk analyse og fastlæggelse af hovedbroens gennemsejlingsåbning er præsenteret i afsnit 6, som en illustration af hvilke forhold, en videre optimering af broløsningernes gennemsejlinger kan og bør omfatte.

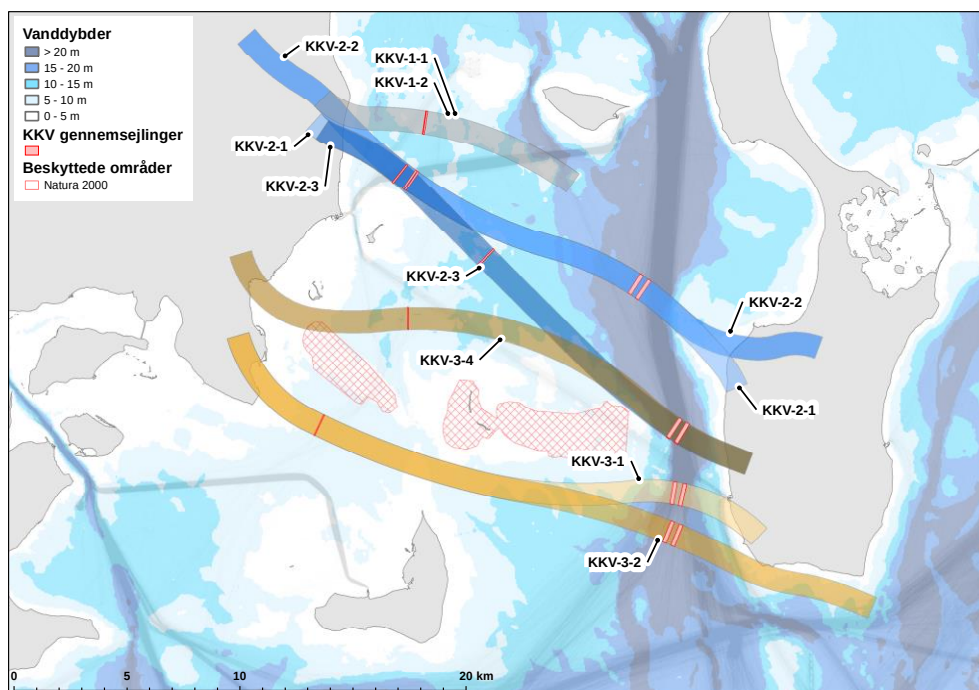
4.2 Hovedbroens gennemsejlinger

Gennemsejlingsåbningerne for løsningerne er indikeret på længdeprofilerne i Figur 2-2 og deres geografiske placering på korridoren er markeret i Figur 4-3

sammen med tætheden af henholdsvis erhvervs- og fritidstrafikken. Den viste placering af åbningerne tager udgangspunkt i en linjeføring midt i korridoren og det røde bånd på tværs af korridoren markerer retningen for en optimal, vinkelret krydsning. Batymetrien omkring korridorerne, der er vist sammen med korridorerne i Figur 4-4, har betydning i forhold til mulighederne for at arrangere skibstrafikken, så krydsning bliver så retvinklet som muligt.



Figur 4-3 Markering af hel- og delvise broløsningers gennemsejlingsåbninger vist sammen med trafiktætheden for erhvervstrafikken (øverst) og for fritids- trafikken (nederst).



Figur 4-4 Brodelen af de betragtede korridorer vist sammen med batymetrien og Natura 2000 områderne ved Svanegrund og Søgrund.

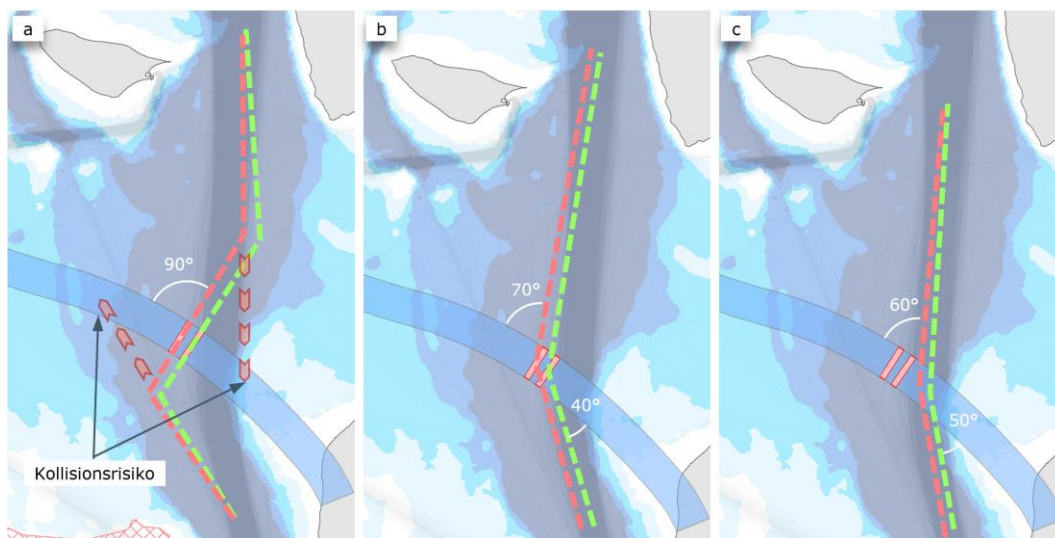
Som nævnt i afsnit 2 er højbro-delen og dens gennemsejling over Samsø Renden udformet stort set ens for alle rene broløsninger. Dette er valgt dels for at gøre deres anlægsmkostninger umiddelbart sammenlignelige, og dels for at evalueringen af korridorerne ikke forudsætter en navigationsmæssig optimering og detaljering af broløsningernes gennemsejlinger, som overstiger den detaljering, der i øvrigt er anvendt ved det nuværende stade af projekterne.

For den enkelte korridor og broløsning vil evalueringen af gennemsejlingen i hovedbroen derfor begrænses til at identificere og diskutere relevante arrangementer af sejladsen omkring gennemsejlingen. Arrangementerne er identificeret med udgangspunkt i forskellig prioritering af: i) enkel og sikker sejlads frem til og gennem broen, ii) begrænsning af risikopotentialet for kollisioner mod broen, og iii) en så retvinklet krydsning af broen, som muligt. Gennemsejlingen kan flyttes langs med broen uden at det påvirker anlægsoverslaget, og denne mulighed udnyttes underforstået i evalueringen af den enkelte korridor og broløsning.

Større principielle ændringer – som forøgelse af spændvidden i gennemsejlingen eller at samle gennemsejlingen i et større hovedspænd med tovejs trafik – vil have relevans for alle løsningerne, og er derfor analyseret separat i afsnit 6.

4.2.1 KKV-2.1 og KKV-2.2

For de to nordlige korridorer KKV-2.1 og KKV-2.2 er gennemsejlingen i hovedbroen placeret godt en kilometer nordvest for, hvor skibstrafikken aktuelt krydser korridoren. Gennemsejling er dermed beliggende midt i et større område med rigelig vanddybde, hvorved der er plads til at arrangere skibstrafikken så der opnås en vinkelret krydsning. Et sådant arrangement er vist i Figur 4-5 a).



Figur 4-5 Ændret forløb af trafikken ved gennemsejlingen i KKV-2.1 og KKV-2.2.: a) med en vinkelret krydsning, b) med et ruteknæk i korridoren, og c) med en mere østlige gennemsejling og et ruteknæk i korridoren.

Arrangementet skaber to større knæk på ruten hen mod broen, og muligheden for at skibene ikke foretager kursændringen ved disse knæk, udgør en uønsket risiko for kollisioner mod broen. Det nordlige knæk er lagt så de lavvandede områder ved Ringebjerg Sand vil begrænse/beskytte mod kollisioner nordfra, men batymetrien vest for gennemsejlingen giver ingen beskyttelse imod denne form for kollisioner fra rutens sydlige knæk.

For at undgå disse ruteknæk og den relaterede kollisionsrisiko vil det være nødvendigt at lægge det knæk på ruten, som er nødvendig for skibenes passage vest om Ringebjerg Sand, i selve gennemsejlingen som vist i Figur 4-5 b). Trafikken sydfra vil dermed møde korridoren under en ugunstig vinkel – mellem 40 og 45 grader – og gennemsejlingsåbningen i broen skal være væsentlig bredere (40%) for at kompensere for denne vinkel. Trafikken nordfra vil møde broen under en vinkel på ca. 70 grader, hvorved gennemsejlingens effektive bredde kun reduceres med ca. 6%.

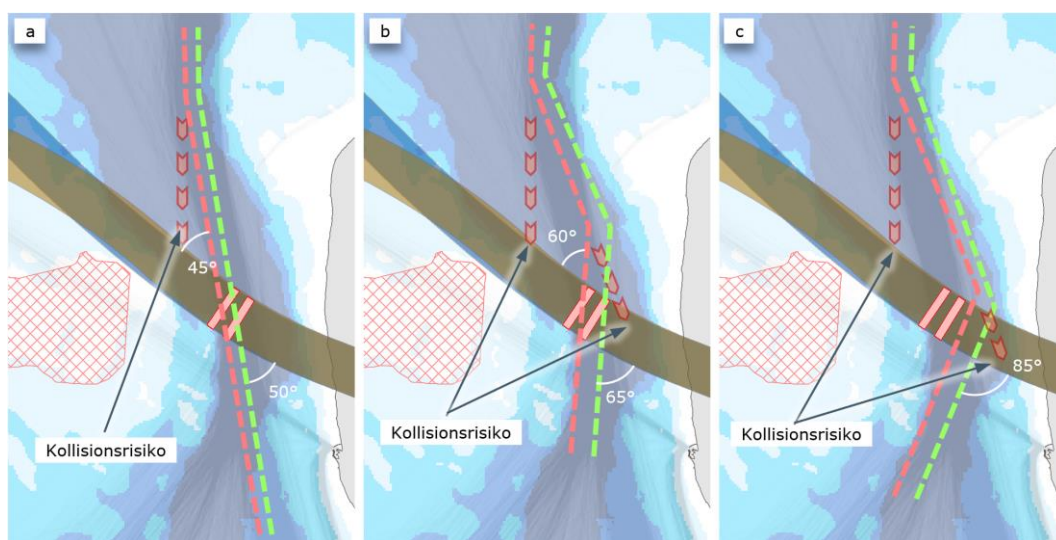
Flyttes gennemsejlingen længere mod øst – se Figur 4-5 c) – vil krydsningsvinklerne blive mere ensartede – ca. 50 grader sydfra og ca. 60 grader nordfra – og rutens knæk ved passage af broen vil reduceres til 10-15 grader. Disse krydsningsvinkler giver en effektiv bredde af gennemsejlingen på 75-85% og omvendt skal gennemsejlingerne være ca. 30% bredere for at svare til en vinkelret krydsning af den foreslåede gennemsejlingsåbning. Præcisering af hvor meget bredere gennemsejlingen bør være, kan afklares med navigationssimuleringer.

Hvis andre hensyn og forhold tillader det, kunne en omlægning af korridoren overvejes, så der opnås en mere vinkelret krydsning ud for Ringebjerg Sand. Broløsningen ville ved denne løsning i tillæg have en kortere strækning på det dybe vand midt i renden.

4.2.2 KKV-2.3 og KKV-3.4

Beliggenheden af de centrale korridorer KKV-2.3 og KKV-3.4 er et kompromis imellem ønsket om et sydligt beliggende ilandføringspunkt på Samsø og kravet

om at holde korridoren nord for naturområderne på Svanegrund. Korridoren krydser derved Samsø Renden hvor trafikken er meget fokuseret – hvilket generelt er fordelagtigt – men krydsningen sker i en uønsket skæv vinkel. Gennemsejlingsåbningen er placeret, hvor trafikken aktuelt krydser korridoren, og med trafikens nuværende forløb sker det under en vinkel på 45-50° (se Figur 4-6 a)). Den effektive bredde af gennemsejlingen bliver derved reduceret med 25-30% så åbningen skal være 30-40% bredere for at kunne betjene de skibsstørrelser, der kan passere broen med en vinkelret krydsning. Rutens knæk nord for korridoren vest for Ringebjerg Sand vil endvidere være en potentiel kilde til kollisioner nordfra, fra skibe der ikke får ændret kurs ved dette knæk.

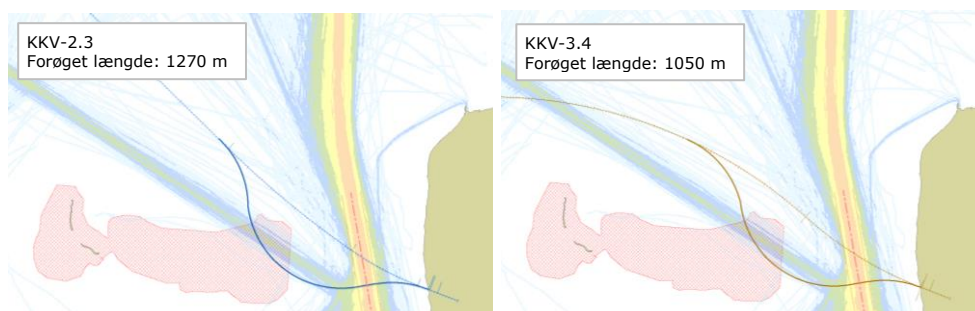


Figur 4-6 Arrangement af trafikken ved gennemsejlingen for KKV-2.3 og KKV-3.4: a) med trafikens nuværende forløb, b) med et knæk af ruten nord for korridoren og c) med et ruteknæk tæt ved den nordøstlige yderkant af korridoren.

Ved at indlægge et knæk på ruten nord for korridoren kan krydsningsvinklen forbedres som vist i Figur 4-6 b). Men den nordgående trafik bliver derved skubbet ud mod de lavvandede områder nordøst og nord for korridoren, hvilket vil opleves som en unødigt og muligvis stressende begrænsning for navigatørerne. Krydsningsvinklen øges til 60-65° og den effektive bredde af åbningen er nu kun 10-15% mindre end ved en vinkelret krydsning. Det tilføjede ruteknæk medfører endnu en kilde til kollisioner mod broen og batymetrien giver ingen naturlig beskyttelse imod denne risiko. Flyttes gennemsejlingsfagene 3 fag (600 m) mod øst, kan krydsningen rettes yderligere op som vist i Figur 4-6 c). Men for den sydgående trafik vil afstanden fra ruteknækket hen til broen være for kort, til at skibet kan opnå en stabil kurs inden bropassagen. Og den nordgående trafik vil blive presset endnu mere ud mod de lavvandede områder inde ved Samsøs vestkyst. Der opnås en praktisk talt vinkelret krydsning, men sejladsen i forbindelse med passage af broen vil forekomme unødigt presset og broen vil være eksponeret for kollisionsrisiko fra de to knæk nord for korridoren. Det vurderes alt-i-alt at være mest realistisk at arrangere gennemsejlingen som i Figur 4-6 a) hvorved den effektive bredde af gennemsejlingen er reduceret til 70-75% og spændvidden skal være 30-40% større for at kompensere herfor.

Det er undersøgt om korridoren kan lægges om, så der skabes en mere vinkelret krydsning af trafikken i Samsø Rende. De mulige linjeføringer, som begrænsningerne for linjeføringerne krumning tillader, er illustreret i Figur 4-7.

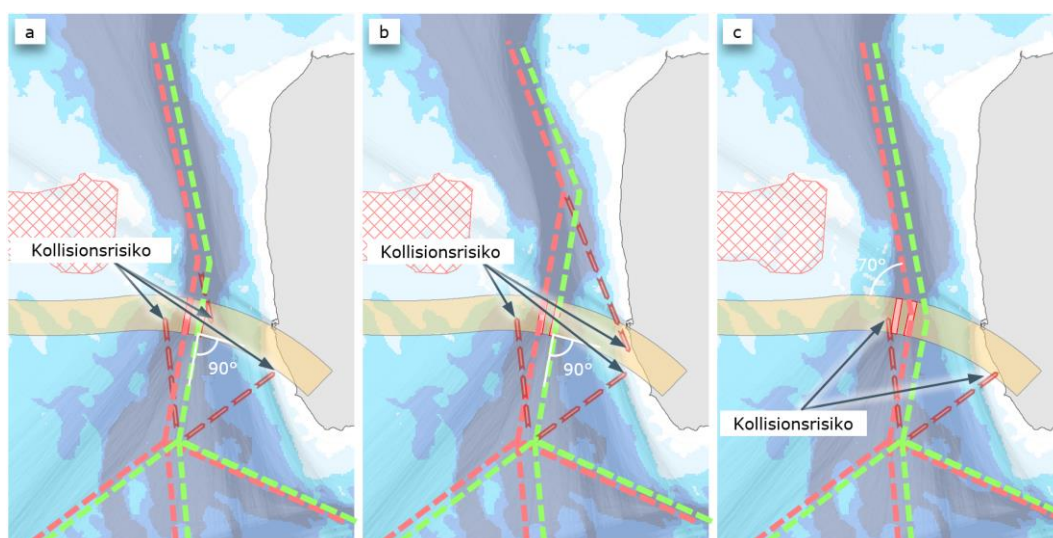
Korridoren bliver 1,2 km længere for KKV-2.3 og 1,0 km længere for KKV-3.4. Begge linjeføringer overskrider Natura 2000 området omkring Svanegrund, hvilket umiddelbart gør denne omlægning af korridoren tvivlsom at forfølge.



Figur 4-7 Illustration af mulige linjeføringer for KKV-2.3 (til venstre) og KKV-3.4 (til højre), der leder til en retvinklet krydsning af den eksisterende ruteføring af trafikken i Samsø Rende.

4.2.3 KKV-3.1 og KKV-3.2

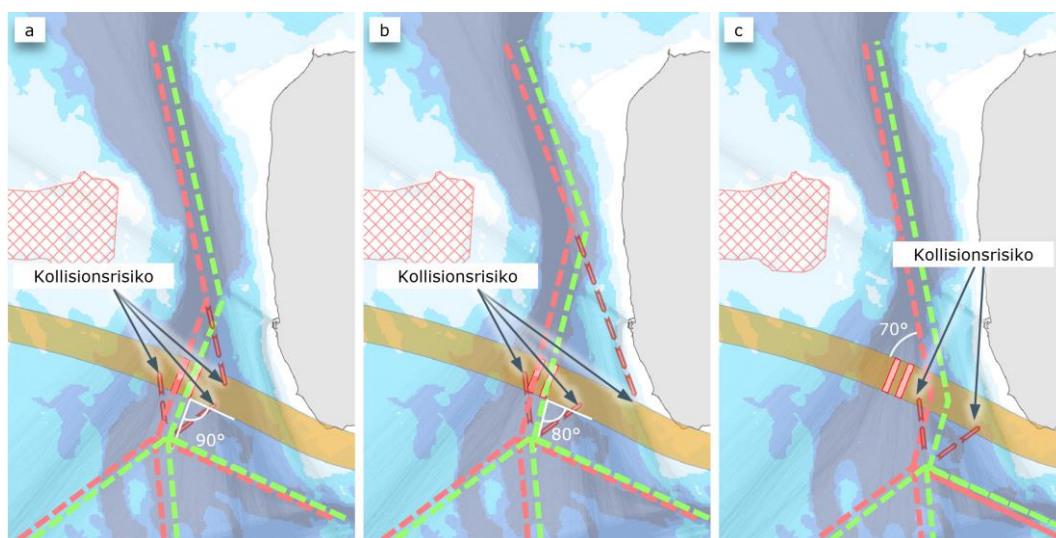
KKV-3.1 og KKV-3.2 er lagt syd for Svanegrund og krydser Samsø Renden enten midt i eller lidt syd for rendens mest snævre passage. Som det ses i Figur 4-3 spredes trafikken syd for denne indsnævring imod de respektive destinationer (Horsens, Vejle, Lillebælt, Odense og Storebælt). Gennemsejlingerne for broløserne i KKV-3.1 og KKV-3.2 er i udgangspunktet begge lagt centralt i Samsø Rendens batymetri, hvilket gør det muligt at arrangere trafikken med en vinkelret eller nær vinkelret krydsning af korridoren. Korridoren og gennemsejlingen ligger midt i det område, hvor trafikken deler sig mod de respektive sydlige destinationer. Rutearrangementet ved en broforbindelse skal derfor holde trafikken samlet et godt stykke syd for broen, og tydeligt definere én fælles rute op mod broens gennemsejling. Denne samling af trafikken giver anledning til risiko for kollision mod broen fra nordgående trafik, der glemmer at dreje ind i ruten hen mod gennemsejlingen.



Figur 4-8 Arrangement af trafikken ved gennemsejlingen for KKV-3.1: a) med trafikken nuværende forløb til et knæk før navigationsåbningerne, b) med en mere nordlig placering af ruteknækket og c) med ruteknækket i brolinjen og navigationsåbningerne rykket mod øst.

Det tænkte arrangement af trafikken med den valgte placering af gennemsejlingen er vist i Figur 4-8 a). Ved at tilføje et knæk på ruten nord for korridoren vil passagen blive vinkelret på korridoren. Knækket vil bidrage med en uønsket risiko for kollisioner fra sydgående skibe, der ikke ændrer kurs ved dette knæk. Knækket kan rykkes yderligere nordpå som vist i Figur 4-8 b), så eksponeringen for kollisioner rykkes længere mod øst, ind i det lavvandede område hvor der er bedre muligheder for at beskytte broen. Endelig kan knækket lægges under selve broen, så risikoen i princippet elimineres - se Figur 4-8 c). Trafikken nordfra vil med denne løsning sejle mod broen med en vinkel på 70°, og dermed opleve en smallere effektiv gennemsejlingsåbning end trafikken sydfra.

Helt tilsvarende arrangementer kan overvejes for KKV-3.2 – se Figur 4-9 – med stort set samme effektive bredde af gennemsejlingsåbningen og samme eksponering for kollisionsrisiko.



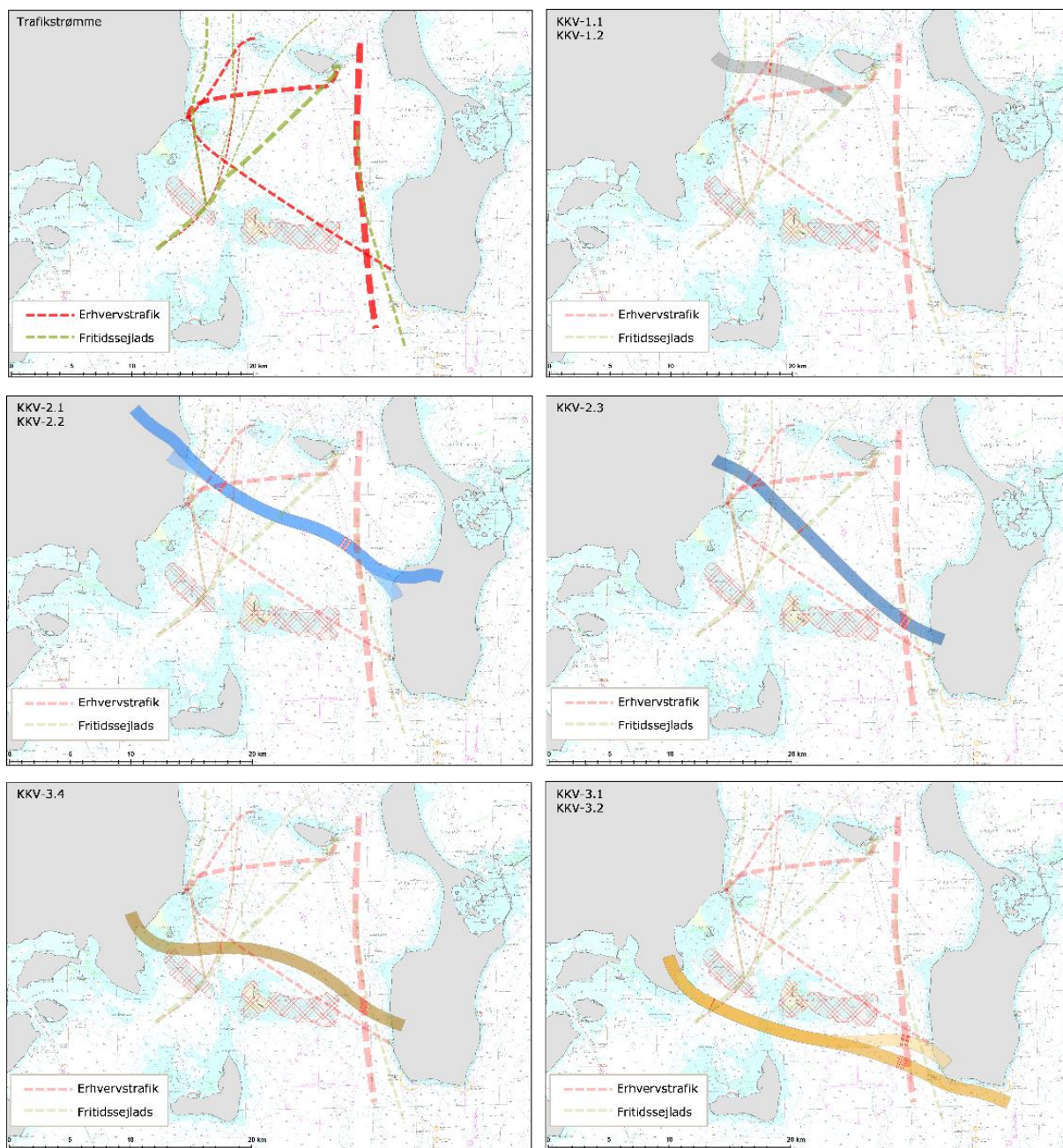
Figur 4-9 Arrangement af trafikken ved gennemsejlingen for KKV-3.2: a) med en vinkelret krydsning af navigationsåbningerne, b) med en mere nordlig placering af rute-knækket og c) med ruteknækket i brolinjen og navigationsåbningerne rykket mod øst.

Arrangementet af sammenfletningen af trafikken syd for korridoren og det potentiale for kollisioner mod broen, som dette arrangement leder til, er yderligere behandlet i relation til diskussion i afsnit 5.2.4 af risikoen for kollision mod broen. Af hensyn til kollisionsrisikoen er det en prioritet at undgå knæk på ruten hen mod gennemsejlingen, og derfor vil en direkte gennemsejling, som vist i Figur 5-5 (svarende til option "c" i Figur 4-8 og Figur 4-9) udgøre det bedste kompromis. Med dette arrangement vil den effektive gennemsejlingsbredde reduceres til 90-95% af bredden i en vinkelret krydsning og spændvidden skal tilsvarende øges med 5-10% for at kompensere herfor.

4.3 Sekundære gennemsejlinger

Broløsningerne er tilføjet sekundære gennemsejlinger for at give passage til fritidssejladser og til de mindre erhvervsfartøjer, der besejler den vestlige del af farvandet mellem Samsø og Jylland. På grundlag af den observerede trafik i Figur 3-1 og Figur 3-2 er de overordnede ruter eller trafikstrømme for erhvervs-

og fritidstrafikken identificeret og markeret, som vist i øverste venstre hjørne af Figur 4-10.



Figur 4-10 Indikation af trafikstrømme (øverst til venstre) i sammenligning med de placerede primære og sekundære gennemsejlinger (øvrige figurer).

Sammenholdes disse trafikstrømme med den aktuelle placering af de sekundære gennemsejlinger, gøres følgende observationer for løsningerne:

> KKV-1.1 og KKV-1.2

Den ene sekundære gennemsejling i løsningen ligger passende for trafikken til vindmølleparken på Tunø Knob og til den meget begrænsede erhvervs- trafik nord for Tunø Knob. Fritidssejladsen, der går øst og vest om Tunø Knob, vil tilsvarende kunne anvende åbningen, om end det vil være en omvej for trafikken øst om Tunø Knob. Færgeren til Tunø må omlægge sin rute enten for at kunne passere gennem åbningen eller for at gå øst om den

kunstige ø ved overgangen mellem bro og tunnel. Fritidstrafikken mod Tunø og videre nordover vil uden omvej kunne gå øst om den kunstige ø. Den kystnære rende nord for Hou (se batymetrien i Figur 3-4) anvendes af fritidstrafikken. Den ene gennemsejling i broløsningen vil kræve at denne trafik forlader renden og går relativt langt østover for at passere broen. Det vurderes derfor relevant og nødvendigt at arrangere en supplerende kystnær gennemsejling til denne trafik.

Gennemsejlingsåbningens højde på 18 m tillader passage af et erhvervsskib på op til 94 meters længde, mens der med udgangspunkt i gennemsejlingens bredde på 70 m, ikke burde passere skibe længere end 43 m. Højden på 18 m vil begrænse sejlskibenes længde til 13-14 m, hvorved gennemsejlingsbredde på 70 m er rigelig. Gennemsejlingsbredden bliver utilstrækkelig for sejlskibe hvis gennemsejlingshøjden øges til mere end 29 m.

<i>Antal sekundære gennemsejlinger:</i>	<i>2 (1 i oplægget)</i>
<i>Bredde af gennemsejlingerne:</i>	<i>70 meter</i>
<i>Den valgte gennemsejling tillader</i>	
<i>Erhvervstrafik med en længde mindre end:</i>	<i>43 meter</i>
<i>Sejlskibe med en højde mindre end:</i>	<i>29 meter</i>

> KKV-2.1 og KKV-2.2

Den ene sekundære gennemsejling er placeret med fokus på at give passage til Tunø færgen. Den øvrige erhvervsmæssige trafik, der krydser den vestlige del af broen, vil uden større omvej også kunne anvende samme passage. Fritidstrafikken, der går øst og vest om Tunø, samt trafikken i den kystnære rende nord for Hou er ikke tilgodeset af den ene gennemsejling. Det vurderes derfor relevant at tilføje broløsningen yderligere to sekundære gennemsejlinger: én ved Jyllands kyst og én til trafikken, der skal til Tunø eller går øst om Tunø.

Gennemsejlingsåbningens højde på 18 m tillader passage af et erhvervsskib på op til 94 meters længde, mens der med udgangspunkt i gennemsejlingens bredde på 70 m, ikke burde passere skibe længere end 43 m. Højden på 18 m vil begrænse sejlskibenes længde til 13-14 m hvorved bredden på 70 m er rigelig. Gennemsejlingsbredden bliver utilstrækkelig for sejlskibe hvis gennemsejlingshøjden øges til mere end 29 m.

<i>Antal sekundære gennemsejlinger:</i>	<i>3 (1 i oplægget)</i>
<i>Bredde af gennemsejlingerne:</i>	<i>70 meter</i>
<i>Den valgte gennemsejling tillader</i>	
<i>Erhvervstrafik med en længde mindre end:</i>	<i>43 meter</i>
<i>Sejlskibe med en højde mindre end:</i>	<i>29 meter</i>

> KKV-2.3

I forhold til KKV-2.1 og KKV-2.2 har denne løsning fået tilføjet en navigationsåbning til trafikken mod/fra Tunø, og det nuværende trafikbillede vil således være helt dækket, hvis der tilføjes en kystnær gennemsejling. Alle øvrige vurderinger svarer til KKV-2.1/KKV-2.2.

<i>Antal sekundære gennemsejlinger:</i>	<i>3 (2 i oplægget)</i>
<i>Bredde af gennemsejlingerne:</i>	<i>70 meter</i>

<i>Den valgte gennemsejling tillader</i>	
<i>Erhvervstrafik med en længde mindre end:</i>	<i>43 meter</i>
<i>Sejlskibe med en højde mindre end:</i>	<i>29 meter</i>

> KKV-3.1 og KKV-3.2

Den ene sekundære gennemsejling er placeret hvor såvel erhvervs- som fritidstrafikken fokuseres i passagen mellem Endelave og Gylling Næs. Yderligere gennemsejlinger er ikke nødvendige for disse løsninger.

Gennemsejlings bredde på 35 m tillader kun passage af et 22 meter langt erhvervsskib eller fritidsmotorbåd. Med kun ét gennemsejlingsarrangement, og en stor omvej til hovedbroens gennemsejling, er denne begrænsning på erhvervs- og fritidsfartøjernes størrelse problematisk. En forøgelse af spændvidden af gennemsejlingsfaget vurderes derfor nødvendig, og det vil have betydning for anlægsoverslaget. Ændres kun et eller to spænd vurderes ændringen dog ikke at påvirke anlægsomkostningen betydeligt, og dermed heller ikke påvirke løsningens samlede evaluering.

<i>Antal sekundære gennemsejlinger:</i>	<i>1</i>
<i>Bredde af gennemsejlingerne:</i>	<i>35 meter</i>
<i>Den valgte gennemsejling tillader</i>	
<i>Erhvervstrafik med en længde mindre end:</i>	<i>22 meter</i>
<i>Sejlskibe med en højde mindre end:</i>	<i>14 meter</i>
<i>Gennemsejlingen bør øges til:</i>	<i>70 meter</i>

> KKV-3.4

Den sekundære gennemsejling for denne løsning er lagt i krydsningspunktet for en række trafikstrømme, og vil kunne servicere denne trafik uden urimelig omvej. De lavvandede og beskyttede områder omkring Søby Rev nord for korridoren gør en kystnær gennemsejling unødvendig. Den ene gennemsejling er derfor tilstrækkelig.

Gennemsejlings bredde på 35 m tillader kun passage af et 22 meter langt erhvervsskib eller fritidsmotorbåd. Med kun én gennemsejling og en stor omvej til hovedbroens gennemsejling er denne begrænsning på erhvervs- og fritidsfartøjernes størrelse problematisk. En forøgelse af spændvidden af gennemsejlingsfaget vurderes derfor nødvendig, og det vil have betydning for anlægsoverslaget. Ændres kun et eller to spænd vurderes ændringen dog ikke at påvirke anlægsomkostningen betydeligt, og dermed heller ikke påvirke løsningens samlede evaluering.

<i>Antal sekundære gennemsejlinger:</i>	<i>1</i>
<i>Bredde af gennemsejlingerne:</i>	<i>35 meter</i>
<i>Den valgte gennemsejling tillader</i>	
<i>Erhvervstrafik med en længde mindre end:</i>	<i>22 meter</i>
<i>Sejlskibe med en højde mindre end:</i>	<i>14 meter</i>
<i>Gennemsejlingen bør øges til:</i>	<i>70 meter</i>

Antallet af sekundære gennemsejlinger, der er vurderet nødvendige for løsningerne, giver en indikation trafikens spredning langs med forbindelsen, og dermed hvor udstrakt et trafikalt mønster, forbindelsen skærer igennem. Dette forhold kunne skabe modstand overfor korridoren fra skibsfarten og

fritidssejladsen, især hvis andre korridorplaceringer, med en mere lokaliseret og begrænset interaktion med sejladsen, bliver offentliggjort.

Mere sejlad langs med og igennem lavbroen vil øge mængden af skibe, der skal overvåges for at identificere mulige kollisionssituationer og varsle trafikken på broen. Behovet for tre gennemsejlinger i lavbroen betragtes på nuværende stadi af undersøgelserne derfor som en indikator for en øget kompleksitet i overvågningen og hvilket giver en øget risiko for fejl i overvågningen eller svigt af varslingen.

Med den detaljeringsgrad, der anvendes ved estimering af løsningernes anlægsomkostninger i disse forundersøgelser, vil antallet af gennemsejlinger ikke afspejles i anlægsoverslaget, når gennemsejlingerne kan arrangeres i lavbroens standardspænd. I de senere mere detaljerede faser af forundersøgelserne vil antallet af gennemsejlinger være forbundet med specifikke omkostninger i anlægsbudgettet. Muligheden for omkostningsoptimering af projektet ved at reducere antallet af gennemsejlinger vil dermed være åben, om end det vil møde modstand hos sejladens parter. Nødvendigheden af flere/mange gennemsejlinger for nogle af korridorerne kan på denne måde være et kim til udfordring af sejladsforsholdene i den videre modning af projektet.

Løsningerne KKV-3.1, KKV-3.2 og KKV-3.4 har bare et enkelt gennemsejlingsarrangement, med gennemsejlingsåbninger på kun 35 meter. Dette arrangement kunne og burde forbedres ved at øge spændvidden af det ene eller begge gennemsejlingsfag. Anlægsoverslaget for løsningen kan dermed påvirkes, men forøgelsen forventes ikke at være af en størrelsesorden, der kan blive udslagsgivende for løsningens samlede evaluering og anbefaling.

4.4 Sammenfatning

Navigationsforsholdene omkring de foreslåede broløsninger har fokuseret på arrangementet af trafikken i Samsø Renden frem til passagen af hovedbroens gennemsejlinger. Sejladsen kan arrangeres efter forskellige prioriteter – mindst ændring på rutelægningen, vinkelret krydsning af broen, få eller ingen knæk på ruten, enkel organisering og god plads ved mødesituationer – og mulighederne for at tilgodese disse prioriteter er illustreret og vurderet igennem eksempler. Eksempelernes fordele og ulemper belyser mulighederne for at opnå et samlet hensigtsmæssigt arrangement med de foreslåede korridorer, men er ikke udtømmende. En mere detaljeret og komplet udredning og evaluering af mulige arrangementer vil være nødvendig for den eller de korridorer og løsninger, der favoriseres i det videre undersøgelsesarbejde.

Den primære beslutning i forbindelse med hovedbroen vil dog være selve gennemsejlingsåbningen i broen: om der skal være separate gennemsejlinger til hver retning, om der skal arrangeres én større navigationsåbning til passage i begge retninger, og hvilken bredde og højde, navigationsåbningen/-erne bør have. Dette vil være bestemmende for dels hvor megen af den nuværende trafik, der vil kunne passere gennem broløsningen, og dels om ruten frem til broen skal arrangeres med en vinkelret krydsning eller om navigationsåbningen er bred nok til, at passage under en mere spids vinkel kan accepteres. Denne centrale beslutning har konsekvenser både for forbindelsen, for skibstrafikken og for

sejladsholdene, og disse konsekvenser kan ikke umiddelbart sidestilles og sammenlignes. Prioritering og vægtning af beslutningens konsekvenser vil være et samfundsmæssigt og politisk anliggende, og det er ikke indenfor rammerne af denne anlægstekniske forundersøgelse, at etablere et grundlag for denne afvejning.

De overordnede konsekvenser af hovedbroens spænd for skibstrafikken og for forbindelsen afhænger ikke af den enkelte korridor og broløsning. Derfor er variationen af det foreslåede spænd i hovedbroen ikke gjort til en del af den comparative evaluering af korridorerne. Emnet behandles i stedet i afsnit 6, hvor der skitseres et analysegrundlag til at nuancere og støtte beslutningen om udformning, spændvidde og frihøjde af gennemsejlingen i hovedbroen. Det foreslåede gennemsejlingsarrangement over Samsø Renden konkluderes i afsnit 6.1 ikke bør tillade passage af skibe længere end 100 m. Denne begrænsning betyder ifølge Figur 6-1 at 20-25% af trafikken i Samsø Renden i 2018 svarende til 660 årlige passager ikke kan passere broen, og vil blive henvist til at sejle øst om Samsø.

Reaktionen på denne begrænsning af skibstrafikken er endnu ikke afklaret, men forventes at byde det største potentiale for modstand overfor projektet. Et forbedret gennemsejlingsarrangement med en eller to større gennemsejlingsåbninger, kunne blive nødvendig for at imødekomme eventuelle indsigelser, og alle korridorer med en bro over Samsø Renden er udsat for denne risiko. Alene af den grund evalueres projektrisikoen for alle løsninger med en bro over Samsø Rende som minimum at være **Let Forhøjet**. Giver selve korridoren udfordringer med at skabe en vinkelret krydsning (KKV-2.3 og KKV-3.4), øges risikoen yderligere til **Forhøjet**, og kan bringes tilbage til **Let Forhøjet** hvis gennemsejlingsfagenes spændvidde øges for kompensere for en skrå krydsning.

Tabel 4-1 giver en sammenfatning af fordele og ulemper ved de navigationsarrangementer, som de betragtede korridorer, broløsninger og deres underliggende forudsætninger, giver mulighed for. Det er en indledende screening baseret på den nuværende skibstrafik, de nuværende sejladsbetingelser og generel erfaring med at arrangere trafikken omkring en fast forbindelse. Inddragelse af lokal sejladserfaring og parter med interesser i den lokale og regionale skibstrafik i det videre analyse- og evalueringsarbejde vil dels hjælpe med at præcisere og konkretisere betydningen af de identificerede udfordringer, og må også forventes at påpege endnu ikke erkendte problemstillinger ved løsningerne. Denne usikkerhed som gælder for alle KKV-broløsninger svarer til en **Forventelig** projektrisiko.

Tabel 4-1 Sammenfatning af evalueringen af navigationsarrangement omkring KKV-korridorer og deres broløsning med en resulterende vurdering af sejladsforholdenes betydning for projektrisikoen.
("Bro": ren broløsning, "Bro+ST": bro og sænketunnel)

Korridor og løsning	Gennemsejlingen over Samsø Renden	Sekundære gennemsejlinger	Evaluering og projektrisiko
KKV-1.1 Bro+ST KKV-1.2 Bro+ST	+ Trafikken i Samsø Renden er uberørt	+ kræver kun 2 gennemsejlinger + gennemsejlingsbredden tillader passage af sejlskibe med maste-højde på op til 29 m + lavbroens standardspænd på 100 m giver mulighed for passage udenfor gennemsejlingen ÷ trafikken skal aktivt begrænses til maksimalt 43 m lange skibe ÷ Tunø færgeren tvinges øst om den kunstige ø	Med supplerende og eventuelt højere sekundære gennemsejlinger vurderes løsningen ikke at have særlige udfordringer Forventelig projektrisiko
KKV-2.1 Bro KKV-2.2 Bro	+ Vinkelret krydsning er mulig + Skæv krydsning eliminerer risiko for kollision mod broen + Farvandet tillader justering af korridoren, så en mere optimal krydsning opnås ÷ Arrangement med vinkelret krydsning giver særlig risiko for kollision mod broen ÷ Skæv krydsning reducerer effektiv bredde til 75-85%	+ gennemsejlingsbredden på 70 m er tilstrækkelig + standardspændet på 100 m giver mulighed for passage udenfor navigationsåbningerne ÷ kræver 3 gennemsejlinger ÷ trafikken skal aktivt begrænses til maksimalt 43 m lange skibe	Større gennemsejlingsåbning kan være nødvendig i hovedbroen. Alternativt kan korridoren justeres til en vinkelret krydsning Stort antal sekundære gennemsejlinger Let forhøjet projektrisiko
KKV-2.3 Bro	+ Næsten vinkelret krydsning kan etableres ÷ Risiko for kollision mod broen fra nordligt ruteknæk ÷ Naturligt ruteforløb reducerer effektiv bredde til 70-75% ÷ Vinkelret krydsning giver presset ruteforløb og øger risiko for kollision mod broen	+ gennemsejlingsbredden på 70 m er tilstrækkelig + standardspændet på 100 m giver mulighed for passage udenfor navigationsåbningerne ÷ kræver 3 gennemsejlinger ÷ trafikken skal aktivt begrænses til maksimalt 43 m lange skibe	Større gennemsejlingsåbning er nødvendig i hovedbroen Stort antal gennemsejlinger Forhøjet projektrisiko
KKV-3.1 Bro KKV-3.2 Bro	+ Vinkelret krydsning kan etableres ÷ Risiko for kollisioner mod broen fra nordgående skibe, der ikke drejer i rutens knæk ÷ Vinkelret krydsning giver nordligt ruteknæk og dermed risiko for kollision mod bro ÷ Elimination af nordligt ruteknæk reducerer den effektive bredde til 90-95%	+ der er kun behov for én gennemsejlingsåbning ÷ gennemsejlingens bredde på 35 m er utilstrækkelig og bør øges til minimum 70 m ÷ lavbroens standardspænd på 60 m begrænser passage udenfor gennemsejlingerne, og øger derfor presset på den ene gennemsejling	Større gennemsejlingsåbning kan være nødvendig i hovedbroen Lavbroens lille spændvidde er en risiko Let forhøjet projektrisiko
KKV-3.4 Bro	+ Næsten vinkelret krydsning kan etableres ÷ Risiko for kollision mod broen fra nordligt ruteknæk ÷ Naturligt ruteforløb reducerer effektiv bredde til 70-75% ÷ Vinkelret krydsning giver presset ruteforløb og øger risiko for kollision mod broen	+ der er kun behov for én gennemsejlingsåbning ÷ gennemsejlingens bredde på 35 m er utilstrækkelig og bør øges til minimum 70 m ÷ lavbroens standardspænd på 60 m begrænser passage udenfor gennemsejlingerne, og øger derfor presset på den ene gennemsejling	Større gennemsejlingsåbning er nødvendig i hovedbroen Lavbroens lille spændvidde er en risiko Forhøjet projektrisiko

5 Kollisionsrisiko

Etablering af en broforbindelse over besejlet farvand indebærer den umiddelbart indlysende risiko, at et skib kan påsejle og beskadige brokonstruktionen. Fordi bevægelsesenergien i et skib kan blive meget stor, kan det være meget vanskeligt – og derfor meget bekosteligt – at gøre brokonstruktionen stærk nok til at modstå alle tænkelige kollisionsscenarier. Den primære strategi er derfor i videst muligt omfang at forhindre kollisionerne, og sekundært at reducere frekvensen af de kollisioner, det ikke er muligt helt at undgå. Den tredje og sidste udvej vil være at beskytte og forstærke konstruktionerne, så hyppigheden af kollisioner, der kan beskadige broen, bliver tilstrækkelig lille.

På nuværende stadi af undersøgelserne, hvor korridorerne og de tilhørende skitse-mæssige broløsninger skal evalueres, sammenlignes og gives anbefaling, er det præmaturligt at gennemføre den omfattende designmæssige optimering, det kræver at forfølge denne risikostrategi til ende. Baseret på erfaring fra risikoanalyser og designmæssige optimeringer af tilsvarende broprojekter, fokuseres i stedet på de overordnede forhold og betingelser ved de enkelte korridorer, der kan eller vil være kilde til kollisionsrisiko, som det enten er vanskeligt at beskytte broen imod, eller vanskeligt at forstærke broen til at kunne modstå.

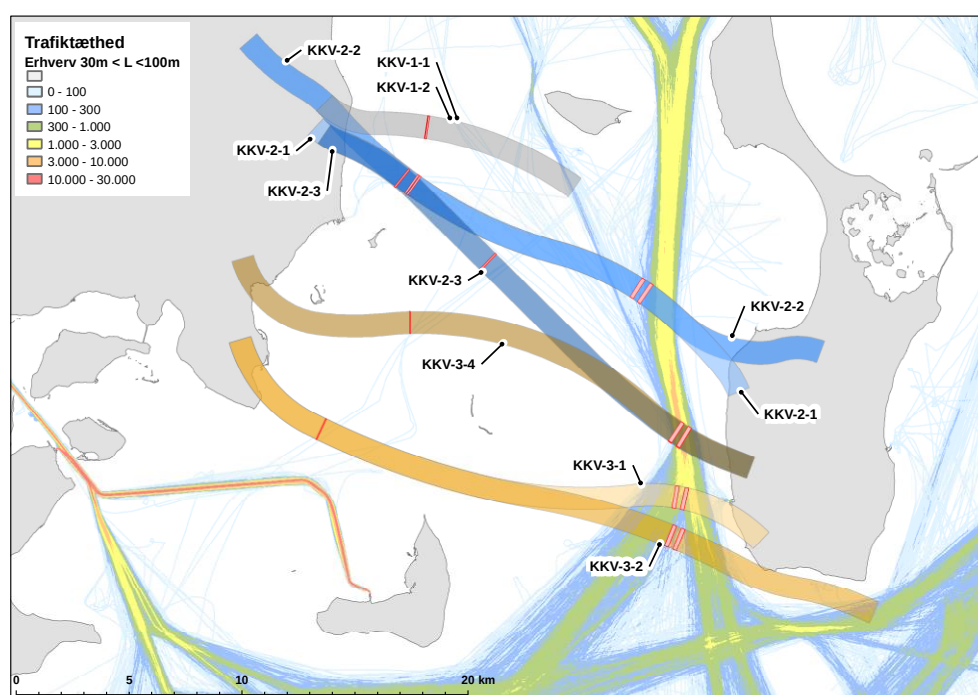
De generelle faktorer, som er styrende for kollisionsrisikoen, omfatter:

- > Skibstrafikkens omfang
Kollisionsrisikoen vil – alt andet lige – være proportional med antallet af skibe, der passerer gennem eller forbi broen,
- > Skibenes størrelsesfordeling
Skadespotentialet ved en kollision vokser med skibets størrelse. Omvendt kan batymetrien omkring brokonstruktionen forhindre netop de større skibe, med en større dybgang, i at nå frem til broen,
- > Trafikkens afstand til konstruktionerne
Afstanden et skib skal sejle for at nå frem til konstruktionen bestemmer hvor lang tid besætningen har til at erkende fejlsituationen og til at undgå kollisionen. Risikoen vil derfor være aftagende med afstanden,
- > Vanddybden hen til og ved brokonstruktionen
En potentiel kollision forhindres hvis skibet grundstøder undervejs mod broen. Områder med lavere vanddybde udgør derfor en vigtig og omkostningsfri beskyttelse imod kollisioner

Det ses, at muligheden for at ændre på skibstrafikken i Samsø Renden via den begrænsning, som hovedbroens gennemsejling udgør, kan bruges til at justere kollisionsrisikoen. Men detaljeringsniveauet i forundersøgelsen giver ikke basis for at afstemme trafikbegrænsningen til risikobilledet for den enkelte korridor og løsning. Den observerede trafik i Samsø Renden og en eventuel begrænsning af denne, skal derfor betragtes som et fælles designvilkår for alle korridorer og broløsninger.

Omvendt er den geografiske placering af korridoren i forhold til både skibstrafikken og til batymetrien en vigtig karakteristik for korridorerne og vil blive inddraget i den komparative evaluering.

Præsentationen af skibstrafikken i afsnit 3 redegjorde for, at den nord- og sydgående erhvervstrafik med de større skibe – længere end 100 m – alle anvender Samsø Renden ved Kolby Kås. Denne trafiks geografiske fordeling er vist i Figur 3-7. Selv for skibe med længder mellem 30 og 100 meter er erhvervstrafikken fokuseret i Samsø Renden, der hvor renden passerer KKV korridorerne – se Figur 5-1. Risikoen forbundet med erhvervsskibe mindre end 30 m og med fritidssejladsen vurderes at være uden betydning for en broløsning. Derfor fokuseres evalueringen af løsningernes kollisionsrisiko alene på erhvervstrafikken i Samsø Rende.



Figur 5-1 Tæthed af erhvervstrafik med skibe der er mellem 30 og 100 meter lange.

Risikoen for kollisioner kan inddeles i scenarier, alt efter hvilken situation kollisionen opstår. I ref. [7] anvendes følgende opdeling:

- > **Kategori I**
Kollision i forbindelse med den faktiske passage af broen, som følge af mindre afvigelse eller fejl i umiddelbar nærhed af navigationsåbningen,
- > **Kategori II**
Kollision fordi et skib ikke foretager en kursændring, der er indgået i ruten frem til gennemsejlingen,
- > **Kategori III**
Kollision forårsaget af undvigemanøvre når to eller flere skibes mødes i nærheden af broen,

> Kategori IV
Kollision af anden årsag

Det er i stor udstrækning arrangementet og sejladsforholdene umiddelbart omkring gennemsejlingsåbningen, der vil være styrende for Kategori I kollisioner: bredden af gennemsejlingen i forhold til skibenes størrelse, rutearrangementet frem til og igennem broen, samt trafikintensiteten. Valg og udformning af selve gennemsejlingen – åbningens/åbningernes bredde og højde – er et fælles vilkår for alle rene broløsninger (se afsnit 6). Så den individuelle evaluering af korridorerne i forhold til Kategori I kollisioner vil alene blive baseret på de mulige arrangementer af ruten hen til og igennem broen, og i særdeleshed på, om passagen kan arrangeres vinkelret på linjeføringen. Med en ikke vinkelret krydsning vil den effektive gennemsejlingsbredde bliver mindre og kollisionsrisikoen vil tilsvarende øges. Som en simpel approksimation regnes kollisionsrisikoen at stige med samme faktor som gennemsejlingen reduceres, og denne faktor anvendes en kvantitativ indikator for Kategori I risikoen. Indikatoren vil samtidig angive, hvor meget spændvidden af gennemsejlingsfaget skal øges for at kompensere for den reducerede effektive gennemsejlingsbredde.

Kategori II kollisioner er betinget af, at ruten hen imod gennemsejlingen indeholder knæk, hvor skibet vil være på kollisionskurs mod broen, hvis kursændringen ved knækket ikke bliver foretaget. Disse risikobidrag har vist sig at være dominerende for broløsninger i KKØ – se ref. [8] – hvis der ikke arrangeres særlig beskyttelse. Denne kilde til kollisioner er også årsagen til, at der er etableret beskyttelsesøer omkring ankerblokkene og 5 sidefagspiller på Østbroen over Storebælt. Karen Danielsen's påsejling af Storebæltsforbindelsens Vestbro i 2005 er den mest alvorlige kollisionsulykke mod en bro i danske farvande, og den var netop en Kategori II hændelse. Muligheden for Kategori II kollisioner for den enkelte korridor og broløsning evalueres kvalitativt på grundlag af de mulige rutearrangementer op til gennemsejlingen. Antallet af knæk i rutearrangementet af Samsø Renden, der giver anledning til denne type kollisioner, bruges som indikator for Kategori II risikoen.

Det er generelt vanskeligere at beskytte broen imod Kategori II kollisioner, fordi de kan ramme broen længere fra den typisk mere robuste hovedbro over gennemsejlingen. Et rutearrangement, der reducerer potentialet for Kategori II kollisioner, vil derfor blive foretrukket, også selvom arrangementet leder til en mindre optimal gennemsejling som dermed øger muligheden for Kategori I kollisioner. Evalueringen af en korridor og den tilhørende broløsning vil dermed forudsætte det navigationsarrangement, der giver det mindste potentiale for Kategori II kollisioner.

Potentialet for Kategori III kollisioner er ikke tilstrækkelig med den aktuelle skibstrafik i Samsø Renden og behandles derfor ikke.

Kategori IV er en restrisiko for kollisioner, der repræsenterer faktisk observerede kollisionshændelser, som ikke har haft karakter af Kategori I eller II hændelser og navnlig ikke har haft den geografiske fokus, som Kategori I og II kollisioner har. De repræsenterer en meget lille andel af eksponeringen for kollisioner, men fordi kollisionerne ifølge den nuværende modelleringsmæssige praksis antages at kunne ske med samme sandsynlighed langs hele broen, bliver denne

kollisionsrisiko en særlig udfordring langt fra gennemsejlingen, hvor brokonstruktionens robusthed overfor kollisioner sædvanligvis er mindre og overbygningen er lavere, så kollisionen kan ske direkte mod brodrageren. Omvendt vil vanddybden sædvanligvis aftage med øget afstand fra gennemsejlingen, og det kan begrænse kollisionsrisikoen for de mere udsatte dele af broen langt fra gennemsejlingen. Korridorens forløb i forhold til batymetrien i området er derfor valgt som den primære evalueringsparameter for Kat IV kollisioner.

De strukturelle skader på broen, der forårsages i en kollision, kan betyde en begrænset tilgængelighed og anvendelighed af forbindelsen i en periode; i sig selv en væsentlig og meget uønsket situation for en central del samfundets infrastruktur. Desuden vil trafikanter, der er på broen under og umiddelbart efter kollisionen, være udsat for fare pga. af de skete skader og muligheden for at dele af broen kolliderer.

Overvågning af skibstrafikken for at forhindre kollisionerne og deres ønskede konsekvenser, er en etableret og nødvendig praksis på Storebæltsforbindelsen, og vurderes at være tilsvarende nødvendig for en Kattegatforbindelse baseret på broløsninger. Kollisionen kan forsøges forhindret ved at kontakte og vejlede skibets besætning, og parallelt hermed kan trafikanterne på broen advares, vejledes og holdes væk fra den eksponerede del af broen. Mulighederne for at gribe ind og begrænse konsekvenserne af situationen øges, jo tidligere i forløbet, det er muligt at erkende muligheden for en kollision. Siden Kategori I kollisioner initieres af hændelser ganske tæt på gennemsejlingen, betragtes det sædvanligvis ikke for muligt for overvågningen hverken at forhindre en sådan kollision eller at varsle trafikanterne på broen. Kategori II kollisioner indledes med at skibet forlader den forventede rute ved ikke at foretage en nødvendig kursændring ved et knæk på ruten. Dette vil være relativt tydeligt for overvågningen at identificere. Afstanden fra ruteknækket hen til broen vil afgøre om overvågningen har tid nok til dels at skabe kontakt til skibet for at forhindre kollisionen, og dels til at varsle og evakuere trafikanterne på broen. Muligheden for at varsle trafikanterne før en Kategori II kollision forbedres derfor ved aktivt at undgå arrangementer af skibstrafikken med knæk på ruten alt for nær broen. De manglende karakteristika for Kategori IV kollisioner giver intet specifikt grundlag for at vurdere overvågningens muligheder for indgriben eller varsling. Den særlige udfordring ved denne kollisionskategori – at de kan forekomme langt fra gennemsejlingen og fra de øvrige sædvanlige ruter i farvandet – giver imidlertid overvågningen en mulighed for at reagere på skibe, der på vej væk fra de sædvanlige ruter og hen mod sjældent besejlede områder omkring broen. Og det giver mulighed for at varsle trafikken på broen om en truende kollision.

Med en fast forbindelse over Kattegat, der involverer brokonstruktioner i et større omfang, forudsættes det generelt at skibstrafikken vil blive overvåget og at alle muligheder tages i brug for at denne overvågning kan reducere risikoen for kollisioner. Betydningen for kollisionsrisikoen er væsentlige at have for øje, men der er med det nuværende detaljeringsniveau af løsningerne for KKV ikke basis for en systematisk evaluering af overvågningens betydning for de foreslåede korridorer og tilhørende broløsninger. Men i arrangementet af sejladsen omkring gennemsejlingen lægges der vægt på at ruteknæk ikke skal etableres tæt på broen.

I afsnit 5.1 beskrives grundlaget for evaluering af Kat IV kollisioner og de følgende afsnit 5.2.1 til 5.2.5 giver en systematisk diskussion og en semi-kvantitativ vurdering af kollisionsrisikoen for løsningerne. En skematisk sammenfatning af evalueringerne findes i afsnit 5.3.

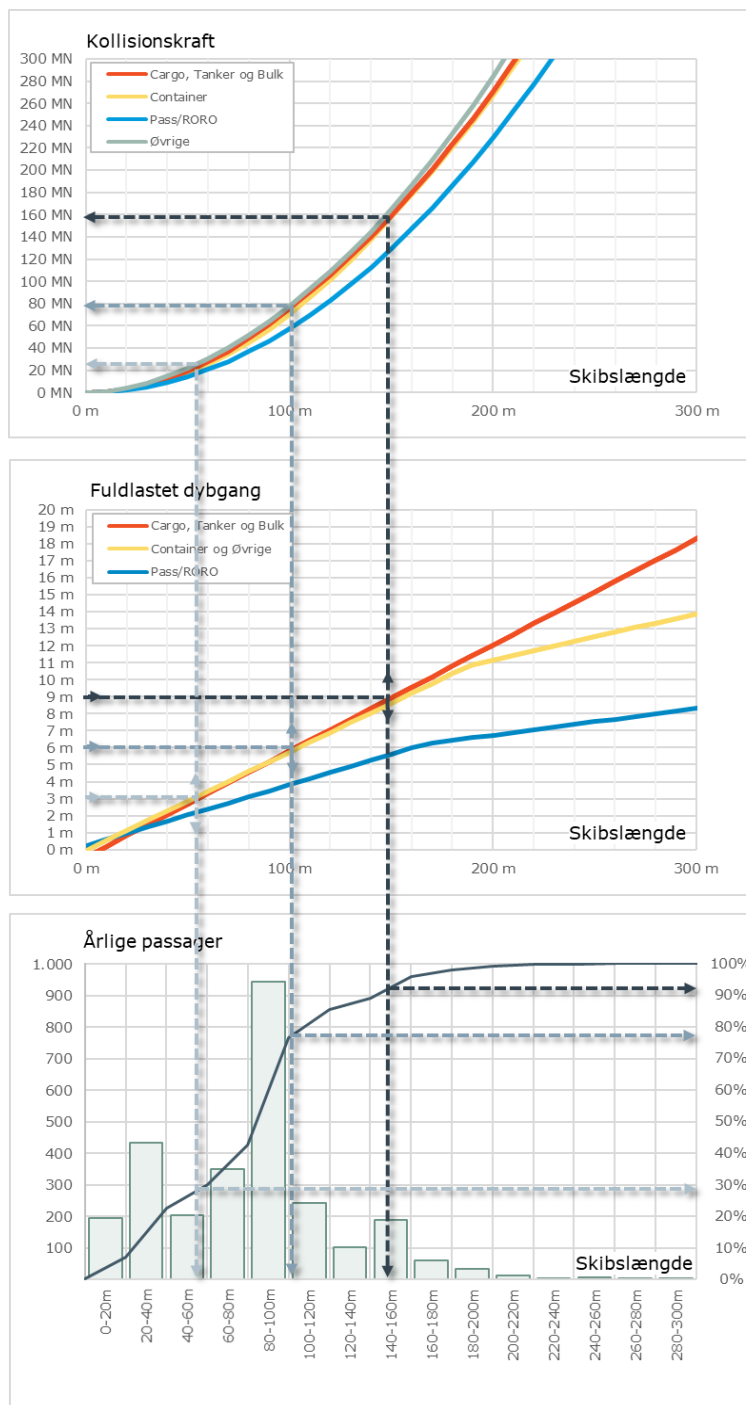
5.1 Evaluering af kategori IV kollisioner

Som nævnt er lav vanddybde en primær beskyttelsesfaktor i forhold risikoen ved Kat IV kollisioner. Dele af broen placeret på lavere vanddybde, vil således ikke være eksponeret for Kategori IV kollisioner med de allerstørste skibe i trafikken. Kollisionsrisikoen reduceres dermed både ved at hyppigheden af kollisioner bliver mindre, og ved at de kollisionskandidater, der elimineres, er dem der kan forvolde den største skade i en kollision.

Hyppigheden af kollisioner være proportional med den andel af trafikken, hvor skibets dybgang er mindre end vanddybden, og det kan approksimativt illustreres ved at se bort fra trafik med skibe, med en maksimal dybgang der overstiger vanddybden. (Skibene er ikke altid lastet til maksimal dybgang, så denne approksimation vil overestimere betydningen af vanddybden). Den potentielle konsekvens af en kollision kan karakteriseres ved den kollisionskraft, som et skib af en given størrelse kan udøve i en kollision. Figur 5-2 illustrerer hvordan både hyppighed og konsekvens varierer med vanddybden.

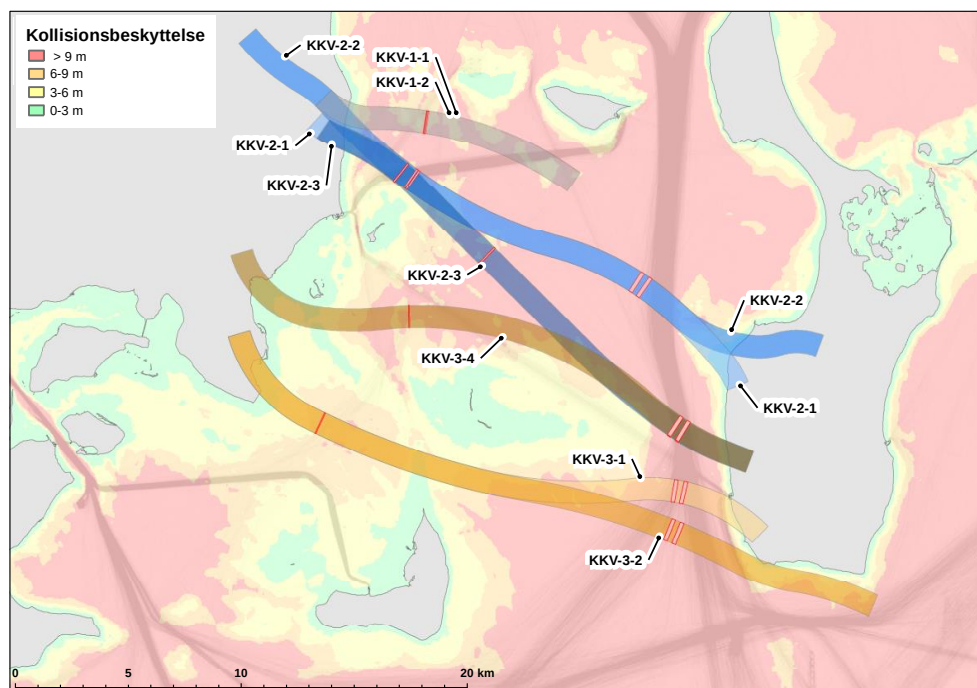
Begrænser batymetrien dybgangen til 3 m, er det kun skibe med en længde mindre end knap 60 m – eller 30% af den samlede trafik – der vil kunne nå frem til broen. Med en (antaget) kollisionshastighed på 10 knob, vil disse skibe maksimalt kunne udvikle en kollisionskraft på ca. 25 MN. For dele af broen, der kan nås af skibe med en dybgang på 6 m, er andelen af skibe, der kan nå broen, øget til knap 80% af trafikken, og de største af disse skibe kan give kollisionslast på ca. 75 MN. Endelig vil ca. 93% af trafikken kunne nå brodele på 9 meter vand, og de største af disse vil udvikle over 160 MN i en kollision. Figuren indikerer at andelen af trafikken, der kan nå broen, i store træk varierer lineært med vanddybden, mens kollisionskraften varierer kvadratisk.

Partlastede skibe og skibe i ballast vil have en lavere dybgang end den ovenfor antagne fuldtlastede situation, og andelen af skibene, der ikke er fuldt lastede, vil således udgøre en kollisionsrisiko for dele af broen på endnu lavere vand. De ovenstående overslagsmæssige overvejelser giver derfor en optimistisk vurdering af batymetriens beskyttelse af broen. Det er dermed klart at brodele placeret på mere end 10 m vand vil være fuldt eksponeret for kollision af stort set alle skibe, der anvender Samsø Renden.



Figur 5-2 Relation imellem begrænsende dybgang, skibstrafikken og kollisionskraft.

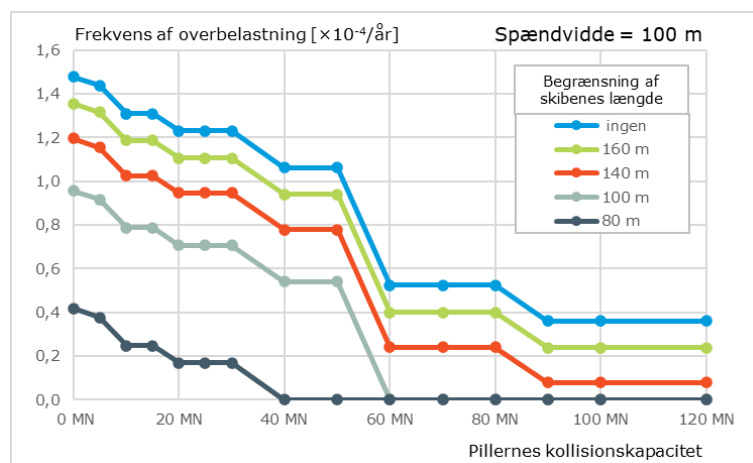
Figur 5-3 viser korridorerne i området sammen med batymetrien inddelt efter de betragtede dybder på 3, 6 og 9 meter for derved at illustrere hvilke dele af korridorerne, der nyder godt af lave vanddybders naturlige beskyttelse. Batymetrien giver tydeligvis ingen kollisionsbeskyttelse omkring gennemsejlingen i Samsø Rende, så broen er fuldt eksponeret for Kat I og Kat II kollisioner omkring gennemsejlingen. Beskyttelsen via vanddybden er dermed primært relevant at diskutere i relation til Kat IV kollisioner.



Figur 5-3 Batymetrien vist med udgangspunkt i dybgangene på 3, 6 og 9 m betragtet i Figur 5-2. Erhvervstrafikken er indikeret med en mørkfarvning.

Baseret på mængden af trafik, der elimineres, og størrelsen af den mulige kraft i en kollision ved en given vanddybde i Figur 5-2, skal broen være beskyttet af områder med vanddybder under 3 m for at risikoen vil være reduceret signifikant. Det svarer til de grønne områder på kortet i Figur 5-3. Korridorerne ses således primært at være (fuldt) beskyttet mod Kategori IV kollisioner inde langs kysten og for de dele af korridoren, der vender mod de udstrakte, lavvandede områder ude i farvandet – f.eks. Svanegrund.

Resultatet af en overslagsmæssig og konservativ beregning af den maksimalt mulige frekvens for overbelastning af en pille – dvs. at kollisionslasten overstiger pillens kapacitet – ved en Kat IV kollision er vist i Figur 5-4.



Figur 5-4 Overslagsmæssig beregning af frekvensen af overbelastning af en bropille fra Kat IV kollisioner.

Beregningen tager udgangspunkt i lavbroen, da den indeholder flest piller og da disse piller vil have en mindre kollisionsskapacitet end pillerne i højbroen, og

forudsætter et brospænd på 100 m svarende til lavbroen på KKV-1 og KKV-2 broløsningerne. Med et brospænd på 60 m svarende til lavbroen på KKV-3 løsninger skal frekvenserne øges med en faktor på 1,7. Kurverne i figuren angiver den samlede frekvens af overbelastning, hvis broen er ubeskyttet overfor Kategori IV kollisioner på begge sider i hele sin længde. De i figuren viste frekvenser skal derfor reduceres svarende til den relative andel af broen, der er beskyttet af lavvandede områder.

Kurverne viser følsomheden af kollisionsrisikoen overfor kollisionskapaciteten af pillerne i lavbroen ved forskellige niveauer for begrænsning af trafikken i Samsø Renden. Der ses en næsten lineær afhængighed af kollisionskapaciteten, med undtagelse af et kraftigt fald, når kapaciteten overstiger 50 MN. Denne kapacitet svarer til kollisionskraften for et skib, der er 80-100 m langt, og faldet skyldes den store andel af trafikken, der ligger i dette interval. En kapacitet på 50 MN er dog væsentlig større end designkapaciteten for pillerne på lignende broer (Vestbroen over Storebælt, Storstrømmen, Sjælland-Farø). Så fastlæggelsen af en relevant kapacitet for løsningernes lav bør baseres på en mere nøjagtig risikoberegning og designoptimering.

Det er ovenfor illustreret hvordan Kategori IV kollisionsrisikoen mod broens piller afhænger af: i) hvor meget af broen, der er beskyttet af farvandsområder med lav vanddybde, ii) hvor stor en modstandsevne broens piller designs med, og iii) hvor stor en andel af den nuværende skibstrafik, der vil kunne passere gennem broens hovedspænd. Risikoen for kollision mod drageren er mere kompleks at beskrive og vil primært bidrage fra lavbro delen. Den vil være styret af brodragerens højde over vandet og af brodragerens modstandsevne overfor kollisioner. Antal og placering af de sekundære gennemsejlingsåbninger vil dermed have betydning for størrelsen af dette risikobidrag, og på det nuværende detaljeringsniveau af forundersøgelserne, er det ikke relevant at optimere og afspejle disse detaljer ved de foreslåede broløsninger. Til den aktuelle evaluering antages risikoen for dragerkollisioner derfor at være proportional med risikoen for pillekollisioner, så en evalueringsindikator baseret på pillekollisioner også antages at dække dragerkollisioner.

Til evaluering af korridorernes og broløsningernes kollisionsrisiko kan pillernes modstandsevne regnes at være den samme (ca. 20 MN) for alle lavbroerne, og trafikken i Samsø Renden vil for alle rene broløsninger med en højbro med 200 m spændvidde være begrænset til skibe med en længde mindre end ca. 100 m. For de kombinerede bro- og tunnelloøsninger (KKV-1.1 og KKV-1.2) vil trafikken i Samsø Renden ikke være begrænset, og ifølge Figur 5-4 vil det med en kollisionskapacitet af pillerne på 20 MN betyde, at Kategori IV kollisionsrisikoen er ca. 1,7 gange højere for de kombinerede løsninger end for de rene broløsninger. For broløsninger med en lavbro med kun 60 m spændvidde (KKV-3.1, KKV-3.2 og KKV-3.4), vil kollisionsrisikoen blive $100/60=1.7$ gange større på grund af det større antal piller. (Den mindre spændvidde vil i udgangspunktet også medføre en mindre kollisionskapacitet af pillerne. Men betydningen af denne forskel er ikke tilstrækkelig til at forfølge i evalueringen.) Endelig vil batymetriens afskærmning imod kollisioner langs med periferien af korridoren lede til en individuel reduktionsfaktor på kollisionsrisikoen for hver korridor og broløsning. Alle disse afhængigheder kombineres til en samlet relativ indikator, som sættes til 100% for en broløsning med 100 m spænd i lavbroen og ingen

beskyttelse fra lavvandede områder. Indikatorens værdi vil dermed blive 100% ganget med følgende faktorer:

- > den relative andel af korridorens periferi, der ikke er tunnel eller kunstig ø (KKV-1.1 og KKV-2.1) og hvor batymetrien ikke beskytter mod kollisioner,
- > en faktor på 1,7 for broløsninger med 60 m spændvidde i lavbroen (KKV-3.1, KKV-3.2 og KKV-3.4)
- > en faktor på 1,7 for ubegrænset trafik i Samsø Renden ved kombinerede bro- og tunnel løsninger (KKV-1.1 og KKV-2.1)

Med udgangspunkt i et besluttet acceptabelt niveau for Kategori IV kollisionsrisikoen vil det i princippet være muligt at omregne den estimerede indikator til en nødvendig kollisionsskapacitet for pillerne via kurverne i Figur 5-4. Men det vil være misvisende at rapportere en så konkret designparameter, der er udledt på så et foreløbigt og approksimativt grundlag. Evalueringen af Kategori IV risikoen via den beskrevne indikator vurderes at være tilstrækkelig for den aktuelle komparative sammenligning af korridorer og tilhørende løsninger.

5.2 Evaluering af løsningernes kollisionsrisiko

5.2.1 KKV-1.1 og KKV-1.2

Med disse korridorer krydses Samsø Renden med en tunnel, hvorved risikoen for Kategori I kollisioner fra trafikken i renden er helt elimineret. Ingen af knækkene på ruten på Samsø Renden – se Figur 4-3 – giver anledning til eksponering for Kategori II kollisioner. På samme figur ses færgerne mellem Hou og Tunø at krydse korridoren, men hvis risikoen ved denne færgeres passage gennem brodelen bliver et problem for løsningen og for kollisionsrisikoen, kan færgeruten omlægges til at gå øst og syd om den kunstige ø for enden af broløsningen.

Den primære kilde til kollisionsrisiko vil derfor blive Kategori IV kollisioner baseret på erhvervstrafikken i Samsø Renden. Med udgangspunkt i Figur 5-3 er det skønnet, hvor stor en del af forbindelsens samlede længde L , der er beskyttet imod Kategori IV kollisioner:

Beskyttelse af forbindelsens østlige del

- > Kollisioner nordfra: $0,5 \times L$ *Denne del er tunnel*
- > Kollisioner sydfra: $0,5 \times L$ *Denne del er tunnel*

Beskyttelse af forbindelsens vestlige del

- > Kollisioner nordfra: $0,25 \times L$ *Delvist beskyttet nordfra af Tunø og Tunø Knob*
- > Kollisioner sydfra: $0,00 \times L$ *Ingen beskyttelse sydfra*

I forhold til den samlede periferi på $2 \times L$ er andelen af beskyttet periferi således $(0,5 + 0,5 + 0,25) / 2 = 62,5\%$. Dette svarer til en relativ eksponering på 37,5%. I tillæg skal medregnes en forøgelse af risikoen med en faktor 1,7 fordi trafikken i

Samsø Renden ikke vil være begrænset med denne løsning. Dermed øges indikatoren til **64%**.

5.2.2 KKV-2.1 og KKV-2.2

Mulige arrangementer af gennemsejlingen ved Samsø Rende er vist i Figur 4-5, og det fremgår, at en vinkelret krydsning leder til et knæk på ruten både nord og syd for korridoren. Kategori II risikobidragene fra disse er kritiske og bør så vidt muligt undgås. De to alternative arrangementer vist i Figur 4-5 indeholder et enkelt knæk placeret i selve gennemsejlingen, og som derfor ikke udgør en risiko for Kategori II kollisioner. Ulempen ved dette arrangement er at krydsningsvinklen med broen nu ikke længere er vinkelret, men bliver mellem 60 og 70 grader for trafik nordfra, og mellem 40 og 50 grader for trafik sydfra. Den bedste krydsning opnås ved at lade trafikken blive i sin nuværende rute, og flytte gennemsejlingsfagene længere østover helt op af de lavvandede områder ved Ringebjerg Sand. Med krydsningsvinklerne på 60 grader for trafik nordfra og 50 grader for trafik sydfra bliver den effektive gennemsejlingsåbning 87% hhv. 77% af den fysiske åbning. Baseret på en gennemsnitlig krydsningsvinkel på 55 grader svarer det til at kollisionsrisikoen vil være **122%** af risikoen ved en vinkelret krydsning; eller at spændvidden skal øges tilsvarende for at kompensere for krydsningsvinklen.

Med udgangspunkt i Figur 5-3 er det skønnet, hvor stor en del af forbindelsens samlede længde L, der er beskyttet imod Kategori IV kollisioner:

Beskyttelse af forbindelsens øst for Samsø Renden

- > Kollisioner nordfra: $0,05 \times L$ *Lav vanddybde ved Ringebjerg Sand*
- > Kollisioner sydfra: $0,05 \times L$ *Lav vanddybde ved Ringebjerg Sand*

Beskyttelse af forbindelsens vest for Samsø Renden

- > Kollisioner nordfra: $0,0 \times L$ *Ingen beskyttelse nordfra*
- > Kollisioner sydfra: $0,25 \times L$ *Områderne ved Hou samt generel skyggeeffekt af Svanegrund*

I forhold til den samlede periferi på $2 \times L$ er andelen af beskyttet periferi således $(0,05 + 0,05 + 0,25) / 2 = 17,5\%$. Dette svarer til en relativ eksponering på **83%**.

5.2.3 KKV-2.3

Gennemsejlingen ved Samsø Renden for KKV-2.3 kan som illustreret i Figur 4-6 ikke arrangeres med en retvinklet krydsning. Det enkleste arrangement baseret på den rute, som trafikken anvender nu, leder til en krydsningsvinkel på 45 til 50 grader. Dette reducerer den effektive gennemsejlingsbredde med 22% til 29%. Arrangementet giver endvidere et (uundgåeligt) ruteknæk ved Ringebjerg Sand nord for korridoren, som vil eksponere en broforbindelse for Kategori II kollisioner ca. 1-2 km vest for gennemsejlingen. Figur 4-6 viser også at en omlægning af ruten til at give en mere ret krydsning vil tilføje endnu et knæk på ruten, og dermed øge sandsynligheden for Kategori II kollisioner.

Det er sædvanligvis mere komplekst at undgå eller beskytte imod Kategori II kollisioner end at kompensere for en reduceret effektiv gennemsejlingsbredde.

Derfor tager evalueringen af kollisionsrisikoen for KKV-2.3 udgangspunkt i den aktuelle rutelægning vist som "a)" i Figur 4-6. Med krydsningsvinkler på 45 grader for trafik nordfra og 50 grader for trafik sydfra bliver den effektive gennemsejlingsåbning 71% hhv. 77% af den fysiske åbning, eller 74% i gennemsnit. Baseret på en gennemsnitlig krydsningsvinkel på 48 grader svarer det til at kollisionsrisikoen vil være **135%** af risikoen ved en vinkelret krydsning; eller at spændvidden skal øges tilsvarende for at kompensere for krydsningsvinklen.

Dette arrangement leder til 1 knæk på ruten og dermed til **1 kilde til Kategori II kollisioner**.

Med udgangspunkt i Figur 5-3 er det skønnet, hvor stor en del af forbindelsens samlede længde L, der er beskyttet imod Kategori IV kollisioner:

Beskyttelse af forbindelsens øst for Samsø Rende

- > Kollisioner nordfra: $\sim 0,0 \times L$ Kun beskyttelse meget nær kysten
- > Kollisioner sydfra: $\sim 0,0 \times L$ Kun beskyttelse meget nær kysten

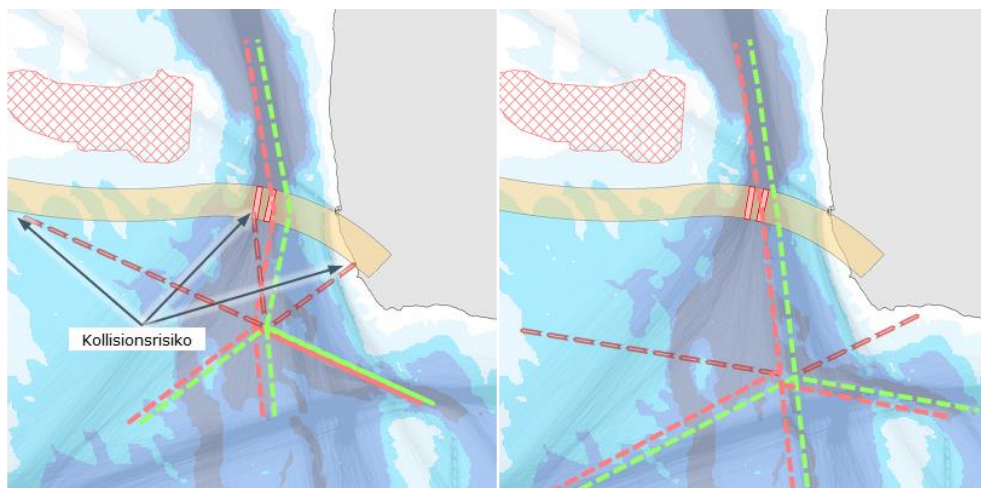
Beskyttelse af forbindelsens vestlige del

- > Kollisioner nordfra: $\sim 0,0 \times L$ Kun beskyttelse meget nær kysten
- > Kollisioner sydfra: $0,6 \times L$ Den korte afstand fra korridoren til Svanegrund vurderes at give en stor afskærmning.

I forhold til den samlede periferi på $2 \times L$ er andelen af beskyttet periferi således $0,6/2 = 30\%$. Dette svarer til en relativ eksponering på **70%**.

5.2.4 KKV-3.1 og KKV-3.2

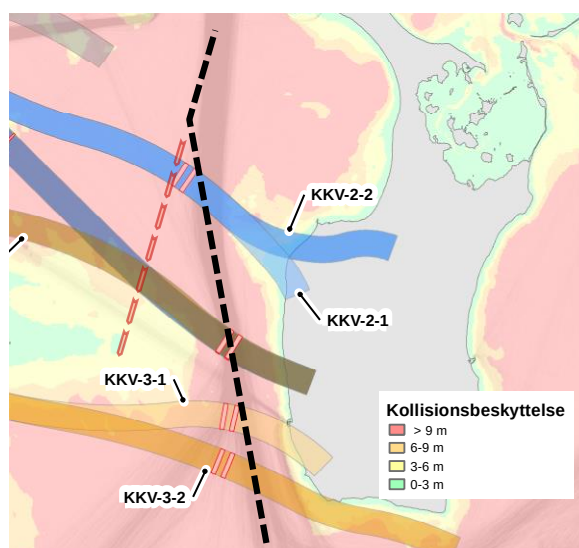
KKV-3.1 og KKV-3.2 har de samme frihedsgrader i forhold til at arrangere gennemsejlingen ved Samsø Rende – se Figur 4-8 og Figur 4-9. Selve gennemsejlingen kan arrangeres med en vinkelret krydsning, men det medfører et knæk på ruten nord for korridoren, der vil være kilde til risiko for Kategori II kollisioner. En ikke vinkelret krydsning, hvor knækket placeres i selve krydsningen, er vist som "c" i de to figurer. Hermed er kilden til Kategori II kollisioner fjernet, men krydsningen i gennemsejling ændres samtidig til at ske under 70 grader for trafikken nordfra, og den effektive gennemsejlingsbredde reduceres til 94%. Trafikken sydfra kan arrangeres mere frit, så der kan opnås en vinkelret krydsning. Udfordringen sydfra kommer af samlingen af trafikken fra Lillebælt i vest, Odense i syd og Storebælt/Kalundborg i øst ind i Samsø Rende. Samlingen af denne trafik, som den er vist til venstre i Figur 5-5 tilføjer ruteknæk, der vil være kilde til Kategori II kollisioner mod en broløsning. Lægges samlingspunktet i stedet længere mod syd, kan denne problemstilling helt elimineres, som vist til højre i Figur 5-5.



Figur 5-5 Arrangement for trafikken syd for KKV-3.1. Både som vist i Figur 4-8 (til venstre) og med et alternativ, der eliminerer kilderne til Kategori II kollisioner (til højre)

Dette arrangement giver en krydsningsvinkel på 70 grader for både nord- og sydgående trafik, men er derudover konsistent med arrangementet, der er evalueret i Tabel 4-1. Med en krydsningsvinkel på 70 grader bliver den effektive gennemsejlingsåbning 94% af den fysiske åbning. Baseret på en krydsningsvinkel på 70 grader svarer det til at kollisionsrisikoen vil være **106%** af risikoen ved en vinkelret krydsning; eller at spændvidden skal øges tilsvarende for at kompensere for krydsningsvinklen.

Arrangementet leder i sig selv ikke til nogle kilder til Kategori II kollisioner. Det nordlige knæk på ruten ved Ringebjerg Sand kan give risiko for Kategori II kollisioner mod KKV-3.1 og KKV-3.2. Men i modsætning til KKV-2.3 og KKV-3.4, så vil det være muligt at begrænse eller eliminere denne risiko, ved at flytte knækket længere mod vest, og dermed benytte det lavvandede områder ved Svanegrund som beskyttelse – se Figur 5-6. Denne ændring vil formentligt kunne foranlediges ved udlægning af en bøjle ved det ønskede knækpunkt, og vil udgøre en ubetydelig forlængelse af ruten.



Figur 5-6 Ændret placering af knækket på ruten for at bruge Svanegrund som beskyttelse af

KKV-3.1 og KKV-3.2 mod Kategori II kollisioner nordfra.

Under forudsætning af dette arrangement vurderes det muligt at **eliminere kilder til Kategori II kollisioner**.

Med udgangspunkt i Figur 5-3 er det skønnet, hvor stor en del af forbindelsens samlede længde L, der er beskyttet imod Kategori IV kollisioner:

Beskyttelse af forbindelsens øst for Samsø Rende

- > Kollisioner nordfra: $\sim 0,0 \times L$ Kun beskyttelse meget nær kysten
- > Kollisioner sydfra: $\sim 0,0 \times L$ Kun beskyttelse meget nær kysten

Beskyttelse af forbindelsens vestlige del

- > Kollisioner nordfra: $0,55 \times L$ Svanegrund, Søgrund og Søby rev
- > Kollisioner sydfra: $0,35 \times L$ Endelave

I forhold til den samlede periferi på $2 \times L$ er andelen af beskyttet periferi således $(0,55 + 0,35) / 2 = 45\%$. Dette svarer til en relativ eksponering på 55%, men da pilleafstanden for lavbroen på denne løsning er 60 m, skal eksponeringen øges med faktoren 100/60, så den samlede faktor bliver **92%**.

5.2.5 KKV-3.4

Gennemsejlingen ved Samsø Renden for KKV-3.4 kan som illustreret i Figur 4-6 ikke arrangeres med en retvinklet krydsning. Det enkleste arrangement baseret på den rute, som trafikken anvender nu, leder til en krydsningsvinkel på 45 til 50 grader. Derved reduceres den effektive gennemsejlingsbredde med 22% til 29%. Arrangementet giver endvidere et ruteknæk ved Ringeberg Sand nord for korridoren, som vil eksponere en broforbindelse for Kategori II kollisioner ca. 1-2 km vest for gennemsejlingen. Som også illustreret i Figur 4-6 vil en omlægning af ruten til at give en mere ret krydsning tilføje yderligere et knæk på ruten og dermed øge muligheden for Kategori II kollisioner.

Det er sædvanligvis mere komplekst at undgå eller beskytte imod Kategori II kollisioner end at kompensere for en reduceret effektiv gennemsejlingsbredde. Derfor tager evalueringen af kollisionsrisikoen for KKV-3.4 udgangspunkt i den aktuelle rutelægning vist som "a)" i Figur 4-6. Med krydsningsvinkler på 45 grader for trafik nordfra og 50 grader for trafik sydfra bliver den effektive gennemsejlingsåbning 71% hhv. 77% af den fysiske åbning, eller 74% i gennemsnit. Baseret på en gennemsnitlig krydsningsvinkel på 48 grader svarer det til at kollisionsrisikoen vil være **135%** af risikoen ved en vinkelret krydsning; eller at spændvidden skal øges tilsvarende for at kompensere for krydsningsvinklen.

Dette arrangement leder til 1 knæk på ruten og dermed til **1 kilde til Kategori II kollisioner**.

Med udgangspunkt i Figur 5-3 er det skønnet, hvor stor en del af forbindelsens samlede længde L, der er beskyttet imod Kategori IV kollisioner:

Beskyttelse af forbindelsens øst for Samsø Rende

- > Kollisioner nordfra: $\sim 0,0 \times L$ *Kun beskyttelse meget nær kysten*
- > Kollisioner sydfra: $\sim 0,0 \times L$ *Kun beskyttelse meget nær kysten*

Beskyttelse af forbindelsens vestlige del

- > Kollisioner nordfra: $0,1 \times L$ *God beskyttelse af Søgrund/Søby Rev*
- > Kollisioner sydfra: $0,7 \times L$ *Den korte afstand fra korridoren til Svanegrund vurderes at give en større afskærmning end antaget for KKV-2.3*

I forhold til den samlede periferi på $2 \times L$ er andelen af beskyttet periferi således $(0,1+0,7)/2 = 40\%$. Dette svarer til en relativ eksponering på 60%. Men da pileafstanden for lavbroen på denne løsning er 60 m, skal eksponeringen øges med faktoren $100/60$, så den samlede faktor bliver **100%**.

5.3 Sammenfatning

Kollisionsrisikoen for de betragtede løsninger er blevet evalueret og beskrevet i form af kvantitative indikatorer for hver af de 3 typer af skibskollisionsrisiko, som broerne er eksponeret for. Alle typer risiko tager udgangspunkt i den samme trafik igennem Samsø Renden, men løsningerne med en bro over Samsø Rende vil være begrænsende for hvor meget af den nuværende trafik, der vil kunne passere broen. I evalueringen af disse broløsninger er det forudsat at alle rene broløsninger leder til samme begrænsning af trafikken.

Kategori I vedrører kollisioner mod den del af brokonstruktionen, der udgør selve gennemsejlingsfaget¹. Hvor meget bredere gennemsejlingen skal være for at kompensere for en skæv krydsning imellem ruten og korridoren, er anvendt som kvantitativ indikator. Dermed undgår evalueringen den generelle problemstilling om, hvor meget en broløsning skal/bør begrænse trafikken i Samsø Rende. Vedrørende valget af gennemsejlingsåbning henvises til afsnit 6.

Med de fundne udfald af indikatoren, vil der være en tilnærmelsesvis lineær (og nærmest proportional) relation imellem indikatoren og risikoen for Kategori I kollisioner.

Erfaringen med risikoen ved Kategori II kollisioner fra detaljerede risikoberegninger af KKØ-løsninger har – ikke overraskende – vist, at denne risiko kan være vanskelig og bekostelig at begrænse. Navnlig hvis ikke batymetrien giver broen en naturlig beskyttelse imod disse kollisioner – se ref. [8]. Hvis det ikke er muligt at omlægge ruten i Samsø Rende, så denne kollisionsrisiko helt elimineres, vil det kræve omfattende forstærkning og/eller ekstern beskyttelse, at få risikoen bragt ned på et acceptabelt niveau. Specifikke og lokale tiltag vil være nødvendige for hvert rutebælte, der eksponerer broen, og derfor er antallet af rutebælter, der er reelle kilder til Kategori II kollisioner, anvendt som en relevant kvantitativ indikator for denne risiko. Det følger at den samlede risiko for Kategori II kollisioner vil være proportional med indikatoren.

¹ Dette gælder ikke generelt, men vil typisk være tilfældet når højbroen har samme (store) spænd i alle fag.

Risikoen for Kategori IV kollisioner er betinget af, hvor stor den del af broen, som skibene, der besejler Samsø Rende, kan nå frem til uden at grundstøde. Den eksponerede brøkdelen af korridorens periferi er brugt som indikator for risikoen, og repræsenterer en faktor, der skal påføres det konservative risikoestimat præsenteret i Figur 5-4, for at få en approksimativ bestemmelse af risikoen for den enkelte løsning. Dermed bliver risikoen proportional med den valgte indikator.

Alle tre indikatorer kan dermed betragtes som en skaleringsfaktor for de respektive risikobidrag og kan i princippet sidestilles i en samlet vurdering af de enkelte løsninger. Vurderingen af kollisionsrisikoen betydning for løsningernes projektrisiko tager derfor afsæt i en direkte summering af indikatorerne og motiveres/justeres afhængig af de konkrete problemstillinger, der bidrager til kollisionsrisikoen. Indikatoren for Kategori II, der opgør antallet af ruteknæk med potentiale for Kategori II kollisioner, konverteres til en tilsvarende procentuel faktor (1 til 100%, 2 til 200% osv.) for at kunne lægges sammen med de to andre procentuelle faktorer.

Tabel 5-1 giver en oversigt over indikatorerne for de enkelte korridorer og løsninger, og giver en kort motivation for den endelige vurdering af det afledte projektmæssige risikobidrag. For korridorer, hvor en skrå krydsning af trafikken i Samsø Renden gør en bredere gennemsejlingsåbning nødvendig, er tillige anført et skønnet tillæg til anlægsomkostningen for denne ændring. Med udgangspunkt i den nødvendige forøgelse af spændvidden er tillægsomkostningen bestemt ud fra kurverne vist i Figur 6-5, og er angivet som et interval fra den lavere omkostning, hvis spændvidden kun øges i ét fælles gennemsejlingsfag, til den højere omkostning, hvis spændvidden øges i to separate gennemsejlingsfag. Muligheden for kun at udvide spændvidden i et fag er præsenteret og diskuteret i afsnit 6.2. For korridorerne med en skrå krydsning af Samsø Renden angives projektrisikoen såvel når de foreslåede løsningers spændvidde på 200 m fastholdes, og når gennemsejlingernes spændvidde øges som foreslået.

Tabel 5-1 Indikatorer for kollisionsrisikoen for KKV-korridorer med løsninger helt eller delvist baseret på brokonstruktioner og det afledte niveau af projektrisiko hidrørende fra kollisionsrisikoen.

Korridor og løsning	Indikatorer for kollisionsrisiko			Evaluering og Projektrisiko
KKV-1.1 Bro+ST KKV-1.2 Bro+ST	Kategori I Kategori II Kategori IV Samlet	faktor kilder faktor	- - 64% 64%	Motivationen for denne løsning har netop været at lægge forbindelsen i en tunnel, der hvor skibstrafikken udgør den største risiko for kollisioner. Den tilbageværende risiko for Kategori IV kollisioner er moderat og vil kunne reduceres ved aktiv overvågning af sejladsen og varsling af trafikken på forbindelsen hvis et muligt kollisionsscenarie er under udvikling. Forventelig
KKV-2.1 Bro KKV-2.2 Bro	Kategori I Kategori II Kategori IV Samlet	faktor kilder faktor	122% - 83% 205%	For ikke at skabe kilder til Kategori II kollisioner, vil denne korridor lede til en skæv krydsning af trafikken i Samsø Renden. Det vil enten betyde yderligere begrænsning af trafikken til færre og mindre skibe. Eller at spændvidden af et eller begge gennemsejlingsfag øges til 250 m, hvilket vurderes at øge anlægsomkostningerne med i størrelsesordenen 200-300 mio. kr. for en 4+0 forbindelse. Korridoren krydser meget åbent og dybt farvand og har en meget begrænset beskyttelse imod Kategori IV kollisioner. Kollisionsrisikoen vil i udgangspunktet være høj, og selvom aktiv overvågning af skibstrafikken kan reducere risikoen noget, vil trafikken på forbindelsen ikke kunne varsles rettidigt ved kollisionsscenarier i nærheden af Samsø Rende. At den vestlige del af korridoren gennemskærer et farvand, med en udstrakt fritidssejlads kan tillige være en udfordring for overvågning og rettidig varsling af trafikken på broen ved en Kategori IV kollisionssituation. Fastholdes en spændvidde i gennemsejlingsfagene på 200 m vurderes projektrisikoen at være Forhøjet . Øges spændvidden som foreslået til 250 m sænkes projektrisikoen til Let Forhøjet .
KKV-2.3 Bro	Kategori I Kategori II Kategori IV Samlet	faktor kilder faktor	135% 1 70% 305%	Denne korridor giver en skæv krydsning af trafikken i Samsø Renden. Det vil enten betyde yderligere begrænsning af trafikken til færre og mindre skibe. Eller at spændvidden af et eller begge gennemsejlingsfag øges til 270 m, hvilket vurderes at øge anlægsomkostningerne med i størrelsesordenen 300-450 mio. kr for en 4+0 forbindelse. Forløbet af Samsø Rende skaber et nærmest uundgåeligt knæk på ruten, der eksponerer broløsningen for Kategori II kollisioner. Det vil være muligt men bekosteligt at forstærke eller beskytte broen. En ekstern beskyttelse vil ligge nær Svanegrund og miljøforhold og naturbeskyttelse kunne udfordre denne mulighed for at håndtere risikoen. Korridoren krydser meget åbent og dybt farvand og har en begrænset beskyttelse imod Kategori IV kollisioner. Kollisionsrisikoen vil i udgangspunktet være høj, og selvom aktiv overvågning af skibstrafikken kan reducere risikoen noget, vil trafikken på forbindelsen ikke kunne varsles ved kollisionsscenarier i nærheden af Samsø Rende. At den vestlige del af korridoren gennemskærer et farvand, med en udstrakt fritidssejlads kan tillige være en udfordring for overvågning og rettidig varsling af trafikken på broen ved en Kategori IV kollisionssituation. Fastholdes en spændvidde i gennemsejlingsfagene på 200 m vurderes projektrisikoen samlet set at være Meget Forhøjet . Øges spændvidden som foreslået til 270 m sænkes projektrisikoen til Forhøjet .

Korridor og løsning	Indikatorer for kollisionsrisiko			Evaluering og Projektrisiko
KKV-3.1 Bro KKV-3.2 Bro	Kategori I	faktor	106%	Korridoren giver mulighed for at arrangere en gunstig krydsningsvinkel med trafikken i Samsø Rende. Det store område med rigelig vanddybde syd for krydsningen med Samsø Rende, gør det muligt at arrangere trafikken ind i renden uden at skabe kilder til Kategori II kollisioner, og uden særlig kompleksitet af arrangementet af sejladsen. Korridoren nyder nogen naturlig beskyttelse imod Kategori IV kollisioner, men på grund af lavbroens korte spændvidde bliver kollisionsrisikoen stadig høj. Aktiv overvågning af skibstrafikken vil reducere risikoen noget, men trafikken på forbindelsen vil ikke kunne varsles ved kollisionsscenerier i nærheden af Samsø Rende. Risikoen kunne reduceres ved at øge spændvidden på lavbroen, men det vil betyde en ikke uvæsentlig forøgelse af anlægsmkostningerne. Projektrisikoen vurderes at være Forhøjet.
	Kategori II	kilder	-	
	Kategori IV	faktor	92%	
	Samlet		198%	
KKV-3.4 Bro	Kategori I	faktor	135%	Denne korridor giver en skæv krydsning af trafikken i Samsø Renden. Det vil enten betyde yderligere begrænsning af trafikken til færre og mindre skibe. Eller at spændvidden af et eller begge gennemsejlingsfag øges til 270 m, hvilket vurderes at øge anlægsmkostningerne med i størrelsesordenen 300-450 mio. kr. for en 4+0 forbindelse. Forløbet af Samsø Rende skaber et nærmest uundgåeligt knæk på ruten, der eksponerer broløsningen for Kategori II kollisioner. Det vil være muligt men bekosteligt at forstærke eller beskytte broen. En ekstern beskyttelse vil ligge nær Svanegrund, og miljøforhold og naturbeskyttelse kunne udfordre denne mulighed for at håndtere risikoen. Korridoren krydser meget åbent og dybt farvand og har en begrænset beskyttelse imod Kategori IV kollisioner. Kollisionsrisikoen vil i udgangspunktet være høj, og selvom aktiv overvågning af skibstrafikken vil reducere risikoen noget, vil trafikken på forbindelsen ikke kunne varsles ved kollisionsscenerier i nærheden af Samsø Rende. Risikoen kunne reduceres ved at øge spændvidden på lavbroen, men det vil betyde en ikke uvæsentlig forøgelse af anlægsmkostningerne. Fastholdes en spændvidde i gennemsejlingsfagene på 200 m vurderes projektrisikoen samlet set at være Meget Forhøjet. Øges spændvidden som foreslået til 270 m sænkes projektrisikoen til Forhøjet.
	Kategori II	kilder	1	
	Kategori IV	faktor	100%	
	Samlet		335%	

"Bro": ren broløsning, "Bro+ST": bro og sænketunnel

6 Valget af gennemsejlingen over Samsø Rende

Valget af gennemsejlingsåbning i hovedbroen vil være en generel præmis for en KKV-løsning med en bro over Samsø Renden. Selvom valget får væsentlige betydning for erhvervstrafikkens betingelser, vil det ikke have (afgørende) indflydelse på den aktuelle komparative evaluering af korridorer og de tilhørende bro-løsninger. Påvirkningen af erhvervstrafikkens betingelser skal dog inddrages og gives vægt i det endelige valg af gennemsejling og hovedbro, og grundlaget for at repræsentere denne betydning, er løbende blevet suppleret igennem forundersøgelserne. Enhedspriser for anlægsomkostningerne for en broforbindelse rapporteres i denne fase af forundersøgelsen, se [9], og dermed skabes basis for evaluering af omkostningen forbundet med at ændre/øge gennemsejlingsfagets størrelse. Ekstraomkostningen for skibsfarten ved at større skibe tvinges til at sejle øst om Samsø er rapporteret i ref. [5] for specifikke begrænsninger på skibenes størrelse. Dette grundlag giver mulighed for at sammenholde ændringen af denne ekstraomkostning for erhvervstrafikken med den tilsvarende forøgelse af anlægsomkostningen for forbindelsen. Hvis spektret af løsningsmuligheder for gennemsejlingen udvides til også at omfatte én stor gennemsejlingsåbning, vil det tillige være nødvendigt at medtage risikoaspekterne ved tovejs passage i denne ene åbning, i den samlede vurdering af fordele og ulemper ved de forskellige gennemsejlingsarrangementer og åbningsstørrelser.

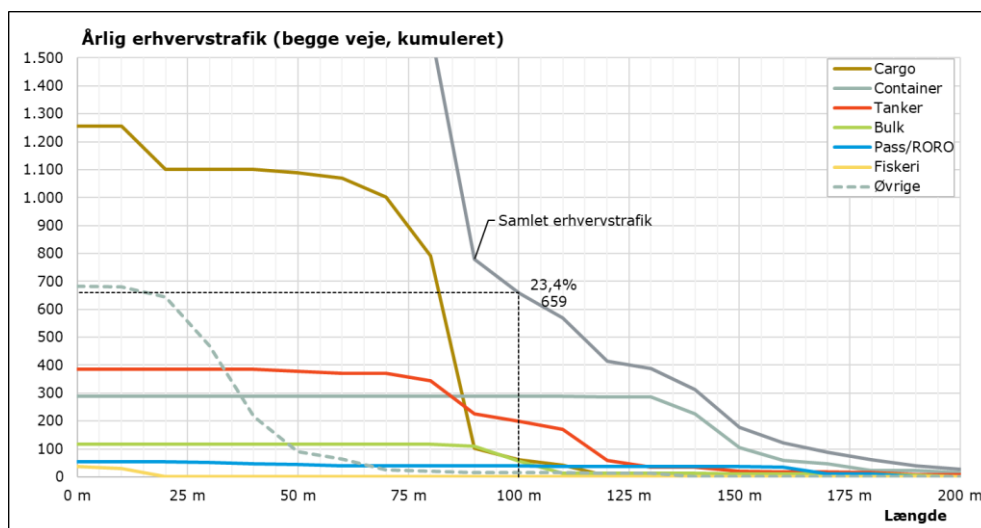
I de følgende afsnit introduceres det nuværende grundlag for disse elementer og indikative resultater af en samlet omkostning-effektivitetsvurdering præsenteres i afsnit 6.7.

6.1 Gennemsejling i de betragtede løsninger

De betragtede broløsninger forudsætter alle et hovedspænd på 200 m for gennemsejlingerne over Samsø Renden, hvilket leder til en 170 m bred og 26 m høj navigationsåbning. Der arrangeres ét gennemsejlingsfag for hver retning, så det enkelte skibs passage af broen ikke udfordres af eventuel modgående trafik.

Med udgangspunkt i, at navigationsåbningens bredde anbefales mindst at være 1,6 gange skibets længde, vil det være forsvarligt at tillade skibe med en længde mindre end $170/1,6=106$ m at passere broen. Jævnfør approksimationen i Figur 4-2 vil gennemsejlingens højde på 26 m svare til et skib med en længde på $(26/2,9)^2+20 = 100$ m. Den foreslåede gennemsejlingsåbning vil dermed være passende og i balance for skibe, der er op til 100 meter lange.

Valget af broens spændvidde på 200 m er stærkt inspireret af det sidst foreslåede design for en broforbindelse over Femern Bælt. Denne forbindelses længde, de generelt store vanddybder, en omfattende trafik og den deraf høje risiko for skibskollisioner gjorde det relevant at øge spændvidden så meget som muligt. Den for dette projekt foreslåede spændvidde på 200 m menes derfor at udgøre et velunderbygget optimum for hvor langt spændet på højbroen kan være. Ved at anvende et separat gennemsejlingsfag for hver retning, bliver det muligt og forsvarligt at lade skibe på op til 100 m passere. Af statistikken for erhvervstrafikken i Samsø Renden vist i Figur 6-1 fremgår det at ca. 660 af passagerne i 2018 og dermed at 20 til 25 procent af den årlige trafik, vil være skibe, der er for lange til denne gennemsejlingsåbning.



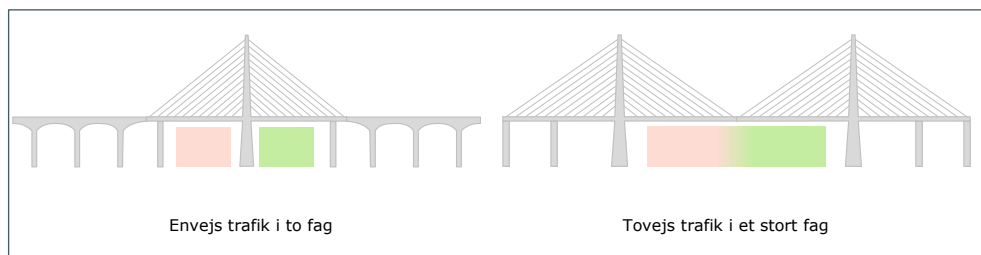
Figur 6-1 Kumuleret fordeling af erhvervstrafikken i Samsø Renden i 2018.

6.2 Performance af et gennemsejlingsarrangement

Som beskrevet i afsnit 4.1 er det i praksis højden af gennemsejlingsåbningen, der udgør den reelle begrænsning for hvor store skibe, der vil anvende ruten vest om Samsø når en fast broforbindelse er etableret. Den anvendte gennemsejlingsåbning i broløsningerne har balance imellem højde og bredde: gennemsejlingshøjden på 26 meter begrænser længden af skibe, der fysisk kan passere under broen, til ca. 100 meter. Åbningens bredde på 170 meter er dermed lidt større end anbefalingen om en mindste bredde af gennemsejlingen på 1,6 gange skibets længde.

Øges gennemsejlingens højde, vil flere skibe have mulighed for at passere under broen, og denne mulighed forventes at blive udnyttet. Også selvom gennemsejlingens bredde ikke giver disse større skibe tilstrækkelig navigationsmæssig margin ved passagen. Hvis gennemsejlingens bredde ikke er afstemt til højden, vil der således forekomme passager med skibe, der er for lange i forhold til gennemsejlingens bredde. Med dette følger en uønsket forøgelse af risikoen for kollisioner mod navigationsåbningens bropiller, og kun ved at øge navigationsåbningens bredde, kan denne forøgede risiko reduceres.

Forfølges en ambition om at tillade passage af så megen af den nuværende trafik som muligt, vil gennemsejlingens bredde ende med at blive dikteret af mindre hyppige passager af meget store skibe. Og dermed vil gennemsejlingen blive mere end tilstrækkelig bred for de hyppigste passager, der foretages af væsentlig mindre skibe. Det forekommer i den situation ikke rationelt at etablere to gennemsejlingsfag med en bredde, der kræves af de sjældne store skibe. Ressourcerne kan bruges bedre ved at arrangere ét spænd, der er stort nok til det største skib, og lade trafikken i begge retninger anvende dette ene spænd – se Figur 6-2.



Figur 6-2 Broløsninger med envejs og tovejs trafik.

Trafikkens volumen – og tidsmæssige variation – vil betinge hvor hyppigt to skibe mødes og skal passere broen samtidigt, og trafikens størrelsesmæssige sammensætning vil være bestemmende for, om skibenes samlede behov for plads i en sådan mødesituation, overstiger navigationsåbningens bredde.

Erkender besætningen på skibene ikke den utilstrækkelig gennemsejlingsbredde, men gennemfører en tovejs passage, vil situationen indebære en uønsket risiko for kollision imellem skibene og/eller kollision mod en (eller begge) af hovedbroens piller. Men erkendes risikoen af besætningen på blot et af skibene, kan dette skib tilpasse sin sejlads, så den risikofyldt mødesituation i stedet bliver til to på hinanden følgende solo-passager, hvor gennemsejlingen ved hver passage er tilstrækkelig bred. Der er således en mulighed for at risikoen ved en mødesituation kan elimineres, men det afhænger af besætningens erkendelse af risikoen og af deres reaktion på denne.

Performance af et gennemsejlingsarrangement kan således karakteriseres ved, hvor meget af den nuværende trafik i Samsø Rende, der bliver (eller kan blive) til:

- > Trafik med for høje skibe – Omledt trafik
Denne del af trafikken er bestemt ved at skibene er for høje til at passere broens navigationsåbning
- > Trafik med for lange skibe – Kritiske solo-passager
Disse passager er defineret ved at skibets længde overstiger 1,6 gange gennemsejlingens bredde, og det samtidig ikke er for højt til gennemsejlingen
- > Mødesituationer med for lang samlet længde – Kritiske mødesituationer
Disse situationer vil alene opstå, når der kun er en gennemsejling i broen. Mødesituationer defineres ved at to (eller flere) skibe mødes så tæt på bropassagen, at de må tage højde for hinanden i selve passagen; passagen må anses at være en tovejs passage. Disse passager karakteriseres som særligt risikofyldt hvis summen af skibenes længde gange 1,6 overstiger gennemsejlingens bredde.

For et specifikt gennemsejlingsarrangement med 1 eller 2 gennemsejlinger hver med en højde H og bredde B , kan antallet af passager i de tre grupper bestemmes ud fra volumen og sammensætning af den observerede erhvervstrafik og en sandsynlighedsmodel for hyppigheden af mødesituationer. I sin simpleste form vil parametrene i denne model for mødesituationer være skibenes

gennemsnitlige fart samt afstanden fra broen, indenfor hvilken to modgående skibe vil influere på hinandens navigation i passagen.

Resultatet af en sådan opdeling af den observerede trafik i 2018 er vist i Figur 6-3 for løsninger med 2 og 1 gennemsejlingsfag og med forskellige 3 kombinationer af navigationsåbningens højde og krydsningsvinklen mellem skibstrafikken og brolinjen:

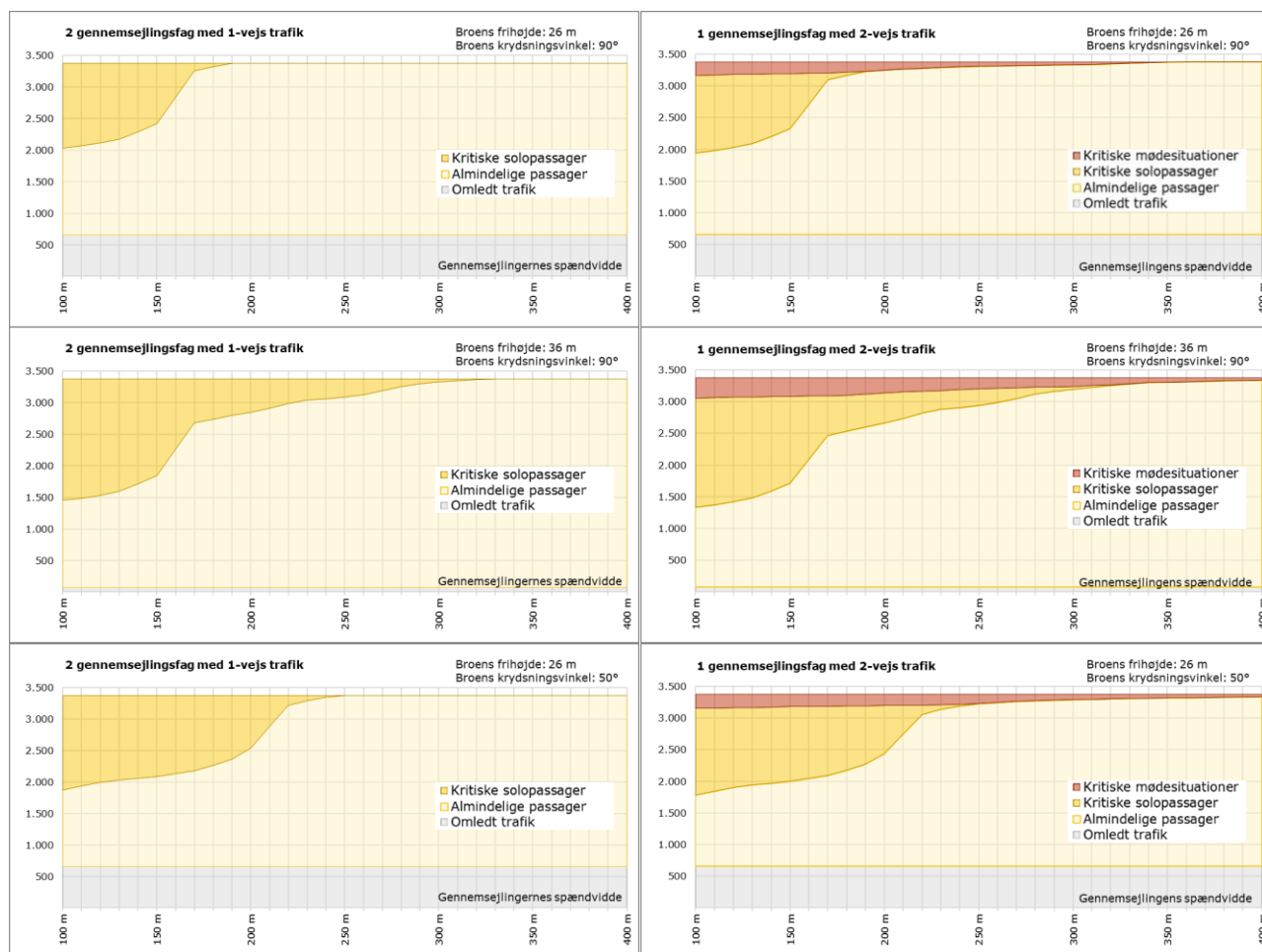
Navigationsåbningens højde	krydsningsvinkel
26 meter	90° (vinkelret)
36 meter	90° (vinkelret)
26 meter	50°

Det er i denne analyse antaget, at navigationsåbningens bredde er lig med 85% af broens spændvidde.

Mængden af omlødt trafik er betinget af gennemsejlingshøjden og er derfor ens for løsninger med både et og to fag. Med en gennemsejlingshøjde på 26 meter bliver det ca. 660 passager om året. For 2-fagsløsningen vil alle passager være solo-passager, og med en vinkelret krydsning vil alle disse være ukritiske for spændvidder over 190 meter. Anvendes kun et gennemsejlingsfag vil solo-passagerne også være ukritiske for spændvidder over 190 meter. Men de kritiske mødesituationer, der kan opstå når begge trafikretninger benytter samme gennemsejling, udgør ca. 130 passager pr år ved et spænd på 200 meter. Antallet aftager langsomt til ca. 50 per år ved 300 meter spændvidde og bliver først forsvindende ved en spændvidde på 370 meter. Ved denne spændvidde giver 1-fagsløsningen cirka samme plads i det ene spænd som 2-fagsløsningen giver i to spænd på 190 meter.

Øges gennemsejlingshøjden til 36 meter (2 midterste diagrammer i Figur 6-3), bliver andelen af trafik, der må sejle øst om Samsø, reduceret med en faktor 8 til ca. 80 passager om året. Til gengæld bliver en ganske stor andel af passagerne kritiske (ca. 530 passager per år for en 2-fagsløsning ved en spændvidde på 200 meter) fordi de større skibe, der kan komme igennem en 36 meter høj gennemsejling, er længere og derfor kræver en bredere gennemsejling. De kritiske solo-passager vil først være elimineret med to navigationsspænd på 340 meter. Med kun ét fælles navigationsspænd på 200 meter leder den forøgede gennemsejlingshøjde til en stigning i antallet af kritiske passager til ca. 710 fordelt på 470 kritiske solo-passager og 240 kritiske mødesituationer.

De kritiske solo-passager elimineres også fra denne løsning med en spændvidde på mere end 340 meter, men der vil stadig opstå 80 kritiske mødesituationer om året. Selv med et navigationsspænd på 400 meter bliver antallet af kritiske mødesituationer kun reduceres til 40 om året. Spændvidden skal øges til $2 \times 340 \text{ m} = 680 \text{ m}$ før de kritiske mødesituationer er helt elimineret.



Figur 6-3 Opdeling af den observerede trafik i 2018 i forhold til type af passage af gennemsejlingen som funktion af broens spænd. Gennemsejlingshøjde = 26 m.

Ændres krydsningsvinklen imellem skibstrafikken og brolinjen til 50° (se de 2 nederste diagrammer i Figur 6-3), vil den effektive bredde af navigationsåbningen være mindre og flere passager vil derfor blive kritiske: ca. 830 om året med to gennemsejlinger og ca. 940 om året med en gennemsejling, fordelt på 760 kritiske solo-passager og 180 mødesituationer. Spændvidden skal øges til 270 meter før de kritiske solo-passager ikke længere forekommer. Den effektive bredde af navigationsspændet vil da være

$$270\text{m} \cdot \sin(50^\circ) = 206 \text{ m}$$

Denne effektive bredde svarer til en vinkelret krydsning af de 200 meters navigationsspænd i den foreslåede løsning.

Denne enkle model for hvordan sejladsens gennemførelse i Samsø Renden påvirkes af gennemsejlingsåbningens højde, bredde og krydsningsvinkel giver mulighed for en systematisk og parametrisk evaluering af navigationsløsningens betydning for skibstrafikken og for antallet af særligt risikofyldte passager. Modellen er foreløbig og problemstillingen bør analyseres nærmere i en senere fase af projektet i relation til fastlæggelse af den optimale brogeometri for de udpegede korridorer.

6.3 Omkostning ved omledning øst om Samsø

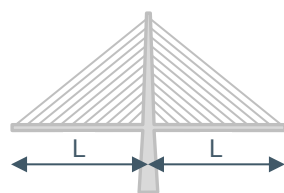
Den økonomiske og tidsmæssige konsekvens for den relativt store del af trafikken i Samsø Renden, der med den foreslåede gennemsejlingsåbning bliver henvist til at sejle øst om Samsø, er vurderet i ref. [5]. Med en begrænsning af trafikken gennem broen til skibe på op til 100 meters længde vurderes den samlede omkostning for den omledte trafik at blive 9 mio. kr. per år svarende til et gennemsnit på ca. 12.000 kr. per omledt passage. Den tilsvarende omkostning for omledningen af al skibstrafik med en længde større end 81 meter er rapporteret til at være 12,5 mio. kr. per år, hvilket svarer til en gennemsnitlig omkostning per omledt passage på 7.500 kr. Det kan opgøres at ca. 880 passager er af skibe med en længde mellem 81 og 100 meter og at ca. 750 passager er af skibe med længder over 100 m (se Tabel 18 ref. [5]). Deraf kan udledes en gennemsnitlige omkostning ved omledning af skibe med en længde mellem 81 og 100 meter på ca. 4.000 kr. per omledt passage. Disse tal antyder en forventelig progression af omkostningen per passage med skibets størrelse. For den foreslåede gennemsejlingsåbning kan omkostningen for de omledte skibe således konkluderes at starte ved ca. 4.000 kr. for de mindste skibe til en omkostning for de største skibe, der ligger væsentlig over 12.000 kr. De rapporterede resultater i ref. [5] giver nogen basis for at repræsentere denne progression eksplicit, men denne mulighed er ikke forfulgt i nærværende anvendelse af resultaterne.

Den årlige ekstraomkostning for skibsfarten kan betragtes som en samfundsmæssig udgift, der er foranlediget af samfundets behov for og ønske om en fast forbindelse over Kattegat. Objektivt set vil omkostningen for sejladsen således udgøre en del af samfundets samlede omkostning ved etablering af en fast forbindelse. Og det vil være relevant at undersøge, om det er muligt at reducere sejladsens ekstraomkostning, uden at øge den samlede, samfundsmæssige omkostning ved etablering af forbindelsen. Eller med andre ord, om det at udvide gennemsejlingsåbningen, så mere af den nuværende trafik kan tilbydes passage, kan gøres for en forøgelse af anlægsomkostningen, der er mindre end omkostningen ved at sende den samme trafik øst om Samsø.

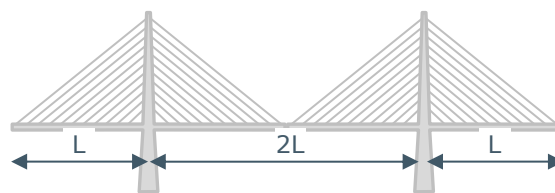
6.4 Anlægsomkostninger

Den foreslåede bjælkebro med en 200 m spændvidde i hovedbroen over Samsø Rende udgør basis for vurdering af ekstraomkostningerne forbundet med at øge bredden af gennemsejlingsfagene, og eventuelt ændre gennemsejlingen til blot at foregå i et større spænd. Enhedspriserne rapporteret i ref. [9], der er anvendt i forundersøgelserne for brokonstruktioner, er sammenfattet grafisk i Figur 6-4. For at have priser for relevante spændvidder, der ligger udover dem, der er anvendt i de nuværende løsninger, er der tilføjet en skønnet pris for en bjælkebro med 300 m spændvidde. Denne spændvidde betragtes som en realistisk øvre grænse for en bjælkebro. De viste priser svarer til 2020K3 inklusive 12% PTA og 50% korrektionstillæg.

En 2 fags skråstagsbro (svarende til den ny Storstrømsbro) med et kabelbåret spænd på hver side af en enkelt, central pylon, er tillige inkluderet i prisestimerne. Enhedsprisen for denne type bro er antaget at svare til enhedsprisen for en et-spænds skråstagsbro med den dobbelte spændvidde:

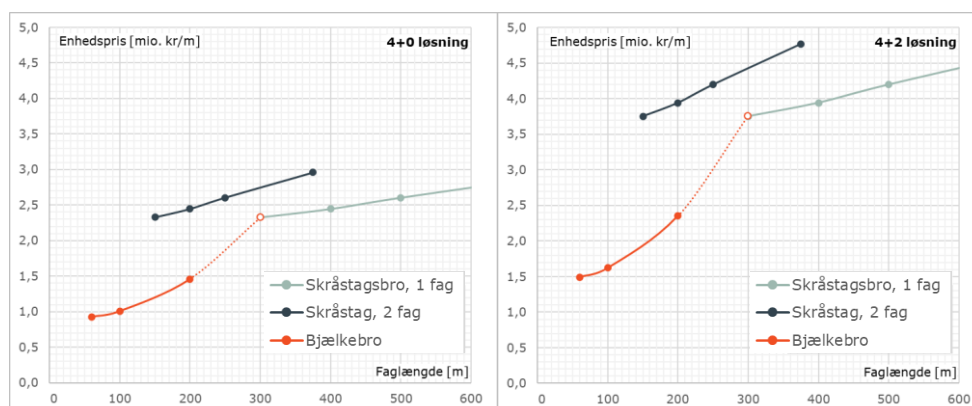


2-fags skråstagsbro med
én central pylon



Sædvanlig skråstagsbro med ét hovedspænd

Den samlede anlægsomkostning for en skråstagsbro med en central pylon og der giver et gennemsejlingsfag med et spænd på L på hver side af pylonen, regnes at svare til halvdelen af anlægsomkostningen for en sædvanlig skråstagsbro med et centralt spænd på $2L$. Enhedsprisen per meter bro bliver dermed den samme for 1 og 2-fagsbroen, men spændvidden af 2-fagsbroens to fag er kun det halve af spændvidden i 1-fagsbroens centrale fag.

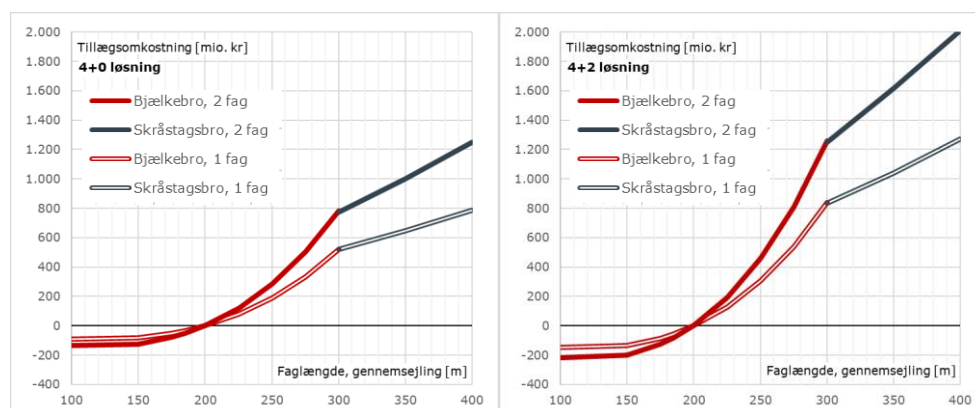


Figur 6-4 Enhedspriser for broer per meter. Tallene anvendes med en standard bredde på 23,6 m for en 4+0 forbindelse og på 35,9 m for en 4+2 forbindelse (ref. [9]).

En lokal erstatning af den 200 m bjælkebro, der generelt er forudsat anvendt som højbro over Samsø Renden, med bredere gennemsejlingsfag, kan foruden de specifikke gennemsejlingsfag også kræve overgangsfag til højbroens standardspænd. Når disse dele af modifikationen til højbroen medregnes, vil forøgelse af spændvidden i gennemsejlingen til L , betinge erstatning af følgende samlede længder af højbroen:

- > Bjælkebro med 2 gennemsejlinger: samlet længde bro = $3 L$
(2 gennemsejlingsfag og 2 halve overgangsfag)
- > Bjælkebro med 1 gennemsejling: samlet længde bro = $2 L$
(1 gennemsejlingsfag og 2 halve overgangsfag)
- > Skråstagsbro med 2 gennemsejlinger: samlet længde bro = $2 L$
(2 gennemsejlingsfag og ingen overgangsfag)
- > Skråstagsbro med 1 gennemsejling: samlet længde bro = $2 L$
(1 gennemsejling og 2 halve overgangsfag)

Det samlede tillæg til anlægsomkostningen for en lokal ændring af den foreslåede højbro til én af disse fire gennemsejlingsarrangementer er vist i Figur 6-5, som funktion af gennemsejlingens faglængde L.



Figur 6-5 Tillægsomkostning ved lokal erstatning af den anvendte 200 m bjælkebro med en alternativ bro med ændret faglængde i gennemsejlingen.

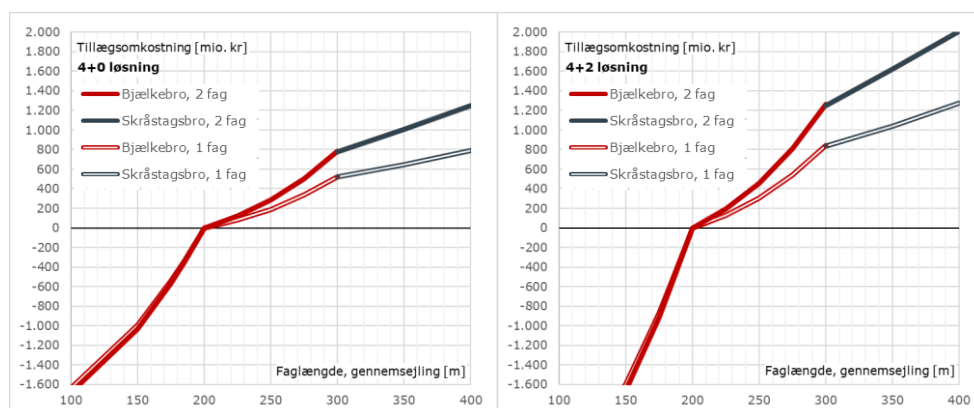
Som eksempel betyder den skæve krydsning for KKV-2.1/2.2 at hovedbroens gennemsejling burde være 23 % bredere end i den foreslåede løsning. Det leder til en bro med et spænd på 250 m, og for en 4+0 forbindelse vil forøgelse af faglængden til 250 m i to separate gennemsejlinger betyde en meromkostning på ca. 300 mio. kr. Vurderes det relevant og forsvarligt kun at have én stor gennemsejling, vil et enkelt gennemsejlingsfag på 250 m lede til en meromkostning på ca. 200 mio. kr.

Den skæve krydsning for KKV-2.3/3.4 betyder at hovedbroens gennemsejling burde være 35 % bredere end i den foreslåede løsning, hvilket leder til en bro med et spænd på 270 m. For en 4+0 forbindelse vil denne forøgelse af faglængden i to separate gennemsejlinger betyde en meromkostning på ca. 450 mio. kr. Vurderes det relevant og forsvarligt kun at have én stor gennemsejling reduceres meromkostningen til ca. 300 mio. kr.

Ved en vinkelret krydsning af den foreslåede broløsning med 200 meter spænd kan mere end 80 % af de omlodte passager undgås ved at øge gennemsejlingsfaget fra 200 til 300 meter. Denne forøgelse vil øge anlægsomkostningerne med ca. 500 mio. kr. for en 1-fags løsning og ca. 750 mio. kr. for en 2-fags løsning, begge under forudsætning af en 4+0 forbindelse. Til sammenligning kan skibsfartens omkostninger ved omlodning af skibe beregnes ca. 340 mio. kr. ved akkumulering af disse omkostninger over 100 år og omregning til nutidsværdi – se afsnit 6.6. Værdien af skibsfartens omkostninger er således ikke umiddelbart tilstrækkeligt til at forsvare den nødvendige investering for at øge spændvidden af gennemsejlingen.

Afslutningsvis skal det pointeres, at når bredden af gennemsejlingen antages mindre end højbroens 200 m, svarer den viste ændring af anlægsomkostningen kun til at gennemsejlingsfagene gøres mindre, mens resten af højbroen bibeholder 200 m spænd. En sådan broløsning giver bestemt ikke mening, men er medtaget for at opnå modelmæssig kontinuitet omkring den foreslåede løsning med 200 m spænd, så optimaliteten af denne spændvidde kan belyses.

Tages det i regning, at en spændvidde i gennemsejlingen mindre end 200 m betyder at spændvidden kan reduceres for hele højbroen, vil anlægsomkostningen aftage meget kraftigt for gennemsejlinger mindre end 200 m. Højbroen i de foreslåede løsninger er mellem 3,4 km og 5,0 km lang og den mindre enhedspris ved lavere spændvidder vist i Figur 6-4 skal påregnes over hele denne længde. Kurverne i Figur 6-6 viser hvor meget hurtigere tillægsomkostningerne falder ved reduktion af spændvidden, når enhedsprisen for spændvidder mindre end 200 meter påregnes for hele den 3,6 km lange højbro i KKV-3.4.



Figur 6-6 Tillægsomkostning ved lokal erstatning af den anvendte 200 m bjælkebro med en alternativ bro med ændret faglængde i gennemsejlingen. For faglængder mindre end 200 m, baseres besparelsen på at spændvidden reduceres langs hele højbroen.

Besparelserne ved at reducere spændvidden til 150 m i hele højbroens længde ses at være af en størrelsesorden, der for en 4+0 løsning kan balancere ekstraomkostningen ved en lokal forøgelse af spændvidde i gennemsejlingen til 300-350 m. Siden afsnit 6 alene skal illustrere de omkostningsmæssige muligheder for at ændre på spændvidden af gennemsejlingerne, er denne mulighed for at omkostningsoptimere de foreslåede broløsninger ikke forfulgt. Men det skal også pointeres at en reduktion af hele højbroens spændvidde vil have betydning for kollisionsrisikoen mod højbroen, og denne risiko skal inkluderes som en omkostning for at højbroens og gennemsejlingens spændvidde kan kobles i en samlet omkostningsmæssig optimering. Etablering af en sådan samlet optimering af broens fag vil være relevant at forfølge i de kommende faser af forundersøgelserne.

6.5 Omlednings- og risikoomkostninger

Den skitserede evaluering af gennemsejlingsarrangementets performance i afsnit 6.2 leder til en opdeling af den nuværende trafik i Samsø Renden i fire forskellige kategorier af passager:

- > Passage af et skib, der uhindret og med tilstrækkelig sikkerhed kan passere den planlagte bro (*Almindelige passage*)
- > Passage af et skib, der må omledes fordi broens gennemsejling ikke er høj nok (*Omledte passage*)

- > Passage af et skib, der bliver særligt risikofyldt, fordi skibet er for langt i forhold til gennemsejlingens bredde (*Kritisk solopassage*)
- > Passage af et skib, der bliver særlig risikofyldt af at møde et modgående skib under bropassagen, hvor summen af skibenes længde er for stor i forhold til gennemsejlingens bredde (*Kritisk mødesituation*, kun aktuelt ved to-vejstrafik i et gennemsejlingsfag)

I forhold til den nuværende situation uden en fast forbindelse, vil en almindelig passage gennem en broforbindelse ikke være forbundet med nogen tillægsomkostning. De øvrige tre typer passage vil repræsentere en form for omkostning for skibsfarten og/eller forbindelsen, og den samlede omkostning forbundet med disse passager, er en konsekvens af den valgte udformning af gennemsejlingen. For at kunne sammenholde tillægget til anlægsomkostningen ved at forbedre gennemsejlingen, med den forbedring som ændringen har for skibstrafikken, vil det være nødvendigt at associere hver af disse tre typer af passager med en ækvivalent omkostning.

Trafikken, der må sejle øst om Samsø fordi gennemsejlingen ikke er høj nok, pålægges som beskrevet i afsnit 6.2 en konkret ekstraomkostning. Omkostningen varierer med skibets størrelse, og baseret på resultaterne rapporteret i ref. [5] vil den gennemsnitlige omkostning være ca. 4.000 kr. for omlodning af skibe i den nuværende trafik med en længde på 81 til 100 meter. For skibe i den nuværende trafik, der er længere end 100 m, stiger den gennemsnitlige omkostning til ca. 12.000 kr. per omledt passage. Dette gennemsnit dækker trafik med meget forskellige skibsstørrelser – fra 100 til 400 meter lange – med en aftagende hyppighed af de større skibe. For illustrationen i dette notat nuanceres omkostningen ikke på skibets størrelse, men sættes til en fast omkostning på 12.000 kr. per passage. Men yderligere nuancering vil være relevant, hvis den endelige beslutning om gennemsejlingen skal træffes med støtte i en samlet omkostningsoptimering, hvor skibstrafikkens omkostning ved at blive omledt øst om Samsø, medtages i omkostningsbalancen.

De sidste to typer af passager vil være udfordret – men ikke forhindret – af det horisontale manøvrerum, som navigationsåbningen tilbyder. Passagerne vil derfor være behæftet med en større risiko for kollision mod broen. Risikoen udgør ikke en konkret omkostning for hver passage, som det er tilfældet for de omledte passager, men repræsenterer en forøgelse af en i forvejen meget lille sandsynlighed for en kollision ved passagen, og for de store omkostninger, som en kollision kan medføre. Anlægges en middelbetragtning vil hver passage dermed repræsentere en gennemsnitlig omkostning bestemt ved den lille sandsynlighed for kollisionen gange med den samlede og sædvanligvis store omkostning forbundet med en kollision. Estimering af denne middelomkostning vil kræve en detaljeret model af kollisionsrisikoen, der er i stand til at nuancere både hyppigheden og konsekvensen af kollisionerne, som funktion af gennemsejlingens udformning, broens strukturelle design og det kolliderende skibs størrelse. Med det nuværende detaljeringsniveau af forundersøgelserne er det ikke muligt – og heller ikke relevant – at etablere en så detaljeret beskrivelse af kollisionsrisikoen økonomiske ækvivalens.

Størrelsesordenen for denne risikoomkostning er derfor ikke kendt på nuværende tidspunkt. Når den bliver kendt, vil den kunne indgå i en beslutningsanalyse, der ville indikere om skibstrafikken – og dermed risikoen for kollisioner – er stor nok til at retfærdiggøre omkostningen ved et navigationsarrangement, med det sædvanligvis anbefalede horisontale råderum. Eller om skibstrafikken og risikoen for kollisioner er så lille, at det rent omkostningsmæssigt er mere optimalt at spare på anlægsomkostningen og tillade et vist omfang af kritiske passager og acceptere den associerede risiko for kollisioner og ekstraomkostninger i løbet af broens levetid. Set i dette perspektiv kan risikoomkostningen forstås som en investeringsvillighed: hvor meget det er relevant at investere i forbedringer af gennemsejlingen, for hver passage som forbedringen kan ændre fra en kritisk til en normal passage.

Med de foreslåede broløsningers gennemsejlingsarrangement og under forudsætning af en vinkelret krydsning, vil de risikofyldte passager ikke forekomme. Alle passager, som ville være risikofyldte, er forhindret i at passere broen med den valgte gennemsejlingshøjde og henvises derfor til at sejle øst om Samsø. Den tillægsomkostning, som denne omledning pålægger erhvervstrafikken, kan opfattes som et acceptabelt niveau af omkostning for at undgå kritiske passager og kritiske mødesituationer. Fordeles omkostningen på hver passage, vil den få samme karakter som risikoomkostningen, i dennes fortolkning af en investeringsvillighed. Med denne analogi giver den ovenfor udledte omkostning per omladte passage på 12.000 kr. således også en indikation af, hvor stor risikoomkostningen kunne være, når den opfattes som en investeringsvillighed for at forhindre kritiske passager. Dette omkostningsniveau giver mulighed for at undersøge betydningen og følsomheden af risikoomkostningen i en omkostningsbaseret optimering af gennemsejlingen.

6.6 Korrigerede anlægsomkostninger og diskontering

Anlægsomkostningerne for den faste forbindelse er baseret på tilgængelige enhedspriser for de fysiske strukturer omregnet til 2020K3 priser, med tillæg for projektering, tilsyn og administration (PTA) på 12 % samt et korrektionstillæg på 50 %, der tager højde for usikkerheder i denne tidlige fase af projektet.

Skibsfartens omkostninger ved omladning øst om Samsø er årlige omkostninger, der vil akkumulere over forbindelsens levetid. Ifølge Finansministeriets retningslinjer skal denne type løbende omkostninger tilbagediskonteres til nutidsværdi, før de kan sidestilles med anlægsomkostninger og andre nutidsinvesteringer. Baseret på de gældende diskontorenter oplyst i ref. [10] vil en årlige omkostning over en periode på 100 år akkumulere til en tilbagediskonteret nutidsværdi på:

$$38 \% \times \text{den årlige omkostning} \times 100 \text{ år}$$

Akkumuleret over 100 år vil den årlige omkostning på 9 mio. kr. estimeret i ref. [5] ved begrænsning af trafikken i Samsø Renden til skibe mindre end 100 m således tilskrives en samlet nutidsværdi på 342 mio. kr.

Estimaterne af skibsfartens omkostninger i ref. [5] indeholder ingen korrektion for usikkerheder i estimatet, som modsvarer det korrektionstillæg, der

foreskrives anvendt for anlægsomkostningerne for en fast forbindelse. Det kan betyde en ubalance i sammenligningen mellem skibsfartens omkostninger ved sejlads øst om Samsø og den forøgelse af forbindelsens anlægsomkostninger, det vil kræve at reducere mængden af omlødt trafik. Det er en samfundsmæssig disposition om skibsfartens omkostning overhovedet skal sidestilles med forbindelsens anlægsomkostninger. Og hvordan det så skal gøres. Men det er vigtigt at sikre, at grundlaget for denne politiske beslutning, og for en eventuel sidestilling imellem skibsfartens og forbindelsens omkostninger, er fri for umiddelbare skævheder i estimeringen af omkostningerne. Og det er også vigtigt at skibsfarten inddrages i og anerkender estimeringen af den forventede økonomiske betydning af en begrænsning af trafikken i Samsø Renden.

Risikoen for skibskollisioner indeholder et væsentligt sandsynlighedselement idet hyppigheden af en alvorlig kollision vil være meget lille, mens de associerede omkostninger ved en alvorlig kollision vil være meget store. Når der skal træffes beslutninger om investeringer i et anlægsprojekt, som ændrer en risiko for anlægget, er det relevant (og nødvendigt) at fortolke denne risiko som en gennemsnitlig omkostning over tid. En risiko vil derfor skulle akkumuleres og tilbagediskonteres til nutidskroner på samme måde som en konkret løbende omkostning. Den omkostningsmæssige værdi af at undgå en risikofyldt passage introduceret i afsnit 6.5 skal derfor tilbagediskonteres på samme måde som beskrevet ovenfor for skibsfartens øgede omkostninger.

I den aktuelle illustration af koblingen imellem anlægs- og risikoomkostninger, er risikoomkostningerne ikke resultatet af en egentlig risiko- og konsekvensanalyse af kollisioner mod en broløsning. Men hvis det bliver muligt at skabe et sådant grundlag for prissætningen, vil det være nødvendigt at overveje, om usikkerhedsfaktorer svarende til korrektionstillægget for anlægsomkostningerne også er relevante at påføre disse omkostningsestimater. Og det vil være nødvendigt at beslutte, om anlægsomkostninger og risikoomkostninger skal balancere 1-til-1 eller der skal anvendes en anden balancenøgle.

6.7 Omkostningsoptimering af gennemsejlingsåbningen

Med den enkle evaluering af gennemsejlingsåbningen introduceret i afsnit 6.2 er gennemsejlingens højde bestemmende for hvor store skibe, der vil kunne passere broen, og dermed også for hvor meget af den nuværende skibstrafik, der vil være nødsaget til at sejle øst om Samsø. Gennemsejlingens bredde bestemmer hvor god plads den passerende trafik vil have under gennemsejlingen, og dermed om passagerne foregår med et sædvanligt eller et højere risikoniveau for kollisioner mod broen. Ændring af spændvidden i gennemsejlingsfaget vil ændre anlægsomkostningen for hovedbroen som beskrevet i afsnit 6.4, mens det på det aktuelle stade ikke er opgjort hvordan en ændring af gennemsejlingens højde vil påvirke anlægsomkostningerne.

Alle konsekvenser – mængden af omlødt trafik, mængden af kritiske passager af gennemsejlingen og den anlægsmæssige ændring af gennemsejlingen – kan repræsenteres ved en omkostning. Summen af disse omkostninger udgør en samlet kvantificering (kapitalisering) af fordele og ulemper ved et givet gennemsejlingsarrangement, og ved variation af gennemsejlingens parametre – antal af gennemsejlingsfag, deres højde og bredde – vil det være muligt at søge et

omkostningsmæssigt optimalt arrangement. I det følgende introduceres en sådan optimering under forskellige antagelser, for at illustrere omkostningernes relative betydning i forhold til valget af gennemsejlingsarrangement.

Den grundlæggende motivation for at etablere denne kostoptymeringsmodel er at skabe en konsistent optimalitetsevaluering af såvel den 2-fagsløsning, der er anvendt i de foreslåede løsninger, som en løsning med en større gennemsejling til tovejstrafik. Den principielle forskel på de to løsninger er, at 1-fagsløsningen vil skabe mulighed for mødesituationer nær gennemsejlingen, og det er hyppigheden og risikoen ved disse, der vil motivere til at gøre gennemsejlingsåbningen bredere. En konsistent fremstilling af omkostningerne ved begge løsningstyper betinger derfor, at risikoen ved skibstrafikkens passage kan kvantificeres som en ækvivalent driftsomkostning, der er et tillæg til anlægsomkostningen for den valgte løsning.

Omkostningerne ved risikofyldte passager vil generelt være drivende for at gøre gennemsejlingen bredere, mens de stigende anlægsomkostninger ved at øge bredden vil virke modsat. Den optimale bredde vil dermed repræsentere en balance imellem disse to omkostninger.

Gennemsejlingshøjden, der begrænser hvor lange skibe, der kan passere broen, er den frie parameter i denne optimering af broløsningen. Den påvirker projektet ensidigt, idet en øget gennemsejlingshøjde giver mere trafik og større skibe i gennemsejlingen, og de større skibe øger kravet til broens gennemsejling og øger også risikoen for kollisioner mod broen generelt. Betragtes alene en optimering af anlægsomkostningen, vil det således være optimalt at vælge så lav en gennemsejlingshøjde, som muligt.

Det er den omladte skibstrafik, der bærer den direkte omkostning ved en valgt gennemsejlingshøjde. Selvom forbindelsens og skibsfartens omkostninger ud fra et objektivt, samfundsmæssigt perspektiv kan sidestilles, er det en trafikpolitisk og samfundsetisk beslutning i hvilken udstrækning anlægsomkostningerne og risikoomkostningerne for forbindelsen kan/skal sidestilles med skibstrafikkens omkostninger ved omladning af en del af trafikken.

Det understreges at med den foreløbige karakter af omkostningernes estimering og af vurdering og repræsentation af kollisionsrisikoen, kan resultaterne alene give en indikation af, om en sådan omkostningsoptimering er relevant at anvende som støtte i valget af gennemsejlingsarrangement. Det vil være påkrævet at etablere mere nuancerede og nøjagtige omkostningsmål før metoden kan anvendes til at støtte det endelige valg. Omkostningsmålene, og hvordan de kan sidestilles, skal afspejle samfundsmæssige prioriteringer, hvorfor deres fastlæggelse vil have et ikke uvæsentligt politisk indhold.

Den omkostningsmæssige balance for designet af såvel 1- og 2-fags arrangementer er gjort under antagelse af at:

- > det foreslåede navigationsarrangement med to separate gennemsejlingsfag på 200 m svarende til en gennemsejlingsåbning på 170×26 m anvendes som udgangspunkt, og alle omkostninger opgøres som ændringer i forhold til dette design,

- > gennemsejlingsåbningens bredde antages at være 85% af spændvidden af gennemsejlingsfaget,
- > det ækvivalente omkostningsniveau for passager med særlig risiko (kritisk solo-passage eller kritisk mødesituation) antages mindst at svare til omkostningen ved at omlede de samme passager øst om Samsø,
- > den ækvivalente omkostning for en solo-passage med særlig risiko er den samme som for en mødesituation med særlig risiko, hvor skibenes samlede længde er for stor til gennemsejlingen,
- > løbende årlige omkostninger og risiko omkostninger omregnes til en akkumuleret nutidsværdi baseret på 100 år og en diskonteringsfaktor på 0,38

Gennemsejlingens højde bestemmer mængden af trafik, der kan passere gennemsejlingsarrangementet, og definerer dermed den trafikale basis for et optimalt valg af gennemsejlingens bredde. Derfor præsenteres og diskuteres optimeringen af spændvidden med udgangspunkt i en valgt gennemsejlingshøjde. Den resulterende variation af de optimale spændvidder som funktion af gennemsejlingshøjden præsenteres og diskuteres efterfølgende.

Omkostningen forbundet med omladning af trafik øst om Samsø vil være konstant for en given gennemsejlingshøjde, og vil dermed ikke indgå i eller påvirke det optimale valg af gennemsejlingsbredde ved en given gennemsejlingshøjde.

Den nuværende nuancering af den faste forbindelse giver ikke tilstrækkeligt grundlag til at estimere hvilken omkostning, der er forbundet med passager med særlig risiko. Derfor må denne parameter antages for at undersøge hvorledes omkostningen påvirker optimeringen. Variation af risikoomkostningen vil afklare, i hvilken udstrækning og ved hvilket omkostningsniveau risikoomkostningen reelt får indflydelse på brodesignet. Og på det grundlag kan det mere målrettet afprøves/eftervises, om risikoomkostningerne rent faktisk vil nå et niveau, der vil påvirke det økonomisk optimale design af gennemsejlingen.

I afsnit 6.7.1 antages risikoomkostningen ved en passage at svare til omkostningen ved at lade samme skib sejle øst om Samsø – dvs. 12.000 kr. per passage. Dette omkostningsniveau viser sig for lille i forhold til anlægsomkostningerne til at gøre det kost-optimalt at ændre signifikant på spændvidden i gennemsejlingen. Resultaterne i afsnit 6.7.2 og 6.7.2 viser hvorledes de optimale spændvidder påvirkes, når den antagne omkostning øges til 24.000 kr. og 36.000 kr. per passage.

Det understreges at resultaterne i de følgende afsnit er baseret på antagne værdier for risikoomkostningen. Resultaterne repræsenterer dermed en følsomheds-vurdering af de kostoptymale løsninger med det forudsatte omkostningsniveau, og er indikerende men ikke konkluderende i forhold til optimaliteten af de foreslåede broløsninger.

6.7.1 Risikoomkostning: 12.000 kr. per passage

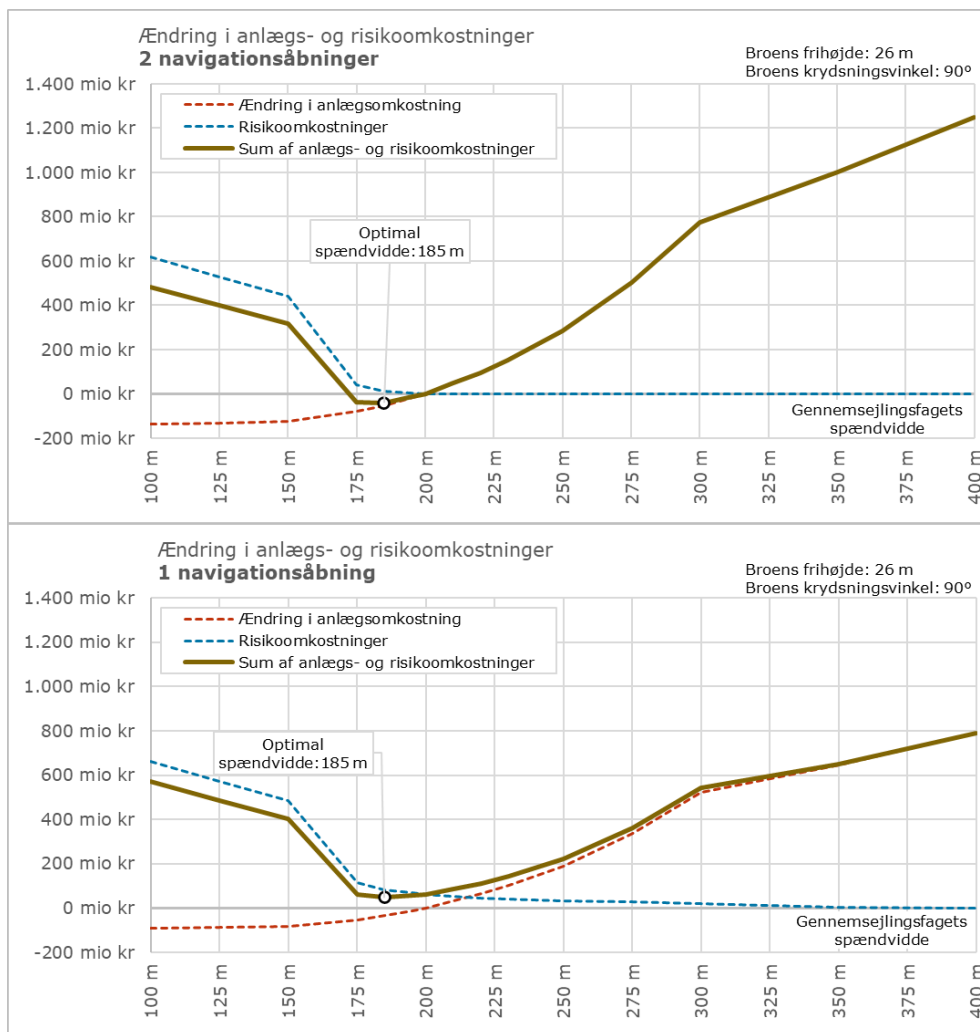
Figur 6-7 viser variationen af forbindelsens anlægs- og risikoomkostninger som funktion af gennemsejlingsfagets spændvidde under forudsætning af en gennemsejlingshøjde på 26 m, som i de foreslåede broløsninger. Figuren viser et diagram for et gennemsejlingsarrangement med to gennemsejlingsfag, svarende til den foreslåede broløsning, og med kun et gennemsejlingsfag til trafik i begge retninger. Alle omkostninger er opgjort som ændringer i forhold til den foreslåede gennemsejling med et 200 m fag til hver trafikretning og en vinkelret krydsning. Begge typer kritiske passager, dvs. både solo- og mødesituationer, er tillagt den samme omkostning på 12.000 kr. per passage. Variationen af de samlede risikoomkostninger er således proportional med antallet af kritiske passager (solo-passager og mødesituationer) som er vist i Figur 6-3.

Variationen af denne samlede omkostning er en balance imellem risikoomkostningen, der vil falde med en større bredde af navigationsåbningen, og anlægsomkostningen, der øges når gennemsejlingsfagene gøres større. Med de aktuelle tal bliver den kost-optimale løsning en faglængde på 185 m. At dette optimum er mindre end det valgte spænd på 200 m skyldes, at trafikken af skibe med en længde mellem 100 og 110 meter ikke er stor nok til at gøre en 200 meter spændvidde økonomisk rentabel.

Arrangeres der kun én gennemsejling bliver anlægsomkostningen mindre, men til gengæld vil mødesituationer i dette ene spænd øge risikoomkostningerne i forhold til en 2-fags arrangement. Som beskrevet i afsnit 6.2 vil en 1-fagsløsning med 200 m spænd lede til 130 kritiske mødesituationer per år, og med 12.000 kr. per kritisk passage akkumuleres det over 100 år til en tilbagediskonteret omkostning på:

$$130 \text{ per år} \times 12.000 \text{ kr.} \times 100 \text{ år} \times 0,38 = 59 \text{ mio. kr.}$$

Dette er forskellen mellem kurverne i Figur 6-7 for risikoomkostningen for 2- og 1-fags løsningen ved en spændvidde på 200 m. Det samlede omkostningsbillede for 1-fagsløsningen ses at lede til den samme optimale spændvidde på 185 m som også opnås for et 2-fags arrangement. Det vil sige at risikoomkostningen associeret med det estimerede antal kritiske mødesituationer, ikke er stor nok til at forsvare en større gennemsejling, end der er fundet optimalt med 2-fagsløsningen.



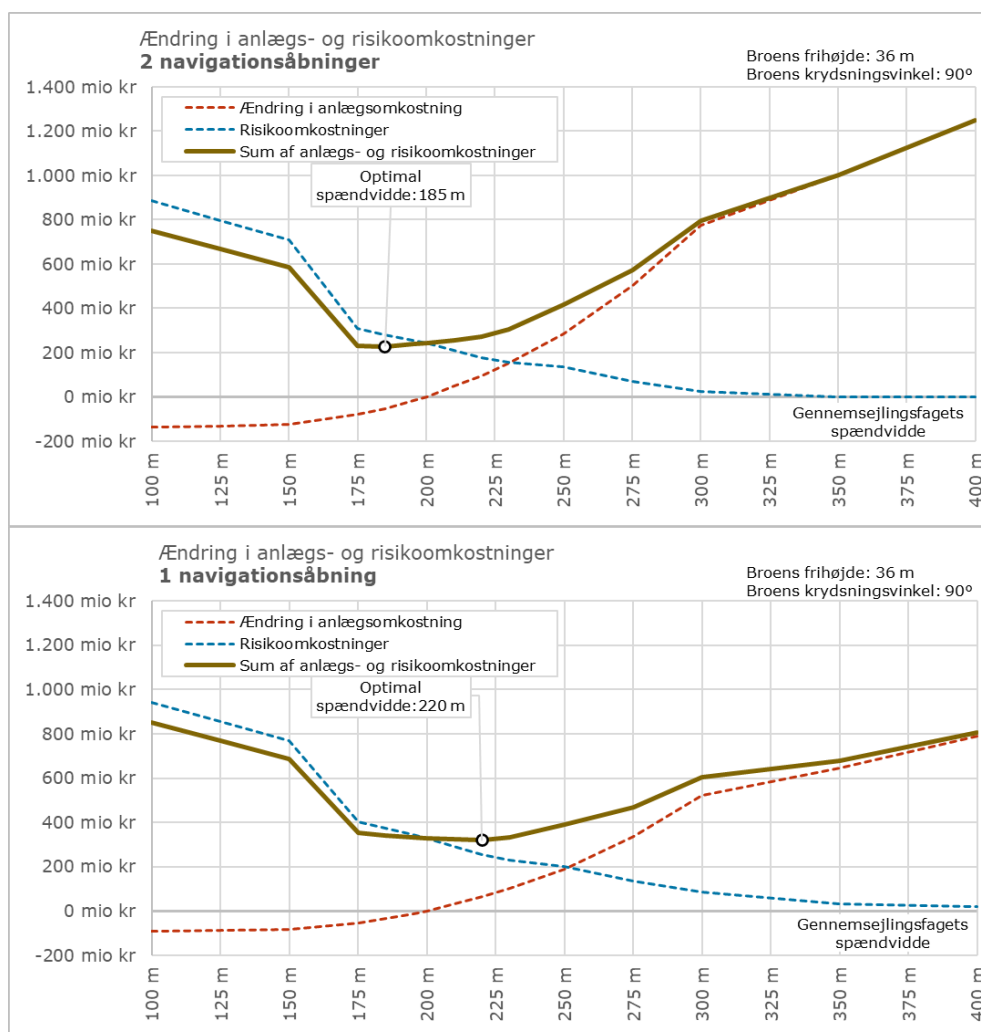
Figur 6-7 Variation af forbindelsens omkostninger ved ændring af spændvidden af navigationsåbningen med en 26 m høj navigationsåbning og en vinkelret krydsning. Omkostningen for en risikofyldt passage er antaget til 12.000 kr.

Øges højden af gennemsejlingsåbningen til 36 m vil en større del af skibstrafikken kunne passere gennemsejlingen. Denne tillægstrafik vil udelukkende være med længere skibe hvorved kurverne for risikoomkostningen generelt vil forskydes op sammenlignet med kurverne i Figur 6-7. Jævnfør afsnit 6.2 leder 2-fagsløsningen med et 200 m spænd og en gennemsejlingshøjde på 36 m til ca. 530 kritiske passager per år. Over 100 år leder det til en tilbagediskonteret risikoomkostning på

$$530 \times 12.000 \times 100 \times 0,38 = 242 \text{ mio. kr.}$$

En 1-fagsløsning med samme spændvidde og højde leder til 710 kritiske passager per år (470 solo-passager og 240 mødesituationer) hvilket giver en akkumuleret risikoomkostning på 324 mio. Disse omkostningsniveauer ved en spændvidde på 200 m fremgår af kurverne for risikoomkostningen i Figur 6-8. Da kurven for anlægsomkostningerne er uændret, kan den forøgede risikoomkostning i princippet skubbe balancen mod en bredere gennemsejling. Men for et arrangement med 2 gennemsejlinger er anlægsomkostningerne for store til at de forøgede risikoomkostninger kan flytte på det kost-optimale gennemsejlingsspænd.

På grund af den begrænsede opløsning af kurvepunkterne er den kost-optimale spændvidde derfor uændret 185 m som ved en gennemsejlingshøjde på 26 m.



Figur 6-8 Variation af forbindelsens omkostninger ved ændring af spændvidden af navigationsåbningen med en 36 m høj navigationsåbning og en vinkelret krydsning. Omkostningen for en risikofyldt passage er antaget til 12.000 kr.

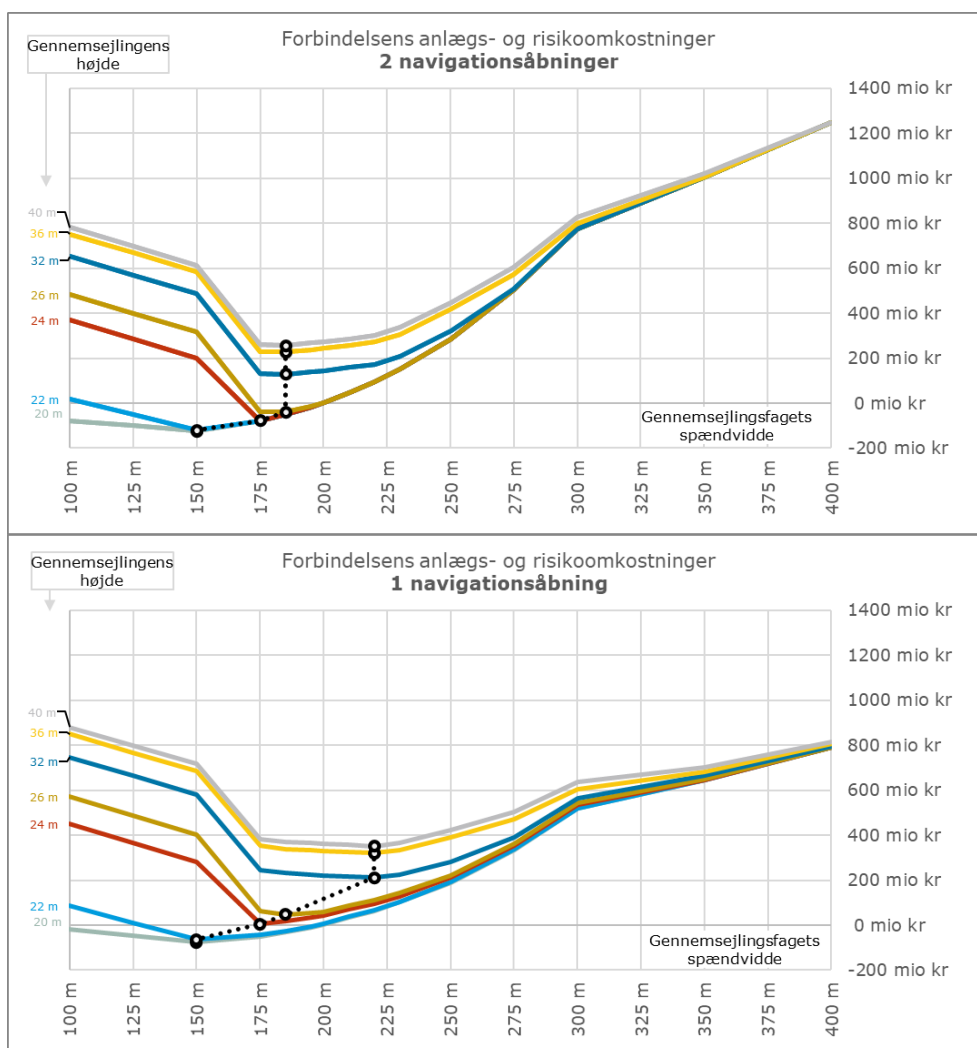
Med kun én navigationsåbning, vil risikoomkostningen generelt være større fordi den også omfatter mødesituationer, mens kurven for anlægsomkostningen omvendt er mindre end for 2-fagsløsningen. Dermed skubbes den optimale spændvidde til 220 m. Den øgede risiko ved en frihøjde på 36 meter er altså i stand til at opveje omkostningen ved at øge spændvidden i et navigationsfag, men ikke i to.

Figur 6-9 sammenfatter optimeringskurver og de kost-optimale spændvidder for gennemsejlingshøjder fra 20 m til 40 m. Med en 40 m høj gennemsejling vil kun 13 af passagerne i 2018 være nødsaget til at sejle øst om Samsø.

Selv med den betragtelige stigning af trafikken i gennemsejlingen (640 passager pr år), når gennemsejlingshøjden øges fra 26 m til 40 m, vil den kost-optimale spændvidde for en 2-fagsløsning ikke blive større end de 185 m, der også er optimal for en 26 m høj gennemsejling. Det betyder at en risikoomkostning på

12.000 kr. per passage og den aktuelle trafik tilsammen ikke er stor nok til at retfærdiggøre den øgede anlægsomkostning forbundet med at øge spændvidden i gennemsejlingen.

Når gennemsejlingshøjden kan øges uden at den optimale gennemsejlingsbredde samtidig øges, betyder det, at det er en bedre forretning for forbindelsen at acceptere den estimerede omkostning ved en øget risiko end at investere i en større gennemsejling.

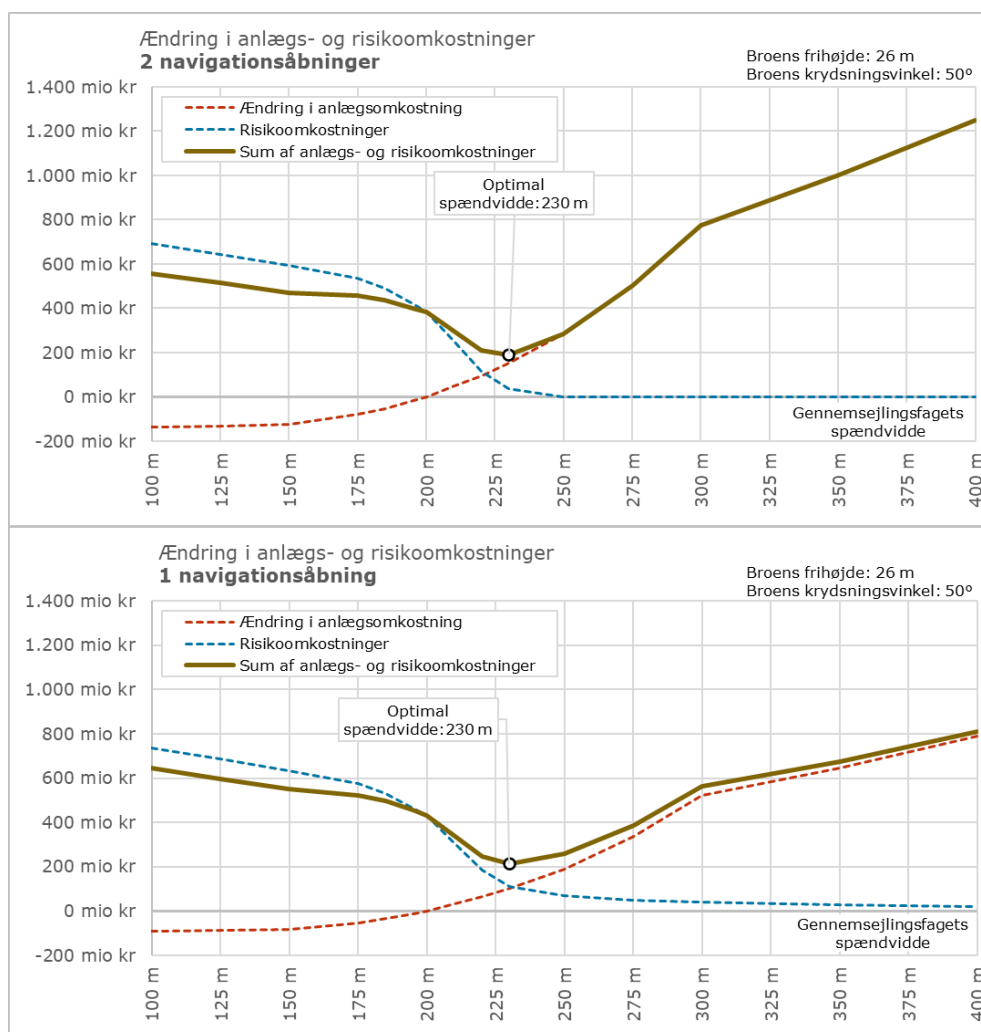


Figur 6-9 Kost-optimering af spændvidden i navigationsarrangementer med 2 hhv. 1 gennemsejling for en række gennemsejlingshøjder. Omkostningen for en risikofyldt passage er antaget til 12.000 kr.

Med kun én gennemsejlingsåbning vil den optimale spændvidde øges til 220 m allerede ved en gennemsejlingshøjde på 32 m. Men de 270 årlige passager, der yderligere vil kunne passere når højden øges til 40 m, er ikke tilstrækkelige til at finansiere yderligere forøgelse af spændvidden.

Endelig betragtes et eksempel med en gennemsejlingshøjde på 26 m og en krydsningsvinkel på 50°. For at give den samme effektive gennemsejlingsåbning, som et 200 m spænd i en vinkelret krydsning (90°) skal gennemsejlingen mindst være $200 \text{ m} / \sin(50^\circ) = 260 \text{ m}$. Optimeringen leder til en kost-optimal gennemsejling på 230 m, og det skyldes at trafikken med skibene med en

længde på 100-110 m ikke er stor nok til at skubbe den optimale løsning op på 260 m. På samme måde som standardspændet på 200 m ved optimeringen blev reduceret til 185 m.

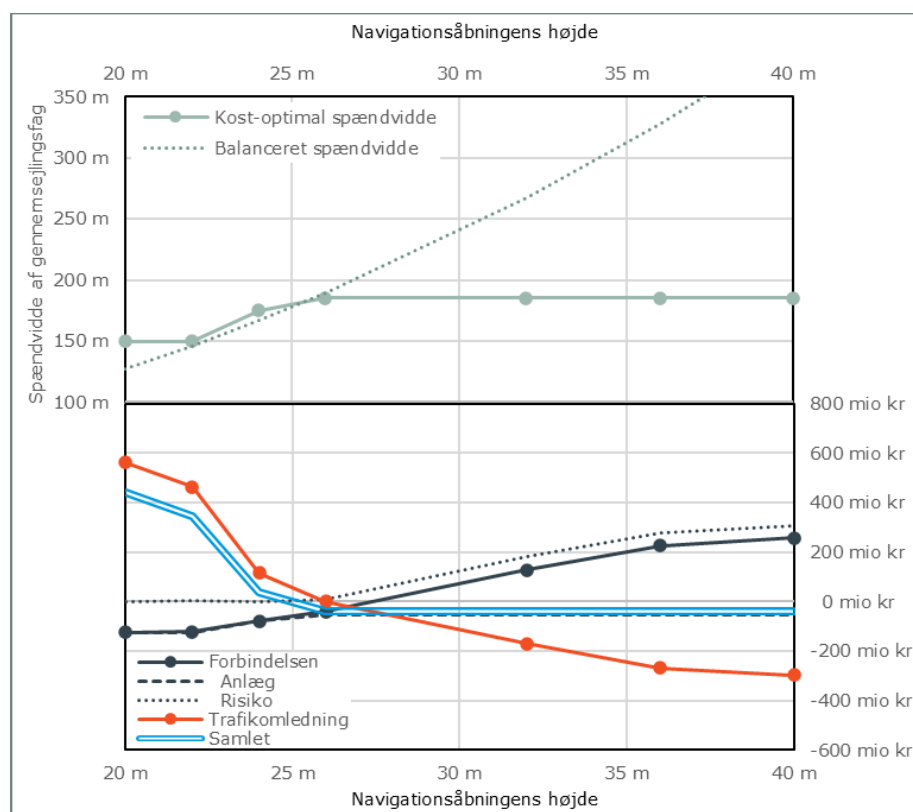


Figur 6-10 Variation af forbindelsens omkostninger ved ændring af spændvidden af navigationsåbningen med en 26 m høj navigationsåbning og en krydsningsvinkel på 50°.

Figur 6-11 sammenfatter resultaterne af optimeringen for gennemsejlingshøjder fra 20 m til 40 m for et arrangement med to gennemsejlingsfag og en retvinklet krydsning. Som illustreret i Figur 6-9 giver balancen imellem anlægs- og risikoomkostninger ikke grund til at øge spændvidden, selvom højden af gennemsejlingen øges og mere trafik med større skibe kan passere. Det fremgår af det øverste diagram i Figur 6-11, som viser den optimale spændvidde som funktion af gennemsejlingens højde. Den optimale spændvidde starter med at være 150 m med en gennemsejlingshøjde på 20 m, øges til 185 m ved de 26 m anvendt i de foreslåede løsninger, og forbliver uændret på 185 m selvom gennemsejlingshøjden øges. Skibstrafikken, der har behov for en gennemsejling højere end 26 m, er dermed ikke stor nok til at finansiere en bredere gennemsejling.

Diagrammet viser også en linje svarende til en balanceret gennemsejling, dvs. hvor åbningens bredde svarer til 1,6 gange længden af de største skibe, der kan passere under gennemsejlingen. Gennemsejlinger, der ligger over denne linje,

vil ikke lede til særligt risikofyldte solo-passager, mens sådanne passager vil forekomme med gennemsejlinger, der ligger under linjen. Når den optimale løsning ligger under linjen, er antallet af særlig risikofyldte passager og risikoomkostningen associeret med disse, altså ikke omfattende nok til at retfærdiggøre en bredere gennemsejlingen. Det er med andre ord en bedre forretning at acceptere risikoen og den ækvivalente omkostning, end at forebygge risikoen ved at investere i en bredere gennemsejling.



Figur 6-11 Sammenfatning for optimerede gennemsejlinger med **to navigationsåbninger** og en risiko-omkostning på **12.000 kr.**

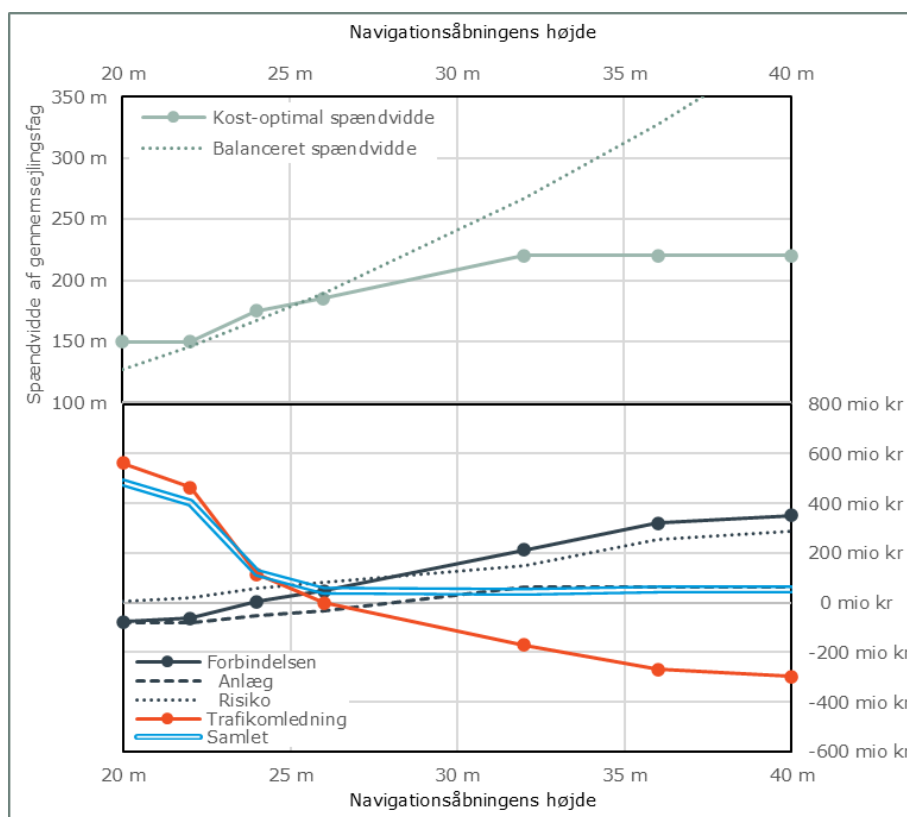
Selvom en ubalanceret gennemsejling rent rationelt kan forsvares som en bedre omkostningsmæssig disposition, bør det grundlæggende princip om at risiko så vidt muligt skal forebygges, tillægges afgørende betydning. Derfor bør gennemsejlinger, der ligger (væsentligt) under linjen, ikke overvejes som et relevant valg.

Diagrammet i bunden af figuren viser omkostningerne for forbindelsen ved de forskellige gennemsejlingshøjder. Det ses at forbindelsens samlede omkostning alene stiger på grund af en stigende risiko for gennemsejlingshøjder over 26 m. Ved en gennemsejlingshøjde på 40 m udgør risikoomkostningen ca. 300 mio. kr. og ifølge Figur 6-5 vil dette beløb kunne finansiere en udvidelse af spændvidden til 250 m. For denne spændvidde viser kurven i Figur 6-9 for en 2-fags løsning med en 40 m høj gennemsejling at anlægs- og risikoomkostningen tilsammen udgør 460 mio. kr. Fratrækkes de 300 mio. kr. investeret i at øge gennemsejlingen til et 250 m spænd, ses risikoomkostningen blot at være reduceret til 160 mio. kr. Forøgelse af anlægsomkostningerne med 300 mio. kr. for at opnå en reduktion af risikoomkostningerne med 140 mio. kr. er rationelt set ikke

optimalt. Og derfor konkluderer metoden det mere optimalt at fastholde den utilstrækkelige gennemsejlingsbredde og acceptere risikoen.

Omkostningen for skibsfarten ved at en del af trafikken skal sejle øst om Samsø er også vist i diagrammet i bunden af Figur 6-11. Referenceniveauet er trafikomledningen ved en 26 m høj navigationsåbning, hvorfor denne kurve er nul ved en 26 m høj gennemsejling. Er gennemsejlingen lavere end 26 m, vil mere trafik skulle sejle øst om Samsø og skibsfartens omkostninger vil forøges. Er gennemsejlingen omvendt højere end 26 m vil mere trafik kunne passere og skibsfartens omkostninger falder. Summen af skibsfartens omkostning og forbindelsens risiko- og anlægsmkostning repræsenterer den samlede omkostning forbundet med den valgte gennemsejling. Dennes variationen med navigationsåbningens højde giver en indikation af hvilke højder af gennemsejlingen, det er hensigtsmæssigt at betragte. Med det antagne niveau af risikoomkostningerne viser variationen i Figur 6-11 at det for en 2-fags løsning er hensigtsmæssigt – rent omkostningsmæssigt – at anvende en gennemsejlingshøjde på 26 m eller derover. Da højder over 26 m leder til en stigende risikoomkostning, vil princippet om at foretrække forebyggelse af risiko tilsige, at gennemsejlingen ikke bør overstige 26 m.

Figur 6-12 viser det samme sammendrag af optimeringerne for et arrangement med kun et gennemsejlingsfag. Med en gennemsejlingshøjde på 32 m er det kost-effektivt at øge spændvidden til 220 m, men højere gennemsejlingsåbninger giver ikke økonomi til at bekoste yderligere forøgelse af spændvidden. Med de 220 m ligger gennemsejlingen under kurven for en balanceret spændvidde, og leder dermed til risikofyldte solo-passager.



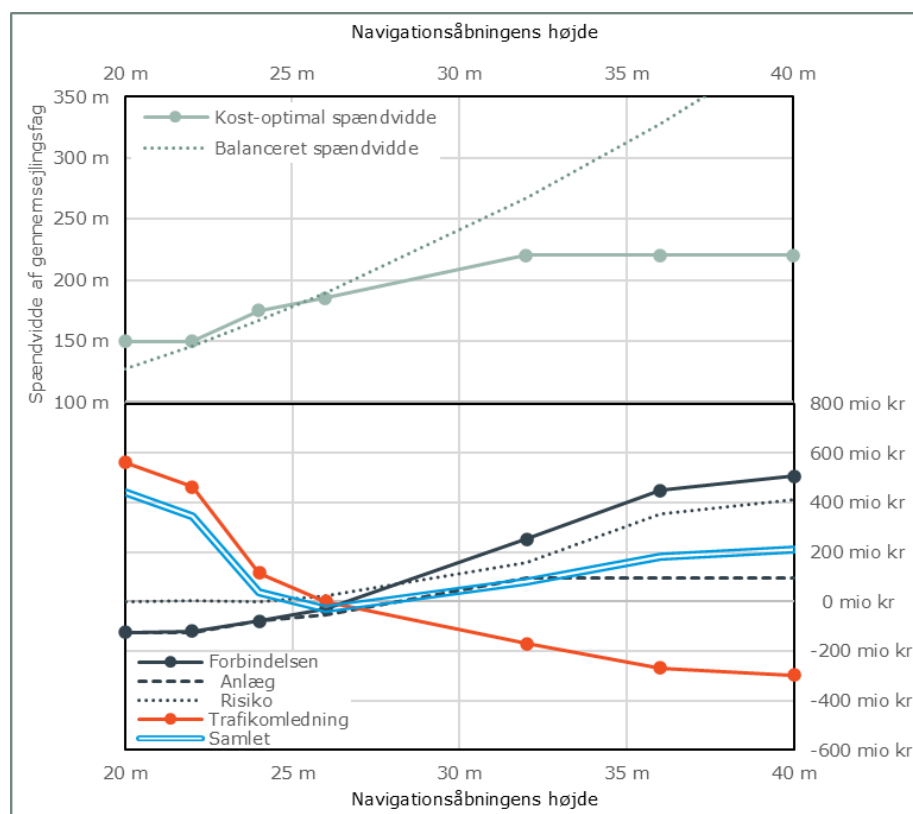
Figur 6-12 Sammenfatning for optimerede gennemsejlinger med én navigationsåbning og en risiko-omkostning på 12.000 kr.

Variationen af de samlede omkostninger for skibsfarten og forbindelsen peger på at gennemsejlingens højde bør være 26 m eller derover. Da en gennemsejling højere end 26 m leder til en øget risiko for forbindelsen, som der ikke er omkostningsmæssig basis for at undgå ved at øge gennemsejlingens bredde, vil god designpraksis betyde, at der ikke bør overvejes en gennemsejling over 26 m. Og dermed mister overvejsen om at arrangere gennemsejlingen i et større gennemsejlingsfag umiddelbart sin relevans med det antagne niveau af risikoomkostningerne.

6.7.2 Risiko-omkostning: 24.000 kr. per kritisk passage

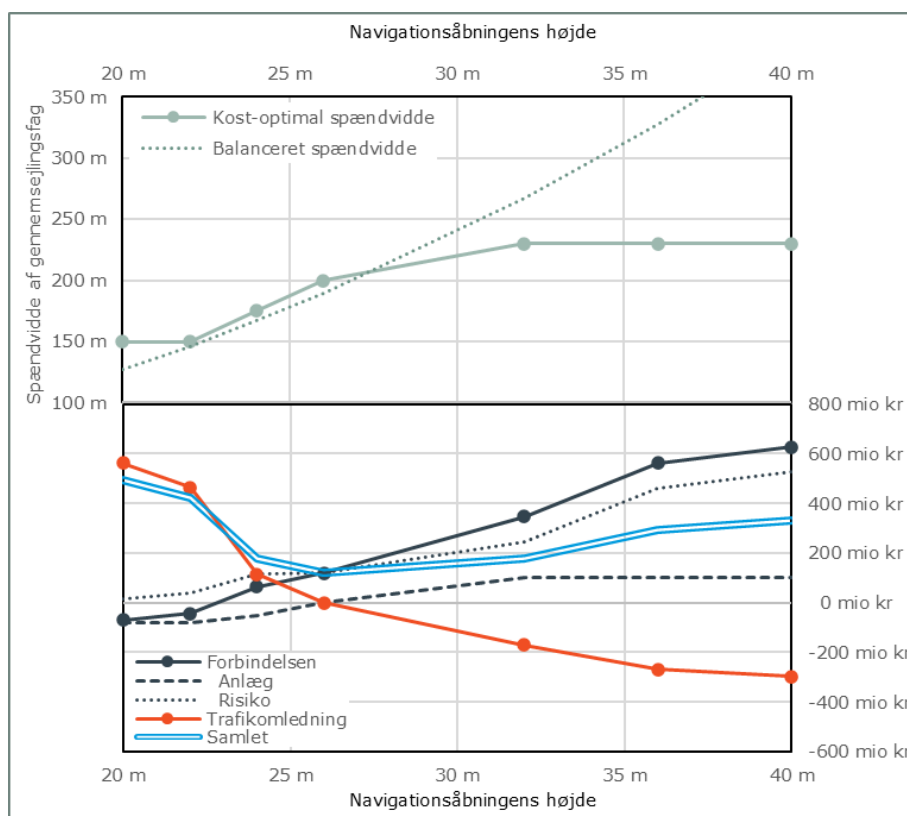
Øges den antagne omkostning for en kritisk passage til 24.000 kr. vil der blive større økonomisk råderum til at investere i en større spændvidde af gennemsejlingen. Resultaterne for et arrangement med 2 navigationsspænd vist i Figur 6-13 viser dog, at den øgede risikoomkostning ikke øger den optimale spændvidde til mere end 220 m ved en gennemsejlingshøjde på 32 m og derover. Spændvidden er noget mindre end den balancerede spændvidde (~270 m), og gennemsejlingen vil dermed give anledning til risikofyldte solo-passager. Selvom denne gennemsejling er konkluderet kostoptimal, vil god designpraksis betyde, at arrangementet ikke bør anvendes.

Variationen af de samlede omkostninger for skibsfarten og forbindelsen peger på at gennemsejlingen bør være 26 m. Så selv med en fordobling af den antagne omkostning for en særlig risikofyldt passage bliver det ikke omkostningsmæssig relevant at gøre gennemsejlingen større end i de forudsatte broløsninger.



Figur 6-13 Sammenfatning for optimerede gennemsejlinger med **to navigationsspænd** og en risiko-omkostning på **24.000 kr.**

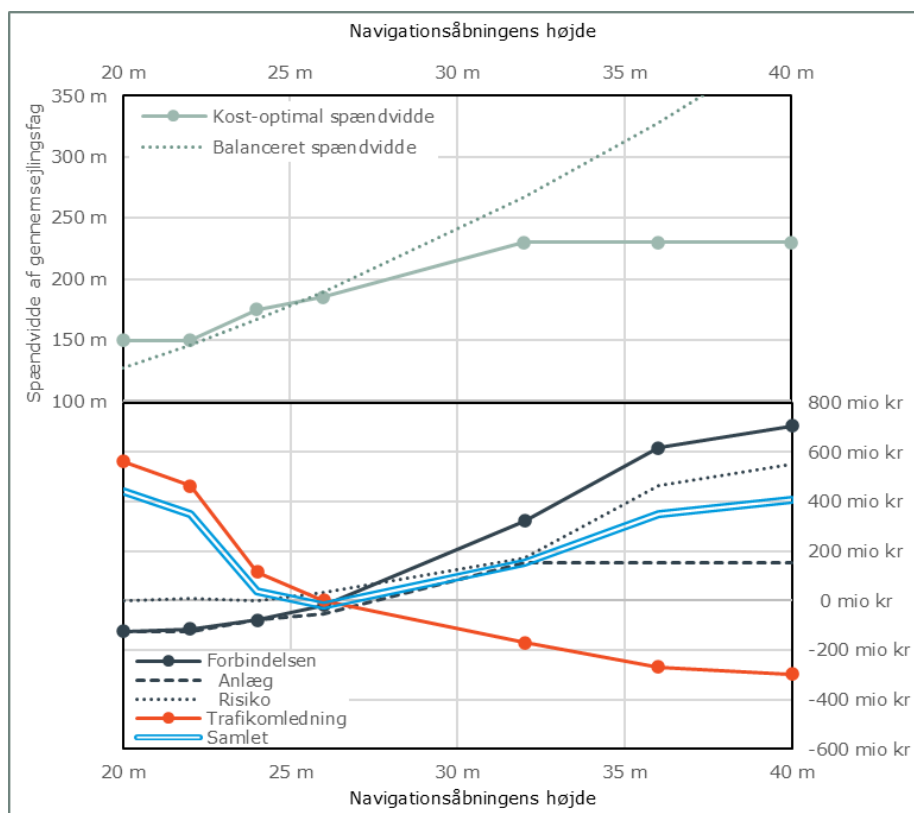
De optimale løsninger for et arrangement med kun et navigationsspænd vist i Figur 6-14 viser at fordoblingen af risikoomkostningen fra 12.000 til 24.000 kr. per passage kun øger den største, rentable gennemsejling fra 220 m (se Figur 6-12) til 230 m. Ifølge kurven for det samlede omkostningsniveau i det nedre diagram i Figur 6-14 giver en gennemsejlingshøjde på 26 m den mindste samlede omkostning. Den relativt lille forskel på den samlede omkostning ved en gennemsejlingshøjde på 26 m og 32 m viser at optimum er fladt og at begge højder er relevante at overveje. Men ved en højde på 32 m er den optimale spændvidde mindre end den balancerede spændvidde og dermed vil en gennemsejlingshøjde på 26 m fortsat være den mest relevante.



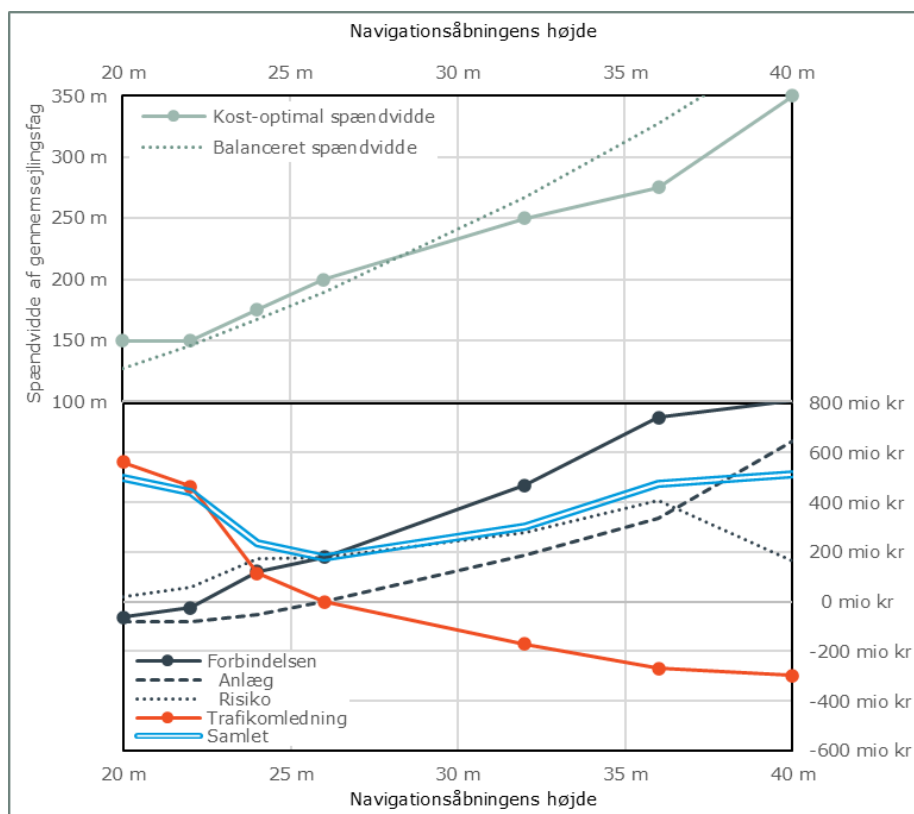
Figur 6-14 Sammenfatning for optimerede gennemsejlinger med **én navigationsåbning** og en risiko-omkostning på **24.000 kr.**

6.7.3 Risiko-omkostning: 36.000 kr. per kritisk passage

Som et sidste eksempel betragtes de optimale spændvidder og højder af gennemsejlingen baseret på en antaget risikoomkostning, der svarer til 3 gange skibstrafikkens omkostning ved at sejle øst om Samsø. De optimale spænd for et arrangement med 2 gennemsejlingsåbninger vist i Figur 6-15 ændres ikke væsentligt i forhold til resultaterne med en omkostning på 24.000 kr. per passage i Figur 6-13, idet den maksimale spændvidde kun øges fra 220 m til 230 m ved en gennemsejlingshøjde på 32 m og ikke øges yderligere ved højere gennemsejlinger.



Figur 6-15 Sammenfatning for optimerede gennemsejlinger med **to navigationsåbninger** og en risiko-omkostning på **36.000 kr.**



Figur 6-16 Sammenfatning for optimerede gennemsejlinger med **én navigationsåbning** og en risiko-omkostning på **36.000 kr.**

Ifølge resultaterne for et arrangement med kun én gennemsejlingsåbning vist i Figur 6-16 leder den højere omkostning for en risikofyldt passage til optimale gennemsejlinger, der er tættere på at være balanceret. Men forløbet af den samlede omkostning for skibsfarten og anlægsprojektet peger fortsat på at en gennemsejlingshøjde på 26 m leder til den mindste totale omkostning.

6.8 Sammenfatning

Det er illustreret hvordan de basale elementer og parametre i designet af gennemsejlingen for erhvervstrafikken kan kombineres til en omkostningsmæssig optimering for valget af gennemsejlingens højde og bredde. Det styrende nøgletal i den skitserede model og de betragtede eksempler er den associerede omkostning forbundet med særligt risikofyldte passager. Disse passager omfatter solopassager, hvor skibet er for langt i forhold til gennemsejlingens bredde, og mødesituationer nær broen, hvor summen af skibenes længde er for stor i forhold til gennemsejlingens bredde. Den forhøjede risiko for kollision mod broen ved disse passager, og de mulige skader og afledte konsekvenser ved en sådan kollision, udgør en risiko for et økonomisk tab for forbindelsen, som i den skitserede model er omsat til en gennemsnitlig omkostning forbundet med hver af disse risikofyldte passager. I kombination med skibstrafikkens volumen og størrelsesfordeling findes den samlede omkostning ved disse passager, og den repræsenterer forbindelsens incitament til at investere i en bredere gennemsejling.

Det vil være komplekst og omfattende at udlede denne centrale omkostning med udgangspunkt i dens definition som en "forøget risiko for et økonomisk tab ved en kollision". Usikkerheden på estimatet vil være af en størrelsesorden der gør, at estimatet ikke kan/bør stå alene som central og betydende parameter i en rationel beslutningsstøtteanalyse for gennemsejlingens design. Opfattes omkostningen alternativt som en investeringsvillighed – dvs. hvor meget projektet er villigt til at investere i gennemsejlingen, for at reducere særligt risikofyldte passager til sædvanlige passager – giver det et bredere perspektiv for estimering af omkostningen og flere referencer til mere veldefinerede omkostningsovervejelser. F.eks. kan en gennemgang af eksisterende broer – deres gennemsejling, skibstrafikken og anlægsudgifterne – give en indikation af, hvor stor en risikoomkostning disse broprojekter implicit har forudsat, ved at beslutte den valgte gennemsejling. Da KKV-projektet kan eliminere de særligt risikofyldte passager ved at lade for store skibe sejle øst om Samsø, vil skibenes omkostning ved denne omladning repræsenterer et muligt niveau for investeringsvilligheden og dermed for omkostningen associeret med en særlig risikofyldt passage. En indledende analyse af skibsfartens omkostning ved at sejle øst om Samsø leder til en gennemsnitlig omkostning per omledt passage for skibe længere end 100 m på 12.000 kr.

På grundlag af dette omkostningsniveau er parameterens betydning for det kostooptimale design af gennemsejlingen undersøgt ved en følsomhedsanalyse. Med en antaget risikoomkostning på 12.000 kr. per passage findes det foreslåede gennemsejlingsarrangement med vinkelret krydsning, to gennemsejlingsåbninger, en spændvidde på 200 m og en gennemsejlingshøjde på 26 m at være i det kost-optimale område. Selv når højden af gennemsejlingen øges, og mere af den nuværende trafik med større skibe kan passere, flyttes det kost-optimale

område ikke tilstrækkeligt til at retfærdiggøre en forøget spændvidde. Det indikerer, at trafikken med disse større skibe, ifølge denne foreløbige model og med en risikoomkostning på 12.000 kr., ikke er tilstrækkelig til at retfærdiggøre den øgede anlægningsomkostning ved et større spænd. Selv med en forøgelse af risikoomkostningen til 36.000 kr. vil det kost-optimale område for et arrangement med to gennemsejlinger ikke ændre de foreslåede design.

Tænkes gennemsejlingen ændret til én større gennemsejling med sejlads i begge retninger, vil tillægget til anlægsomkostningerne ved en øget spændvidde blive mindre, og det kunne forskyde det kost-optimale område mod større spændvidder. En tovejs gennemsejling vil imidlertid også introducere muligheden for og risikoen ved at modgående skibe mødes i forbindelse med bropassagen. Selvom anlægsomkostningen forøges mindre når det kun er et gennemsejlingsfag, der skal udvides, leder modellen med den højt antagne risikoomkostning på 36.000 kr. per passage ikke til kost-optimale spændvidder i gennemsejlingen, der er væsentligt over 200 m. En signifikant ændring og forbedring af besejlingen igennem KKV, vurderes først at opnås med en spændvidde i den ene gennemsejlingsåbning på op mod 300-350 m. Med de antagne omkostningsparametre konkluderes en sådan gennemsejling ikke umiddelbart at være omkostnings-optimal.

Skibstrafikken, der tillades at passere gennemsejlingen, vil være den primære kilde til risiko for alvorlige kollisioner langs hele broløsningen. En ændring af gennemsejlingen, så den tillader mere trafik at passere, vil dermed afspejle sig i en højere risiko langs hele broen, og ikke kun i en højere risiko ved gennemsejlingen, som er udgangspunktet for den skitserede model. En kvantitativ risikoanalyse for en eller flere af løsningerne vil være et nødvendigt grundlag for at kunne repræsentere denne afhængighed og lade den indgå i optimalitetsvurderingerne. Hvis den implementeres og har reel betydning/gennemslagskraft i optimeringen, må de afledte optimale gennemsejlinger forventes at blive mindre end i de foreslåede løsninger.

Afhængig af den specifikke korridor udgør højbroen, hvori gennemsejlingen er arrangeret, en længde på 2,4 til 5,0 km af broen. Baseret på et optimeret design for en bro over Femern Bælt antager de foreslåede løsninger en spændvidde på 200 m i hele højbroens længde. Men da omfanget af skibstrafikken i Femern Bælt er væsentlig større end trafikken i farvandet vest for Samsø, er denne spændvidde på 200 m muligvis ikke den optimale for KKV. Det vil have en ikke uvæsentlig betydning for anlægsomkostningen, hvis spændvidden i hele højbroen kan reduceres. En mindre spændvidde vil omvendt øge kollisionsrisikoen og det bør inddrages og medtages som modvægt til besparelsen i anlægsomkostningerne. Der vurderes således at være basis for, at højbroens spændvidde undersøges i en omkostningsbaseret modellering svarende til den illustrerede model for gennemsejlingen. Og eventuelt kan de to designoptimeringer kombineres i en udvidet model.

Forfølges den skitserede omkostningsbaserede analyse som støtte for en eventuel justering/optimering af gennemsejlingsarrangementet og af højbroens spændvidde, skal den funderes på en nuanceret kvantitativ analyse af kollisionsrisikoen for broen, på rationelt bestemte omkostningsparametre for kollisionsrisikoen, og på omkostninger ved omlodning af skibstrafikken, som er drøftet med

og anerkendt af skibsfartens parter. Endelige kunne høring hos Søfartsmyndighederne og blandt skibsfartens parter og interessenter om broens design og om trafikken begrænsning og arrangement introducere bindinger, som KKV-projektet skal medtage i den videre modning og optimering af broløsningerne og deres gennemsejlingsarrangement.

7 Sammenfatning og samlet evaluering

Gennemgang og evaluering af broløsningerne har identificeret nogle justeringer til de foreslåede løsninger, der er relevante eller nødvendige for at løsningerne og korridorerne bedst muligt imødekommer de forventninger, der tænkes stillet til en broforbindelse i farvandet mellem Samsø og Jylland. Disse ændringer er sammenfattet i Tabel 7-1. Evalueringerne i afsnit 6 om kost-optimale gennemsejlingsarrangementer er ikke tilstrækkelig velunderbygget til at konkludere på de optimale løsninger for gennemsejlingsarrangementet. Ændringerne i Tabel 7-1 er derfor baseret på, at gennemsejlingen over Samsø Renden anlægges som i de foreslåede broløsninger, men med forslag til en eventuelt forøget spændvidde, som compensation for en skrå krydsning af skibstrafikken.

Tabel 7-1 Sammenfatning af relevante og nødvendige ændringer til de foreslåede broløsninger identificeret i evalueringen.

Korridor og løsning	Ændringer af hensyn til Sejladsforhold	Ændringer af hensyn til Kollisionsrisiko
KKV-1.1 Bro+ST KKV-1.2 Bro+ST	> Lavbroen bør have 2 gennemsejlinger	
KKV-2.1 Bro KKV-2.2 Bro	> Lavbroen bør have 3 gennemsejlinger > Højbroens gennemsejling flyttes ind mod land og spændvidden øges til 250 m. Alternativt kan korridoren lægges om, for at opnå en (mere) vinkelret krydsning > Rutens knæk vest for Ringebjerg Sand bør lægges i brolinjen	> Højbroens gennemsejling flyttes ind mod land og spændvidden øges til 250 m. Alternativt kan korridoren lægges om, for at opnå en (mere) vinkelret krydsning > Rutens knæk vest for Ringebjerg Sand bør lægges i brolinjen
KKV-2.3 Bro	> Lavbroen bør have 3 gennemsejlinger > Spændvidden af højbroens gennemsejling bør øges til 270 m	> Spændvidden af højbroens gennemsejling bør øges til 270 m
KKV-3.1 Bro KKV-3.2 Bro	> Bredden af lavbroens gennemsejlingsåbning bør øges til 70 meter > Spændvidden af højbroens gennemsejling kunne øges til 220 m	> Spændvidden af højbroens gennemsejling kunne øges til 220 m > Sammenfletningen syd for korridoren af den nordgående trafik arrangeres så knæk der er kilde til Kategori II kollisioner, så vidt muligt undgås > Knækket på ruten vest for Ringebjerg Sand bør flyttes mod vest, så Svanegrund skærmer imod Kategori II kollisioner nordfra
KKV-3.4 Bro	> Bredden af lavbroens gennemsejlingsåbning bør øges til 70 meter > Spændvidden af hovedbroens gennemsejling bør øges til 270 m	> Spændvidden af højbroens gennemsejling bør øges til 270 m

"Bro": ren broløsning, "Bro+ST": bro og sænketunnel

Tabel 7-2 giver en sammenfattet evaluering af sejladsforholdenes og kollisionsrisikoens bidrag til projektrisikoen, når alle de foreslåede ændringer i Tabel 7-1 bortset fra forøgede spændvidder er indført.

Tabel 7-2 Vurdering af projektrisikobidrag baseret på navigationsforhold og kollisionsrisiko for KKV-korridorer med løsninger helt eller delvist baseret på brokonstruktioner. Alle ændringer i Tabel 7-1 på nær øgede spændvidder forudsættes indført.

Korridor og løsning	Projektrisikobidrag fra Sejladsforhold	Projektrisikobidrag fra Kollisionsrisiko	Samlet projektrisikobidrag
KKV-1.1 Bro+ST KKV-1.2 Bro+ST	Forventelig	Forventelig	Forventelig
KKV-2.1 Bro KKV-2.2 Bro	Let forhøjet	Forhøjet	Forhøjet
KKV-2.3 Bro	Forhøjet	Meget forhøjet	Meget forhøjet
KKV-3.1 Bro KKV-3.2 Bro	Let forhøjet	Forhøjet	Forhøjet
KKV-3.4 Bro	Forhøjet	Meget forhøjet	Meget forhøjet

"Bro": ren broløsning, "Bro+ST": bro og sænketunnel

En skrå krydsning mellem korridoren og erhvervsskibenes rute i Samsø Renden har betydning såvel i vurderingen af sejladsforhold som i vurderingen af kollisionsrisikoen. Den primære betydning af en skrå krydsning er en mindre effektiv bredde af gennemsejlingen, og det kan en forøget spændvidde i gennemsejlingsfagene kompensere for. Den ændrede evaluering af løsningerne, når denne compensation også er medtaget, er vist i Tabel 7-3 hvor også den anslåede forøgelse af anlægningsomkostningen ved disse ændringer er angivet.

Tabel 7-3 Vurdering af projektrisikobidrag baseret på navigationsforhold og kollisionsrisiko for KKV-korridorer med løsninger helt eller delvist baseret på brokonstruktioner. Foruden anbefalingerne forudsat i Tabel 7-2 er de i Tabel 7-1 foreslåede forøgelse af spændvidden i hovedbroens gennemsejling også fulgt.

Korridor og løsning	Projektrisikobidrag fra Sejladsforhold	Projektrisikobidrag fra Kollisionsrisiko	Samlet projektrisikobidrag
KKV-1.1 Bro+ST KKV-1.2 Bro+ST	Forventelig	Forventelig	Forventelig
KKV-2.1 Bro ²⁾ KKV-2.2 Bro ²⁾	Let forhøjet	Let forhøjet	Let forhøjet
KKV-2.3 Bro ¹⁾	Let forhøjet	Forhøjet	Forhøjet
KKV-3.1 Bro KKV-3.2 Bro	Let forhøjet	Forhøjet	Forhøjet
KKV-3.4 Bro ¹⁾	Let forhøjet	Forhøjet	Forhøjet

"Bro": ren broløsning, "Bro+ST": bro og sænketunnel

¹⁾ Gennemsejlingsfag øget til 270 m. Øget anlægsomkostning: 300-450 mio. kr. for 4+0 løsning
²⁾ Gennemsejlingsfag øget til 250 m. Øget anlægsomkostning: 200-300 mio. kr. for 4+0 løsning

8 Forslag til yderligere undersøgelser

Denne undersøgelse og evaluering af de foreslåede korridorer og tilhørende bro-løsninger har afdækket problemstillinger og analysebehov, der kan have betydning for korridorenes relevans og løsningernes egnethed, som det ikke har været muligt at forfølge i nærværende undersøgelse. Dette afsnit giver en sammenfatning af anbefalinger af problemstillinger og analyser, som det vurderes relevant at adressere i de næste faser af forundersøgelsen.

Justering/optimering af korridorer

De undersøgte korridorer er resultatet af overordnede målsætninger for ilandføringspunkter, hensynet til beskyttede havområder, og betingelser fra de forskellige anlægstekniske discipliner. Den rapporterede evaluering af sejladsforholdene omkring korridorerne har derfor forudsat at korridorerne ligger fast. Identificerede udfordringer ved arrangementet af erhvervstrafikkens sejlads igennem hovedbroen har dog peget på, at moderate ændringer af korridorerne kunne lede til et enklere og mere gunstigt arrangement af erhvervstrafikken. Det anbefales derfor at undersøge hvorvidt sådanne justeringer er mulige, og hvilken betydning justeringerne vil have på evaluering af de øvrige fagdiscipliners evaluering af korridorerne.

Gennemsejlingsåbningerne i en broløsning for KKV vil sætte en grænse for, hvor meget af den nuværende trafik, der vil kunne passere gennem en KKV-broløsning. Skibsfartens parter og interessenter vil bære konsekvensen af og omkostningen ved denne begrænsning, og de forventes at ville udfordre det valgte niveau af den trafikale begrænsning. Forundersøgelserne bør derfor etablere et rationelt grundlag for denne beslutning, der adresserer de relevante betydninger og omkostninger, som beslutningen vil have, og som skaber et godt udgangspunkt for dialogen med de involverede parter. De følgende anbefalinger til yderligere undersøgelser og afklaringer er centreret omkring at etablere dette beslutningsgrundlag.

Kost-optimalitet

Den illustrerede anvendelse af kost-optimalitet til rationelt at analyserer og begrundede valget af gennemsejlingsåbning bør udvikles yderligere. Det betragtes som den mest realistiske måde at etablere og dokumentere en begrundelse for den begrænsning af skibstrafikken, som en fast broforbindelse i KKV vil indebære. Navnlig vil det være nødvendigt med en mere nuanceret modellering af risikoen for kollisioner. Det vurderes muligt at opnå dette uden at skulle udvikle og koble en fuld risikomodel til omkostningsvurderingen.

Risikoomkostning

Den økonomiske risiko, som er associeret med risikoen for skibskollisioner mod broen, er identificeret som en central parameter i en rationel omkostningsmodel, der kan støtte beslutninger om broens overordnede udformning - herunder størrelsen af gennemsejlingsåbningerne og spændvidder i øvrigt. Det foreslås at estimere den ækvivalente omkostning ved en alvorlig skibskollision mod en broløsning i KKV, der medfører en længerevarende afbrydelse af forbindelsen. Dette nøgletal vil belyse, hvorvidt risikoen for kollisioner kan retfærdiggøre en større gennemsejling, end den, der indeholdt i de foreslåede broløsninger.

Spændvidde af højbroen

Den foreløbige anvendelse af kost-optimalitetsvurdering for gennemsejlingen i højbroen har indikeret, at den resterende del af højbroen bør inddrages, for at afklare om den valgte spændvidde i højbroen er optimal. Her vil risikoen for Kategori IV og for nogle korridorer også Kategori II kollisioner mod højbroen, være en primær drivkraft imod større spændvidde. En mere nuanceret udredning af anlægningsomkostningernes variation ved spændvidden kan også være nødvendig. Først og fremmest for at repræsentere betydningen af de store vanddybder i Samsø Renden tilstrækkelig nøjagtigt i anlægsoverslaget og beskrive det som en funktion af spændvidden.

Containertrafik

Den foreslåede gennemsejling til erhvervstrafikken begrænser trafikken, der kan passere KKV, til skibe med en længde mindre end 100 m. Det vil forhindre al den observerede skibstrafik, der er registreret som containerskibe. Skibene er 130-160 m lange og er såkaldte feederskibe, der søger for den regionale distribution til og fra de store container-hubs – f.eks. Aarhus Havn. Det bør undersøges om denne trafik har særlig strategisk betydning, som begrænsningen med gennemsejlingen i KKV vil påvirke særlig uheldigt.

9 Referencer

- [1] "Indledende Linjeføringsovervejelser for en Kattegatforbindelse, Delrapport", COWI for Vejdirektoratet, Sund & Bælt, Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, marts 2020.
- [2] "Indledende Linjeføringsovervejelser for en Kattegatforbindelse, Skibskollision – Supplerende overvejelser, Fagnotat", COWI for Vejdirektoratet, Sund & Bælt, Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, marts 2020.
- [3] "Kattegatforbindelsen - Kyst-Kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, Baggrundsrapport", Februar 2021.
- [4] "Vurdering af gennemsejlingsfag vest om Samsø, Sejladsanalyse", Rambøll for Sund & Bælt, August 2019.
- [5] "Vurdering af påvirkning af erhvervssejlad, Sejladsanalyse", Rambøll for Sund og Bælt, v 5.0, 17-12-2020.
- [6] "Guide Specifications and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges", 2nd Edition, 2009, AASHTO.
- [7] "Ship Collision With Bridges: The Interaction Between Vessel Traffic and Bridge Structures", Ole Damgaard Larsen, IABSE, 1993
- [8] "Kattegatforbindelsen - Kyst-Kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, KKØ – Sejladsforhold og risiko for skibskollision, Fagnotat", Februar 2021.
- [9] "Kattegatforbindelse - Kyst-Kyst – Anlægstekniske Forundersøgelser, Enhedspriser til anlægsoverslag, Fagnotat", April 2021.
- [10] Dokumentationsnotat – den samfundsøkonomiske diskonteringsrente, Finansministeriet, 7. Januar, 2021.