MARTS 2022
SUND & BÆLT HOLDING A/S

FORUNDERSØGELSE AF EN KATTEGATFORBINDELSE, KYST-KYST
ANLÆGSTEKNISKE UNDERSØGELSER
KOMBINERET VEJ- OG BANEFORBINDELSE

BAGGRUNDSRAPPORT

COWI

ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00
FAX +45 56 40 99 99
WWW cowi.dk

MARTS 2022
SUND & BÆLT HOLDING A/S

FORUNDERSØGELSE AF EN KATTEGATFORBINDELSE, KYST-KYST ANLÆGSTEKNISKE UNDERSØGELSER KOMBINERET VEJ- OG BANEFORBINDELSE

BAGGRUNDSRAPPORT

PROJEKTNR.	DOKUMENTNR.
A134285	A134285-A-REP-009

VERSION	UDGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UDARBEJDET	KONTROLLERET	GODKENDT
1.0	23.03.2022		TSH, TOOL, OLHE, HSV, HEGLX, SSO, PTR, DOP, KHP	SSO/PTR	PTR

INDHOLD

1	Indledning	7
1.1	Baggrund	7
1.2	Oversigt	7
1.3	Metode	17
2	Sammenfatning	19
2.1	Generelt	19
2.2	Farvandet mellem Samsø og Sjælland	19
2.3	Krydsning af Samsø	20
2.4	Farvandet mellem Jylland og Samsø	20
3	Definitioner og overordnede rammer	21
3.1	Projektområde	21
3.2	Korridorer	21
3.3	Øvrige definitioner	22
3.4	Forkortelser	24
3.5	Projekteringsforudsætninger	25
4	Evalueringsmetode	26
4.1	Indledning	26
4.2	Analyseparametre	27
4.3	Projektrisikobidrag	29
4.4	Projektrisikoniveauer	31
5	Konstruktionstyper	37
5.1	Broer	38
5.2	Tunneler	67
5.3	Marine konstruktioner	102
5.4	Konsekvenser af øget toghastighed til 250 km/t	119
5.5	Arbejdspladser	123
6	Geotekniske forhold	126
6.1	Geologisk model for Kattegat	126
6.2	Anlægstekniske konsekvenser	138
7	Undersøgte korridorer og tekniske løsninger – Sjælland-Samsø (KKØ)	141
7.1	Generelt	141
7.2	Røsnæs – Besser	149
7.3	Røsnæs – Hjalmarsgård	154
7.4	Røsnæs – Samsø Syd	169
7.5	Asnæs – Vesborg Fyr	171
7.6	Asnæs – Samsø Syd	181
7.7	Asnæs – Hjalmarsgård	183
7.8	Oversigt over projektrisikobidrag	194

8 Undersøgte korridorer og tekniske løsninger – Samsø-Jylland (KKV) 198
8.1 Generelt 198
8.2 Onsbjerg - Hou 203
8.3 Fogedmark - Hou 212
8.4 Kolby Kås – Gylling Næs 216
8.5 Kolby Kås – Søby 219
8.6 Fogedmark – Gylling 224
8.7 Fogedmark – Søby 227
8.8 Samsø Syd – Gylling Næs 229
8.9 Oversigt over projektrisikobidrag 231

9 Undersøgte korridorer - Samsø (KSA) 233
9.1 Generelt 233
9.2 KSA-1.1 Besser – Onsbjerg Nord 236
9.3 KSA-2.1 og -2.2 Hjalmarsgård – Onsbjerg Syd 237
9.4 KSA-2.3 og -2.4 Hjalmarsgård – Fogedmark 239
9.5 KSA-2.5 Hjalmarsgård – Ørby Syd - Kolby Kås 240
9.6 KSA-3.1 Vesborg Fyr – Onsbjerg Syd 242
9.7 KSA-3.2 Vesborg Fyr – Kolby Kås 244

10 Sejladsforhold og kollisionsrisiko 246
10.1 Formål og fremgangsmåde 246
10.2 Grundlag 247
10.3 Broløsninger for KKØ 254
10.4 Broløsninger for KKV 277
10.5 Yderligere undersøgelser 301

11 Sammenfatning af projektrisiko 304
11.1 Indledning 304
11.2 Samlet vurdering KKØ 304
11.3 Samlet vurdering KKV 307

12 Anlægsoverslag 309
12.1 Indledning 309
12.2 Metode generelt 309
12.3 Grænseflade til Projekt landanlæg 313
12.4 Broer 314
12.5 Sænketunneler 320
12.6 Borede tunneler 321
12.7 Cut & Cover tunneler 325
12.8 Vej på land 326
12.9 Bane 327
12.10 Kunstige øer, rev, undersøisk dæmning og tunnelbeskyttelse 330
12.11 Mængder 332
12.12 Anlægsoverslag per korridor 333

12.13 Samlede korridorer mellem Sjællands vestkyst og Jyllands østkyst 336

13 Anbefaling til kommende faser 342
13.1 Generelt 342
13.2 Geoteknisk grundlag 342
13.3 Yderligere afklaring af sejladssikkerhed og skibsstødsrisiko for broløsninger 343
13.4 Dæmninger fra land 345
13.5 Ledninger 345
13.6 Borede tunneler 345
13.7 Driftsrisiko 346
13.8 Forøgelse af toghastighed fra 200 til 250 km/t 346

14 Referencer 347

BILAG

Bilagsmappe (A3)

FAGNOTATER

Interfaceinformation til miljøundersøgelser

Vurdering af konstruktioner for 250 km/t toghastighed

Enhedspriser til anlægsoverslag

Design Basis

Enhedspriser for broer baseret på mængder

Supplerende undersøgelser af løsninger med kun ét jernbanespor

Byggemetoder og arbejdskanaler for lavbroer på lavt vand

Maksimal anlægsteknisk længde for boret tunnel

Sænketunnelbeskyttelse

Marine konstruktioner

Geologisk og geoteknisk screening

Geofysiske undersøgelser og geologisk model

Elementproduktionspladser

Arbejdspladsarealer

Analyse af ventilationsbehov for at sikre luftkvalitet i tunnel

KKØ - Sejladsforhold og risiko for skibskollision

KKV - Sejladsforhold og risiko for skibskollision

1 Indledning

1.1 Baggrund

Sund & Bælt Holding A/S overdrog i januar 2020 COWI opgaven at gennemføre anlægstekniske forundersøgelser for en kyst-kyst-forbindelse over Kattegat imellem Sjælland og Jylland via Samsø hhv. syd om Samsø.

Nærværende Baggrundsrapport udgør en afrapportering af dette arbejde for en kombineret løsning med både jernbane og motorvej. Den baserer sig bl.a. på et tidligere studie udført af COWI omhandlende både anlægsteknik samt plan- og miljøforhold for mulige korridorer fra Vestsjælland til Østjylland afrapporteret i [1] (Indledende linjeføringsovervejelser for en Kattegatforbindelse, Delrapport, COWI).

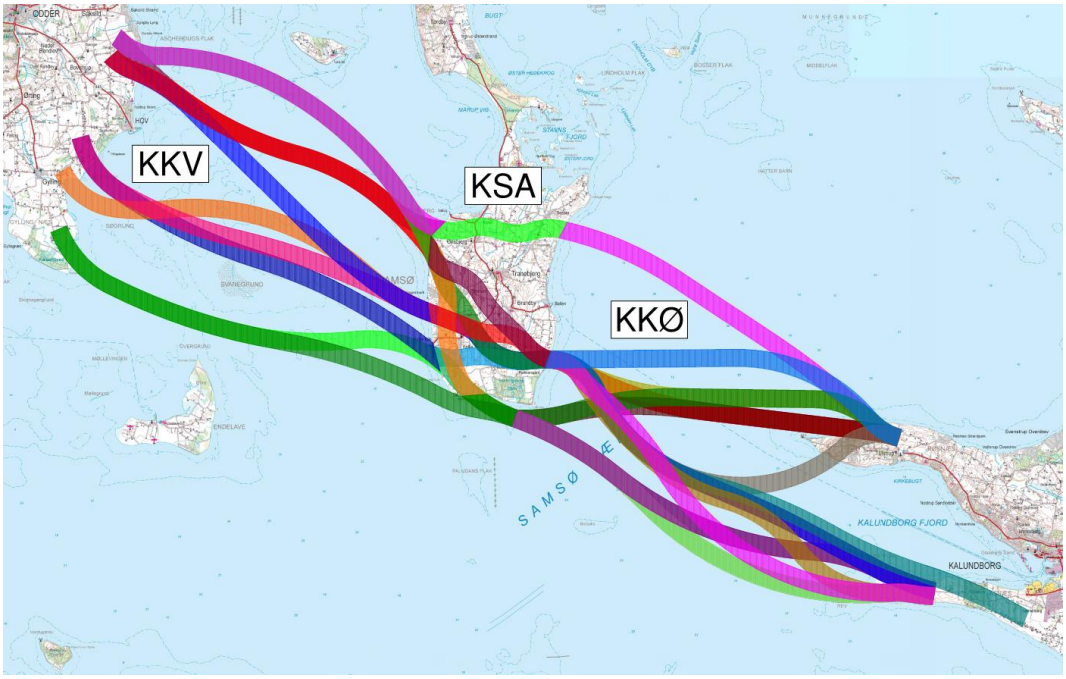
I en separat fase af de Indledende linjeføringsovervejelser er mulige korridorer imellem Sjællands Odde og Jylland undersøgt anlægsteknisk af COWI og afrapporteret i [2] (Indledende linjeføringsovervejelser, Sjællands Odde – Jylland, Delrapport) samt plan- og miljømæssigt af Rambøll [3] (Kattegatforbindelse - Kyst-Kyst - Miljøtekniske Forundersøgelser, Analyse af særligt betydningsfulde områder). På den baggrund er der truffet beslutning om ikke at behandle disse korridorer yderligere, hvorfor nærværende rapport er fokuseret på løsninger via Samsø eller syd om Samsø (se Figur 1-1).

1.2 Oversigt

Kattegatforbindelsen kyst – kyst består af følgende 3 dele:

- **KKØ**: Korridorer imellem Sjælland og Samsø eller syd for Samsø
- **KKV**: Korridorer imellem Jylland og Samsø eller syd for Samsø
- **KSA**: Korridorer på Samsø

Disse korridorer er overordnet illustreret på Figur 1-1 på næste side.



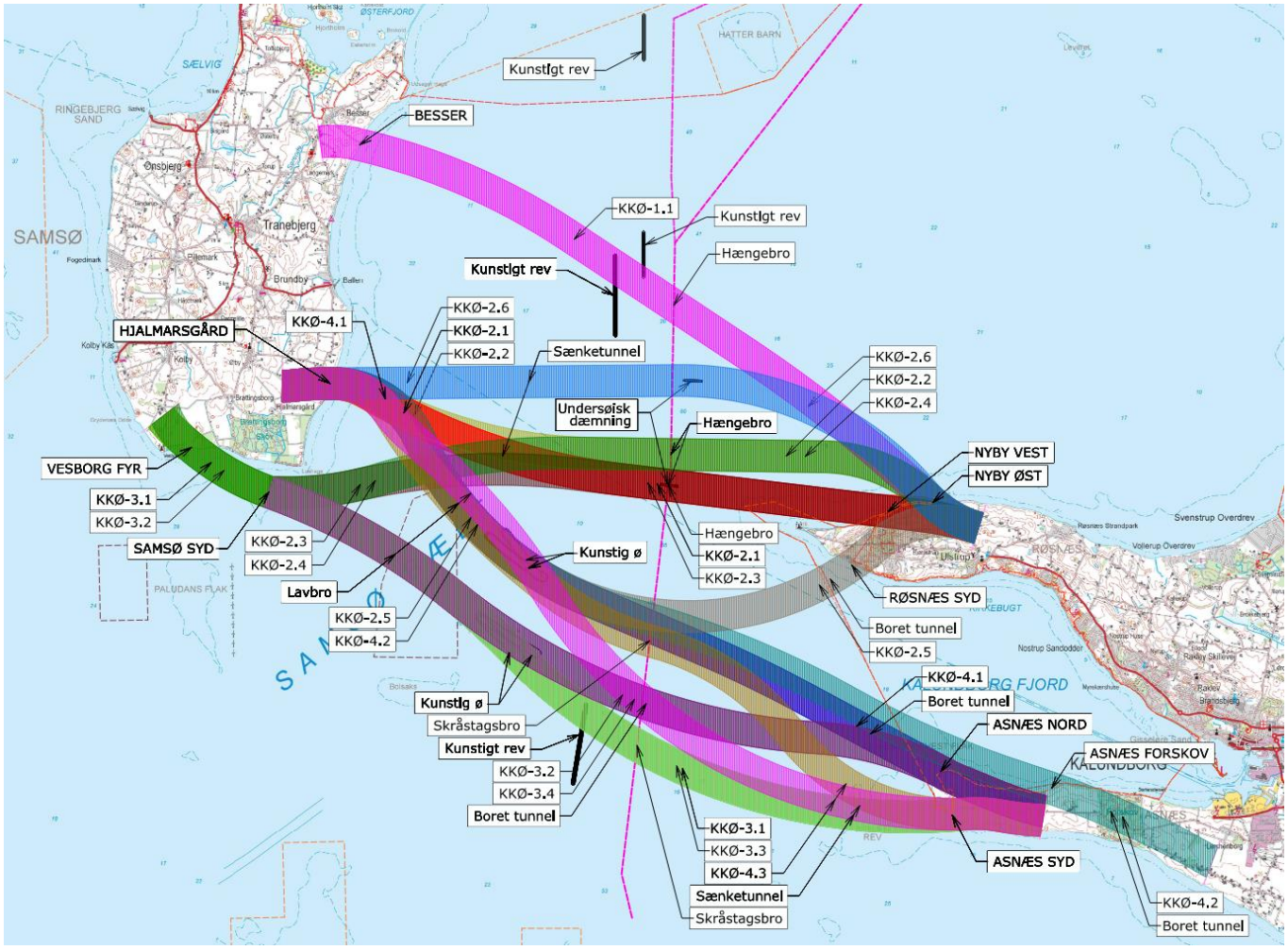
Figur 1-1 *Oversigt over undersøgte korridorer imellem Sjælland og Jylland (Bilag 1-1 i bilagsmappen)*

Nedenstående Tabel 1-1 viser en oversigt over tabeller og illustrationer af ovennævnte korridorer, som er gengivet efterfølgende i dette afsnit.

Tabel 1-1 *Tabeller og illustrationer af korridorer*

	KKØ	KKV	KSA
Kort	Figur 1-2	Figur 1-6	Figur 1-8
Tabel	Tabel 1-3	Tabel 1-4	Tabel 1-2
Længdeprofil	Figur 1-4	Figur 1-7	-

Detaljerede oplysninger om korridorerne fremgår af hovedafsnit 7, 8 og 9. Tabellerne refereret i Tabel 1-1 indeholder henvisninger til de underafsnit, hvor hver enkelt korridor er beskrevet, og indeholder tillige oversigt over hvilke konstruktionstyper der indgår i korridorerne.



Figur 1-2 Undersøgte KKØ-korridorer, geografiske ilandføringspunkter og konstruktionstyper (Bilag 7-1 i bilagsmappen)

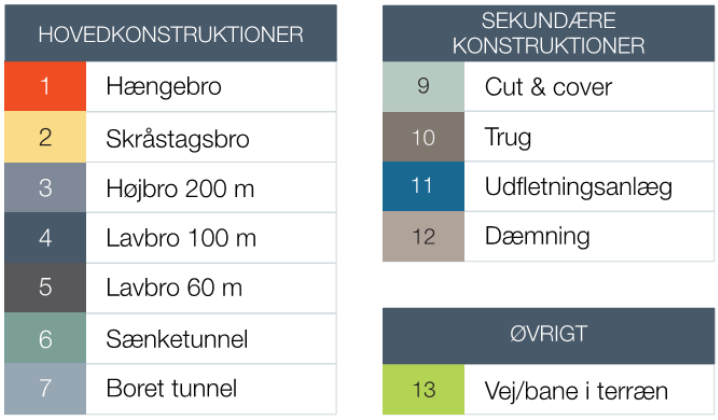
Ovenstående korridorer er vist i tabelform i Tabel 1-3 på næste side.

Tabel 1-3 Oversigt over undersøgte korridorer imellem Sjælland og Samsø (KKØ)

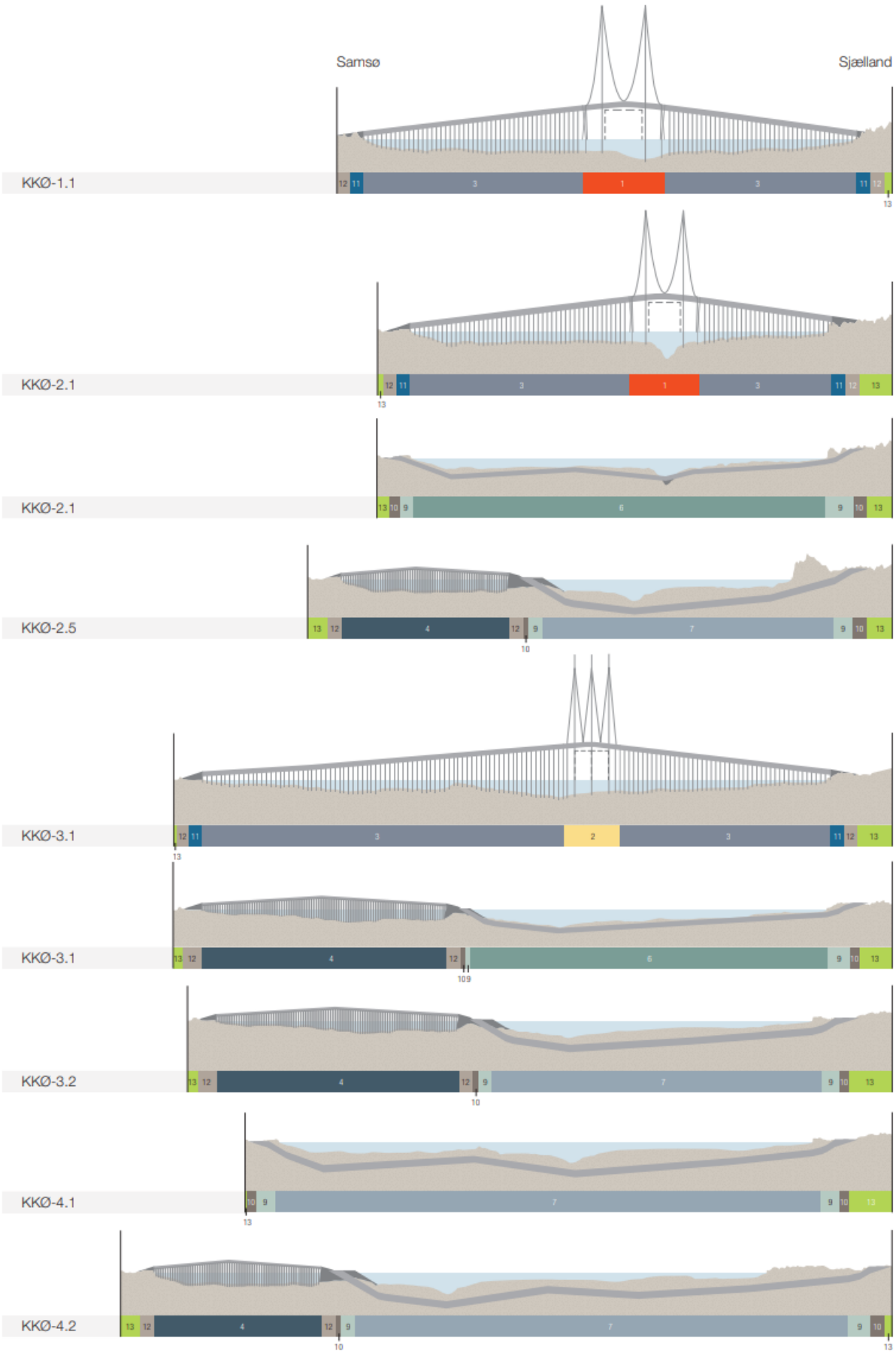
Ilandfø-ringspunkt Sjælland	Ilandfø-ringspunkt Samsø	Korridornavn	Hængebro	Skråstagsbro	Højbro	Lavbro 100 m fag	Lavbro 60 m fag	Kunstig ø	Sænketunnel	Boret tunnel	Afsnit
Røsnæs	Besser	KKØ-1.1 Nyby Øst - Besser	x		x						7.2
Røsnæs	Hjalmars-gård	KKØ-2.1 Nyby Vest - Hjalmarsgård	x		x						7.3
		KKØ-2.1 Nyby Vest - Hjalmarsgård							x		
		KKØ-2.2 Nyby Øst - Hjalmarsgård	x		x						
		KKØ-2.5 Røsnæs Syd - Hjalmarsgård				x		x		x	
		KKØ-2.6 Nyby Øst - Hjalmarsgård							*x*		
Røsnæs	Samsø Syd	KKØ-2.3 Nyby Vest - Samsø Syd	x		x						7.4
		KKØ-2.4 Nyby Øst - Samsø Syd	x		x						
Asnæs	Vesborg Fyr	KKØ-3.1 Asnæs Syd - Vesborg Fyr		x	x						7.5
		KKØ-3.1 Asnæs Syd - Vesborg Fyr				x		x	x		
		KKØ-3.2 Asnæs Nord - Vesborg Fyr				x		x		x	
Asnæs	Samsø Syd	KKØ-3.3 Asnæs Syd - Samsø Syd				x		x	x		7.6
		KKØ-3.4 Asnæs Nord - Samsø Syd				x		x		x	
Asnæs	Hjalmars-gård	KKØ-4.1 Asnæs Nord - Hjalmarsgård								x	7.7
		KKØ-4.1 Asnæs Nord - Hjalmarsgård				x		x		x	
		KKØ-4.2 Asnæs Forskov - Hjalmarsgård				x		x		x	
		KKØ-4.3 Asnæs Syd - Hjalmarsgård		x	x						
		KKØ-4.3 Asnæs Syd - Hjalmarsgård				x		x	x		

To af korridorløsningerne ovenfor er vist med *kursiv og grå font,* da de udgør alternativer som er tilføjet undervejs i processen, og derfor ikke er miljøundersøgt. De er af samme grund ikke behandlet i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll).

Længdeprofiler for udvalgte KKØ-korridorer og konstruktionstyper er vist i Figur 1-4 på næste side. Signaturer er vist i Figur 1-3.

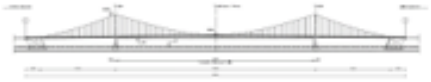
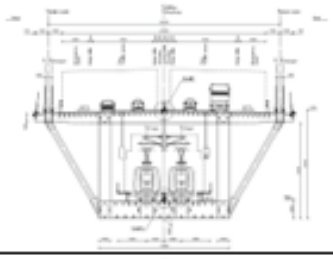
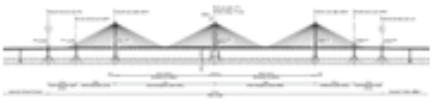
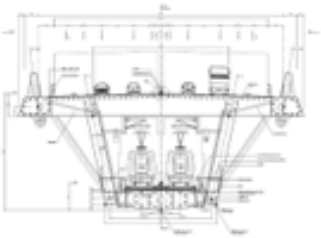
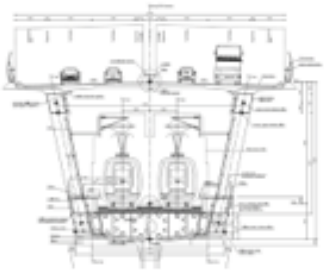
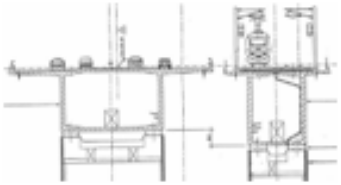
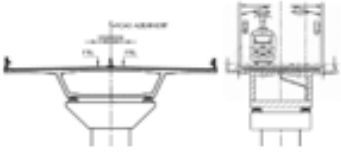


Figur 1-3 Oversigt over signaturer anvendt for længdeprofiler



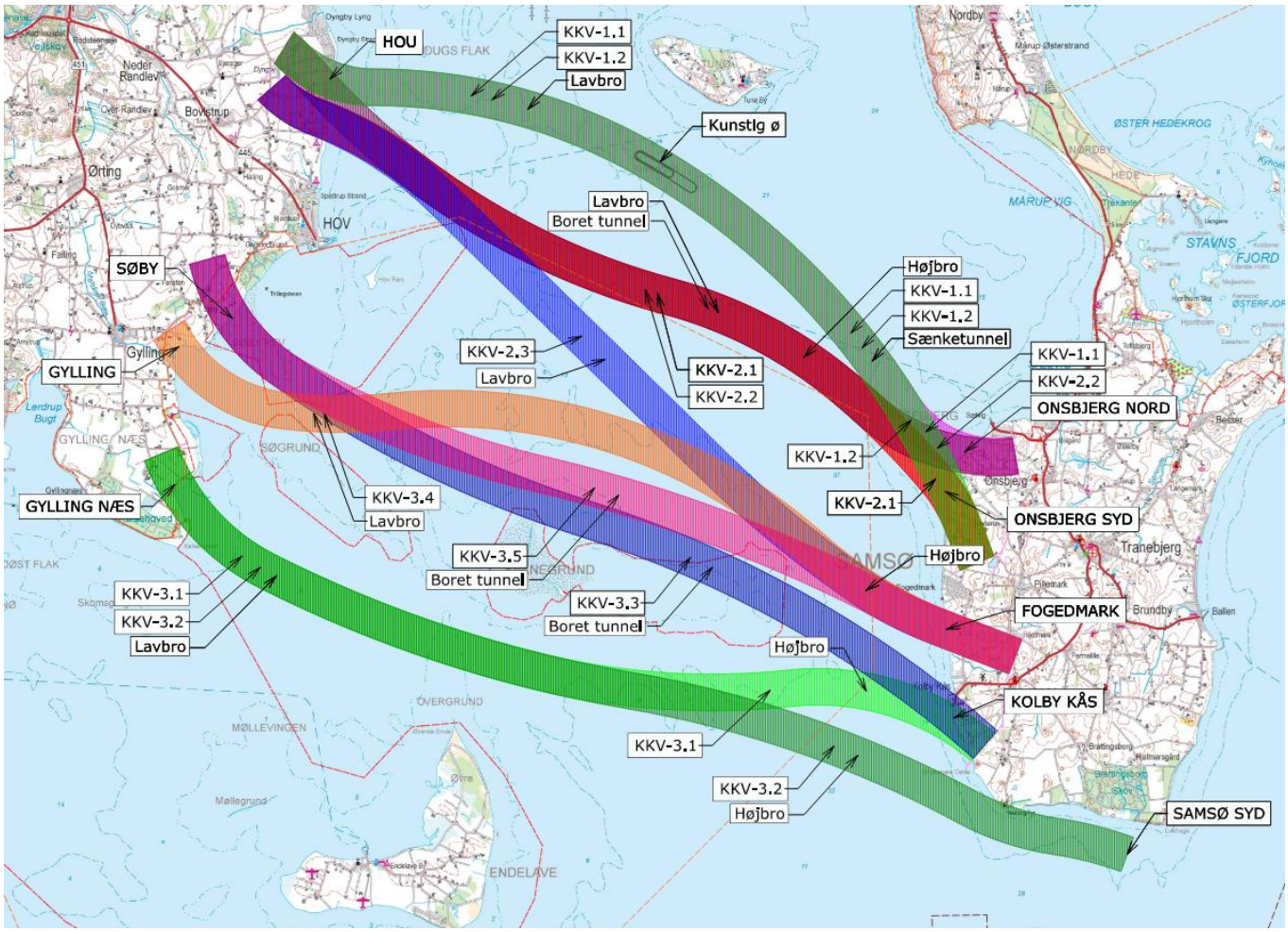
Figur 1-4 Længdeprofiler udvalgte korridorer og konstruktionstyper imellem Sjælland og Samsø (Bilag 1-2 i bilagsmappen) – signaturer vist i Figur 1-3

Oversigt over hovedkonstruktioner fremgår af Figur 1-5.

Hoved-konstruktion	Opstalt	Tværsnit
Hængebro		
Skråstagsbro		
Højbro KKØ		
Højbro KKV		
Lavbro 100 m fag		
Lavbro 60 m fag		
Sænketunnel		
Boret tunnel		

Figur 1-5 Oversigt hovedkonstruktioner

Korridorkort imellem Samsø og Jylland (KKV) fremgår af Figur 1-6.



Figur 1-6 KKV-korridorer, geografiske ilandføringspunkter og konstruktionstyper (Bilag 8-1 i bilagsmappen)

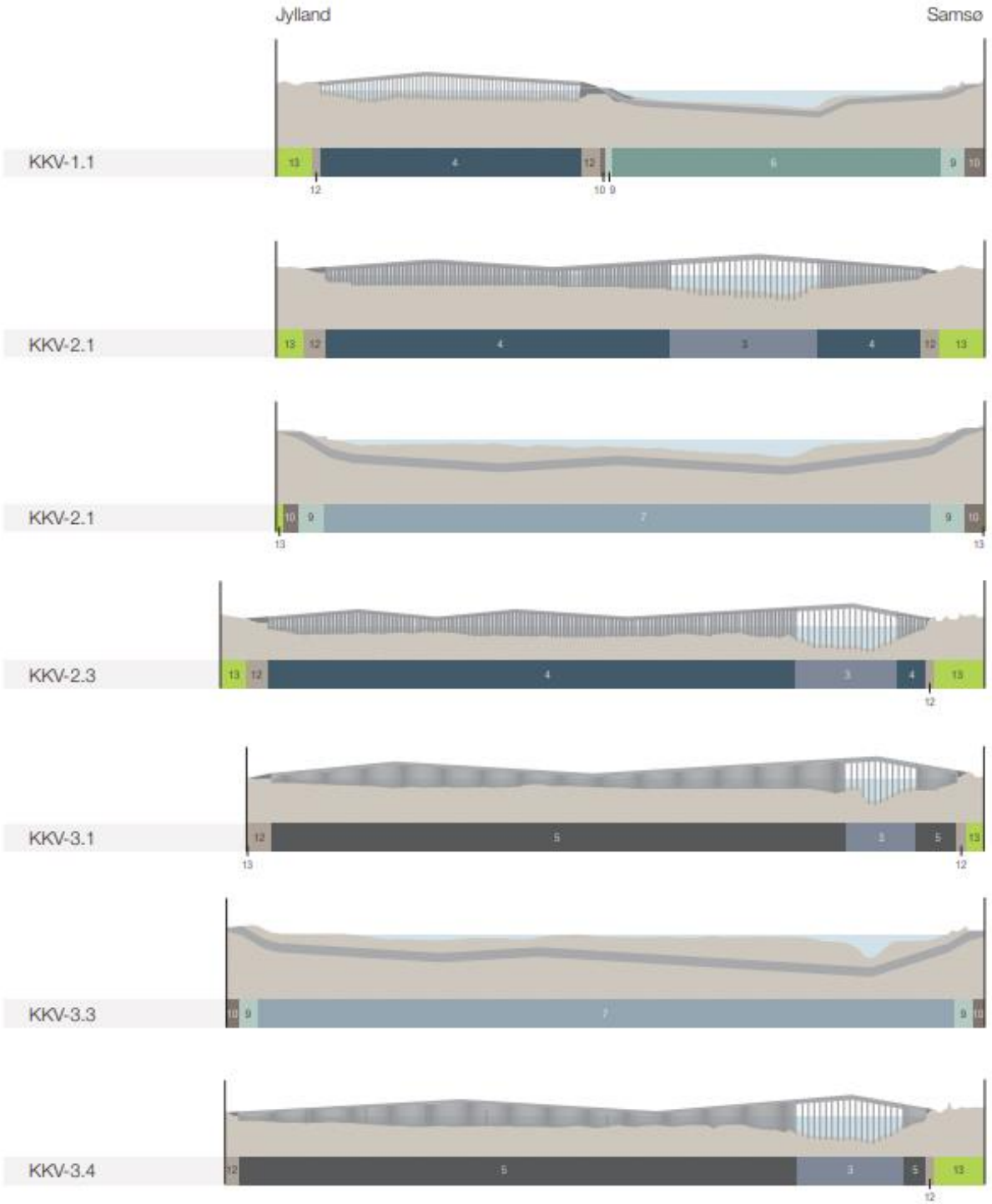
Ovenstående korridorer er vist i tabelform i Tabel 1-4 på næste side.

Tabel 1-4 Oversigt over undersøgte korridorer imellem Samsø og Jylland (KKV)

Ilandføringspunkt Samsø	Ilandføringspunkt Jylland	Korridornavn	Hængebro	Skråstagsbro	Højbro	Lavbro 100 m fag	Lavbro 60 m fag	Kunstig ø	Sænketunnel	Boret tunnel	Afsnit
Onsbjerg	Hou	KKV-1.1 Onsbjerg Nord - Hou				x		x	x		8.2
		KKV-1.2 Onsbjerg Syd - Hou				x		x	x		
		KKV-2.1 Onsbjerg Syd - Hou			x	x					
		KKV-2.1 Onsbjerg Syd - Hou								*x*	
		KKV-2.2 Onsbjerg Nord - Hou			x	x					
Fogedmark	Hou	KKV-2.3 Fogedmark - Hou			x	x					8.3
Kolby Kås	Gylling Næs	KKV-3.1 Kolby Kås - Gylling Næs			x		x				8.4
	Søby	*KKV-3.3 Kolby Kås - Søby*								*x*	8.5
Fogedmark	Gylling	KKV-3.4 Fogedmark - Gylling			x		x				8.6
	Søby	KKV-3.5 Fogedmark - Søby								x	8.7
Samsø Syd	Gylling Næs	KKV-3.2 Samsø Syd - Gylling Næs			x		x				8.8

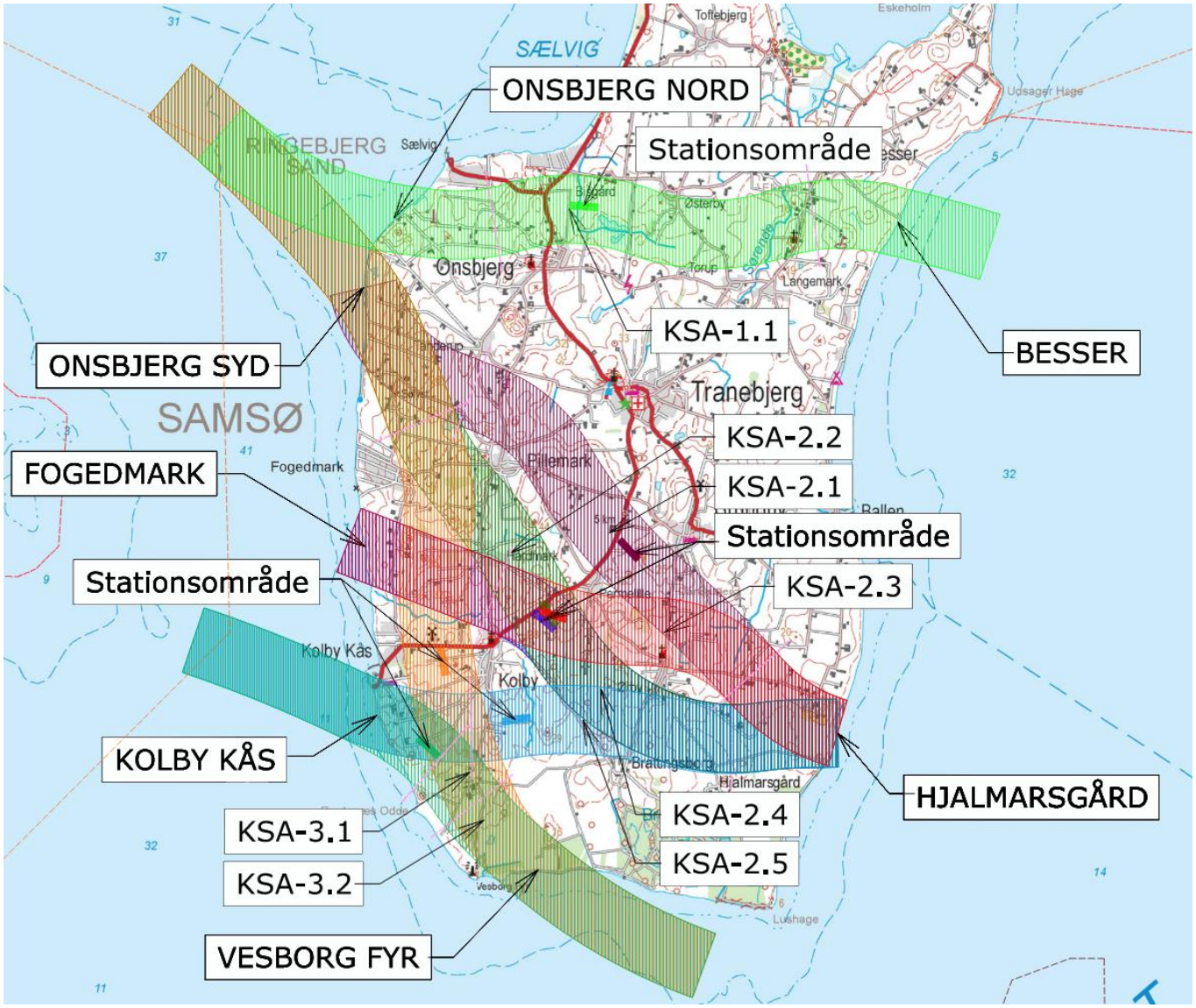
To af korridorløsningerne ovenfor er vist med *kursiv og grå font,* da de udgør alternativer som er tilføjet undervejs i processen, og derfor ikke er miljøundersøgt. De er af samme grund ikke behandlet i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll).

Længdeprofiler for udvalgte KKV-korridorer og konstruktionstyper er vist i Figur 1-7 på næste side.



Figur 1-7 *Længdeprofiler udvalgte korridorer og konstruktionstyper imellem Samsø og Jylland (Bilag 1-2 i bilagsmappen) – signaturer vist i Figur 1-3*

Korridorer er vist på kort og i tabelform for landkorridorer på Samsø (KSA) i hhv. Figur 1-8 og Tabel 1-5 på næste side.



Figur 1-8 KSA-korridorer med ilandføringspunkter og stationsområder (Bilag 9-1 i bilagsmappen)

Tabel 1-5 Undersøgte korridorer på Samsø

Ilandføringspunkt mod Sjælland	Ilandføringspunkt mod Jylland	Korridornavn	Afsnit
Besser	Onsbjerg Nord	KSA-1.1 Besser - Onsbjerg Nord	9.2
Hjalmarsgård	Onsbjerg Syd	KSA-2.1 Hjalmarsgård - Ørby Nord - Onsbjerg Syd	9.3
		KSA-2.2 Hjalmarsgård - Ørby Syd - Onsbjerg Syd	
	Fogedmark	KSA-2.3 Hjalmarsgård - Ørby Nord - Fogedmark	9.5
		KSA-2.4 Hjalmarsgård - Ørby Syd - Fogedmark	
	Kolby Kås	KSA-2.5 Hjalmarsgård - Ørby Syd - Kolby Kås	9.4
Vesborg Fyr	Onsbjerg Syd	KSA-3.1 Vesborg Fyr - Onsbjerg Syd	9.6
	Kolby Kås	KSA-3.2 Vesborg Fyr - Kolby Kås	9.7

Parallelt med udarbejdelse af nærværende Baggrundsrapport for anlægsteknik har Sund & Bælts rådgiver for Natur- og Miljøforhold Rambøll udarbejdet en baggrundsrapport om plan- og miljømæssige forhold for en kyst – kyst forbindelse [4]

(Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll), og COWI har for Vejdirektoratet udarbejdet en baggrundsrapport om tilsluttende korridorer for landanlæg på Sjælland og i Jylland [5] (Baggrundsrapport - Teknik og miljø for landanlæg).

Som et supplement til nærværende Baggrundsrapport er der udarbejdet en bilagsmappe i A3 indeholdende udvalgte figurer fra Baggrundsrapporten i et større og derfor mere læsevenligt format.

Som en del af arbejdet med nærværende Baggrundsrapport er der blevet udarbejdet en række fagnotater, som redegør for tekniske detailundersøgelser foretaget for at understøtte arbejdet med Baggrundsrapporten. Disse fagnotater fremgår af indholdsfortegnelsen, samt af referencelisten i afsnit 0.

Ovenstående baggrundsrapporter danner grundlag for Sund & Bælt / Vejdirektoratet / Trafikstyrelsens udarbejdelse af Sammenfattende Rapport.

1.3 Metode

I nærværende rapport er undersøgt dels de korridorer fra de Indledende linjeføringsovervejelser [1] (Indledende linjeføringsovervejelser for en Kattegatforbindelse, Delrapport, COWI), som umiddelbart er vurderet at være realiserbare og dels en række nye mulige korridorer, som er identificeret efter afslutningen af de indledende linjeføringsovervejelser. Disse korridorer er blevet yderligere detaljeret, justeret og underkastet en nøjere granskning med fokus på projektrisici, anlægsomkostninger samt miljø- og planforhold. Sidstnævnte er beskrevet i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll).

Inden for en korridor kan der i princippet anlægges 5 forskellige konstruktionstyper som kan være: Bro (hængebro, skråstagsbro, høj bjælkebro eller lav bjælkebro), sænketunnel, boret tunnel, bro kombineret med sænketunnel via kunstig ø eller bro kombineret med boret tunnel via kunstig ø. For hver korridor er en eller to af disse udvalgt på baggrund af, at de på nuværende tidspunkt er vurderet som værende de mest realiserbare for den pågældende korridor. Alternative løsninger, som er tilføjet undervejs i processen, er ikke blevet miljøvurderet, og derfor heller ikke medtaget i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll). Disse alternative løsninger er fremhævet med kursiv og grå font i Tabel 1-3 og Tabel 1-4.

I en kommende fase enten forud for eller som en del af en VVM-undersøgelse, hvor løsningsrummet forventes væsentligt indskrænket, vil de udvalgte korridorer blive nøjere analyseret. Dette må forventes at kunne føre til optimeringer og justeringer af de tekniske løsninger, i særlige tilfælde inklusive ændring af konstruktionstyper. Hvis det f.eks. viser sig, at en sænketunnelløsning med fordel kan erstattes af en kombineret løsning bestående af sænketunnel, kunstig ø og lavbro eller omvendt. Dette vil være en naturlig del af en projektoptimering, hvor også en nødvendig viden om f.eks. de geotekniske forhold vil være tilvejebragt. Den nøjagtige linjeføring vil også som en del af en sådan projektoptimering kunne blive justeret for bedre at tilgodese den valgte konstruktionstype eller anlæggets påvirkning af omgivelserne. F.eks. vil en lettere kurvet linjeføring i tilfælde af en tunnelløsning gøres ret.

I nærværende baggrundsrapport præsenteres en vurdering af korridorerne og konstruktionstypernes bidrag til projektrisikoen hidrørende fra tekniske forhold vedrørende kyst – kyst delen af en Kattegatforbindelse, og der angives estimater for anlægsomkostningerne. En samlet prioritering af korridorer og konstruktive løsninger vil også bero på en vurdering af miljø- og planforhold, korridorer på land, trafikal betjening, mv. De i denne Baggrundsrapport præsenterede korridorer og konstruktionstyper må derfor i den videre proces forventes justeret på basis af disse øvrige analyseparametre samt et forbedret datagrundlag fremkommet igennem supplerende undersøgelser. Dette vil i VVM-fasen kunne føre til justeringer af korridorforløb og ændret udformning af tekniske løsninger inden for korridorerne.

2 Sammenfatning

Undersøgelserne afrapporteret i nærværende baggrundsrapport har haft til formål at beskrive mulige linjeføringer og konstruktionstyper for Kyst-kyst delen af en Kattegat-forbindelse, som en kombineret vej- og jernbaneforbindelse fra Sjælland til Jylland via Samsø eller syd om Samsø.

Arbejdet har været fokuseret på en bred kortlægning af tekniske muligheder for en forbindelse, og på at tilvejebringe et teknisk grundlag for miljøundersøgelser, en vurdering af projektrisici (tekniske og udførelsesmæssige risici, som kan give sig udslag i manglende godkendelser, forsinkelser og fordyrelser) for de enkelte løsninger, samt at udarbejde tilhørende anlægsoverslag. Resultaterne heraf har skullet tjene som input i en prioriteringsproces forud for det videre arbejde med projektet.

2.1 Generelt

Generelt er der undersøgt løsninger baseret på kabelbårne broer, højbroer, lavbroer, sænketunneller, borede tunneler og kunstige øer.

Der er foretaget en geofysisk kortlægning af området; men der er ikke foretaget detaljerede geotekniske undersøgelser. På det foreliggende grundlag er der ikke noget der tyder på, at jordbundsforholdene er af en karakter som gør, at de vil blive afgørende for valg af korridor eller teknisk løsning.

2.2 Farvandet mellem Samsø og Sjælland

For krydsning af farvandet mellem Samsø og Sjælland (KKØ) er der udarbejdet mulige løsninger inden for et bredt spektrum af undersøgte konstruktionstyper. Løsningerne er styret af den store vanddybde og skibstrafikken.

Hensynet til skibstrafikken og risikoen for skibskollision vil være særdeles afgørende for valg af konstruktiv løsning mellem Sjælland og Samsø. Løsninger hvor lavbro (som Storebælt Vestbro) indgår, er sårbare overfor skibsstød selv tæt på Samsø, grundet den store vanddybde. Generelt vil løsninger med højbro med et stort kabelbåret gennemsejlingsfag være væsentligt mindre sårbare; medens skibsstødsrisikoen helt kan elimineres ved at vælge en tunnelløsning. Alle broløsningerne på KKØ er således vurderet at indebære en forhøjet projektrisiko, medens to af dem (i korridorerne KKØ-1.1 og KKØ-3.1) er vurderet at ligge i den højeste kategori, som det anbefales ikke at arbejde videre med.

Der er ingen af de øvrige projektrisikobidrag, som er vurderet at være i højeste kategori. Flere af løsningerne inkluderer dog rekordspænd på hængebroer, 3-pylons skråstagsbroer, meget lange borede tunneler, eller sænketunnel på undersøisk dæmning. Disse er vurderet til at medføre forhøjede projektrisikobidrag.

Anlægsoverslagene viser generelt at broløsninger bestående af en kabelbåren bro med tilslutningsfag af højbroer er lidt billigere at bygge end sænketunneler, hvor lavbroer er væsentligt billigere. Lavbroer indebærer dog en forhøjet risiko for skibskollision, og det kan vise sig, at detaljerede beregninger i kommende faser vil konkludere, at

lavbroer indebærer en så høj risiko, at det ikke er acceptabelt. Borede tunneler er vurderet væsentligt dyrere end ovennævnte alternativer.

Skibskollisionsrisiko vil få markant indflydelse på valg af løsning, og må forventes at blive et væsentligt emne for yderligere undersøgelser, efterhånden som løsningsrummet bliver indsnævret til færre korridorer og tekniske løsninger. I den nuværende undersøgelse er 10 ud af 15 broløsninger vurderet at give et højt eller forhøjet projektrisikobidrag fra skibskollision.

2.3 Krydsning af Samsø

Der er kun undersøgt krydsninger af Samsø fra linjen Onsbjerg-Besser i nord og sydover, da den nordlige del af Samsø er fravalgt af miljømæssige hensyn.

Der er søgt taget hensyn til de lokalsamfund der ligger på den sydlige del af øen i forhold til de foreslåede korridorer. Fra Hjalmarsgård på den sydøstlige side er både undersøgt korridorer der går nord og syd om Ørby. Der er tillige undersøgt korridorer som kun berører det sydvestlige hjørne af øen.

Som en del af krydsningen af Samsø er der indplaceret både en station på banen samt et tilslutningsanlæg på motorvejen med tilhørende samkørselsplads/busstop.

Der er ikke medtaget overhalingsspor eller vendespor i forbindelse med stationen, da det ikke er vurderet nødvendigt på det foreliggende vidensgrundlag.

I tillæg til løsninger der krydser Samsø er der også undersøgt en løsning, som passerer syd om Samsø. Denne er uden adgang til Samsø i form af tilslutningsanlæg og station.

2.4 Farvandet mellem Jylland og Samsø

For krydsning af farvandet mellem Jylland og Samsø (KKV) er løsninger med højbro, lavbro, sænketunnel og boret tunnel undersøgt. Kabelbårne broer er ikke i denne fase vurderet nødvendige, idet det er antaget, at store skibe kan ledes til Rute T øst om Samsø. Efterfølgende studier må vise, i hvilken grad denne forudsætning er acceptabel for søfarten, eller om der vil være behov for at indføre mindre skråstagsbroer i gennemsejlingsfagene for at minimere omfanget af omledning af trafik øst om Samsø.

Projektrisikobidraget fra sejladsforhold og skibskollision er generelt vurderet til at være forhøjet for broløsningerne. De øvrige projektrisikobidrag for broløsningerne er vurderet at være forventelige for et projekt af denne størrelse. De borede tunneler fra kyst til kyst er vurderet til at bidrage med forhøjet projektrisiko fra udførelsen, da de er cirka 24 km lange og planlagt med store diametre og dermed nærmer sig grænsen for hvad man har erfaring for.

Væsentlige dele af broløsningerne kan udføres som lavbroer, som vil være væsentligt billigere end både sænketunnel- og borede tunnelløsninger.

Broer vurderes samlet set at være den mest oplagte konstruktionstype på KKV, evt. med en skråstagsbro i gennemsejlingsfagene.

3 Definitioner og overordnede rammer

3.1 Projektområde

Projektområdet er defineret som det geografiske område, inden for hvilket projektet kan blive placeret.

3.2 Korridorer

Forbindelser imellem Sjælland og Jylland er skitseret i et antal undersøgte korridorer.

En korridor er i denne sammenhæng et bånd, inden for hvilket det er muligt at tegne linjeføringer, som overholder de geometriske designkrav. Korridorerne er som udgangspunkt ca. 1 km brede.

Korridorerne er navngivet på formen KKX-x.y, hvor KK står for Kyst-Kyst, X kan have værdien Ø betydende øst, dvs. korridorer imellem Sjælland og Samsø, og V betydende vest, dvs. korridorer imellem Samsø og Jylland. x og y er fortløbende numre for hver korridor, hvor x repræsenterer den overordnede gruppering af forbindelser (overordnede korridorer) imellem to områder eller ilandføringspunkter f.eks. fra Røsnæs til Samsøs Østkyst (KKØ-2) og y repræsenterer en given specifik korridor.

Indenfor hver korridor kan udvikles flere løsninger med forskellige konstruktionstyper, broer udmærker sig ved ofte at følge et krumt forløb, da brugeroplevelsen, trafiksikkerheden og æstetikken af forbindelsen herved optimeres, men sænketunnel og boret tunnel vil forsøges at gøre så lige som mulige for at forenkle elementerne og minimere længden af tunnelen.

Anlægsomkostninger og risici afhænger for alle konstruktionstyper af bl.a. de geologiske forhold. Der er i forbindelse med nærværende forundersøgelse gennemført geofysiske undersøgelser af havbunden mellem både Sjælland og Samsø, samt Samsø og Jylland, hvilket dels har bekræftet tidligere vurderinger og dels har givet ny viden om de geologiske forhold. Tolkningen af den geologiske information har på dette stade ikke givet anledning til tilpasninger af korridorerne. Det er antaget, at den optimale linjeføring vil kunne findes i valgte korridorer; men det kan ikke udelukkes, at yderligere geotekniske informationer, f.eks. tilvejebragt gennem geotekniske boringer, kan føre til at den optimale placering af en linjeføring findes uden for de optegnede korridorer, f.eks. hvis der påtræffes større forekomster af plastisk ler i korridoren.

3.3 Øvrige definitioner

Udtryk	Definition
4+0	4-sporet motorvej
4+1	4-sporet motorvej og enkeltsporet jernbane
4+2	4-sporet motorvej og dobbeltsporet jernbane
Faglængde	Afstanden imellem centerlinjerne af 2 nabo-bropiller (= spændvidde)
Femernprojektet	Projektet for en fast forbindelse over Femern Bælt
Frihøjde	Afstanden fra havoverfladen til undersiden af brodækket
Fritrumsprofil	Fritrumsprofilet beskriver krav til vandrette frie afstande til faste genstande samt lodrette frie afstand fra f.eks. vejbane eller skinneoverside til faste genstande, såsom ventilatorer i en tunnel
Hovedbro	Broen over det primære gennemsejlingsfag
Hovedkonstruktion	Bro, sænketunnel, boret tunnel eller kunstig ø
Højbro	Bjælkebro med stor frihøjde og stor spændvidde, anvendt af hensyn til skibstrafikken og/eller ved stor vanddybde. Eksempler på højbro er gennemsejlingsfag i bjælkebroer og tilslutningsfag til hænge- og skråstagsbroer
Ilandføringspunkt	Det punkt, hvor anlægsprojektet fra havsiden krydser vandkanten (kote 0)
Ilandføringszone	Området imellem ilandføringspunktet og grænsefladen til Projekt Landanlæg
Kattegatforbindelsen	Det samlede projekt, inkl. vejanlæg på land (Projekt Kyst-Kyst + Projekt Landanlæg)
Kattegatprojektet	
Koblingspunkt	Punkt hvori to brokonstruktioner fra hhv. KKØ og KKV mødes
Konstruktionstype	Hængebro, skråstagsbro, højbro, lavbro, boret tunnel, sænketunnel, cut & cover tunnel, trug, udfletningsanlæg, dæmning, kunstig ø
Korridor	Område indenfor hvilket linjeføringer kan blive placeret mellem to ilandføringspunkter. Korridorer afgrænses på hver side af en mulig linjeføring ud fra, hvad der er teknisk gennemførligt, og således at korridorer ikke indeholder no go-områder, der er fravalgt som led i forundersøgelsen
Lavbro	Bjælkebro med begrænset frihøjde og moderat spændvidde, anvendt hvor kun mindre skibe forventes at passere. Eksempel er Storebælt Vestbro
Linjeføring	En eksemplificeret linje inden for en korridor, som kan afbildes både i plan og profil, og som anvendes til udregning af økonomi
Længder	Se under skemaet samt Figur 3-1
Overordnet korridor	Gruppe af korridorer i et samlet geografisk område f.eks. KKØ-3 som indeholder korridorerne KKØ-3.1, KKØ-3.2, KKØ-3.3 og KKØ-3.4

Udtryk	Definition
Projekt Kyst-Kyst	Projektet (som Sund & Bælt Holding er ansvarlig for) fra Sjælland til Jylland inkl. landanlæg på Samsø og ilandføringszonerne
Projekt Landanlæg	Projektet (som Vejdirektoratet / Trafikstyrelsen er ansvarlig for) som er vej- og baneanlæg på Sjælland og i Jylland frem til grænsefladesnittene til Projekt Kyst-Kyst
Rute T	Sejlrute imellem Skagerrak og Østersøen
Samlet korridor	Kombination af korridorer som giver en sammenhængende forbindelse mellem Sjælland og Jylland (sammensat af korridorer i KKØ, KSA og KKV)
Spændvidde	Afstanden imellem centerlinjerne af 2 nabo-bropiller (=faglængde)
Særligt betydnings-fulde områder	Områder som iht. miljøundersøgelserne ikke må berøres
Tilslutningsbro	Bro som slutter op til en hovedbro
Undersøgelsesområde	Det område indenfor hvilket konsekvenserne af projektet afdækkes (i nærværende Baggrundsrapport er alene anlægstekniske konsekvenser afdækket, herunder geotekniske forhold og forhold relateret til skibstrafikken)

Længden kyst-kyst er defineret som afstanden mellem ilandføringspunkter, dvs. længden til havs, se Figur 3-1

Hovedkonstruktioner omfatter bro, sænketunnel, boret tunnel og kunstig ø. Længden af hovedkonstruktioner er for broer defineret som afstanden mellem landfæster, og for sænketunneler samt borede tunneler som afstanden imellem overgangen til cut & cover tunnel.

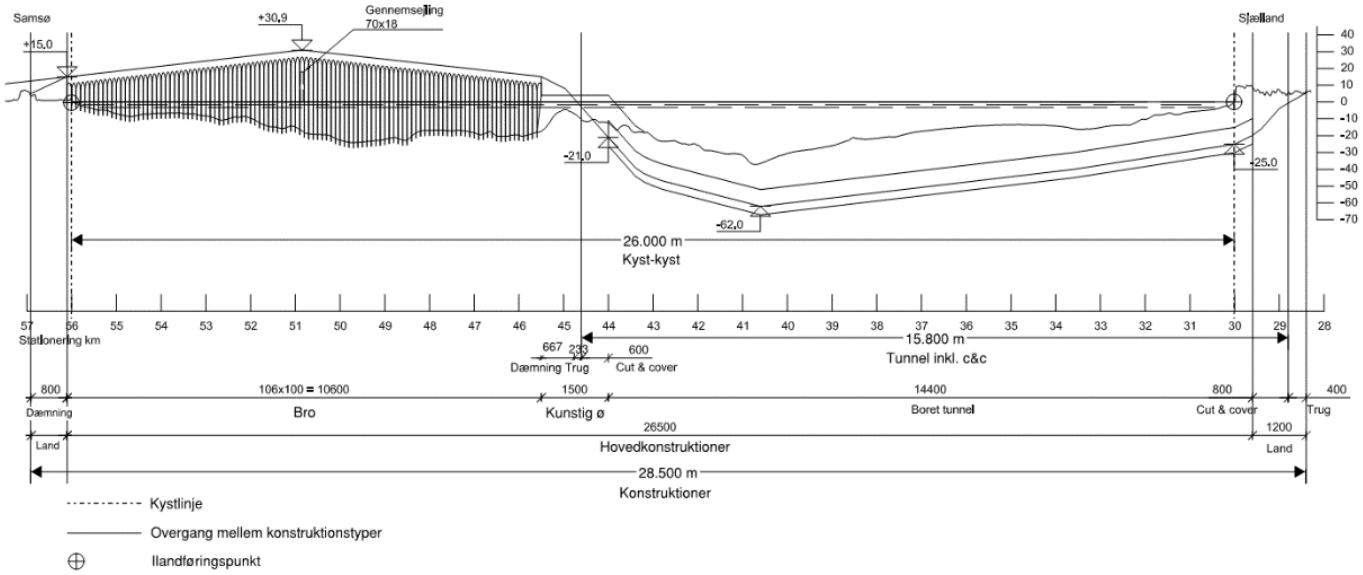
Længden på land inkluderer for broer dæmninger samt for broer i to etager tillige udfletningsanlæg. For tunneler inkluderer længden på land cut & cover tunnel, portalbygning og trug.

Sekundære konstruktioner omfatter cut & cover tunnel, trug og dæmning, både på land og på kunstig ø, samt for broer i to etager tillige udfletningsanlæg.

Den totale længde af konstruktioner er imellem punkterne hvor konstruktionerne (dæmning fra et brovederlag eller trug fra en tunnel) møder naturligt terræn.

Ovenstående definitioner af længder er illustreret i Figur 3-1 (udfletningsanlæg er ikke vist på figuren, da eksemplet viser en bro med vej- og jernbanetrafik i samme niveau).

Korridorerne er på kortskitserne i denne Baggrundsrapport vist som 1 km brede bånd inden for hvilket en linjeføring vil kunne placeres. Af hensyn til entydighed er korridorlængder opgjort i centerlinjen af disse korridorbånd. Hvis en linjeføring lægges yderligt inden for båndet, vil det kunne medføre en ændring af den samlede længde af konstruktionerne.



Figur 3-1 Definition af længder, KKØ-3.2 anvendt som eksempel (Bilag 3-1 i bilagsmappen)

3.4 Forkortelser

Forkortelse	Betydning
4+0	4-sporet motorvej
4+1	4-sporet motorvej og enkeltsporet jernbane
4+2	4-sporet motorvej og dobbeltsporet jernbane
AIS	Automatic Identification System (system til registrering af skibstrafik)
BEST	De samlede banetekniske installationer (Bane, Elektrificering, Signal, Telekommunikation)
BT	Boret tunnel
CL	Centerlinje
DVR90	Dansk Vertikal Reference
DWT	Dead Weight Tons (enhed til benævnelse af skibsstørrelser)
DS	Dansk Standard
DST	Danmarks Statistik
D&V	Drift og Vedligehold
EPB	Earth Pressure Ballance – En type tunnelboremaskine (TBM)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KKV	Kyst-Kyst Vest (korridorer imellem Samsø og Jylland)
KKØ	Kyst-Kyst Øst (korridorer imellem Sjælland og Samsø)
KP	Kilometerpunkt
KSA	Korridorer på Samsø
LM1	Eurocode lastmodel 1 for vejtrafik
LM71	Eurocode lastmodel for tog
MV	Motorvej
NA	Nationalt Anneks til Eurocodes

Forkortelse	Betydning
PTA	Projektering, tilsyn og administration
RCP	Representative Concentration Pathway
SLR	Sea Level Rise (vandstandsstigning/havspejlsstigning)
SLS	Serviceability Limit State (anvendelsesgrænsetilfælde)
ST	Sænketunnel
TBM	Tunnel Boring Machine
TS	Trafikstyrelsen
TOR	Top of Rail (overside af skinne)
TS	Tandem System (2 aksellaster som indgår i LM1)
UDL	Uniformly Distributed Load (jævnt fordelt last)
ULS	Ultimate Limit State (brudgrænsetilfælde)
UIC	International Union of Railways
UTM	Universal Transverse Mercator
UXO	UneXploded Ordnance (ueksploderet ammunition)
VTS	Vessel Traffic Service (system til alarmering af skibe på afveje)

3.5 Projekteringsforudsætninger

Som en del af arbejdet med nærværende baggrundsrapport og for de præsenterede anlægsoverslag er forskellige tekniske løsninger blevet skitseret. Disse overholder som udgangspunkt gældende normer, vejregler og banenormer. Relevante dele heraf, samt øvrige tekniske krav, forhold og antagne valg, er sammenfattet i et særskilt fagnotat Design Basis [6].

3.5.1 Toghastighed 200->250 km/t

Det er forudsat at tog kan køre med en maksimal hastighed på 200 km/t imellem kysterne på Sjælland og Jylland. En forøgelse af denne hastighed til 250 km/t er behandlet i afsnit 5.4 og i fagnotatet "Vurdering af konstruktioner for 250 km/t toghastighed" [7]. Forøgelse af hastigheden vil kunne skære ca. 3 minutter af rejsetiden for gennemkørende tog på strækningen.

4 Evalueringsmetode

4.1 Indledning

På baggrund af offentligt tilgængelige data er der ved udarbejdelsen af nærværende Baggrundsrapport fokuseret på at foretage anlægstekniske analyser af en række forhold omhandlende f.eks.: konstruktive, geotekniske, marintekniske, driftsmæssige og sejladsmæssige forhold.

Formålet med disse undersøgelser har været at bidrage til at identificere de mest relevante anlægstekniske løsninger og korridorer imellem Sjælland og Jylland, herunder foretage en prissætning af disse. Der er foretaget en vurdering af korridorerne og konstruktionstypernes bidrag til projektrisikoen hidrørende fra tekniske forhold (anlægstekniske projektrisici). Som det fremgår af afsnit 4.2 er den anlægstekniske projektrisiko kun én blandt flere analyseparametre, som bidrager til en samlet vurdering. Bortset fra anlægsomkostninger er disse ikke behandlet i nærværende Baggrundsrapport, og de foreslåede korridorer og konstruktionstyper må derfor i den videre proces forventes at blive justeret og ændret på basis af alle analyseparametre samt et forbedret datagrundlag fremkommet igennem supplerende undersøgelser (se også afsnit 1.3).

Baggrundsrapporten fokuserer på kyst til kyst. Forholdene på land har alene indgået i overvejelserne i forhold til placering af ilandføringspunkter. Det er tilstræbt at forkorte den samlede længde af krydsningen (af rejsetidsmæssige, anlægs- og driftsøkonomiske årsager) og undgå Særligt betydningsfulde områder, tætte bebyggelser, mv.

Af ovenstående emner er det ud over længden på krydsningen hensynet til vanddybder, sejlruter og øvrige natur- og miljøforhold, som har været styrende for placering af linjeføringerne.

4.2 Analyseparametre

Nedenstående analyseparametre bidrager til den samlede projektrisiko og vil være bestemmende for udvælgelsen af den optimale udformning af en Kattegatforbindelse. De med fed fremhævede analyseparametre er behandlet i nærværende Baggrundsrapport.

- Natur- og miljøforhold
- Planforhold
- Trafikal betjening
- Anlægs- og driftsøkonomi
  - **Anlægsøkonomi**
  - Driftsøkonomi
- Driftsrisiko
- Anlægstekniske projektrisici
  - **Projekteringsrisiko**
  - **Udførelsesrisiko**
  - **Geoteknisk risiko**
  - **Luftkvalitet i tunneler**
  - **Sejladsforhold**
  - **Skibsstød**
  - Andre anlægstekniske projektrisici

Nedenfor er kort redegjort for håndteringen af de enkelte analyseparametre.

Natur- og miljøforhold

En given korridor og konstruktioner heri må ikke medføre en betydelig påvirkning eller skade på natur og miljø, som ville kunne undgås ved valg af en anden korridor. De udviklede korridorer og konstruktionsløsninger er så vidt muligt udviklet, så de undgår sådanne påvirkninger og skader. Selve analysen og afrapporteringen af den afledte påvirkning behandles i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll)

Planforhold

Denne analyseparameter omhandler hensyn til landskab, nærhed til bebyggelser, militære forhold, råstofområder, kulturværdier, arkæologiske forhold og fredninger, og behandles i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll).

Trafikal betjening

Denne analyseparameter går på opfyldelsen af denne deltekst fra Hovedkommissoriet: "*Det er en målsætning, at en kommende fast forbindelse over Kattegat skal være til gavn for flest mulige brugere, være økonomisk sammenhængende og give størst mulige tidsbesparelser for rejsende samt bidrage til at sikre forsyningssikkerheden mellem Øst- og Vestdanmark.*"

Emnet er ikke eksplicit behandlet i nærværende Baggrundsrapport. Beregning af mængden af fremtidig trafik på forbindelsen vil blive forestået af en særskilt arbejdsgruppe for trafikale analyser.

Anlægsøkonomi

I nærværende Baggrundsrapport er de estimerede anlægsomkostninger opgjort for de undersøgte korridorer og konstruktionstyper. Efterfølgende vil anlægsomkostningerne indgå i en rangering af de undersøgte korridorer og tekniske løsninger som en del af de samfundsøkonomiske beregninger for korridorerne.

Driftsøkonomi

Drifts- og vedligeholdsomkostninger er ikke en selvstændig parameter, og er ikke behandlet i nærværende Baggrundsrapport ud over, at løsningerne er udarbejdet under hensyntagen til driftserfaringer fra Storebælt og Øresund. Skøn over drifts- og vedligeholdsomkostninger fremgår af notatet "Estimering af omkostninger til D&V og reinvesteringer [8] udarbejdet af Sund & Bælt, og vil indgå som input til de finansielle analyser som foretages af Sund & Bælt.

Driftsrisiko

Hertil regnes forstyrrelser af vejtrafikken og togtrafikken i form af lukning eller restriktioner som f.eks. indsnævring af vognbaner eller begrænsninger for høje og lette køretøjer. Koncepterne for tunneler lagt til grund i nærværende Baggrundsrapport er generelt udviklet med henblik på at opnå et driftsrisikoniveau, som er på samme niveau som anvendt på Femern tunnelen. Forringede sejladsforhold udgør for broløsningerne en driftsrisiko for forbindelsen og for skibstrafikken, som kan påvirke en rangordning og det endelige valg. Sejladsforhold og Skibsstød er i nærværende Baggrundsrapport behandlet som en projektrisiko. Dvs. en risiko for fordyrelser og forsinkelser forbundet med at tilpasse designet, så driftsrisici kommer ned på et acceptabelt niveau, og som vil kunne opnå myndighedernes godkendelse.

Anlægstekniske projektrisici

Undersøgelse af de forskellige korridorer og konstruktionstyper har afdækket en række usikkerheder af teknisk karakter. Disse er i første omgang søgt reduceret ved indarbejdelse af afhjælpende tiltag som er prissat. Der er dog – pga. projektets tidlige stadie - efterladt usikkerheder, som først vil kunne kvantificeres og håndteres i en senere fase, når projektet har en større detaljeringsgrad og på baggrund af dyberegående analyser. Disse usikkerheder indebærer en risiko for forøgede anlægsomkostninger og forsinkelser, hvorfor anlægsoverslagene i nærværende fase af forundersøgelserne er tillagt et korrektionstillæg på 50% (40% for vej i terræn), se afsnit 12.2.4. Dette reduceres i kommende faser, jf. principperne i Ny anlægsbudgettering. Usikkerhederne er i det følgende grupperet under forskellige temaer kaldet projektrisikobidrag. På baggrund af vurderingen af disse projektrisikobidrag for den enkelte løsning efterfølgende lavet en vurdering af det samlede tekniske risikobidrag som kan bringes videre i en overordnet projektrisikovurdering som også inkluderer ikke-tekniske bidrag. Den samlede afvejning af projektrisici foretages af Sund & Bælt for så vidt angår kyst-kyst delen af undersøgelsen.

Projektrisikobidrag hidrørende fra planforhold samt natur- og miljøforhold kan være afgørende for den samlede projektrisiko. Disse forhold er som tidligere nævnt ikke behandlet i nærværende Baggrundsrapport.

4.3 Projektrisikobidrag

Overordnet set skal projektrisiko forstås som risikoen for at projektet fordyres, forsinkes eller i værste fald ikke kan realiseres som følge af uforudsete forhold herunder at myndighedsgodkendelser er meget vanskelige at opnå. Størrelsen af projektrisikoen kan ses som størrelsen af den mulige procentuelle fordyrelse af projektet.

En række projektrisikobidrag er ikke vurderet i nærværende Baggrundsrapport, såsom natur- og miljøforhold, planforhold, arkæologi samt ueksploderet ammunition (UXO).

Der er foretaget en vurdering af nedenstående 6 anlægstekniske projektrisikobidrag, som indgår i den samlede projektrisiko for en given løsning:

Projektering

Projekteringsrisikoen skal forstås som bidraget til projektrisikoen som hidrører fra uafklarede forhold vedrørende projekteringen af konstruktionen og den efterfølgende godkendelse af designet og opnåelse af ibrugtagningstilladelse. Projektrisikobidraget vil typisk øges i tilfælde af en konstruktion som sjælden før er set, og som der derfor er begrænsede erfaringer med. Eksempler på projekteringsrisici kan være forbundet med sikkerhedskoncepter som f.eks. uforudsete behov for vindafskærmning på høje broer eller forøgede krav til brandbeskyttelse og brandslukningskapacitet både i tunneler og broer samt behov for forøget ventilationskapacitet i lange tunneler.

Udførelse

Udførelsesrisikoen skal forstås som bidraget til projektrisikoen som hidrører fra uafklarede forhold vedrørende konstruktionsmetoder, tilgængelighed af materialer og opnåelse af myndighedsgodkendelser og ibrugtagningstilladelse. Projektrisikobidraget vil typisk øges i tilfælde af en konstruktion som sjælden før er set enten som type eller størrelse, og som der derfor er begrænsede erfaringer med. Et eksempel på en sådan udførelsesrisiko kunne være nedbrud af tunnelboremaskiner i særligt lange borede tunneler, eller sænketunneler på store vanddybder.

Geoteknik

Det geotekniske bidrag til projektrisikoen skyldes en relativt unuanceret viden om de faktiske geotekniske forhold frem til det tidspunkt, hvor egentlige detaljerede geotekniske undersøgelser er foretaget i den nøjagtige linjeføring af en given løsning. De endelige geotekniske data kan føre til et fordyret design indeholdende f.eks. pælefundering eller jordudskiftning, som ikke kan forudses på det nuværende grundlag. Under selve udførelsen kan der også dukke uforudsete geotekniske forhold op, som kan føre til forsinkelser og fordyrelser, såsom uforudsete lokale forekomster af blød bund, plastisk ler eller store sten. Forskellige konstruktionstyper kan have forskellig følsomhed over for forskellige uforudsete forhold.

Luftkvalitet i tunneler

Sikring af acceptabel luftkvalitet er af afgørende betydning for driftsfasen af en tunnel. De meget lange tunneler, som indgår i en Kattegatforbindelse, vil have længder som er på niveau eller længere end tilsvarende lange vej- og jernbanetunneler rundt omkring i verden. En lang tunnel vil medføre øgede koncentrationer af uønskede stoffer.

Modsat opleves dog i disse år en væsentlig forbedring af emissionsniveauerne for køretøjer, hvor køretøjer med tidligere EURO Emissionsnormer udfases, og hvor elkøretøjer og nyere EURO Emissionsnormer med renere rensningsteknologier gradvist indfases. Mængden af bremsestøv og partikler fra dækslid, som udgør et væsentligt bidrag til de uønskede stoffer, vil dog ikke på samme måde blive reduceret som følge af denne udvikling. Disse forhold, herunder residual kapacitet i tunnelen i forhold til de antagne trafikmængder, trafikfordeling (let/tung) og emissionsstandarder dækkes under projektrisikobidrag "Luftkvalitet i tunnel". Det skal bemærkes at der i Danmark ikke p.t. er fastlagt grænseværdier for koncentrationen af uønskede stoffer i luften i en tunnel, hvilket i sig selv repræsenterer en projektrisiko.

Sejladsforhold

Projektrisikobidraget fra sejladsforhold skal forstås som en økonomisk risiko i forbindelse med ekstraomkostninger ved at udvikle og udføre en løsning som vil medføre tilfredsstillende forhold for sejladsen i området. F.eks. kan en godkendelse af projektet fra Søfartsstyrelsens side forudsætte ændringer i projektets udformning, som på nuværende tidspunkt ikke kan forudses. Ultimativt vil en manglende accept kunne føre til, at den pågældende løsning ikke kan gennemføres. Forhøjet risiko for grundstødning eller indbyrdes kollision imellem skibe henregnes til nærværende projektrisikobidrag.

Skibsstød

Projektrisikobidraget fra skibskollisioner mod konstruktioner fokuserer alene på konsekvenserne for forbindelsen, og med udgangspunkt i en beregnet (eller estimeret) hyppighed for længerevarende afbrydelser, vurderes det om: i) en forbindelse med denne hyppighed af afbrydelser vil findes acceptabel, ii) om de foranstaltninger, bygværker og forholdsregler, der er nødvendige at opnå denne hyppighed, er i acceptabel balance med den opnåede hyppighed; og iii) om mulighederne for at varetage trafikanternes sikkerhed ved en kollision findes acceptable. For alle aspekter kræver det et omfattende analysearbejde såvel at afklare og dokumentere aspektets omfang, som at tilvejebringe basis for accept. Evalueringen i denne forundersøgelse gøres på indikativ basis og med indbyrdes sammenligning af korridorer og løsninger for øje.

4.4 Projektrisikoniveauer

Overvejelserne om projektrisiko er i nærværende Baggrundsrapport foretaget efter nedenstående kategorisering af de enkelte anlægstekniske projektrisikobidrag i 4 projektrisikoniveauer: **Lavt**, **Forventeligt**, **Forhøjet** og **Højt**. Niveauerne er relative og skal sættes i forhold til nærværende projekts kompleksitet og størrelse. I de tilfælde hvor afhjælpende tiltag er forudsat som en del af løsningen og derfor prissat, er kategoriseringen et udtryk for det resterende projektrisikobidrag. Sådanne prissatte afhjælpende tiltag inkluderer f.eks. beskyttelsesrev, beskyttelse af sænketunnel mod påsejling og flytning af linjeføringer for at undgå ufordelagtig batymetri eller for høj skibsstødsrisiko.

Når der i der i de følgende afsnit lægges vægt på i hvilken grad, der er erfaring med projektering og udførelse af en given konstruktionstype i den aktuelle størrelse, skyldes det en antagelse om, at jo mere sjælden en løsning er, jo større er risikoen for uforudsete afledte konsekvenser, som f.eks. kan være fordyrelser, forsinkelser og vanskeligheder med at opnå godkendelser. Derved kan en uprøvet, men knap så kompleks løsning medføre samme projektrisikobidrag, som en kendt, men kompleks løsning.

4.4.1 Lavt projektrisikoniveau

Kriterier for tildeling af projektrisikoniveauet **Lavt** inden for de enkelte projektrisikobidrag er angivet i det følgende.

Projektering

Projekteringsrisikoen vurderes som **Lav**, når der er tale om en konstruktion, som med hensyn til type og størrelse er almindelig, og hvormed der er god erfaring fra lignende projekter. Der vurderes således at være meget lav risiko for, at gennemførelse af projekteringen vil kræve anvendelse af højt specialiserede designtekniske løsninger.

Udførelse

Projektrisikobidraget fra udførelsen vurderes som **Lavt**, når der er tale om en konstruktion, som med hensyn til type og størrelse er almindelig, og hvormed der er god erfaring fra lignende projekter. Der vurderes således at være meget lav risiko for, at udførelsen vil kræve anvendelse af højt specialiserede anlægstekniske udførelsesmetoder.

Geoteknik

Projektrisikobidraget hidrørende fra geotekniske forhold vurderes som **Lavt**, når de geotekniske forhold i den pågældende korridor er velkendte og velbeskrevne, så der er ringe sandsynlighed for, at der under projektering og udførelse vil fremkomme information, som vil lede til behov for fordyrende ændringer i designet eller afhjælpende tiltag under udførelsen.

Luftkvalitet i tunneler

Projektrisikobidraget hidrørende fra sikring af acceptabel luftkvalitet i tunneler vurderes som **Lavt**, hvis der sandsynligvis aldrig vil være behov for at regulere trafikmængden for at sikre en luftkvalitet i tunnelen, som lever op til kravene i sammenlignelige Europæiske lande (i mangel på danske normkrav for luftkvalitet i tunneler).

Sejladsforhold

Projektrisikobidraget hidrørende fra sejladsforhold vurderes som **Lavt** når det er overvejende sandsynligt, at løsningen ikke har eller kun meget i begrænset omfang har indvirkning på sejladsforholdene omkring anlægskonstruktionen. Det vil være typisk være gældende for dele af forbindelsen, der er udført som tunnel.

Skibsstød

Projektrisikobidraget hidrørende fra skibsstød vurderes som **Lavt** når det er usandsynligt at et skib overhovedet vil kunne komme i kontakt med konstruktionen. Det vil være tilfældet ved en boret tunnel.

4.4.2 Forventeligt projektrisikoniveau

Hvor projektrisikoniveauet er fundet at ligge enten i den høje eller lave ende af **Forventeligt** er dette angivet i de respektive underafsnit "Vurdering af projektrisikobidrag" i afsnittene 6, 7, 8 og 10.

Kriterier for tildeling af projektrisikoniveauet **Forventeligt** inden for de enkelte projektrisikobidrag er angivet i det følgende.

Projektering

Projekteringsrisikoen vurderes som **Forventelig**, når der er tale om en konstruktion, som med hensyn til type og størrelse ikke er usædvanlig, og hvormed der er erfaring fra lignende internationale projekter. Der vurderes således at være lav risiko for, at gennemførelse af projekteringen vil kræve anvendelse af højt specialiserede designtekniske løsninger, som kun sjældent er set før.

Udførelse

Projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen vurderes som **Forventeligt**, når der er tale om en konstruktion, som med hensyn til type og størrelse ikke er usædvanlig, og hvormed der er erfaring fra lignende projekter. Der vurderes således at være lav risiko for, at udførelsen vil kræve anvendelse af højt specialiserede anlægstekniske udførelsesmetoder, som kun sjældent er set før.

Geoteknik

Projektrisikobidraget hidrørende fra geotekniske forhold vurderes som **Forventeligt**, når der er etableret et overordnet kendskab til de geotekniske forhold i området i form af en geologisk model, og at denne ikke giver anledning til at forvente væsentlige ændringer i de forudsatte funderingskoncepter ud over, hvad man normalt vil forvente for et projekt af denne størrelse og kompleksitet.

Luftkvalitet i tunneler

Projektrisikobidraget hidrørende fra sikring af acceptabel luftkvalitet i tunneler vurderes som **Forventeligt**, hvis der i yderst sjældent forekommende trafikale spidsbelastningssituationer vurderes at være nødvendigt at regulere trafikmængden for at kunne opnå en luftkvalitet i tunnelen, som lever op til kravene i sammenlignelige Europæiske lande (i mangel på danske normkrav for luftkvalitet i tunneler).

Sejladsforhold

Projektrisikobidraget hidrørende fra sejladsforhold vurderes som **Forventeligt**, når rammerne for omlægning og arrangement af sejladsen tilføjer kompleksitet, manøvremæssige udfordringer og logistisk begrænsning af en grad og i et omfang, som vil blive opfattet som begrænset.

Sejladsforholdene kan overvejende sandsynligt arrangeres på en måde, der kan opnå Søfartsmyndighedernes godkendelse.

Skibsstød

Projektrisikobidraget hidrørende fra skibsstød vurderes som **Forventeligt**, når:

i) den estimerede kollisionsrisiko ikke overskrider halvdelen af en motiveret øvre acceptgrænse, og

ii) den nødvendige kollisionsbeskyttelse og strukturforstærkninger er af sædvanlig type og omfang, og

iii) rettidig varsling af trafikken på forbindelsen vil være mulig for alle væsentlige kollisionsscenarier, og

iv) projektets potentielle risiko for kollisioner ikke er usædvanligt, og

v) skibstrafikken forudsættes ikke pålagt omlægning, begrænsninger eller navigationsmæssige forhold, som vil blive opfattet som usædvanlige.

4.4.3 Forhøjet projektrisikoniveau

Hvor projektrisikoniveauet er fundet at ligge enten i den høje eller lave ende af **Forhøjet** er dette angivet i de respektive underafsnit "Vurdering af projektrisikobidrag" i afsnittene 6, 7, 8 og 10.

Kriterier for tildeling af projektrisikoniveauet **Forhøjet** inden for de enkelte projektrisikobidrag er angivet i det følgende.

Projektering

Projekteringsrisikoen vurderes som **Forhøjet**, når der er tale om en konstruktion, som med hensyn til type og størrelse er sjælden, og hvormed der er meget begrænset erfaring fra lignende internationale projekter. Der vurderes således at være betydelig risiko for, at gennemførelse af projekteringen vil kræve anvendelse af højt specialiserede designtekniske løsninger, som kun sjældent er set før.

Udførelse

Projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen vurderes som **Forhøjet**, når der er tale om en konstruktion, som med hensyn til type og størrelse er sjælden, og hvormed der er meget begrænset erfaring fra lignende projekter. Der vurderes således at være betydelig risiko for, at udførelsen vil kræve anvendelse af højt specialiserede anlægstekniske udførelsesmetoder, som kun sjældent er set før.

Geoteknik

Projektrisikobidraget hidrørende fra geotekniske forhold vurderes som **Forhøjet**, når der er indikationer af særlige forekomster af f.eks. blød bund eller plastisk ler, som vil kunne medføre væsentlige fordyrelser af designet eller af udførelsen, og disse ikke kan kvantificeres tilstrækkeligt og dermed indarbejdes i anlægsoverslaget i nærværende forundersøgelsesfase.

Luftkvalitet i tunneler

Projektrisikobidraget hidrørende fra sikring af acceptabel luftkvalitet i tunneler vurderes som **Forhøjet**, hvis der i sjældent forekommende trafikale spidsbelastningssituationer vurderes at være nødvendigt at regulere trafikmængden i tunnelen for at kunne opnå en luftkvalitet i tunnelen, som lever op til kravene i sammenlignelige Europæiske lande (i mangel på danske normkrav for luftkvalitet i tunneler).

Sejladsforhold

Projektrisikobidraget hidrørende fra sejladsforhold vurderes som **Forhøjet**, når rammerne for omlægning og arrangement af sejladsen tilføjer kompleksitet, manøvremæssige udfordringer eller logistisk begrænsning af en grad og/eller i et omfang, som vil blive opfattet som betydeligt eller som uhensigtsmæssigt i forhold til oplagte alternativer.

Sejladsforholdene kan muligvis ikke arrangeres på en måde, der kan opnå Søfartsmyndighedernes godkendelse.

Skibsstød

Projektrisikobidraget hidrørende fra skibsstød vurderes som **Forhøjet**, når:

i) den estimerede kollisionsrisiko overskrider halvdelen af en motiveret øvre acceptgrænse, eller

ii) den nødvendige kollisionsbeskyttelse og strukturforstærkninger er af ikke sædvanlig type eller omfang, eller

iii) rettidig varsling af trafikken på forbindelsen vil være vanskelig for betydende kollisionsscenarier, eller

iv) projektets potentielle risiko for kollisioner er uhensigtsmæssig stort i forhold til mere oplagte alternativer, eller

v) skibstrafikken forudsættes pålagt omlægning, begrænsninger eller navigationsmæssige forhold, som vil blive opfattet som betydelige i forhold til mere oplagte alternativer.

4.4.4 Højt projektrisikoniveau

Kriterier for tildeling af projektrisikoniveauet **Højt** inden for de enkelte projektrisikobidrag er angivet i det følgende.

Projektering

Projektrisikobidraget vurderes som **Højt**, når der er tale om en konstruktion, som med hensyn til type og størrelse er særdeles usædvanlig, og hvormed der er meget begrænset erfaring fra lignende internationale projekter. Det vurderes således at projekteringen med stor sandsynlighed vil kræve højt specialiserede og usædvanlige designtekniske løsninger, som ikke er gennemført før.

Udførelse

Projektrisikobidraget vurderes som **Højt**, når der er tale om en konstruktion, som med hensyn til type og størrelse er særdeles usædvanlig, og hvormed der er meget begrænset erfaring fra lignende internationale projekter. Det vurderes således, at udførelsen med stor sandsynlighed vil kræve højt specialiserede og usædvanlige anlægstekniske udførelsesmetoder, som ikke er gennemført før.

Geoteknik

Projektrisikobidraget hidrørende fra geotekniske forhold vurderes som **Højt**, når der er klare indikationer af omfangsrige forekomster af f.eks. blød bund eller plastisk ler, som vil kunne medføre markante fordyrelser af designet eller af udførelsen, og at disse ikke kan kvantificeres tilstrækkeligt og dermed indarbejdes i anlægsoverslaget i nærværende forundersøgelsesfase.

Luftkvalitet i tunneler

Projektrisikobidraget vurderes som **Højt**, hvis der i normalt forekommende trafikale spidsbelastningssituationer vurderes at være nødvendigt at regulere trafikmængden i tunnelen for at kunne opnå en luftkvalitet i tunnelen, som lever op til kravene i sammenlignelige Europæiske lande (i mangel på danske normkrav for luftkvalitet i tunneler).

Sejladsforhold

Projektrisikobidraget hidrørende fra sejladsforhold vurderes som **Højt**, når rammerne for omlægning og arrangement af sejladsen tilføjer kompleksitet, manøvremæssige udfordringer eller logistisk begrænsning af en grad og/eller i et omfang, som vil blive opfattet som uacceptabelt eller som meget uhensigtsmæssigt i forhold til oplagte alternativer.

Sejladsforholdene kan sandsynligvis ikke arrangeres på en måde, der kan opnå Søfartsmyndighedernes godkendelse.

Skibsstød

Projektrisikobidraget hidrørende fra skibsstød vurderes som **Højt**, når:

i) den estimerede kollisionsrisiko overskrider en motiveret øvre acceptgrænse, eller

ii) den forudsatte kollisionsbeskyttelse og strukturforstærkninger er af et usædvanligt og gennemgribende omfang, eller

iii) de forudsatte forebyggende eller beskyttende tiltag er af en type, der ikke tidligere er set anvendt, eller

iv) rettidig varsling af trafikken på forbindelsen er tvivlsom for betydende kollisionsscenarier.

For hver korridorløsning er der foretaget en kategorisering af de enkelte projektrisikobidrag i henhold til ovenstående niveauer. Resultatet heraf er sammenfattet i afsnit 11.

5 Konstruktionstyper

De konstruktionstyper, det er valgt at se nærmere på for anlæg af kyst-kyst delen omfatter både broer og tunneler.

Broløsninger er enten kabelbårne broer ved behov for store spændvidder eller bjælkebroer hvor spændvidder op til 200 m er tilstrækkelige. Nødvendig spændvidde fastlægges ud fra bl.a. geotekniske forhold, vanddybder, sejladsforhold, risiko for skibsstød og anlægstekniske forhold. Brotypen og spændvidde er for bjælkebroer valgt ud fra en økonomisk vurdering af mest optimale brotype i forhold til bl.a. vanddybde og skibstrafik.

Tunnelløsninger er enten sænketunneler eller borede tunneler med strækning af cut & cover tunnel og ramper imellem terræn og den undersøiske tunnel.

Der er i denne forundersøgelse ikke foretaget analyse af om dæmninger fra land vil kunne reducere bro eller tunnel, fordi det vurderes sandsynligt at en dæmning i et eller andet omfang vil have en miljømæssig konsekvens grundet ændrede strømforhold. Det anbefales at dette analyseres nærmere i en senere fase af projektet.

Hvor tunnel eller bro med fordel kan anvendes på en del af kyst-kyst forbindelsen kan bro kombineres med tunnel ved at anlægge en kunstig ø som overgangskonstruktion.

Sikkerhedsmålsætningen, udtrykt i beregnet risiko for fatale hændelser per kørt strækning for både bro og tunnel, forventes at være den samme som den er for en tilsvarende strækning i åbent terræn. Ligeledes forventes det, at der vil blive stillet de samme høje krav til driftspålidelighed for en bro og en tunnel. Det vurderes - baseret på en forventning om høje krav - at der ikke vil være væsentlige forskelle i brugersikkerheden og i driftspålideligheden for en bro, en sænketunnel og en boret tunnel. Tunneler i kombination med lavbro har til formål at reducere tunnellængden og dermed de samlede anlægsomkostninger.

Fordelen ved tunneler på Kattegatforbindelsen er først og fremmest at man undgår konflikt med skibstrafikken. Tunneller påvirker ikke landskabet, på samme måde som en bro. Borede tunneler påvirker ikke vandmiljøet, på samme måde som en sænketunnel, men en boret tunnel har andre udfordringer ved ilandføringspunkter med dybe udgravninger, som en sænketunnel ikke har.

Generelle konstruktionsløsninger beskrives i følgende afsnit.

5.1 Broer

5.1.1 Brotyper og begreber

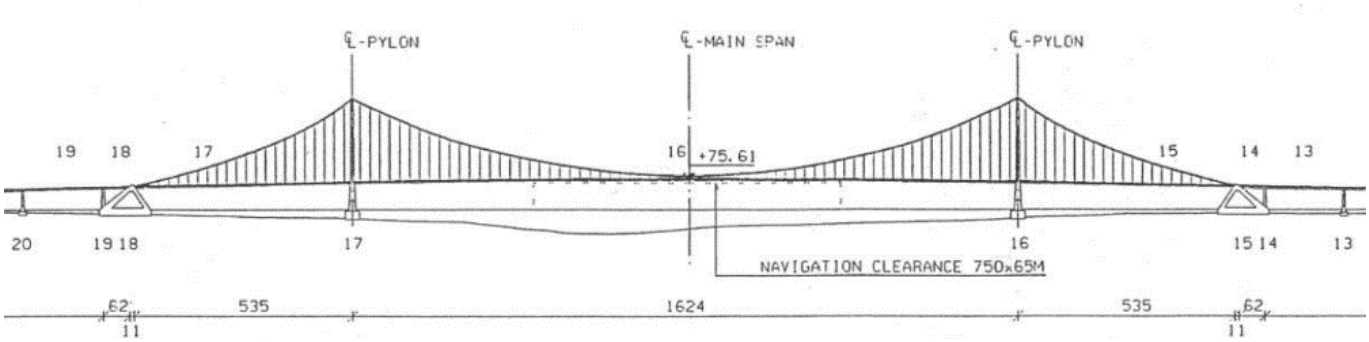
En oversigt over de i denne Baggrundsrapport anvendte brotyper og tilhørende begreber er angivet i Tabel 5-1.

Tabel 5-1 Oversigt over brotyper og begreber

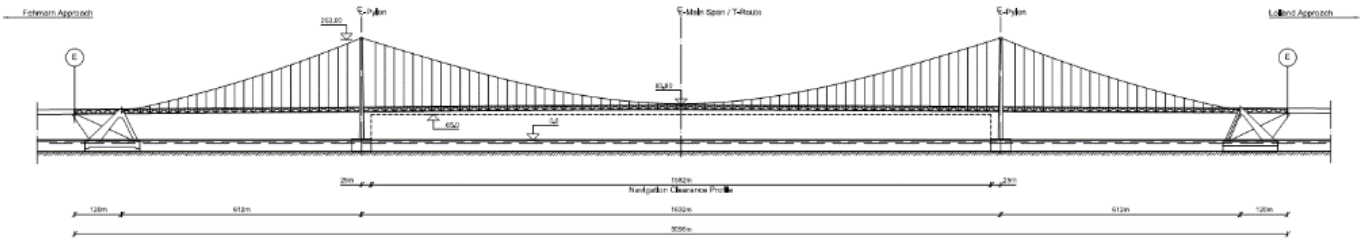
Funktion	Bærende system	Brotype	Spændvidder	Materialer og tværsnits-type i overbygning
Gennemsej-lingsfag (primært)	Kabelbårne	Hængebro	1630 – 1900 m	Stålkassedrager
				Stålgitterdrager
		Skråstagsbro	300 – 750 m	Stålkassedrager
				Stålgitterdrager
	Bjælkebroer	Højbro	200 m	Stålkassedrager
Tilslutnings-broer	Bjælkebroer	Højbro	200 m	Stålkassedrager
				Kompositgitterdrager
		Lavbro	100 m	Betonkassedrager
			60 m	
Udfletning bane/vej	Bjælkebroer	Udfletnings-bro	< 60 m	Betonkassedrager, -plader og -rammer

5.1.2 Hængebroer

Hvor sejladsforhold kræver stor navigationsbredde er anvendt hængebro. Dette gør sig gældende ved krydsning af Rute T, som løber mellem Sjælland og Samsø, og som fortsætter ned i Storebælt og ud i Østersøen. Det er derfor nærliggende at anvende en hængebroløsning svarende til Storebælt Østbro eller Femernbælt konceptdesign af hængebro. Disse to broer er vist i Figur 5-1 hhv. Figur 5-2.



Figur 5-1 Hængebro (eksempel fra Storebælt Østbro)



Figur 5-2 Hængebro (eksempel fra Femernbælt konceptdesign)

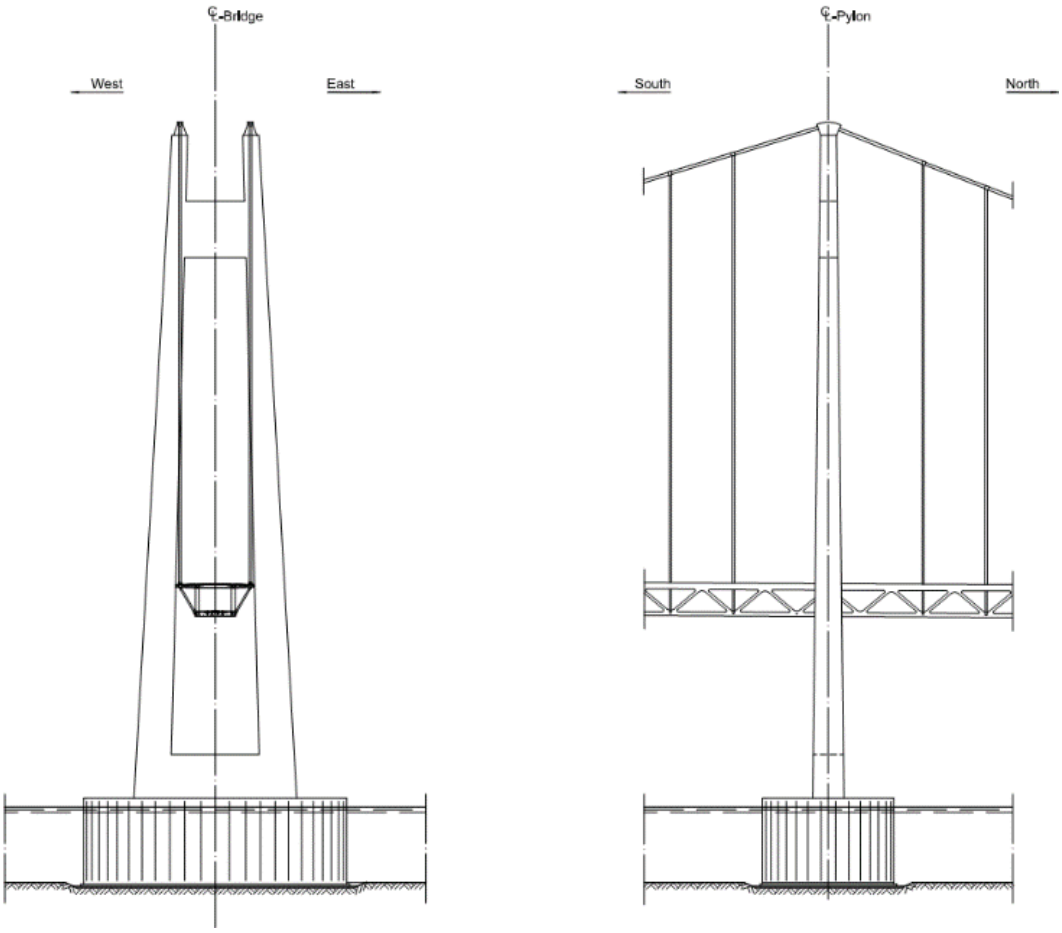
Storebælt Østbro er en ren vejbro med lukket stålkassedrager og 1624 m spændvidde af hovedfaget. Hængebroen er afgrænset af ekspansionsfuger beliggende ved top-punkt af ankerblokke, hvor sidefagene ender, og hovedkablerne forankres. Denne beliggenhed af ekspansionsfuger giver forholdsvis store vinkeldrejninger ved fugen for trafiklast, men det er acceptabelt, når der kun er vejtrafik på bro. Længden af hængebroen er i alt 2694 m målt mellem ekspansionsfuger. Storebælt Østbro konfigurationen er anvendt for Kattegatforbindelse med kun vejtrafik (4+0) hvor skæring er vinkelret på sejlruten, dog er den samlede længde afrundet til 2700 m. Ved skrå skæring af sejlruten øges længde af hovedfag og øvrige dimensioner.

Femernbælt konceptdesign for hængebro adskiller sig fra Storebælt Østbro ved at være en kombineret vej- og jernbanebro. Spændvidden af hovedfaget er 1632 m og den samlede længde af hængebroen er 3096 m målt mellem ekspansionsfuger. På grund af jernbanen er der skrappere krav til nedbøjninger og vinkeldrejninger fra trafiklast. Brodrageren er derfor udformet som en stålgitterdrager med trafik i to etager. Dette sikrer større stivhed og dermed mindre nedbøjninger og vinkeldrejninger. For yderligere at reducere vinkeldrejninger ved ekspansionsfugerne er der introduceret et kort fag mellem sidefag og tilslutningsbro og ekspansionsfugen er placeret mellem dette korte fag og tilslutningsbroerne. Herved bliver deformationer fra det lange ophængte sidefag reduceret inden ekspansionsfugen.

Jernbanelasten vil blive mindre på Kattegatforbindelsen end for Femernbælt konceptdesign, idet Kattegatforbindelsen ikke skal designes for godstog, men det er vurderet fordelagtigt alligevel at anvende Femernbælt konfigurationen for Kattegatforbindelse med både vej og jernbane for at sikre acceptable deformationer for passagertogtrafikken. Konfigurationen anvendes hvor skæring er vinkelret på sejlruten, dog er den samlede længde af hængebro afrundet til 3090 m. Ved skrå skæring øges længde af hovedfag og øvrige dimensioner.

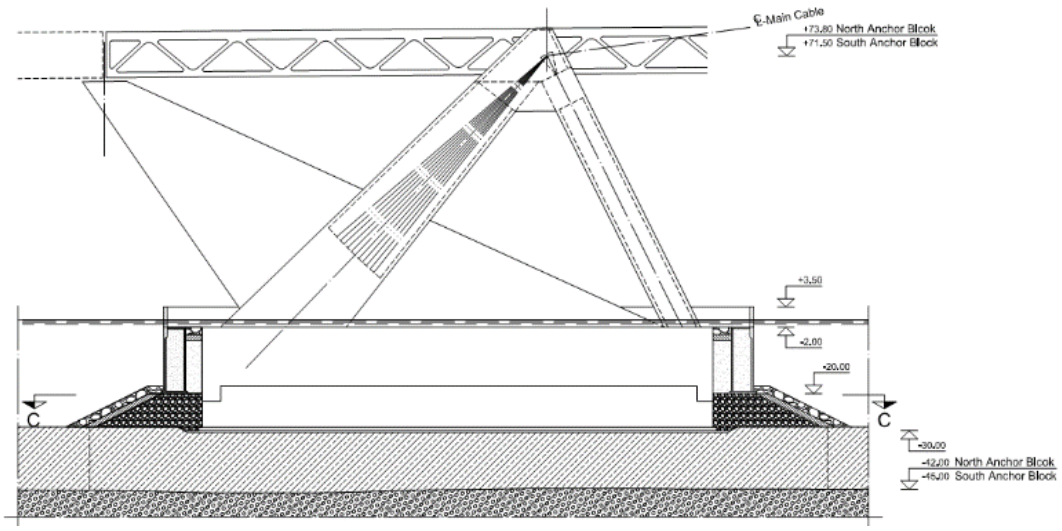
Øget brolængde for løsninger med kombineret vej og jernbane er 390 m hvor skæring er vinkelret på sejlruten.

Pyloner for hængebro er udformet som Storebælt Østbro eller Femernbælt konceptdesign. Sidstnævnte vist i Figur 5-3 adskiller sig ved kun at have 1 tværbjælke mod 2 på Storebælt.



Figur 5-3 Pylon hængebro (eksempel fra Femernbælt konceptdesign)

Ankerblokken er antaget udformet som vist i Figur 5-4.



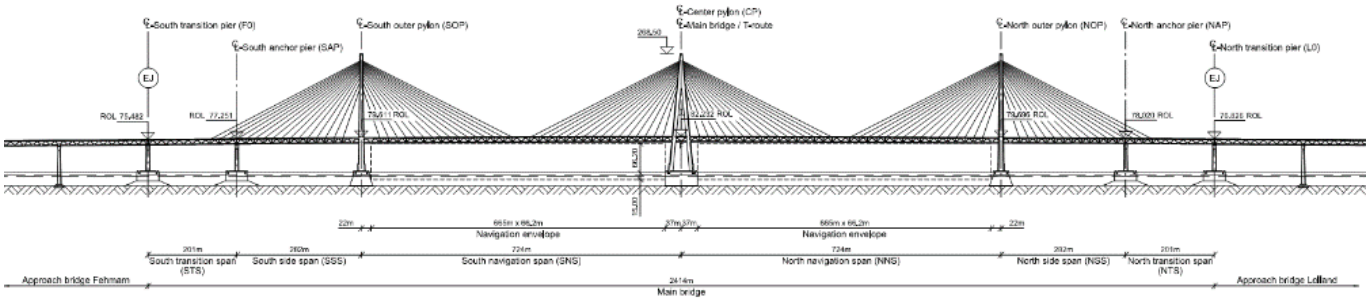
Figur 5-4 Ankerblok (eksempel fra Femernbælt konceptdesign)

Uden om ankerblokkene er der placeret en cirkulær beskyttelsesvæg af hensyn til sikring mod skibsstød. Området mellem ankerblok og beskyttelsesvæg er antaget fyldt med sand- eller stenfyld.

Placeringen af pyloner og ankerblokke er et foreløbigt skøn, og vurderes at kunne blive justeret 200 m eller mere. Den endelige placering vil bl.a. blive bestemt af detaljeret batymetri, geotekniske forhold og længde af hovedfag.

5.1.3 Skråstagsbroer

Skråstagsbroer er generelt en billigere brotype ved spændvidder op til 1.200-1.400 m med kortere byggetid end hængebroer. Hvor det er muligt at opdele navigationsbredden i to separate fag, og dermed reducere spændvidden, er derfor anvendt skråstagsbro med 3 pyloner i stedet for hængebro. Dette gør sig gældende, hvor de sydligste korridorer mellem Sjælland og Samsø (KKØ-3 og KKØ-4) krydser Rute T, da vanddybden her er lavere ved den central pylon. Skibstrafik og vanddybder er sammenlignelige med Femernbælt, og det er derfor nærliggende at anvende en skråstagsbro løsning svarende til Femernbælt konceptdesign. Der ligger meget grundige analyser bag dette konceptdesign, så det kan forudsættes at være grundigt optimeret til de gældende forhold i Femern Bælt mht. geotekniske forhold og skibstrafik. Dette design er vist i Figur 5-5.

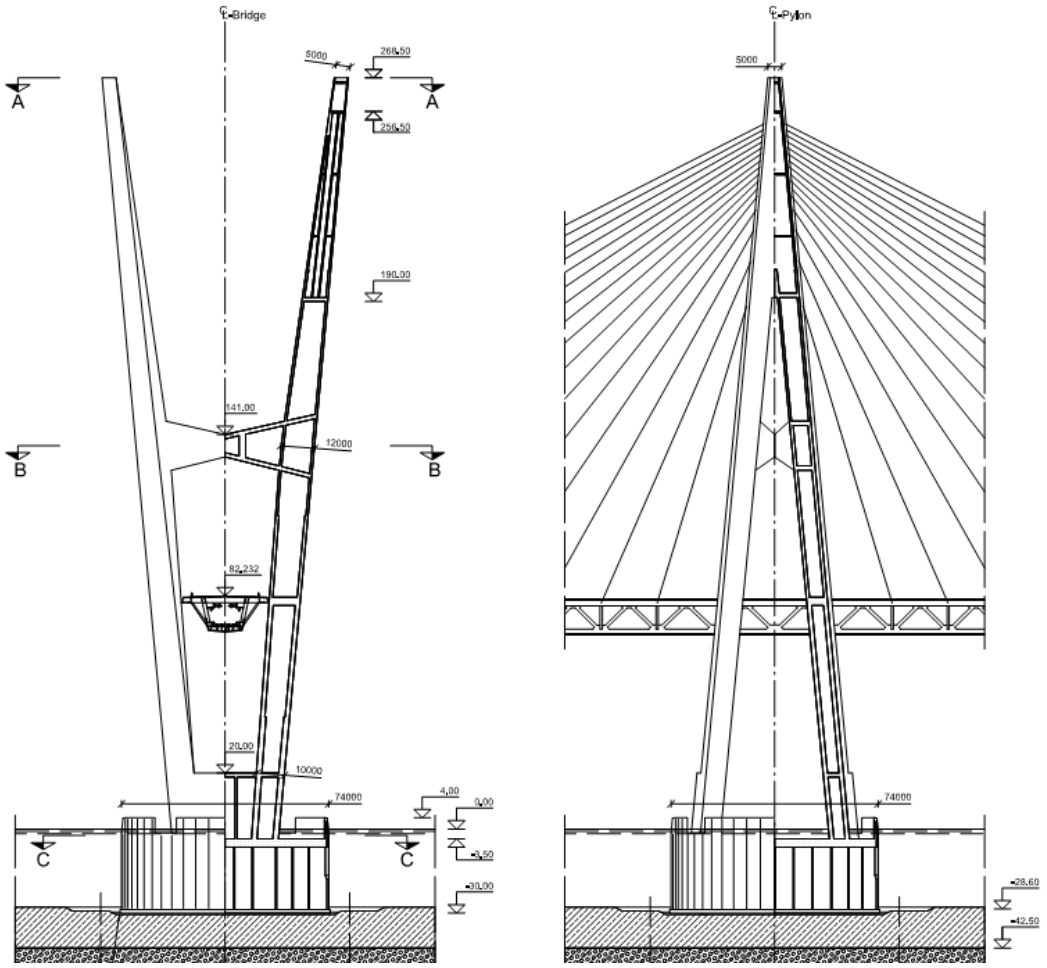


Figur 5-5 Skråstagsbro (eksempel fra Femernbælt konceptdesign)

Femernbælt konceptdesign er en kombineret vej og jernbanebro. På grund af jernbanen er der skrappe krav til nedbøjninger og vinkeldrejninger fra trafiklast. Brodrageren er derfor udformet som en stål gitterdrager med trafik i to etager. Dette sikrer større stivhed og dermed mindre nedbøjninger og vinkeldrejninger. For yderligere at reducere vinkeldrejninger ved ekspansionsfugerne er der introduceret et fag mellem sidefag og tilslutningsbro, og ekspansionsfugen er placeret mellem dette fag og tilslutningsbroerne. Herved bliver deformationer fra det lange ophængte sidefag reduceret inden ekspansionsfugen.

Jernbanelasten vil blive mindre på Kattegatforbindelsen end for Femernbælt konceptdesign, idet Kattegatforbindelsen ikke skal designes for godstog, men det er alligevel vurderet fordelagtigt at anvende Femernbælt konfigurationen for en Kattegatforbindelse med både vej og jernbane for at sikre acceptable deformationer for passagertogstrafikken.

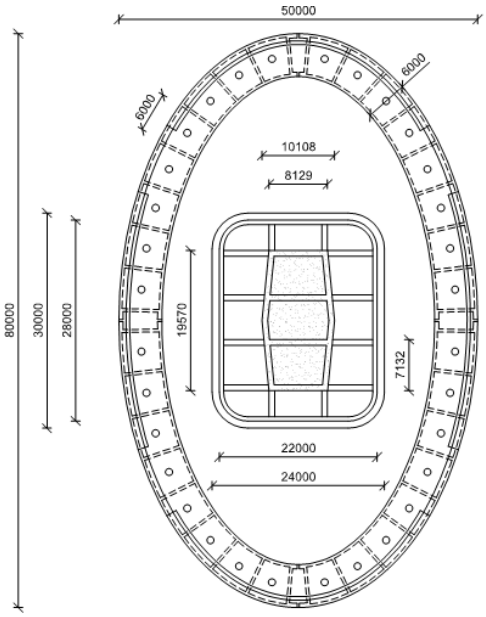
Pyloner for skråstagsbro er udformet som Femernbælt konceptdesign. Den centrale pylon har 4 ben for øget stivhed og styrke og er vist i Figur 5-6. De to øvrige pyloner har hver 2 ben.



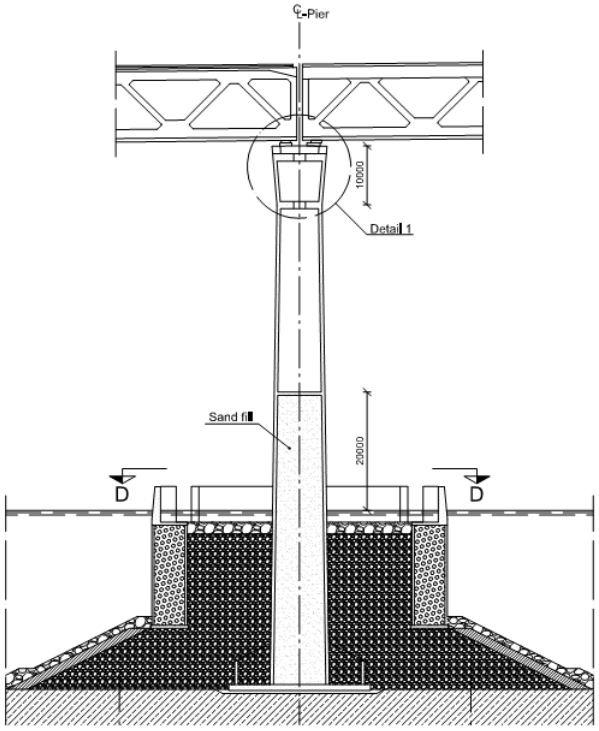
Figur 5-6 Pylon skråstagsbro (eksempel fra Femernbælt konceptdesign)

Pylonfundamenterne er udformet som sænkekasser med henholdsvis cirkulær form for den centrale pylon og elliptisk form med varierende tværsnit for de to ydre pyloner.

Uden om ankerpillerne og overgangspillerne er der placeret en ellipseformet beskyttelses væg af hensyn til sikring mod skibsstød med hovedakser på 80 m på tværs af broen og 50 m i brolinjen. Området mellem den primære pille og beskyttelsesvæggen er antaget fyldt med sand- eller stenfyld. Løsningen er vist i Figur 5-7 og Figur 5-8 for overgangspille mellem skråstagsbro og tilslutningsbro. Løsningen ved ankerpiller er magen til.



Figur 5-7 Skibsstødsbeskyttelse af overgangspille skråstagsbro, plan (eksempel fra Femern-bælt konceptdesign)



Figur 5-8 Skibsstødsbeskyttelse af overgangspille skråstagsbro, opstalt (eksempel fra Femernbælt konceptdesign)

Placering af pyloner er i nuværende fase foreløbig, og vurderes at kunne blive justeret op til 200 m. Den endelige placering vil bl.a. blive bestemt af detaljeret batymetri, geotekniske forhold og længde af hovedfag.

5.1.4 Bjælkebroer

5.1.4.1 Optimale spændvidder

Bjælkebroer er anvendt for spændvidder op til 200 m. Bjælkebroer anvendt for Kattegatforbindelsen er opdelt i højbroer og lavbroer.

5.1.4.2 Højbroer

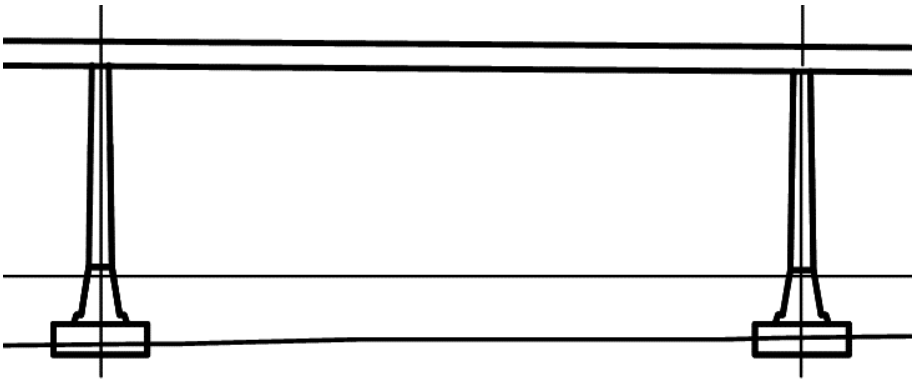
Højbro med stor spændvidde er anvendt hvor en eller flere af følgende forhold gør sig gældende:

- Hvor der krav om navigationsbredde og højde for mindre og mellemstor kommerciel skibstrafik;
- Minimering af risiko for skibsstød også ved fag længere væk fra gennemsejlingsfag;
- Stor vanddybde og dermed fordel af større spændvidde og færre bropiller.

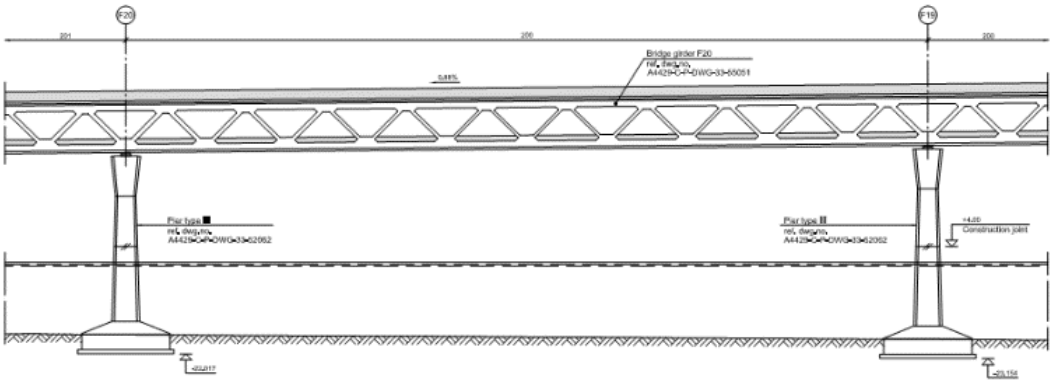
Spændvidde for højbro på Kattegatforbindelsen er i denne undersøgelse fastlagt til 200 m, som er fundet at være optimalt for sammenlignelige forbindelser i Danmark med tilsvarende jordbundsforhold og vanddybder. Disse er:

- For vejbro er dette sammenligneligt med tilslutningsfagene på Storebælt Østbro, som har spændvidde på 193 m, se Figur 5-9;
- For kombineret vej og jernbane er denne spændvidde fundet optimalt for tilsvarende tilslutningsfag for det meget gennemarbejdede Femernbælt konceptdesign, se Figur 5-10. Trods mindre toglast er øget spændvidde ikke foreslået på grund af moderat vanddybde og gode funderingsforhold;

I analysen at tekniske løsninger er taget udgangspunkt i en nødvendig navigationsbredde på 170 m for broer der krydser sejlrenden vest for Samsø, hvilket svarer til en spændvidde på 200 m. Der er parallelt med denne analyse foretaget analyse af konsekvensen af denne spændvidde i forhold til at tvinge de største skibe til at sejle øst om Samsø, se fagnotat "KKV - Sejladsforhold og risiko for skibskollision" [9]. En eventuel justering af navigationsåbningens størrelse vil være mulig, omend en markant forøgelse vil nødvendiggøre gennemsejlingsfaget udført som en kabelbåren bro i stedet for som en bjælkebro.



Figur 5-9 Højbro med trafik i ét niveau (eksempel fra Storebælt Østbro)



Figur 5-10 Højbro med trafik i to niveauer (eksempel fra Femernbælt konceptdesign)

5.1.4.3 Lavbroer

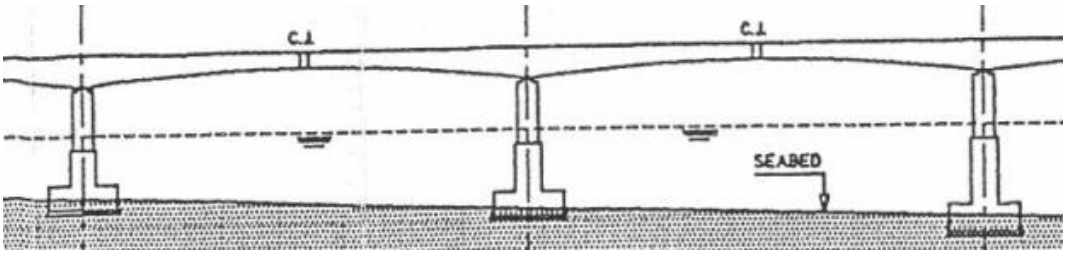
Lavbro med moderat spændvidde er anvendt, hvor en eller flere af følgende forhold gør sig gældende:

- Ingen eller kun beskedne krav til navigationsbredde og højde;
- Begrænset risiko for skibsstød;
- Lav til moderat vanddybde og dermed fordel af reduceret spændvidde og hermed billigere overbygning, dog på bekostning af flere bropiller.

Spændvidde for lavbroer på Kattegatforbindelsen er fastlagt til følgende:

- 100 m generelt;
- 60 m for broer på meget lav vanddybde.

Den generelle spændvidde på 100 m er baseret på Storebælt Vestbro som typisk har 110,4 m lange fag, se Figur 5-11.



Figur 5-11 Lavbro med 100 m spændvidde (eksempel fra Storebælt Vestbro)

Denne spændvidde er i den øvre ende sammenlignet med andre lange internationale krydsninger med betonbroer, som typisk har spændvidder på 60 m til 80 m. For meget lange krydsninger giver korte spændvidder et stort antal bropiller som æstetisk ikke er hensigtsmæssigt. Spændvidden på 100 m reducerer antal af bropiller samtidig med, at overbygningen ikke bliver tungere, end at brofag kan sejles ud og monteres i fuld fag-længde. Endelig vil designet af en bro med større spændvidde samlet set lede til en mindre risiko forbundet med skibsstød og give bedre sejladsforhold for lystbåde.

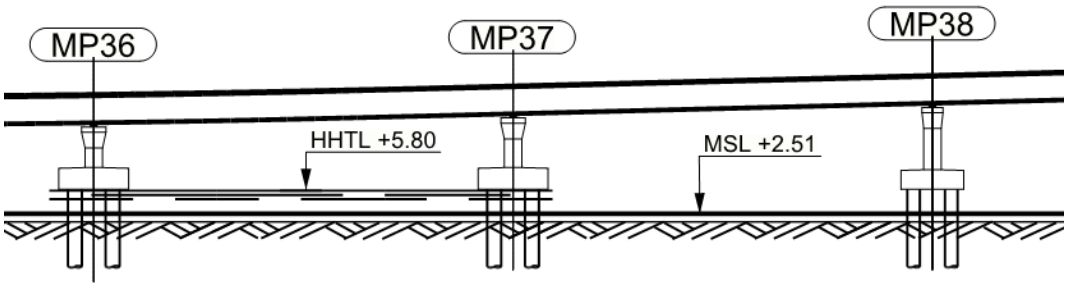
Brodrageren har varierende højde.

Ekspansionsfuger forudsættes anordnet ved fagmidte, men i modsætning til Storebælt Vestbro uden en ekstra bropille.

Lavbro med spændvidde ned til 60 m er gunstig på lav vanddybde, hvor underbygningen er billigere, og hvor større skibe ikke kan sejle. Denne spændvidde er valgt baseret på andre lange internationale krydsninger på lavt vand, som f.eks.:

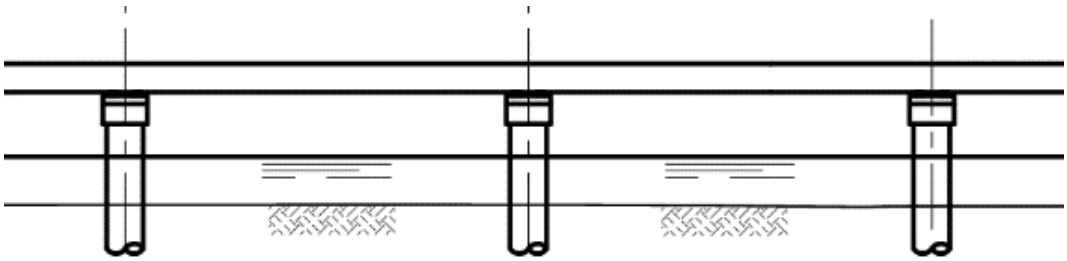
- Temburong fixed link i Brunei med 50 m fag som netop er åbnet;
- Qatar-Bahrain Causeway med 50 m fag (projektet blev stoppet under detailprojektering)
- Sheikh Jaber Al Ahmad Al Sabah causeway i Kuwait med 60 m fag;
- Mumbai Trans Harbour i Indien med 60 m fag, som er ved at blive bygget;
- Puente Nigale i Venezuela med 75 m fag (projektet blev stoppet under byggeriet).

Eksempel på en bro med 60 m fag er vist i Figur 5-12. Denne bro har pælefundamenter men på Kattegat vurderes direkte fundering generelt at kunne anvendes.



Figur 5-12 Lavbro med 60 m spændvidde (eksempel fra Mumbai Trans Harbour)

Eksempel på en bro med mono-piles er vist i Figur 5-13. Denne bro har dog 50 m fag.

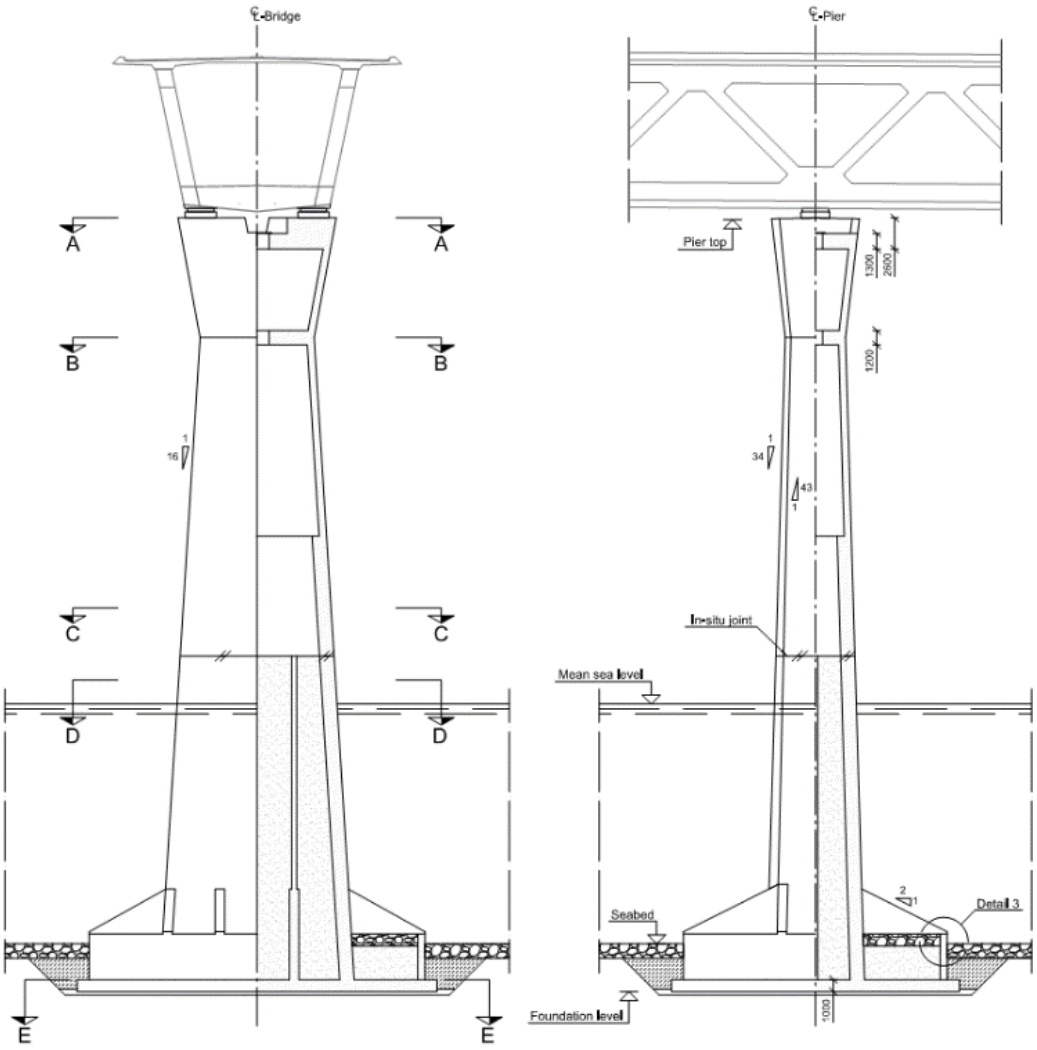


Figur 5-13 Lavbro med 50 m spændvidde (eksempel fra Qatar-Bahrain Causeway)

Brodrageren har konstant højde.

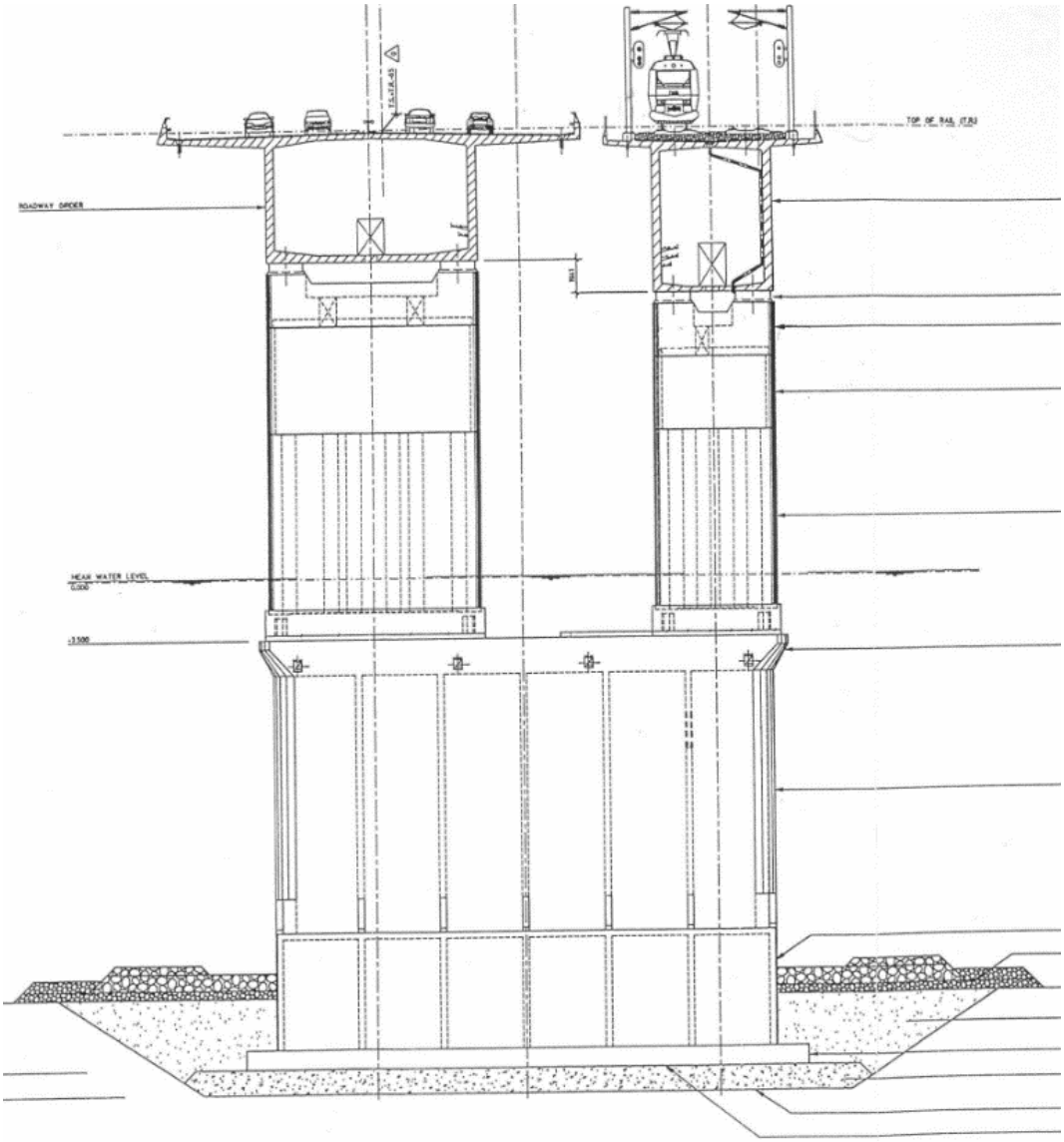
5.1.4.4 Bropiller

Typisk vil der være tale om direkte fundering, og derfor er anvendt caisson fundamenter med pilleskaft ovenpå. Eksempel på udformning af bropille for højbro er vist i Figur 5-14.



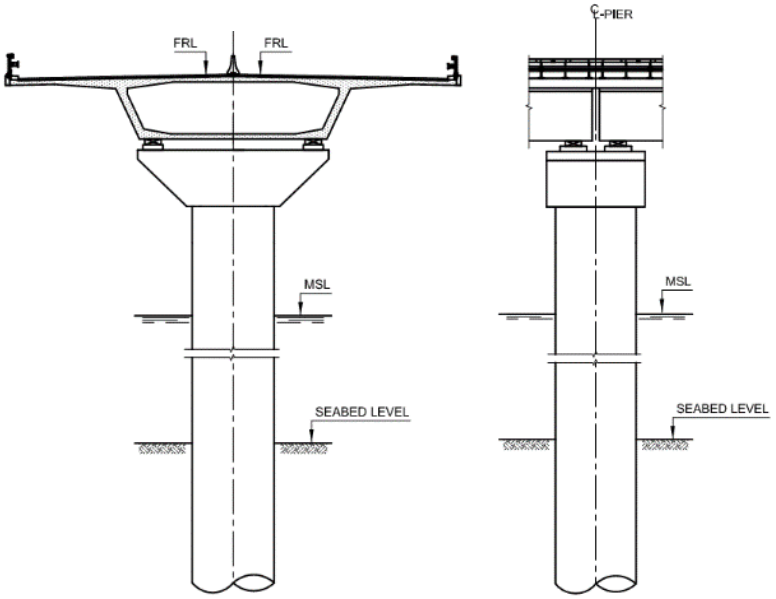
Figur 5-14 Bropille højbro (eksempel fra Femernbælt konceptdesign)

For lavbro med 100 m spændvidde og kombineret vej og jernbane vil de to separate dragere være understøttet på hvert sit pilleskaft men med fælles caisson, som på Storebælt Vestbro vist i Figur 5-15. Hvis der er moderat forskel på højden af de to brodragere, kan de to separate pilleskafter udskiftes med en ramme bestående af to mindre søjler og en tværbjælke i toppen. Herved kan opnås øget kapacitet mod skibsstøb på tværs af broen grundet rammevirkning, men på bekostning af mindre langsgående kapacitet, da pilleskafterne er mindre. Dette er dog mindre væsentligt, da de største skibsstød virker i tværgående retning. En løsning med kun et pilleskaft og hammerhoved er ikke en økonomisk gunstig løsning for nødvendig bredde af brodæk på næsten 40 m.



Figur 5-15 Bropille lavbro (eksempel fra Storebælt Vestbro)

For lavbro med 60 m spændvidde og lav vanddybde kan direkte fundering muligvis med fordel ændres til "mono-pile" løsning med cirkulære pæle rammet eller boret ned i havbunden og fortsat som pilleskaft. Herved kan der være mulighed for at reducere betonmængder og påvirkning af havbundsmiljø under byggeriet. Eksempel på mono-pile underbygning er vist i Figur 5-16.



Figur 5-16 Bropille lavbro (eksempel fra Qatar-Bahrain Causeway)

Prisoverslagne er i nuværende fase baseret på enhedspriser etableret ud fra referenceprojekter. Disse enhedspriser tager ikke eksplicit hensyn til type af fundering, idet kun samlet pris af broerne og broareal indgår i beregning af enhedspriserne brugt til prisoverslagene. Det skal dog bemærkes at funderingen tegner sig for en mindre del af den samlede anlægsomkostning. Endvidere er der ved fastlæggelse af enhedspriserne fokuseret på skandinaviske referenceprojekter, herunder Vestbroen over Storebælt. Sidstnævnte med funderingsforhold meget lig forholdene i Kattegat. En del referenceprojekter er dog pælefunderede, hvilket der konservativt ikke er korrigeret for. Den økonomiske fordel ved anvendelse af mono-piles bør undersøges i næste fase baseres på en mere forfinet beregning.

5.1.4.5 Fundamenter og funderingsmetoder

Den geotekniske screening konkluderede, at der i forskellige områder må forventes udskiftning af blød bund i varierende tykkelse, og der vil også kunne være behov for pælefundering af bygværker nogle steder, men ellers forventes det, at direkte fundering generelt kan anvendes (se afsnit 6.1).

5.1.5 Byggemetoder

Byggemetoder for de forskellige brotyper er beskrevet overordnet i følgende afsnit. For detaljerede beskrivelser af især underbygningen og forhold relateret til miljø, se særskilt fagnotat "Interfaceinformation til miljøundersøgelser" [10].

5.1.5.1 Hængebroer

Anlægsmetoden for fundamenter til pyloner og ankerblokke antages at være baseret på sænkekasser udført i en tørdok. Efter færdiggørelsen i tørdokken bugseres sænkekasserne til brostedet og nedsænkes ved kontrolleret ballastering med vand til der opnås kontakt med en på forhånd udlagt stenpude. For ankerblokkene antages det, at der skal installeres en cirkulær skibsstødsbeskyttelse omkring den primære ankerblok sænkekasse. Denne ring antages at være baseret på et antal mindre sænkekasser som

placeres omkring den primære sænkekasse og forbindes med en in-situ støbt del over vandoverfladen.

Når pyloner og ankerblokke er færdige, vil montage af hovedkabelsystemet foregå. Senere vil brodæksektioner transporteres til brostedet, placeres under broen og monteres med kraner, som understøttes på hovedkablet. I denne situation vil transportfartøjet skulle være placeret i brolinjen i et stykke tid, mens brodæksektionen løftes op fra transportfartøjet. Her må der forventes, at der er restriktioner på øvrig sejlads.

Beskyttelsesvæggen ved ankerblokke antages at være baseret på et antal præfabrikerede segmenter udført på land og installeret med flydekran som beskrevet for pillerne. Disse segmenter sammenstøbes in-situ med en tyk plade over vandlinjen.

5.1.5.2 Skråstagsbroer

Anlægsmetode for pyloner er som beskrevet for hængebro. Når pyloner har nået en højde svarende til laveste skråstag, vil montage af brodrageren starte som fri frembygning ud fra pylonerne. Brodæksektioner transporteres til brostedet, placeres under broen og monteres med kraner, som understøttes på forrige monteret brodæk. I denne situation vil transportfartøjet skulle være placeret i brolinjen i et stykke tid, mens brodæksektionen løftes op fra transportfartøjet. Her må der forventes, at der er restriktioner på øvrig sejlads. Herefter understøttes brosektionen af kran mens det forbindes til forrige sektion og skråstag installeres.

Beskyttelsesvæggen ved anker- og overgangspiller antages at være baseret på et antal præfabrikerede segmenter udført på land og installeret med flydekran som beskrevet for pillerne. Disse segmenter sammenstøbes in-situ med en tyk plade over vandlinjen.

5.1.5.3 Bjælkebroer

Baseret på det nuværende geologiske længdeprofil er det vurderet at pillefundamenterne har fundaments niveau 4,0 m under havbund og er placeret på en stenpude med tykkelse 1m, dvs. udgravningsdybden er 5,0 m. Udgravnings skrænten er antaget at være 1:2 og erosionsbeskyttelsen er placeret under eksisterende havbund. Pillefundamenter og -skafter forventes præfabrikeret på en produktionsplads udenfor arbejdsområdet, og transporteret f.eks. på pram og placeret i brolinjen med flydekran eller et specialdesignet montagefartøj.

For lavbro med 60 m fag antages bropillerne udført som borede pæle, dvs. uden afgravning. Der anvendes casing ved boring i øvre løse jordlag. Herved minimeres sedimentspild. Casing kan enten efterlades eller trækkes op når pælen er støbt.

Højbro brodragere fabrikeres i land i 200 m segmenter svarende til faglængden.

Betondrageren for lavbro med 100 m fag fabrikeres på land i segmenter f.eks. med længde svarende til halv faglængde udkragning til hver side af understøtningspunkt ved bropille. De præfabrikerede fag sejles ud til brolinjen, monteres på bropille og støbes sammen ved fagmidte på stedet.

Betondrageren for lavbro med 60 m fag fabrikeres på land enten i små segmenter eller sejles ud og montres i hele fag.

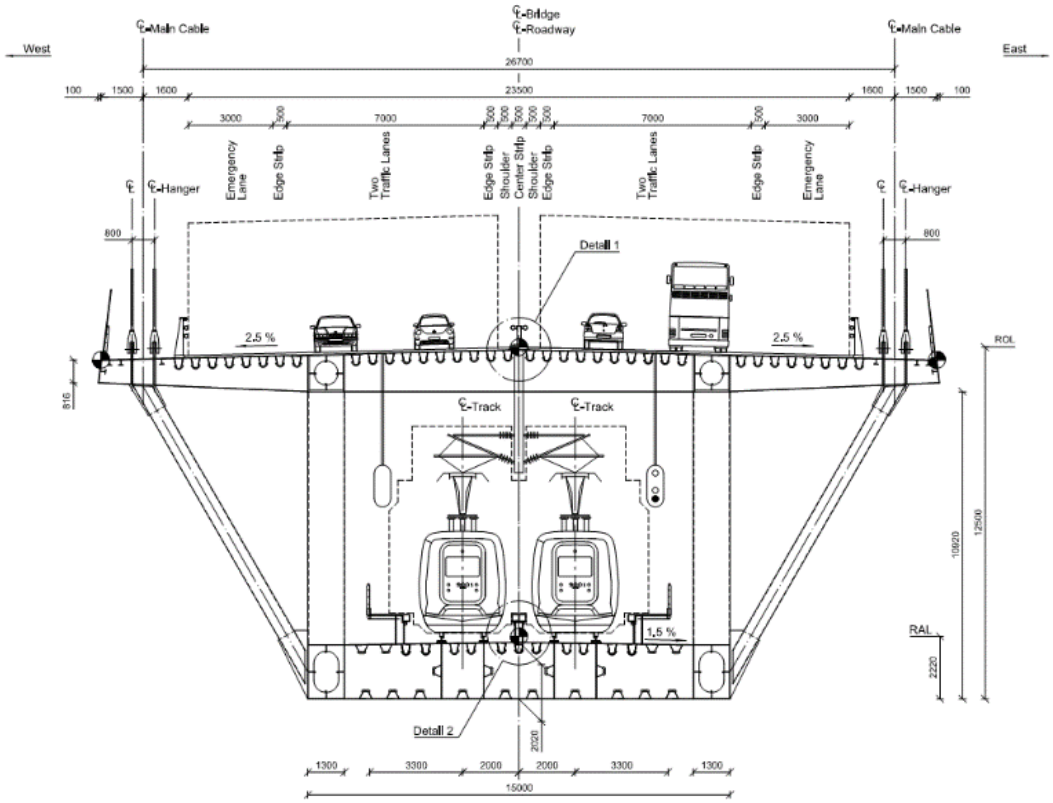
5.1.5.4 Arbejdskanaler

Ved anlæg af bro på vanddybder under 6 m er der behov for at udgrave arbejdskanaler parallelt med brolinjen for at sikre adgang for arbejdsfartøjer. Der er antaget et gennemsnitligt anlæg på 1:2 og en bredde i kote -6.0 m på 100 m, på nær ved lavbro med 60 m fag, hvor en bredde på 50 m er antaget. Det er antaget at arbejdskanaler ikke skal tilbagefyldes. Miljøundersøgelser er baseret på disse antagelser.

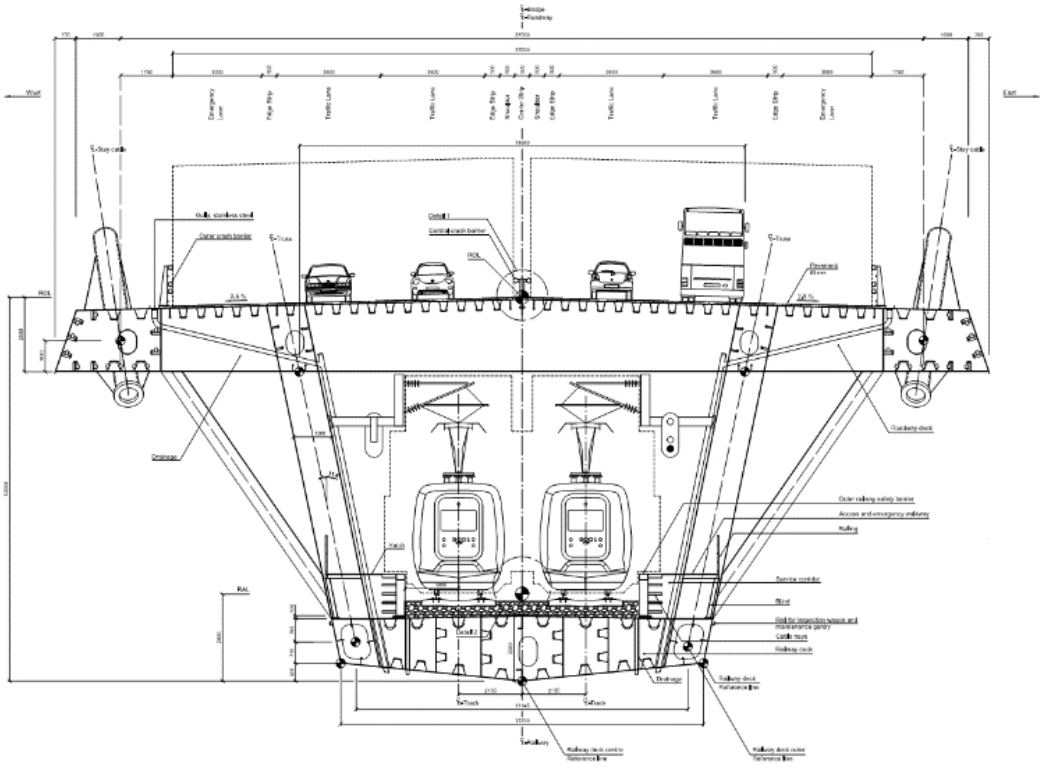
Byggemetoder og arbejdskanaler for lavbroer på lavt vand er efterfølgende undersøgt nærmere i fagnotat "Byggemetoder og arbejdskanaler for lavbroer på lavt vand" [11]. Her er det vurderet, at ved lavbro med 60 m fag er en dybde på 5 m tilstrækkelig, da denne brotype kan bygges med mindre udstyr, men i stedet skal bredden i bunden af arbejdskanaler øges til 100 m. Dette øger samlet set afgravningsmængderne men hvis midlertidigt arbejdsbroer i stedet anvendes nær land som afhjælpende tiltag kan afgravningsmængderne reduceres betydeligt.

5.1.6 Tværsnit

Brotværsnit for kabelbårne broer som hængebro og skråstagsbro er udformet som en gitterdrager i stål med jernbane på nederste dæk og vej øverst. Dette er strukturelt set en gunstig tværsnitsudformning som sikrer høj stivhed, høj styrke og lav vægt. Brodrageren har konstant højde på ca. 13 m. Brotværsnit for hængebro er vist i Figur 5-17, mens brotværsnit for skråstagsbro er vist i Figur 5-18. De to tværsnit er i princippet ens. De skrå gitterplaner for skråstagsbroen er et resultat af de udad hældende kabelplaner samt optimering af tværsnit.

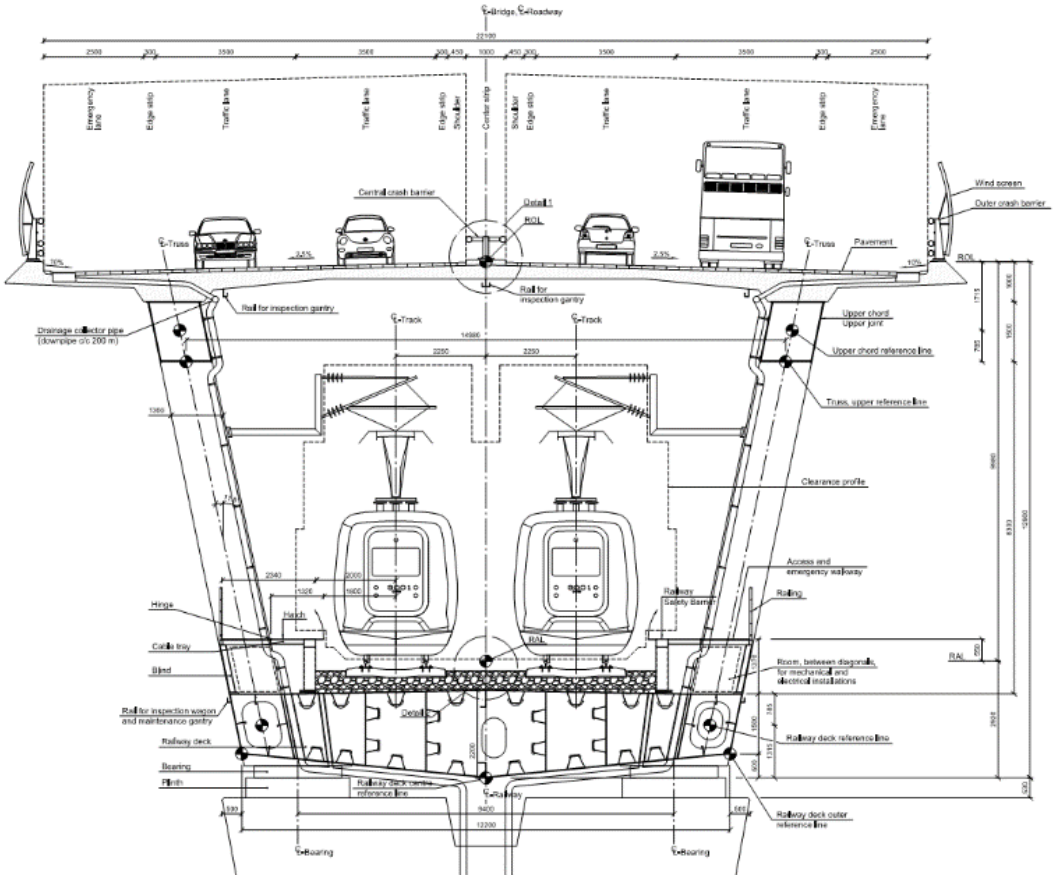


Figur 5-17 Hængebro med trafik i to niveauer (eksempel fra Femernbælt koncept-design)



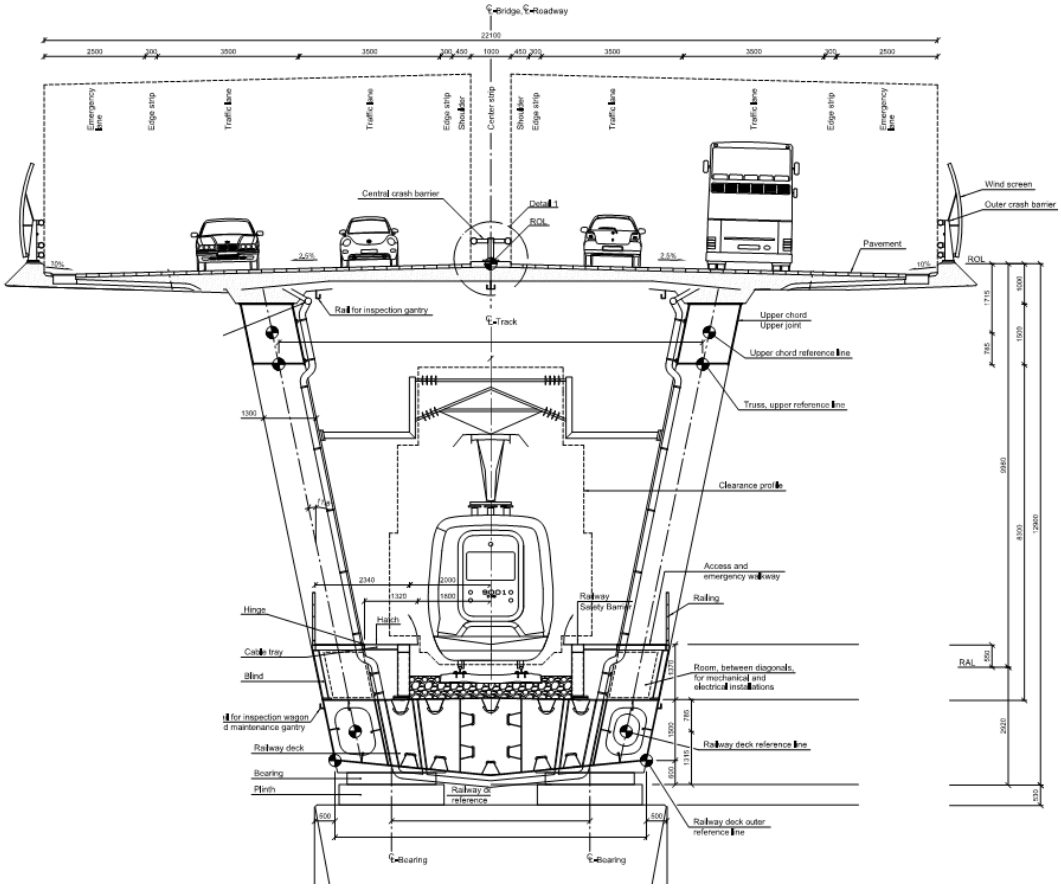
Figur 5-18 Skråstagsbro med trafik i to niveauer (eksempel fra Femernbælt konceptdesign)

Brotværsnit for bjælkebroer er for højbro udformet som en gitterdrager i stål og beton pga. stor spændvidde og for at passe til hængebro og skråstagsbro med jernbane på nederste dæk og vej øverst. Dette er strukturelt en gunstig tværsnitsudformning, som sikrer høj stivhed, høj styrke og relativ lav vægt. Brodrageren har konstant højde på ca. 13 m. Brotværsnit er vist i Figur 5-19. Sammenlignet med tværsnit for hængebro og skråstagsbro er øverste dæk til vej udformet i beton, da dette er økonomisk gunstigere for bjælkebroer, hvor den ekstra egenvægt af betondækket ikke er så betydende som i en kabelbåren bro.



Figur 5-19 Højbro med trafik i to niveauer (eksempel fra Femernbælt konceptdesign)

Hvis der kun skal ét jernbanespor med over broen udformes tværsnit som vist i Figur 5-20.

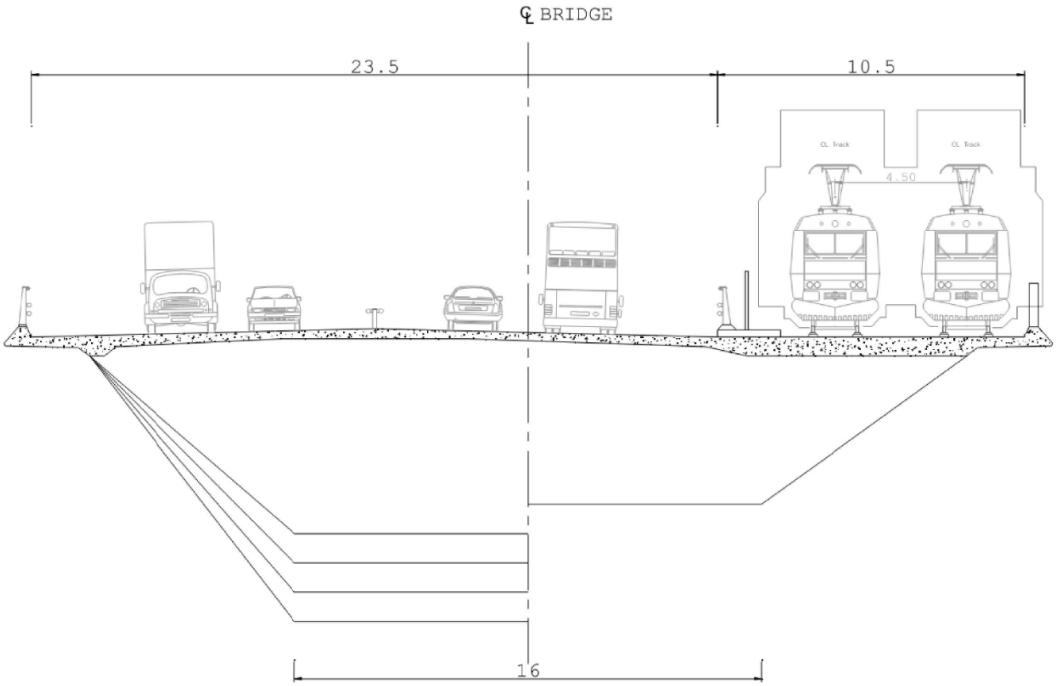


Figur 5-20 Højbro med trafik i to niveauer og ét spor (bjælkebro vist)

Afstanden fra centerlinje spor til gitterplan og bredden af nødplatforme er uændret i forhold til løsning med 2 spor, og dermed opfylder dette tværsnit samme funktionskrav som løsningen med 2 spor. Der henvises desuden til fagnotatet "Supplerende undersøgelser for løsninger med kun ét jernbanespor" [12].

Bredden af nedre dæk og bropille er reduceret med 4,5 m i forhold til løsning med 2 spor. Størrelsen af lejerne kan reduceres svarende til lavere lejereaktioner sammenlignet med Femern konceptdesign, dette er dog ikke vist i Figur 5-20. Den kortere afstand mellem lejer giver ikke anledning til opløft i lejer. Udkragningen af betondæk med vejtrafiklast er 4,55 m, hvilket er i overkanten for et optimeret tværdesign. Til sammenligning er udkragningen på Øresundsbroen ca. 3,8 m. Derfor er det nødvendigt at øge afstanden mellem gitterplaner ved toppen med 0,75 m i hver side, dvs. fra 10,5 m til 12,0 m. Dette gøres ved at rotere gitterplanerne yderligere ca. 5 grader om nedre knudepunkter (ikke vist).

Brotværsnit for højbro er alternativt udformet som en kassedrager for at passe til lavbroer med vej og jernbane i samme niveau. Dette er strukturelt en mindre gunstig tværsnitsudformning end gitterdrageren, men den kan med fordel anvendes på KKV hvor der kun er et mindre antal højbrofag, således at dyre udfletningsanlæg herved undgås. Brodrageren er enten en ren ståldrager eller en kompositdrager i stål og beton. Drageren har enten konstant højde på ca. 8 m eller variabel højde. Brotværsnit for 4+2 kompositdrager med variabel højde er vist i Figur 5-21.

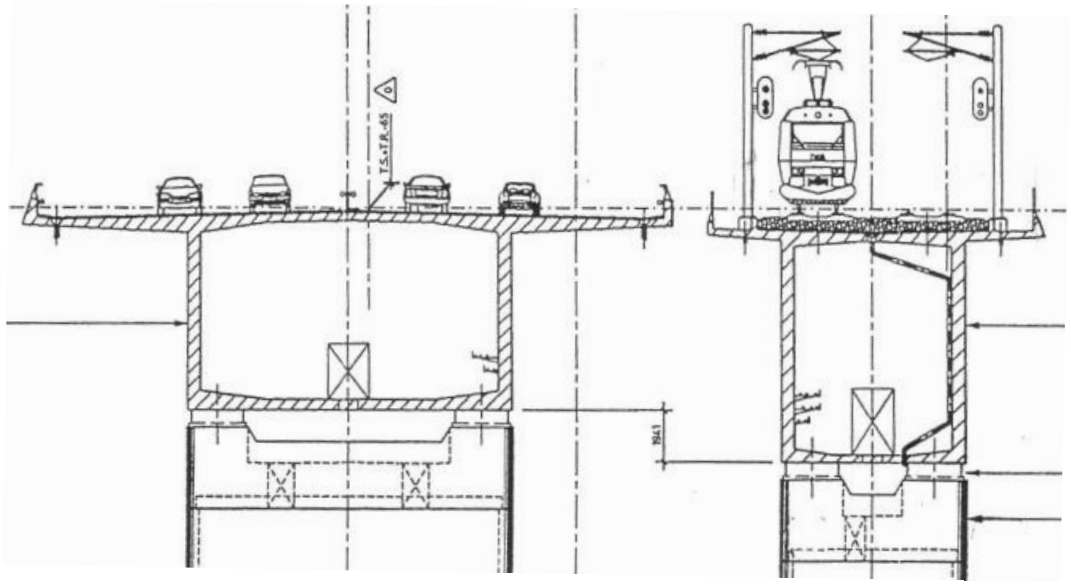


Figur 5-21 Højbro med trafik i et niveau (eksempel fra Femernbælt konceptdesign, alternativ undersøgt i tidlig fase)

Der er valgt én fælles kasse i stedet for to parallelle dragere for at reducere mængder i underbygningen og have en mere robust overbygning især mht. skibsstød.

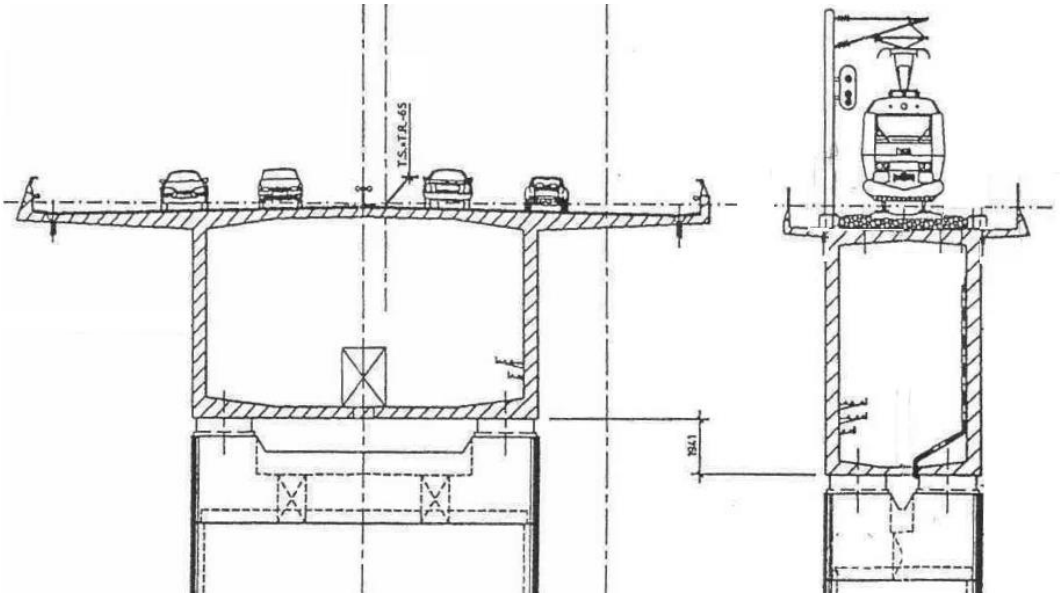
Brotværsnittet for bjælkebroer er for lavbro udformet som to parallelle lukkede kassedragere i beton som er velegnet ved moderat spændvidde. Dette sikrer en billigere overbygning, præfabrikation på land og minimal vedligeholdelse. Den ene drager er til vej og den anden drager er til jernbane.

For lavbro med 100 m spændvidde har brodrageren varierende højde som vist i Figur 5-11. Dragerhøjde for vejbanedrageren er 7 m ved piller og 3,5 m i midten af fag. Dragerhøjde for jernbanedrageren er 8 m ved piller og 4 m i midten af fag. Tværsnit er udformet som vist i Figur 5-22.



Figur 5-22 Lavbro med trafik i ét niveau (eksempel fra Storebælt Vestbro)

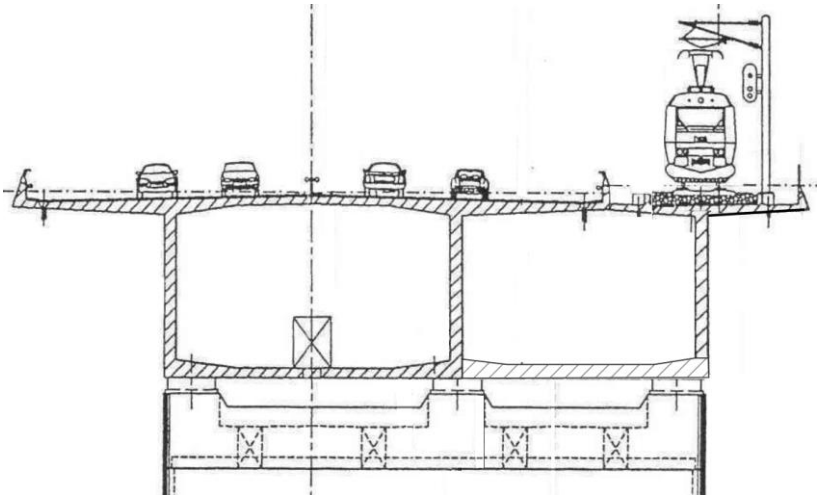
Hvis der kun skal ét jernbanespor med over broen kan tværsnit udformes som vist i Figur 5-23 med to parallelle kassedragere.



Figur 5-23 Lavbro med trafik i ét niveau, to dragere og ét spor

Denne løsning er vurderet teknisk mulig, omend der er tale om en forholdsvis smal kassedrager til jernbanen. Bredden af bundflange og pilleskaft er reduceret med 1,5 m i forhold til løsning med 2 spor. Størrelsen af lejerne er reduceret svarende til lavere lejereaktioner sammenlignet med Vestbroen. Afstanden mellem lejer er ca. 4,2 m hvilket er tæt på minimumsafstand for at undgå opløft i lejer.

En alternativ løsning med én fælles kassedrager er skitseret og vist i Figur 5-24. Sporet er placeret i en afstand fra vejen således at der er plads til samme platform til nødfortov og arbejdsareal for D&V i side op mod vej som i yderside af brodrageren. Afstanden fra fritrumsprofil af tog til inderside af vejautoværn er herved ca. 1.8 m, hvilket er sammenligneligt med den nye Storstrømsbro, hvor vej og bane også er i samme niveau på fælles kassedrager.

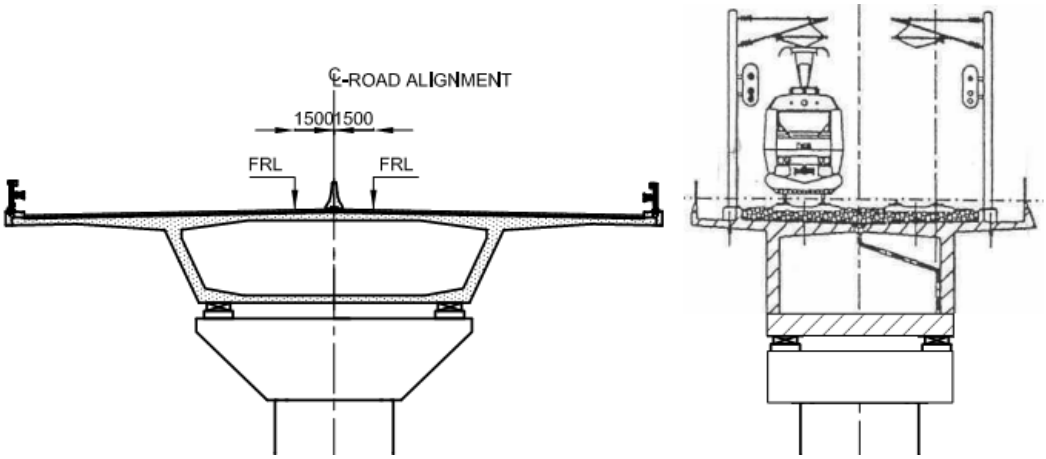


Figur 5-24 Lavbro med trafik i et niveau, én fælles dragere og et spor

Fordelene ved denne løsning er at man undgår den forholdsvis smalle jernbanedrager, opnå et mere effektivt tværsnit og give mulighed for kun et pilleskaft og dermed eventuelt mindre fundament. Desuden spares en krop, men på bekostning af bredere samlet bundflange.

Ulempen ved denne løsning er en tung drager som vil kræve flydekran med stor løftekapacitet ved montering af fulde fag som på Storebælt Vestbro. Flydekranen Svanen anvendt på Storebælt havde dengang en løftekapacitet på 6.400 tons. Svanen blev efterfølgende ombygget til brug ved byggeriet af Confederation Bridge i Canada, hvorved løftekapaciteten blev øget til 8.700 tons. Vægten af Storebælt Vestbro vejdrager er ca. 5500 tons. Vægten af den brede fælles kassedrager med 1 spor skitseret ovenfor er ca. 50% tungere end Vestbro vejdrager. Kassedrageren vejer dermed ca. 8.300 tons, og bør derfor kunne løftes med kendt udstyr.

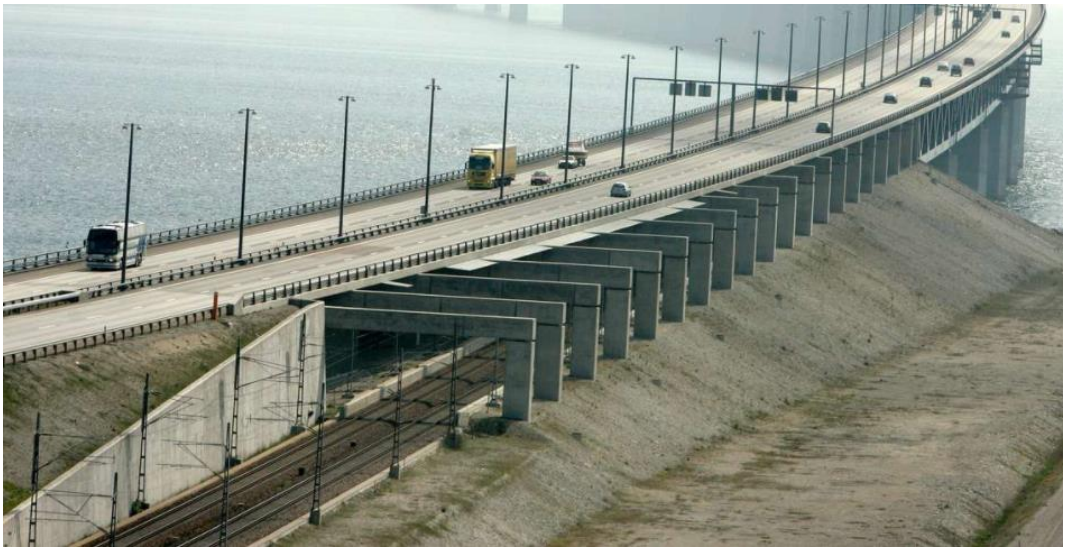
For lavbro med 60 m spændvidde har brodrageren konstant højde på 4 m for vejdrager og 4,5 m for jernbanedrager. Tværsnit er udformet som vist i Figur 5-25.



Figur 5-25 Lavbro 60 m spændvidde (eksempel vejdrager fra Qatar-Bahrain Causeway og jernbanedrager fra Storebælt men modificeret)

5.1.7 Udfletningsanlæg mellem bane og vej

For broløsninger med trafik i to etager skal der laves udfletningsanlæg for at separere vej og jernbane fra fælles niveau i land til to niveauer på bro. Dette er antaget gjort med en betonbroløsning som på Peberholm, se Figur 5-26 og Figur 5-27.

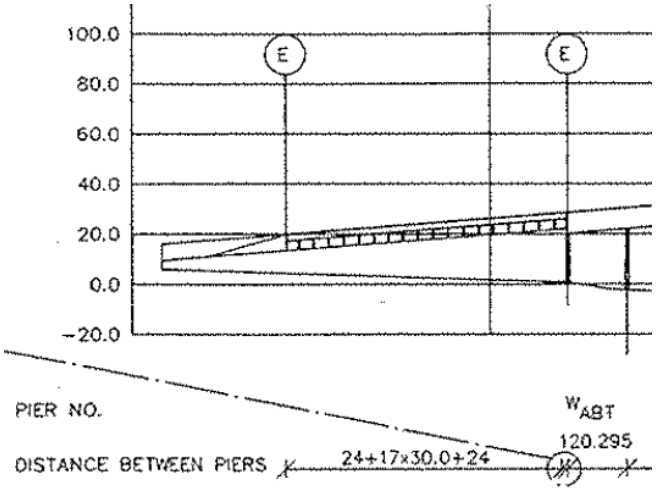


Figur 5-26 Udfletningsanlæg
(eksempel fra Øresund Peberholm, Foto: Stig-Åke Jönsson/Øresundsbron)

Figur 5-27 Udfletningsanlæg vejbro med jernbanen i baggrunden (eksempel fra Øresund Peberholm, Foto: Miklos Szabo/Øresundsbron)

Luftfoto med planmål og opstalt er vist i Figur 5-28 hhv. Figur 5-29.

Figur 5-28 Udfletningsanlæg luftfoto (eksempel fra Øresund Peberholm)



Figur 5-29 Udfletningsanlæg opstalt (eksempel fra Øresund Peberholm)

5.1.8 Projektrisikobidrag

5.1.8.1 Generelt

For udviklingen af broløsninger i denne forundersøgelse er der taget udgangspunkt i kendte danske projekter, realiserede og ikke realiserede, idet vi har at gøre med sammenlignelige forhold med hensyn vanddybder, jordbund, skibstrafik, klima og drift og vedligeholdstraditioner.

Projektrisikobidrag fra projektering og udførelse af broer afhænger i høj grad af, om der er tale om en konstruktion der med hensyn til type og størrelse er erfaring med fra lignende projekter i Danmark eller internationalt.

Der er god erfaring med hængebro som ren vejbro med 1630 m spændvidde, som f.eks. svarer til Storebælt Østbro.

Højbro med 200 m spændvidde er der også god erfaring med som ren vejbro, svarende til Storebælt Østbros tilslutningsfag.

Der er også god erfaring med lavbroer med faglængde 100 m, også som kombinerede vej- og banebroer svarende til Storebælts Vestbro.

Lavbroer med 60 m fag er der stor erfaring med internationalt, og i Danmark kan den f.eks. sammenlignes med bl.a. Kronprinsesse Marys bro, som dog har lidt længere fag.

Projektrisikobidrag for ovenstående brotyper er derfor i udgangspunktet vurderet til at ligge i kategorien **Lav**.

Der er moderat erfaring med højbroer med kombineret vej og bane, som bl.a. svarer til Øresundsbroens tilslutningsfag. Projektrisikobidraget er dog ikke vurderet til lavt da løsningen anvendt for Kattegat har betydeligt større spændvidde og et anderledes jernbanedæk end Øresundsbroen. Projektrisikobidraget forbundet med denne brotype er derfor vurderet til at være **Forventeligt**.

Der er meget begrænset erfaring med hængebroer med 1900 m spændvidde svarende til Akashi Kaikyō broen i Japan. Denne er en ren vejbro, men med gitterdrager svarende til den toetagers løsning, der er beskrevet i nærværende rapport. Hængebro med jernbane med 1630 m spændvidde og skråstagsbroer med 2 x 750 m spændvidde er der ikke erfaring med i Danmark hverken som vej- eller banebro, og der er kun begrænset erfaring internationalt. Projektrisikobidraget forbundet med disse brotyper er derfor vurderet til at være **Forhøjet**.

Ovennævnte udgangspunkter for projektrisikokategorier baseret på erfaring er sammenfattet i Tabel 5-2.

Tabel 5-2 Brotypers projektrisiko på grundlag af erfaringsniveau

Brotype	Spænd-vidde [m]	Lav projektrisiko (Stor erfaring)	Forventet projektrisiko (Moderat erfaring)	Forhøjet projektrisiko (Meget begrænset erfaring)
Hængebro	1630	Vejbro	-	Banebro
Hængebro	1900	-	-	Vej- og banebro
Skråstagsbro	2 × 750	-	-	Vej- og banebro
Bjælkebro, højbro	200	Vejbro	Banebro	-
Bjælkebro, lavbro	100	Vej- og banebro	-	-
Bjælkebro, lavbro	60	Vej- og banebro	-	-

Størrelsen af broer er især bestemt af længden og højden over fundamentsniveau. Mht. højden er det især vanddybden som udgør en risiko for underbygningen. Projekteringsrisikoen øges med stigende vanddybde, da kræfter fra vandrette laster som f.eks. bremselast, islast og skibsstød øges. Udførelsesrisikoen øges også med stigende vanddybde, da det er vanskeligere at udføre underbygningen af en bro på dybt vand.

Vanddybder for sammenlignelige danske referenceprojekter er sammenfattet i Tabel 5-3.

Tabel 5-3 Vanddybder for danske referenceprojekter

Bro	Brotype	Gennemsnitlig vanddybde [m]	Minimum vand-dybde [m]
Storebælt Østbro	Tilslutningsbroer	-7,2	-11,1
	Hængebro	-20,3	-24,9
Storebælt Vestbro	Lavbro	-18,1	-29,0
Øresundsbroen	Tilslutningsbroer	-6,4	-10,0
	Skråstagsbro	-8,3	-8,5
Femernbro konceptdesign (ikke realiseret)	Tilslutningsbroer	-19,0	-29,5
	Skråstagsbro	-28,7	-29,0
Ny Storstrømsbro (under udførelse)	Tilslutningsbroer	-6,1	-15,0
	Skråstagsbro	-12,9	-14,3

Det generelle projektrisikobidrag fra projektering og udførelse ved de forekommende vanddybder er vurderet separat for kabelbårne broer og bjælkebroer med udgangspunkt i referenceprojekter. Der er mht. vanddybder gradueret indenfor kategorierne forventelig og forhøjet.

For kabelbårne broer er projektrisikobidraget vurderet til:

- **Forventeligt** for funderingsdybde 25-30 m (hængebroer på KKØ-2 og skråstagsbro på KKØ-3) idet denne dybde svarer til de 2 mest sammenlignelige referenceprojekter, Storebælts Østbro og det meget gennemarbejdede konceptdesign for en Femernbro
- I den høje ende af **Forventeligt** for funderingsdybde 36 m (skråstagsbro på KKØ-4)
- I den lave ende af **Forhøjet** for funderingsdybde 42 m (hængebro på KKØ-1)

For bjælkebroerne er den gennemsnitlige vanddybde for alle bropiller anvendt, da få piller på dybere vand nær sejlrenden ikke ændrer den samlede projektrisiko for en meget lang bjælkebro.

For typerne højbro med 200 m fag og lavbro med 100 m fag, som begge har caisson fundament og robuste pilleskafter, er projektrisikobidraget vurderet til:

- **Lavt** for funderingsdybder under 20 m, da der her findes mange referenceprojekter, inkl. Storebælt Vestbro
- **Forventeligt** for funderingsdybder mellem 20 og 40 m
- **Forhøjet** for funderingsdybder mellem 40 og 50 m
- **Højt** for funderingsdybder over 50 m

For lavbro med 60 m fag, som har monopiles underbygning, er projektrisikobidraget vurderet til:

- **Lavt** for funderingsdybder under 10 m, da der her findes mange internationale referenceprojekter
- **Forventeligt** for funderingsdybder mellem 10 og 15 m
- **Forhøjet** for funderingsdybder mellem 15 og 20 m
- **Højt** for funderingsdybder over 20 m

Den store forskel mellem lavbro 60 m fag og øvrige bjælkebroer skyldes at underbygningen for lavbro 60 m fag består af slanke monopiles som er velegnet ved lavere vanddybder mens underbygningen for øvrige bjælkebroer består af robuste pilleskafter funderet med store caissoner, som er en bropilletype som er velegnet ved store vanddybder.

Klassificering af risiko mht. gennemsnitlig vanddybde ved bropiller er sammenfattet i Tabel 5-4.

Tabel 5-4 Projektrisikokategori afhængig af funderingsdybde i m under vandoverfladen (d)

Brotype	Spændvidde [m]	Lav projektrisiko	Forventet projektrisiko	Forhøjet projektrisiko
Kabelbårne broer	-	-	d ≤ 40 m	40 m < d
Bjælkebro, lavbro	60	d ≤ 10 m	10 < d ≤ 15 m	15 < d ≤ 20 m
Bjælkebro, øvrige	100 - 200	d ≤ 20 m	20 < d ≤ 40 m	40 < d ≤ 50 m

Den samlede længde af broer er ikke medtaget som en parameter i projektrisikobidraget, da dette kan opfattes som et procenttillæg til anlægssummen. Hvis en bro f.eks. er dobbelt så lang som en anden der sammenlignes med, vil risikotillægget i kroner også fordobles. Den længere bro kan opfattes som to halvdele, hvoraf første halvdel er identisk med den bro der sammenlignes med. Bygningen af den anden halvdel vil ikke være forbundet med en større projektrisiko end den første halvdel - snarere tværtimod.

Projektrisikobidraget stiger med spændvidden, især for de helt store spændvidder ved kabelbårne broer. Dette er medtaget under projektrisikobidrag fra erfaring mht. brotyper.

For projekteringsrisiko er yderligere følgende parametre vurderet hvor relevant:

- Aerodynamik, udformning af brotværsnit samt brugerkrav mht. vindskærme
- Islast
- Brand
- Myndighedsgodkendelse af jernbanebroer

For udførelsesrisiko er følgende parametre vurderet hvor relevant:

- Byggemetode
- Tilgængelighed af materialer
- Transport af broelementer
- Løft og installation af broelementer
- Vejrlig
- Myndighedsgodkendelse af jernbanebroer

Disse beskrives i følgende to afsnit og uddybes for specifikke korridorer og løsninger.

5.1.8.2 Projektering

Aerodynamik

Projekteringsrisikoen mht. aerodynamik er vurderet ud fra udformning af tværsnit og spændvidde:

- **Lav** for alle bjælkebroer idet de korte spændvidder ikke giver anledning til svingninger pga. vind, dog kan der for højbro med 200 m spændvidde i gennemsejlingsfag på KKV være behov for dæmpere som også anvendt på Storebælt

Østbros tilslutningsbroer, men dette er velkendt teknologi og giver ikke anledning til øget projektrisikobidrag

- **Forventelig** for hængebro 1630 m spændvidde og i den lave ende af **Forventelig** for skråstagsbro, sidstnævnte med lidt lavere graduering, da kabelsystemet i skråstagsbroer er stivere
- **Forhøjet** for hængebro 1900 m hvor hovedfagets længde betyder, at det ikke kan udelukkes at brodrageren af hensyn til aerodynamik skal udformes med 3 parallelle kassedragere forbundet med tværbjælker. Både kassedragertværsnit (KKV) og gitterdrager (KKØ) kan udformes med høj torsionsstivhed som er en vigtig aerodynamisk designparameter.

Risiko for brugere relaterer sig til uheld pga. stærk vind, hvilket i projekteringen kan betyde behov for vindskærme. Denne risiko er **Lav** for lavbroer som typisk kun er 15-30 m høje og **Forventelig** for alle øvrige broer med højbro i den lave ende og kabelbårne broer i den høje ende idet pyloner og evt. ankerblokke bidrager yderligere til vindpåvirkning af bilister.

Den dominerende vindretning for storm i Danmark er sydvest. Da det er mest kritisk med vind på tværs af broer, er broer beliggende i nordvestlig retning mest følsomme. Dvs. KKØ-1, KKØ-3 og KKØ-4 er lidt mere udsat end KKØ-2.

Islast

Projekteringsrisiko pga. islast afhænger af udformning af underbygning samt vanddybden. Projektrisikobidraget er vurderet til:

- I den høje ende af **Forventeligt** for lavbro 60 m fag, som er følsom overfor vandrette laster
- I den lave ende af **Forventeligt** for højbro, hvor vanddybden er større end 30 m
- **Lavt** for alle øvrige løsninger

Brand

Projekteringsrisiko pga. brand afhænger af udformning af overbygning, herunder hvilke elementer som er kritiske mht. branddimensionering. Projektrisikobidraget er vurderet til:

- **Lavt** for alle bjælkebroer, idet brand normalt ikke er dimensionsgivende for denne brotype
- **Forventeligt** for alle kabelbårne broer, da brand kan være dimensionsgivende for kabelsystemer

Samlet projekteringsrisiko

Projekteringsrisikoen er sat til maksimum af ovenstående projektrisikobidrag, som har taget udgangspunkt i en ren vejbroløsning. Da der her er tale om en løsning med jernbane er projektrisikobidraget sat en tak opad på grund af den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, samt forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse (Banedanmark kræver at ibrugtagningstilladelse skal være opnået inden arbejdet påbegyndes i marken).

Dvs., hvis maksimal projekteringsrisiko f.eks. er vurderet til **Forventelig** for en vej-broløsning, så er den her sat til den høje ende af **Forventelig** for den kombinerede løsning med både vej og bane.

5.1.8.3 Udførelse

Byggemetode

Projektrisikobidraget er vurderet til:

- **Forventeligt** for velkendte byggemetoder
- **Forhøjet** for byggemetoder, der er begrænset erfaring med
- **Højt** for byggemetoder, der ikke er nogen erfaring med.

Alle broer er i kategori **Forventelig**, med lavbroer i den lave ende og hængebroer i den høje ende.

Tilgængelighed af materialer

Risikoen for tilgængelighed af materialer afhænger af mængden der skal anvendes og af markedsefterspørgsel. Efterspørgslen af stål varierer meget over tid, og er drevet af det internationale marked. Beton er derimod mere lokalt fremstillet og dermed mindre følsomt for internationale konjunkturer. Projektrisikobidraget er vurderet til:

- **Lavt** hvor beton er den dominerende omkostning, dvs. for alle lavbroer
- Løsninger hvor stål er den dominerende omkostning, dvs. for kabelbårne broer og højbroer:
  - I den lave end af **Forventeligt** for skråstagsbroer og korte højbroer med samlet længde under 10 km
  - **Forventeligt** for hængebro 1630 m spændvidde og lange højbroer med samlet længde under 20 km
  - I den høje end af **Forventeligt** for hængebro 1900 m spændvidde og højbro med samlet længde over 20 km

Transport af broelementer

Risikoen forbundet med transport af broelementer stiger med størrelsen og vægten. Projektrisikobidraget er vurderet til:

- **Lavt** hvor kun mindre elementer skal transporteres, dvs. lavbro 60 m fag antaget udført af små segmenter
- **Forventeligt** for alle øvrige brotyper

Løft og installation af broelementer

Denne risiko er vurderet som for transport, dog er graduering for kabelbårne broer lidt højere idet der typisk skal løftes til større højde og med specialfremstillet udstyr.

Vejrlig

Risikoen forbundet med vejrlig er især bestemt af vindhastigheder som stiger med højden. Projektrisikobidraget er vurderet til:

- **Lavt** for lavbro hvor elementer ikke skal installeres højt oppe
- **Forventeligt** for alle øvrige brotyper, med højbro i den lave ende og skråstagsbro i den høje ende
- **Forhøjet** for hængebro 1900 m spænd hvor pyloner er oppe i næsten 300 m højde og kabelsystemet har stor spændvidde.

Samlet projektrisikobidrag fra udførelsen

Projektrisikobidraget fra udførelsen er sat til maksimum af ovenstående projektrisikobidrag, som har taget udgangspunkt i en ren vejbroløsning. Da der her er tale om en løsning med jernbane er projektrisikobidraget sat en tak opad på grund af den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, samt forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

Dvs., hvis det maksimale projektrisikobidrag f.eks. er vurderet til **Forventeligt** for en vejbroløsning, så er det her sat til den høje ende af **Forventeligt** for den kombinerede løsning med både vej og bane.

5.1.8.4 Meget lange broforbindelser syd om Samsø

Broløsningerne syd om Samsø, uden ilandføring på Samsø, vil blive 48-54 km lange afhængig af korridor. De meget store længder bidrager i sig selv til en forøget projektrisiko, da det udfordrer opnåelse af det krævede sikkerhedsniveau. Det er der ikke taget højde for her, hvor KKV og KKØ er projektrisikovurderet hver for sig.

Der vil for de lange broforbindelser syd om Samsø være op til 27 km til nærmeste til- og frakørsel på land, forudsat at broen er farbar både mod Sjælland og Jylland. Hvis broen kun er farbar i én retning f.eks. som følge af et beskadiget brofag eller en stor brand som omslutter alle kørebaner, kan redningskøretøjer komme til at skulle køre ca. 100 km i alt frem og tilbage på bro, hvilket dog er et meget usandsynligt scenarie. De store afstande kan være et problem tidsmæssigt ved redning og evakuering samt for levering af brandvand, hvis det ikke kan pumpes op fra havet.

Hvis det viser sig, at der er behov for en redningsstation undervejs til f.eks. helikopterlandingsplads og redningsudstyr, kan det blive nødvendigt at udvide brodækket lokalt eller anlægge en kunstig ø, afhængig af pladsbehov. En kunstig ø vil have den fordel, at den også kan anvendes til udfletningsanlæg mellem højbro med trafik i to etager øst for Samsø og lavbro med trafik i en etage vest for Samsø.

De meget lange broforbindelser giver udfordringer mht. drift og vedligehold, da adgangsvejene bliver lange. De store brolængder medfører også større risiko for, at biler havarerer med tekniske problemer eller løber tør for brændstof eller strøm på broen.

5.2 Tunneler

5.2.1 Tunnelers drifts- og sikkerhedsforhold

I det følgende adresseres drifts- og funktionsforhold der direkte og afhængig af konstruktionstype påvirker tunnelanlæggets udformning og anlægsøkonomi.

Tunnellængderne varierer mellem ca. 12 km og 26 km portal-portal. For løsninger med en lang sænketunnel vurderes disse at være inden for området hvor et Femerntunnel drift- og sikkerhedskoncept fortsat forventes at kunne anvendes, og en udelukkelse af lange sænketunneler på det nuværende stade kan derfor ikke foretages. En nærmere vurdering af denne problematik kræver at emnet analysers i de kommende faser af Kattegatprojektet, herunder de forskelle der eventuelt er på de to tunnelprojekter ud over tværsnit, flugtveje og længde i form af trafiksammensætning og intensitet, regelsæt osv. En nærmere vurdering forventes ikke at få en indflydelse på tunnelens udformning, som vil medføre forøgede omkostninger, men derimod mulige optimeringer specielt for et boret tunnelalternativ.

Erfaringer fra tidligere tunnelprojekter gennemgås inden for 3 forskellige emner:

1 drift og sikkerhed, (behandlet i dette afsnit)

2 sænketunnel konstruktioner anlægsteknik (behandlet i afsnit 5.2.3)

3 boret tunnel konstruktioner anlægsteknik (behandlet i afsnit 5.2.4)

Forhold vedrørende drift og sikkerhed er væsentlige for tunnellers udformning. I afsnit 5.2.1.2 er principper for drift og sikkerhed af lange vej- og jernbanetunneller beskrevet.

De udviklede tunnelløsninger lægger vægt på eksisterende erfaring og kendte løsninger. Inden for hvert af disse emner er der udvalgt specifikke referenceprojekter. I vurdering af den enkelte korridorløsning vil det blive beskrevet hvor tæt løsningen er på disse projektreferencer med hensyn til bl.a. type, længde, dybde og løsningens kompleksitet.

De beskrevne anlægstekniske løsninger forventes at kunne udføres af erfarne entreprenører under hensyntagen til gældende regler og projektspecifikke krav.

5.2.1.1 Referenceprojekter - driftsforhold

Antallet af lange vejtunneller (>10 km) på verdensplan er begrænset og findes primært i bjergrige egne, få lange vejtunneller er undersøiske. De længste undersøiske vejtunneller er klippetunneller blandt andet i Norge.

Generelt er antallet af lange jernbanetunneller i forhold til lange vejtunneller større, specielt finder man flere lange jernbanetunnel i bjergrige områder. Erfaring med drift af lange jernbanetunneller på verdensplan er derfor anset for at være god.

Tabel 5-5 indeholder en liste over de længste vejtunneller på verdensplan der er åbnet for trafik.

Tabel 5-5 Oversigt over længste vejtunneler i drift

Tunnel	Længde
Lærdal (NO)	24,5 km
Yamate tunnel (JAP)	18,2 km
Zhongnanshan (CN)	18,0 km
Jinpingshan (CN)	17.5 km
St. Gotthard (SW)	17,0 km
Ovit tunnel (TUR)	14,3 km
Ryfylketunnel (NO) *	14,3 km
Arlberg (AU)	14,0 km
Hsuehshan (CN)	13,0 km
Frejus (FR/IT)	12,9 km
Majishan (CH)	12,3 km
Mt. Blanc (FR)	12,3 km
Gudvanga (NO)	11,4 km
Baojiashan (CN)	11,2 km

* Ryfylketunnel er den længste undersøiske vejtunnel

I tillæg til disse er yderligere to bemærkelsesværdige undersøiske vejtunnelprojekter under udførelse.

1 Femern Bælt tunnelen (sænketunnel), 18 km

2 Rogfast (sprængt tunnel), 27 km

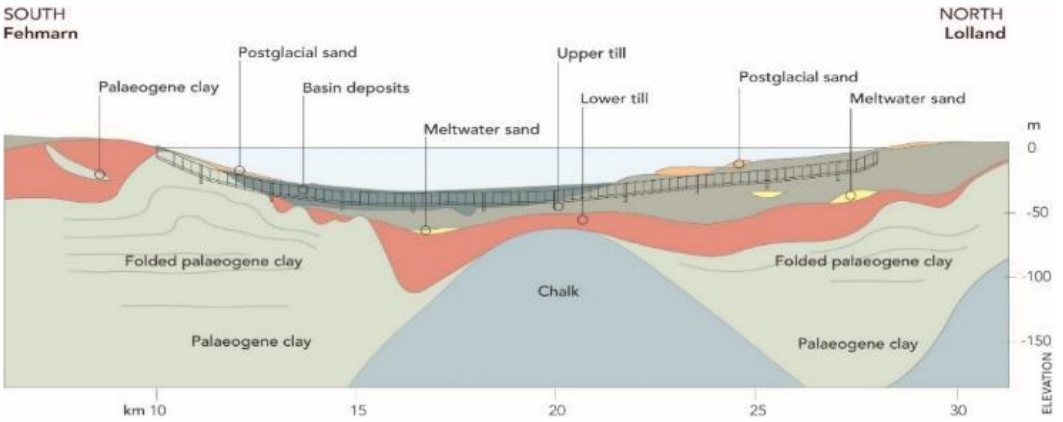
Følgende projekter er relevante vedrørende drift og sikkerhed af lange undersøiske vej- og jernbanetunnel forbindelser:

- Femern sænketunnel (under anlæg) – vej- og jernbanetunnel
- Femern boret tunnel (del af sammenligningsstudie 2011) – vej- og jernbanetunnel
- Rogfast sprængt tunnel, Norge (under anlæg) – vejtunnel
- Lyon-Torino base tunnel (under anlæg) - jernbanetunnel
- Lower Thames Crossing (under planlægning) – vejtunnel

5.2.1.1.1 Femern Sænketunnel

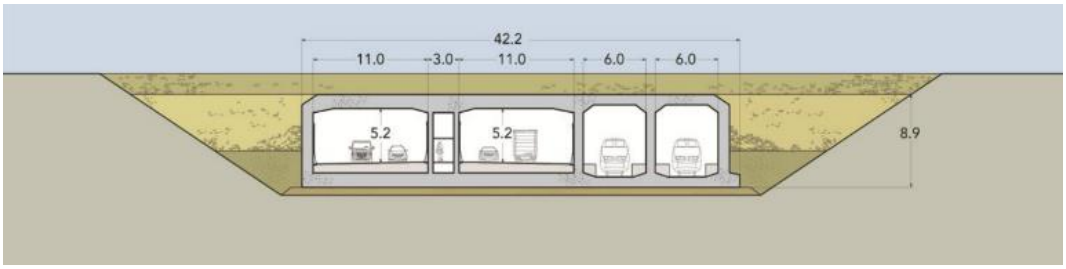
Femern sænketunnel med kombineret (2 x 2 kørebaner) vej og (2 spor) jernbane er under forberedelse for anlæg og bliver ca. 18.5 km lang.

Dette projekt er det mest relevante referenceprojekt for de vurderede sænketunnelløsninger med hensyn til drift og sikkerhed, men også mht. anlægsteknik, som er beskrevet mere uddybende i et senere afsnit. Femern sænketunnel længdeprofil inkl. geologi er vist i Figur 5-30.

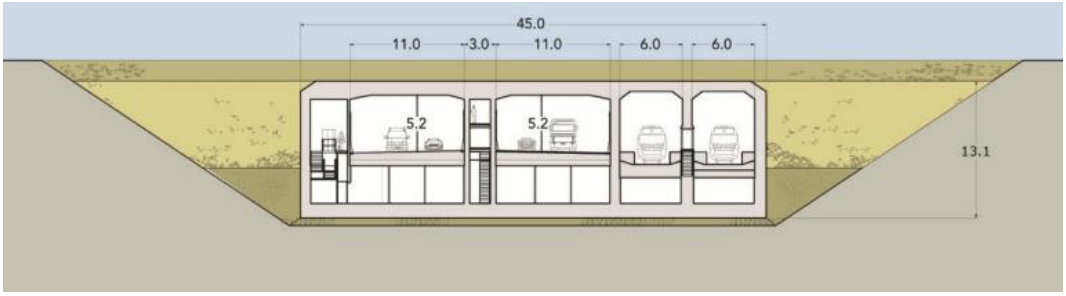


Figur 5-30 Femern sænketunnelprofil

M&E installationer er placeret i et separat servicegalleri imellem rør for vejtrafik (se fig. Figur 5-31). Nøddøre som flugtvej er placeret for hver 110 m. Pumpesump og transformatorer er placeret i specialelementer for hver 2,2 km. (se fig. Figur 5-32).



Figur 5-31 Tværsnit af Femern standard sænketunnelelement

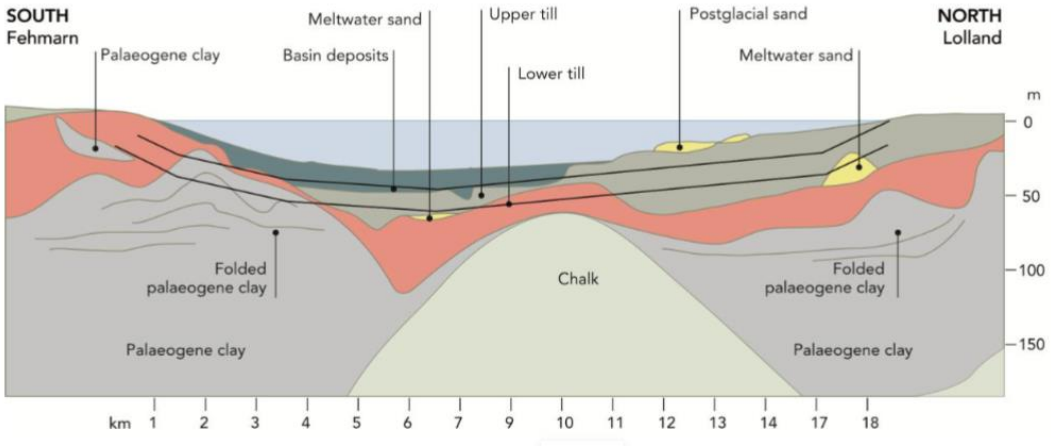


Figur 5-32 Tværsnit af Femern special sænketunnelelement

5.2.1.1.2 Femern Boret tunnel

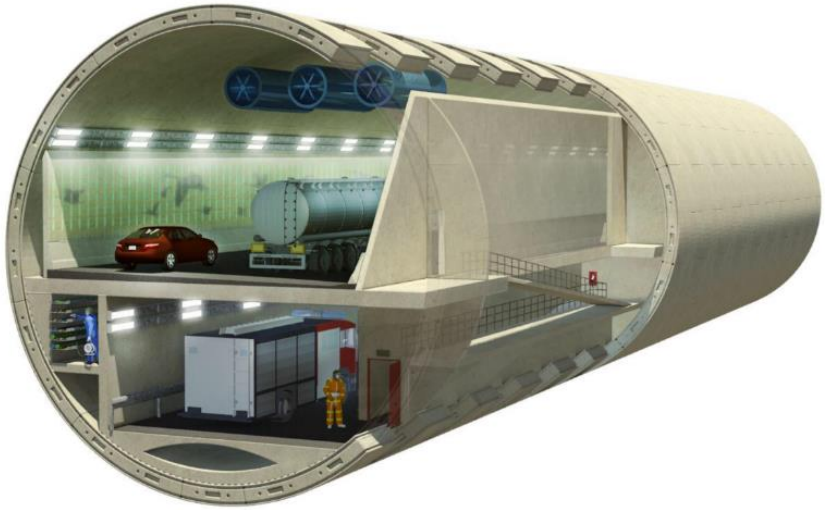
I forbindelse med de tidlige tekniske analyser af mulige anlægstekniske udformninger på Femern-projektet blev der i tillæg til den valgte sænketunnelløsning også udviklet en boret tunnelløsning med kombineret vej (2 x 2 kørebaner) og jernbane (2 spor). Femern boret tunnel profil er vist på Figur 5-33.

Som for sænketunnelløsningen er denne borede tunnelløsning det mest relevante referenceprojekt med hensyn til drift og sikkerhed, på trods af, at løsningen ikke er blevet valgt.

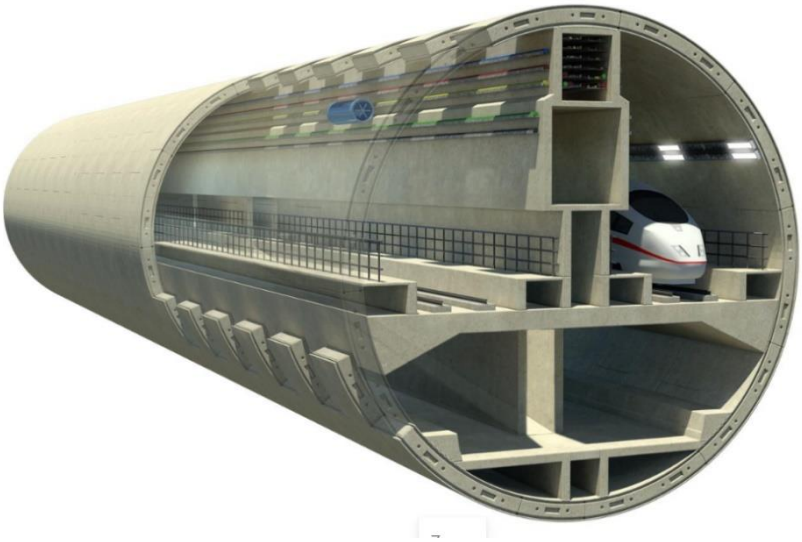


Figur 5-33 Femern boret tunnelprofil

For de to typer borede tunneler (vej hhv. bane) er fælles at der ikke er forbindelse til naborørene. Hvert rør er så at sige autonomt. Redning for både bane og vej til sikkert rum sker til underetagen, hvorfra evakuering kan ske, og hvor der kan være adgang for beredskabet. Nøddøre med flugtvej til underetagen er placeret for hver 100 m. Evakuering kan i banetunnelen også ske via redningstog i det tilstødende spor. Tværsnit af boret tunnel for vejdel er vist på Figur 5-34 og for jernbanedel på Figur 5-35.



Figur 5-34 Tværsnit af boret tunnel for vejdel (eksempel fra Femern)



Figur 5-35 Tværsnit af boret tunnel for jernbanedel (eksempel fra Femern)

Rogfast sprængt tunnel

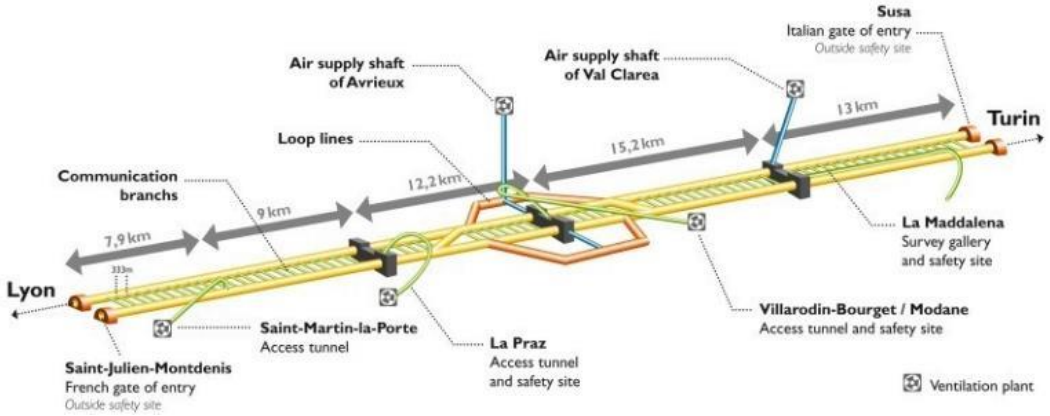
Rogfast er en vejtunnel i Norge med 2 x 2 kørebaner med hovedkorridor på 27 km samt afkørsel til øen Kvitsøy på 5 km. Rogfast vil når den åbner være verdens længste og dybeste undersøiske vejtunnel. Linjeføring for Rogfast vejtunnel er vist på Figur 5-36.

- Længste afstand til en portal er ca. 9.5 km.
- Tunnellen udføres som en sprængt tunnel i klippe.

Figur 5-36 Rogfast plan (Norge, under opførelse)

5.2.1.1.3 Lyon-Torino base tunnel

Lyon Torino base tunnelen er ca. 57 km lang og etableret som sprængt tunnel i klippe. Tunnelen skal anvendes både til passagertrafik og til biltog specifikt for lastbiler. Som ses på nedenstående Figur 5-37 er der løbende igennem tunnelen etableret adgang/ redning. I tillæg er der midtvejs etableret sidespor og kryds så trafik kan omdirigeres og eventuelt parkeres midlertidigt.



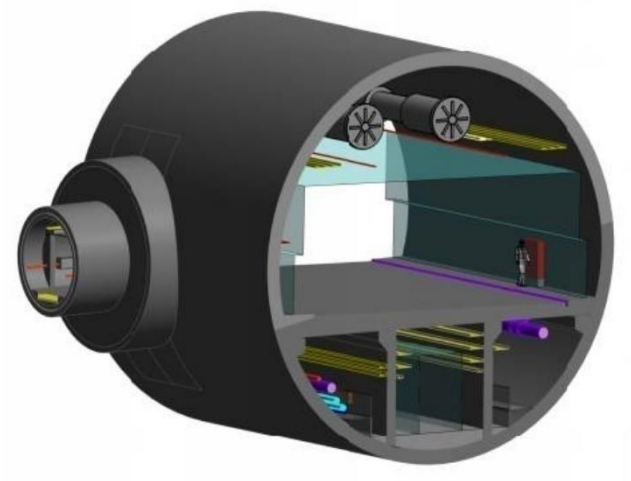
Figur 5-37 Lyon-Torino Base tunnel, Ventilation, adgang og omkørselsmuligheder

5.2.1.1.4 Lower Thames Crossing

Lower Thames Crossing er en planlagt vejtunnel i Storbritannien, placeret øst for London, som en del af ringvejen (M25). Tunnellen er et supplement til den eksisterende Dartfort krydsning, som fast forbindelse under floden Themsen. Vejtunnellen er 4,3 km lang med 3 kørebaner i hver retning. Grundet nærheden til beskyttede naturområder er tunnelen planlagt som en boret tunnel og ikke som bro eller sænketunnel. Diameter for tunnelboremaskinen (TBM) er 16 m og udføres to rør. Udformning af den nordlige tunnelportal (vist fra nord mod syd) fremgår af Figur 5-38.

Vejtunnellen tillader farligt gods og trafikmængden kan på nogle dage være over 80.000 køretøjsenheder om dagen. EU-direktivet for sikkerhed i vejtunneller danner grundlag for projektet og der er gennemført en fuld risikoanalyse herunder flugtvejsanalyse. Analysen viser at sikkerhedsmålsætningen vil kunne opfyldes med en flugtvej til sikkert sted per 200 m. Projektet følger dog myndighedskravet om adgang for beredskab per 150 m via tværtunneller til naborøret. Tunnellen er planlagt med et service galleri, placeret i rummet under vejdækket. Tværsnit af 1 af 2 tunnelrør er vist på Figur 5-39.

Figur 5-38 Lower Thames Crossing, Tunnel Portal



Figur 5-39 Lower Thames Crossing, Tunneltværsnit og ventilation

5.2.1.2 Drift- og sikkerhed

5.2.1.2.1 Principper for tunneldrift

Principperne bag et kommende drifts- og sikkerhedskoncept for en tunnel på en Kattegatforbindelse vil basere sig på de samme principper, som er gældende for Femern sænketunnel (p.t. under udførelse) og som også lå til grund for alternativet med en boret tunnel i sammenligningsstudiet afsluttet 2011 af Sund og Bælt.

Driftsprincipperne er afledt af funktionskravet, om at sikre en sikker stabil fast forbindelse, med begrænsede gener for trafikal afvikling under drift og vedligehold af tunnelen.

Driftskonceptet baserer sig på etablering af et separat servicegalleri til føring af M&E installationer og specifikke områder til placering af bl.a. transformator, el-tavler og pumpesumpe etc. med begrænset påvirkning af trafikafviklingen ved jævnlige planlagte og ikke-planlagte drift- og vedligeholdsarbejder. For sænketunnel løsningen

placeres service galleriet imellem de to rør for vejtrafik og med et specialelement for hver ca. 2,2 km, mens service galleri for den borede tunnel løsning er placeret under vejbanen.

Sikkerhedskonceptet baserer sig på langsgående ventilation, sammenholdt med trafikstyring til at undgå kø i tunnellen. Til håndtering af specifikke brandhændelser, hvor tunnelen er blokeret for udkørsel, vil nødudgange med flugtveje være placeret med kort afstand.

Kørsel i tunnellen, vil have mindst samme sikkerhed som på åben vej. Tiltag vil blive indført som sikrer at den samlede tunnellængde ikke får væsentlig indflydelse på tunnelsikkerheden, hverken for en sænketunnel eller boret tunnel løsning, da afstanden til nødudgange i begge tilfælde er relativt kort.

Det er væsentligt at fremhæve, at man ved hjælp af installeret (ofte ny) teknologi i tunneler eksempeltvist fra videoovervågning, sensorer, røgventilation, drænsystem sikret mod brandspredning og ophobning af eksplosionsfarlige benzindampe og vandtågeanlæg kan opnå en ganske høj trafiksikkerhed i en tunnel målt på antal ulykker og konsekvenser heraf. Vandtågeanlæg er ikke et krav i EU´s tunneldirektiv, hvilket der som minimum skal bygges efter, men er noget som danske beredskaber har fået indført på flere tunneler i Danmark. På den baggrund er et vandtågeanlæg antaget installeret på dette projekt.

Bilisters adfærd, herunder for høj hastighed, hasarderede overhalinger og vognbaneskift bidrager til ulykkesstatistikken, adfærd som muligvis vil kunne ændres bl.a. ved informationskampagner og/eller mere kameraovervågning fra politiet med mulighed for sanktionering ved overskridelse af trafikregler. Det største risikobidrag til tunnelsikkerheden kommer fra trafikanter selv og de køretøjer som benytter tunnelen.

Moderne køretøjer udstyres nu oftere med sikkerhedsudstyr som bidrager til forøget trafiksikkerhed, specielt semiautomatisk styring (bl.a. LIDAR-teknologi) vil have betydning for sikkerheden og brugeroplevelsen ved at køre i en meget lang tunnel (>10 km). Bemærk en strækning på 18 km ved 90 km/t køres på 12 minutter.

Der vil i koncepterne være fokus på vedligeholdelse og adgang for servicepersonale.

- For sænketunnelen vil der være parkeringsmulighed for drifts- og vedligeholdelseskøretøjer ved specialelementerne hvor alle primære installationer er placeret. Her er på Femern driftskonceptet antaget speciel parkeringsplads for servicepersonalet og adgang via en passage under vejbanen, samme løsning benyttes i denne forundersøgelse.
- For de borede tunnelløsninger vil de fleste installationer være placeret under vejniveau hvor der er separat køreadgang fra tunnelportalerne.

Tunnelkoncepter fra Femern sammenligningsstudie er umiddelbart vurderet til at være realiserbare for en Kattegatforbindelse.

5.2.1.2.2 Ventilation

Formålet med ventilation af en vejtunnel er todelt:

1 Normal drift: At sikre at der er tilstrækkelig frisk luft for tunnel brugere pga. køretøjernes emissioner fra motor (CO, NOX, VOC ="*Volatile organic compound*" og partikler) og partikler fra slid opstået ved friktion imellem dæk og vej.

2 I tilfælde af brand/eksplosion: At kontrollere røggasser, så tunnelens brugere kan evakueres sikkert og redningstjenester kan komme frem til hændelsen.

Ventilation af tunneler på Kattegatforbindelsen planlægges håndteret via længdeventilation, hvor selve tunnelrøret anvendes som ventilationskanal.

Ved længdeventilationen, stiller det bl.a. følgende krav til anvendelsen af vejtunnelen:

- Der skal være ensrettet trafik
- Der må generelt ikke være risiko for kødannelser i tunnelen.

Ventilation i normal drift

Ved langsgående ventilation vokser forureningskoncentration stort set lineært gennem en tunnel fra indgang til udgang. Uacceptable forureningskoncentrationer i tunnel eller i nærområdet udenfor portaler og afkørselsramper skal undgås. Dette kan kræve at luften renses ved udledning ved tunnel portal.

Forhold omkring normal ventilation af lange borede tunneller er gennemgået mere i detaljer i Fagnotatet "Analyse af ventilationsbehov for at sikre luftkvalitet i tunnel" [13].

Nogle relativt konservative scenarier er blevet analyseret. Disse inkluderer kombinationer af høje andele af lastbiler, relativ stor andel af køretøjer, der kun opfylder ældre EURO normer, ekstraordinær myldretidstrafik svarende til tunnelens maksimale trafikkapacitet samt større andel af dieselkøretøjer, end der forventes i 2035.

I drifts- og sikkerhedskonceptet i ovennævnte fagnotat er det forudsat, at et intelligent trafikstyringssystem installeres, som sikrer at langsom kørsel kun kan forekomme på en mindre del-strækning af tunnelen. Derved kan grænseværdierne overholdes for de fleste af de analyserede scenarier, bortset fra det meget konservative scenarie, som inkluderer meget høj andel både af lastbiler og af køretøjer ældre end EURO 5, som giver forureningskoncentrationer der overskrider grænseværdierne. Det vurderes, dog at dette scenarie er yderst konservativt og næppe realistisk i forhold til de forventede emissionsniveauer på tidspunktet for en Kattegatforbindelses åbning.

Længdeventilation er blevet undersøgt for fire korridorer, som er anset værende repræsentative for alle løsninger med både sænketunnel og boret tunnel. Der er ikke for nogen af de undersøgte korridorer vurderet et behov for supplerende luftudskiftningspunkter i selve tunnelen ved f.eks. etablering af kunstige øer for ventilation.

Til analyse af frisk luft i tunnelløsningerne er valgt repræsentative linjeføringer. Hvor den længste sænketunnel løsning er 19,9 km imellem tunnel portaler (KKØ-2.1), mens den længste boret tunnel løsninger 25,55 km imellem tunnel portaler (KKØ-4.1). Baseret på resultaterne forventes dog at også længere linjeføringer kan ventileres uden

etablering af supplerende luftudskiftningspunkter i selve tunnelen. Dette skal evt. bekræftes med analyser i næste fase.

Ventilation i tilfælde af brand/eksplosion

Hvis der skulle opstå en brand i tunnelen, så skal der være mulighed for at trafikken i kørselsretningen foran branden frit kan forlade tunnelen, så der ikke vil være køretøjer fanget i en røggas der blæses i kørselsretningen. Figur 5-40 viser principperne ved røggashåndteringen ved langsgående ventilation.

Ved langsgående ventilation blæses røgen ud af vejtunnelen i trafikkens retning. Personer opstrøms (bagved) branden er sikret da der her er røgfrit, mens zonen nedstrøms (foran) branden vil blive røgfyldt og derfor relativt hurtigt skal tømmes for trafik. Den langsgående ventilation blæser med 3-4 m/s svarende til 14,4 km/t – drag fra Ttrafik nedstrøms der kører ud af tunnelen kan dog medføre højere hastighed.

Figur 5-40 Røggashåndtering ved langsgående ventilation – Røgen blæses ud af vejtunnelen i trafikkens retning.

Med moderne ITS (Intelligent Trafik Styring) har man mulighed for at styre trafik uafhængigt indenfor kortere tunnelafsnit og lukke for tilkørsel / aflede trafik langs strækningen. Kombineret med en kort afstand til nødudgange og andre tiltag vurderes det at langsgående ventilation vil være tilstrækkeligt for de undersøgte Kattegat tunnelløsninger.

De undersøgte linjeføringer er sammenlignelige med længden af Femern tunnelen, for hvilken der er udarbejdet et detaljeret drift- og sikkerhedskoncept underbygget af en risikoanalyse. På det nuværende grundlag vurderes det at myndighedskrav, tunnellængder, trafikmængder og trafiksammensætning er tilpas sammenlignelige med Femern projektet til at principperne for det drift- og sikkerhedskoncept, der er udviklet på Femern tunnelprojektet kan genanvendes. Det skal dog i tilfælde af at tunnel indgår i det videre analysearbejde valideres i en senere projektfase.

For sænketunnel løsningen vil der langs hele strækningen være adgang til et sikkert område i det modsatte trafikrør via nøddøre. Her anvendes ITS systemet til både at styre trafik i området, hvor der skal evakueres fra, og til at styre trafikken i det modsatte rør, hvor man f.eks. kan lukke for indkørende trafik, så man langsomt og sikkert får tømt begge tunnelrør.

For de borede tunneler vil der via ramper, være afgang til et sikkert område under vejbanen, hvorfra der kan evakueres. Der vil være behov for en form for motoriseret evakuering så personer ikke ved evakuering skal gå op til 10 km for at nå ud til tunnelportalen. Sikkerhedskonceptet for en lang boret tunnel følger samme principper, som for sænketunnel med langsgående ventilation, trafikstyring til undgåelse af kø og relativt tæt placering af flugtveje.

Det bør i en senere projektfase undersøges, om en mere optimal udformning af en boret tunnel løsning skal indeholde tværtunneller anlagt imellem tunnelrørene, med nødudgang og flugtvej til det andet tunnelrør. Forhold vedrørende drift- og vedligehold, geologi og pladsbehov til installationer vil have indflydelse på om tværtunneler bør etableres. Siden udviklingen af den borede tunnel løsning for Femern er der sket en væsentlig udvikling i mekanisk udgravning af tværtunneler (bl.a. med en mini TBM) hvorfor det ved nærmere studier kan vise sig at være en attraktiv løsning ud fra et operationelt perspektiv.

5.2.1.2.3 Brandslukningssystem

For vejtunneller monteres der vandudtag for brandvæsnets brandslukning med fast interval gennem tunnellen, oftest ved nødudgange og ved flugtveje for nemmest adgang. Afstand mellem brandudtag skal fastsættes i henhold til internationale vejledninger.

På Femern sænketunnellen er det desuden planlagt, at der skal installeres et fast monteret brandslukningssystem i dette tilfælde et vandtågeanlæg. På Kattegatforbindelsen for både en sænketunnel og en boret tunnelløsning, forudsættes ligeledes installation af et fast monteret brandslukningssystem.

Erfaring viser, at man ofte med risikoanalyse kan påvise at sikkerhedsmålsætningen kan opfyldes uden et fast monteret brandslukningssystem (f.eks. i form af et sprinklersystem eller vandtågeanlæg), men at et brandslukningssystem ofte alligevel installeres i vejtunneller som et tillægskrav for at reducere skader på tunnelen ved brand og dermed reducere risikoen for længere tids nedlukning til reparationer. For jernbanetunneler er det et TSI-SRT-krav (Kommissionens Forordning (EU) Nr. 1303/2014), at der for tunneler over 20 kilometers længde skal etableres evakuerings- og redningssted forsynet med sprinkleranlæg."

5.2.1.2.4 Nødspor og nødnicher

I udgangspunktet er der valgt et koncept med nødspor svarende til Femern tunnelen.

EU's tunnelsikkerhedsdirektiv foreskriver ikke nødspor hvis vejbanen med den langsomste hastighed er minimum 3,5 m bred. Hvis det kun med uforholdsmæssigt store anlægsomkostninger muliggør det, skal der ikke anlægges nødspor og/eller nødnicher. Vejtunneller i bjerge forsynes ofte med nødnicher ("*lay-bys*"), da disse er nemmere og billigere at bygge i bjergtunneller end i sænketunneller og borede tunneller. Fordelene ved nødnicher kan ikke altid opvejes af ekstra anlægsomkostninger. Dette medfører derfor ofte at nødnicher fravælges for sænketunnel og boret tunneller, da tilstrækkelig brugersikkerhed i forhold til sikkerhedsmålsætning oftest kan opnås med andre tiltag.

Typiske hændelser som punktering, tom brændstoftank eller tabt gods vil have en mindre påvirkning af trafikafviklingen hvis der etableres et nødspor.

Der kan være en risiko for sammenstød med "bagendekollision", hvis der er stillestående køretøjer på vejbanen. Risikoen formindskes dog kraftigt ved aktivt brug af kørebanesignaler (ITS), som vil kunne lukke vejbaner midlertidigt i tilfælde af stillestående køretøjer. I lange vejtunneler uden nødspor eller nødnicher kan autohjælpen til strandede køretøjer stoppe eller besværliggøre trafikken i tunnelen, mens hjælpen pågår.

Almindelige uheld som f.eks. stillestående køretøjer og tabt gods vil kunne detekteres automatisk via videokameraer integreret med ITS anlægget. Nødspor er vurderet nødvendige på Femern forbindelsen og forudsættes derfor også nødvendige på Kattegat forbindelsen.

5.2.1.2.5 Flugtveje og adgang for beredskab

Flugtveje for en sænketunnel kan enten være til modsatte (sikre) trafikrør eller til galleri mellem trafikrør, hvorfra der fortsættes til tunnelportal. Borede tunnelrør kan som nævnt enten forbindes med tværtunneler eller der kan etableres et sikkert rum under vejbanen. Af EU's tunnelsikkerhedsdirektiv fremgår det, at der ikke må være længere end 500 m mellem flugtveje. I flere Europæiske lande har man dog krav om væsentlig kortere afstand mellem disse. Maksimal afstand imellem flugtveje afhænger af trafikmængder og trafiksammensætning. Afstand imellem adgangsveje (via flugtvej) for beredskab afhænger af forhold omkring brandbekæmpelse og krav/ønsker fra lokale brandmyndigheder.

Adgang for beredskab til det modsatte tunnelrør skal i flg. EU-direktivet være tilstedemindst for hver 1,5 km. Dette krav opnås ved at anvende flugtvejene, som har væsentlig mindre afstand, som adgang for beredskab. Der er krav om mulighed for overledning af trafik fra den ene side af vejstrækningen til den anden umiddelbart før tunnelportalen evt. også mulighed for u-vending. Der vil ydermere være fordele knyttet til afvikling af trafikken ved at tilvejebringe tilsvarende overledninger inde i selve tunnellen, men det er ikke et krav i EU-vejtunnel sikkerhedsdirektivet. Overledninger kan udføres for både sænketunnel og boret tunnel, men er meget bekostelige for begge tunneltyper og anvendes derfor sjældent. På Femerntunnel er der ikke krævet overledninger inde i tunnellen og disse er derfor ikke antaget for hverken sænketunnel eller boret tunnel på Kattegatforbindelsen.

Afstanden imellem flugtveje vil skulle vurderes i et sikkerhedskoncept og dokumenteres i en risikoanalyse, hvori evakuerings- og interventionsstrategierne indgår. Dette skal udarbejdes i en senere projektfase. Afstand imellem flugtveje i cut & cover tunnel og sænketunnel er antaget til ca. 100 m. I det udarbejdede sikkerhedskoncept for Femern sænketunnel er afstanden mellem nøddøre 110 m, svarende til to pr. tunnelelement. Se tværsnit for Femern sænketunnel i Figur 5-31.

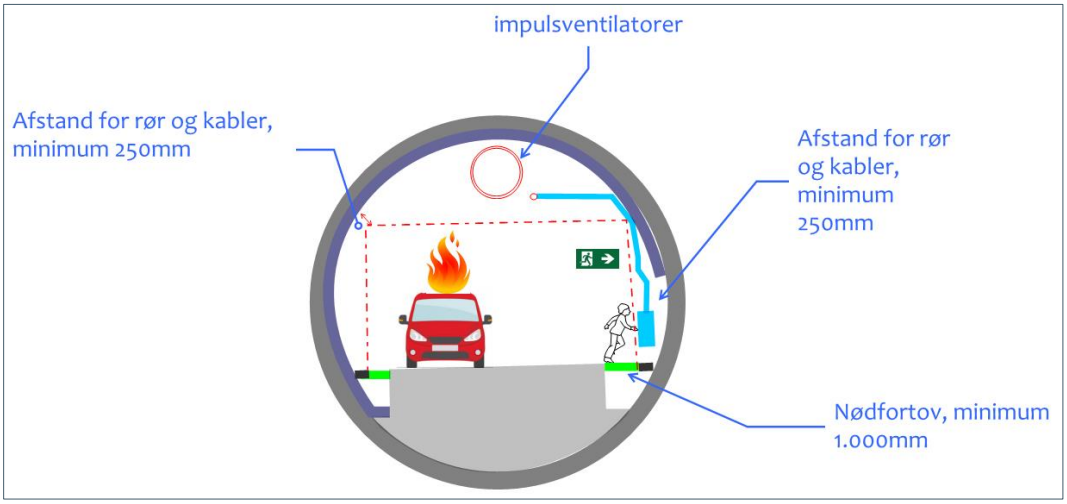
For de borede tunneler er der antaget en flugttrappe/rampe for hver 100 m, hvor man flygter ned under vejbanen til et sikkert område, og hvorfra trafikanter derefter kan blive transporteret under vej-dækket til terræn (se tværsnit af boret tunnel for henholdsvis vejdel og jernbanedel fra Femern boret tunnel alternativ Figur 5-34 og Figur 5-35. Afstanden imellem flugtveje for boret tunnel, kan muligvis være større end den kan for en sænketunnel, da luftvolumen under tunnelloftet er større for en boret tunnel end for en sænketunnel. I tilfælde af en brand, hvor trafik på begge sider af branden ikke kan køre ud, og aktivering af langsgående ventilation derfor ikke er hensigtsmæssigt, kan en større luftvolumen indeholde mere røg og der vil derved gå længere tid før røgen synker ned og påvirker de flygtende trafikanter.

5.2.1.2.6 Fritrumsprofil

Geometrien af tunnelprofiler er udformet, så der er plads til al sikkerhedsudstyr såsom brandbeklædning, rør til vandtågeanlæg, lys, brandhaner, impulsventilatorer, CCTV, kommunikationssystemer, evt. nødtelefoner (i fremtiden forventes disse erstattet med trafikanters egne mobiltelefoner) og skilte etc., i henhold til EU vejtunnelsikkerhedsdirektivet og international praksis, se typiske sikkerhedstiltag i Figur 5-41.

Forudsætningen for denne forundersøgelse er:

- ITS-anlæg sikrer, at der ikke opstår kødannelser i tunnel under normalsituationer
- Der etableres nødspor i højre side i kørselsretningen af tunnelen.
- Der etableres et 1,0 m nødfortov i venstre side i kørselsretningen af tunnelrør.
- Tunnel udstyres med hændelses- og branddetekteringssystemer samt foranstaltninger til at stoppe trafik i tilfælde af en hændelse.
- Tunnel udstyres med vandtågeanlæg.
- Udrykningskøretøjer har adgang via tilslutningsanlæg.
- Vandforsyning etableres med brandhaner per 250 m.
- Bærbare brandslukkere etableres per 150 m.



Figur 5-41 Sikkerhedsudstyr

5.2.1.2.7 Farligt gods

Hvis man fastsætter transport af farligt gods som et funktionskrav for tunnelen, skal den klassificeres for transport af farligt gods i henhold til ADR-konventionen, Der skal etableres en prognose for transporter af farligt gods, som skal sikre, at den rette tunnelklassifikation kan foretages.

I udgangspunkt for denne forundersøgelse stilles de samme funktionskrav til en Kattegatforbindelse, som der stilles til Femernforbindelsen, herunder "*ingen restriktioner på farligt gods*".

Transporter af farligt gods stiller krav til både tunnelen og det vejnetværk den er en del af, da farligt gods som udgangspunkt skal transporteres ad den rute, der giver

mindst risiko for 3. part. Dette betyder, at transport af farligt gods gennem tunnellen ikke må introducere en højere risiko end ved at anvende alternative ruter. Det anbefales, at man i en fremtidig analyse undersøger om transport af farligt gods gennem en tunnel på Kattegatforbindelsen samfundsmæssigt samlet set vil udgøre en lavere risiko end transport ved alternative ruter.

Der vil være en mulighed for at lede farligt gods via Storebæltsforbindelsen, dette kan medføre en højere sikkerhed samfundsmæssigt og vil muligvis kunne reducere anlægs- og driftsomkostninger af tunnelen (for konstruktioner og M&E installationer). Alternativt kan farligt gods transporteres på skib, hvis det vurderes at være relativt begrænset i omfang.

Hvis man vælger at lægge restriktioner på farligt gods, skal tunnelen indplaceres i ADR tunnelkategori B, C, D eller E:

- Tunnelkategori A: Ingen restriktioner for transport af farligt gods.
- Tunnelkategori B: Restriktion for transport af farligt gods, der kan medføre en meget kraftig eksplosion.
- Tunnelkategori C: Restriktion for transport af farligt gods, som kan medføre en meget kraftig eksplosion, en kraftig eksplosion eller et omfattende giftudslip.
- Tunnelkategori D: Restriktion for transport af farligt gods, som kan medføre en meget kraftig eksplosion, en kraftig eksplosion, et omfattende giftudslip eller en omfattende brand.
- Tunnelkategori E: Restriktion for transport af alt farligt gods.

I tilfælde af et ønske om transport af farligt gods i vejtunneller kræver EU-tunneldirektivet, at der laves en risikoanalyse til vurdering af transport af farligt gods i en tunnel.

Ved transport af farligt gods i tunnelen kan særlige tiltag være påkrævet som minimere mulighed for en ulykke med farligt gods og/eller mindsker konsekvensen af denne. En risikoanalyse skal belyse hvilke tiltag der er mulige at inkludere og konsekvensen af disse.

Eksempler på tiltag:

- Kortere afstand til nødudgange, for hurtigere evakuering af tunnel
- Vandtågeanlæg for at mindske brandstørrelsen.
- Større pumpesumpe til at opfange lasten fra en lækket tankbil
- Drænsystem udformet til at holde ild og/eller brandbare og giftige væsker inde for et mindre område af tunnelen
- Intelligent trafikstyringsanlæg for at mindske mulighed for ulykke
- Kraftigere ventilationsanlæg for at kunne kontrollere en større brand
- Forbedret information til trafikanter
- Brandbeklædning

Der er for både sænketunnel og borede tunnelløsninger på Kattegat allokeret plads i tunnelprofil og økonomi til ovenstående.

5.2.1.2.8 Centralt galleri/service galleri

Størrelsen af et centralt galleri i cut & cover og sænketunneler skal også vurderes i en i senere projektfase i forbindelse med udarbejdelsen af et drift- og sikkerhedskoncept for tunnelen.

P.t. baseres løsningen på erfaringer fra Femern tunnelen.

Ligeledes anbefales det at udformning af service galleri for boret tunnel viderebearbejdes i en senere projektfase, med hensyn til effektivitet og levetidsomkostning omkring anlægsudførelse, drift & vedligehold samt redningsforhold.

5.2.1.2.9 Vandtæthed

Vandtæthed skal sikres for:

- materialets (stål/beton) vandtæthed evt. ved brug af vandtæt membran
- i fugerne imellem konstruktionsdelene, som skal kunne følge bevægelser af konstruktionen fra temperatur og tidsafhænge bevægelser, samt ældning af fugematerialet.

Sænketunnel, boret tunnel og cut & cover tunnel udgør alle kendte konstruktions- og udførelses metoder, som kan sikre et vandtæt tunnelrør både til vej- og jernbanetunnel.

Vandtætheden begynder ved god projektering på baggrund af bl.a. geologi, laster fra vand og jord, ulykkeslaste bl.a. fra marintrafik og ikke mindst indbyggede laster fra og under udførelse. Vandtæthed af fuger sikres gennem anvendelse af dobbeltfuger og godt håndværk på pladsen. Store vandtætte tunnelkonstruktioner kan bygges af et begrænset antal internationale entreprenører og specialistvirksomheder, som har ekspertisen til at gennemføre et projekt af denne skala og kompleksitet. Baseret på de etablerede projekteringsforudsætninger skal der i udbuddet for tunnelentreprisen stilles skrappe krav til materialer og udførelse af betonkonstruktioner, bl.a. krav om "ingen revner som følge af betonhærdning" (på teknisk engelsk "no early-age cracking"). Alternativt forsynes tunnel med holdbar vandtætningsmembran, et koncept som hverken er anvendt på Øresund tunnelen eller Femern tunnelen.

Hvis udførelsen af sænketunnel eller boret tunnel ikke lever op til krav stillet i specifikationer, kan drifts- og reparationsomkostninger af utætte konstruktioner være høje. Erfaringsmæssigt kan dette dog ofte udgås ved præcis kravspecifikation fra ejers side og omhu under udførelsen.

I sammenligning mellem sænketunnel og boret tunnel inklusive tilhørende cut & cover tunnel er der erfaringsmæssigt ikke basis for at fremhæve at den ene løsning er bedre end den anden til at sikre tilstrækkelig vandtæthed. Risikoen forbundet med eventuelle reparationsomkostninger er svær at opgøre, men da kravene til udførelse er høje og muligheden for at opnå en vandtæt konstruktion under udførelsen for begge typer er gode, vil en eventuel forskel i "risiko for reparation" (og i værste fald

funktionsnedsættelse), være meget begrænset. Som eksempel har både Storebælt (boret tunnel) og Limfjordstunnel (sænketunnel) og Øresund (sænketunnel) krævet efterfølgende reparationer.

Helt overordnet kan følgende siges om de tre konstruktionstyper vedr. drift og vedligehold: Problematikken om håndtering af vandtæthed afhænger af tunneltype, men at man med erfaring kan planlægge, bygge og drive vandtætte undersøiske tunnelkonstruktioner.

Erfaring med udførelse af både sænketunneller og specielt borede tunneller er forøget kraftigt de sidste 20-25 år, hvorved man har kunne minimere risikoen for utætheder for begge tunneltyper. Der findes flere eksempler rundt omkring i verden, på veludførte borede vejtunneller med et betydeligt vandtryk, se afsnit senere med referencer til udførelse af borede tunneller med stor diameter og dybde.

Ofte for borede tunneller med stor diameter placeres dobbelt fugebånd imellem segmenter for at opnå en ekstra sikkerhed imod vandindtrængningen. Den største risiko for vandindtrængning for boret tunnel er ved bevægelsesfuger og i overgange imellem forskellige typer af konstruktioner f.eks. imellem boret tunnel og cut & cover tunnel. Erfaring med udførelse af boret tunnel er efterhånden så udbredt, at situationer erfaret på Storebæltstunnellen meget sjældent ses.

Ejers kravspecifikationer til tunneler nu til dags tillader ikke dryppende vand i vej- og jernbanetunneller. Man tillader fugtige pletter, men der må ikke dryppe eller sive vand ind. Testen er at man på et fugtigt område skal kunne holde en hånd under det fugtige område i et minut, uden at der kommer synligt vand i hånden. Erfaring fra 1990'erne repræsenterer derfor på ingen måde den erfaring man har med udførelse og drift af undersøiske tunneller i dag. Hvis der under udførelse er "dryppende vand" opfylder tunnellen ikke kravet og der skal gøres tiltag (injicering eller andet) så tunnellen opfylder kravet.

5.2.1.3 Tunnelportaler med servicebygning

Tunnelportalerne herunder servicebygningerne er anseelige anlæg og som indeholder den overordnede styring af tunnelens mekaniske og elektriske anlæg. I princippet vil udformning af tunnelportaler og servicebygninger være de samme for en sænketunnel og en boret tunnel. Tunnelportalen for boret tunnel vil generelt være rykket et væsentligt stykke væk fra kysten for at sikre tilstrækkeligt jorddække over den borede tunnelstrækning i sammenligning med sænketunnel løsninger. De givne terrænforhold, geologi og eksisterende bygninger og veje omkring tunnelportalen vil have afgørende indflydelse på udformning.

I størrelse henvises til Femern tunnelløsningen (se Figur 5-42) som er repræsentativ for hvad der er krævet for de tunnellængder der er undersøgt for Kattegat løsningerne.

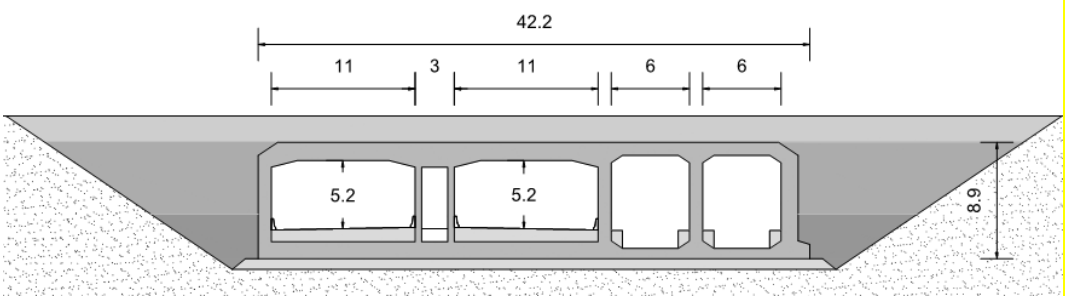
Figur 5-42 Tunnelportal for lang 4+2 sænketunnel (eksempel fra Femern)

Alt efter landskabet og terrænniveauer kan servicebygningen integreres mere eller mindre i omgivelserne. I det viste eksempel fra Femern sænketunnel ligger portalbygningen og rampen relativt lavt og må derfor omgives med en dæmning for at sikre mod oversvømmelse. Det er ikke tilfældet for alle de undersøgte korridorer for Kattegatforbindelsen da ilandføringspunkter langs kysterne i flere tilfælde er relativt højt over vandoverfladen.

Det vurderes at tunnelportalen for både sænketunnel og boret tunnel, ud fra et anlægsteknisk synspunkt, ikke vil have afgørende betydning for de samlede projektrisici.

5.2.2 Tværsnit

På baggrund af drift- og sikkerhedsforhold beskrevet afsnit 5.2.1, er det for denne forundersøgelse af en Kattegatforbindelse valgt at basere undersøgelserne på de tværsnit, som blev udarbejdet under forundersøgelserne for Femernforbindelsen. Den endelige udformning af Femern sænketunnelen, vil blive baseret på samme princip.



Figur 5-43 Tværsnit i sænketunnel

Figur 5-44 Tværsnit i boret tunnel

Der henvises desuden til fagnotatet "Supplerende undersøgelser for løsninger med kun ét jernbanespor" [12].

5.2.3 Sænketunneler

5.2.3.1 Referenceprojekter - anlæg af sænketunneller

Følgende projekter er relevante i forbindelse med undersøgelse af korridorer med sænketunnelløsningerne:

- Femern Bælt tunnelen (under udførelse) – vej- og jernbanetunnel
- Busan-Geoje Fixed link, Sydkorea (åbnet 2010) – vejtunnel
- Hong-Kong – Zhuhai – Macao, Kina (åbnet 2018) – vejtunnel

5.2.3.1.1 Femern

Femern Bælt sænketunnelen (kombineret vej og bane) er under anlæg og bliver ca. 18.5 km lang. Da projektet endnu ikke er afsluttet, er anlægsrisici forbundet med længden, ikke nær så dokumenteret som for udførte projekter. Driftsforhold beskrevet for samme reference i afsnit 5.5.2.1 er væsentligt bedre afdækket, da blandt drifts- og sikkerhedskonceptet har dannet grundlag for designet. Erfaring fra udførelse af Øresund og Hong – Kong – Zhuhai sænketunnel projekter har dog vist at udførelse af lange sænketunnel projekter, i den grad er skalerbar. Det vurderes derfor ikke for høj risiko at medtage Femern tunnel, da en hel del planlægning (baseret på Øresundstunnellen) er lagt til grund for både udbud og tilbud fra entreprenører.

Femern anlægsprojektet er, hvad længde angår, det mest relevante referenceprojekt for de vurderede sænketunnelløsninger. Funderingsforholdene for Femern tunnel, hvor underbunden består primært af moræneler over den største del, er gode, mens visse udfordringer findes på den sydlige del (mod den tyske side), hvor der funderes på plastisk Palæogent ler. Den Palæogene ler er karakteriseret ved at kunne svelle meget i forbindelse med aflastning og have generelt lav permeabilitet.

Specielle anlægstekniske forhold, som er relevante i forhold til Kattegatforbindelsen:

- Verdens længste planlagte sænketunnel med 18.5 km (samme længder som Kattegat).
- Dyb sænketunnel med vejkote i 40 m, ikke så dyb som Busan og HZM, men stadig mere sammenlignelig med disse end med sænketunnel ved flodkrydsninger hvor dybden ofte lavere. (ikke så dyb som Kattegat).
- Fundering i plastisk Palæogent ler (hvilket også kan forekomme for Kattegat).
- Transport af tunnel elementer og sænkning på åbent hav.
- Planlagt i Danmark med Europæiske regler og arbejdsmetoder.
- Kombination af vej og jernbane i tunneltværsnit.

5.2.3.1.2 Busan – Geoje

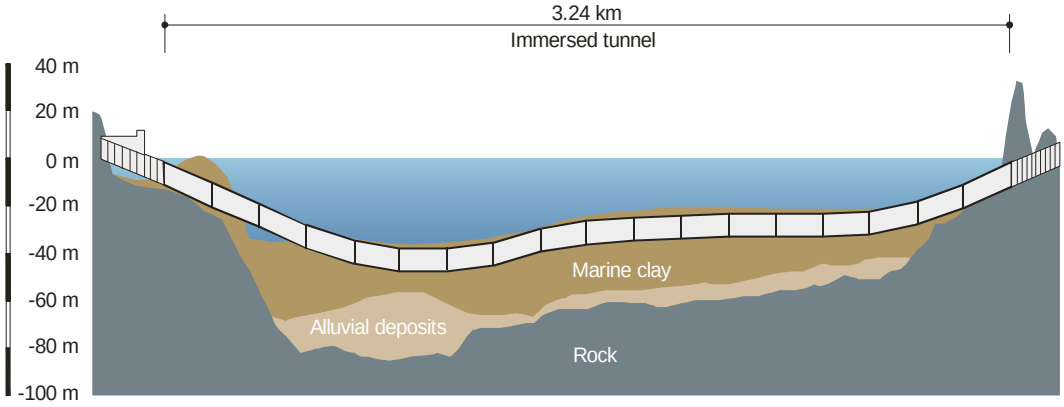
Busan – Geoje tunnelen i Korea er etableret i åbent havmiljø. Den faste forbindelse består af 2 skråstagsbroer og en sænketunnel på 3,24 km.

Tunnelen er for 2 kørebaner i hver retning og med et krybespor på stigningen i vestlige retning. Sænkning af det sidste tunnelelement imod kunstig ø (mellem to eksisterende øer) er vist på Figur 5-45.

Figur 5-45 Den faste forbindelse Busan-Geoje set mod vest. Sænkning af det vestlige tunnelelement.

Som det ses på Figur 5-46 er vestenden etableret på en dyb undersøisk dæmning opbygget på jordforstærket blødt/sætningsgivende marint ler.

I øst enden (til højre på figur) ligger tunnelen over havbunden og har derfor krævet et større beskyttelsesrev for at begrænse påvirkningen fra eventuelle skibsstød fra den tunge container trafik som passerer tunnelen.



Figur 5-46 Busan-Geoje sænketunnel geologisk profil.

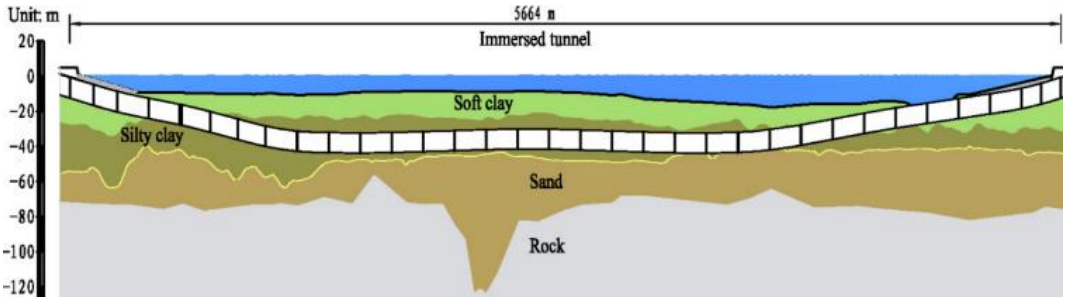
Specielle anlægstekniske forhold, som er relevante i forhold til Kattegatforbindelsen:

- Lang vejsænketunnel på 3,4 km, p.t. verdens tredje længste efter Hong Kong Zhuhai Macao (5,6 km) og Øresund (3,6 km).
- Dyb sænketunnel, p.t. verdens dybeste vejsænketunnel med dybdepunkt for vej-kote i -46 m (Bosporous sænketunnel er verdens dybeste, men meget smal-lere/mindre da den er alene bygget for jernbane).
- Kunstige øer med opbygning af tunnelbeskyttelse over havbund i begge ender
- Bløde/sætningsgivende formationer under havbund
- Transport afstand (>10 km) af tunnel elementer og sænkning på åbent hav
- Skibsstød (sunket, sammenstød) specielt i den østlige ende
- Over havbunden herunder på undersøisk dige.
- Maximum gradient: 5% (med krybespor)

5.2.3.1.3 Hong Kong - Zhuhai – Macao

Sænketunnelen, der indgår i den 50 km lange Hong Kong – Zhuhai – Macao faste for-binelse er etableret mellem to kunstige øer (vist på foto i Figur 5-47). Disse øer og tunnelen er etableret i flodudmundingen for Pearl River, og består af blødt og silthol-digt ler. Øerne og tunnelenderne har derfor krævet væsentlige forbedringer af jord-bunden for at sikre mod, at sætninger og sætningsvariationer langs linjeføringen skulle lede til problemer. Linjeføring og geologisk profil er vist på Figur 5-48.

Figur 5-47 Den faste forbindelse mellem Hong Kong - Zhuhai - Macao. Set mod vest.



Figur 5-48 Sænketunnelen i Hong Kong - Zhuhai - Macao projektet, geologisk profil.

Tunnel tværsnittet er bredt med 3 kørebaner, men uden nødspor.

Specielle anlægstekniske forhold som er relevante i forhold til Kattegat:

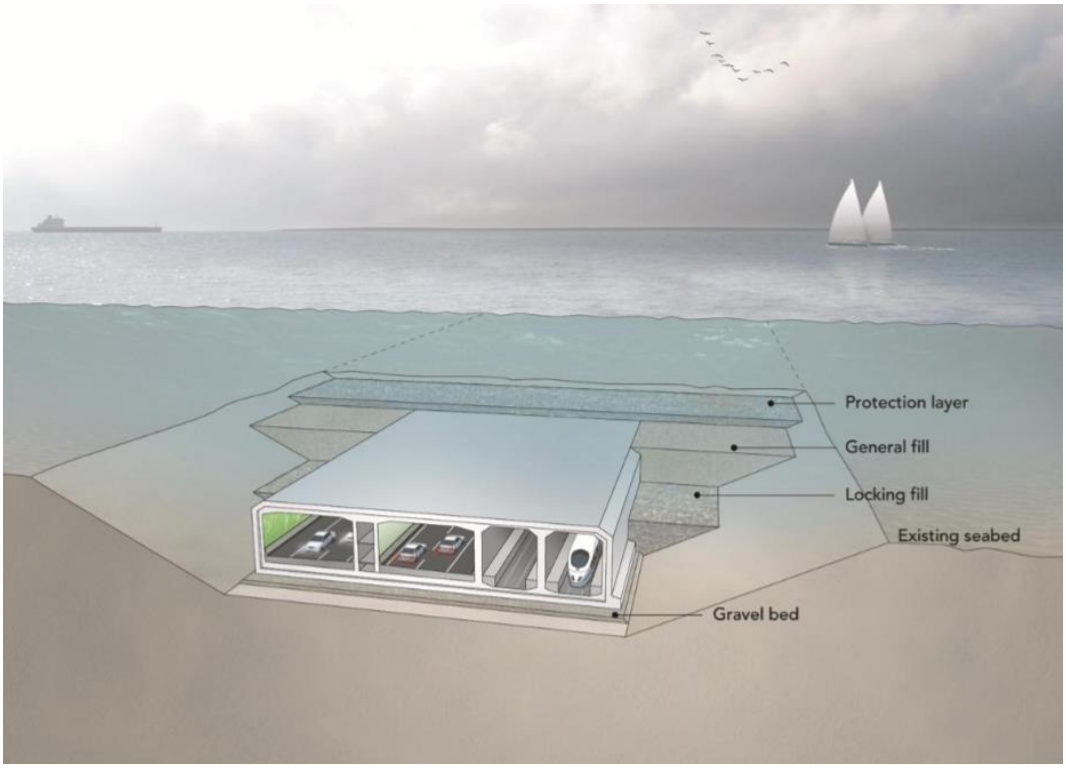
- Verdens længste sænketunnel på 5,6 km
- Dyb sænketunnel med vejkote i -42m.
- Kunstige øer med opbygning af tunnelbeskyttelse over havbund i begge ender
- Bløde/sætningsgivende formationer under havbund
- Lang transport af tunnel elementer og sænkning på åbent hav
- Maximum gradient: 3% (uden krybespor)

5.2.3.2 Beskrivelse af anlæg

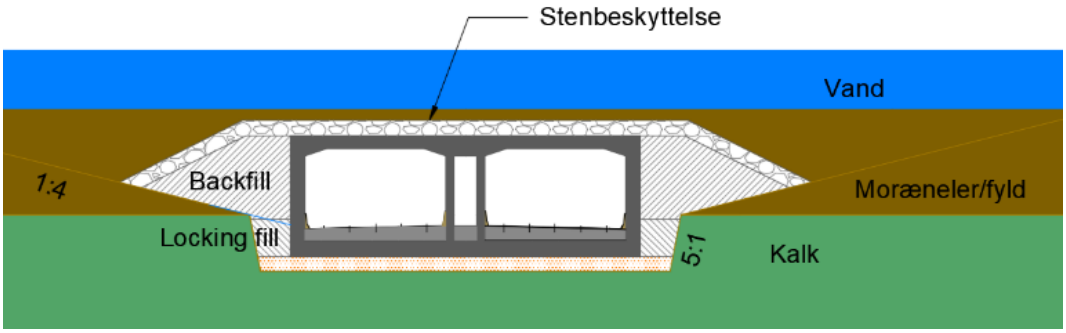
Projekteringsprincippet for en sænketunnel er at tunnelelementerne typisk er dimensionerede så de netop kan flyde ved egen opdrift, og at der kun kræves relativt begrænset ballast (vand) for at sænke elementerne ned. Når de er på plads, støbes der efterfølgende ballastbeton inde i elementerne, som giver den permanente sikkerhed mod opdrift.

Tunnel elementerne vil derfor i deres endelige placering have et funderingstryk der er mindre end funderingstrykket fra den fjernede jord (in-situ trykket). I nogen tilfælde,

specielt med plastiske lerarter kan det føre til at jorden hæver sig på grund af aflastning. Eksempel på tilbagefyld omkring sænketunnel er vist på Figur 5-49.



Figur 5-49 Eksempel på tilbagefyld på sænketunnel (fra Femern tunnel).



Figur 5-50 Eksempel på et sænketunnelelement med tunnelbeskyttelse (Østlig Ringvej)

Længder og dybder af de på Kattegat vurderede sænketunneler er nogenlunde svarende til Femern Bælt tunnelen, hvorfor vi i denne fase vurderer, at det udviklede tværsnit til Femern vil kunne anvendes for de forskellige korridorer med sænketunnel på en Kattegatforbindelse.

Femern sænketunnelløsningens udformning er etableret baseret på to typer sænketunnel elementer:

- Et standardelement som er cirka 200 m langt
- Et specialelement hvori væsentlige installationer er arrangeret så de kan tilgås relativt enkelt.

Tværsnit for henholdsvis normalelementer og specialelementer er vist i tidligere afsnit om drift på Figur 5-31 og Figur 5-32. Overgang mellem de to elementtyper for både konstruktioner og fundamenter er en udfordring både for projektering og udførelse.

5.2.3.3 Fundering og udgravning

Fundering af en sænketunnel afhænger af de jordbundsforhold der findes langs linjeføringen. Det er væsentligt at bemærke, at funderingen ikke er af tunnellens konstruktion alene, men også tilbagefyld langs siderne og på toppen som i visse tilfælde giver et funderingstryk der er højere end selve tunnelkonstruktionen.

Funderingsforholdene forventes at variere langs længden af tunnelen i på grund af variation i jordbundsforholdene.

Der foreligger p.t. meget begrænsede data om de faktiske forhold og disse er ikke tilstrækkelige til at vurdere behovet for udskiftning og/eller jordbundsforstærkninger. Det er ikke urimeligt at antage at 0-10% af tunnelstrækningen vil kræve udskiftning op til 5 m, mens den resterende del vil have en direkte fundering.

For at holde dybden af sænketunnel indenfor kendte grænser for udførelse kan sænketunnelen på delstrækninger etableres over eksisterende havbund på en opbygget undersøisk dæmning, hvor den skal funderes og sikres mod sætninger og hydraulisk påvirkning. Det skal sikres, at den undersøiske dæmning er lagt i tilstrækkelig dybde så påvirkning fra skibe med stor dybgang undgås.

Alle sænketunnelløsninger placeres under den eksisterende havbund, på nær omkring de kunstige øer og hvor tunnelen er placeret på en undersøisk dæmning. Dermed er skibsstødsrisikoen minimal på de typiske stræk. På disse stræk er risikoen fra skibstrafik primært knyttet til ulykkeshændelse som et sunket skib, tabt anker og slæbt anker. Risiko for skibsstød på sænketunnel ved kunstige øer adresseres ved at gøre sænketunnelbeskyttelsen tykkere og bredere hvor sænketunnelen er over havbunden.

Erfaringer fra internationale tunnelprojekter – specielt i Nordøstasien (f.eks. Busan-Geoje, og Hong Kong-Zhuhai-Macao) har dog vist at man selv i meget bløde sætningsgivende jordarter kan etablere et tilstrækkeligt solidt funderingskoncept, som vil kunne tilvejebringe bæreevne og kontrollere sætninger for en sænketunnel, også hvor linjeføringen ligger helt eller delvist over eksisterende havbund.

5.2.3.4 Byggemetode

En sænketunnel fremstilles i Europa normalt af 100-200 m lange betonelementer, der støbes i tværsnittets fulde bredde og højde i en tørdok. Vægten af tunnelelementerne er afpasset, så de efter lukning i begge ender med vandtætte skot vil kunne flyde, når tørdokken sættes under vand. Det enkelte element bugseres herefter ud til placeringsstedet, hvor det nedsænkes i en udgravet rende i havbunden og skubbes sammen til en tæt samling med den tidligere udførte del af tunnellen. Herefter fyldes til med sand langs siderne, og der placeres et lag store sten ovenpå for beskyttelse. Et eksempel på bugsering af et tunnelelement er vist på nedenstående Figur 5-51.

Figur 5-51 Eksempel på transport af sænketunnelelement (Øresund)

Lange sænketunneller (>3 km) har opnået stor udbredelse de sidste 20 år ved større faste forbindelser, hvor for eksempel nærhed til lufthavn (Øresund og HZM) og skibstrafik (Busan-Geoje) har medført at en sænketunnel er bleven valgt i stedet for en måske mere oplagt broløsning.

Sænketunnelen anlægges typisk så det øverste stenlag er umiddelbart under havbunden, og den forbindes ved kysten i hver ende normalt med en kort cut & cover tunnel. Anlægges den højere end havbunden, vil der være behov for speciel beskyttelse mod skibsstød. Anlægges den dybere vil der være behov for store mængder ekstra udgravning.

Sænketunneler kan også anlægges på/i dæmninger langs delstrækninger så passager af meget varierende batymetri og/eller specielle bindinger fra linjeføringen kan håndteres. I sådanne tilfælde vil der være behov for en strategi til at begrænse omfanget af differenssætninger af sænketunnelen, herunder håndtering af transitioner imellem selve dæmningen og de nabostrækninger hvor tunnelen ligger i eksisterende jordlag.

I andre egne af verden anlægges sænketunneler også som stålelementer med indstøbt beton. Denne type har ikke fundet bred anvendelse i Europa, hvor der er tradition for anvendelse af høj kvalitetsbeton i anlægskonstruktioner. Enkelte projekter er etableret helt eller delvist via denne metode (f.eks. Söderströmstunneln i Stockholm), men det er typisk kun når helt specielle projektvilkår umuliggør anvendelsen af de traditionelle betontunnel elementer. Denne type sænketunnel er derfor ikke analyseret i denne fase.

5.2.4 Borede tunneler

Borede tunnelløsninger bør, hvis man ønsker at gå videre med den i kommende faser, vurderes nærmere, når mere information om jordbundsforhold foreligger. Det vurderes at de borede tunnelløsninger på over 19 km vil kræve ekstra analyse ud fra et TBM teknisk perspektiv i relation til slid på boremaskinen, men også i relation til drift- og sikkerhedskonceptet, som for danske forhold er udover det sædvanlige.

5.2.4.1 Referenceprojekter - anlæg af borede tunneler

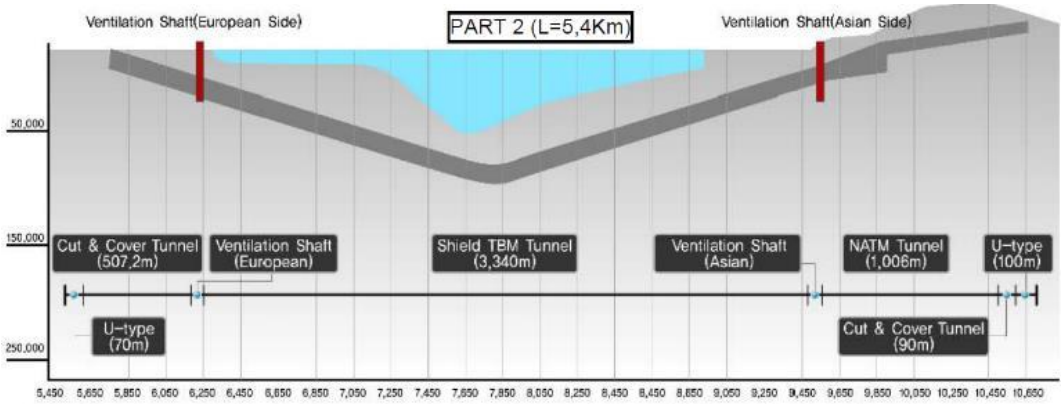
I dette afsnit er udvalgt projekter der er vurderet relevante for borede tunnelløsningerne ud fra kriterier om i) stor diameter og i) undersøisk vej- eller jernbanetunnel. Tabel 5-6 viser udvalgte relevante borede tunnelprojekter med stor diameter på TBM og relative høje vandtryk.

Tabel 5-6 Oversigt over projekter med TBM-maskiner med stort vandtryk

Projekt	TBM-type	TBM Diameter	Lokalitet	Længde af boret tunneldel	Maksimalt vandtryk ved TBM-bund
Storebælt	EPB	8.5 m	Undersøisk	2 rør x 7.4 km	79 m
Madrid M30	EPB	15,4 m	Bymæssig	2 rør x 4.2 km	77 m
SR99 Seattle	EPB	17,5 m	Bymæssig	1 rør x 2.8 km	75 m
Fjerde Elb tunnel	mixshield TBM	14,2m	Undersøisk	1 rør x 2.6 km	50 m
TMCLK (Tuen Mun–Chek Lap Kok Link)	mixshield TBM	14,0 m	Undersøisk	2 rør x 4.2 km	62 m
Shanghai. Project S –317	mixshield TBM	15,0 m	Undersøisk	2 rør x 3.0 km	73 m
Eurasia Tunnel	mixshield Slurry	13,7 m	Undersøisk	1 rør x 5.4 km	106 m

Som det ses, kan et vandtryk på cirka 75 m betragtes som indenfor kendte grænser, mens højere vandtryk vurderes at kræve nærmere undersøgelser. Hvis der antages en TBM-diameter på 15 m og et ønsket jorddække på 1 x diameteren, vil det sige at TBM-løsninger kun kan betragtes som velafprøvede ved havbundsdybder op til 45 m, med vandtryk på boret tunnel mindre end 75 m.

Som det ses af Tabel 5-6 adskiller Eurasia tunnelprojektet sig fra ovennævnte regel og er bemærkelsesværdigt med sit maksimale dybdepunkt 106 m under vandoverfladen, set i forhold til de andre referencer. Længdeprofil er vist på Figur 5-52.



Figur 5-52 Eurasia tunnel projekt. (max vandtryk 106 m)

De geologiske forhold gjorde at løsningen for Eurasia kunne gennemføres på et acceptabelt risikoniveau. En kombination af en lang boret tunnel med stor diameter, gør forholdene med stort vandtryk usædvanlig. I hvilken grad denne kombination påvirker risikoen er p.t. ikke afdækket. Indtil videre søges det at begrænse det maksimale vandtryk til 75 m.

5.2.4.2 Beskrivelse af anlæg

Ved etablering af en boret tunnel til Kattegat vil der skulle bores 3 separate rør:

- To rør hver med 2 vejbaner i hver sin retning
- En ekstra tunnel som indeholder begge jernbanespor

Der er her taget udgangspunkt i den valgte løsning i Femern sammenligningsstudiet, hvor begge jernbanespor er samlet i ét fælles rør (se Figur 5-53.). Hvis man i en senere fase går videre med en boret tunnelløsning, vil det være relevant at undersøge, om to mindre rør hver indeholdende ét jernbanespor som man kender det fra Storebælt, vil være mere fordelagtigt.

Figur 5-53 Et eksempel på en boret tunnel konfiguration (Femern koncept design)

Som nævnt i tidligere afsnit om drift, sikkerhed og ventilation af vejtunneller, etableres under vejbanen et sikkert flugtområde for trafikanter. Fra et spor i jernbanetunnellen sker flugt til det modsatte spor efter stop af trafikken. I jernbanetunnellen ligger sporene adskilt af en midtervæg som sikrer mod røgspredning og påkørsel ved afsporing.

5.2.4.3 Byggemetode

For en boret tunnel foretages udgravningen med en tunnelboremaskine ("TBM"), hvor der i takt med boringen løbende opsættes en permanent foring af præfabrikerede betonsegmenter. I hver ende af den borede tunnelstrækning skal der etableres et "start-" og "slut-kammer" for henholdsvis opstilling og nedtagning af boremaskinen. Et eksempel fra et boret tunnelprojekt er vist på Figur 5-54.

Figur 5-54 Eksempel på opstilling af TBM i startkammer (Dublin Port Tunnel).

En boret tunnel kan typisk etableres uden gener for de overliggende arealer. Hvilket er specielt velegnet under bymæssige forhold og under naturområder med følsomt miljø. Borede undersøiske tunneller kan udføres uden at give gener for eksisterende skibstrafik. For en Kattegatforbindelse er det specielt begrænsning af natur- og miljøpåvirkning, påvirkning på eksisterende bygninger/naboer, militære hensyn og beskyttelse af kulturarv der kan være af betydning for valg af boret tunnel løsning.

En boret tunnel vil indebære en dybere beliggenhed under terræn eller havbund end en cut & cover tunnel og en sænketunnel. Dette skyldes dels, at der skal dannes buevirkning til stabilisering af jorden under udgravning af det cirkulære profil, og dels at den konstruktive virkemåde (imod opløft) forudsætter, at der skal være et tilstrækkeligt jordlag ovenover for at give modtryk mod opløft (i flg. en tommelfingerregel svarende til tunnelens diameter).

Tunnelsegmenter støbes på en fabrik, som ikke nødvendigvis skal ligge ved tunnelbyggepladsen. Der vil være behov for en god transportlogistik med at få segmenter transporteret til byggepladsen og ligeledes håndtering af 5-6 millioner m³ udgravet jord, som skal deponeres. Der bør undersøges muligheder for at sejle materialer til og fra byggepladserne for at reducere CO_2 udslip. trængsel på vejnettet og trafikstøj.

Det anbefales (som grundregel) at TBM-boring påbegyndes i et niveau, hvor maskinens top er én diameter under terræn. Med en maskine med en diameter på ca. 14 m vil vejniveauet således være ca. 25 m under terræn. Det anbefales i denne fase ikke at have et mindre jordlag end ca. 15 m over tunnelen så man får en fornuftig sikkerhed mod opdrift, og sikkerhed mod lokale brud.

Den dybe beliggenhed indebærer, at der i hver ende af den borede tunnel vil være strækninger med cut & cover tunnel til forholdsvis stor dybde. Denne cut & cover tunnel vil være forholdsvis længere end tilsvarende for sænketunnel. Når jordbundsforholdene er kendt, kan der ses på at reducere dybden hvor den borede tunnel startes. Derved forkortes længden af cut & cover-tunnellen tilsvarende.

Fremdriften af TBM er vurderet til 200 m per måned (for hver TBM, en fra hver side), hvilket for en boret tunnel op til 25 km vil kræve boretid op til 5-6 år.

Ved fremdrift af TBM efter montage af tunnelsegmenter, skal indvendige konstruktioner bygges. Oftest udføres så stor en del af de indvendige konstruktioner med præfabrikerede elementer, dette afhænger blandt andet af tradition/erfaring og arbejdsløn.

Det vil i tunneller med diameter over ca. 12 m være muligt at arbejde med installation af indvendige konstruktioner bag tunnelboremaskinen, såfremt det gøres muligt at få tunnelsegmenter og andet materiale transporteret forbi, hvorved fremdriften af TBM er afkoblet fremdriften af de indvendige konstruktioner

Forhold omkring anlæg af lange borede tunneller er gennemgået mere i detaljer i fagnotatet "*Maksimal Anlægsteknisk længde for boret tunnel*" [14]. Specielt levetiden for hovedlejer i TBM vil være af afgørende betydning for hvor langt man kan bore.

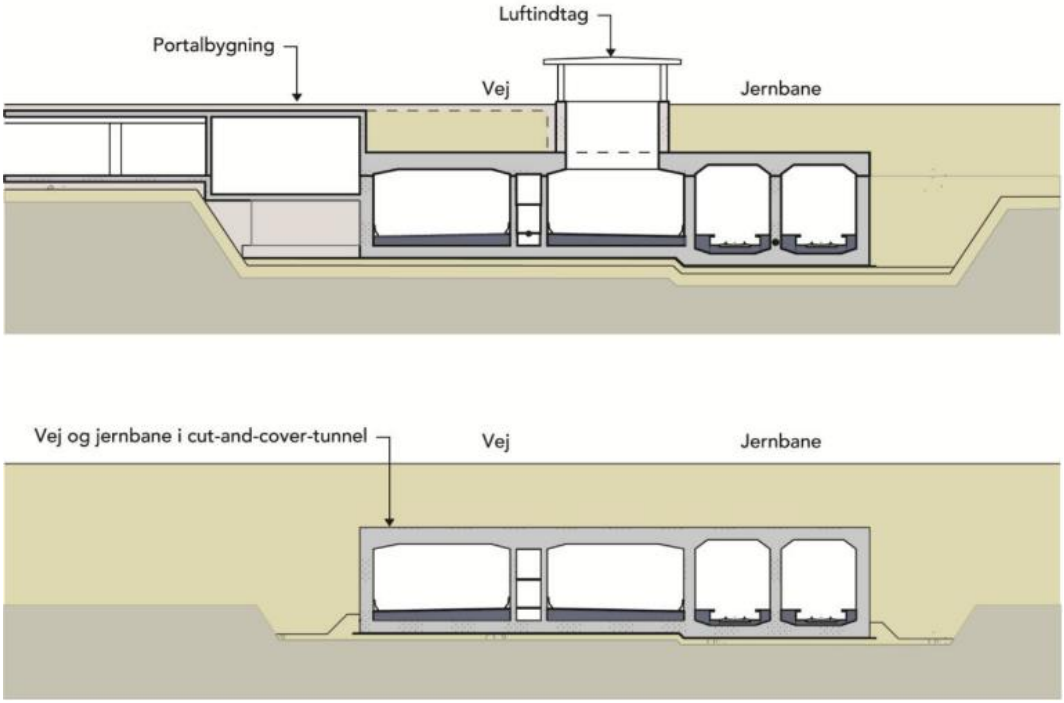
Konklusionen ud fra allerede opnåede borede tunnelstrækninger (Kanal Tunnel med 15 km og 22 km boringer) og levetidsbetragtninger på hovedlejet, samt kendskab til fremtidige planlagte projekter, er at der i denne planlægningsfase ud fra et anlægsteknisk synspunkt arbejdes med en begrænsning på længder for borede tunneler på 2 x 19 km = 38 km.

Hvis borelængden planlægges længere end 2x15 km = 30 km, sættes projektrisikobidraget til **Forhøjet**, og det anbefales, at der indhentes yderligere detaljeret information med erfaring fra lange borestræk med store TBM'er fra projekter og fra erfaringer fra TBM-leverandører.

5.2.5 Cut & cover tunnel og portalbygninger

5.2.5.1 Beskrivelse af anlæg

Cut & cover-tunnel og portalbygning kan have et tværsnitsprofil som vist på Figur 5-55 nedenfor. Afhængig af placering af portalbygning f.eks. a) ved overgang imellem boret tunnel og cut & cover tunnel eller b) imellem cut & cover tunnel og rampe, vil der ikke nødvendigvis være behov for et separat service galleri til installationer mellem portalbygning og tunnelportal i cut & cover tunnel. Placering af portalbygning vil afhænge af specifikke forhold omkring ilandføringspunkter (f.eks. terrænforhold, pladsforhold, naboer, mulighed for adgang etc.). Mindre portalbygninger til drift vil være nødvendig på eventuelle kunstige øer.



Figur 5-55 Cut & cover og Portalbygning (fra Femern)

5.2.5.2 Byggemetode

Cut- and covertunnel byggemetoden er karakteriseret ved, at tunnelen støbes på stedet enten i en åben udgravning med skråninger, hvorefter der tilbagefyldes med jord eller imellem afstivende vægge i form af spuns, sekantpæle eller slidsevægge. Sidstnævnte metode antages anvendt på den kunstige ø.

På Kattegatforbindelsen forventes cut & covertunnel byggemetoden brugt ved overgangen mellem vej i terræn og enten sænketunnel eller boret tunnel. Sammen med denne overgangstunnel anlægges også portalbygningerne som indeholder de nødvendige installationer og personalefaciliteter til drift af tunnelen.

Der er på nuværende projektstade ikke foretaget nogen specifik vurdering af behovet for grundvandssænkningsanlæg for en cut & cover tunnel i og med, at der er et større antal placeringer i spil. Behovet vil afhænge af permeabiliteten af undergrunden, hvor der skal etableres cut & cover tunnel, dybden af udgravningen samt afstanden fra kysten. Dette kan undersøges nærmere i en senere fase af projektet.

Et eksempel på udførelsen er vist på Figur 5-56. Der forventes ikke anlæg i direkte nærhed til sætningsfølsomme bygninger og områder. Det primære fokus i anlægsperioden skal være at sikre byggegruben.

Der forventes et krav om at anlæg vil blive etableret uden permanent grundvandssænkning (modsat ved ramper for bl.a. Storebæltstunnelen og Guldborgsundtunnel).

Figur 5-56 Eksempel på anlæg af cut & cover tunnel (Kastrup, København)

I tilfælde af udgravning med frie skråninger vil der kunne opnås en væsentlig besparelse. Muligheden for dette vil blive vurderet i en kommende fase når antal mulige placeringer er indskrænket.

5.2.6 Trug

5.2.6.1 Beskrivelse af anlæg

For sikring mod oversvømmelse fra stormflod er det nødvendigt at føre trugkonstruktionen til en kote hvor vand ikke kan løbe ned i tunnelen. Denne tærskelkote vil være afhængig af de lokale forhold omkring trugkonstruktionen, i form af omkringliggende landskab, specielt terræn koter og forbindelsen til havet.

Det skal sikres ved projektering af afvanding at vand fra ekstreme regnskyl ikke ledes uhensigtsmæssigt ned i tunnel og at regnvand der samles i truget vil kunne pumpes væk.

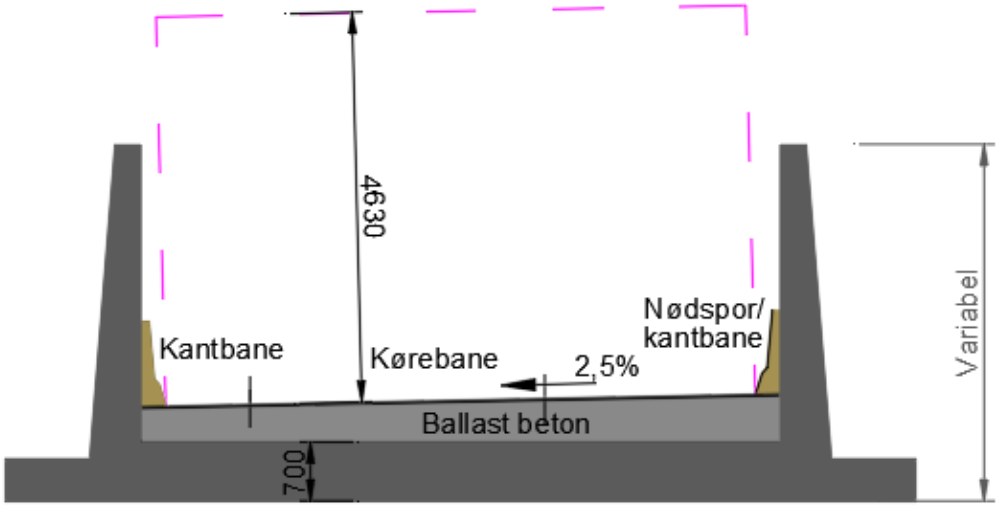
Udformning af trug ved indkørsel til og udkørsel fra tunnel kan udføres som planlagt for Femern tunnel, se Figur 5-57.

Figur 5-57 Trug ved ind/udkørsel ved Femerntunnel for både vej og jernbane (fra S&B).

5.2.6.2 Byggemetode

Som overgangskonstruktion mellem cut & cover tunnel og vej i terræn etableres en trugkonstruktion. Dette gøres på den del af strækningen, hvor der ikke er behov for en overdækket konstruktion, men dog stadig er jord og evt. grundvandtryk på bund og vægge. Figur 5-58 viser eksempel på et trug profil med konstruktion under vand.

Hvor vejbane og jernbanen i truget ligger under vandspejlet udføres rampen som et betontrug med lukket bund og sider. Hvor de ligger over vandspejlet (f.eks. hvor tunnel ender højt i terræn), kan trugkonstruktion simplificeres væsentligt.



Figur 5-58 Trug profil (eksempel fra Østlig Ringvej under projektering)

5.2.7 Projektrisikobidrag

5.2.7.1 Sænketunneler

Projektrisikobidrag forbundet med udgravningen af rende til sænketunnellen vil afhænge af jordbundsforholdene i den givne korridor, og det kan have indflydelse på anlægsomkostningerne. Foreløbig information indikerer, at man vil skulle udgrave i forskellige materialer såsom plastisk ler, moræneler, smeltevandssand og mergel (kalkholdig ler). Udgravning af mergel, hårdt moræneler eller i tilsvarende jordarter ved store dybde, vil kunne påvirke projektrisikobidraget og i værste tilfælde være i den høje ende af **Forventeligt**.

Projekteringsrisici forbundet med godkendelse af driftskonceptet og sikkerhedskonceptet for lange vej- og jernbanetunneller (>3 km) og for Kattegatforbindelsen udelukkende meget lange tunneler (>10 km) er projekteringsrisikoen vurderet til at være stort set uafhængig af længden. Det skal i en evt. senere fase afklares hvorledes brandmyndigheder vurderer risikoen for at kunne håndtere brande i tunnellen. Projektrisikobidraget forbundet med godkendelse af driftskonceptet og sikkerhedskonceptet er vurderet til at være **Forventeligt**.

Hvor en sænketunnel passerer Storebæltsrenden på det dybeste sted, vil tunnelelementerne muligvis skulle installeres dybere end man tidligere har erfaring for. I sådanne tilfælde er linjeføringen blevet hævet for at imødekomme dette projektrisikobidrag. Projekteringsmæssigt er en sænketunnellen placeret inde i en dæmning over havbunden en usædvanlig konstruktion, men ikke mere end at projektrisikobidragene fra projektering og udførelse vil være hhv. i den lave ende af **Forhøjet** og **Forhøjet**. Alternativt kunne man sænke linjeføringen, således at sænketunnelen kommer under havbunden, hvorved udformninger af udgravning og tilbagefyld vil være som i et typisk tværsnit for en sænketunnel, hvilket dog vil forøge risikoen forbundet med sænkning af tunnelelementerne og øge udgravningsvolumenet.

Vedrørende projektrisikobidraget fra udførelse skal det nævnes at tunnelelementer for sænketunnellen for en Kattegatforbindelse antages udført på en specialbygget tunnelelementfabrik, som for Øresund tunnel, Hong Kong – Zhuhai – Macao tunnel og senest for Femern tunnellen. Erfaring viser, at man indenfor grænserne for en acceptabel projektrisiko kan bygge tunnelelementer i stort omfang med, høj effektivitet og stadig sikre en tilstrækkelig vandtætning og levetid.

Længden af sænketunnelløsninger er op til 20 km, hvilket er marginalt længere end Femern tunnellens 18 km. Samme produktionsforhold, ressourceforbrug og transportforhold som anvendt på Femern, kan derfor med rimelighed antages for en Kattegat forbindelse. Projektrisikobidraget fra udførelse er vurderet til at være **Forventeligt**.

Sænkning af sænketunnelelementer er den mest tidskritiske aktivitet for udførelse af meget lange sænketunneller (>10 km). Produktionen af sænketunnelelementer skal dermed tilpasses takten for sænkning af elementer. De marine aktiviteter såsom udgravning, forberedelse af gruspude, transport og sænkning af elementer, tilbagefyldning og tunnelbeskyttelse, skal tilpasses udførelsestakten af sænketunnelelementerne. Erfaring viser, at marine arbejder i forbindelse med sænketunneller for dybder op til

45 m, kan udføres uden større risiko og dermed er projektrisikobidraget fra udførelsen vurderet til at være **Forventeligt**.

Forhold omkring transport og sænkning af tunnelelementer er forbundet med den største risiko for sænketunneler, derfor udføres denne del oftest af specialistentreprenører. Transport og sænkning af tunnelelementer vil til en vis grad være afhængige af vejrholdene under udførelse, de udførelsesmæssige risici forbundet med vejrforhold vurderes dog at være moderate og projektrisikobidraget vurderes til at være i den høje ende af **Forventeligt**.

Installation af M&E udstyr kan påbegyndes så snart de første tunnelelementer er installeret. Færdiggørelsen af M&E udstyr og overdragelse efter installation af det sidste element vil ikke medføre specielle økonomiske og tidsmæssige risici, relateret til længden af sænketunnelen. Både projektering og udførelse er baseret på kendt teknologi og erfaring fra tilsvarende projekter. Risikoen forbundet med projektering og udførelse er derfor forventelig. Generelt vil en stor del af udførelsesrisikoen være proportional med længden af sænketunnellen. Udførelsen af lange sænketunneller op til 18 km + 20% = 22 km, vurderes derfor til at være baseret på kendte grænser med hensyn til længde, selvom Femern tunnellen p.t. er under udførelse og at springet fra verdens længste sænketunnel i øjeblikket Hong Kong – Zhuhai – Macao med en længde på 5,6 km er relativt stort. Projekteringsrisici og udførelsesrisici forbundet med M&E installationerne er vurderet til at være **Forventeligt**.

5.2.7.2 Borede tunneler

Projektrisikobidrag forbundet med udgravning med TBM vil afhænge af jordbundsforholdene i den givne korridor. Dette projektrisikobidrag kan have indflydelse på anlægsomkostningerne. Foreløbig information indikerer at man vil skulle tunnelere i forskellige materialer såsom plastisk ler, moræneler, smeltevandssand og mergel (kalkholdig ler). Det kan ikke udelukkes at tunnelering i plastisk ler, vil kunne påvirke projektets risikoprofil. Omvendt vil tunnelering i visse jordarter, såsom mergel være gunstig for tunnelboring med TBM.

Projekteringsrisikobidrag forbundet med godkendelse af driftskonceptet og sikkerhedskonceptet for lange vej- og jernbanetunneller (>3 km) og for Kattegatforbindelsens udelukkende meget lange tunneller (>10 km) er projekteringsrisikoen vurderet til at være stort set uafhængig af længden, da sikkerheden afhænger af afstand til nærmeste nøddør. Det skal i en evt. senere fase afklares hvorledes brandmyndigheder vurderer risikoen for at kunne håndtere brande i tunnellen. Adgang for brandberedskab under vejbanen er kendt fra andre borede tunneller (f.eks. M30 Madrid), men kræver brug af flugtramperne for adgang, alternativt kan man anlægge tværtunneller i niveau med vejbane. En sådan løsning vil være tættere på koncepter anvendt på andre eksisterende undersøiske tunneller i Danmark og i Nordeuropa. Projekteringsrisikoen forbundet med accept af drift- og sikkerhedskonceptet, er derfor vurderet til at være i den høje ende af **Forventeligt**.

De geotekniske forhold vil være afgørende for projektering af en lang boret tunnel med stor diameter (>12 m såkaldt "Mega-TBM"). Der findes ingen udførte projekter med lange borede tunnel af typen "Mega-TBM". ”Da Femerntunnellen blev planlagt, var Øresundstunnelen med sine 3,6 km den længste sænketunnel i verden (med

kombineret vej og jernbane). Projektering og grundige studier førte efterfølgende til, at en Femerntunnel på 18 km kunne realiseres. På baggrund af den seneste teknologiske udvikling inden for borede tunneler, vurderes det, at også meget lange borede tunneler med store diametre efter en projekteringsindsats og nøjere studier vil være realiserbare, og at man vil se dem vinde frem."

Både projektering og udførelse er baseret på kendt teknologi og erfaring fra tilsvarende projekter – nogle lange (f.eks. Kanaltunnelen på ca. 40 km) og andre med stor diameter (f.eks. Tuen Mun–Chek Lap Kok Link i Hong Kong). Dog er der i dag ikke eksempler på borede tunneler med samme kombination af længde og størrelse af TBM'en. Udviklingen peger dog i retning af større diametre og længere tunneler. Det er derfor forventeligt, at man inden for Kattegatforbindelsens tidshorisont vil se lignende kombinationer af diametre og tunnellængder realiseret flere steder i verden.

Baseret på hovedlejers levetid og erfaring fra Kanaltunnel (UK/FR), vil man i teorien kunne bore op til 19 km med en TBM. Af tidsmæssige årsager planlægges der med TBM fra hver side for alle borede tunnel. For tunneller længere end 19 km, sættes projektrisikobidraget fra udførelsen op til **Forhøjet**, da man i værste tilfælde med et tidligt TBM-breakdown skal bore mere end 19 km eller løse problemet på anden vis. For tunneller kortere end 19 km, hvor tunnel i værste fald vil kunne færdiggøres af TBM fra anden side, sættes projektrisikobidraget fra udførelsen op til den lave ende af **Forhøjet**.

Tunnelsegmenter antages støbt på en specialfabrik. Erfaring fx. fra Københavns Metro Cityringen og tilsvarende, viser at man indenfor grænserne for acceptable projekt risici, kan bygge tunnelsegmenter med høj produktionshastighed, høj effektivitet, stort ressourceforbrug, leveret med transport til byggepladsen og stadig sikre en tilstrækkelig vandtætning og levetid (kvalitet).

Boring med TBM er den mest tidskritiske aktivitet for udførelse af lange borede tunneller, de opfølgende aktiviteter såsom in-situ støbte konstruktioner evt. tværtunneller, skal tilpasses fremdriften af TBM. Erfaring viser at udførelsen af borede tunnel i sedimentære jordlag på dybder over 75 m kan medføre ikke uvæsentlige risici. Forhold omkring selve boringen og montering af segmenter er forbundet med den største risiko for en boret tunnel, derfor udføres denne del oftest af specialistentreprenører. Udover evt. vandtransport af tunnel segmenter til byggepladsen på pramme, vil der ikke være nævneværdige udførelsesmæssige risici forbundet med vejrforhold. Installation af M&E udstyr påbegyndes så snart de indvendige konstruktionsdele som dæk, vægge, bundbeton og fortov er placeret, men færdiggørelsen af M&E udstyr og overdragelse efter færdiggørelse af boret tunnel vil ikke medføre specielle økonomiske og tidsmæssige risici, knyttet til længden af en boret tunnel. Projektrisikobidraget fra projektering og udførelse af M&E installationerne er vurderet til at være **Forventeligt**.

5.2.7.3 Friskluft i lange tunneller

Projektrisikobidraget forbundet med sikring af friskluft i lange tunneller er primært forbundet med vejdelen og den trafiksammensætning, som repræsenterer en sjælden hændelse med høje trafikvolumener. En sjælden hændelse kunne være at Storebæltsforbindelsen er lukket over en kortere eller længere tid, hvor trafikmængden på Kattegat nærmer sig tunnelens kapacitet. Ved analyse af friskluftsventilation af udvalgte

repræsentative tunneller, både sænketunnel og boret tunnel er projektrisikobidraget forbundet med friskluft for de længste tunneller vurderet til at være at være i den høje ende af **Forventeligt**. For tunnellængder (inkl. cut & cover-delen) under 12,5 km for sænketunneler og 16,5 km for borede tunneler vil projektrisikobidraget (jf. fagnotatet "Analyse af ventilationsbehov for at sikre luftkvalitet i tunnel" [13]) være reduceret så tilstrækkeligt, at disse løsninger vurderes til at være i den lave ende af **Forventeligt**.

5.2.7.4 Samlet projektrisikobidrag

Beskrivelsen af projektrisikobidrag i de foregående afsnit har taget udgangspunkt i en ren vejtunnelløsning. For at tage hensyn til at der også er tale om jernbane er projektrisikobidraget fra projektering og udførelse sat en tak opad på grund af den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, samt forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

Dvs., hvis det maksimale projektrisikobidrag f.eks. er vurderet til **Forventeligt** for en vejtunnelløsning, så er det her sat til den høje ende af **Forventeligt** for den kombinerede løsning med både vej og bane.

5.3 Marine konstruktioner

5.3.1 Generel beskrivelse

Der er behov for marine konstruktioner som følger:

- Kunstige øer ved overgang fra tunnel til bro, se mulige placeringer på Figur 5-59 og Figur 5-60.
- Kunstige rev til skibsstødsbeskyttelse af broer mod skibsstød i KKØ-korridorer, se mulig placering på Figur 5-61.
- Undersøisk dæmning til sænketunnel for KKØ-2 korridorerne, hvor en del af tunnelen er over havbunden på det dybeste sted, se mulig placering på Figur 5-62.
- Sænketunnelbeskyttelse ved kunstige øer der henvises til afsnit 5.3.7.

Der er således foretaget en vurdering af anlæg af kunstige øer og kunstige skibsstødsbeskyttelsesrev, som er nærmere beskrevet i hhv. afsnit 5.3.4 og 5.3.5.

Udover de kunstige øer og rev er der foretaget en vurdering af anlæg af en undersøisk dæmning til at understøtte og beskytte sænketunnel i bunden af Storebæltsrenden på tværs af Rute T, se afsnit 5.3.6.

Dernæst er der for sænketunnelløsningerne foretaget vurdering af anlæg af beskyttelse til afvisning af skibe der er kommet uden for den normale vandvej/sejlrute og dermed risikerer at påsejle sænketunnel, hvor denne føres iland på de kunstige øer, se afsnit 5.3.7.

Disse marine konstruktioner er desuden beskrevet i detaljer i fagnotatet "Marine konstruktioner" [15].

Hvis ikke andet er skrevet er koter i m ift. DVR90.

Designvandstanden vil, som forklaret i detaljer i Design Basis [6], være ens på de forskellige lokaliteter (kunstige øer, skibsstødsrev og -beskyttelse samt undersøisk dæmning). Designvandstanden er afhængig af vindretningen, og er baseret på en 10.000 års hændelse i år 2150 for at sikre mod oversvømmelse selv i en ekstrem situation og i hele forbindelsens levetid. Højvandstande skal ses i sammenhæng med estimaterne for den forventede resulterende globale havspejlsstigning (Sea Level Rise, SLR), som for tidshorisonten frem til år 2150 er estimeret til ca. +1,30 m, [6] (Design Basis). SLR giver således det største bidrag til vurderingen af fremtidige designvandstande i projektets levetid; men det er samtidigt det bidrag der er forbundet med den største usikkerhed. Det er derfor vigtigt, at der for ø-, rev- og dæmningskonstruktionernes design tages hensyn hertil, således at designet er meget robust for de valgte designværdier af vandstand og bølger, men samtidigt at konstruktionerne udformes således at de kan forstærkes og eller forhøjes så designet altid vil have den fornødne gentagelsesperiode, R=10.000 år, i fremtiden selv hvis det skulle vise sig at SLR bliver væsentligt større end forudsat/estimeret i designfasen.

Designgrundlaget for de marine konstruktioners tværsnit er således en 10.000 års vandstand med den forventede havspejlsstigning i år 2150 og med bølgeforhold

svarende ca. til en 1.000 års storm. Der vil være begrænset/acceptabel beskadigelse på dæklag af sten, mens bølgeoverskyl vil være begrænset til bølgesprøjt, se [6] (Design Basis) for nærmere detaljer.

Tværsnittene for de marine konstruktioner kan generelt ses som det konservative bud på hvordan tværsnittet kan se ud, pga. følgende antagelser:

- For individuelle lokaliteter er der benyttet de største vanddybder, som er antaget konstante over hele tværsnittet og langs hele konstruktionens perimeter, hvor havbunden i virkeligheden vil have varierende dybder både på tværs af profilet og langs konstruktionen perimeter.
- Dækstenene er antaget ens hele vejen rundt om øen og er bestemt på baggrund af den aktuelle designbølgehøjde fra én retning.
- Designbølgerne er baseret på en simpel "hindcast-metode", jf. Design Basis [6], hvorfor bølgerne ikke er endeligt fastlagte og der er foretaget konservative antagelser under beregningen af designbølgerne.

I en senere fase bør muligheden for at variere topkoterne og dækstenenes størrelse langs øernes perimetre undersøges for eventuelt at reducere de nødvendige mængder i tværsnittene.

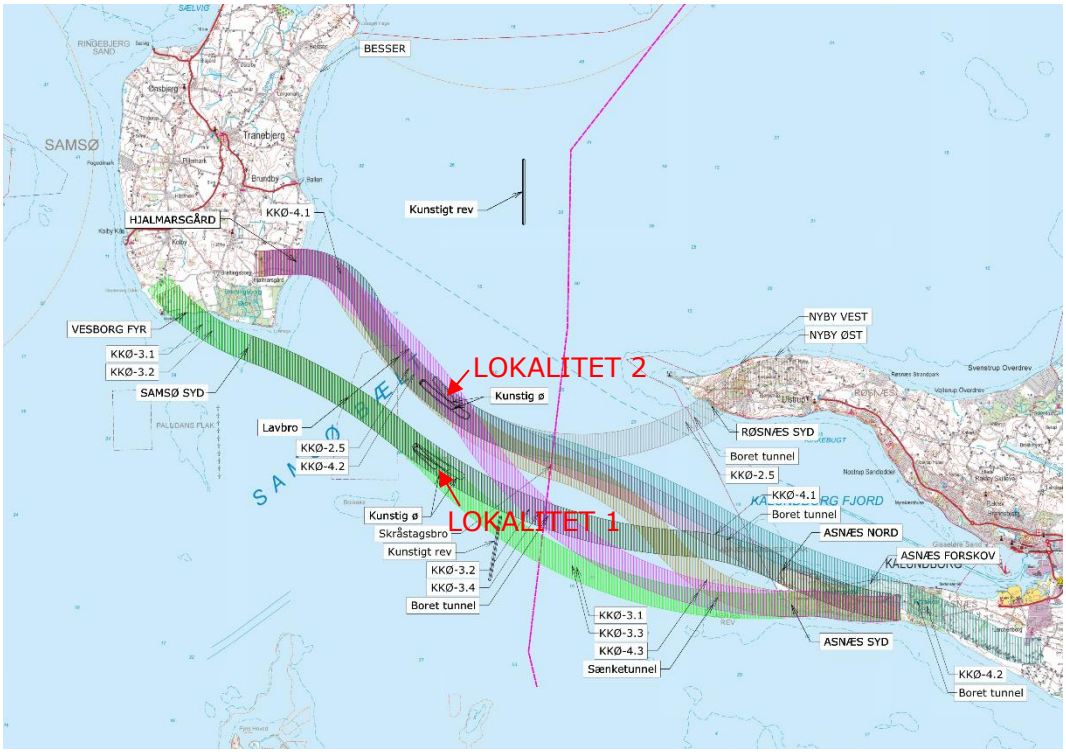
De geotekniske data der p.t. er til rådighed, indikerer at der ikke skal forventes væsentlige funderingsproblemer for de marine konstruktioner på de undersøgte lokaliteter. Det er p.t. vurderet at en ø eller rev mv. vil kunne funderes direkte på den eksisterende havbund. Dette vil blive verificeret, når der foreligger detaljerede data for geoteknik på de relevante lokaliteter. Hvis det viser sig at der er tynde og øvre dyndlag på op til 1-1,5 m kan der eventuelt anvendes "offerlag" i form af filterlag af grus lagt ovenpå blødt materiale, uden nogen form for afgravning.

Følgende er endvidere antaget:

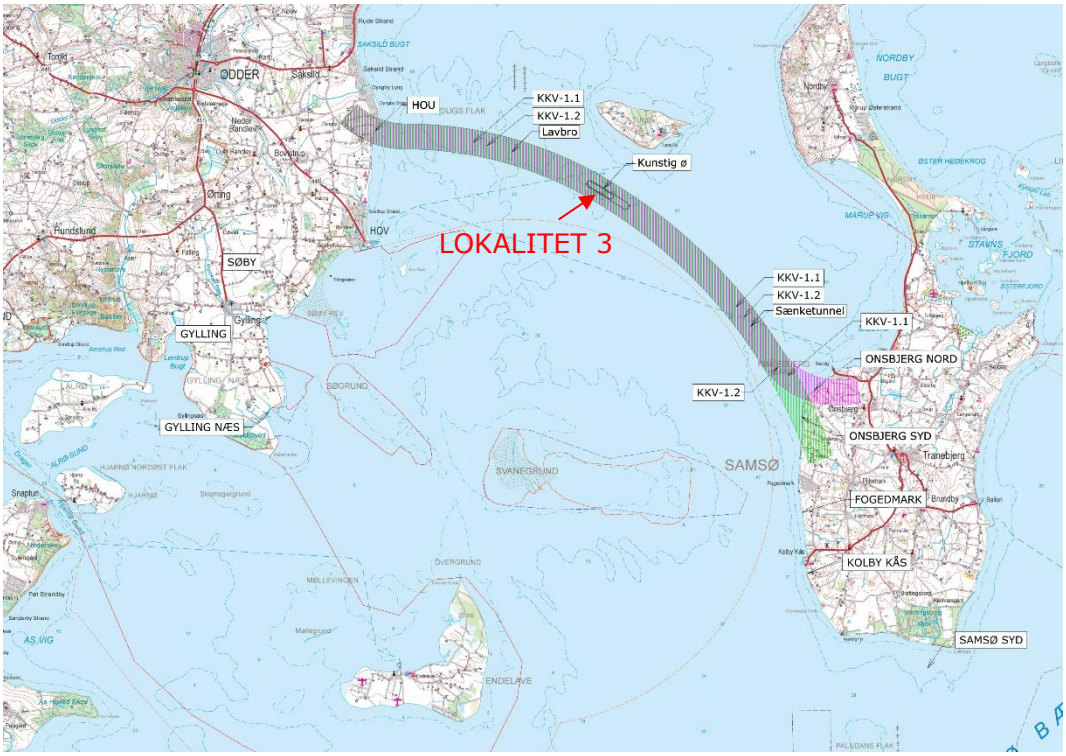
- Det vides ikke p.t., i hvilket omfang materiale fra tunnelen kan benyttes som fyld i dæmningerne. Derfor er det antaget, at der benyttes sandfyld som kerne og tunnelmateriale bagved som vist nedenfor i Figur 5-65.
- Det er antaget at havbunden alle steder består af jordarter som har en tilstrækkelig bæreevne til de marine konstruktioner. Hvis det viser sig ikke at være tilfældet kan bundudskiftning eller anden forstærkning af havbunden komme på tale, alternativt opbygges med en overhøjde på konstruktionerne således at eventuelle sætninger "modregnes".

Ved dimensionering af konstruktionstyper, hvor det ikke er muligt eller omkostningstungt at etablere konstruktionen med mulighed for forhøjelse i fremtiden, anbefales det, at der i stedet for det centrale estimat for SLR på 1,3 m, benyttes en SLR svarende til den øvre værdi for udledningsscenariet RCP 8.5 fra IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) svarende til 2,0 m. I nærværende design benyttes det centrale estimat, da konstruktionerne vurderes at kunne forhøjes på et senere tidspunkt, hvis der skulle vise sig behov herfor.

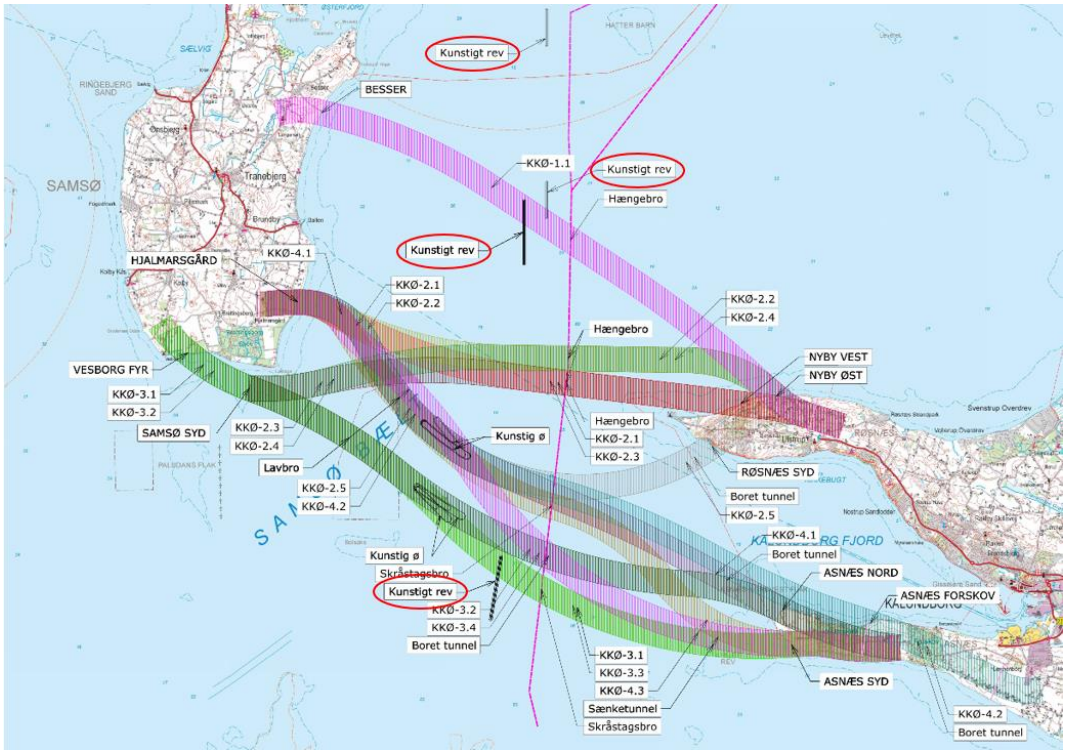
Der bør i en senere fase udarbejdes en hydrodynamisk model som dækker farvandet nord for (Kattegat), relevante farvande omkring samt syd for lokaliteterne. Den hydrodynamiske model har til formål at give et bedre estimat af bølgerne ved lokaliteterne, hvor der tages bedre højde for de meget varierende vandstande i farvandet. Som input til modellen skal der fortages en vurdering af ekstreme storme i danske farvande med vindfelter, vindhastigheder, udstrækning i farvandet og varighed.



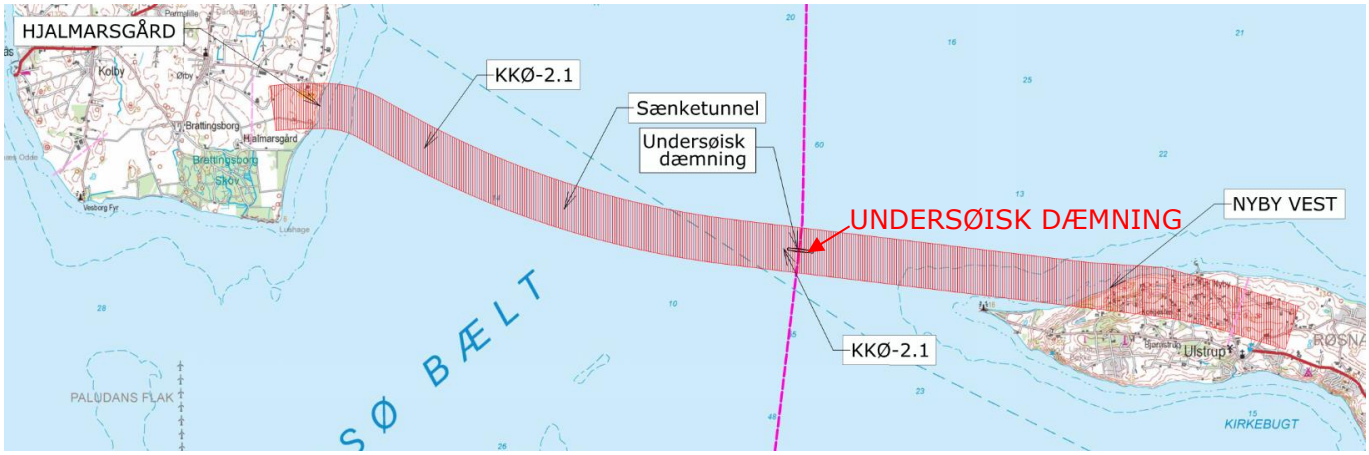
Figur 5-59 Oversigt over mulige kunstige øer ved relevante KKØ-korridorer ved Falske Bolsaks, samt linjeføringer for tilhørende korridorerne.



Figur 5-60 *Oversigt over mulig kunstig ø ved relevante KKV-korridorer ved Kirkegrund, samt linjeføringer for tilhørende korridorerne.*



Figur 5-61 *Oversigt over lokaliteter med kunstige skibsstødsrev på 22 m (nederste) hhv. 30 m (øverste) vanddybde ved relevante KKØ-korridorer.*



Figur 5-62 Oversigt over lokalitet med undersøisk dæmning til sænketunnel på relevante KKØ-korridorer.

5.3.2 Generel udførelsesmetode

Opgravet materiale både til tunnel og broer kan som hovedregel ikke tilbagefyldes omkring de marine konstruktioner, hvor der er behov for velgraderede grusmaterialer. Opgravet materiale kan muligvis indbygges i de kunstige rev, som er påtænkt som skibsstødssikring af en broløsning i de relevante KKØ-rev.

Konservativt antaget kan der være behov for at bortskaffe hele den opgravede mængde materiale, se [10] (Interfaceinformation til miljøundersøgelser, fagnotat). Landindvinding antages at være en mere bæredygtig løsning end klapning. Det er ikke undersøgt hvor landindvinding vil kunne finde sted. Det vil kræve en vurdering af planforhold på lokaliteterne.

Følgende er antaget vedrørende udgravning:

- Der anvendes pramme til transport af opgravet materiale ved alle udgravninger.
- Opgravet materiale deponeres i inddæmmet område og/eller på projektets kunstige øer, som det er tilfældet på Storebælt, Øresund og Femern projekterne.

Det kan være hensigtsmæssigt at spild ved afgravning adskilles fra spild ved indbygning. Det antages at spildkrav ved afgravning indeholder det samlede spild ved gravefronten og ved opfyldning af prammen.

I stedet for sand kan afgravet materiale fra brofundamenter og sænketunnel ved kombinerede tunnel- og lavbroløsninger anvendes som fyld inden for perimeterdæmningen, hvilket kan have miljømæssige og ressourcemæssige gevinster.

Stenkonstruktionerne er forudsat udført med traditionelle metoder. Stenmaterialer kommer fra stenbrud i Norge eller Sverige eller fra grusgrave, f.eks. for rals vedkommende fra Djursland. Materialerne transporteres til anlægsstedet med store pramme, hvor de omlades eller udlægges direkte fra pram, f.eks. fra split eller side-dumpning barges. Materialerne placeres i konstruktionerne enten som bulk for mindre graderinger eller med kran eller gravemaskine. Det må forventes at der både vil blive arbejdet fra flydende materiel eller fra land med landbaseret materiel. Sandfyld til konstruktionerne indvindes ved uddybningsfartøj (dredger) på udvalgte og miljøgodkendte

indvindingsområder og transporteres med fartøjet til anlægsstedet hvor sandet (med vand) pumpes gennem rørledning til udlægning/udledning i konstruktionerne.

5.3.3 Generel drift og vedligehold

Alle de kunstige ø-perimetre designes til at være meget robuste og der forventes derfor meget lille beskadigelse og behov for vedligeholdelse. For de undersøiske skibsstødsrev er skader acceptable, hvis form og funktion er intakt. For den undersøiske dæmning til sænketunnelen er kun meget lille sætning og skade acceptabel, da dæmning og oversidebeskyttelse er en integreret del af tunnelen.

Alle de marine konstruktioner designes så meget lille acceptabel skadeprocent forventes. Det løbende vedligehold er primært hyppige monitering ved multibeam surveys og undervandsinspektioner ved dykkere af selve konstruktionerne og havbunden udfor disse for at sikre, at der ikke sker uacceptabel erosion (scour) af havbunden. Udover stenkonstruktionerne under vand vil der være behov for inspektion over vandspejlet inklusive af græs- og eller vegetationsbeklædte konstruktioner, som også vil kræve monitering og vedligehold tilsvarende hvad der i dag foregår på Sprogø og Peberholmen.

5.3.4 Kunstige øer mellem bro og tunnel

5.3.4.1 Beskrivelse

Der er for nuværende beskrevet kunstige øer på tre lokaliteter, som beskrevet i afsnit 5.2.7.1. Disse øer har til formål at danne overgangen mellem tunnel (sænketunnel eller boret tunnel) og bro. Deres længde er primært bestemt af den maksimale stigning for vejen på 3 %. En sådan ø kendes fra Danmark, med Sprogø på Storebælt og Peberholmen på Øresund. For korridorerne for KKØ er de to lokaliteter behandlet samlet, da designforhold og vanddybder er sammenlignelige. Lokaliteterne er som følger:

- Lokalitet 1 og 2: kunstige øer ved relevante KKØ-korridorer (KKØ-3.1, KKØ-3.2, KKØ-3.3, KKØ-3.4, KKØ-2.5, KKØ-4.2 og KKØ-4.3) ved Falske Bolsaks, se Figur 5-59.

- Lokalitet 3: kunstig ø ved relevante KKV-korridorer (KKV-1.1 og KKV-1.2) ved Kirkegrund, se Figur 5-60.

Øerne opbygges for nogles vedkommende delvist på områder af havbunden der ligger noget højere end de generelle dybder i bro/tunnel traceerne, og der regnes overslagsmæssigt med gennemsnitsvanddybder for hele perimeterkonstruktionen på hver enkelt ø. Da øen er beliggende på relativt højtliggende havbund, vil dybden i de fleste sektioner af øernes perimeterkonstruktion være konstrueret ud af hældende havbund.

For de kunstige øer på lokalitet 1 og 2 antages følgende:

- Gennemsnitsvanddybde ved perimeterkonstruktionen: -20 m.
- Længde: 1050 m hhv. 1500 m (for sænketunnel hhv. boret tunnel)
- Bredde: 200 m fra de to modstående perimeters skæring med vandlinjen.

For de kunstige øer på lokalitet 3 anvendes følgende:

- Gennemsnitsvanddybde: -15 m.
- Længde: 1050 m
- Bredde: 200 m fra de to modstående perimeters skæring med vandlinjen.

Designgrundlaget for øernes tværsnit er for en 10.000 års vandstand med det forventede SLR i år 2150 (for oversvømmelse) og med bølgeforhold svarende ca. til en 1.000 års designhændelse.

Ved fastlæggelsen af kronekoten og det tilhørende kriterium for acceptabelt bølgeoverskyl bør den samlede mængde overskyllende vand sammenlignes med intensiteten af et design-regnskyl, da det indre af øen og tunnelen vil blive forsynet med dræning.

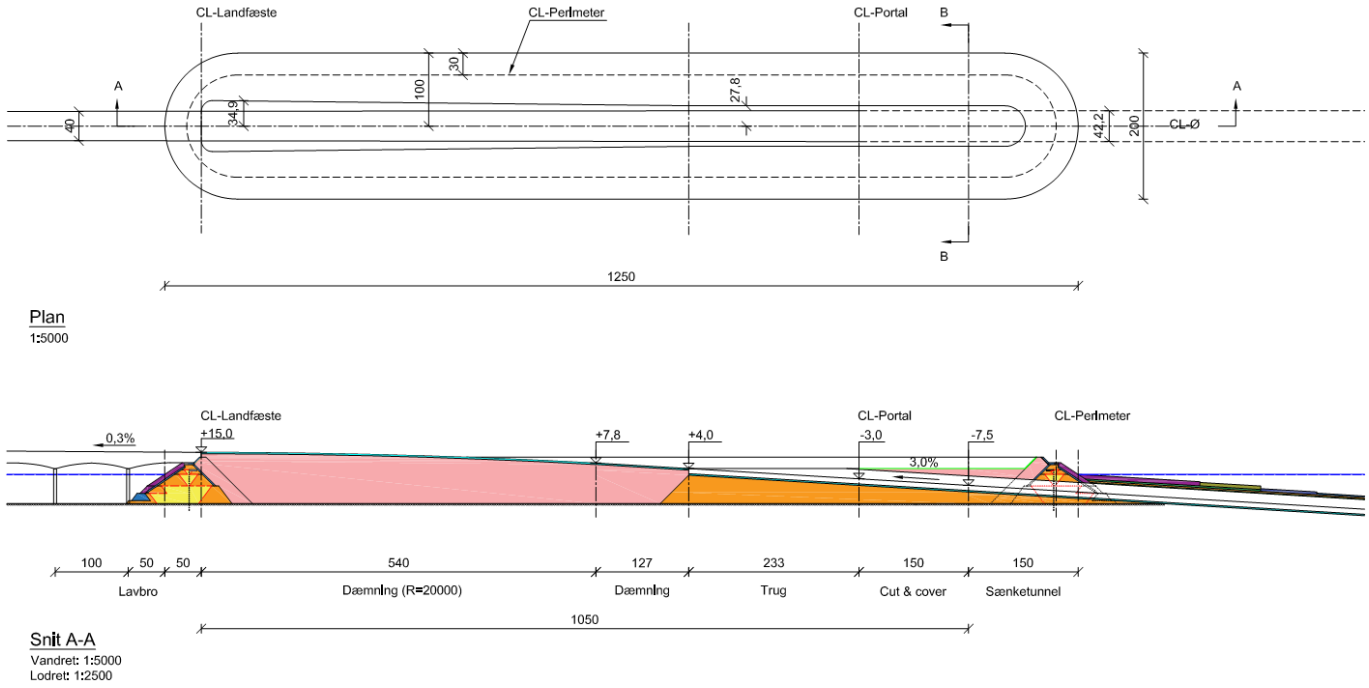
Der er på dette grundlag udarbejdet et typisk profil for dæmningen/perimeterkonstruktionen. Designbølgehøjderne for de enkelte øer fremgår af Design Basis [6], og er bestemmende for de enkelte kronekoter for stenkonstruktionen. På kronen er placeret en beton-servicevej med en bredde på 5,0 m og en lagtykkelse på 0,2 m. Denne er tilsvarende en ny servicevej netop anlagt på Sprogø efter at øens nordre side er blevet forstærket i forbindelse med en generel klimaadoptering til en forventet fremtidig højere vandstand i havet. Bagved servicevejen antages der opbygget et jorddige med græs/vegetation med fyld fra udgravningen til tunnelen. Bag servicevejen og på forsiden af jorddiget udlægges dæksten for at beskytte jorddiget mod erosion under designhændelsen. Der lægges dæksten på bagsiden af dæmningen, da bagsiden under anlægsfasen vil være eksponeret mod bølger indtil at hele øen er opbygget (jordfyldet lægges først på efter hele øens perimeter er anlagt). Kernen består af ral/sprængstensfyld ud mod filtersten for at undgå udvaskning, samt sand i midten af hensyn til ramning af spuns, hvis en sådan er nødvendig, se også [15] ("Marine konstruktioner", fagnotat, COWI) for nærmere detaljer. Der udlægges geotekstil mellem sand og ral/sprængstensfyld i kernen. Hvis en spuns er nødvendig, etableres denne i midten af dæmningen med topkote i +4,0. I forbindelse med ramning af spuns etableres der en midlertidig kørevej i kote +4,0. Der benyttes sandfyld som kerne- og tunnelmateriale bagved perimeteren.

Det vil være nødvendigt at verificere det antagne design i en senere projektfase via digitale og fysiske modelforsøg af typiske profiler. Endvidere er de viste kronekoter foreløbige, og til verifikation ved modelforsøg.

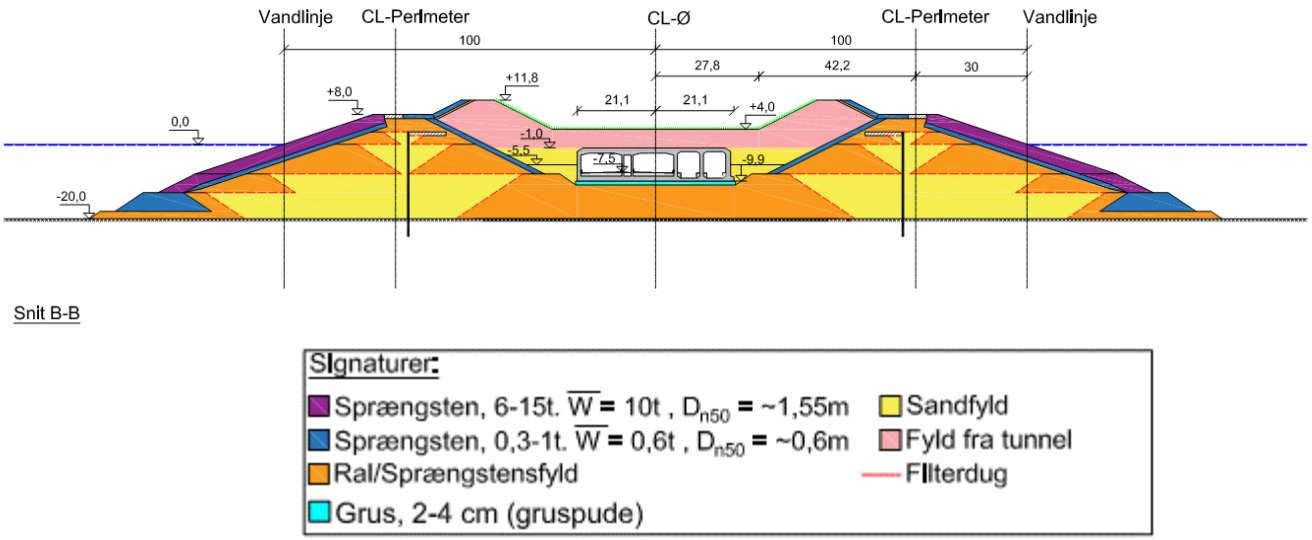
Figur 5-63 viser en visualisering af en typisk kunstig ø set fra luften. Typisk plan og længdesnit ses på Figur 5-64 og typisk tværsnit på Figur 5-65. Bredden af øerne er sat til 200 m ved vandlinje svarende til Peberholm.

Tværsnit af perimeterdæmningerne, som løber hele vejen rundt om øerne, er vist i Figur 5-66 og Figur 5-67 for de ovenfor nævnte øer. Centerlinje af perimeterdæmning er beliggende ved viste spunsvæg.

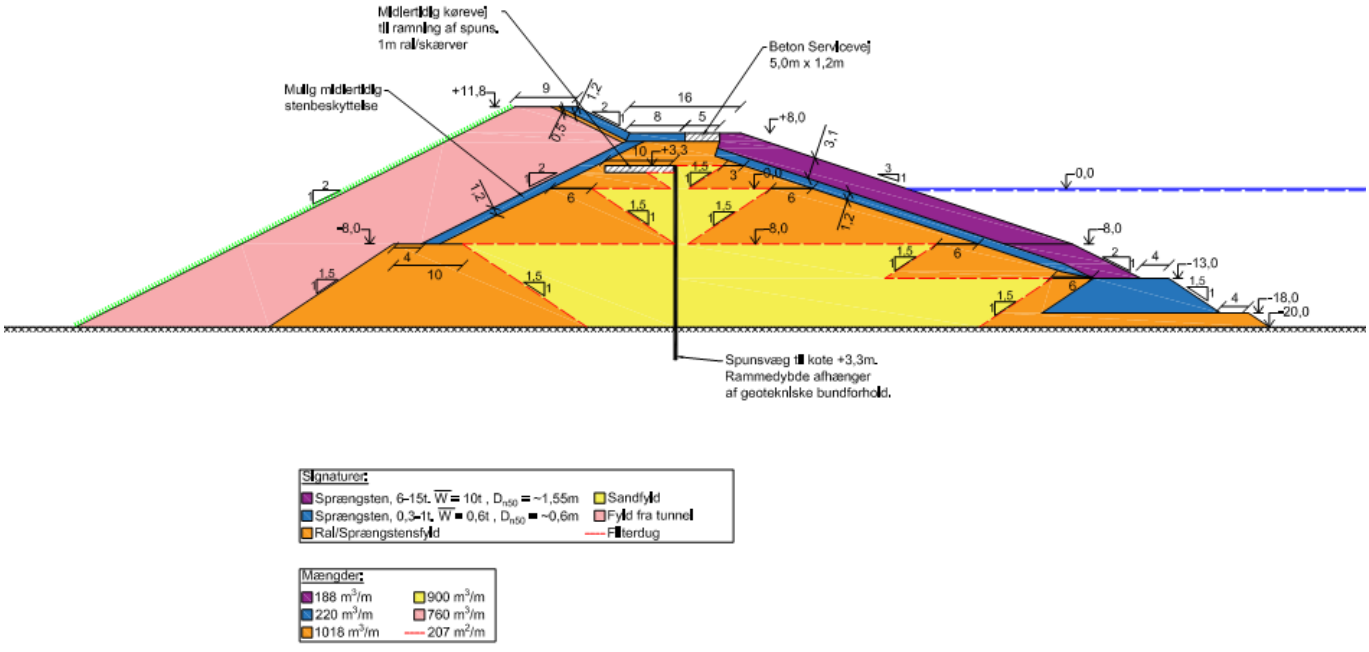
Figur 5-63 Kunstig ø (Peberholmen med tunnelportalen i forgrunden og Øresundsbroen i baggrunden. Foto: Star Kite)



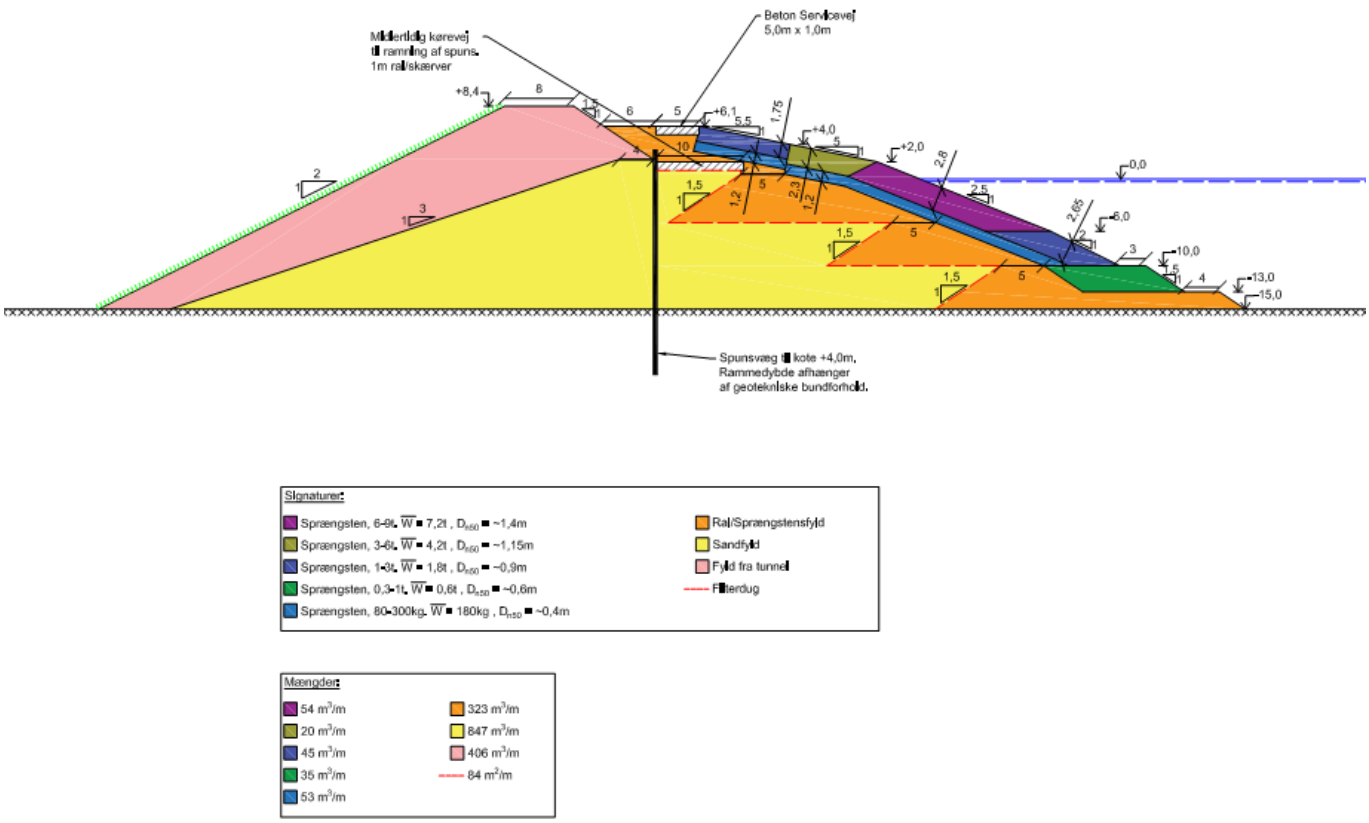
Figur 5-64 Typisk plan og længdesnit af kunstig ø. (Bilag 5-1 i bilagsmappen)
Vertikal og horisontal skala er forskellig. Signaturforklaring, se nedenfor i Figur 5-65.



Figur 5-65 Typisk tværsnit i kunstig ø med cut & cover tværsnit (Bilag 5-2 i bilagsmappen)



Figur 5-66 Tværsnit af perimeterkonstruktion på kunstige øer ved relevante KKØ-korridorer ved Falske Bolsaks (20 m vanddybde).



Figur 5-67 Tværsnit af perimeterkonstruktion ved relevante KKV-korridorer ved Kirkegrund (15 m vanddybde).

5.3.4.2 Udførelsesmetode

De kunstige øer forventes primært opbygget af fire forskellige typer materialer.

Marint sand som indvindes fra miljø-godkendte indvindingsområder. Dette foregår formentlig med standard "cutter-suction" uddybningsudstyr. Sandet sejles til ø-lokaliteterne og indpumpes med rørledning.

Sandet udgør en del af øens kerne, og for at det kan holdes på plads under indpumpning vil der blive opbygget trapezformede undersøiske barrierer af ral eller usorteret sprængsten. Disse opbygges successivt til et højere niveau, indtil man når over vandspejlet.

Selve kystbeskyttelsen ud mod havet på perimeteren og rundt langs øens yderside består af sprængsten af forskellig størrelse, vægt og gradering; så beskyttelsen er stabil mod bølgepåvirkning.

Ral forventes at komme fra grusgrave i Danmark, f.eks. fra Djursland; mens sprængsten vil komme fra stenbrud i Sverige eller Norge. Transporten af disse materialer vil ske på diverse typer pramme, og udlægning ske enten direkte fra pram for kernematerialer (f.eks. fra split pramme), eller hvis stenmaterialerne skal i land på øen med diverse stenudlægningsgrej, som store gravemaskiner.

Det er sandsynligt, at dele af materialer fra tunnelen (enten boret eller sænketunnel) vil være egnet som fyldmateriale til en del af øen. Dette materiale kan først benyttes

når hele øen er inddæmmet med sand, ral og stenmaterialer og beskyttelse mod vandgennemsivningen sikret af en spuns (se nedenfor). Hvor stor en procentdel af materialet til øen som kan komme fra tunnelprojektet kan ikke afgøres på nuværende projektstadie.

Den nævnte spunsvæg i perimeterkonstruktionen vil muligvis blive nødvendig, se afsnit 5.3.4.1. Den rammes fra land, fra en midlertidig arbejdsvej, som vist på figuren. Spunsen, der ikke går helt op til kronen af perimeterkonstruktionen rammes løbende med at perimeteren udbygges.

Alle de ovennævnte importerede materialer er relativt rene, og uden et større indhold af silt og ler; så der regnes med et relativt lille sedimentspild ved øens opbygning.

Det er vurderet, at det vil tage ca. 3 år at anlægge en kunstig ø, underforudsætning af at evt. løst indbygningsmateriale komprimeres, så det er klar til yderligere anlæg herpå.

5.3.5 Kunstige rev til skibsstødsbeskyttelse

5.3.5.1 Beskrivelse

Til beskyttelse af broløsninger er der foretaget vurdering af anlæg af undersøiske kunstige skibsstødsrev, se Figur 5-61 i afsnit 5.2.7.1 og fagnotatet "Marine Konstruktioner" [15].

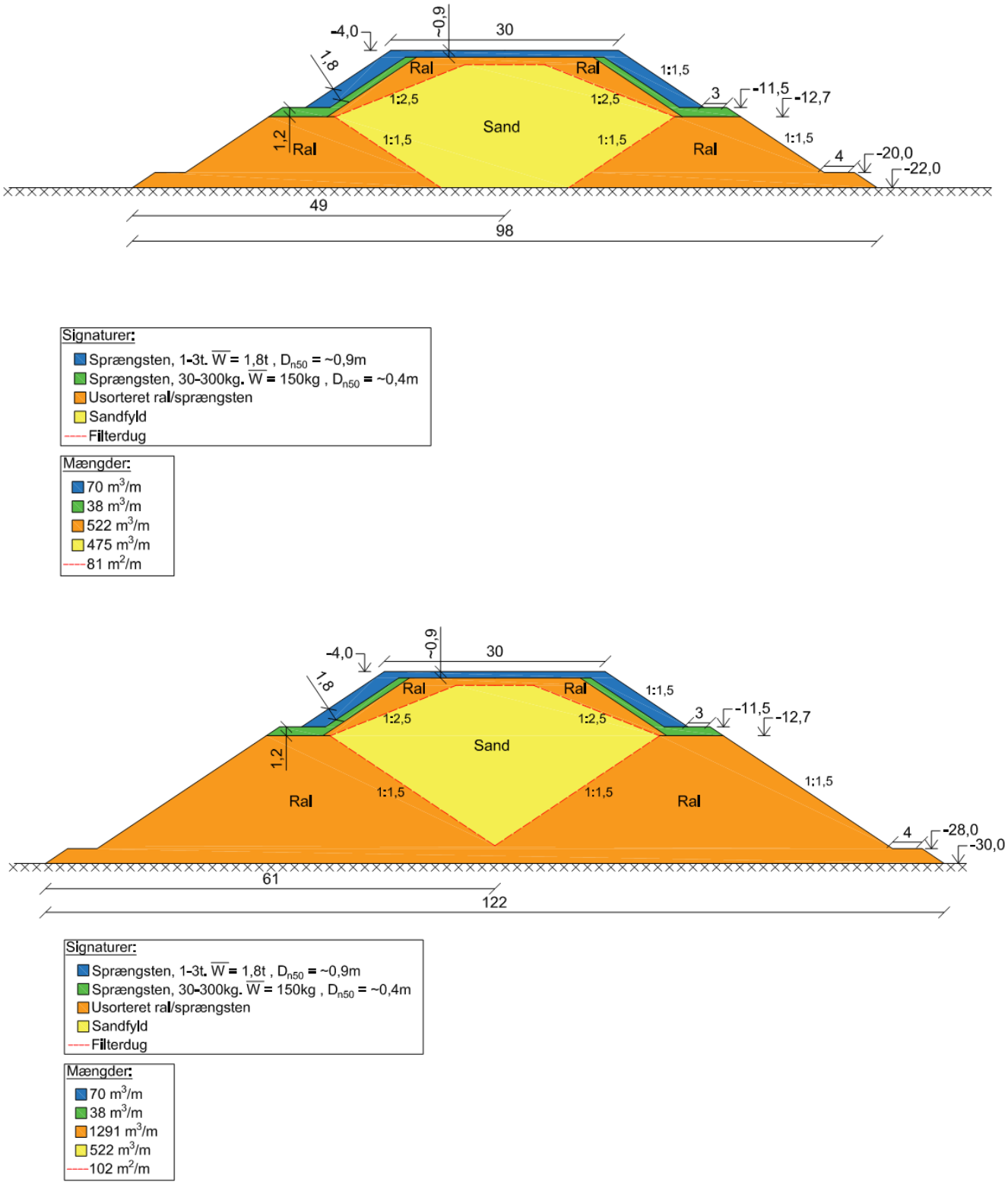
Det hydraulisk projekteringsgrundlag, som er sammenlignelige med forholdene for de kunstige KKØ-øer i afsnit 5.3.4.1, er nærmere beskrevet i Design Basis [6]. Der er antaget en vanddybde på ca. 22 m hhv. 30 m, og at revene skal have en bredde på 30 m i kote -4,0 m.

Tværsnit for det længste af de nordligste rev er vist for havbund i kote -22 m, medens tværsnit for et det sydligste rev er vist for havbund i kote -30 m. For havbund i anden kote varierer højde og bredde af ral området. De længste rev er ca. 2,5 km lange og beliggende hovedsagelig i syd/nordgående retning som vist på Figur 5-61. For KKØ-1 er der desuden to ca. 1,4 km lange rev nord for korridoren.

Materialerne er primært sand og ral med en ydre beskyttelse over kote ca. -12,7 m med dæksten og filterlag. Der er benyttet to lag dæksten på siderne og et lag på toppen. Revenes kerne består af sand.

Det er antaget, at konstruktionen kan bygges direkte på den eksisterende havbund uden afgravninger eller andre foranstaltninger, se desuden afsnit 5.2.7.1 for yderligere detaljer.

Tværsnit af de kunstige rev er vist i Figur 5-68.



Figur 5-68 Tværsnit af skibsstødsrev på vanddybder 22 m (øverst) hhv. 30 m (nederst) for relevante KKØ-korridorer

5.3.5.2 Udførelsesmetode

De undersøiske rev opbygges af de samme materialer som de kunstige øers undersøiske dele, se afsnit 5.3.4.2, og anlægsprocessen er generelt den samme. Alt anlægges fra søen, da revet ikke bryder overfladen.

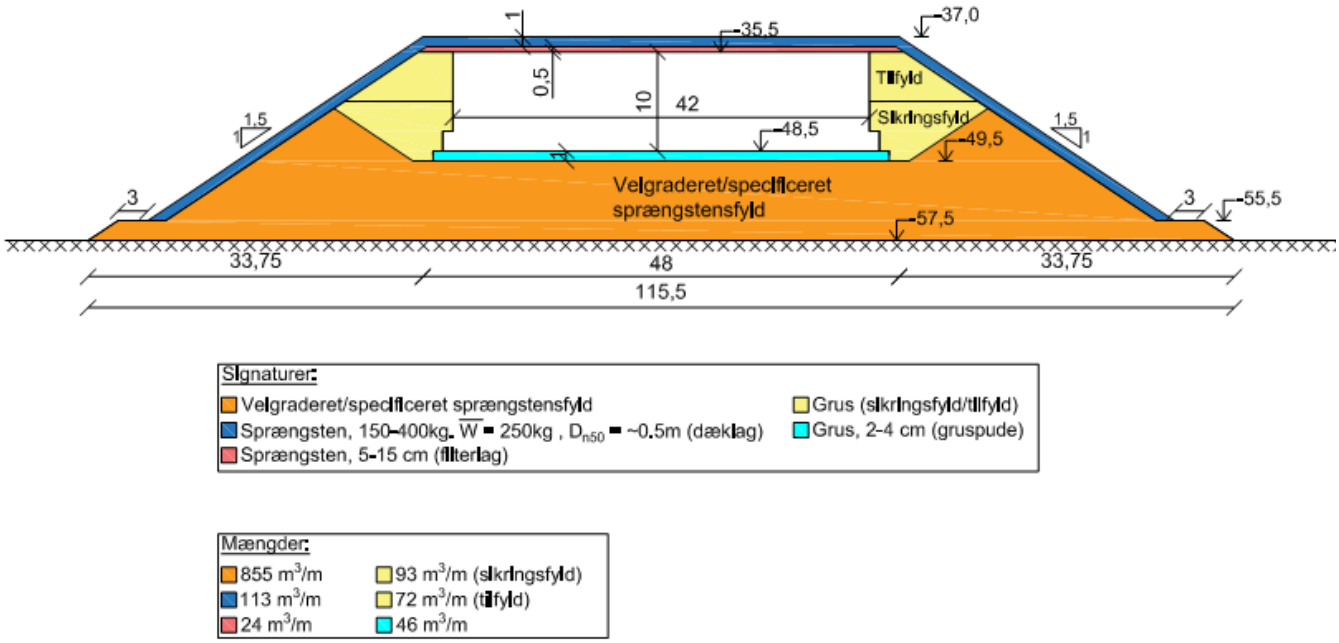
Anlægstiden afhænger af hvor meget materiel der mobiliseres, men én 2,5 km lang konstruktion vil sandsynligvis tage 2 år at anlægge.

5.3.6 Undersøisk dæmning til sænketunnel

5.3.6.1 Beskrivelse

For at begrænse dybden af sænketunnelen i bunden af Storebæltsrenden kræves en undersøisk dæmning til at understøtte og beskytte sænketunnelen, se Figur 5-62 i afsnit 5.2.7.1. Strømforholdene på dette sted er vurderet i Design Basis [6]. Opbygningen er nærmere beskrevet i afsnit 5.2.7.1 og fagnotatet "Marine Konstruktioner" [15]. Et typisk tværsnit af den undersøiske dæmning er vist på Figur 5-69.

Dæmningen er estimeret til maksimalt 9-10 m højde målt til bund af sænketunnelen. Efter installation af sænketunnelen og tilbagefyld vil den topkoten på det dybeste sted være 20 m over havbund, ca. 115 m bred og i alt ca. 500 m lang.



Figur 5-69 Tværsnit af undersøisk dæmning til sænketunnel på relevante KKØ-korridorer

5.3.6.2 Udførelsesmetode

Konstruktionen opbygges principielt på samme måde som de kunstige øer og undersøiske skibsstødsrev. Der er dog for dæmningen tale om væsentligt større vanddybde, så der kræves mere specielt materiel der kan udføre/nå ned til dybden. Meget store gravemaskiner (backhoe/excavator) er nødvendige for at kunne afrette fundamentet og skærvelaget lige under tunnelen og stenbeskyttelsen på siderne og ovenpå konstruktionen. Man har de seneste 10 år udviklet special materiel med GPS-styring mm. som gør det muligt at opnå den nødvendige nøjagtighed selv på sådanne dybder. Der er et mindre antal firmaer på verdensmarkedet som har specialiseret sig i dette.

Konstruktionen er relativt kort, men kræver stor nøjagtighed så en anlægstid på et halvt til et år inden tunnelen placeres på stenfundamentet, og det samme for overdækning mm. til færdiggørelse. Dette forudsætter at evt. løst indbygningsmateriale komprimeres, så det er klar til yderligere anlæg herpå.

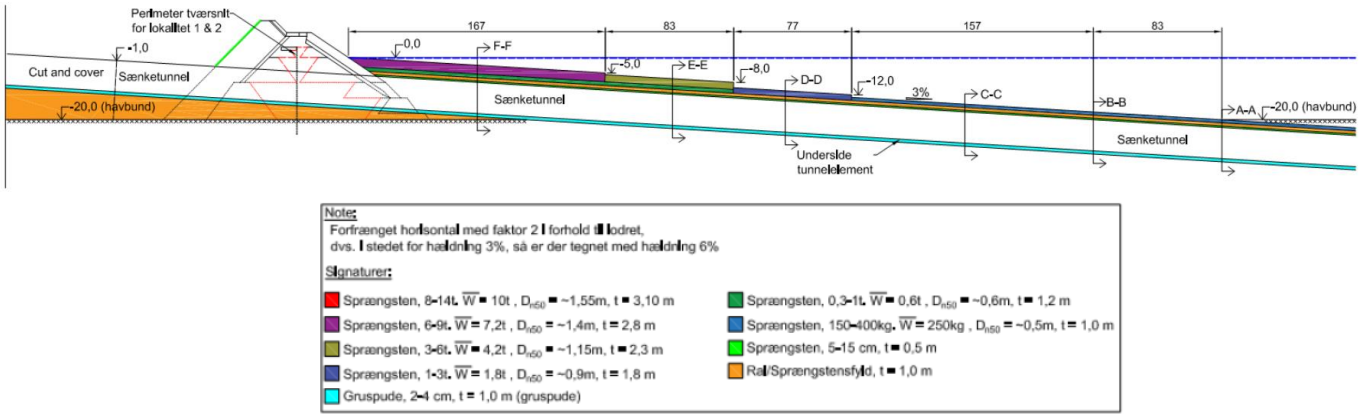
5.3.7 Sænketunnelbeskyttelse ved kunstige øer

5.3.7.1 Beskrivelse

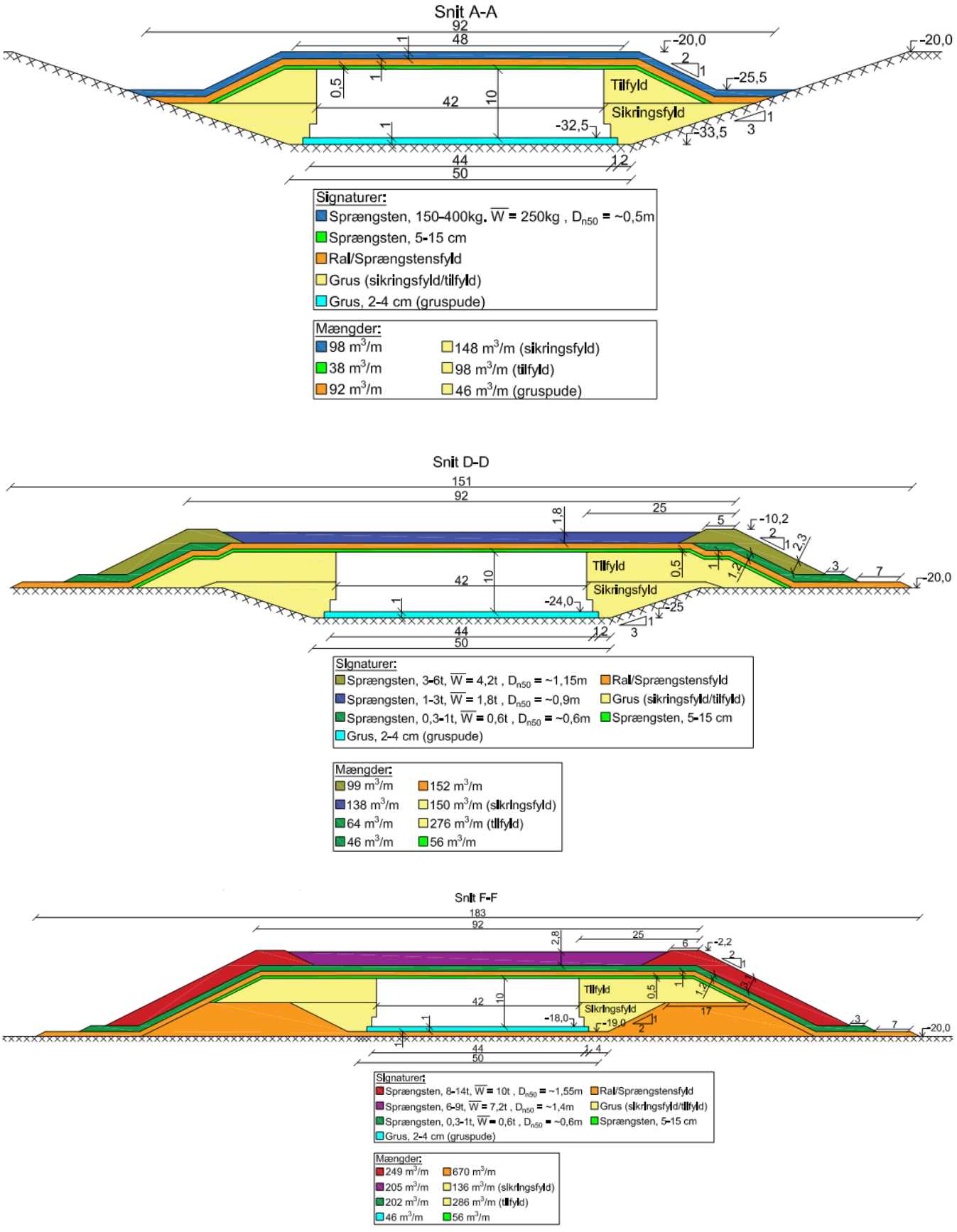
Skibsstødsbeskyttelse af sænketunnelen ved ilandføring på de kunstige øer er vurderet relevant ved øerne ved KKØ-korridorerne ved Falske Bolsaks samt ved øen ved KKV-korridorerne. Der er derfor udarbejdet længde- og tværsnit for den i Figur 5-66 viste ø-perimeter for KKØ. Skibsstødsbeskyttelsen for KKV-øen vurderes i nuværende fase konservativt at være tilsvarende for KKØ-øerne, men omfanget af sænketunnelbeskyttelsen vil ved nærmere analyse formodentlig kunne reduceres. Se fagnotatet "Sænketunnelbeskyttelse" [16].

Sænketunnelbeskyttelsen er udformet primært med henblik på beskyttelse imod tværgående påsejlingsrisici. Risikoen for langsgående påsejling af sænketunnel forudsættes afbødet ved hjælp af undersøiske rev, med samme princip hvor beskyttelse er fundet nødvendig for broløsninger.

Designforholdene for beskyttelsen og antagelserne mht. vanddybder mv. er tilsvarende for øerne ved Falske Bolsaks, se afsnit 5.2.7.1 og 5.3.4 samt fagnotat "Marine Konstruktioner" [15], og Design Basis [6]. Det vurderes at der er vil være behov for særlig beskyttelse på ca. 600 m fra ø-perimeteren. Opbygningen er nærmere beskrevet i afsnit 5.2.7.1. Foreslået længdesnit af sænketunnelbeskyttelsen ved de kunstige øer er vist på Figur 5-70, og udvalgte tværsnit er vist på Figur 5-71.



Figur 5-70 Længdesnit af sænketunnelbeskyttelsen ved kunstige øer på relevante KKØ- og KKV-korridorer. Bemærk at længdesnit har forskellig skala vertikalt og horisontalt (Bilag 5-3 i bilagsmappen)



Figur 5-71 Sænketunnelbeskyttelsen ved kunstige øer på relevante KKØ- og KKV-korridorer Tværsnit A-A (øverst), D-D (midt) og F-F (nederst) henviser til Figur 5-70

5.3.7.2 Udførelsesmetode

Sænketunnelbeskyttelsen opbygges af tilsvarende materialer som de øvrige stenkonstruktioner og de kunstige øers undersøiske dele, se afsnit 5.3.2 og 5.3.4.2, og anlægsprocessen er primært den samme. Anlægstid 1 til 1,5 år per konstruktion.

5.3.8 Beskyttelse af boret tunnel ved kunstige øer

5.3.8.1 Beskrivelse

Egenvægten alene kan ikke sikre den borede tunnel imod opdrift, hvorfor der skal være ca. en tunneldiameters jorddække over tunnelen. Ved overgangen til kunstige øer er der derfor behov for at udføre en ekstra jorddækning over en vis længde.

Beskyttelsen er vurderet for en kunstig ø beliggende på 20 m vanddybde. Jorddækket inkl. sikring skal være 15 m tykt svarende til diameteren af den borede tunnel. Inde på øen, hvor boret tunnel går over i cut & cover tunnel, er terrænkoten +4,0 m og overside af boret tunnel er i kote -11,0 m. I snittet hvor vandlinjen skærer perimeterdæmningen skal oversiden af tunnel være i kote -15.0 m og dækket udgøres af perimeterdæmningen. Hvor perimeterdæmningen ender, anlægges således et jorddække ved at der udlægges et tykt lag af fyldmateriale, som den borede tunnel går igennem. Længden af dette dække er bestemt af vanddybden og maksimum længdegradient af tunnelen til 20m/0,03=667 m.

Til sikring af jorddækket, ved spidsen af den kunstige ø, hvor strømforhold kan gøre at havbunden vil kunne erodere, anlægges der et område med større sten til at beskytte imod erosion.

Stenstørrelser og tykkelse af stenbeskyttelse over tunnel og på skråninger er den samme for boret tunnel, som for sænketunnel og udgør det største bidrag til pris.

Bredden af beskyttelsen er vurderet til 130 m og samlet skal der 0,5 millioner m³ fyld til beskyttelse af boret tunnel.

Baseret på mængder og enhedspriser for fyld, er det vurderet at prisen for beskyttelse af boret tunnel i gennemsnit over strækningen på 667 m er 15% højere end for sænketunnel.

5.3.8.2 Udførelsesmetode

Beskyttelse af boret tunnel udføres på samme måde som for sænketunnel, se afsnit 5.3.7.2.

5.4 Konsekvenser af øget toghastighed til 250 km/t

Det er forudsat at tog kan køre med en maksimal hastighed på 200 km/t imellem kysterne på Sjælland og Jylland. En forøgelse af denne hastighed til 250 km/t er undersøgt i fagnotat "Vurdering af konstruktioner for 250 km/t toghastighed" [7].

5.4.1 Konsekvenser for linjeføring og fritrumsprofil

Konsekvensen af at øge hastigheden fra 200 til 250 km/t er for linjeføringen at:

- Horisontal radius skal øges fra 1.888 til 2.950 m. Dette har især indvirkning lokalt ved ilandføringspunkter, hvor det bliver vanskeligere at tilpasse linjeføringen til lokale forhold, som bebyggelse, landskab, kulturarv, m.v.
- Vertikal radius skal øges fra 14.000 til 22.000 m. Dette har især indvirkning på længden af kunstige øer samt længden af ilandføring af tunneler i cut & cover tunnel og trug.

Stigningsforhold er de samme uanset hastighed.

Tværsnittene i bro- og tunnelløsningerne er bestemt ud fra disse krav svarende til 200 km/t toghastighed. Den væsentligste forskel ved 250 km/t er en 1,01 m forøgelse af højden af fritrumsprofilet. Denne ekstra højde vil ikke medføre ændringer for broerne, og der er tilstrækkelig højde til stede i to-etagers broløsninger, som er høje i forvejen af hensyn til broens stivhed. For tunneler derimod vil et øget fritrumsprofil medføre betydelige ekstraomkostninger. Hvis man i en senere fase vælger en tunnelløsning, og har et ønske om at øge hastigheden til 250 km/t, bør der søges dispensation fra den meget store forøgelse af højden af fritrumsprofilet. Forhøjelsen af fritrumsprofilet for 250 km/t er markant lavere i andre europæiske lande, f.eks. i Tyskland, hvorfor en dispensation må forventes at kunne opnås på grundlag af yderligere undersøgelser og en eksplicit risikoanalyse.

5.4.2 Konsekvenser for broer

Det afgørende krav af hensyn til passagerernes komfort er kravet til maksimalt vinkelknæk i lodret plan ved ekspansionsfuger. Ved ekspansionsfuger hvor to dragerender mødes, skærpes kravet fra 4,0 til 3,0 mrad hvis hastigheden øges fra 200 til 250 km/t.

For samtlige undersøgte broløsninger er det dog vurderet, at komfortkriterier for tog med hastighed 250 km/t kan opfyldes uden merudgift til anlæg.

Såfremt støjen fra persontog, der kører 250 km/t, er mere generende end støjen fra persontog, der kører 200 km/t, anbefales det at indbygge støjdæmpning i den direkte sporbefæstelse, hvilket antages at være billigere end opsætning af støjskærme. Emnet er ikke undersøgt i forbindelse med nærværende Baggrundsrapport. Behov for afhjælpende tiltag pga. støj afhænger af miljøundersøgelserne.

Det er sandsynligt, at øget toghastighed medfører krav om hyppigere sporjusteringer for at opretholde krav til passagerkomfort, men dette har ingen betydning for anlægsoverslagene.

5.4.3 Konsekvenser for sænketunneler

For sænketunnelløsninger kan det ikke udelukkes at aktuelle jordbundsforhold og belastning vil medføre en merudgift for sætningsreducerende tiltag for tog med hastighed 250 km/t i forhold til sænketunnelløsninger med maksimal hastighed 200 km/t. Sandsynligheden for at projekteringshastigheden 250 km/t vil medføre en merudgift for en sænketunnel forventes at være større, end den er for en boret tunnel.

Trykstigningsforøgelsen ("sonic boom") ved at forøge hastighed fra 200 km/t til 250 km/t vil kun medføre en marginal meromkostning, da denne effekt er lokal ved indkørsel til tunnel.

Disse vurderinger er dog under forudsætning af at der vil kunne opnås dispensation fra banenormernes krav til forøget frihøjde ved 250 km/t jf. afsnit 5.4.1.

5.4.4 Konsekvenser for borede tunneler

For borede tunnelløsninger kan det ikke udelukkes at aktuelle jordbundsforhold og belastning vil medføre en merudgift til sætningsreducerende tiltag for tog med hastighed 250 km/t. Sandsynligheden for at projekteringshastigheden 250 km/t vil medføre en merudgift til sætningsreducerende tiltag for en boret tunnel forventes dog at være mindre end den er for en sænketunnel. Forskellen vurderes at være minimal, grænsende til det uvæsentlige.

Trykstigningsforøgelsen ved at forøge hastighed fra 200 km/t til 250 km/t kan medføre meromkostning som vurderes at være minimal, da denne effekt kun er lokal ved indkørsel til tunnel.

Disse vurderinger er dog under forudsætning af at der vil kunne opnås dispensation fra banenormernes krav til forøget frihøjde ved 250 km/t jf. afsnit 5.4.1.

5.4.5 Konsekvenser på Samsø

De skitserede mulige linjeføringer på Samsø anvender en minimumsradius på 3000 m horisontalt, hvilket allerede muliggør 250 km/t uden justeringer. Det øgede krav til vertikalradius ved 250 km/t gør den vertikale geometri "mere stiv", hvilket kan medføre længere dæmninger og udgravninger og dermed behov for mere jordflytning. Da de mulige linjeføringer i dette stade af forundersøgelserne kun er behandlet i 2D er det ikke muligt at kvantificere dette; men meromkostningerne antages at være beskedne.

Ved 250 km/t vil det være nødvendigt at anlægge sidespor med sideperroner, så passagerudveksling kan ske her. Hovedsporet vil være uden perronadgang og forbeholdt gennemkørende tog.

5.4.6 Konsekvenser for anlægsoverslaget

Overordnet set vil en ændring af den maksimale hastighed fra 200 til 250 km/t medføre en fordyrelse på i gennemsnit 0,2%. Afhængig af hvilken korridor der er tale om varierer dette tal dog imellem 0,1% og 0,5%. Dette er under forudsætning af, at der for korridorer med tunneler vil kunne opnås dispensation fra banenormernes krav til forøget frihøjde ved 250 km/t jf. afsnit 5.4.1.

Ovenstående er baseret på de forudsætninger for linjeføringerne, der har ligget til grund for arbejdet med denne Baggrundsrapport. Det forventes at tillægsprisen vil kunne reduceres ved optimering af designet af linjeføringerne.

Den vertikale linjeføring er i denne Baggrundsrapport baseret på en vertikal minimumsradius på 20.000 m både mht. tegninger, tabeller og anlægsoverslag. Det er konservativt i forhold til hastigheden på 200 km/t som kun kræver 14.000 m; men er valgt for at sikre robusthed under udvikling af korridorerne. Der vil således kun skulle en beskeden ændring til for at løfte de 20.000 m til de 22.000 m, som er minimumsradius for 250 km/t. Omvendt betyder det, at de vertikale længdeprofiler vil kunne optimeres, såfremt 200 km/t fastholdes med en lille besparelse til følge.

Pristillæg totalt samt pristillæg til anlægsoverslagene i afsnit 12 ved at gå fra 200 til 250 km/t er sammenfattet i Tabel 5-7. Heri indgår et tillæg på 120 mio. kr. til udførelse af sidespor på stationen på Samsø, som er tillagt korridorerne på KKV.

Tabel 5-7 Pristillæg ved at øge den maksimale hastighed fra 200 til 250 km/t

Korridorer og konstruktionstyper	Tillæg i alt [mio. kr.]	Tillæg i forhold til anlægsoverslag i afsnit 12 *)
KKØ-2.1 Nyby Vest - Hjalmarsgård (Hængebro/Højbro)	243	243
KKØ-2.1 Nyby Vest - Hjalmarsgård (Sænketunnel)	377	285
KKØ-2.2 Nyby Øst - Hjalmarsgård (Hængebro/Højbro)	243	243
KKØ-2.5 Røsnæs Syd - Kunstig ø - Hjalmarsgård (Boret tunnel/Lavbro)	282	36
KKØ-2.6 Nyby Øst - Hjalmarsgård (Sænketunnel)	124	32
KKØ-3.1 Asnæs Syd - Kunstig ø - Vesborg Fyr (Sænketunnel/Lavbro)	282	71
KKØ-3.2 Asnæs Nord - Kunstig ø - Vesborg Fyr (Boret tunnel/Lavbro)	282	36
KKØ-3.3 Asnæs Syd - Kunstig ø - Samsø Syd (Sænketunnel/Lavbro)	282	71
KKØ-3.4 Asnæs Nord - Kunstig ø - Samsø Syd (Boret tunnel/Lavbro)	282	36
KKØ-4.1 Asnæs Nord - Hjalmarsgård (Boret tunnel)	124	16
KKØ-4.1 Asnæs Nord - Kunstig ø - Hjalmarsgård (Boret tunnel/Lavbro)	282	36
KKØ-4.2 Asnæs Forskov - Kunstig ø - Hjalmarsgård (Boret tunnel/Lavbro)	282	36
KKØ-4.3 Asnæs Syd - Hjalmarsgård (Skråstagsbro/Højbro)	243	243
KKØ-4.3 Asnæs Syd - Kunstig ø - Hjalmarsgård (Sænketunnel/Lavbro)	367	156
KKV-1.1 Onsbjerg Nord - Kunstig ø - Hou (Sænketunnel/Lavbro)	201	141
KKV-1.2 Onsbjerg Syd - Kunstig ø - Hou (Sænketunnel/Lavbro)	201	141
KKV-2.1 Onsbjerg Syd - Hou (Højbro/Lavbro)	120	120
KKV-2.1 Onsbjerg Syd - Hou (Boret tunnel)	244	136
KKV-2.2 Onsbjerg Nord - Hou (Højbro/Lavbro)	120	120
KKV-2.3 Fogedmark - Hou (Højbro/Lavbro)	120	120
KKV-3.1 Kolby Kås - Gylling Næs (Højbro/Lavbro)	120	120
KKV-3.3 Kolby Kås - Søby (Boret tunnel)	244	136
KKV-3.4 Fogedmark - Gylling (Højbro/Lavbro)	120	120
KKV-3.5 Fogedmark - Søby (Boret tunnel)	244	136

**) Der henvises til foranstående forklaring (afsnit 5.4.6)*

5.5 Arbejdspladser

5.5.1 Arbejdspladsarealer i ilandføringszoner

5.5.1.1 Adgangsveje og arbejdsveje

Der vil blive behov for at etablere adgangsveje og arbejdsveje langs vej og jernbane for at forbinde offentlig vej med byggepladsen. Disse vurderes konservativt at kunne placeres indenfor en bredde på 20 m på hver side af de permanent eksproprierede arealer. For cut & cover tunneler antages en bredde på 25 m på hver side at tunnelrøret. Dette vil medføre behov for et ca. 100 m bredt midlertidigt arbejdsareal frem til at vejen vej og bane når ned i terræn. For broer dog op til 150 m ved endevederlaget. Disse antagelser er konservative øvre værdier, da man så vidt muligt vil tilstræbe at placere arbejdsveje inden for det permanente tracé.

5.5.1.2 Arealbehov ved byggestedet

Der må påregnes etableret en primær arbejdsplads på ca. 6 ha i ilandføringszonerne på Sjælland og i Jylland og en sekundær arbejdsplads på ca. 4 ha ved hver ilandføringszone på Samsø. Disse værdier gælder for bro og sænketunnel, for boret tunnel påregnes større arealer på ca. 9 ha ved den ene ende og ca. 7 ha ved den anden ende.

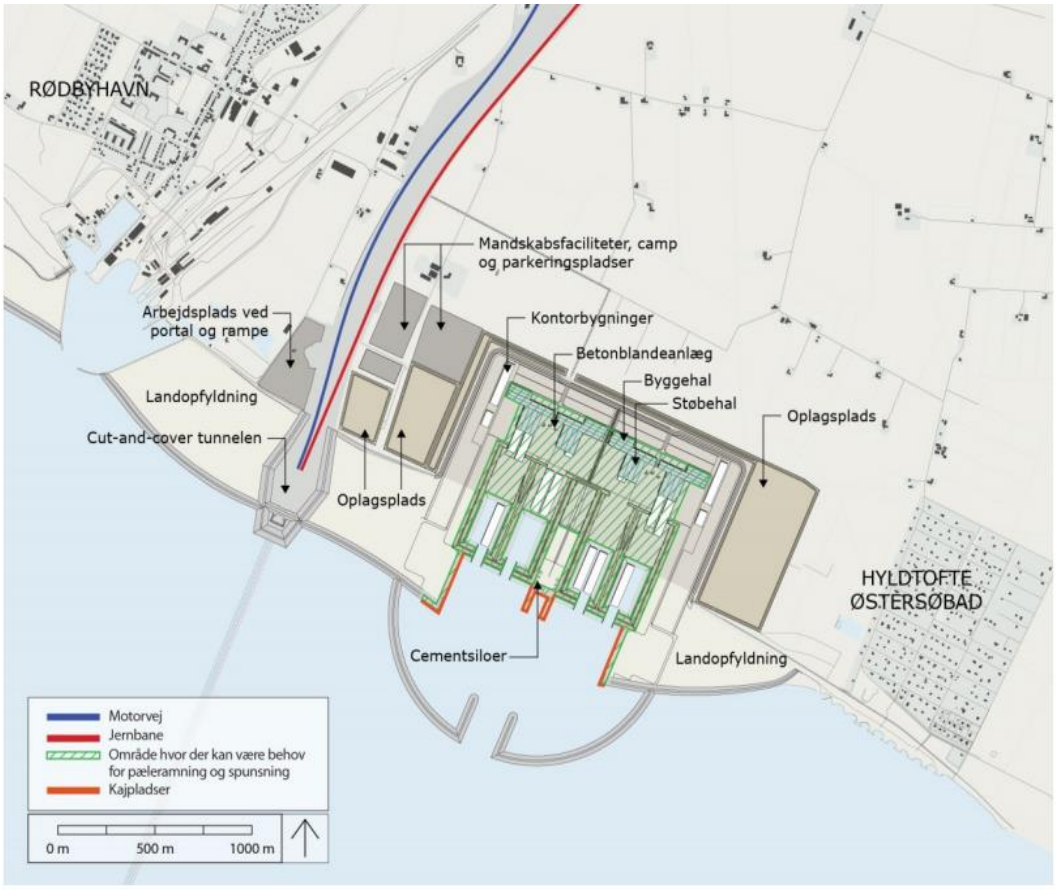
De ovenfor beskrevne arbejdspladser tilstræbes placeres langs arealet til arbejdsveje og adgangsveje eller i umiddelbar nærhed heraf.

Der henvises generelt til fagnotatet ”Arbejdspladsarealer” [17].

5.5.2 Elementproduktionspladser

5.5.2.1 Elementproduktionsplads i Rødby

Anlægget i Rødby, som benyttes til produktion af sænketunnelelementer til Femern Bælt, vil være yderst velegnet til produktion af elementer til en Kattegatforbindelse, uanset om der vælges en bro, en sænketunnel eller en kombination af de to. Der henvises til fagnotatet "Elementproduktionspladser” [18].



Figur 5-72 Principskitse af elementfabrikken i Rødby fra VVM-undersøgelsen

Det er forudsat, at der skal tilstræbes så vidt muligt samme anlægsperiode som for det tilsvarende anlæg på Femern Bælt.

Uanset valget af løsning anbefales, at der foretages en ombygning eller udvidelse af Rødby anlægget:

- Ved sænketunnel KKV og KKØ en udvidelse fra 6 til 8 produktionslinjer, så hver af entreprenørerne på KKV og KKØ får 4 produktionslinjer
- Ved sænketunnel KKØ, bro KKV en udvidelse med broarbejdsplads ved siden af tunnelpladsen
- Ved bro KKV og KKØ en opfyldning af to af tørdokkene så de kan anvendes til produktion af bropiller og deres fundamenter samt overbygning lavbro. Den tredje tørdok anvendes til fundamenter til pyloner og eventuelle ankerblokke. Overbygning højbro påregnes produceret i udlandet (ligesom Øresundsbroen og Storebælts Østbro).

5.5.2.2 Elementproduktion andre steder

Hvis der stilles begrænsninger til Rødby anlæggets udnyttelse, anbefales det at foretage en nærmere undersøgelse af alternative lokaliteter, som eksempelvis kunne være:

- Masnedø (arbejdsplads for ny Storstrømsbro)
- Lindø
- Kalundborg Vesthavn
- Aarhus Havn
- Grenå Havn
- Nyborg Havn.

I tilfælde af, at Kattegatforbindelsen helt eller delvist skal udføres som en boret tunnel anses Rødby-anlægget at være mindre velegnet til dette arbejde, idet det oftest foretrækkes at anlægge den relativt lille arbejdsplads til produktion af liningelementer i nærheden af tunnelmundingen.

6 Geotekniske forhold

Projektområdet mellem Sjælland til Jylland er i tidligere faser screenet geoteknisk i et ca. 50 km bredt bælte, baseret på offentligt tilgængelige geotekniske databaser (JUPITER) suppleret med relevant kortmateriale i form af jordartskort, andre geologiske, tematiske kort fra GEUS og søkort.

Der blev i sommeren 2020 udført geofysiske feltundersøgelser mhp. at få mere detaljeret kendskab til de geologiske forhold til brug for både de anlægstekniske og miljøtekniske vurderinger.

En opdateret geologisk/hydrostratigrafisk model baseret på resultaterne af de geofysiske undersøgelser er præsenteret i fagnotatet "Geofysiske undersøgelser og geologisk model, COWI" [19].

Der er ikke i denne fase lavet supplerende feltundersøgelser for ilandføringspunkterne på Sjælland, Samsø og Jylland, hvorfor vurderingen af disse er baseret på tilgængeligt materiale fra de ovennævnte databaser.

6.1 Geologisk model for Kattegat

Generelt er geologien i hele området præget af at være glacial randzone for flere forskellige fremstød, hvorfor der kan være store variationer i funderingsforholdene over korte afstande. Der kan i forskellige områder mødes blødbund i varierende tykkelse. Med de typiske funderingsniveauer på 5-10 m under nuværende havbund for såvel bro- og sænketunnelløsninger vurderes risikoen for at skulle grave yderligere ud eller – i ekstreme tilfælde – for at skulle fundere på pæle til at være lav. Denne risiko er på foreliggende datagrundlag ikke fundet mere udtalt i nogle korridorer frem for andre.

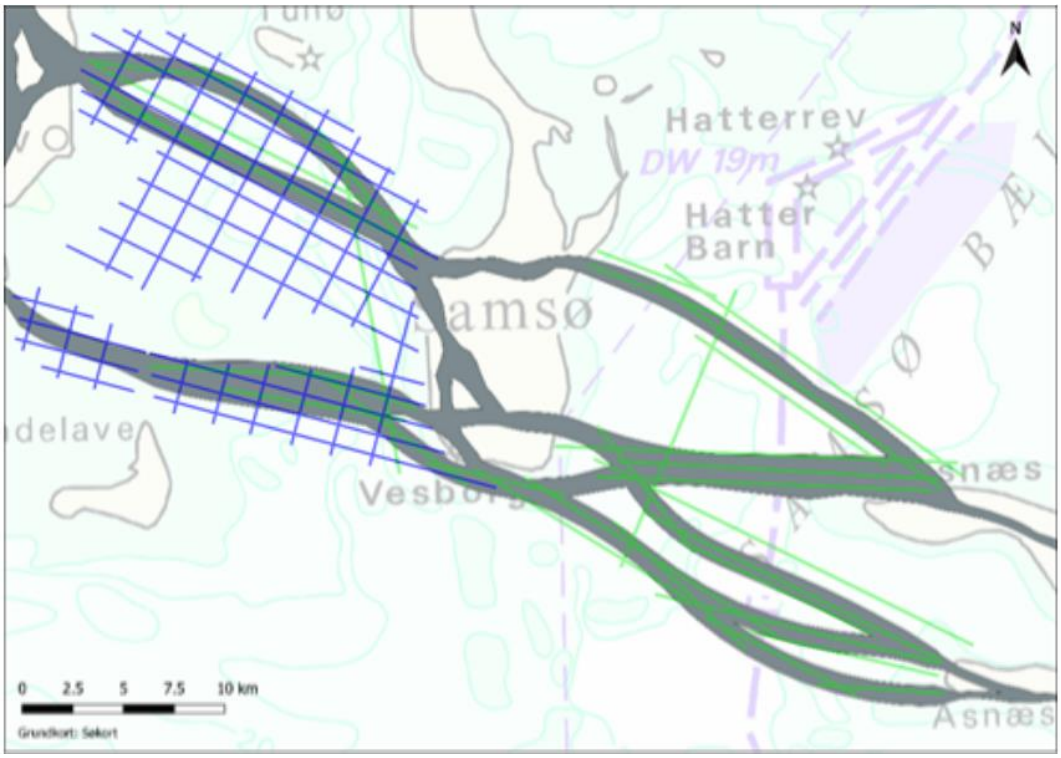
Prækvartære aflejringer (især af plastisk ler som erfaringsmæssigt kan være problematiske med hensyn til sætninger og svelning i forbindelse med be- og aflastning) kan forventes at blive truffet i alle undersøgte korridorer - i nogle områder i meget stor dybde, i andre områder tæt på eksisterende terrænniveau. De overfladenære prækvartære forekomster er fundet dels som forbelastede, udeformerede aflejringer (primært identificeret som Kertemindemergel) dels i form af stærkt deformerede plastiske Palæogene lerarter. Disse plastiske lerarter findes enten som opskudte, foldede formationer eller som flager i de overliggende kvartære aflejringer. Disse lag kan have betydelig indflydelse på styrke- og deformationsegenskaber for de enkelte områder.

Den geologiske og geotekniske screening har ikke afsløret forhold som taler for at til- eller fravælge bestemte korridorer.

6.1.1 Grundlag for opdateret geologisk model

Der blev udført geofysiske undersøgelse til havs i sensommeren 2020.

Der er gennemført korridorundersøgelser med multikanalseismik med henblik på at bestemme lagfølger og jordartstyper for lagene under de recente marine aflejringer (bløde havbundssedimenter). Mellem Samsø og Jylland blev der også lavet fladeundersøgelser med enkeltkanalsseismik med fokus på de overfladenære sedimenters udbredelse og sammensætning. Sejllinjer er vist sammen med korridorer på Figur 6-1.



Figur 6-1 Sejllinjer for seismiske kampagner 2020: blå: enkeltkanal, grøn: multikanal

Kampagnen blev gennemført i perioden medio august til primo september 2020.

Tolkningen af de seismiske linjer er præsenteres i et separat fagnotat "Geofysiske undersøgelser og geologisk model, COWI" [19] Fladeundersøgelserne er behandlet af GEUS og præsenteret i notatet "Overfladenær geologisk delmodel, GEUS" [20].

COWI har efterfølgende samlet de tolkede data og på baggrund deraf etableret en konsolideret 3D geologisk model for projektområdet.

6.1.2 Stratigrafiske modeller for udvalgte korridorforslag

Den geologiske model for området mellem Sjælland og Jylland anvendt i denne korridoranalyse bygger på en opdateret version af den stratigrafiske model udarbejdet i den tidligere fase af projektet, og præsenteret i fagnotatet "Geologisk og geoteknisk screening, COWI" [21].

Den geologiske lagfølge er i denne fase opdateret på baggrund af de geofysiske undersøgelser, som giver (delvist) kontinuert information langs sejllinjerne, samt – for KKVs vedkommende – en bedre fladedækning grundet et stort antal sejllinjer.

Den opdaterede geologiske model for Kattegat Kyst-Kyst består af 6 stratigrafiske hovedenheder, som angivet nedenfor (farverne henviser til længdesnittene præsenteret senere):

- Post-glaciale aflejringer (cyan)
  - Postglacial tørv og gytje
  - Postglacial sand
- Senglaciale aflejringer (lyserød)
  - Senglacial ler (smeltevandsler)
  - (Sen)glaciale forekomst af sand og grus
- Glaciale aflejringer (brun)
  - Slap moræneler (lysebrun)
  - Moræneler
  - Morænesilt
  - Morænesand/-grus
  - Smeltevandssand og -grus
  - Flager af Palæogent ler
- Foldet Palæogent ler (lilla)
- Palæogene aflejringer på intakt leje (blå)
  - Let glacialt påvirket (Æbeløler/Kerteminde mergel) (lyseblåt)
  - Kerteminde mergel (mørkeblå) - udeformeret
- Ældre prækvartære aflejringer (grøn)
  - Kalk (Danien) (lysegrøn)
  - Prækvartær overflade (Binzer & Stockmarr[1]) (mørkegrøn)

Disse overordnede enheder inddeles i underenheder, som skal danne basis for fastlæggelse af de geotekniske karakteristika, som f.eks. styrke og stivhed.

De post-glaciale aflejringer er ikke forbelastet af gletsjere (de er normal-konsoliderede), og derfor har lav styrke og stivhed. De anses ikke for egnede til fundering.

De senglaciale aflejringer enten af ler eller smeltevandssand/-grus. De grovkornede materialer (sand/grus) er forventes at være dominerende og kan i de fleste tilfælde anvendes til at direkte fundering. Ler vil sandsynligvis være let forkonsolideret og derfor kun i begrænset omfang være egnet til direkte fundering. Det er dog

[1] Binzer & Stockmarr: Prækvartæroverfladens Højdeforhold: Det danske landområde samt Kattegat, indre farvande og farvandet omkring Bornholm, GEUS, 1994.

forventningen, at dette materiale kun optræder i tyndere lag eller i lommer af begrænset udbredelse.

Under de senglaciale aflejringer mødes et ret tykt lag af glaciale aflejringer. Materialet i disse aflejringer består primært af moræneler/-silt/-sand/-grus, som er ført med gletsjerne fra den Skandinaviske halvø. Generelt er disse aflejring – grundet kraftig forbelastning fra isen – yderst kompetente, og dermed uproblematiske som grundlag for fundering af såvel broer som tunneller. Der er to forbehold i denne vurdering: For det første viser de seismiske undersøgelser, at der visse steder er en øvre, slap(pere) moræne, som for en broløsning kan kræve større fundamenter – også for at begrænse sætningerne. For det andet forventes det, at der er flager af Palæogent ler indlejret i morænen, hvorved der lokalt vil være betydeligt lavere styrke og stivhed end generlet for den rene moræneaflejring. Det er ikke muligt – i det nuværende datasæt - at identificere disse flager, men forventningen er, at de primært vil findes i områder med foldet Palæogent ler. Det er dog forventeligt, at disse flager sporadisk findes i hele projektområdet.

Næste lag i modellen er foldet Palæogent ler. Denne aflejring er forskubbet af gletsjerne, hvorved der er opstået smårevner og glideflader i strukturen, hvilket reducerer styrke og stivhed i forhold til det udeformerede materiale. For tunneller er specielt materialernes evne til at svelle markant under aflastning, som udgør en udfordring. Sætningerne, der vil opstå ved belastning, kan være signifikante og udvikle sig over hele konstruktionens levetid.

Nederste enhed i den geologiske model er prækvartære aflejringer på intakt leje, dvs. aflejringer som er påvirket af lasten fra is og nuværende eller borteroderede lag, men som ikke er flyttet af gletsjerne. Disse består i projektområdet forventeligt primært af Kerteminde-mergel og Danienkalk. Overfladen af Danienkalk er lagt ind baseret på "Top af kalk" i GEUS' Jupiterdatabase. I områder uden direkte seismisk data er oversiden af disse aflejringer er i den geologiske model lagt ind efter den såkaldte "prækvartære overflade" af Binzer & Stockmarr (1992). Denne flade er visse steder sammenfaldende med toppen af Danienkalk, hvilket betyder at alle yngre prækvartære aflejringer er borteroderet eller opblandet i ovenliggende glaciale lag.

6.1.2.1 Usikkerheder i den geologiske model

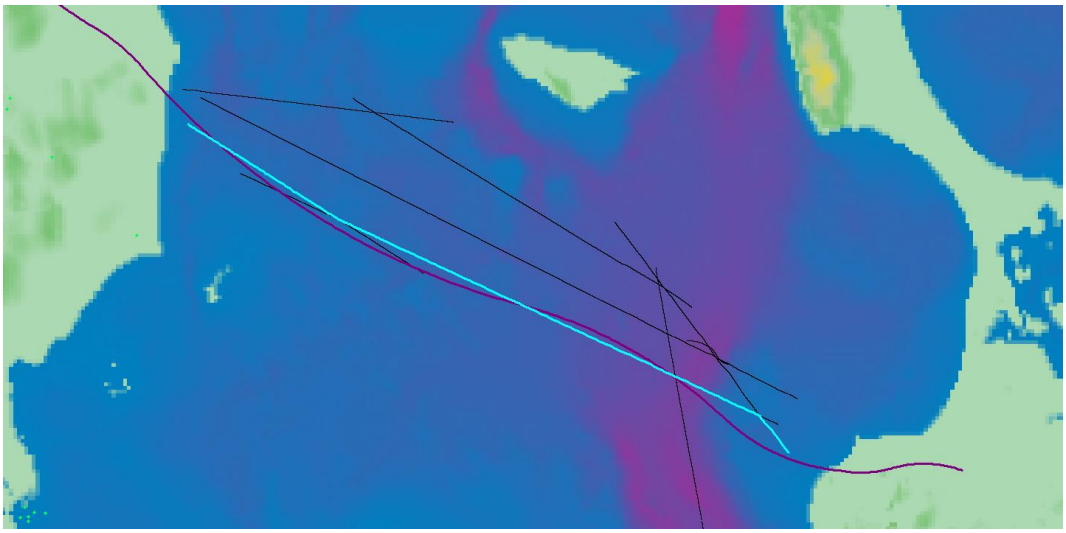
Den geologiske model er etableret primært på basis af sejllinjerne fra de seismiske undersøgelser. Mellem sejllinjerne er modelfladerne etableret ved interpolation. Dette betyder, at der ikke samme detaljeringsgrad mellem linjerne som langs linjerne og der sker en udglatning/-viskning af de lokale variationer. Dette er illustreret på Figur 6-2 og Figur 6-3 for linjeføringen for KKV-2.2.

Et markant eksempel er den foldede Palæogene ler (lilla), som tæt på Jylland ses op til kote -20 m og dykker ned til kote -70 m mellem foldningerne i den valgte sejllinje, mens denne flade i selve KKV-2.2 linjen kun når op til kote -30 m og i dalene kun falder til -60 m. Usikkerheden på disse lokale formationer er således op til +/- 10 m i lodret retning.

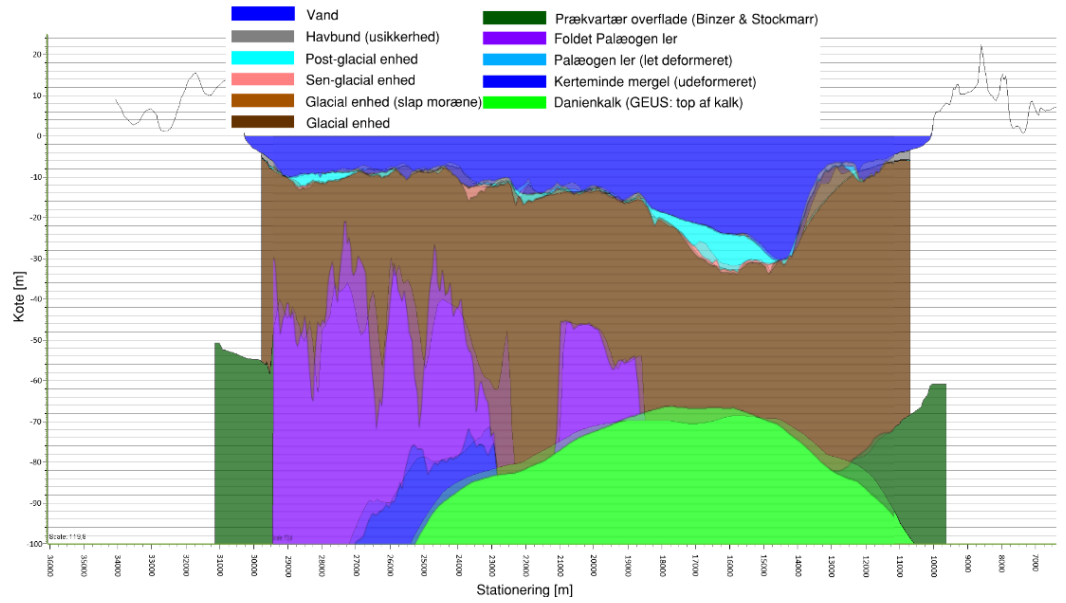
For højereliggende formationer er usikkerheden mindre. Det skal bemærkes, at havbundsmodellen (baseret på bathymetrien) har finere opløsning, så der ikke sker

samme udglatning mellem sejllinjerne. Der er i modellen således forskel på havbund (vist med gråt) og toppen af post-glaciale aflejringer (vist med cyan). Denne forskel er også vist i de nedenfor beskrevne længdesnit, da de er udtryk for den generelle usikkerhed på fladerne i modellen.

En generel usikkerhed i modellen er dybdeopløseligheden i de glaciale aflejringer. De anvendte seismiske metoder er i stand til at trænge igennem 40-50 m moræneaflejring og derved detektere overgang til underliggende prækvartære lag med væsentlig anderledes struktur end moræneaflejringer. Hvis et prækvartært lag derimod ligger dybere, vil det ikke kunne ses i de seismiske data. Det kan således ikke udelukkes, at laget af Kerteminde-mergel (blå) under det foldede Palæogene ler strækker sig længere mod øst end modellen viser. På den sikre side bør man derfor antage at de glaciale aflejringer maksimalt er 50 m tykke.



Figur 6-2 Linjeføring for KKØ-2.2 (lilla) og tilnærmede sejllinjer (cyan)



Figur 6-3 Længdesnit for KKV-2.2 – linjeføring med overlagte sejllinjer

Der er i det følgende præsenteret geologiske længdeprofiler for 6 delkorridorer for hhv. KKØ- og KKV-områderne:

- KKØ-1.1, KKØ-2.1, KKØ-3.1
- KKV-1.1, KKV-2.2, KKV-3.2

Formålet med de valgte eksempler er primært at beskrive relevante variationer mellem nordlige og sydlige linjeføringer. I det omfang, hvor der er tydelige forhold, som for de enkelte korridorer kan påvirke de enkelte konstruktionstyper og løsningsforslag, er disse kort vurderet. Der ligger ikke nogen prioritering af de viste korridorforslag ift. øvrige korridorforslag.

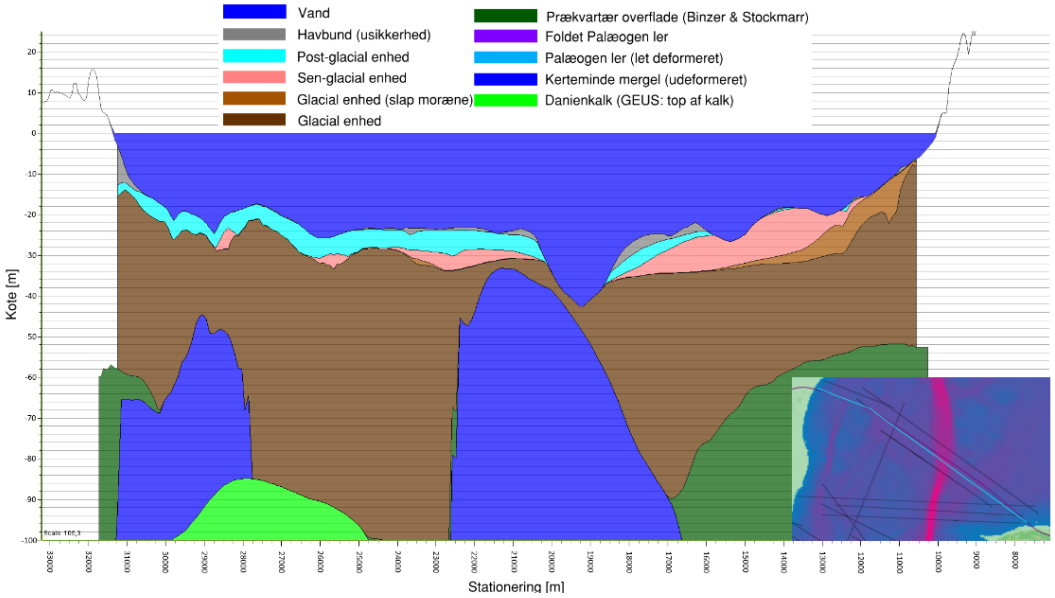
6.1.2.2 Geologiske forhold for KKØ-korridorer

Området mellem Sjælland og Samsø er stærkt påvirket af eksistensen af Storebæltsrenden, som udgør en erosionsfordybning i de glaciale aflejringer. På begge sider af renden, findes marine sedimenter af post- eller senglaciale alder. Mod nord er der er en tendens til at de post-glaciale aflejringer er tykkest på vestsiden af renden, mens det mod syd er den østlige del ind mod Asnæs, at de tykkeste forekomster af post-glaciale aflejringer er fundet. Mægtigheden af disse aflejringer er typisk op til 5 meter. Det vil sige, at de senglaciale og glaciale aflejringer ligger i en dybde, som generelt muliggør direkte fundering. Det kan dog ikke udelukkes, at der for alle korridorer er områder, hvor de senglaciale aflejringer er af en karakter som vil kræve begrænset udskiftning for at kunne fundere direkte.

De nordligste korridorer går over stort set vandret havbund bortset fra Storebæltsrenden. De sydligste korridorer passerer revet kaldet Falske Bolsaks, som er geoteknisk velegnet for placering af en kunstig ø.

For de nordligste korridorer, KKØ-1, er den udeformerede prækvartære overflade fundet nær havbund. Dette lag er tolket som Kerteminde mergel. Mod syd, f.eks. langs KKØ-2, er den udeformerede prækvartære overflade dybereliggende. Til gengæld er fundet foldninger/flager af prækvartære aflejringer nærmere på havbunden. Disse formationer er tolket som Palæogent ler, dog med det forbehold at den østligste formation kan være interglacial/lav-plastisk. Dette er en markant usikkerhed i modellen, som i senere faser bør undersøges med geotekniske boringer. Længere mod syd (KKØ-3) forsvinder disse højtliggende foldninger.

6.1.2.2.1 KKØ-1.1



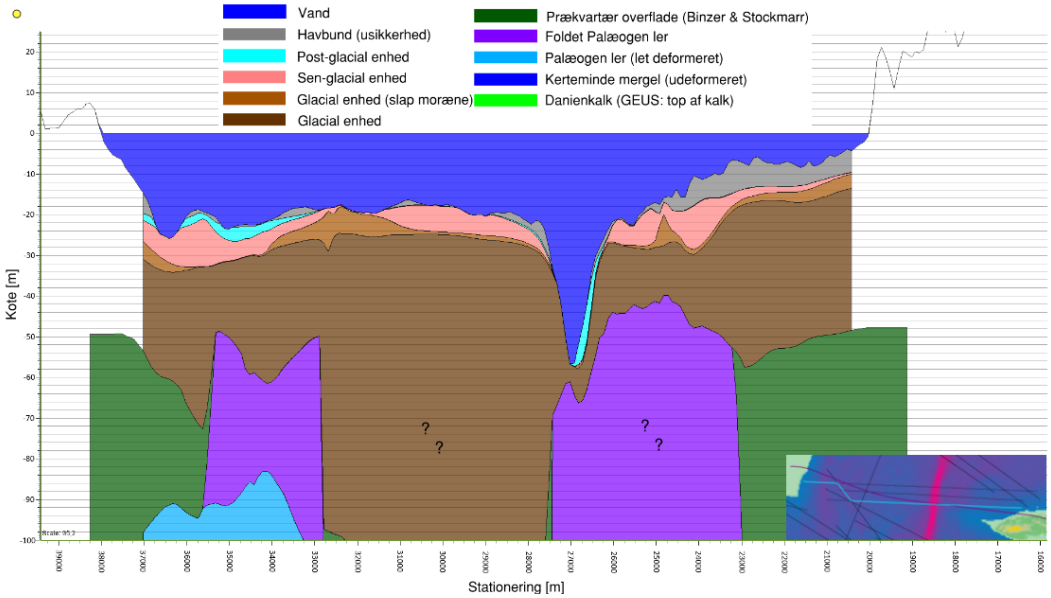
Figur 6-4 Geologisk længdesnit for korridor KKØ-1.1 (linjeføring vist i højre hjørne) (Bilag 6-1 i Bilagsmappen)

Længdeprofilet for KKØ 1.1, som repræsenterer de nordligste KKØ korridorer med ilandføringspunkter på Røsnæs og det central Samsø, er vist på Figur 6-4. Vanddybden er typisk 20-25 m, bortset fra Storebæltsrenden, som her har en dybde på ca. 40 m.

De øverste 7-10 m består af post- eller senglaciale sedimenter. Den største mægtighed er fundet på østsiden af Storebæltsrenden. Under disse aflejringer findes den glaciale enhed, som i størstedelen af linjen forventes at være kompetent. Tæt ved Røsnæs er der dog fundet slap moræne med en mægtighed på typisk 4 m, dog op til 8 m på den stejleste del af havbunden. Kombinationen af de relativt tykke senglaciale lag og slap moræne vil have betydning for funderingsniveauet (for broløsninger).

Umiddelbart øst for Storebæltsrenden, er fundet et opskydende lag af udeformeret prækvartært materiale i en dybde af 8-10 m under havbunden (evt. tættere). Det er formodentligt tale om Kerteminde-mergel, som er styrke- og stivhedsmæssigt kompetent og dermed ikke er problematisk ift. fundering. Den stejle afgrænsning mod vest skyldes formentlig en forkastning. Det er dog sandsynligt, at et lag af Kerteminde-mergel også kan findes mellem de to højtliggende forekomster, men i en dybde af mindst 50-60 m under havbund, se også 6.1.2.1.

6.1.2.2.2 KKØ-2.1



Figur 6-5 Geologisk længdesnit for korridor KKØ-2.1 (linjeføring vist i højre hjørne) (Bilag 6-2 i Bilagsmappen)

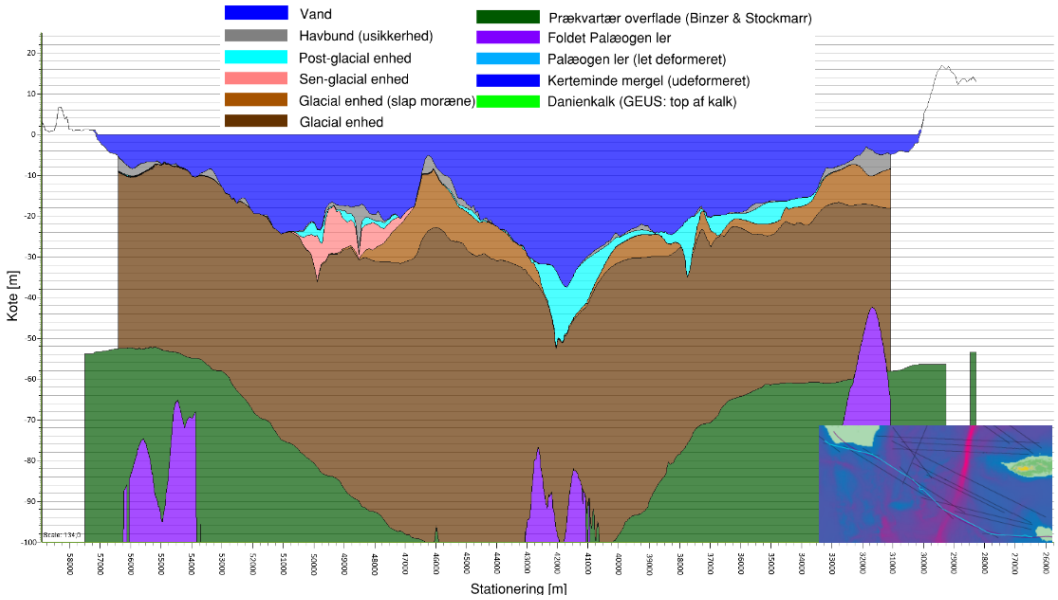
Længdeprofilet for KKØ-2.1, som repræsenterer de centrale KKØ-korridorer med iland-føringspunkter på Røsnæs og på det sydøstlige Samsø, er vist på Figur 6-5. Vanddyb-den er typisk 20 m på mod vest og relativt lavvandet øst for Storebæltsrenden. I selve renden er dybden op til 58 m.

De øverste 4-8 m (lokalt 10 m) består af post- eller senglaciale sedimenter. Den stør-ste mægtighed er fundet på østsiden af Storebæltsrenden. Under disse aflejringer fin-des den glaciale enhed, som i størstedelen af linjen forventes at være kompetent. Tæt ved Røsnæs er der dog fundet slap moræne med en mægtighed på typisk 2 m. Mellem Storebæltsrenden og Samsø er fundet en opskydende bakke af slap moræne, hvor de post- og senglaciale efterfølgende er aflejret omkring. Toppen af de mere kompetente glaciale lag findes typisk i 6 -8 m dybde under havbund.

I denne korridor er der to opskydende formationer, der er beskrevet som foldet Palæo-gent ler (lilla). Begge forekomster er fundet inden for 20 m under havbunden og har en udstrækning på 3-4 km. Den vestlige forekomst er med ret stor sikkerhed Palæo-gent ler, mens der er usikkerhed om den østlige forekomst, som evt. er lav-plastisk (interglacial) ler.

Det ses, at disse er stort set sammenfaldende med overfladen af den "prækvartære overflade", hvorfor de ikke tidligere har været beskrevet som foldet plastisk ler. Dette er først fundet ved de nye seismiske undersøgelser. Grundet den generelle usikkerhed på de dybere lag, kan det forventes at disse formationer også er at finde imellem de to områder, dog i en dybde af mindst 50 m under havbund, hvorved konsekvensen for funderingsløsningerne er begrænset.

6.1.2.2.3 KKØ-3.1



Figur 6-6 Geologisk længdesnit for korridor KKØ-3.1 (linjeføring vist i højre hjørne) (Bilag 6-3 i Bilagsmappen)

Længdeprofilet for KKØ-3.1 repræsenterer de sydlige KKØ-korridorer med ilandførings-punkter på Asnæs og sydspidsen af Samsø og er vist på Figur 6-6. Vanddybden er varierende. I Storebæltsrenden er den maksimale dybde 35 m, mens den generelle vanddybde er 20 m. Umiddelbart vest for Storebæltsrenden findes revet kaldet Falske Bolsaks, som lokalt reducerer vanddybden til 7 m.

Det ses, at der ved kysterne kan forventes glaciale/senglaciale funderingsegnede aflejringer nær havbund. Post- og senglaciale aflejringer på mellem 5-10 m. På østsiden af og i Storebæltsrenden er dette lag i beskrevet som post-glacialt, hvilket kan betyde, at der skal foretages udskiftning af materiale for at muliggøre direkte fundering. I den vestlige del består sedimenterne primært senglaciale aflejringer der i kombination med slap moræne udgør de øverste 10 m jord. Falske Bolsaks er således en morænebakke – beskrevet som slap moræne – som dog er egnet til etablering af en kunstige ø uden markant behov for bortgravning af blødt materiale.

Der er fundet enkelte foldninger af Palæogent ler, hvoraf det er kun forekomsten ved Asnæs som over en strækning på 200-300 m ligger højt nok til at kunne påvirke funderingsløsningen.

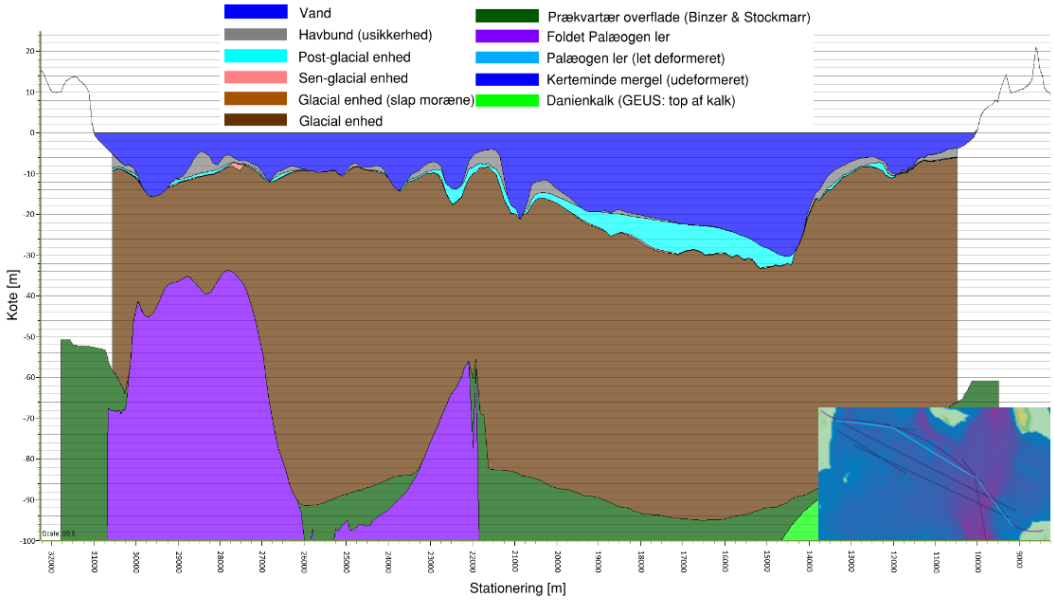
6.1.2.3 Geologiske forhold for KKV-korridorer

Den geologiske model for KKV-området er etableret ud fra såvel korridorspecifikke sejllinjer i kombination med fladeseismik. Dette har sikret en generel god opløsning i de øvre 10-20 m – og dermed et retvisende billede af funderingsforholdene for de fleste korridorforslag.

Området mellem Jylland og Samsø er relativt lavvandet med vanddybder under 10 m, bortset fra en op til 30 m dyb rende som løber ca. 3-4 km og parallelt med vestkysten af Samsø. Havbunden anses for relativt veldefineret ud fra bathymetriske kort, hvorfor den dybe rende og revene, som ses på snittene, vurderes at være korrekt kortlagt.

Generelt kan siges følgende om lagfølgen: Post- og senglaciale aflejringer findes begrænset tykkelse (og kun lokalt i mægtigheder på op til 5 m) over store dele af området. Ind mod kysterne ses glaciale aflejringer umiddelbart under havbunden. Foldet Palæogent ler optræder fra 20 m under havbund ind mod den jyske kyst. Grundet den foldede/flagede struktur, som er en konsekvens af flere fremstød og tilbagetrækninger af gletsjerranden, kan der forventes markante variationer i funderingsforholdene over korte afstande. For broløsningerne kan det betyde, at sætninger bliver dimensionsgivende og kræver tilpassede funderingsløsninger. Ved direkte fundering af bropiller skal forventes større fundamenter, end for piller funderet på moræne- eller smeltevandsaflejringer. Tunnelfundering vil grundet højplastiske lers svellepotentiale være styret af differenshævning/sætninger over korte afstande. Størrelsesordenen af disse kan p.t. ikke vurderes.

6.1.2.3.1 KKV-1.1



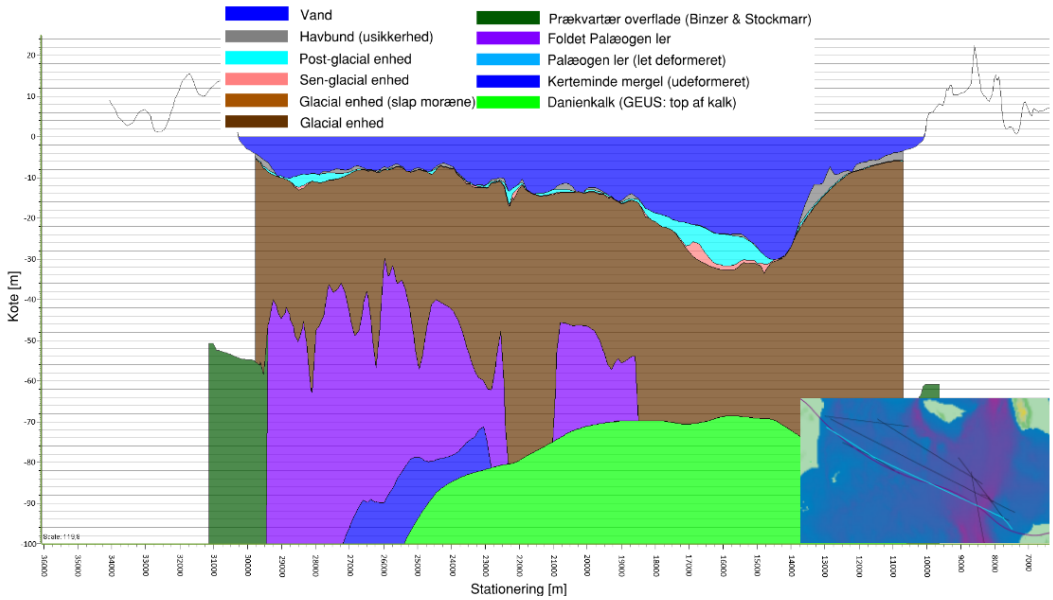
Figur 6-7 Geologisk længdesnit for korridor KKV-1.1 (linjeføring vist i højre hjørne) (Bilag 6-4 i Bilagsmappen)

Længdeprofilet for KKV-1.1 repræsenterer de nordligste KKV-korridorer med ilandføringspunkter ved Hou og centralt på Samsø og er vist på Figur 6-7.

Det ses, at vestsiden af den dybe rende i denne korridor er relativt flad, hvilket gør at marine aflejringer er fundet her, mens der på den stejlere østside, primært er identificeret glaciale aflejringer. Midt mellem Samsø og Jylland ses 3 markante knolde. Formen, og det at de består af de glaciale aflejringer, antyder at der er tale om foldede formationer opstået som resultat af flere gletsjerfremstød og – tilbagetrækninger. Der er således tale om morænebakker eller foldninger af forventeligt kompetent materiale.

Der er fundet foldet Palæogent ler i 20 m dybde under havbund fra den jyske kyst og ca. 4 km ud som kan påvirke funderingsløsningen.

6.1.2.3.2 KKV-2.2

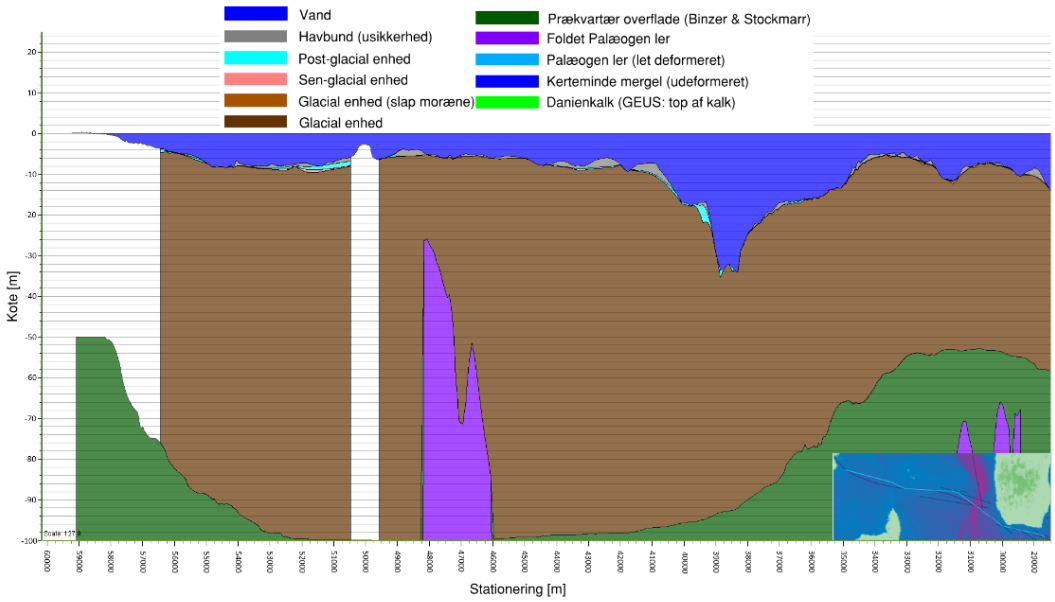


Figur 6-8 Geologisk længdesnit for korridor KKV-2.2 (linjeføring vist i højre hjørne) (Bilag 6-5 i Bilagsmappen)

Længdeprofilet for KKV-2.2 repræsenterer de nordlige KKV-korridorer, som går stort set i en lige linje mellem ilandføringspunkter ved Hou og centralt på Samsø og er vist på Figur 6-8.

Profilet har stort set samme form som KKV-1.1, bortset fra at de tre moræneknolde ikke ses her. Derimod ses den foldede Palæogene ler at være tættere på havbunden (evt. grundet at modellen her stort set er identisk med en sejllinje) i op til halvdelen af linjeføringen. Det er dog vigtigt at notere, at de glaciale (og forventeligt kompetente) aflejringer stort set når havbunden. Direkte fundering kan - og bør - ske stort set uden udgravning for at sikre størst mulig afstand til sætningsgivende lag af Palæogent ler.

6.1.2.3.3 KKV-3.2



Figur 6-9 Geologisk længdesnit for korridor KKV-3.2 (linjeføring vist i højre hjørne) (Bilag 6-6 i Bilagsmappen)

Længdeprofilet for KKV-3.2 repræsenterer de sydligste KKV-korridorer, som har iland-føringspunkt ved Gylling og starter på eller ved Samsøs sydspids og er vist på Figur 6-9. Det er den mest lavvandede korridor, hvor størstedelen af strækningen har vand-dybder under 5-7 m. Den nord-sydgående rende er 30 m dyb og relativ smal og med stejle sider. I dette område når de glaciale lag stort set havbunden. Der er kun fundet tynde sedimentlag af post- eller senglaciale aflejringer (af begrænset mægtighed) på den resterende del af strækningen. Der er lokaliseret en enkelt højtliggende foldning af Palæogent ler, som dog har begrænset udstrækning – og dermed af begrænset betyd-ning for funderingen.

6.2 Anlægstekniske konsekvenser

De geotekniske forhold påvirker de forskellige anlægskonstruktioner på forskellig vis.

Nedenfor er givet en kort, generel vurdering af funderingsprincipper og anlægstekniske udfordringer.

6.2.1 Brofundering

Generelt vurderes (sen)glaciale aflejringer at udgøre oversiden af bæredygtige lag, som er egnede til direkte fundering af bropillerne. Disse jordbundsforhold kan forventes på hovedparten af strækningerne i de enkelte korridorer.

Der er fundet foldninger/flager af højplastisk ler i de glaciale lag. Disse øger risikoen for sætninger af fundamenterne, som evt. må imødegås ved pæleforstærkning eller egentlig pælefundering. Disse er primært fundet ind mod den jyske kyst, samt i KKØ-2 linjerne.

Geologien på ilandføringspunkterne, som for broerne antages at være tæt på kystlinjen er generelt gunstig for direkte fundering, da der oftest er tale om moræneaflejringer, som har gode styrke- og stivhedsegenskaber, og som anlægsteknisk normalt ikke er problematiske ift. udgravning og håndtering af grundvand. Dog skal det bemærkes, at der for de stejleste skrænter kan forekomme højtliggende (sekundære) vandspejl, som skal håndteres/afskæres for at kunne kontrollere vandmængderne og sikre stabiliteten af dybere udgravninger.

Geoteknikkens bidrag til projektrisikoen vurderes derfor for broer til at være **Forventeligt**. Mellem Samsø og Jylland (KKV) er der ingen nævneværdig forskel mellem de forskellige korridorer, idet der for alle ilandføringspunkter på Jyllandssiden kan forventes sammenlignelige forekomster af foldet Palæogent ler, der lokalt kan kræve større fundamenter og/eller pælefundering. Det vurderes dog stadig til at falde inden for den overordnede risikovurdering for hele forbindelsen **Forventeligt**.

Broerne i KKØ-2 korridorerne vurderes dog til at ligge i den høje ende af **Forventeligt** grundet mulig forekomst af foldet Palæogent ler umiddelbart øst for Storebæltsrenden, hvor pylonfundament og ankerblok for en hængebro skal placeres. Det gør at det vurderes at ligge i den høje ende af det generelle geotekniske projektrisikoniveau sammenlignet med øvrige KKØ-korridorer.

6.2.2 Sænketunneller

Generelt vurderes (sen)glaciale aflejringer at udgøre oversiden af bæredygtige lag, som er egnede til fundering af sænketunneller. Disse jordbundsforhold kan forventes på hovedparten af strækningerne i de enkelte korridorer. Tunnelrenden skal for væsentlige dele af strækningerne graves ned i de glaciale aflejringer, der for en stor del udgøres af kompetente moræner, men der kan på kortere stræk også mødes prækvartære aflejringer tæt ved havbund, som kan udgøres af kompetente (hårde) formationer af kalk eller mergel, som udgravningsmæssigt kan være udfordrende.

Yderligere kan der være enkelte foldninger/flager af højplastisk ler i de glaciale lag. Disse kan, grundet deres store svellepotentiale og en forventet stor lokal variation i forekomsten, føre til betydelige differensbevægelser over korte afstande.

Geologien på ilandføringspunkterne, som for sænketunneller strækker sig fra nogle hundrede meter ud for kystlinjen og 0,5 til 1 km ind i landet, er generelt gunstig, da der oftest er tale om moræneaflejringer. Der kan dog også her kan være forekomster af plastisk ler, som skal håndteres i designet. For områder med stejle kystskrænter kan forekomme højtliggende (sekundære) vandspejl, som kan påvirke udstrækningen af opdriftssikring under forudsætning af, at man af miljømæssige og driftsmæssige hensyn ikke tillader permanent grundvandssænkning. Ligeledes kan der være behov for at håndtere/afskære disse magasiner ifm. selve anlægsarbejdet.

Geoteknikkens bidrag til projektrisikoen vurderes derfor for sænketunneler til at være **Forventeligt**.

6.2.3 Borede tunneller

Generelt skal der tunneleres i glaciale aflejringer eller mergel/kalk – i forhold som er sammenlignelige med Storebælt.

Større sten udgør en forhindring/forsinkelse for tunnelarbejdet. Denne risiko kan kvantificeres, idet mængden og størrelsen af sten kan vurderes med modellen udviklet for Storebæltsforbindelsen, [22].

For de borede tunnelløsninger ligger ilandføringspunkterne med startskakte omtrent 0,5 km inde i landet og hvorfra en cut-and-cover tunnel via en rampe bringer vej og jernbane op i terræn. Generelt vurderes geologien at være gunstig for udgravningen, dog skal man være opmærksom på at der kan forekomme højtliggende (sekundære) vandspejl, som kan påvirke udstrækningen af opdriftssikring. Ligeledes kan der være behov for at håndtere/afskære disse magasiner ifm. selve anlægsarbejdet – af stabilitets- og vandhåndteringshensyn.

Geoteknikkens bidrag til projektrisikoen vurderes derfor for borede tunneler til at være **Forventeligt**.

6.2.4 Kunstige øer og undersøiske rev

Der er lagt op til at etablere kunstige øer som overgang mellem bro og tunnel. Bundforholdene for de kunstige øer i de beskrevne korridorer anses – baseret på den nuværende viden – for relativt gunstige, idet der tilsyneladende er begrænsede forekomster af bløde sedimenter.

Generelt anbefales det at fjerne blødbund direkte under vej/jernbane, såfremt disse findes i betydelige mægtigheder. Dette kan enten ske ved direkte bortgravning eller ved at bortsqueeze eller komprimere materialet tilstrækkeligt i udførelsesfasen, Alternativt kan det vælges at jordforstærke. Bortgravning og jordforstærkning er omkostningstunge metoder, som bør undgås.

Udenfor vej/jernbane-linjen kan det vælges at efterlade blødbund og udlægge et offerlag (tykkere filterlag), som kan synke ned i blødbunden. Dette vil kræve, at stenkastningen udlægges i faser og moniteres for at kunne indbygge passende overhøjde, som kan kompensere for sætninger, der opstår i byggeperioden og tage højde for restsætninger i levetiden.

Samme princip kan med fordel anvendes for eventuelle undersøiske rev – selv for områder med større blødbundsforekomster. Dog skal der i så fald tages passende hensyn til muligt stabilitetssvigt ved for hurtig opbygning af revene.

7 Undersøgte korridorer og tekniske løsninger – Sjælland-Samsø (KKØ)

7.1 Generelt

Korridorbeskrivelserne indeholder beskrivelser af de undersøgte korridorer. De undersøgte korridorer er oftest stærkt forbundne med konstruktionstypen (bro, sænketunnel, boret tunnel og kombinationer heraf) samt forbindelserne på land. Derfor indeholder korridorbeskrivelserne forhold, som er specifikke for hver af de undersøgte konstruktionstyper.

Der er undersøgt fire overordnede korridorer for kyst-kyst øst for Samsø (KKØ).

Tabel 7-1 De fire undersøgte overordnede KKØ-korridorer

Overordnet korridor	Overordnet ilandføring Sjælland	Overordnet ilandføring Samsø
KKØ-1	Røsnæs	Samsø Østkyst (Besser)
KKØ-2	Røsnæs	Samsø Sydøstkyst (Hjalmarsgård og Samsø Syd)
KKØ-3	Asnæs	Samsø Sydkyst (Vesborg Fyr og Samsø Syd)
KKØ-4	Asnæs	Samsø Sydøstkyst (Hjalmarsgård)

Disse fire overordnede korridorer kan forbindes med flere ilandføringspunkter på land. De forskellige varianter af hver overordnet korridor er nummereret fortløbende i niveau 2, f.eks. KKØ-2.1, og benævnes korridorer. For KKØ-2 og KKØ-3 er korridorer syd om Samsø uden ilandføring på Samsø også undersøgt. Her haves et punkt på åbent hav syd for Samsø, hvor KKØ-korridorer mødes med KKV-korridorer. Herved opnås i alt 14 korridorer for KKØ.

Korridorerne er vist i Figur 7-1 sammen med geografiske ilandføringspunkter og konstruktionstyper.

Der er undersøgt 14 korridorer for kyst-kyst øst for Samsø (KKØ).

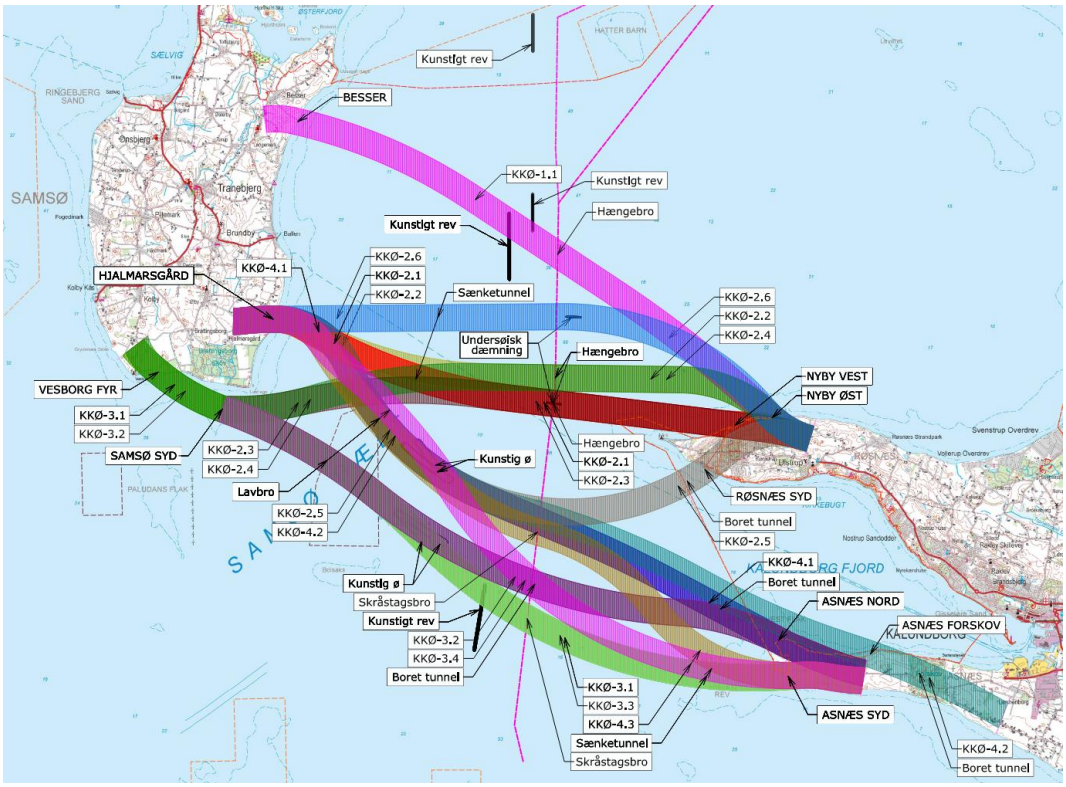
- Én nordlig korridor KKØ-1.1 med udgangspunkt på den nordlige del af Røsnæs og landgangspunkt ved Besser på Samsø. Denne korridorer giver som den eneste mulighed for at passere Samsø nord om Tranebjerg;
- Fire centrale korridorer KKØ-2.1, KKØ-2.2, KKØ-2.5 og KKØ-2.6 med udgangspunkt på Røsnæs og landgangspunkt ved Hjalmarsgård på Samsø. Disse korridorer er kortest til havs mellem Sjælland og Samsø;
- Tre centrale/sydlige korridorer KKØ-4.1, KKØ-4.2 og KKØ-4.3 med udgangspunkt på Asnæs og landgangspunkt ved Hjalmarsgård på Samsø. Disse korridorer sikrer kortest afstand mellem Asnæs og Samsø;
- To sydlige korridor KKØ-3.1 og KKØ-3.2 med udgangspunkt på Asnæs og landgangspunkt ved Vesborg Fyr på Samsø. Disse korridorer giver mulighed for at Samsø berøres mindst muligt;

- Fire korridorer KKØ-2.3, KKØ-2.4, KKØ-3.3 og KKØ-3.4 med muligheden for at gå helt syd om Samsø, uden tilslutning til Samsø.

Længden af disse korridorer varierer mellem 18,2 km og 27,3 km.

Fælles for de 14 korridorer er, at vanddybden typisk er op til 20 m undtaget ved Rute T, hvor vanddybden varierer mellem 37 m og 57 m afhængig af korridor.

Længdeprofiler med angivelse af udvalgte konstruktionstyper er optegnet for ni udvalgte løsninger. Konstruktionstyper omfatter bro eller tunnel på hele strækningen eller kombineret bro og tunnel inklusiv kunstig ø ved overgang fra bro til tunnel. For tunnelløsningerne er omfang af cut & cover tunnel og trug desuden undersøgt.



Figur 7-1 *Undersøgte KKØ-korridorer, geografiske ilandføringspunkter og konstruktionstyper (Bilag 7-1 i bilagsmappen)*

Der anvendes 3 konstruktionstyper; bro, sænketunnel og boret tunnel. Disse kan anvendes enten som rene kyst-kyst løsninger (3 stk. løsninger per korridor) eller i kombinationen lavbro på den vestlige del via en kunstig ø til tunnel under sejlrenden (2 stk. løsninger per korridor). For hver korridor er der derfor 5 løsninger (3+2) i 14 korridorer, der samlet teoretisk set giver 70 løsninger. Flere af disse løsninger vil ikke være relevante af økonomiske, plan- og miljømæssige grunde. For hver korridor er der valgt den konstruktionstype, som umiddelbart er vurderet at være den mest realiserbare. Dog er der for fire korridorer undersøgt både ren bro og tunnel eller kombination bro/tunnel. I alt er i KKØ 18 løsninger undersøgt og beskrevet i detaljer.

De undersøgte korridorer og konstruktionstyper fremgår af nedenstående Tabel 7-2. Konstruktionstyperne er angivet med kryds i kolonnerne til højre.

Tabel 7-2 Oversigt over undersøgte KKØ-korridorer

Iland-føringspunkt Sjælland	Iland-føringspunkt Samsø	Korridornavn	Hængebro	Skråstagsbro	Højbro	Lavbro 100 m fag	Lavbro 60 m fag	Kunstig ø	Sænketunnel	Boret tunnel	Afsnit
Røsnæs	Besser	KKØ-1.1 Nyby Øst - Besser	x		x						7.2
Røsnæs	Hjalmars-gård	KKØ-2.1 Nyby Vest - Hjalmarsgård	x		x						7.3
		KKØ-2.1 Nyby Vest - Hjalmarsgård							x		
		KKØ-2.2 Nyby Øst - Hjalmarsgård	x		x						
		KKØ-2.5 Røsnæs Syd - Hjalmarsgård				x		x		x	
		KKØ-2.6 Nyby Øst - Hjalmarsgård							*x*		
Røsnæs	Samsø Syd	KKØ-2.3 Nyby Vest - Samsø Syd	x		x						7.4
		KKØ-2.4 Nyby Øst - Samsø Syd	x		x						
Asnæs	Vesborg Fyr	KKØ-3.1 Asnæs Syd - Vesborg Fyr		x	x						7.5
		KKØ-3.1 Asnæs Syd - Vesborg Fyr				x		x	x		
		KKØ-3.2 Asnæs Nord - Vesborg Fyr				x		x		x	
Asnæs	Samsø Syd	KKØ-3.3 Asnæs Syd - Samsø Syd				x		x	x		7.6
		KKØ-3.4 Asnæs Nord - Samsø Syd				x		x		x	
Asnæs	Hjalmars-gård	KKØ-4.1 Asnæs Nord - Hjalmarsgård								x	7.7
		KKØ-4.1 Asnæs Nord - Hjalmarsgård				x		x		x	
		KKØ-4.2 Asnæs Forskov - Hjalmarsgård				*x*		*x*		*x*	
		KKØ-4.3 Asnæs Syd - Hjalmarsgård		x	x						
		KKØ-4.3 Asnæs Syd - Hjalmarsgård				x		x	x		

To af korridorløsningerne ovenfor er vist med *kursiv og grå font,* da de udgør alternativer som er tilføjet undervejs i processen, og derfor ikke er miljøundersøgt. De er af samme grund ikke behandlet i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll).

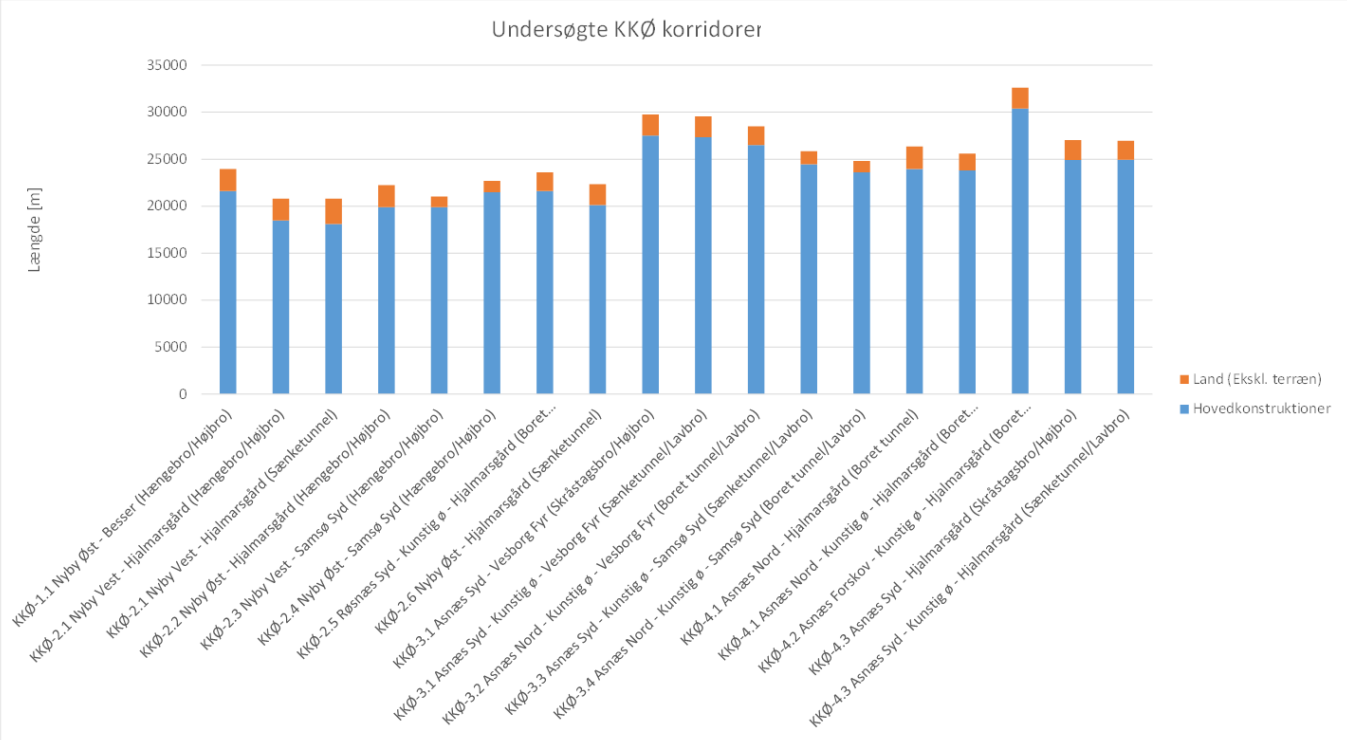
Konstruktionstyperne Hængebro og Skråstagsbro vist i Figur 7-1 omfatter også tilslutningsbroer, som er benævnt højbro. Konstruktionstyperne Sænketunnel/Lavbro og Boret tunnel/Lavbro omfatter kombineret bro og tunnel inklusiv kunstig ø ved overgang fra tunnel til bro.

For nærmere beskrivelser af KKØ-korridorerne henvises til de særskilte afsnit angivet i Tabel 7-2.

For definition af længder, se afsnit 3.3 og Figur 3-1.

7.1.1 Korridorlængder

Længder af de forskellige KKØ-korridorer er sammenlignet i Figur 7-2 og Tabel 7-3.



Figur 7-2 Korridorlængder for KKØ-korridorer

Længde fra kyst til kyst og konstruktionslængder opdelt i konstruktionstyper er angivet i Tabel 7-3. Udstrækningen af de kunstige øer er længere, da der er overlap i begge ender mellem ø og tunnel hhv. bro.

Korridorerne er på kortskitserne i denne Baggrundsrapport vist som 1 km brede bånd inden for hvilket en linjeføring vil kunne placeres. Af hensyn til entydighed er korridorlængder opgjort i centerlinjen af disse korridorbånd. Hvis en linjeføring lægges yderligt inden for båndet, vil det kunne medføre en ændring af den samlede længde af konstruktionerne.

Tabel 7-3 KKØ-korridorer, længder kyst-kyst og af konstruktioner [m]

Korridor	Konstruktionstype	Kyst-kyst [1]	Hovedkonstruktioner				Sekundære konstruktioner					Tunnel	I alt
			Bro [2]	Sænke-/boret tunnel [3]	Kunstig ø [4]	I alt	Cut& cover [5]	Trug [5]	Dæmning [5]	Udflet-nings anlæg	I alt	Inkl. cut & cover i alt	Konstruk-tioner [6]
KKØ-1.1	Hængebro/Højbro	21400	21600	0	0	21600	0	0	1150	1200	2350	0	23950
KKØ-2.1	Hængebro/Højbro	18150	18490	0	0	18490	0	0	1100	1200	2300	0	20790
KKØ-2.1	Sænketunnel	18150	0	18100	0	18100	1800	900	0	0	2700	19900	20800
KKØ-2.2	Hængebro/Højbro	19700	19890	0	0	19890	0	0	1150	1200	2350	0	22240
KKØ-2.3	Hængebro/Højbro	19600	19890	0	0	19890	0	0	550	600	1150	0	21040
KKØ-2.4	Hængebro/Højbro	21400	21490	0	0	21490	0	0	600	600	1200	0	22690
KKØ-2.5	Boret tunnel/Lavbro	19650	7300	12800	1500	21600	1400	833	1267	0	3500	14200	23600
KKØ-2.6	Sænketunnel	20150	0	20100	0	20100	1800	450	0	0	2250	21900	22350
KKØ-3.1	Skråstagsbro/Højbro	27250	27500	0	0	27500	0	0	1050	1200	2250	0	29750
KKØ-3.1	Sænketunnel/Lavbro	27250	10700	15600	1050	27350	1167	633	1450	0	3250	16767	29550
KKØ-3.2	Boret tunnel/Lavbro	26000	10600	14400	1500	26500	1400	633	1467	0	3500	15800	28500
KKØ-3.3	Sænketunnel/Lavbro	24450	7800	15600	1050	24450	1167	633	650	0	2450	16767	25850
KKØ-3.4	Boret tunnel/Lavbro	23200	7700	14400	1500	23600	1400	633	667	0	2700	15800	24800
KKØ-4.1	Boret tunnel	23350	0	23950	0	23950	1600	800	0	0	2400	25550	26350
KKØ-4.1	Boret tunnel/Lavbro	23350	7300	15000	1500	23800	1400	633	1267	0	3300	16400	25600
KKØ-4.2	Boret tunnel/Lavbro	26750	7300	21600	1500	30400	1600	833	1267	0	3700	23200	32600
KKØ-4.3	Skråstagsbro/Højbro	24550	24900	0	0	24900	0	0	925	1200	2125	0	27025
KKØ-4.3	Sænketunnel/Lavbro	24850	7500	16400	1050	24950	1167	633	1250	0	3050	17567	26950

[1] Afstanden imellem kystlinjerne (ilandføringspunkterne)

[2] Afstanden imellem broendevederlagene

[3] Afstanden imellem overgangen til cut & cover tunnel i hver ende

[4] Summen af længden af cut & cover, trug og dæmning på en kunstig ø

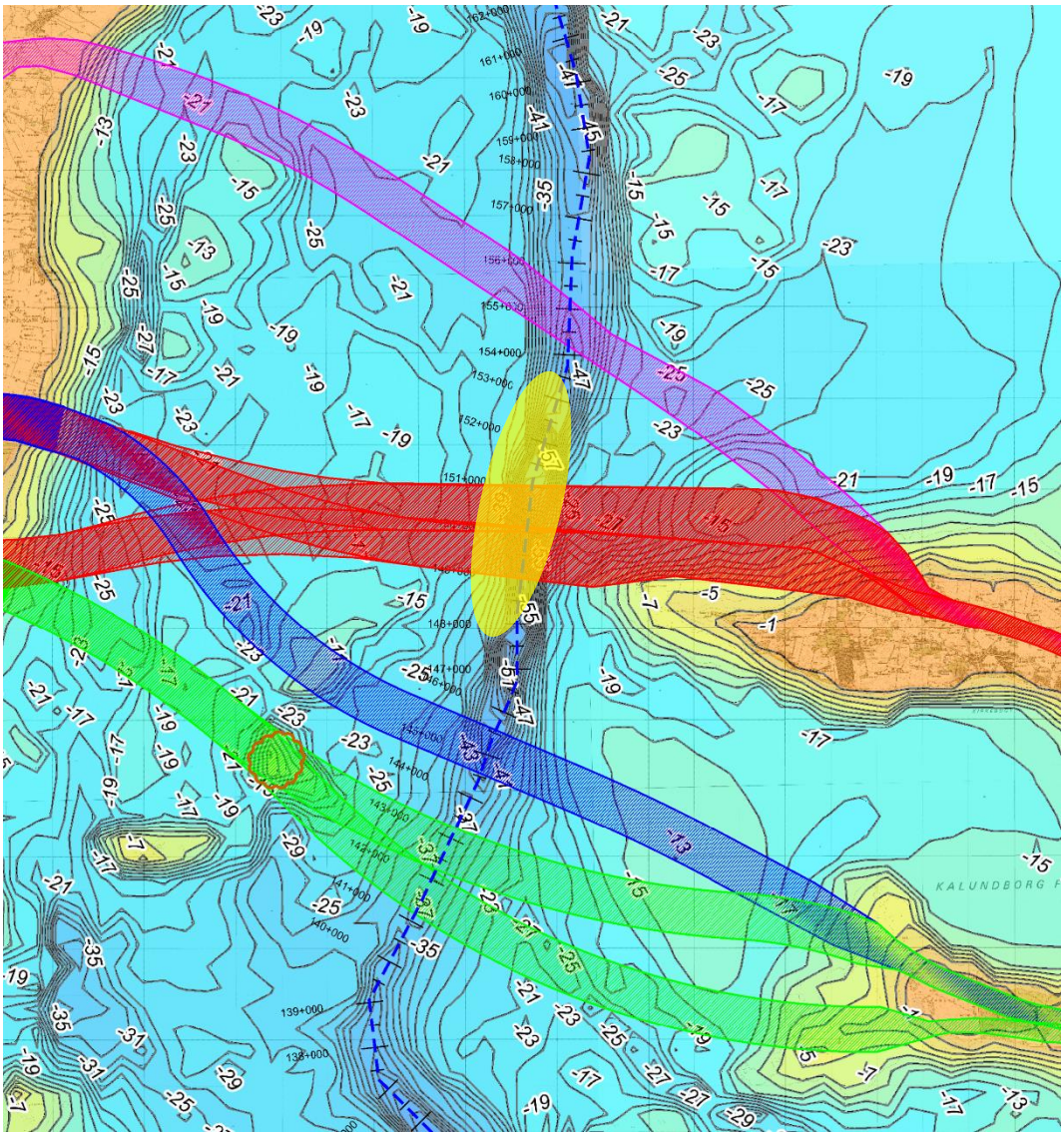
[5] Her er angivet de totale længder inkl. dem der allerede indgår i kolonnen for kunstig ø

[6] Den totale længde imellem punkterne hvor konstruktionerne (dæmning fra et brovederlag eller trug fra en tunnel) møder naturligt terræn (kan ikke opgøres som en summation af de foranstående kolonner, da kolonnerne beskrevet i note [4] og [5] overlapper hinanden).

7.1.2 Vanddybdens indflydelse på tunnelløsninger

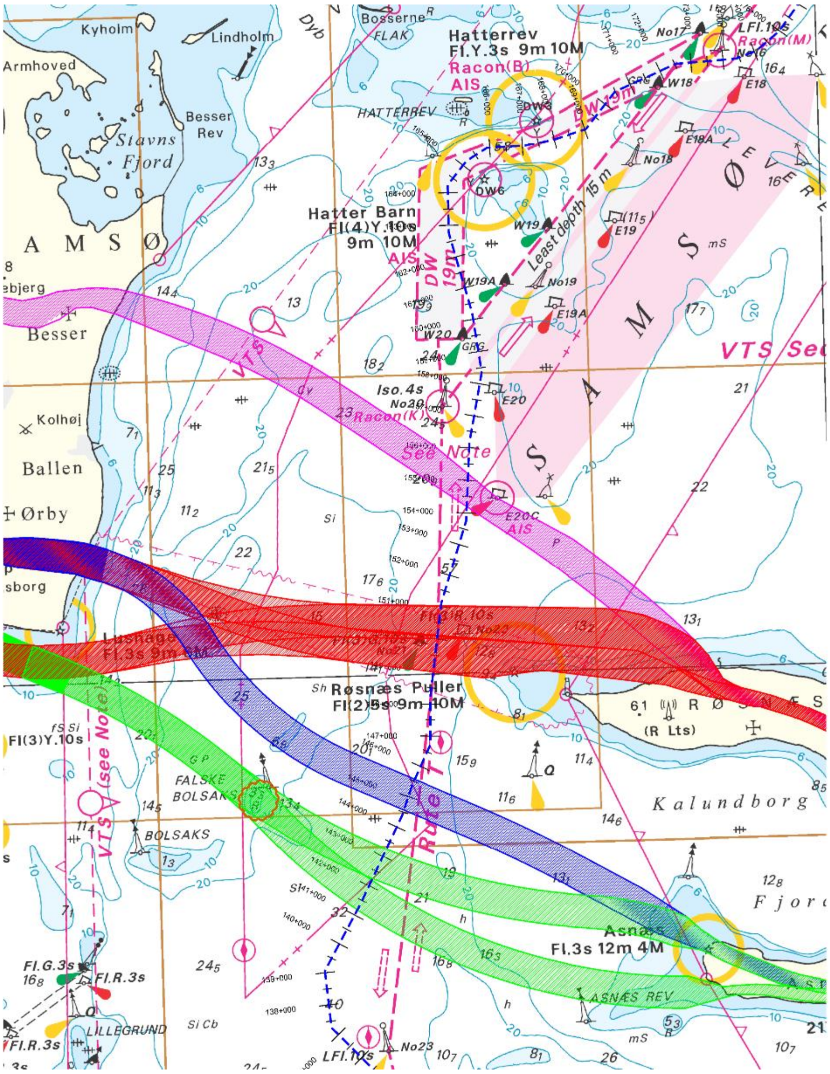
Løsningerne og korridorerne i KKØ er generelt præget af den dybe depression i havbunden ved Storebæltsrenden. Dette gælder specielt området umiddelbart vest for Røsnæs. Betydningen heraf beskrives i det følgende. For broer henvises til afsnit 7.3.2.

For at identificere mulighederne for tunnelkorridorer i farvandet mellem Sjælland og Samsø er der indsamlet information om bunden af depressionen i havbunden (batymetri). Denne er vist i plan på Figur 7-3 og i profil på Figur 7-5. Profilet er optegnet fra syd mod nord.



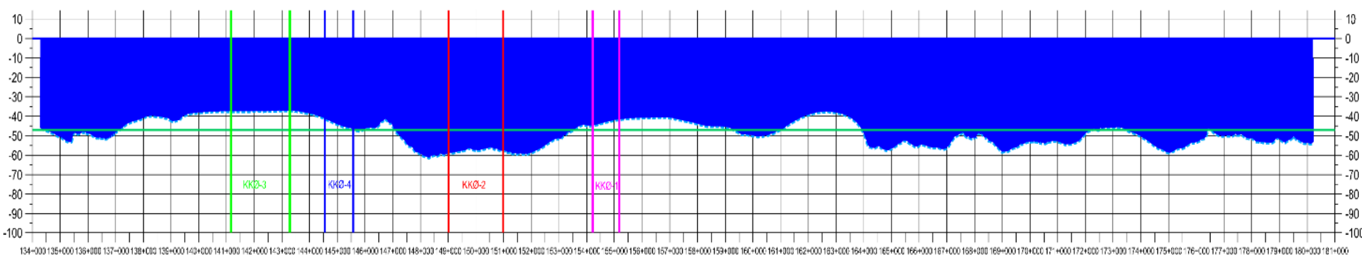
Figur 7-3 Batymetri og profil langs bunden af depressionen i havbunden (syd til nord). Gult område angiver hvor passage i tunnel er specielt komplekst.

I Figur 7-4 er ligeledes vist et udsnit af søkort over området, hvor Rute T er indtegnet. Det bemærkes, at Rute T ikke følger depressionens slavisk i de dele, hvor der er væsentligt over 20 m vanddybde. I stedet er det prioriteret at ruten har få knækpunkter.



Figur 7-4 *Søkort med optegnet profil langs bunden af depressionen i havbunden (syd til nord). Som det ses, følger Rute T ikke præcis dybdelinjen i depressionen.*

Profilet i Figur 7-5 viser, at der er en relativ stor variation i dybden, men at der ikke inden for projektområdet er dybdepunkter med mindre end 38 m vanddybde. Dybden varierer mellem cirka 38 m og 62 m.



Figur 7-5 *Profil langs dybdepunkt i depression (syd til nord). Den grønne vandrette linje angiver niveau -47 m som er niveauet for fundering af Busan-Geoje tunnelen.*

Arbejdet med sænketunnel på Kattegat kompliceres med dybden, der skal arbejdes under. Busan-Geoje projektet i Korea havde et dybeste funderingsniveau i -47 m. Tunnelkonstruktionen og tilbagefyld vil være op til 10 m over funderingsniveau og forsøges typisk lagt under havbunden, så der ikke skabes en unødig blokering for vandudskiftningen.

Femerns maksimale funderingsniveau bliver omkring -42 m. For at forblive indenfor vanddybder, hvor man har erfaring med sænkning af store sænketunnelelementer, er dybden for en sænketunnel på KKØ-2.1 valgt til ikke at være større end -47m, som for Busan. Dette tænkes opnået ved at placere sænketunnelen på en undersøisk dæmning.

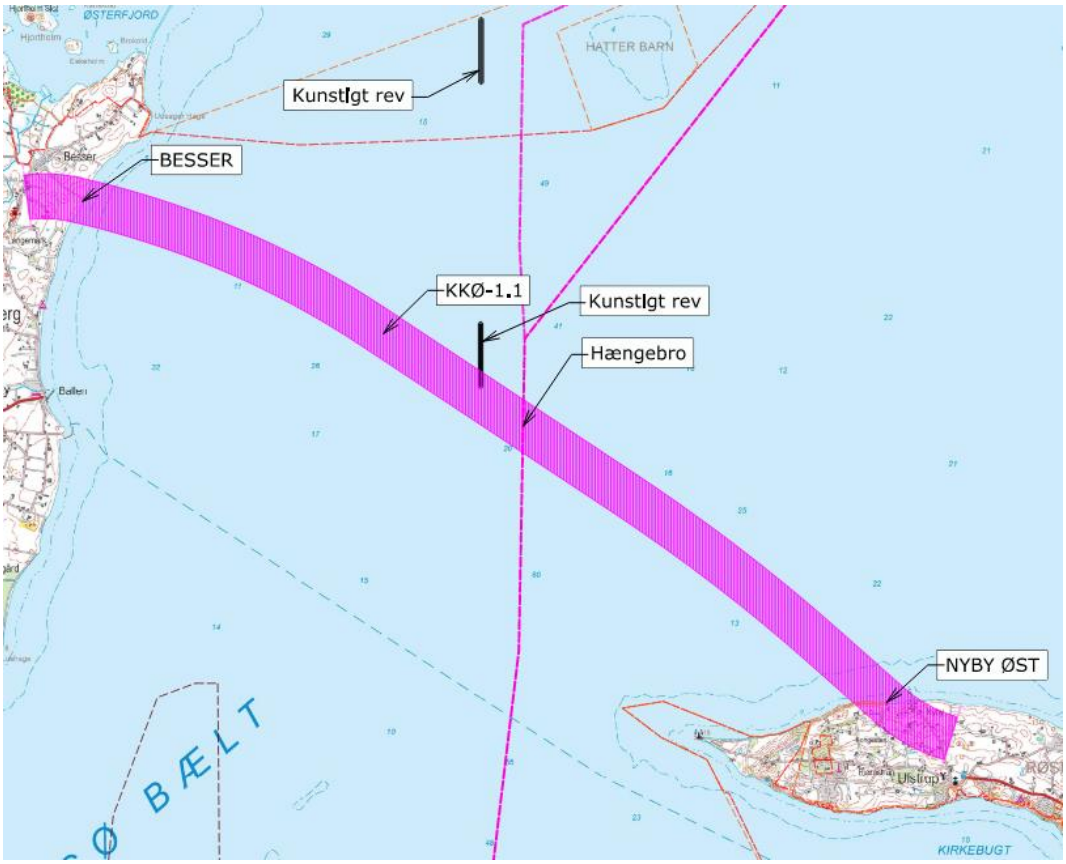
Den borede tunnel under Storebælt blev anlagt med et bundniveau omkring -75 m dybde under en havbund i -50 m. Til sammenligning skal dog bemærkes, at diameteren på Storebæltstunnelen er cirka 8 m. Som anført i afsnit 5.2.4.1 vurderes TBM tunneler med vandtryk på -75 m som velafprøvede, mens overskridelse af denne grænse kun er foretaget enkelte gange. Med Kattegat TBM-maskinernes diameter samt krav til jorddække over tunnelen vil det for Kattegat kræve ikke gængs udstyr at tunnelere/bore under områder med havbund dybere end -45 m. Dette uddybes i følgende afsnit for hver korridor i forbindelse med fastlæggelse af projektrisiko.

7.2 Røsnæs – Besser

7.2.1 Korridorbeskrivelse

Den nordligst undersøgte korridor mellem Sjælland og Samsø er korridoren KKØ-1.1 fra Røsnæs til Besser.

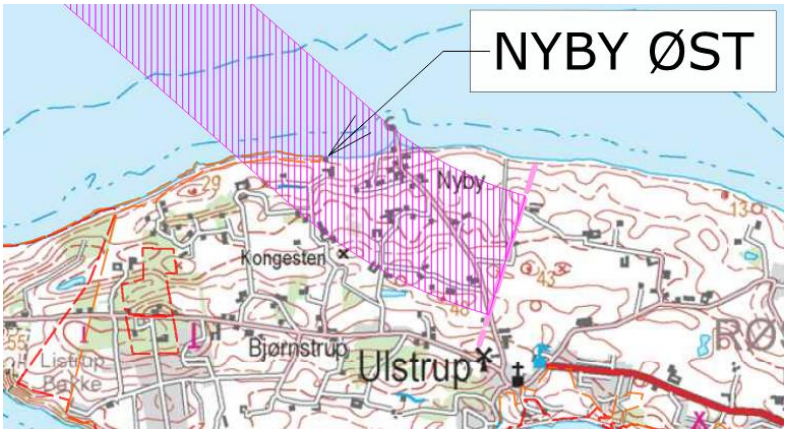
Korridoren starter i ilandføringspunkt Nyby Øst og slutter i ilandføringspunkt Besser. Den samlede længde mellem ilandføringspunkter er 21,4 km. Den undersøgte korridors placering er vist på kortudsnittet i Figur 7-6 nedenfor.



Figur 7-6 Kortudsnit KKØ-1.1 Nyby Øst – Besser (bro)

Denne korridor muliggør som den eneste af de undersøgte korridorer at føre vej- og jernbanetrafikken over den centrale del af Samsø, nord om Tranebjerg. Korridorens nordlige placering betyder at gennemsejlingsfaget for en broløsning er tæt på det nordlige knækpunkt af Rute T – se Figur 7-6, hvor Rute T er indtegnet med lilla stiplet linje.

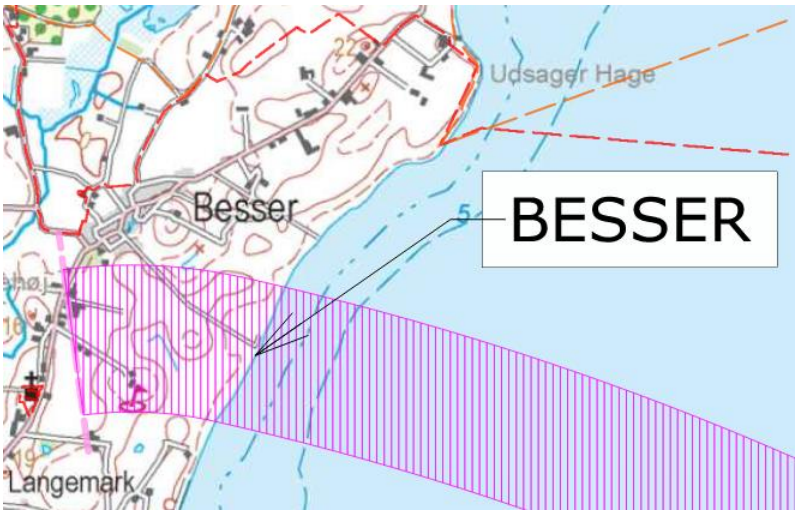
Ilandføringspunkt Nyby Øst er vist på kortudsnittet i Figur 7-7 nedenfor.



Figur 7-7 Kortudsnit ilandføringspunkt Nyby Øst

Orange stiplet linje markerer Natura 2000 område mens røde stiplede linjer markerer særligt betydningsfulde områder. Inden for korridoren vil ilandføringspunktet således kunne placeres udenfor disse områder.

Ilandføringspunkt Besser er vist på kortudsnittet i Figur 7-8 nedenfor.



Figur 7-8 Kortudsnit ilandføringspunkt Besser

Røde stiplede linjer markerer særligt betydningsfulde områder, som ikke må berøres. Ilandføringspunktet er placeret udenfor disse områder, midt mellem byerne Besser og Langemark.

Der er i denne analyse alene undersøgt en broløsning for KKØ-1, men korridoren vil principielt også kunne udføres med en tunnel (enten sænketunnel eller boret tunnel) eller en kombination af en tunnel og lavbro med overgang via en kunstig ø. Disse løsninger er dog ikke undersøgt nærmere fordi totallængden er noget større (+3,1 km) end den korteste krydsning ved KKØ-2. Hvis KKØ-1 imod forventning skulle vise sig at være fordelagtig i sammenligning med løsninger for KKØ-2, f.eks. på grund af geotekniske eller miljømæssige forhold eller pga. linjeføringen på Samsø, bør alternativer indeholdende tunneller på KKØ-1 inddrages i undersøgelserne.

En nordligere placering af KKØ-1-korridoren vurderes ikke mulig af 2 årsager:

- Behov for to hovedbroer af hensyn til skibstrafikken, på grund af afgrening til dybvandsruten nord om Hatter Barn;
- Del af korridoren nær Samsø vil ved en noget nordligere placering skulle gå gennem et Natura 2000-område.

7.2.2 KKØ-1.1 Nyby Øst - Besser (Hængebro)

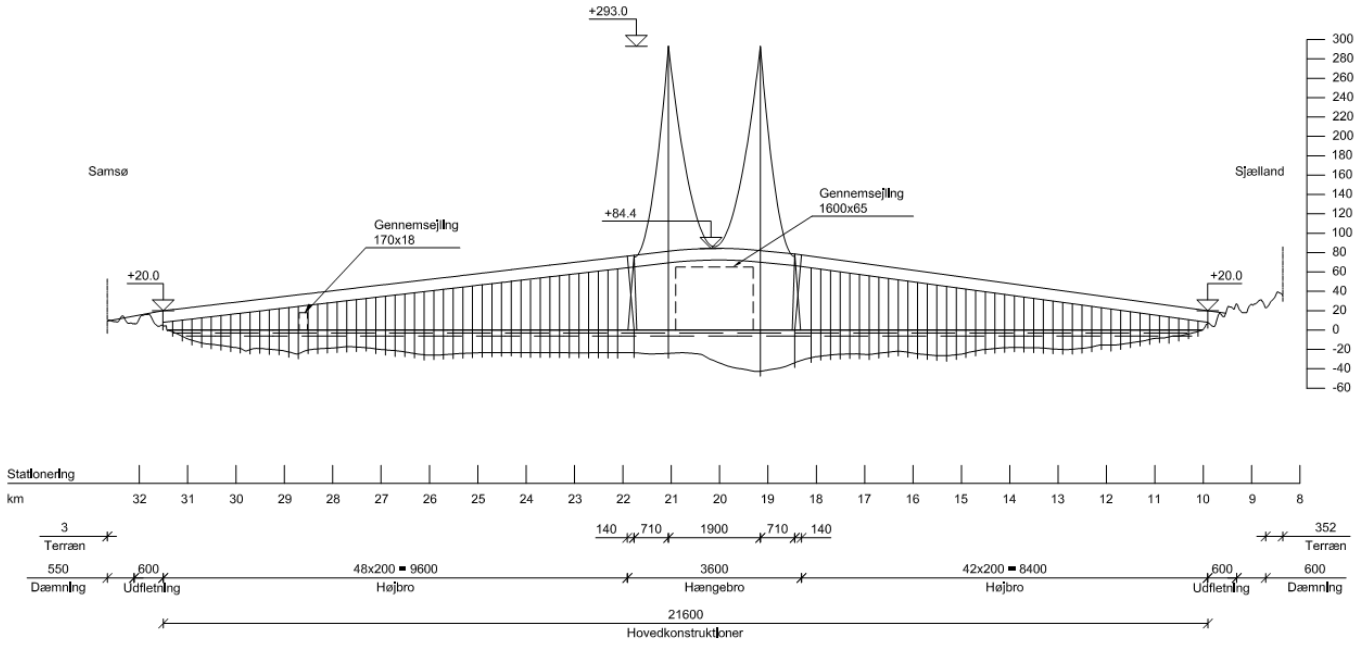
7.2.2.1 Teknisk beskrivelse

Af hensyn til den intensive skibstrafik i Rute T forudsættes det at gennemsejlingsbredden for en bro som minimum skal være svarende til Storebælt Østbro, som har en spændvidde på 1624 m, men fordi korridoren ligger med skrå skæring af sejlruten på 60 grader, bliver nødvendigt hovedfag ca. 1.900 m.

Tilslutningsbroerne er højbro forudsat udført med 200 m faglængde hvilket skønnes at være mest optimalt, når der tages hensyn til bl.a. vanddybder over hele strækningen og risiko for skibsstød.

Der er anvendt hængebro svarende til Femernbælt konceptdesign skaleret op med faktor 1900/1630=1,16.

Broløsningen er optegnet i Figur 7-9. Udfletningsanlæg og dæmninger på land er ikke vist.



Figur 7-9 KKØ-1.1 Længdeprofil bro (Bilag 7-2 i bilagsmappen)

For at beskytte broen imod sydgående skibe som glemmer at dreje ved de to nordlige knæk af Rute T kræves to kunstige rev umiddelbart vest for de to knæk, som vist i Figur 7-6. Længden af hver af disse to rev er estimeret til ca. 1400 m.

For nordgående skibe som glemmer at dreje ved det sydlige knæk af Rute T er afstanden til broen så stor at et kunstigt rev ikke er vurderet nødvendigt.

Denne broløsning er udfordret mht. sejladsforhold og skibskollisionsrisiko, hvor den jf. afsnit 10.3.2 og 10.3.3 på begge parametre er vurderet til at have et højt projektrisikobidrag. Såfremt der i en senere fase vælges at arbejde videre med denne korridor, anbefales det undersøgt at vælge en tunnelløsning i stedet.

7.2.2.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene fra projektering og udførelse. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Broen er en hængebro som i udformning meget ligner Østbroen over Storebælt. Hovedfaget på 1900 m er dog væsentlig større og er sammenlignelig med verdens længste bro i dag, som er Akashi Kaikyō broen i Japan med 1991 m hovedfag. Den er dog kun til vejtrafik. Verdens længste hængebro med jernbane er Tsing Ma broen i Hongkong med 1377 m spændvidde. Kattegatforbindelsen vil dog kun belastes med persontog som vil medføre en last sammenlignelig med vejtrafik.

Den væsentligste forskel til Storebælts Østbro foruden spændvidden er at drageren her er tænkt udformet som en gitterdrager i to etager (som Øresundsbroen). På grund af den store spændvidde kan det ikke udelukkes at brodrageren af hensyn til aerodynamik skal udformes bestående af 3 parallelle kassedragere forbundet med tværbjælker. Samtidig ligger broen orienteret i nordvestlig retning hvilket er mest kritisk mht. vind da de kraftigste storme i Danmark har vindretning fra sydvest og dermed vind vinkelret på broen. Vindskærme lokalt ved pyloner og ankerblokke eller langs hele hængebroen kan blive nødvendige. Den østlige pylon er funderet på over 42 m vanddybde, hvilket er betydelige dybere end ved Storebælts Østbro.

Der er meget begrænset international erfaring med hængebroer med jernbane af denne størrelse. Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbanebro medfører, er der for en jernbanebro forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Projekteringsrisikoen vurderes samlet set som værende i den høje ende af **Forhøjet**.

Udførelse

Broen er en hængebro som meget ligner Østbroen over Storebælt. Den væsentligste forskel imellem de to er en væsentlig større spændvidde og at drageren her er tænkt udformet som en gitterdrager i to etager (som Øresundsbroen). De lokale forhold vurderes som værende sammenlignelige med Storebælt, inklusiv at en del af arbejdet kommer til at foregå nær Rute T. Den østlige pylon er dog funderet på over 42 m vanddybde, hvilket er betydelige dybere end ved Storebælts Østbro, hvilket forøger risikoen. Tilslutningsbroerne bliver længere og funderet på dybere vand, hvilket ikke i sig selv vurderes at gøre den mere risikofyldt at udføre. Toppen af pylonerne, samt

den øverste del af hovedkabler og cat-walk (midlertidig gangbro langs hovedkabler), er næsten 300 m over havets overflade, hvor vindpåvirkninger er betragtelige, hvorfor arbejdet bliver meget følsomt for vejrlig.

Der er meget begrænset international erfaring med udførelse af hængebroer med jernbane af denne størrelse.

Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanebro forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

Projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen vurderes samlet set som værende i den høje ende af **Forhøjet**.

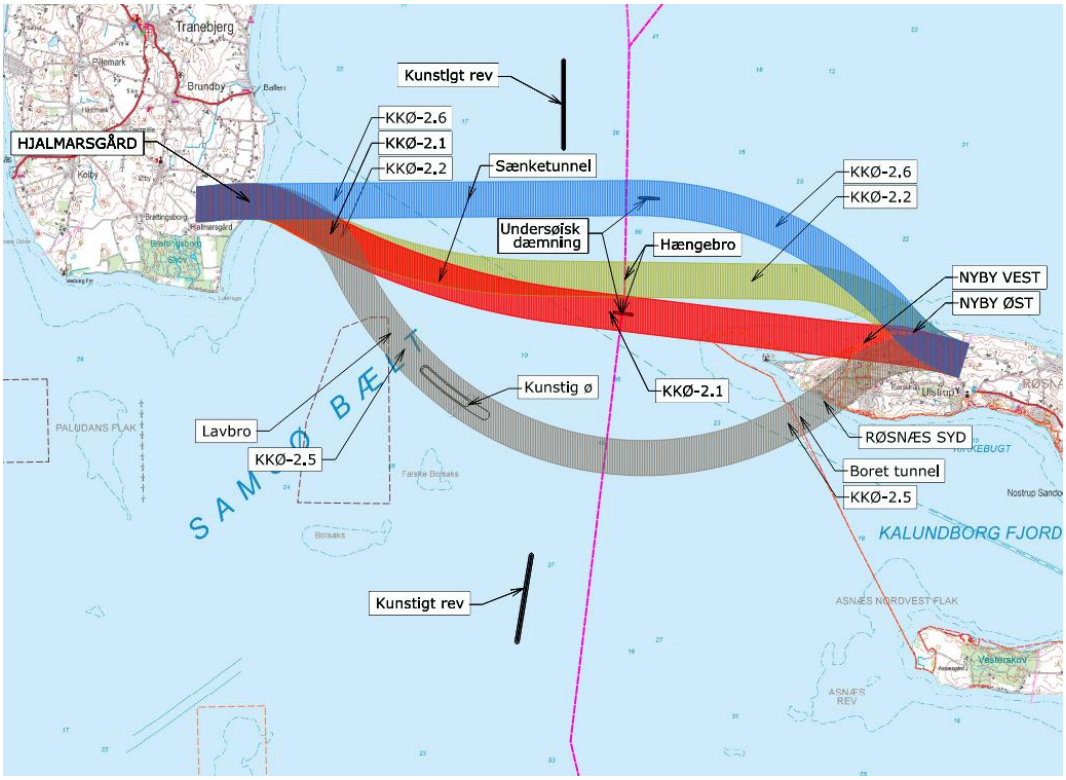
7.3 Røsnæs – Hjalmarsgård

7.3.1 Korridorbeskrivelse

Den korteste kyst til kyst strækning mellem Sjælland og Samsø er korridorerne fra Røsnæs til Hjalmarsgård. Fire korridorer mellem ilandføringspunkterne er undersøgt:

- KKØ-2.1 starter i ilandføringspunkt Nyby Vest og slutter i ilandføringspunkt Hjalmarsgård. Det er den korteste forbindelse fra Røsnæs, men ilandføringspunkt på Røsnæs er i Natura 2000-området som omfatter strandzonen. Den samlede længde mellem ilandføringspunkter er her 18,2 km.
- KKØ-2.2 starter i ilandføringspunkt Nyby Øst, for at undgå påvirkning af Natura 2000-området ved at undgå det helt, og slutter i ilandføringspunkt Hjalmarsgård. Herved bliver den samlede længde mellem ilandføringspunkter 19,7 km.
- KKØ-2.5 starter i ilandføringspunkt Røsnæs Syd og slutter i ilandføringspunkt Hjalmarsgård. Den er udvalgt for at kunne etablere en boret tunnelløsning med en krydsning af Storebæltsrenden, som ligger væk fra de dybeste områder i renden. Andre konstruktionstyper er ikke relevante i denne korridor. Den samlede længde mellem ilandføringspunkter er her 19,7 km.
- KKØ-2.6 starter i ilandføringspunkt Nyby Øst og slutter i ilandføringspunkt Hjalmarsgård ligesom KKØ-2.2; men linjeføringen er ført længere mod nord, så en sænketunnel vil kunne udføres med væsentlig mindre belastning af Røsnæs Rev med sedimentspild. Den samlede længde mellem ilandføringspunkter bliver 20,2 km.

De undersøgte korridorer imellem Røsnæs og Hjalmarsgård er vist på kortudsnittet i Figur 7-10 nedenfor.



Figur 7-10 *KKØ-2.1 Nyby Vest – Hjalmarsgård (hhv. bro og sænketunnel)*
KKØ-2.2 Nyby Øst – Hjalmarsgård (bro)
KKØ-2.5 Røsnæs Syd – kunstig ø – Hjalmarsgård (boret tunnel – kunstig ø - bro)
KKØ-2.6 Nyby Øst – Hjalmarsgård (sænketunnel)

Korridorernes nord/sydlige placering har i denne del af forundersøgelsen været baseret på at finde den korteste afstand til et ilandføringspunkt på land. Undtagelserne er:

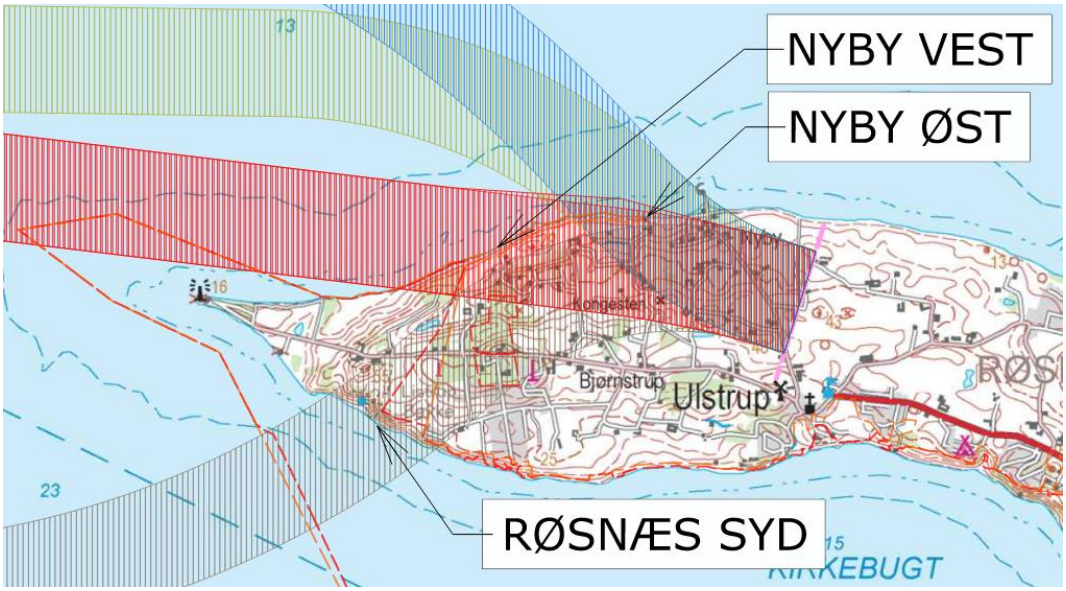
- KKØ-2.5 som er en korridor til en kombineret boret tunnel og lavbro, der skal have et sydligt forløb for at undgå den dybe del af Storebæltsrenden og have kunstig ø hvor der ikke er for dybt vand.
- KKØ-2.6 som er en korridor til en sænketunnel med et nordligere forløb end KKØ-2.1 for at sikre større afstand til Røsnæs Rev af hensyn til sedimentspild under udførelse.

En sydligere eller nordligere placering mellem ilandføringspunkterne ville forøge længden.

For Korridor KKØ-2 vurderes den mest direkte tunnelmetode at være en sænketunnel langs KKØ-2.1 med en dæmning over den dybeste strækning på cirka 400 m da dybeste punkt langs linjeføringen er -58 m.

En boret tunnel vil kunne anlægges i samme korridor som en sænketunnel i KKØ-2.1. Også denne vil dog kræve en undersøisk dæmning for at sikre moderat dybde samtidig med et tilstrækkeligt jorddække. En sådan utraditionel boret tunnel løsning er dog ikke behandlet yderligere.

Ilandføringspunkter på Røsnæs er vist på kortudsnittet i Figur 7-11 nedenfor.



Figur 7-11 Kortudsnit ilandføringspunkter på Røsnæs

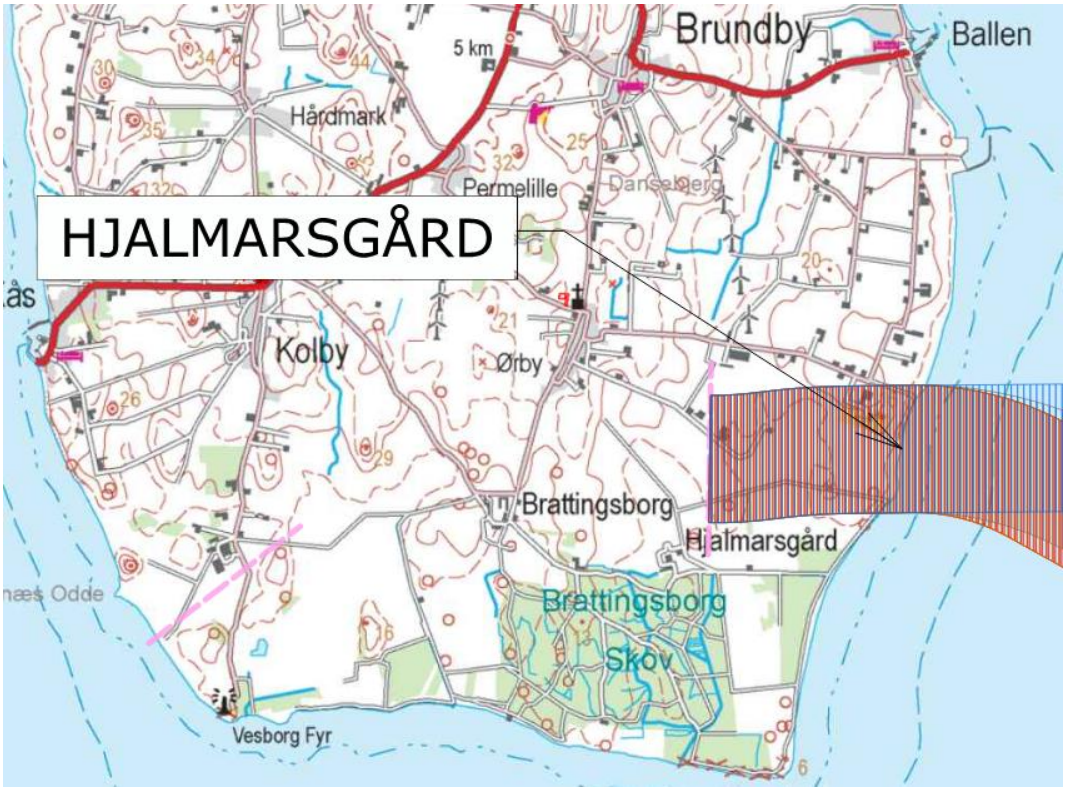
Orange stiplet linje markerer Natura 2000 område mens røde stiplede linjer markerer særligt betydningsfulde områder.

Ilandføringspunkt Nyby Vest er placeret så vestligt på Røsnæs som muligt når det særligt betydningsfulde område ikke må berøres, men går igennem Natura 2000-området. Korridoren for KKØ-2.1 er lokalt udvidet for at føre sænketunnel i land uden at berøre kystzone på det sted, som er et Natura 2000 område. Denne placering sikrer den korteste mulige kyst-kyst korridor til Samsø.

Ilandføringspunkt Nyby Øst er en alternativ placering som helt undgår Natura 2000 området (strandzonen).

Ilandføringspunktet Røsnæs Syd er kun anvendt til en boret tunnelløsning. Den borede tunnel starter 1900 m før ilandføringspunktet således at der bores nedenunder det særligt betydningsfulde område som derved ikke berøres.

Ilandføringspunktet Hjalmarsgård på Samsø er vist på kortudsnittet i Figur 7-12 nedenfor.



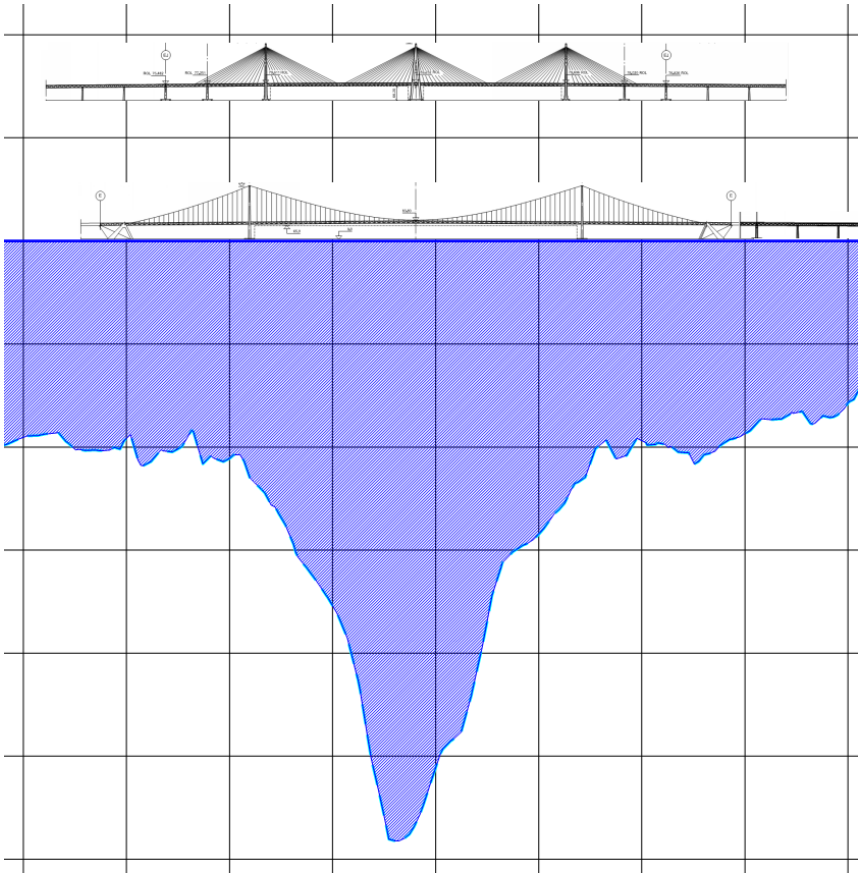
Figur 7-12 Kortudsnit ilandføringspunkt Hjalmarsgård

Ilandføringspunktet er placeret syd for Ballen havn og bebyggelser og nord for Brattingsborg Skov. Herved berøres lokalområdet mindst muligt. Ilandføringspunktet er lagt så langt fra Brattingsborg Skov som muligt.

Fra Hjalmarsgård er der flere landkorridorer over Samsø. Kyst-kyst linjeføringerne er alle tilpasset landkorridorer syd om Ørby, se f.eks. Figur 9-4. Skæring med kysten er derfor ikke vinkelret og linjeføringerne til havs får et buet forløb mod nord. Hvis der i stedet vælges en landkorridor nord om Ørby kan linjeføringerne til havs let tilpasses ved at rettes lidt ud.

7.3.2 Broløsninger

For rene broløsninger vil der af hensyn til den intensive skibstrafik i Rute T være behov for et stort gennemsejlingsfag eller alternativt to mindre gennemsejlingsfag med separeret skibstrafik. For at opnå de nødvendige spændvidder er der behov for enten en konventionel hængebro med 2 pyloner og et hovedfag eller en skråstagsbro med 3 pyloner og to hovedfag. Disse to muligheder er vist i Figur 7-13 sammen med havbundsprofil for KKØ-2.1, hvor der er dybest (se også afsnit 7.1.2). Hængebroen vil kunne funderes på ca. 20 m vanddybde og fundamenter på den dybeste del undgås. Skråstagsbroen vil derimod have den centrale pylon funderet på meget stor vanddybde, hvilket ikke er hensigtsmæssigt. Derfor er valgt hængebro for KKØ-2.



Figur 7-13 KKØ broløsninger ved navigationsfag (lodret skala for havbund overdrevet for at illustrere variation)

Korridoren ligger vinkelret på sejlruten, hvorfor nødvendigt hovedfag bliver ca. 1.630 m svarende til Storebælt Østbro, som har en spændvidde på 1624 m.

Tilslutningsbroerne er højbro forudsat udført med 200 m faglængde hvilket skønnes at være mest optimalt, når der tages hensyn til bl.a. vanddybde over hele strækningen og risiko for skibsstød.

Den anvendte hængebroløsning er svarende til Femernbælt konceptdesign.

Broløsningerne er visualiseret ved Røsnæs i Figur 7-14 og Figur 7-15. Formålet er at illustrere en linjeføring ud fra kysten (KKØ-2.2) i forhold til en linjeføring som forløber mere parallelt med kysten (KKØ-2.1), samt vise forskellen mellem at have landfæste i strandzonen (Figur 7-14) eller tilbagetrukket (Figur 7-15).

Figur 7-14 Visualisering broløsning vej/bane ved land (KKØ-2.1)

Figur 7-15 Visualisering broløsning vej/bane ved land (KKØ-2.2)

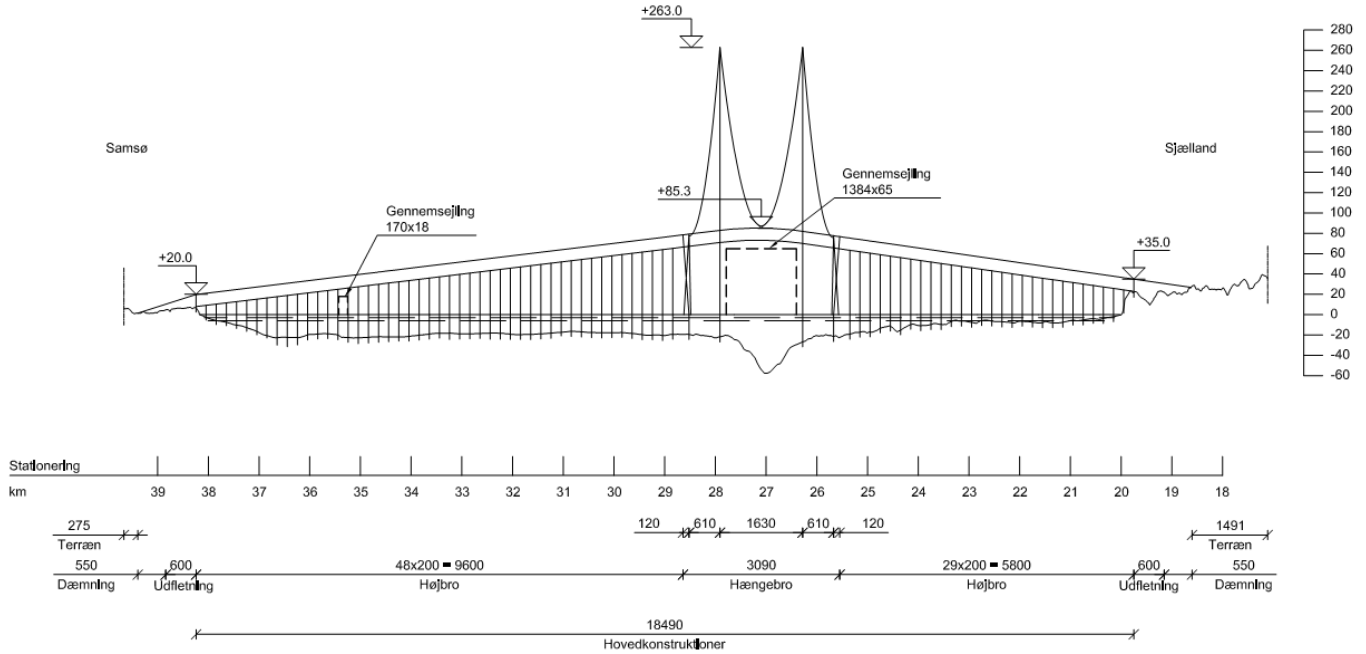
7.3.3 Sænketunnelløsninger

Der er antaget sænketunnel svarende til Femern tunnel. I korridoren KKØ-2 vurderes en sænketunnel direkte imellem Røsnæs og Hjalmarsgård med en dæmning over den dybeste strækning på cirka 400 m at være mulig (Se afsnit 5.2.3).

7.3.4 KKØ-2.1 Nyby Vest – Hjalmarsgård (Hængebro)

7.3.4.1 Teknisk beskrivelse

Broløsningen for korridor KKØ-2.1 er optegnet i Figur 7-16 og visualiseret i Figur 7-17 for. Udfletningsanlæg på land er ikke vist. Korridorens placering er vist på kortudsnittet i Figur 7-10.



Figur 7-16 KKØ-2.1 Længdeprofil bro (Bilag 7-3 i bilagsmappen)

Figur 7-17 KKØ-2.1 visualisering broløsning

Tilslutningsfag er ved Røsnæs ført 250 m fra kystlinje ind i land af naturmæssige hensyn. Herved påvirkes strandzonen, som er Natura 2000-område, mindst muligt.

For at reducere skibsstødsrisikoen på den vestlige tilslutningsbro er der forudsat anlagt et kunstigt rev både nord og syd for korridoren umiddelbart vest for knækpunkter på Rute T som vist i Figur 7-10. Kunstige rev til skibsstødsbeskyttelse er beskrevet i afsnit 5.3.5.

7.3.4.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene hidrørende fra projektering og udførelse. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Broen er en hængebro som i størrelse meget ligner Østbroen over Storebælt. Den væsentligste forskel imellem de to er, at den her skal bære en jernbane, og at drageren her er tænkt udformet som en gitterdrager i to etager (som Øresundsbroen). Broen vil dog kun blive belastet af passagertog, som har nogenlunde samme vægt som vejtrafik. Pylonerne er funderet på 27 m hhv. 22 m vanddybde, hvilket er sammenligneligt med Østbroens funderingsdybde på 25 m. Ankerblokkene er funderet på ca. 20 m vanddybde, hvilket er betydeligt dybere end Østbroens funderingsdybde på 11 m, men dog ikke vurderes i sig selv at øge projektrisikoen. Vindskærme lokalt ved pyloner og ankerblokke eller langs hele hængebroen kan blive nødvendige.

Der er begrænset international erfaring med hængebroer med jernbane af denne størrelse. Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbanebro medfører, er der for en jernbanebro forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Projekteringsrisikoen vurderes samlet set som **Forhøjet**.

Udførelse

Broen er en hængebro som meget ligner Østbroen over Storebælt. Den væsentligste forskel imellem de to er at drageren her er tænkt udformet som en gitterdrager i to etager (som Øresundsbroen). De lokale forhold vurderes som værende sammenlignelige med Storebælt, inklusiv at en del af arbejdet kommer til at foregå nær Rute T. Dog skal ankerblokke udføres på betydeligt dybere vand og tilslutningsbroerne bliver længere og funderet på dybere vand, men dette vurderes ikke i sig selv at øge projektrisikoen.

Der er begrænset international erfaring med udførelse af hængebroer med jernbane af denne størrelse. Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanebro forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

Projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsesrisikoen vurderes som **Forhøjet**.

7.3.5 KKØ-2.1 Nyby Vest – Hjalmarsgård (sænketunnel)

7.3.5.1 Teknisk beskrivelse

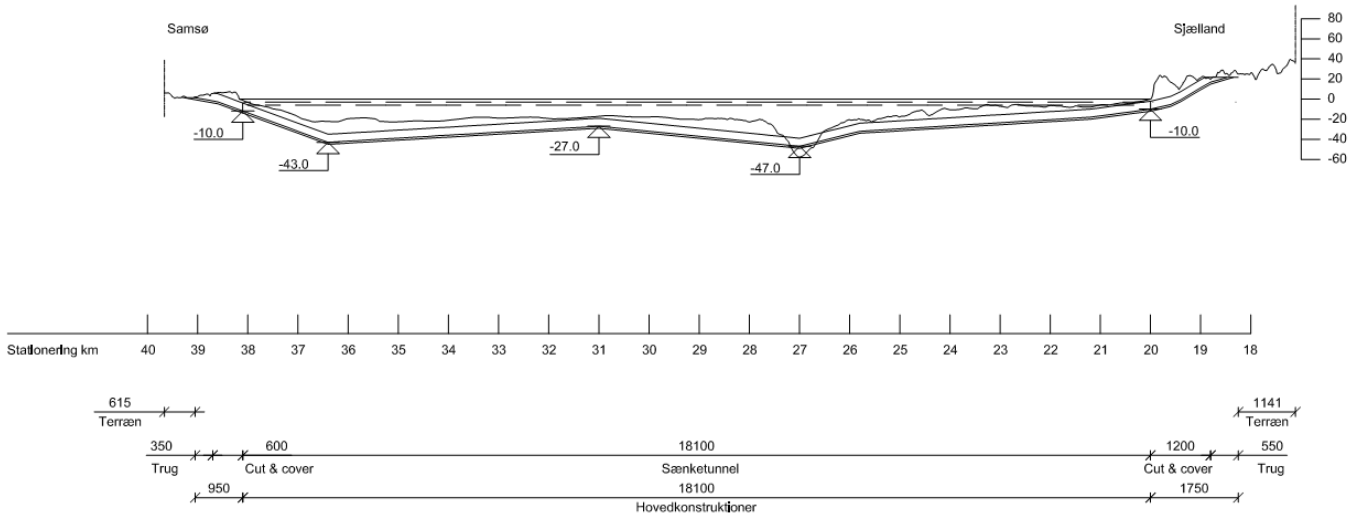
I korridoren KKØ-2.1 vurderes en sænketunnel direkte imellem Røsnæs og Hjalmarsgård som tidligere nævnt at være mulig.

Batymetrien giver et fornuftigt forløb uden overafgravning, men vil dog kræve en undersøisk dæmning på en strækning på omkring 400 m, hvor der ifølge nuværende opmålinger er op til ca. 58 m vanddybde. Vanddybder varierer ikke væsentligt langs tunnelprofilet, det vil derfor ofte være muligt at placere sænketunnel tæt på havbunden og dermed minimere udgravningsvolumen. Det anbefales at holde sig inden for de afprøvede grænser i forhold til arbejde med sænketunneler i dybden. Her er betonsænketunneller etableret med funderingsniveauer ned til kote -47. Forudsætningen for vurderinger er således, at der opbygges en dæmning på cirka 9 meters højde op til bunden af sænketunnelen og yderligere 10 m til beskyttelse af tunnelen.

Storebæltsrenden er et levn fra et smeltevandslandskab og således ikke er en aktiv erosion fra nyere tid. Den er derfor vurderet til at være stabil.

Bemærk at tunnel og broprofiler i nærværende rapport har uens skala på længde / dybde skala for at synliggøre variationer i højdeforhold. Dybde-/højdeforhold er derfor overdrevne med en faktor 50. Det medfører at renden opfattes med særdeles stejle sider, hvilket reelt ikke er tilfældet.

Sænketunnelløsningen er optegnet i Figur 7-18.



Figur 7-18 KKØ-2.1 Længdeprofil sænketunnel (Bilag 7-4 i bilagsmappen)

Ved Røsnæs er der behov for omfattende cut & cover tunnel og trug pga. terrænet ved ilandføringspunktet hvor tunnelrampen ender i kote +25m, i modsætning til terrænet på Samsøsiden. Etablering af disse kræver omfattende midlertidige arbejder frem til og igennem kystlinjen, som efterfølgende bliver retableret. Området er visualiseret i Figur 7-19 med den færdige løsning.

Figur 7-19 KKØ-2.1 visualisering tunnelportal (servicevej til portalbygning ikke vist)

Tunnelen i KKØ-2.1 tracé passerer strandzonen indenfor Natura 2000-området. Dette vil kræve en midlertidig opgravning, hvor strandzonen efterfølgende retableres.

7.3.5.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene hidrørende fra projektering, udførelse og luftkvalitet i tunnel. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Sænketunnelen i KKØ-2.1 tænkes på en kort strækning på ca. 400 m placeret på en dæmning på havbunden for at opnå en vanddybde for tunnelen som ligger inden for, hvad der er udført andre steder. At placere tunnelen på en undersøisk dæmning vurderes ikke at udgøre nogen designmæssig udfordring, men det er ikke normal praksis. Baseret på et generelt kendskab til jordbundsforholdene i området forventes det ikke at differenssætninger vil udgøre en usædvanlig kompleksitet der vil forøge projekteringsrisikoen.

Da tunnellængden som er 19,9 km inkl. cut & cover tunnel og tunneltværsnit er sammenlignelig med Femerntunnellen vurderes det, at det forudsatte drifts- og sikkerhedskoncepter for denne tunnel også vil kunne anvendes for en sænketunnel i korridor KKØ-2.1 for en Kattegatforbindelse.

Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbane medfører, er der for en jernbanetunnel forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Den samlede projekteringsrisiko vurderes til at være i den lave ende af **Forhøjet**.

Udførelse

Sænketunnelelementer i KKØ-2.1 vil skulle monteres på relativ stor vanddybde men inden for hvad der er udført andre steder. Udførelse af en dæmning på dybt vand til understøtning af tunnelen er ikke normal, men vurderes ikke at være vanskelig.

Længden af sænketunneldelen på 18,1 km, som også er den længste af alle sænketunneller undersøgt, kan sammenlignes med længden af Femern tunnel. Noget af arbejdet kommer til at foregå nær Rute T, hvilket stiller nogle ekstra krav; men de vil kunne håndteres og planlægges. Udgravning til tunnelrende i hårde materialer vil kunne udgøre en ekstra udfordring for udførelsen.

Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanetunnel forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

Det samlede projektrisikobidrag fra udførelse vurderes til at være **Forhøjet**.

Luftkvalitet i tunnel

Grundet vejtunnellængden i KKØ-2.1 som er 19,9 km inkl. cut & cover tunnel, som også er den længste af alle sænketunneller undersøgt, er det nærmere analyseret om kravet til luftkvalitet vil kunne opfyldes for de relevante linjeføringer og trafiksammensætninger. Analysen af luftkvaliteten som funktion af linjeføring og trafiksammensætning er beskrevet i [13] ("Analyse af ventilationsbehov for at sikre luftkvalitet i tunnel", fagnotat, COWI).

Det er vurderet, at projektrisikobidraget forbundet med opfyldelse af krav til luftkvaliteten ligger i den høje ende af er **Forventeligt**.

7.3.6 KKØ-2.2 Nyby Øst – Hjalmarsgård (hængebro)

7.3.6.1 Teknisk beskrivelse

Korridorens placering er vist på kortudsnittet i Figur 7-10. Broløsningen for KKØ-2.2 svarer til broløsningen for KKØ-2.1 (se afsnit 7.3.4.1) med følgende afvigelser:

- Broendevederlag ved Røsnæs er ikke ført lige så langt ind i baglandet, da korridoren ligger udenfor Natura 2000-området.
- Korridoren forløber i en bue ud fra kysten for at komme fri af Natura 2000-området, og den større afstand til kysten reducerer tillige støjpåvirkningen af området på land. Den større afstand til kysten bevirker tillige at den østlige tilslutningsbro er på dybere vand.
- Korridoren skærer Rute T ca. 1 km nordligere og er dermed tættere på det nordlige knækpunkt af Rute T.

7.3.6.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Projektrisikobidragene fra projektering og udførelse for denne løsning vurderes at være de samme som for broløsningen i KKØ-2.1. Der henvises derfor til afsnit 7.3.4.2.

For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

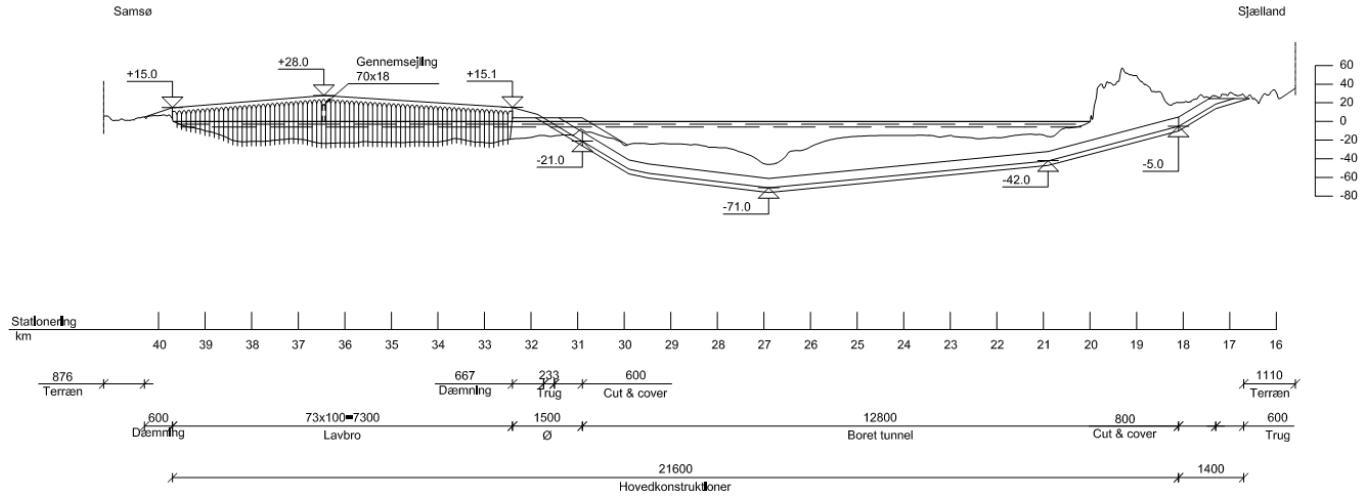
7.3.7 KKØ-2.5 Røsnæs Syd – Kunstig Ø – Hjalmarsgård (boret tunnel/lavbro)

7.3.7.1 Teknisk beskrivelse

For kombinationen boret tunnel, kunstig ø og lavbro udgør denne korridor den mest direkte forbindelse imellem Sjælland og Samsø, som ikke er for dyb (ved at undgå de dybe områder i Storebæltsrenden) og ikke indeholder en dæmning. En boret tunnelløsning er anvendt over den østlige del af korridoren, hvor Rute T krydses, og der er stor vanddybde. Hvor korridoren passerer en grund med lavere vanddybde, opbygges en kunstig ø som overgang imellem boret tunnel og bro, hvorefter på den vestlige del af korridoren konstruktionstypen skifter til lavbro. Den kunstige ø vil have en samlet længde omkring 1.5 km.

Den borede tunnel påvirker ikke det nærliggende Natura 2000 område og begrænser påvirkning af Røsnæs. Der er desuden ingen begrænsninger for skibstrafikken på T-ruten.

Længdeprofilet for den kombinerede tunnel- og broløsningen for korridor KKØ-2.5 er optegnet i Figur 7-20.



Figur 7-20 KKØ-2.5 Længdeprofil boret tunnel og lavbro (Bilag 7-5 i bilagsmappen)

Broen fra kunstig ø til Samsø svarer til Storebælt Vestbro både med hensyn til længde, vanddybde og sejladsforhold. Derfor er anvendt en lavbro med 100 m fag svarende til Vestbroen.

For at reducere skibsstødsrisikoen for lavbroen fra sydgående skibe er der forudsat anlagt et kunstigt rev nord for korridoren umiddelbart vest for knækpunktet hvor dybvandsruten mødes med Rute T. Kunstigt rev til skibsstødsbeskyttelse er beskrevet i afsnit 5.3.5. For nordgående skibe som glemmer at dreje ved det sydlige knæk af Rute T vil der også være en risiko for at skibe rammer den kunstige ø eller lavbroen. Udformningen af et sydligt rev er ikke fastlagt på nuværende stadie af projektet og dette rev er derfor ikke vist på kortudsnittet. Da det er overvejende sandsynligt, at det vil blive nødvendigt, er det inkluderet i anlægsoverslaget med samme geometri som det sydlige rev beskrevet i afsnit 5.3.5. Det bemærkes at det evt. også helt eller delvist vil kunne udformes som en integreret del af den kunstige ø.

7.3.7.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene fra projektering, udførelse og luftkvalitet i tunnel. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Broen er en lavbro som i størrelse og udformning meget ligner Vestbroen over Storebælt. Både spændvidde, samlet brolængde og gennemsnitsvanddybde afviger mindre end 10% fra Vestbroen.

Linjeføring for boret tunnelen KKØ-2.5 er placeret således at dybden er indenfor erfaringsrammen for udførelse. Dybden, længden og diameteren af TBM er dog usædvanlig. Da tunnellængden og tunneltværsnit er sammenlignelig med Femern mulighedsstudiet og principielt ikke væsentlig anderledes end tilsvarende borede tunneller med stor diameter f.eks. Lower Thames Crossing, vurderes det, at de til denne Kattegatundersøgelse forudsatte drifts- og sikkerhedskoncepter vil kunne anvendes.

Projekteringen af den kunstige ø i KKØ-2.5 kan sammenlignes med projekteringen af de kunstige øer for Storebæltsforbindelsen (Sprogø) og Øresundsforbindelsen (Peberholm), og af den grund ikke usædvanlig, men dog på dybere vand.

Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbane medfører, er der for en jernbanekonstruktion forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Den samlede vurdering af projekteringsrisikoen ligger i den lave ende af **Forhøjet**.

Det samlede projektrisikobidrag fra udførelsen vurderes at ligge i den høje ende af **Forventeligt**.

Udførelse

Broen er en lavbro som i størrelse og udformning meget ligner Vestbroen over Storebælt. De lokale forhold vurderes også som værende sammenlignelige med Storebælt. Der kan være usikkerheder forbundet med byggemetode og tilgængelighed af specialudstyr til transport og installation af elementer, idet der med forudsat montage af hele fag vil være tale om meget tunge elementer, for hvilke der kun er et begrænset antal

kraner på verdensmarkedet med tilstrækkelig løftekapacitet. Dette vurderes dog ikke i sig selv at medføre et projektrisikobidrag højere end forventeligt, eftersom det ikke er usædvanligt, at løfteudstyr specialfremstilles til et projekt af en størrelse som en Kattegatforbindelse.

Projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen vil primært være relateret til størrelsen af tunnelboremaskinen, dybden og længden. En boret tunnellængde på 12,8 km er i Kattegat-sammenhæng relativ kort, og er også inden for velafprøvede grænser internationalt; men med denne diameter vil den være usædvanlig selv i et internationalt perspektiv.

Den kunstige ø placeres på vanddybde omkring 20 m hvilket ikke er usædvanligt sammenlignet med tilsvarende kunstige øer med sænketunnel, men dog i den højere ende. Længden af den kunstige ø for boret tunnel er længere end tilsvarende for sænketunnel, samlet set er dette forhold ikke ud fra en anlægsteknisk synsvinkel vurderet at påvirke det samlede projektrisikobidrag fra den kunstige ø.

Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanekonstruktion forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

Det samlede projektrisikobidrag fra udførelsen vurderes at ligge i den lave ende af **Forhøjet**.

Luftkvalitet i tunnel

Grundet vejtunnellængden i KKØ-2.1 på 12,8 km er det nærmere analyseret om kravet til luftkvalitet vil kunne opfyldes for de relevante linjeføringer og trafiksammensætninger, som forventes i en tunnel på en eventuel Kattegatforbindelse. Analysen af luftkvaliteten som funktion af linjeføring og trafiksammensætning er beskrevet i [13] ("Analyse af ventilationsbehov for at sikre luftkvalitet i tunnel", fagnotat, COWI). Risikoen forbundet med opnåelse af acceptrav er lavere for boret tunnel end den er for sænketunnel, som skyldes forskellen i luftvolumen i de to tværsnit.

Det er vurderet, at projektrisikobidraget forbundet med opfyldelse af krav til luftkvalitet for boret tunnel (specielt de kortere varianter) er i den lave ende af **Forventeligt**.

Der vil i nuværende stadie være et yderligere projektrisikobidrag som følge af, at det rev der er omtalt ovenfor i afsnit 7.3.7.1 ikke er blevet miljøundersøgt.

7.3.8 KKØ-2.6 Nyby Øst – Hjalmarsgård (sænketunnel)

7.3.8.1 Teknisk beskrivelse

Dette er et alternativ til sænketunnel i KKØ-2.1. Det er ikke blevet fuldt miljøvurderet, da der blot er gennemført simuleringer af sedimentspredning. Formålet har været at undersøge en løsning, som holder større afstand til Røsnæs Rev end KKØ-2.1, og dermed vil påvirke dette område mindre under byggeriet. Der henvises til [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll). Korridoren krydser Storebæltsrenden på en lavere vanddybde end KKØ-2.1, så den undersøiske dæmning bliver lavere. Korridoren er længere end KKØ-2.1.

Sænketunnelløsningen er ikke optegnet men den minder meget om KKØ-2.1 vist i Figur 7-18.

7.3.8.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Projektrisikobidragene for denne løsning vurderes at være de samme som for sænketunnelløsningen i KKØ-2.1 da de eneste forskelle er dybden og længden af dæmningen og at den samlede længde af KKØ-2.6 er 2000 m længere end KKØ-2.1. Der henvises derfor til afsnit 7.3.5.2.

For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

7.4 Røsnæs – Samsø Syd

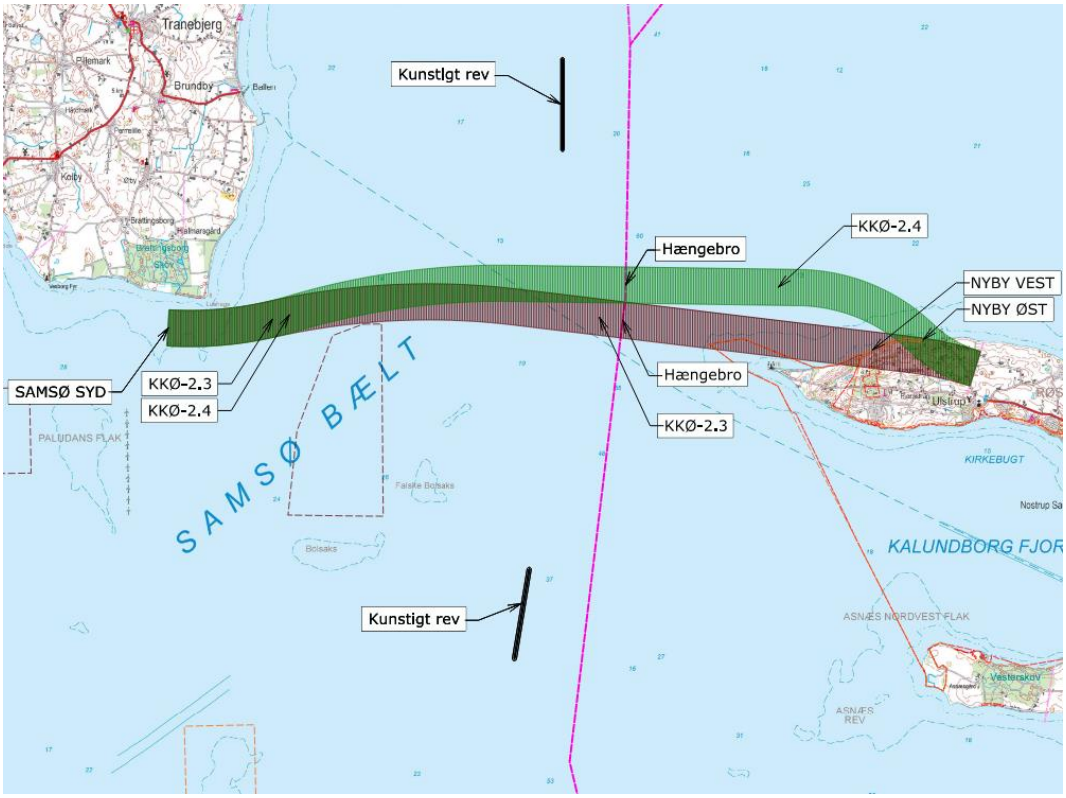
7.4.1 Korridorbeskrivelse

Alternative KKØ-2 korridorer er valgt for at føre trafikken uden om Samsø. Korridorerne kan kun kombineres med korridoren KKV-3.2. To korridorer er undersøgt:

- KKØ-2.3 starter i ilandføringspunkt Nyby Vest og slutter i ilandføringspunkt Samsø Syd. Den samlede længde mellem ilandføringspunkter er her 19,6 km.

- KKØ-2.4 starter i ilandføringspunkt Nyby Øst, for at undgå Natura 2000-området på Røsnæs helt, og slutter i ilandføringspunkt Samsø Syd. Herved bliver den samlede længde mellem ilandføringspunkter 21,4 km.

De undersøgte korridorer er vist på kortudsnittet i Figur 7-21 nedenfor.



Figur 7-21 KKØ-2.3 Nyby Vest – Samsø Syd (bro)
KKØ-2.4 Nyby Øst – Samsø Syd (bro)

Disse korridorer og løsninger er nær Røsnæs identiske med KKØ-2.1 og KKØ-2.2, hvorimod de i det vestlige endepunkt ikke føres i land men tilsluttes bro fra Jylland. Der henvises således generelt til afsnit 7.3.

Ilandføringspunkterne Nyby Vest og Nyby Øst er beskrevet i afsnit 7.3.1. Samsø Syd er ikke et ilandføringspunkt; men et koblingspunkt på åbent hav hvor broer i hhv. KKØ- og KKV-korridorer mødes.

7.4.2 Broløsninger

Der henvises til afsnit 7.3.2 for generelle beskrivelser af broløsninger.

7.4.3 Bro 4+2, Overgangskonstruktion imellem KKØ og KKV

Den rene broløsning anvender en 2-etagers brodrager med biler for oven og jernbane for neden. Ved sammenkoblingen med KKV-3.2 med en 1-etagers brodrager vil der derfor være behov for en overgangskonstruktion, hvor vej og jernbane samles i samme niveau for at fortsætte på lavbro mod vest. Sådan en konstruktion er mere kompliceret på vand, men kan udføres med portalrammer.

Portalrammer anvendes til at adskille vej og jernbane i planen som vist i Figur 5-26. Herefter fortsætter vej og jernbane på hver sin betonkassedrager og vejdelen føres ned til samme niveau som jernbanen. Overgangskonstruktionen vil være beliggende i et område med ca. 7 m vanddybde knap 1 km fra kysten. Her er begrænset skibstrafik, men det kan ikke udelukkes at det vil være nødvendigt at anlægge en mindre ø til overgangskonstruktionen for at beskytte portalrammer mod skibsstød.

Overgangskonstruktionen er ikke undersøgt nærmere på dette stadie af forundersøgelsen, men længden vil være ca. 300 m til hver side af koblingspunktet Samsø Syd eller 600 m i alt. I anlægsoverslaget er enhedsprisen for den dyrere højbro anvendt, indtil Samsø Syd og enhedspris for den billigere lavbro er anvendt i KKV-3.2 fra Samsø Syd og videre mod vest indtil højbroen. Dette er vurderet prismæssigt at svare til en overgangskonstruktion.

7.4.4 KKØ-2.3 Nyby Vest - Samsø Syd (hængebro/højbro)

7.4.4.1 Teknisk beskrivelse

Den tekniske løsning er hængebro og tilslutningsbroer udformet som højbro svarende til KKØ-2.1. Der henvises til afsnit 7.3.4.1.

7.4.4.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Projektrisikobidragene fra projektering og udførelse for denne løsning vurderes at være de samme som for broløsningen i KKØ-2.1. Der henvises derfor til afsnit 7.3.4.2.

Overgangskonstruktionen vurderes at medføre et bidrag til projekteringsrisikoen, da den afviger fra de øvrige konstruktioner og er lidt usædvanlig på åbent hav. Der er dog ikke tale om uprøvet teknologi, og bidraget er derfor vurderet ikke at ændre på det samlede niveau af projekteringsrisikoen.

For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

7.4.5 KKØ-2.4 Nyby Øst - Samsø Syd (hængebro/højbro)

7.4.5.1 Teknisk beskrivelse

Den tekniske løsning er hængebro og tilslutningsbroer udformet som højbro svarende til KKØ-2.2. Der henvises til afsnit 7.3.6.1.

7.4.5.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Projektrisikobidragene fra projektering og udførelse for denne løsning vurderes at være de samme som for broløsningen i KKØ-2.1. Der henvises derfor til afsnit 7.3.4.2.

Overgangskonstruktionen vurderes at medføre et bidrag til projekteringsrisikoen, da den afviger fra de øvrige konstruktioner og er lidt usædvanlig på åbent hav. Der er dog ikke tale om uprøvet teknologi, og bidraget er derfor vurderet ikke at ændre på det samlede niveau af projekteringsrisikoen.

For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

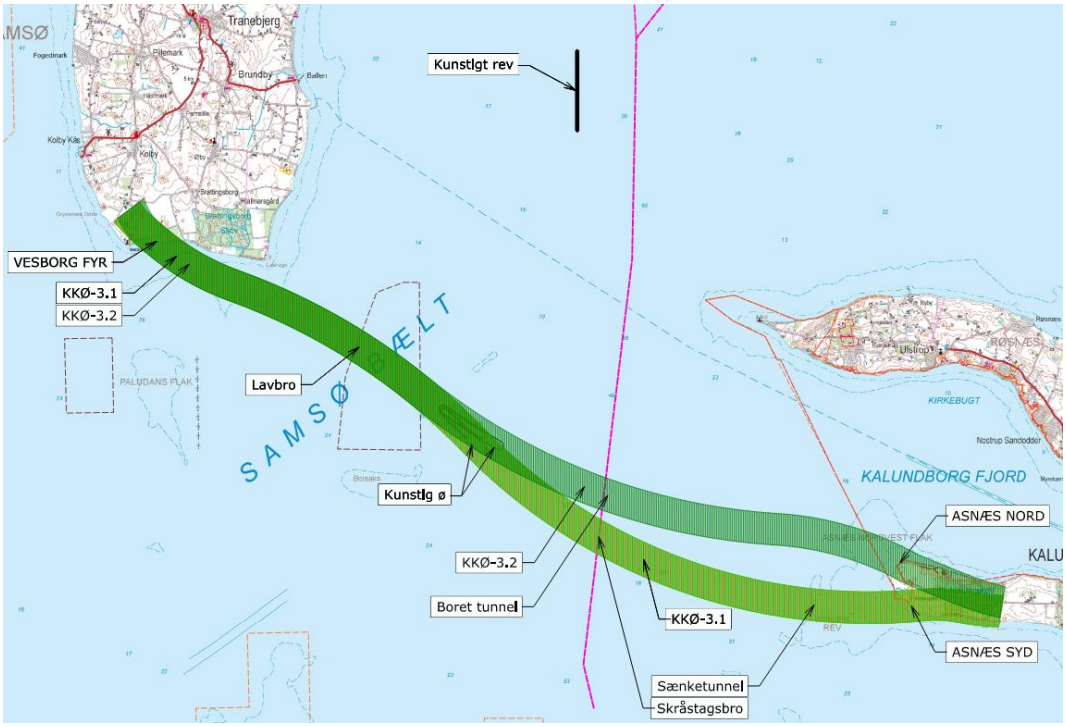
7.5 Asnæs – Vesborg Fyr

7.5.1 Korridorbeskrivelse

KKØ-3 er den sydligste vurderede korridor mellem Sjælland og Samsø og har udgangspunkt på Asnæs. Korridoren udmærker sig ved mere jævnt havbundsniveau med lavere vanddybde ved sejlruten end KKØ-2 og dermed mulighed for enklere anlægsløsninger. F.eks. gør den lavere vanddybde det muligt at anlægge bro med kortere hovedfag idet pylon kan placeres i Storebæltsrenden og sænketunnel kan anlægges ved rimelig vanddybde. Desuden går korridoren over en grund, hvor der er mulighed for at etablere en kunstig ø og hermed opdele strækningen i bro i vest og tunnel i øst. To korridorer er undersøgt:

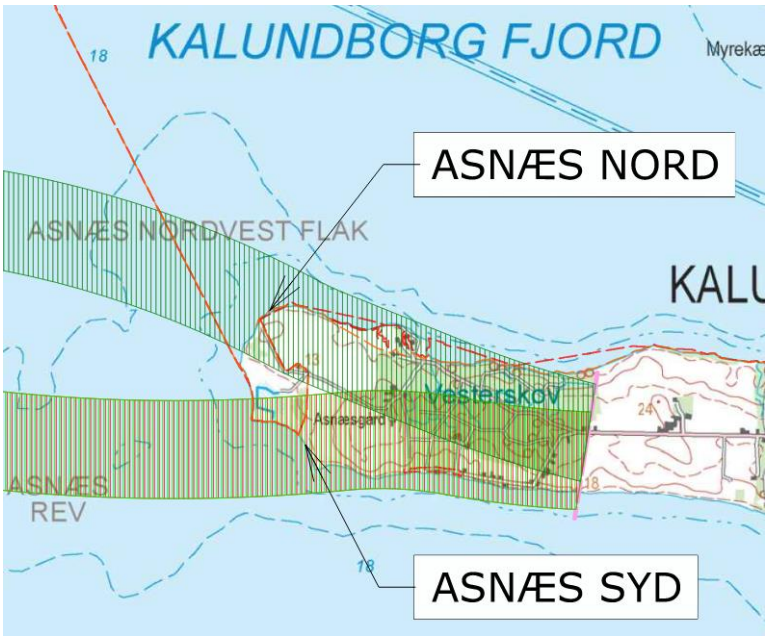
- KKØ-3.1 starter i ilandføringspunktet Asnæs Syd på den sydlige del af Asnæs og slutter i ilandføringspunktet Vesborg Fyr. Ved denne korridor undgås brokonstruktioner og anlægsaktiviteter til en sænketunnel på havbunden i Nature 2000-området i Kalundborg fjord. Den samlede længde mellem ilandføringspunkter er her 27,3 km.
- KKØ-3.2 starter i ilandføringspunkt Asnæs Nord, som giver lidt kortere korridor, men til gengæld går gennem Natura 2000-området på vestenden af Asnæs, hvorfor en korridor med en boret tunnel er valgt af naturhensyn. Herved bliver den samlede længde mellem ilandføringspunkterne 26,0 km.

Korridorerne er vist på kortudsnittet Figur 7-22 nedenfor.



Figur 7-22 KKØ-3.1 Asnæs Syd – Vesborg Fyr (hhv. bro og sænketunnel - kunstig ø - bro)
KKØ-3.2 Asnæs Nord – Vesborg Fyr (boret tunnel - kunstig ø - bro).

Ilandføringspunkterne på Asnæs er vist i større skala på kortudsnittet i Figur 7-23 nedenfor.



Figur 7-23 Ilandføringspunkter på Asnæs

Røde stiplede linjer markerer særligt betydningsfulde områder.

Ilandføringspunkt Asnæs Syd er placeret så vestligt på Asnæs som muligt uden at komme ind i det særligt betydningsfulde område som ikke må berøres. Dette giver den kortest mulige korridor til Samsø udenom Natura 2000-området.

Ilandføringspunkt Asnæs Nord er kun anvendt til en boret tunnelløsning. Den borede tunnel starter 400 m før ilandføringspunktet således at der bores nedenunder det særligt betydningsfulde område ved kystlinjen som derved ikke berøres. Baggrunden for at dette ilandføringspunkt er lagt på nordsiden af Asnæs er at det giver kortest mulig strækning kyst-kyst.

Formålet med korridor KKØ-3 er at berøre Samsø mindst muligt. Ilandføringspunkt på Samsø er derfor placeret så tæt på det sydvestlige hjørne af Samsø som muligt, lige øst for Vesborg Fyr. Ilandføringspunktet er vist på kortudsnittet i Figur 7-24 nedenfor.

Figur 7-24 Ilandføringspunkt Vesborg Fyr

En sydligere placering af KKØ-3-korridoren vurderes ikke mulig af følgende årsager:

- Afstanden til havvindmølleparken ved Paludans Flak vil blive kortere, hvilket kan være uhensigtsmæssigt for en broløsning, både for vindmøllerne og bro, bl.a. mht. skyggevirkninger og turbulens;
- Del af korridoren nær Samsø vil være på dybere vand;
- Korridoren vil blive længere.

samt for den rene broløsning ved KKØ-3.1 (skråstagsbro):

- Afstanden til det sydlige knæk på Rute T vil blive mindre, hvilket umiddelbart er vurderet uhensigtsmæssigt for skibstrafikken;
- Afstanden mellem den nord- og sydgående skibstrafik vil blive større (AIS-registreringer, viser at skibe som sejler i de to separerede sejlruter adskilles ned mod det sydligste knæk af Rute T), hvilket for en broløsning vil kræve mere hovedbro.

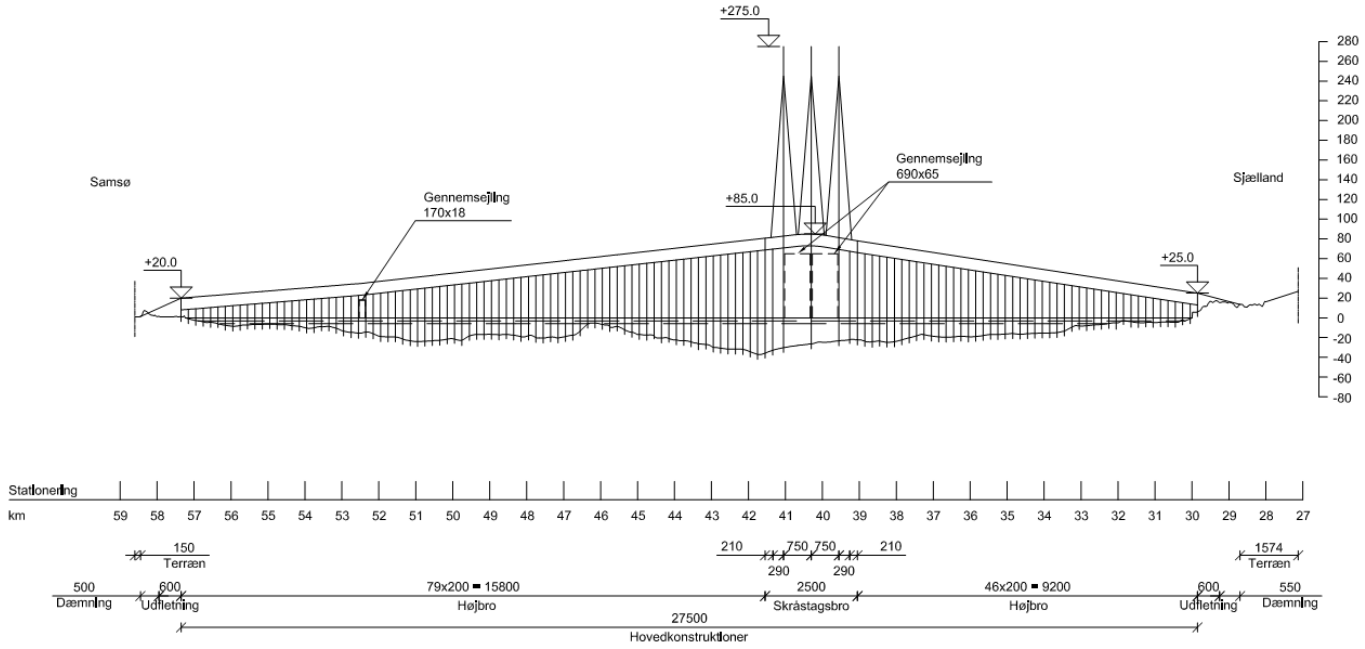
Foruden en ren broløsning er kombinerede tunnel/broløsninger undersøgt. Tunneldelen over den østlige del af korridoren, hvor Rute T krydses og der er stor vanddybde, kan enten være sænketunnel (se afsnit 5.2.3) eller boret tunnel (se afsnit 5.2.4). Hvor korridoren passerer en grund med vanddybder ned til 5 m, opbygges en overgangsø og konstruktionstypen skifter til lavbro med 100 m fag. Den kunstig ø vil have en samlet længde på 1-1,5 km alt efter hvilken tunnelløsning der anvendes under Rute T.

7.5.2 KKØ-3.1 Asnæs Syd – Vesborg Fyr (skråstagsbro)

7.5.2.1 Teknisk beskrivelse

Bro er anvendt for KKØ-3.1 korridoren. Vanddybden ved sejlrenden er mere moderat og jævn end ved KKØ-1 og KKØ-2. Derfor er anvendt en billigere skråstagsbro løsning med 3 pyloner og 2 gennemsejlingsfag svarende til Femernbælt konceptprojektering, hvor gennemsejlingsfagene havde 724 m spændvidde.

KKØ-3.1 korridoren ligger med skrå skæring af sejlruten på 66 grader, hvorfor hovedfag med spændvidde på 750 m er valgt. Tilslutningsbroerne er højbroer med 200 m faglængde. Broløsningen er optegnet i Figur 7-25. Udfletningsanlæg på land er ikke vist.



Figur 7-25 KKØ-3.1 Længdeprofil bro (Bilag 7-6 i bilagsmappen)

Tilslutningsfag er ved Asnæs ført 150 m fra kystlinjen ind i land af miljømæssige hensyn.

For at reducere skibsstødsrisikoen for den vestlige tilslutningsbro fra sydgående skibe er der forudsat anlagt et kunstigt rev nord for korridoren umiddelbart vest for knækpunktet hvor dybvandsruten mødes med Rute T. Kunstigt rev til skibsstødsbeskyttelse er beskrevet i afsnit 5.3.5. For nordgående skibe som glemmer at dreje ved det sydlige knæk af Rute T vil der også være en risiko for at skibe rammer broen. Udformningen af et sydligt rev er ikke fastlagt på nuværende stadie af projektet og dette rev er derfor ikke vist på kortudsnittet. Da det er overvejende sandsynligt, at det vil blive nødvendigt, er det inkluderet i anlægsoverslaget med samme tværsnitsgeometri som det sydlige rev beskrevet i afsnit 5.3.5 og længde 1400 m. Den kortere længde sammenlignet med andre rev skyldes den korte afstand mellem knækpunktet og broen. Nærheden til broen betyder at kun få piller potentielt bliver ramt af et skib der glemmer at dreje og dermed kan det være billigere kun at forstærke nogle få piller end bygge et rev. Dette bør undersøges i en senere fase.

7.5.2.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene fra projektering og udførelse. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Broen er en skråstagsbro som i udformning meget ligner konceptdesign for en bro over Femernbælt. Det er vurderet at skråstagsbroen med to 750 m hovedfag ikke vil have nævneværdige udfordringer mht. vind da brotypen sammenholdt med torsionsstiv gitterdrager er en velafprøvet løsning med gode aerodynamiske egenskaber. Skråstagsbroen er orienteret i nordvestlig retning, hvilket er mest kritisk mht. vind da de kraftigste storme i Danmark har vindretning fra sydvest og dermed vind vinkelret på broen. Vindskærme lokalt ved pyloner eller langs hele skråstagsbroen kan blive nødvendige. De tre pyloner er funderet på 23-30 m vanddybde, hvilket er sammenligneligt med konceptdesign for Femernbælt hvor funderingsdybden var ca. 29 m og Østbroens pyloner hvor funderingsdybden er ca. 25 m.

Broløsningen er baseret på et konceptdesign, men dog ikke på en opført bro med samme spændvidde. Den nærmeste sammenlignelige opførte bro er Queensferry Crossing vejbroen i Skotland. Der er meget begrænset international erfaring med skråstagsbroer med jernbane af denne type med 3 pyloner og størrelse.

Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbanebro medfører, er der for en jernbanebro forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Projekteringsrisikoen vurderes at være i den høje ende af **Forhøjet**.

Der vil i nuværende stadie være et yderligere projektrisikobidrag som følge af, at det sydlige rev der er omtalt ovenfor i afsnit 7.5.2.1 ikke er blevet miljøundersøgt.

Udførelse

Broen er en skråstagsbro baseret på et konceptdesign, og dermed ikke på en opført bro med samme spændvidde. Den nærmeste sammenlignelige opførte bro er Queensferry Crossing vejbroen i Skotland. De lokale forhold ved KKØ-3.1 vurderes som værende sammenlignelige med Storebælt, inklusiv at en del af arbejdet kommer til at foregå nær Rute T. De vestlige anker- og overgangspiller er funderet på 33-36 m vanddybde, hvilket er betydelige dybere end ved Storebælts Østbro og forøger risikoen. Tilslutningsbroerne bliver længere og funderet på dybere vand, hvilket dog ikke vurderes i sig selv at øge projektrisikoen. Toppen af pylonerne, samt de øverste skråstag, er op til 275 m over havets overflade, hvor vindpåvirkninger er betragtelige, hvorfor arbejdet bliver meget følsomt for vejrlig.

Der er meget begrænset international erfaring med udførelse af skråstagsbroer med jernbane af denne type med 3 pyloner og størrelse. Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanebro forøgede dokumentationskrav,

som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

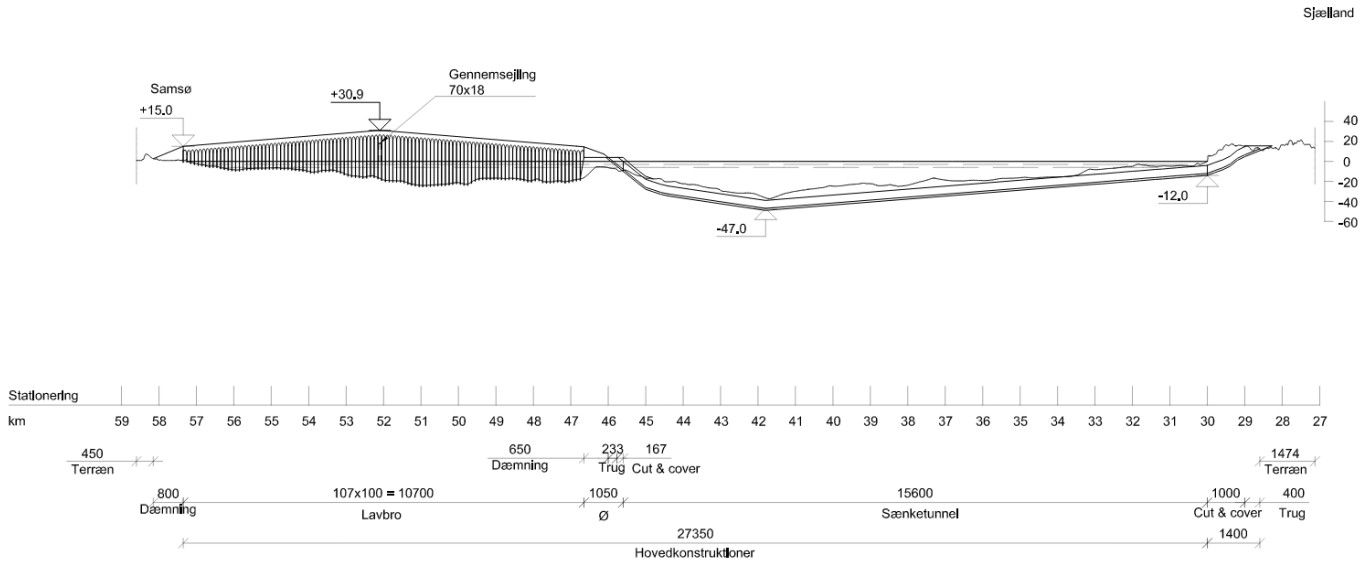
Projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen vurderes at være i den høje ende af **Forhøjet**.

7.5.3 KKØ-3.1 Asnæs Syd – Vesborg Fyr (sænketunnel og lavbro)

7.5.3.1 Teknisk beskrivelse

For KKØ-3.1 korridoren (Asnæs Syd) er en sænketunnel undersøgt nærmere i denne del af forundersøgelsen. Den giver bedre forhold for skibsfarten, samtidig med at man fra Asnæs Syd undgår konflikt med Natura 2000-områder.

Den kombinerede bro- og tunnelløsning er optegnet i Figur 7-26.



Figur 7-26 KKØ-3.1 Længdeprofil sænketunnel og lavbro (Bilag 7-7 i bilagsmappen)

Ved Asnæs er der behov for omfattende cut & cover tunnel og trug pga. terrænet. Visualiseringen (af KKØ-2.1) i Figur 7-19 kan give indtryk af hvordan området omkring tunnelportalen vil kunne se ud også på Asnæs.

Lavbro svarende til Storebælt Vestbro er på det foreliggende grundlag vurderet som den foretrukne broløsning i den vestlige del af korridoren, da både vanddybde og skibstrafik er sammenlignelig med forholdene ved Storebælt Vestbro.

For at reducere skibsstødsrisikoen for lavbroen fra sydgående skibe er der forudsat anlagt et kunstigt rev nord for korridoren umiddelbart vest for knækpunktet hvor dybvandsruten mødes med Rute T. Kunstigt rev til skibsstødsbeskyttelse er beskrevet i afsnit 5.3.5. For nordgående skibe som glemmer at dreje ved det sydlige knæk af Rute T vil der også være en risiko for at skibe rammer den kunstige ø eller lavbroen. Udformningen af et sydligt rev er ikke fastlagt på nuværende stadie af projektet og dette rev er derfor ikke vist på kortudsnittet. Da det er overvejende sandsynligt, at det vil

blive nødvendigt, er det inkluderet i anlægsoverslaget med samme geometri som det sydlige rev beskrevet i afsnit 5.3.5. Det bemærkes at det evt. også helt eller delvist vil kunne udformes som en integreret del af den kunstige ø.

7.5.3.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene fra projektering, udførelse og luftkvalitet i tunnel. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Broen er en lavbro som i størrelse og udformning ligner vejdelen af Vestbroen over Storebælt. Spændvidden er lidt kortere, gennemsnitsvanddybde er ca. 20% lavere og den samlet brolængde er 60% længere sammenlignet med Vestbroen.

Sænketunnellen i KKØ-3.1 kombineret med bro er placeret på traditionel vis under havbunden og overskrider ikke kendt funderingsdybder. Vanddybden, tunnellængden som er 16,8 km inkl. cut & cover tunnel og tunneltværsnit er sammenlignelig med Femerntunnellen. Da tunnellængden og tunneltværsnit er sammenlignelig med Femerntunnellen vurderes det, at de til denne Kattegatundersøgelse forudsatte drifts- og sikkerhedskoncepter vil kunne anvendes.

Projekteringen af den kunstige ø i KKØ-3.1 kan sammenlignes med projekteringen af de kunstige øer for Storebæltsforbindelsen (Sprogø) og Øresundsforbindelsen (Peberholm), og er af den grund ikke usædvanlig.

Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbane medfører, er der for en jernbanekonstruktion forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Den samlede vurdering af projekteringsrisikoen er, at den ligger i den høje ende af **Forventelig**.

Der vil i nuværende stadie være et yderligere projektrisikobidrag som følge af, at det rev der er omtalt ovenfor i afsnit 7.5.3.1 ikke er blevet miljøundersøgt.

Udførelse

Broen er en lavbro som i størrelse og udformning ligner Vestbroen over Storebælt. De lokale forhold vurderes også som værende sammenlignelige med Storebælt. Der kan være usikkerheder forbundet med byggemetode og tilgængelighed af specialudstyr til transport og installation af elementer, idet der med forudsat montage af hele fag vil være tale om meget tunge elementer, for hvilke der kun er et begrænset antal kraner på verdensmarkedet med tilstrækkelig løftekapacitet. Dette vurderes dog ikke i sig selv at medføre et projektrisikobidrag højere end forventeligt, eftersom det ikke er usædvanligt, at løfteudstyr specialfremstilles til et projekt af en størrelse som en Kattegatforbindelse.

Sænketunnelelementer i KKØ-3.1 vil skulle monteres på relativ stor vanddybde men inden for hvad der er udført andre steder. Udførelse af en dæmning på dybt vand til understøtning af tunnelen er ikke normal, men vurderes ikke at være vanskelig. Længden af sænketunneldelen på 16,7 km, kan sammenlignes med længden af Femern tunnel. Noget af arbejdet kommer til at foregå nær Rute T, hvilket stiller nogle ekstra krav, men de vil kunne håndteres og planlægges. Udgravning til tunnelrende i hårde materialer vil kunne udgøre en ekstra udfordring for udførelsen.

Den kunstige ø i KKØ-3.1 placeres på vanddybde omkring 20 m hvilket ikke er usædvanligt sammenlignet med tilsvarende kunstige øer med sænketunnel. Længden af den kunstige ø for sænketunnel er kortere end tilsvarende for boret tunnel, samlet set er dette forhold ikke ud fra en anlægsteknisk synsvinkel vurderet at påvirke det samlede projektrisikobidrag fra den kunstige ø.

Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanekonstruktion forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

Den samlede vurdering af projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen er, at det er i den lave ende af **Forhøjet**.

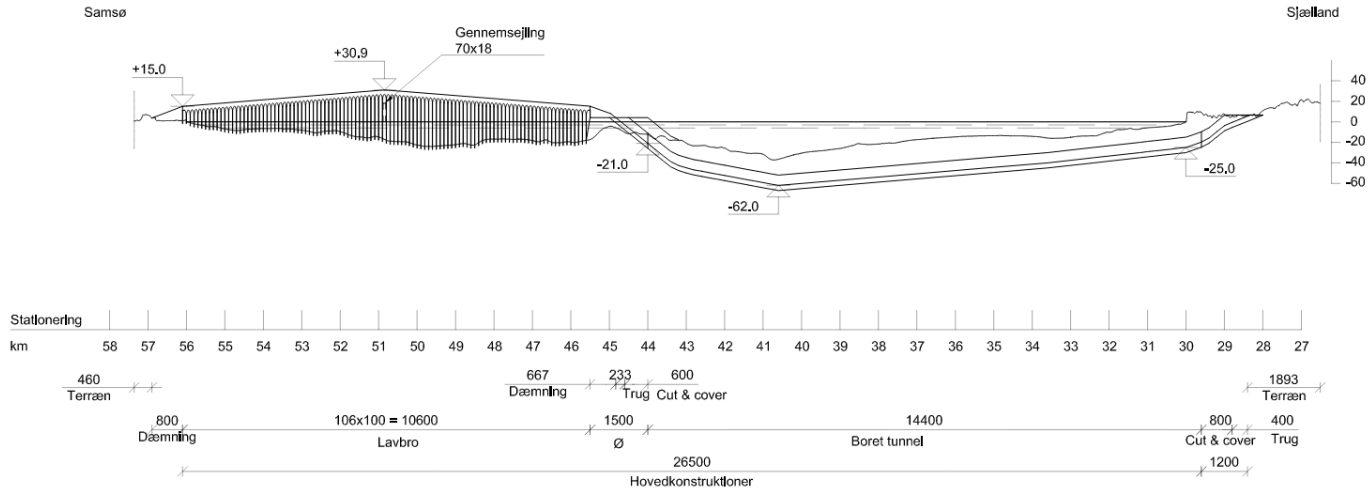
Luftkvalitet i tunnel

Sænketunnel for KKØ-3.1 er lidt kortere end sænketunnel for KKØ-2.1. Der henvises derfor til afsnit 7.3.5.2. Det er vurderet, at projektrisikobidraget forbundet med opfyldelse af krav til luftkvalitet for sænketunnel er i den høje ende af **Forventeligt**.

7.5.4 KKØ-3.2 Asnæs Nord – Vesborg Fyr (boret tunnel og lavbro)

7.5.4.1 Teknisk beskrivelse

For KKØ-3.2 korridoren er det undersøgt at anvende boret tunnel som undgår påvirkning af Natura 2000-området på nordvestspidsen af Asnæs. Den kombinerede bro- og tunnelløsningen er optegnet i Figur 7-27.



Figur 7-27 KKØ-3.2 Længdeprofil boret tunnel og lavbro (Bilag 7-8 i bilagsmappen)

Lavbroen inkl. afhjælpende tiltag herfor er som for KKØ-3.1 beskrevet i afsnit 7.5.3.1.

7.5.4.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene fra projektering, udførelse og luftkvalitet i tunnel. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Broen er en lavbro som i størrelse og udformning ligner Vestbroen over Storebælt. Spændvidden er lidt kortere, gennemsnitsvanddybde er ca. 20% lavere og den samlet brolængde er 60% længere sammenlignet med Vestbroen. Projekteringsrisikoen vurderes som lav.

Boret tunnel for KKØ-3.2 på 15,8 km er lidt længere, men kan bl.a. på grund af grund af nogenlunde samme dybde projekteringsmæssig sammenlignes med KKØ-2.5 på 14,2 km. Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2.

Projekteringen af den kunstige ø i KKØ-3.2 kan sammenlignes med projekteringen af de kunstige øer for Storebæltsforbindelsen (Sprogø) og Øresundsforbindelsen (Peberholm), og af den grund ikke usædvanlig.

Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbane medfører, er der for en jernbanekonstruktion forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Den samlede vurdering af projekteringsrisikoen er at den er i den lave ende af **Forhøjet**.

Der vil i nuværende stadie være et yderligere projektrisikobidrag som følge af, at det rev der er omtalt ovenfor i afsnit 7.5.4.1 via reference til 7.5.3.1 ikke er blevet miljø-undersøg

Udførelse

Broen er en lavbro som i størrelse og udformning ligner Vestbroen over Storebælt. De lokale forhold vurderes også som værende sammenlignelige med Storebælt. Der kan være usikkerheder forbundet med byggemetode og tilgængelighed af specialudstyr til transport og installation af elementer, idet der med forudsat montage af hele fag vil være tale om meget tunge elementer, for hvilke der kun er et begrænset antal kraner på verdensmarkedet med tilstrækkelig løftekapacitet. Dette vurderes dog ikke i sig selv at medføre et projektrisikobidrag højere end forventeligt, eftersom det ikke er usædvanligt, at løfteudstyr specialfremstilles til et projekt af en størrelse som en Kattegatforbindelse.

Den borede tunnel på 15,8 km er lidt længere end den tilsvarende for KKØ-2.5, men kan bl.a. på grund af nogenlunde samme dybde rent udførelsesmæssig sammenlignes med denne. Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2.

Den kunstige ø i KKØ-3.2 placeres på vanddybde omkring 20 m hvilket ikke er usædvanligt sammenlignet med tilsvarende kunstige øer med sænketunnel, men dog i den højere ende. Længden af den kunstige ø for boret tunnel er længere end tilsvarende for sænketunnel, samlet set er dette forhold ikke ud fra en anlægsteknisk synsvinkel vurderet til at påvirke den samlede risiko for den kunstige ø.

Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanekonstruktion forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

Projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen vurderes at være **Forhøjet**.

Luftkvalitet i tunnel

Boret tunnel for KKØ-3.2 på 15,8 km er væsentlig kortere end boret tunnel for KKØ-4.1 på 25,6 km. Der henvises derfor til afsnit 7.7.3.2. Det er vurderet, at projektrisikobidraget forbundet med opfyldelse af krav til luftkvalitet for sænketunnel er i den lave ende af **Forventeligt**.

7.6 Asnæs – Samsø Syd

7.6.1 Korridorbeskrivelse

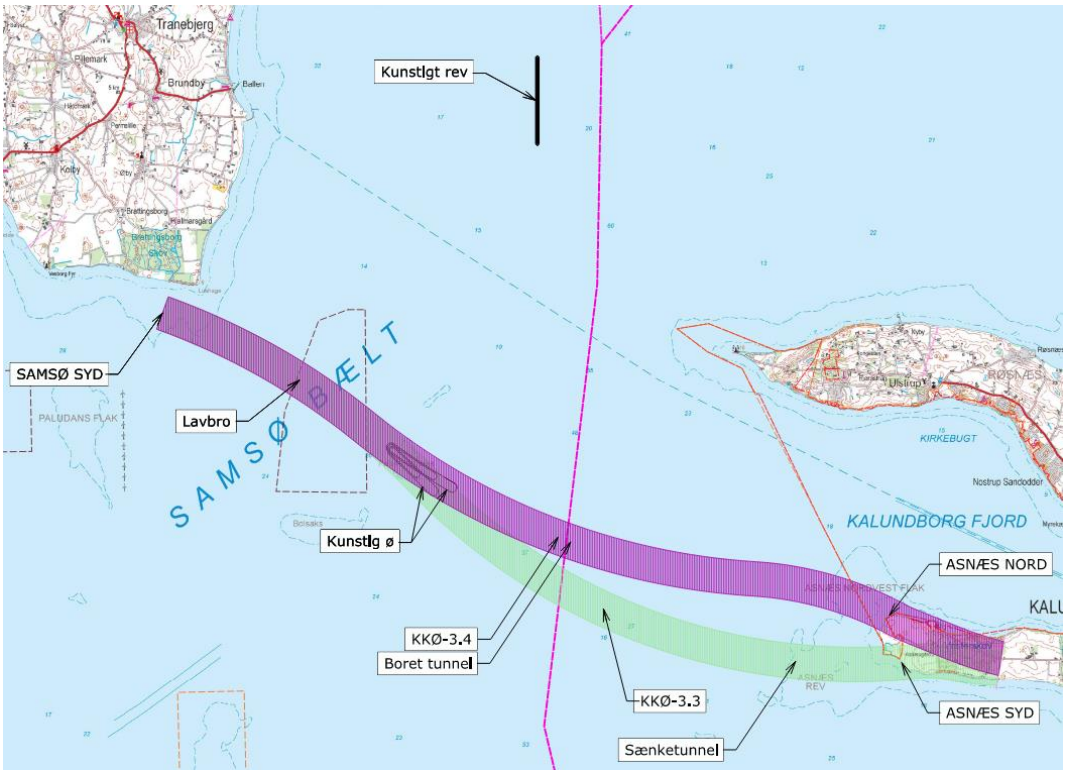
Alternative KKØ-3 korridorer er udvalgt for at undersøge mulighederne for at føre trafikken helt uden om Samsø. Korridorerne kan kun kombineres med korridoren KKV-3.2 vest for Samsø.

Ilandføringspunkterne Asnæs Syd og Asnæs Nord er beskrevet i afsnit 7.5.1. Samsø Syd er ikke et ilandføringspunkt; men et koblingspunkt på åbent hav hvor KKØ-korridorer mødes med KKV-korridorer.

To korridorer er undersøgt på dette stadie af forundersøgelsen:

- KKØ-3.3 starter i ilandføringspunkt Asnæs Syd og slutter i koblingspunkt Samsø Syd. Den samlede længde herimellem er 24,5 km.
- KKØ-3.4 starter i ilandføringspunkt Asnæs Nord og slutter i koblingspunkt Samsø Syd. Den samlede længde herimellem er 23,2 km.

De undersøgte korridorer er vist på kortudsnittet Figur 7-28 nedenfor.



Figur 7-28 KKØ-3.3 Asnæs Syd – Samsø Syd (sænketunnel - kunstig ø- bro)
KKØ-3.4 Asnæs Nord – Samsø Syd (boret tunnel - kunstig ø - bro)

Disse korridorer og løsninger er øst for de kunstige øer identiske med KKØ-3.1 og KKØ-3.2. Der henvises derfor generelt til afsnit 7.5.

Der er kun undersøgt kombinerede tunnel- og broløsninger. For bro er anvendt lavbro med jernbane i samme niveau som vejtrafik. Dette betyder at overgang til KKV-3.2,

som også har trafik i samme niveau, er ukompliceret og blot kan foregå vha. en overgangspille svarende til de typiske bropiller.

7.6.2 KKØ-3.3 Asnæs Syd – Samsø Syd (sænketunnel og lavbro)

7.6.2.1 Teknisk beskrivelse

Den tekniske løsning er sænketunnel, kunstig ø og lavbro svarende til KKØ-3.1. Der henvises til afsnit 7.5.3.1.

7.6.2.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Projektrisikobidragene fra projektering, udførelse og luftkvalitet i tunnel for denne løsning vurderes at være de samme som for den kombinerede tunnel- og broløsning i KKØ-3.1 da eneste forskel er at lavbroen er ca. 3 km kortere. Der henvises derfor til afsnit 7.5.3.2.

For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

7.6.3 KKØ-3.4 Asnæs Nord – Samsø Syd (boret tunnel og lavbro)

7.6.3.1 Teknisk beskrivelse

Den tekniske løsning er boret tunnel, kunstig ø og lavbro svarende til KKØ-3.2. Der henvises til afsnit 7.5.4.1.

7.6.3.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Projektrisikobidragene fra projektering, udførelse og luftkvalitet i tunnel for denne løsning vurderes at være de samme som for den kombinerede tunnel- og broløsning i KKØ-3.2 da eneste forskel er at lavbroen er ca. 3 km kortere. Der henvises derfor til afsnit 7.5.4.2.

For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

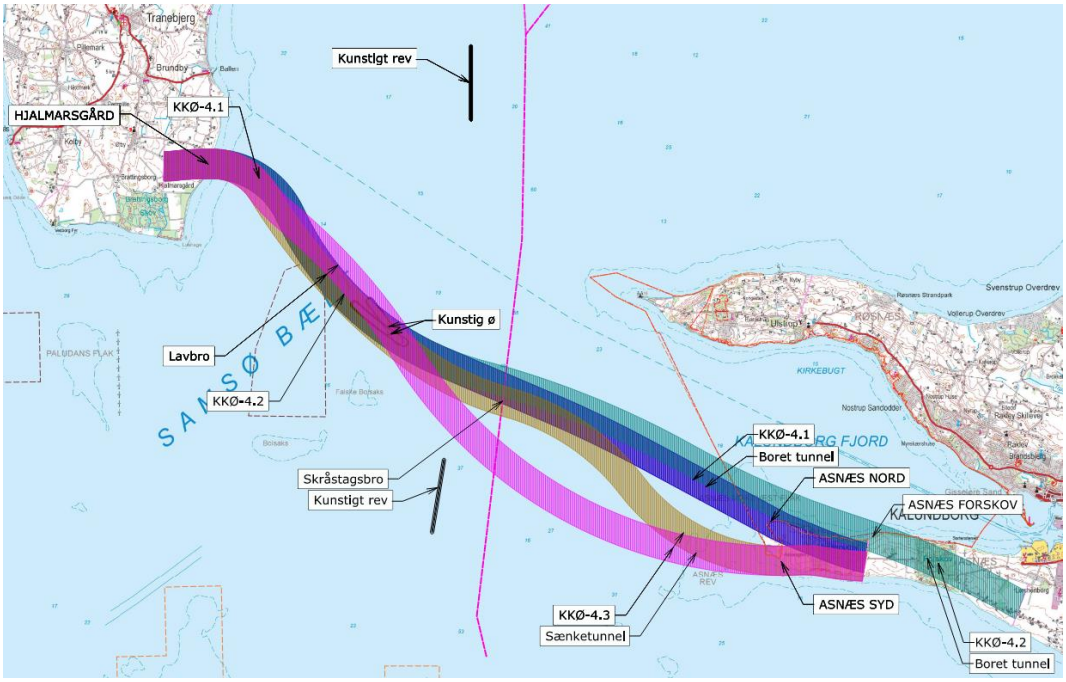
7.7 Asnæs – Hjalmarsgård

7.7.1 Korridorbeskrivelse

KKØ-4 korridorerne udmærker sig ved at være de korteste korridorer som forbinder Asnæs og Samsø (bemærk korridorerne til Vesborg fyr KKØ-3 er længere end korridorerne til Hjalmarsgård KKØ-4). Tre korridorer er undersøgt:

- KKØ-4.1 starter i ilandføringspunktet Asnæs Nord, som giver den korteste korridor, men til gengæld går gennem Natura 2000-området på vestenden af Asnæs, hvorfor en boret tunnel af naturhensyn er valgt for denne korridor. Korridoren slutter i ilandføringspunktet Hjalmarsgård. Herved bliver den samlede længde mellem ilandføringspunkterne 23,4 km.
- KKØ-4.2 starter i ilandføringspunktet Asnæs Forskov, som giver den mindste påvirkning af Asnæs og slutter i ilandføringspunktet Hjalmarsgård. Herved bliver den samlede længde mellem ilandføringspunkterne 26,8 km.
- KKØ-4.3 starter i ilandføringspunktet Asnæs Syd på den sydlige del af Asnæs og slutter i ilandføringspunktet Hjalmarsgård. Ved denne korridor undgås brokonstruktioner og anlægsaktiviteter til en sænketunnel på havbunden i Nature 2000-området i Kalundborg fjord. Den samlede længde mellem ilandføringspunkterne er her 24,6-24,9 km afhængig af konstruktionsløsning.

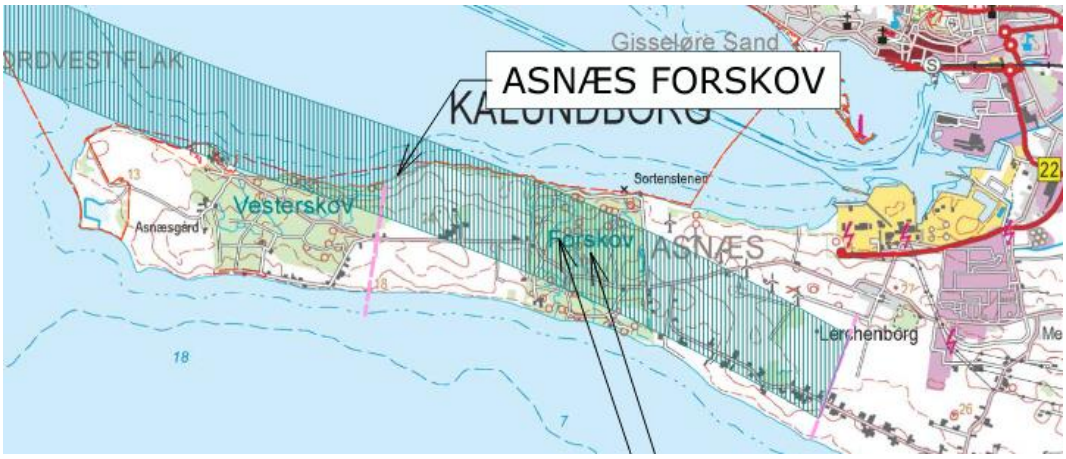
De undersøgte korridorer er vist på kortudsnittet i Figur 7-29 nedenfor.



Figur 7-29 *KKØ-4.1 Asnæs Nord – Hjalmarsgård (hhv. boret tunnel og boret tunnel - kunstig ø - bro)*
KKØ-4.2 Asnæs Forskov – Hjalmarsgård (boret tunnel - kunstig ø - bro)
KKØ-4.3 Asnæs Syd – Hjalmarsgård (hhv. bro og sænketunnel - kunstig ø - bro)

Ilandføringspunkterne Asnæs Syd og Asnæs Nord er beskrevet i afsnit 7.5.1.

Ilandføringspunktet Asnæs Forskov er kun anvendt til en boret tunnelløsning. Den borede tunnel starter 3,6 km før ilandføringspunktet således at der bores under det meste af Asnæs inkl. Forskoven. Ilandføringspunktet er vist på kortudsnittet i Figur 7-30 nedenfor. Tunnelportalen ligger lidt vest for Lerchenborg.



Figur 7-30 Ilandføringspunkter Asnæs Forskov

Røde stiplede linjer markerer særligt betydningsfulde områder som ikke berøres af en boret tunnel.

Ilandføringspunktet Hjalmarsgård er beskrevet i afsnit 7.3.1.

Korridorens nord/sydlige placering har i denne del af forundersøgelsen været baseret på at finde det nærmeste ilandføringspunkt på land. En sydligere placering mellem ilandføringspunkter ville give længere afstand og sammenfald med korridor KKØ-3. En nordligere placering mellem ilandføringspunkter ville også give længere, eller uændret, afstand. Derfor er korridoren på dette stadie af forundersøgelsen placeret, som vist. Undtagelsen er KKØ-4.2 som er en korridor til en kombineret boret tunnel og lavbro, der skal berøre Asnæs mindst muligt (se Figur 7-30).

Alle korridorer er placeret så de berører råstofområdet i Samsø Bælt mindst muligt. Det nordlige sving lige før ilandføring i Hjalmarsgård er for at tilpasse kyst-kyst korridorerne til landkorridorerne syd om Ørby.

7.7.2 Broløsning

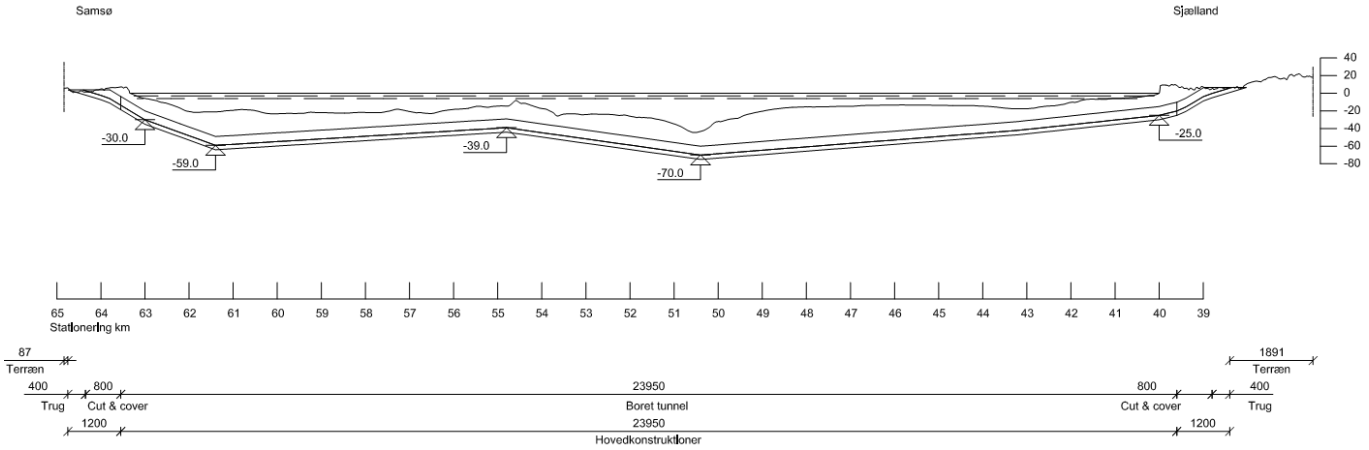
En ren broløsning i KKØ-4.1 og KKØ-4.2 er ikke undersøgt, da den ikke vurderes mulig grundet dens påvirkning på Natura 2000-området på nordvest spidsen af Asnæs.

En ren broløsning er undersøgt for KKØ-4.3 og en kombineret tunnel- og broløsning er undersøgt for alle 3 korridorer.

7.7.3 KKØ-4.1 Asnæs Nord – Hjalmarsgård (boret tunnel)

7.7.3.1 Teknisk beskrivelse

For at undgå at påvirke Natura 2000-området på nordvest spidsen af Asnæs er det valgt at analysere en boret tunnel. Tunnelløsningen er optegnet i Figur 7-31.



Figur 7-31 KKØ-4.1 Længdeprofil boret tunnel (Bilag 7-9 i bilagsmappen)

Ved både Asnæs og Samsø er der behov for omfattende cut & cover tunnel og trug pga. terrænet og behovet for tilstrækkeligt jorddække over den borede tunnel.

Det skal bemærkes at dybdepunktet for den borede tunnel langs denne korridor ikke er dybere end kote -70 m, hvilket ud fra et tunneleringsperspektiv vurderes at være inden for velafprøvede forhold. Som det ses på Figur 7-5 er korridoren fornuftigt lagt i relation til at passere den del af depressionen med mindst vanddybde.

Den borede tunnel vil her være 23,6 km lang (med boring fra hver side vil hver TBM bore ca. 12 km). Dette er indenfor de givne grænser længder baseret på den typiske levetid på TBM hovedlejet. Længden er ligeledes indenfor grænser for normal ventilation af vejtunneller.

7.7.3.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene fra projektering, udførelse og luftkvalitet i tunnel. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Ren boret tunnel for KKØ-4.1 på 25,6 km er væsentligt længere end KKØ-2.5, men kan bl.a. på grund af grund af nogenlunde samme dybde projekteringsmæssig sammenlignes med denne. Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2.

Den borede tunnellængde er i den høje ende af det undersøgte i [14] ("Maksimal anlægsteknisk længde for boret tunnel", fagnotat, COWI).

Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbane medfører, er der for en jernbanetunnel forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et

uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Projekteringsrisikoen vurderes at være i den lave ende af **Forhøjet**.

Udførelse

Ren boret tunnel for KKØ-4.1 på 25,6 km er væsentligt længere end KKØ-2.5, men kan bl.a. på grund af grund af nogenlunde samme dybde udførelsesmæssig sammenlignes med denne. Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2.

For anlæg af lange borede tunneller henvises der til begrænsninger beskrevet i [14] ("Maksimal anlægsteknisk længde for boret tunnel", fagnotat, COWI). Den borede tunnellængde er over 19 km, som kræver udførelse med en TBM fra hver side.

Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanetunnel forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

Projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen vurderes at ligge i den høje ende af **Forhøjet**.

Luftkvalitet i tunnel

Ren boret tunnel for KKØ-4.1 (25,6 km) er den længste borede tunnel som er vurderet. Risikoen for ikke at opnå tilstrækkelig luftkvalitet i lange tunneller er vurderet i [13] ("Analyse af ventilationsbehov for at sikre luftkvalitet i tunnel", fagnotat, COWI). Det er derfra vurderet, at projektrisikobidraget forbundet med opfyldelse af krav til luftkvalitet for boret tunnel på denne længde ligger i den høje ende af **Forventeligt**.

7.7.4 KKØ-4.1 Asnæs Nord – Hjalmarsgård (boret tunnel og lavbro)

7.7.4.1 Teknisk beskrivelse

Den tekniske løsning er boret tunnel, kunstig ø og lavbro. KKØ-4.1 svarer til KKØ-3.2 bortset fra at den vestlige del er beliggende nordligere på dybere vand og føres i land ved Hjalmarsgård. Der henvises derfor til afsnit 7.5.4.1.

7.7.4.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene fra projektering, udførelse og luftkvalitet i tunnel. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Broen er en lavbro som er magen til lavbroen i KKØ-2.5. Der henvises derfor til afsnit Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2.

Den borede tunnel på 16,4 km er lidt længere end i KKØ-2.5, men kan bl.a. på grund af nogenlunde samme dybde projekteringsmæssigt sammenlignes med denne, hvor længden er 14,2 km.

Den kunstige ø, som forbinder bro og boret tunnel, kan projekteringsmæssigt sammenlignes med øen i KKØ-2.5.

Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbane medfører, er der for en jernbanekonstruktion forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Den samlede vurdering af projekteringsrisikoen er, at den er i den lave ende af **Forhøjet**.

Udførelse

Broen er en lavbro som er magen til lavbroen i KKØ-2.5. Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2.

Den borede tunnel på 16,4 km er lidt længere end i KKØ-2.5, men kan bl.a. på grund af grund af nogenlunde samme dybde udførelsesmæssigt sammenlignes med denne, hvor længden er 14,2 km.

Den kunstig ø, som forbinder bro og boret tunnel, kan udførelsesmæssig sammenlignes med øen i KKØ-2.5.

Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanekonstruktion forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

Den samlede vurdering af projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen er at det er **Forhøjet**.

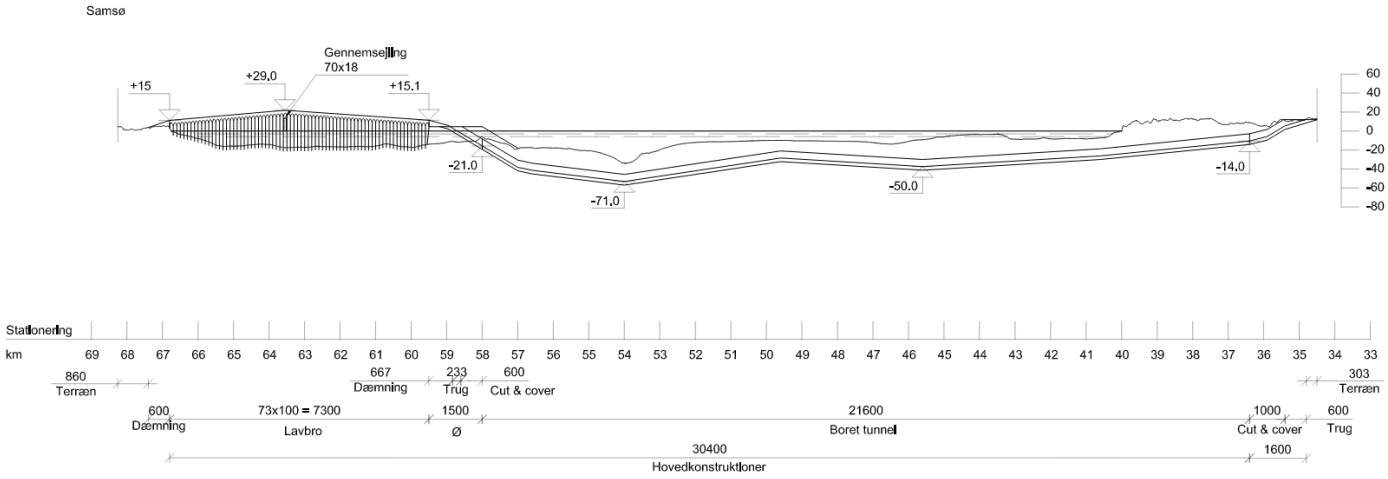
Luftkvalitet i tunnel

Boret tunnel for KKØ-4.1 i kombination med bro (16,4 km) er kortere end boret tunnel for KKØ-4.1 (25,6 km). Der henvises derfor til afsnit 7.7.3.2. Det er vurderet, at projektrisikobidraget forbundet med opfyldelse af krav til luftkvalitet for boret tunnel er i den lave ende af Den samlede vurdering af projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen ligger i den lave ende af **Forventeligt**.

7.7.5 KKØ-4.2 Asnæs Forskov – Hjalmarsgård (boret tunnel og lavbro)

7.7.5.1 Teknisk beskrivelse

Dette er en alternativ korridor, som ikke er særskilt miljøvurderet. Formålet har været at skitsere en løsning som ikke påvirker det nærliggende Natura 2000 område og følsomme områder på Asnæs. Den består af en lavbro fra Samsø til en kunstig ø, hvorfra den består af en boret tunnel. Tunnelportalen ligger nær industriområdet syd for Kalundborg by. Løsningen er optegnet i Figur 7-32.



Figur 7-32 KKØ-4.2 Længdeprofil boret tunnel og lavbro (Bilag 7-10 i bilagsmappen)

Ved Asnæs er der til den undersøgte løsning behov for omfattende cut & cover tunnel og trug pga. terrænet og behovet for tilstrækkeligt jorddække over den borede tunnel.

Tunnellængden portal-portal for denne korridor er 23,2 km. Det er væsentligt længere end for de kendte referenceprojekter, hvorfor tunneldrifts- og sikkerhedskonceptet vil skulle udvikles på ny.

7.7.5.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene fra projektering, udførelse og luftkvalitet i tunnel. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Broen er en lavbro som er magen til lavbroen i KKØ-2.5. Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2.

Den borede tunnel er med 23,2 km væsentligt længere end i KKØ-2.5, men bl.a. på grund af grund af nogenlunde samme dybde kan den projekteringsmæssigt sammenlignes med denne. Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2.

Den kunstige ø, som forbinder bro og boret tunnel, kan projekteringsmæssigt sammenlignes med øen i KKØ-2.5.

Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbane medfører, er der for en jernbanekonstruktion forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Den samlede vurdering af projekteringsrisikoen er, at den er i den lave ende af **Forhøjet**.

Udførelse

Broen er en lavbro som er magen til lavbroen i KKØ-2.5. Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2.

Den borede tunnel er med 23,2 km væsentligt længere end i KKØ-2.5, men bl.a. på grund af grund af nogenlunde samme dybde kan den udførelsesmæssigt sammenlignes med denne.

For anlæg af lange borede tunneller henvises der til begrænsninger beskrevet i [14] ("Maksimal anlægsteknisk længde for boret tunnel", fagnotat, COWI). Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2. Den borede tunnellængde er over 19 km, som kræver udførelse med en TBM fra hver side.

Den kunstig ø, som forbinder bro og boret tunnel, kan udførelsesmæssig sammenlignes med øen i KKØ-2.5.

Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanekonstruktion forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

Den samlede vurdering af projektriskobidraget hidrørende fra udførelsen er, at det er i den høje ende af **Forhøjet**.

Luftkvalitet i tunnel

Boret tunnel for KKØ-4.2 i kombination med bro (23,2 km) er i samme størrelsesorden som boret tunnel for KKØ-4.1 (25,6 km). Der henvises derfor til afsnit 7.7.3.2. Det er vurderet, at projektrisikobidraget forbundet med opfyldelse af krav til luftkvalitet for boret tunnel er i den høje ende af **Forventeligt**.

7.7.6 KKØ-4.3 Asnæs Syd – Hjalmarsgård (skråstagsbro)

7.7.6.1 Teknisk beskrivelse

Formålet med denne korridor er at opnå forbedrede forhold for skibstrafikken i sammenligning med de øvrige broløsninger fra Asnæs. Det bugtede forløb af korridoren skyldes således et hensyn til at skæring med Rute T sker så vinkelret som muligt, og et ønske om at undgå forløb gennem råstofområdet i Samsø Bælt.

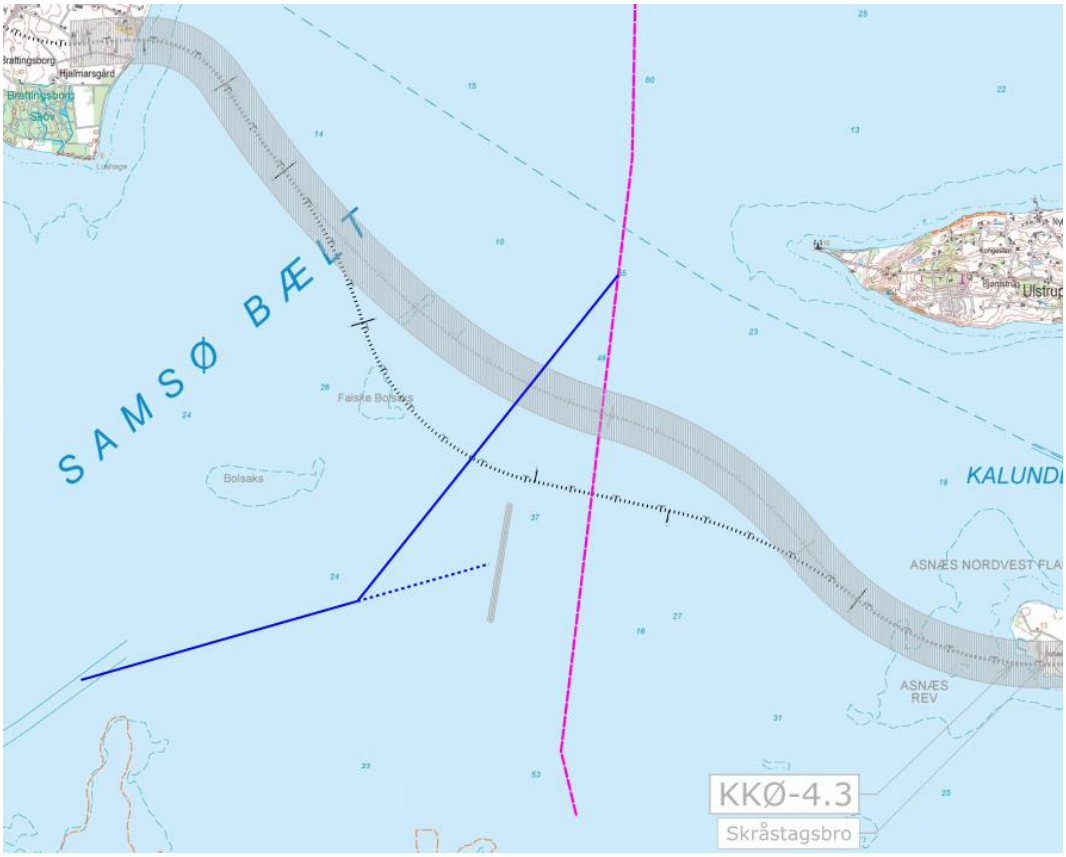
Vanddybden ved sejlrenden er mere moderat og jævn end ved KKØ-1 og KKØ-2. Derfor er anvendt en billigere skråstagsbroløsning med 3 pyloner og 2 gennemsejlingsfag svarende til Femernbælt konceptdesign, hvor gennemsejlingsfag havde 724 m spændvidde.

KKØ-4.3 korridoren ligger med skrå skæring af sejlruten på ca. 80 grader, hvorfor nødvendige hovedfag på Kattegat bliver ca. 750 m hver. Tilslutningsbroerne er højbro med 200 m faglængde. Tilslutningsfag er ved Asnæs er ført 150 m ind fra kystlinjen af miljømæssige hensyn.

Broløsningen er ikke optegnet men svarer til KKØ-3.1 vist i Figur 7-25.

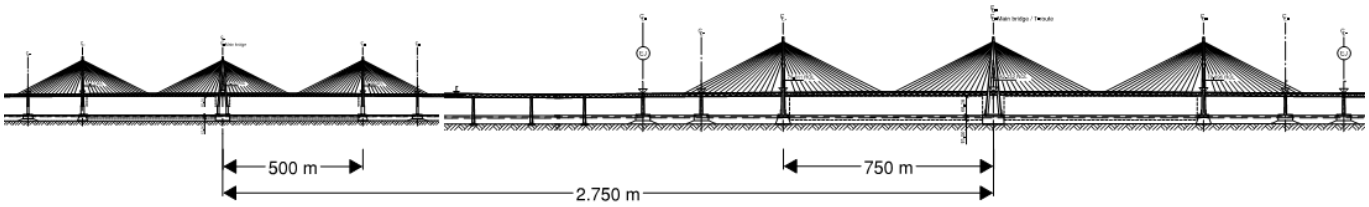
For at reducere skibsstødsrisikoen for den vestlige tilslutningsbro skal der anlægges et kunstigt rev både nord og syd for korridoren umiddelbart vest for knækpunkter på rute-T. Kunstige rev til skibsstødsbeskyttelse er beskrevet i afsnit 5.3.5.

Skibsstødsrisikoen er dog stadig stor mht. skibstrafik til/fra Lillebælt. Denne risiko kan dog nedsættes ved at udforme broen med 2 sekundære gennemsejlingsfag med hver ca. 500 m spændvidde vest for Rute T. Dette vil kræve en ekstra skråstagsbro og justering af linjeføringen. Forslag til sejlrute til/fra Lillebælt (blå linje) og mulig justeret linjeføring (stiplet linje) er vist i Figur 7-33.



Figur 7-33 Kortudsnit KKØ-4.3 Asnæs Syd – Hjalmarsgård (bro) samt mulig justeret linjeføring (stiplet grå linje)

Opstalt af den tilhørende mulige justerede broløsning er vist i Figur 7-34.



Figur 7-34 Mulig justeret broløsning for KKØ-4.3

Denne mulige justerede broløsning er dog ikke behandlet her og derfor heller ikke prissat; men udgør en optimeringsmulighed som anbefales undersøgt i en senere fase, såfremt et ønske om en ren broløsning fra Asnæs opretholdes samtidig med at en broløsning i KKØ-3.1 ikke vurderes mulig eller ønskelig.

7.7.6.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene fra projektering og udførelse. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Broløsningen i KKØ-4.3 minder meget om broløsningen i KKØ-3.1 og der henvises derfor til afsnit 7.5.2.2. for beskrivelse af projekteringsrisiko. Vanddybden ved skråstagsbroen er lidt større og højbroen er 2600 m kortere sammenlignet med tilsvarende broer i KKØ-3.1 men det ændrer ikke risikoniveauet.

Projekteringsrisikoen er bestemt af skråstagsbroen og vurderes som værende i den høje ende af **Forhøjet**.

Udførelse

Broløsningen i KKØ-4.3 minder meget om broløsningen i KKØ-3.1 og der henvises derfor til afsnit 7.5.2.2. for beskrivelse af udførelsesrisiko.

Projektrisikobidraget fra udførelsen er bestemt af skråstagsbroen og vurderes som værende i den høje ende af **Forhøjet**.

7.7.7 KKØ-4.3 Asnæs Syd – Hjalmarsgård (sænketunnel og lavbro)

7.7.7.1 Teknisk beskrivelse

Den tekniske løsning er sænketunnel, kunstig ø og lavbro. KKØ-4.3 svarer til KKØ-3.1 bortset fra at den er beliggende nordligere på dybere vand og går i land i Hjalmarsgård. Der henvises derfor til afsnit 7.5.3.1.

7.7.7.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene fra projektering, udførelse og luftkvalitet i tunnel. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Broen er en lavbro som er magen til lavbroen i KKØ-2.5 blot 200 m længere. Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2.

Sænketunnelen på 17,6 km er lidt længere end i KKØ-3.1, men kan bl.a. på grund af samme vanddybde projekteringsmæssig sammenlignes denne. Der henvises derfor til afsnit 7.3.5.2.

Den kunstige ø, som forbinder bro og sænketunnel, kan projekteringsmæssigt sammenlignes med øen i KKØ-2.5. Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2.

Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbane medfører, er der for en jernbanekonstruktion forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Den samlede vurdering af projekteringsrisikoen er, at den er i den høje ende af **Forventelig**.

Udførelse

Broen er en lavbro som er magen til lavbroen i KKØ-2.5 blot 200 m længere. Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2.

Sænketunnelen på 17,6 km er lidt længere end i KKØ-3.1, men kan bl.a. på grund af samme vanddybde udførelsesmæssigt sammenlignes med denne. Der henvises derfor til afsnit 7.3.5.2.

Den kunstige ø, som forbinder bro og sænketunnel, kan udførelsesmæssigt sammenlignes med øen i KKØ-2.5. Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2.

Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanekonstruktion forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

Den samlede vurdering af projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen er, at det er i den lave ende af **Forhøjet**.

Luftkvalitet i tunnel

Sænketunnel for KKØ-4.3 er lidt kortere end sænketunnel for KKØ-2.1. Der henvises derfor til afsnit 7.3.5.2. Det er vurderet, at projektrisikobidraget forbundet med opfyldelse af krav til luftkvalitet for sænketunnel er i den høje ende af **Forventeligt**.

7.8 Oversigt over projektrisikobidrag

Projektrisikobidragene beskrevet i foranstående vurderingsafsnit er resumeret i stikordsform i Tabel 7-4.

Sammenlignelige korridorer og tekniske løsninger er her samlet i grupper med samme projektrisikoniveau. For hver af disse er angivet udgangspunkter for projektrisikovurderingen (markeret med et √) efterfulgt af en oplistning af de væsentligste projektrisikobidrag fra projektering, udførelse og sikring af luftkvalitet i tunneler. I kolonnen til højre er niveauet af projektrisikobidragene angivet.

Tabel 7-4 Oversigt over projektrisikobidrag for KKØ

Korridor og løsning	Udgangspunkter (√) samt væsentligste projektrisikobidrag (÷)	Vurdering af projektrisikobidrag
KKØ-1.1 Bro	√ Hængebro og tilslutningsbroer ligner i udformning Østbroen over Storebælt, som dog er uden jernbane √ De lokale forhold vurderes som værende sammenlignelige med Storebælt ÷ Hovedfaget på 1900 m er væsentlig større end Østbroen og er sammenlignelig med verdens længste bro i dag, så der er begrænset erfaring med hængebroer af denne størrelse ÷ Udfordringer mht. aerodynamik kan medføre at drageren skal udformes som en "twin-box" drager ÷ Orienteret i nordvestlig retning, hvilket er den mest kritiske orientering mht. vind. Vindskærme lokalt ved pyloner og ankerblokke eller langs hele hængebroen kan blive nødvendige ÷ Toppen af pylonerne, samt den øverste del af hovedkabler og cat-walk, er næsten 300 m over havets overflade, hvor vindpåvirkninger er betragtelige, hvorfor arbejdet bliver meget følsomt for vejrlig ÷ Den østlige pylon er funderet på mere end 42 m vanddybde, hvilket er betydelige dybere end ved Storebælts Østbro ÷ Noget af arbejdet kommer til at foregå nær Rute T, hvilket stiller nogle ekstra krav; men de vil kunne håndteres og planlægges ÷ Jernbanen stiller ekstra krav til projektering og udførelse, og dokumentationskravene for opnåelse af godkendelser er væsentligt forøgede, hvilket erfaringsmæssigt kan føre til forsinkelser	Projektering og udførelse: Den høje ende af **Forhøjet**
KKØ-2.1 Bro KKØ-2.2 Bro KKØ-2.3 Bro KKØ-2.4 Bro	√ Hængebro og tilslutningsbroer som i størrelse og udformning meget ligner Østbroen over Storebælt, som dog er uden jernbane √ De lokale forhold vurderes som værende sammenlignelige med Storebælt, så der er både dansk og international erfaring med hængebroer af denne størrelse ÷ Ankerblokkene er funderet på ca. 20 m vanddybde, hvilket er betydeligt dybere end Østbroens funderingsdybde på 11 m ÷ Vindskærme lokalt ved pyloner og ankerblokke eller langs hele hængebroen kan blive nødvendige ÷ Noget af arbejdet kommer til at foregå nær Rute T, hvilket stiller nogle ekstra krav; men de vil kunne håndteres og planlægges ÷ Jernbanen stiller ekstra krav til projektering og udførelse, og dokumentationskravene for opnåelse af godkendelser er væsentligt forøgede, hvilket erfaringsmæssigt kan føre til forsinkelser	Projektering og udførelse: **Forhøjet**

Korridor og løsning	Udgangspunkter (√) samt væsentligste projektrisikobidrag (÷)	Vurdering af projektrisikobidrag
KKØ-2.1 ST KKØ-2.6-ST	√ Tunneltværsnittet og linjeføring er sammenlignelig med Femern sænketunnel og andre tilsvarende tunneller hvorfor drifts- og sikkerhedskoncepter herfra forventes at kunne anvendes √ Tunnellængden og dybden er sammenlignelig med Femern sænketunnel med et princip kendt fra andre tilsvarende tunneller hvorfor udførelseskoncepter herfra forventes at kunne anvendes ÷ Sænketunnelen tænkes på en kort strækning placeret på en dæmning på havbunden, hvilket er usædvanligt og dermed forøges risikoen ÷ Noget af arbejdet kommer til at foregå nær Rute T, hvilket stiller nogle ekstra krav; men de vil kunne håndteres og planlægges ÷ Udgravning til tunnelrende i hårde materialer vil kunne udgøre en ekstra udfordring for udførelsen ÷ Tunnelen er forholdsvis lang hvilket øger kravet til sikring af luftkvaliteten. ÷ Jernbanen stiller ekstra krav til projektering og udførelse, og dokumentationskravene for opnåelse af godkendelser er væsentligt forøgede, hvilket erfaringsmæssigt kan føre til forsinkelser	Projektering: Den lave ende af **Forhøjet** Udførelse: **Forhøjet** Sikring af luftkvalitet: Den høje ende af **Forventeligt**
KKØ-3.1 Bro KKØ-4.3 Bro	√ Skråstagsbroen med to 750 m hovedfag vil ikke have nævneværdige udfordringer mht. vind da brotypen med torsionsstiv gitterdrager er en velafprøvet løsning med gode aerodynamiske egenskaber √ Funderingsdybder for pyloner er sammenlignelige med Storebælts Østbro og konceptdesign for en Femernbro √ Tilslutningsbroerne er sammenlignelige med Østbroen over Storebælt, som dog er uden jernbane ÷ Skråstagsbroen er baseret på et konceptdesign, men dog ikke på en opført bro med samme spændvidde, så der er begrænset erfaring med skråstagsbroer af denne type og størrelse. ÷ Orienteret i nordvestlig retning, hvilket er den mest kritiske orientering mht. vind. Vindskærme lokalt ved pyloner eller langs hele skråstagsbroen kan blive nødvendige ÷ Toppen af pylonerne, samt de øverste skråstag, er op til 275 m over havets overflade, hvor vindpåvirkninger er betragtelige, hvorfor arbejdet bliver meget følsomt for vejrlig ÷ De vestlige anker- og overgangspiller er funderet på 33-36 m vanddybde, hvilket er betydelige dybere end ved Storebælts Østbro ÷ Noget af arbejdet kommer til at foregå nær Rute T, hvilket stiller nogle ekstra krav; men de vil kunne håndteres og planlægges ÷ Jernbanen stiller ekstra krav til projektering og udførelse, og dokumentationskravene for opnåelse af godkendelser er væsentligt forøgede, hvilket erfaringsmæssigt kan føre til forsinkelser	Projektering og udførelse: Den høje ende af **Forhøjet**

Korridor og løsning	Udgangspunkter (√) samt væsentligste projektrisikobidrag (÷)	Vurdering af projektrisikobidrag
KKØ-3.1 Bro+ST KKØ-3.3 Bro+ST KKØ-4.3 Bro+ST	√ Broen er en lavbro som i størrelse og udformning meget ligner Vestbroen over Storebælt √ Tunneltværsnittet og linjeføring er sammenlignelig med Femern sænketunnel og andre tilsvarende tunneller hvorfor drifts- og sikkerhedskoncepter herfra forventes at kunne anvendes √ Tunnellængden og dybden er sammenlignelig med Femern sænketunnel med et princip kendt fra andre tilsvarende tunneller hvorfor udførelseskoncepter herfra forventes at kunne anvendes √ Der er både dansk og international erfaring med kunstige øer af denne størrelse og vanddybde. ÷ Den kunstige ø placeres på vanddybde omkring 20 m hvilket ikke er usædvanligt sammenlignet med tilsvarende kunstige øer, men dog i den højere ende ÷ Udgravning til tunnelrende i hårde materialer vil kunne udgøre en ekstra udfordring for udførelsen ÷ Noget af arbejdet kommer til at foregå nær Rute T, hvilket stiller nogle ekstra krav; men de vil kunne håndteres og planlægges ÷ Tunnelen er forholdsvis lang hvilket øger kravet til sikring af luftkvaliteten. ÷ Jernbanen stiller ekstra krav til projektering og udførelse, og dokumentationskravene for opnåelse af godkendelser er væsentligt forøgede, hvilket erfaringsmæssigt kan føre til forsinkelser	Projektering og sikring af luftkvalitet: Den høje ende af **Forventeligt** Udførelse: Den lave ende af **Forhøjet**
KKØ-2.5 Bro+BT KKØ-3.2 Bro+BT KKØ-3.4 Bro+BT KKØ-4.1 Bro+BT	√ Broen er en lavbro som i størrelse og udformning meget ligner Vestbroen over Storebælt √ Linjeføring for den borede tunnel er placeret således at dybden er indenfor erfaringsrammen for udførelse √ Tunneltværsnit og linjeføring er sammenlignelig med andre tilsvarende borede tunneler hvorfor forudsatte drifts- og sikkerhedskoncepter forventes at kunne anvendes √ Tunnellængden og diameteren er hver for sig sammenlignelig med andre tilsvarende tunneller hvorfor udførelseskoncepter herfra forventes at kunne anvendes. Der er i evalueringen lagt vægt på at tunnellængden er under 19 km √ Der er både dansk og international erfaring med kunstige øer af denne størrelse og vanddybde ÷ Kombinationen af længden og diameteren af den borede tunnel er usædvanlig og dermed forøges risikoen. ÷ Den kunstige ø placeres på vanddybde omkring 20 m, hvilket ikke er usædvanligt sammenlignet med tilsvarende kunstige øer, men dog i den højere ende ÷ Jernbanen stiller ekstra krav til projektering og udførelse, og dokumentationskravene for opnåelse af godkendelser er væsentligt forøgede, hvilket erfaringsmæssigt kan føre til forsinkelser	Projektering: Den lave ende af **Forhøjet** Udførelse: **Forhøjet** Sikring af luftkvalitet: **Forventeligt**

Korridor og løsning	Udgangspunkter (√) samt væsentligste projektrisikobidrag (÷)	Vurdering af projektrisikobidrag
KKØ-4.1 BT	√ Linjeføring for den borede tunnel er placeret således at dybden er inden-for erfaringsrammen for udførelse √ Tunneltværsnit og linjeføring er sammenlignelig med andre tilsvarende borede tunneler hvorfor forudsatte drifts- og sikkerhedskoncepter forventes at kunne anvendes √ Tunnellængden og diameteren er hver for sig sammenlignelig med andre tilsvarende tunneller hvorfor udførelseskoncepter herfra forventes at kunne anvendes. Der er i evalueringen lagt vægt på at tunnellængden er under 19 km. √ Der er både dansk og international erfaring med kunstige øer af denne størrelse og vanddybde ÷ Kombinationen af længden og diameteren af boret tunnel er usædvanlig og dermed forøges risikoen. Teori og praksis viser at to TBM (en fra hver side) vil kunne bore hele strækningen ÷ Tunnelen er den længste af de undersøgte tunneler, hvilket øger kravet til sikring af luftkvaliteten. ÷ Jernbanen stiller ekstra krav til projektering og udførelse, og dokumentationskravene for opnåelse af godkendelser er væsentligt forøgede, hvilket erfaringsmæssigt kan føre til forsinkelser	Projektering: Den lave ende af **Forhøjet** Udførelse: Den høje ende af **Forhøjet** Sikring af luftkvalitet: Den høje ende af **Forventeligt**
KKØ-4.2 Bro+BT	√ Broen er en lavbro som i størrelse og udformning meget ligner Vestbroen over Storebælt √ Tunneltværsnit og linjeføring er sammenlignelig med andre tilsvarende borede tunneler hvorfor forudsatte drifts- og sikkerhedskoncepter forventes at kunne anvendes √ Tunnellængden og diameteren er hver for sig sammenlignelig med andre tilsvarende tunneller hvorfor udførelseskoncepter herfra forventes at kunne anvendes. Der er i evalueringen lagt vægt på at tunnellængden er over 19 km. √ Der er både dansk og international erfaring med kunstige øer af denne størrelse og vanddybde ÷ Kombinationen af længden og diameteren af den borede tunnel er usædvanlig og dermed forøges risikoen. Teori og praksis viser at to TBM (en fra hver side) vil kunne bore hele strækningen ÷ Den kunstige ø placeres på vanddybde omkring 20 m hvilket ikke er usædvanligt sammenlignet med tilsvarende kunstige øer, men dog i den højere ende ÷ Tunnelen er lang, hvilket øger kravet til sikring af luftkvaliteten. ÷ Jernbanen stiller ekstra krav til projektering og udførelse, og dokumentationskravene for opnåelse af godkendelser er væsentligt forøgede, hvilket erfaringsmæssigt kan føre til forsinkelser	Projektering: Den lave ende af **Forhøjet** Udførelse: Den høje ende af **Forhøjet** Sikring af luftkvalitet: Den høje ende af **Forventeligt**

8 Undersøgte korridorer og tekniske løsninger – Samsø-Jylland (KKV)

8.1 Generelt

Korridorbeskrivelserne indeholder beskrivelser af de undersøgte korridorer. De undersøgte korridorer er oftest stærkt forbundne med konstruktionstypen (bro, sænketunnel, boret tunnel og kombinationer heraf). Derfor indeholder korridorbeskrivelserne forhold, som er specifikke for hver af de undersøgte konstruktionstyper.

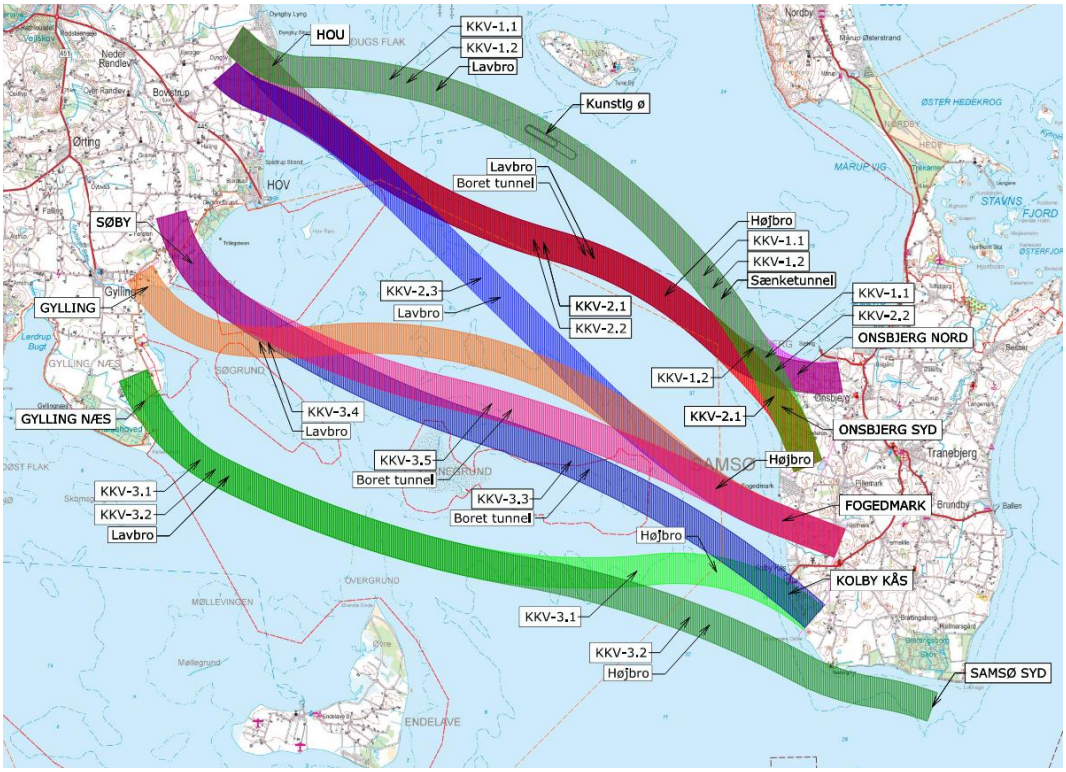
Der er undersøgt tre overordnede korridorer for kyst-kyst vest for Samsø (KKV).

Tabel 8-1 De tre undersøgte overordnede KKV-korridorer

Overordnet korridor	Overordnet landing Samsø	Overordnet landing Jylland
KKV-1	Onsbjerg	Nord for Hou
KKV-2	Onsbjerg/Fogedmark	Nord for Hou
KKV-3	Fogedmark/Kolby Kås	Syd for Hou

Disse tre overordnede korridorer kan forbindes med flere ilandføringspunkter på land. For KKV-3 er korridor syd om Samsø uden ilandføring på Samsø også undersøgt. Her haves et punkt på åbent hav syd for Samsø, hvor KKV-3 korridoren mødes med KKØ-korridorer. Herved opnås i alt 10 korridorer for KKV. De forskellige varianter af hver overordnet korridor er nummereret fortløbende i niveau 2, f.eks. KKV-2.1, og benævnes korridorer.

Korridorerne er vist i Figur 8-1 sammen med geografiske ilandføringspunkter og konstruktionstyper.



Figur 8-1 KKV-korridorer, geografiske ilandføringspunkter og konstruktionstyper (Bilag 8-1 i bilagsmappen)

Der er undersøgt 10 korridorer for kyst-kyst vest for Samsø (KKV).

- Fire nordlige korridorer KKV-1.1, KKV-1.2, KKV-2.1 og KKV-2.2 med udgangspunkt ved Onsbjerg på Samsø og landgangspunkt ved Hou i Jylland. Disse korridorer er kortest til havs, men berører til gengæld, når forbundet med korridorer fra Hjalmarsgård eller Vesborg Fyr, Samsø mest;
- Tre centrale korridorer KKV-2.3, KKV-3.4 og KKV-3.5 med udgangspunkt i Fogedmark på Samsø. Disse korridorer sikrer mindst påvirkning af Samsø for kombination med KKØ-korridorer med ilandføring i Hjalmarsgård samtidig med at de ikke berører naturfølsomme Gylling Næs;
- Tre sydlige korridor KKV-3.1, KKV-3.2 og KKV-3.3 med udgangspunkt ved Kolby Kås på Samsø eller muligheden for at gå helt syd om Samsø, uden tilslutning til Samsø. Disse korridorer sikrer mindst påvirkning af Samsø men 2 af dem berører Gylling Næs.

Der anvendes 3 overordnede konstruktionstyper; bro, sænketunnel og boret tunnel. Disse kan anvendes enten som rene kyst-kyst løsninger (3 løsninger per korridor) eller i kombination bro og tunnel via en kunstig ø (2 løsninger per korridor). For hver korridor er der derfor 5 løsninger (3+2) i 10 korridorer, der samlet teoretisk set giver 50 løsninger. For hver korridor er der valgt den konstruktionstype som umiddelbart er vurderet at være den mest realiserbare. For hver korridor er der valgt én konstruktionstype, dog er der for den korte korridor KKV-2.1 foruden en broløsning også undersøgt en boret tunnel, da denne vil være optimal både for natur og miljø samt for skibsfarten. I alt 11 løsninger er undersøgt og beskrevet i detaljer.

De undersøgte korridorer fremgår af nedenstående Tabel 8-2. Konstruktionstyperne er angivet med kryds i kolonnerne til højre.

Tabel 8-2 Oversigt over undersøgte KKV-korridorer

Ilandførings-punkt Samsø	Ilandførings-punkt Jylland	Korridornavn	Hængebro	Skråstagsbro	Højbro	Lavbro 100 m fag	Lavbro 60 m fag	Kunstig ø	Sænketunnel	Boret tunnel	Afsnit
Onsbjerg	Hou	KKV-1.1 Onsbjerg Nord - Hou				x		x	x		8.2
		KKV-1.2 Onsbjerg Syd - Hou				x		x	x		
		KKV-2.1 Onsbjerg Syd - Hou			x	x					
		KKV-2.1 Onsbjerg Syd - Hou								*x*	
		KKV-2.2 Onsbjerg Nord - Hou			x	x					
Fogedmark	Hou	KKV-2.3 Fogedmark - Hou			x	x					8.3
Kolby Kås	Gylling Næs	KKV-3.1 Kolby Kås - Gylling Næs			x		x				8.4
	Søby	*KKV-3.3 Kolby Kås - Søby*								*x*	*8.5*
Fogedmark	Gylling	KKV-3.4 Fogedmark - Gylling			x		x				8.6
	Søby	KKV-3.5 Fogedmark - Søby								x	8.7
Samsø Syd	Gylling Næs	KKV-3.2 Samsø Syd - Gylling Næs			x		x				8.8

To af korridorløsningerne ovenfor er vist med *kursiv og grå font,* da de udgør alternativer som er tilføjet undervejs i processen, og derfor ikke er miljøundersøgt. De er af samme grund ikke behandlet i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll).

Fælles for korridorerne er, at de krydser sejlrenden nær Samsø, hvor vanddybden varierer mellem 30 m og 40 m afhængig af korridor. Ellers varierer vanddybden meget indenfor de 3 korridorer, mellem 5 m og 20 m.

Længdeprofiler med angivelse af mest oplagte konstruktionstyper er optegnet for syv udvalgte løsninger. Konstruktionstyper omfatter bro på hele strækningen eller kombineret bro og tunnel inklusiv kunstig ø ved overgang fra bro til tunnel. For tunnelløsningen er omfang af cut & cover tunnel og trug desuden undersøgt.

Ved valg af broløsninger på KKV er det forudsat at en lille del af skibstrafikken kan tillades ledt øst om Samsø, så der kun vil være behov for moderate gennemsejlingsfag som i udgangspunktet er vurderet at kunne udføres som bjælkebroer med 200 m spændvidde. Denne faglængde udført som bjælkebro er desuden anvendt for dele over dybt vand. For resterende dele er anvendt lavbroer med 100 m fag, bortset fra to sydlige korridorer hvor vanddybderne er så lave, at det ud fra en anlægsteknisk vurdering skønnes mere optimalt at anvende en lavbro med 60 m fag.

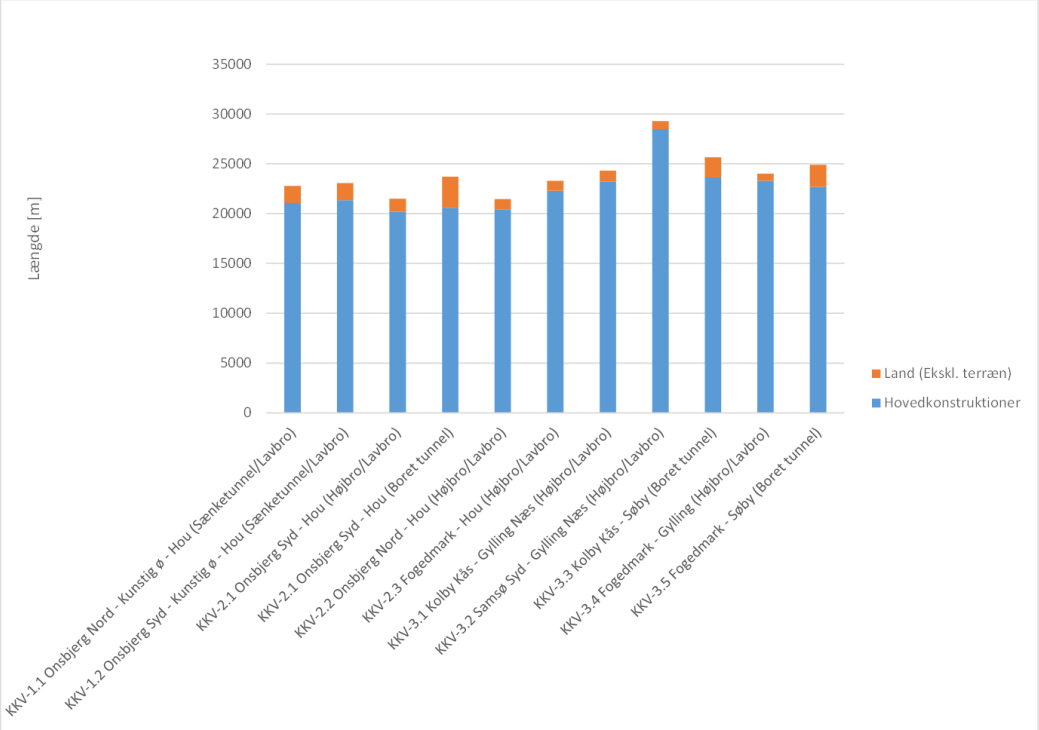
Tunnelløsningerne udmærker sig ved ikke at berøre skibstrafikken, hvorfor der er undersøgt 2 kombinerede løsninger med bro og sænketunnel, hvor sænketunnelen sikrer frie navigationsforhold i sejlrenden vest for Samsø. En boret tunnel er også undersøgt,

da den har samme fordele for skibstrafikken og tillige ikke belaster miljøet under udførelsen som udgravning til sænketunnel (sedimentspild).

For nøjere beskrivelser af de enkelte korridorer henvises til afsnittene angivet i højre kolonne i Tabel 8-2 ovenfor.

8.1.1 Korridorlængder

Længder af de forskellige KKV-korridorer er sammenlignet i Figur 8-2 og Tabel 8-3.



Figur 8-2 Korridorlængder for KKV-korridorer

Konstruktionslængder opdelt i konstruktionstyper er angivet i Tabel 8-3. Tunnel inkluderer sænketunnel hhv. boret tunnel samt cut & cover tunnel. Kunstig ø længde er fra hvor sænketunnel stopper og til hvor bro starter. Den kunstige ø er lidt længere da der er overlap i begge ender mellem ø og tunnel hhv. bro. For definition af længder, se afsnit 3.3 og Figur 3-1.

Korridorerne er på kortskitserne i denne Baggrundsrapport vist som 1 km brede bånd inden for hvilket en linjeføring vil kunne placeres. Af hensyn til entydighed er korridorlængder opgjort i centerlinjen af disse korridorbånd. Hvis en linjeføring lægges yderligt inden for båndet, vil det kunne medføre en ændring af den samlede længde af konstruktionerne.

Tabel 8-3 KKV-korridorer, længder kyst-kyst og af konstruktioner [m]

Korridor	Konstruktionstype	Kyst-kyst [1]	Hovedkonstruktioner				Sekundære konstruktioner					Tunnel	I alt
			Bro [2]	Sænke-/boret tunnel [3]	Kunstig ø [4]	I alt	Cut& cover [5]	Trug [5]	Dæmning [5]	Udflet-nings anlæg	I alt	Inkl. cut& cover i alt	Konstruk-tioner [6]
KKV-1.1	Sænketunnel/Lavbro	21050	8800	11200	1050	21050	967	833	975	0	2775	12167	22775
KKV-1.2	Sænketunnel/Lavbro	21350	8800	11500	1050	21350	967	833	970	0	2770	12467	23070
KKV-2.1	Højbro/Lavbro	20100	20200	0	0	20200	0	0	1300	0	1300	0	21500
KKV-2.1	Boret tunnel	20050	0	20600	0	20600	2000	1100	0	0	3100	22600	23700
KKV-2.2	Højbro/Lavbro	20300	20400	0	0	20400	0	0	1060	0	1060	0	21460
KKV-2.3	Højbro/Lavbro	22150	22300	0	0	22300	0	0	975	0	975	0	23275
KKV-3.1	Højbro/Lavbro	23100	23220	0	0	23220	0	0	1100	0	1100	0	24320
KKV-3.2	Højbro/Lavbro	28400	28480	0	0	28480	0	0	800	0	800	0	29280
KKV-3.3	Boret tunnel	22700	0	23650	0	23650	1200	800	0	0	2000	24850	25650
KKV-3.4	Højbro/Lavbro	23200	23280	0	0	23280	0	0	740	0	740	0	24020
KKV-3.5	Boret tunnel	21550	0	22700	0	22700	1400	800	0	0	2200	24100	24900

[1] Afstanden imellem kystlinjerne (ilandføringspunkterne)

[2] Afstanden imellem broendevederlagene

[3] Afstanden imellem overgangen til cut & cover tunnel i hver ende

[4] Summen af længden af cut & cover, trug og dæmning på en kunstig ø

[5] Her er angivet de totale længder inkl. dem der allerede indgår i kolonnen for kunstig ø

[6] Den totale længde imellem punkterne hvor konstruktionerne (dæmning fra et brovederlag eller trug fra en tunnel) møder naturligt terræn (kan ikke opgøres som en summation af de foranstående kolonner, da kolonnerne beskrevet i note [4] og [5] overlapper hinanden).

8.2 Onsbjerg - Hou

8.2.1 Korridorbeskrivelse

Korridorerne KKV-1 og KKV-2 fra Onsbjerg til Hou behandles samlet i dette afsnit da ilandføringspunkterne er sammenfaldende.

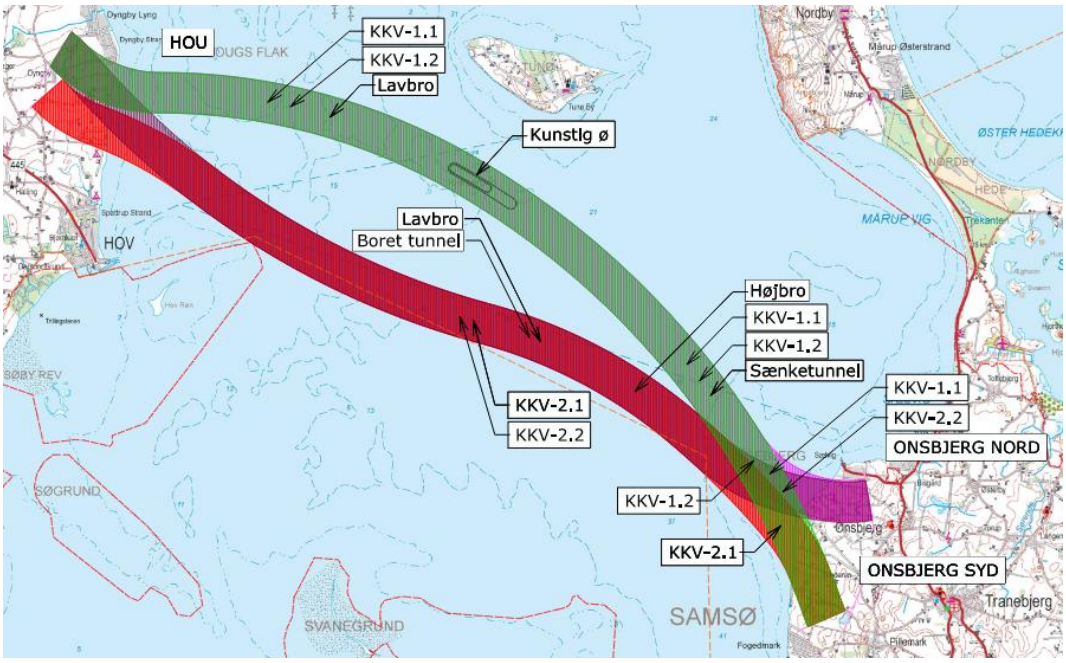
KKV-1 er den nordligste af de 3 undersøgte korridorer vest for Samsø. Det er den af de 3 korridorer, der har den største afstand til Natura 2000-området og korridoren går over en grund, hvor der er mulighed for lettere end på dybere vand at etablere en kunstig ø og hermed opdele strækningen i bro og tunnel. Etablering af en del af strækningen med en tunnelløsning har den fordel, at skibstrafikken kan sejle uhindret vest om Samsø. Korridoren passerer tæt på Tunø med en afstand fra nordlige korridorgrænse ved kunstig ø til Tunø på ca. 1,7 km.

KKV-2 ligger lidt sydligere og herved opnås den korteste korridorlængde mellem Samsø og Jylland.

Fire varianter er valgt undersøgt:

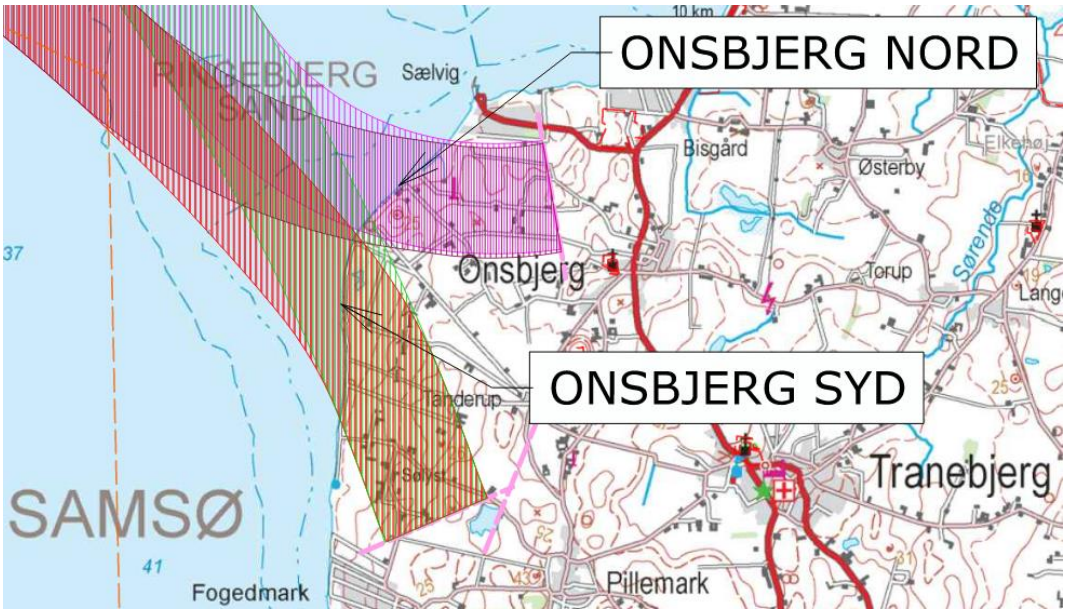
- KKV-1.1 starter i ilandføringspunkt Onsbjerg Nord og slutter i ilandføringspunkt Hou. Den samlede længde mellem ilandføringspunkter er her 21,1 km. Korridoren kan udelukkende kombineres med KKØ-1 og en nordlig passage af Samsø jf. afsnit 9.2.
- KKV-1.2 starter i ilandføringspunkt Onsbjerg Syd og slutter i ilandføringspunkt Hou, hvilket giver en lidt længere korridor. Herved bliver den samlede længde mellem ilandføringspunkter 21,4 km. Korridoren kan kombineres med KKØ-2, KKØ-3 og KKØ-4 korridorerne, som alle har ilandføring på den sydlig del af Samsø.
- KKV-2.1 starter i ilandføringspunkt Onsbjerg Syd og slutter i ilandføringspunkt Hou. Den samlede længde mellem ilandføringspunkter er her 20,1 km. Korridoren kan kombineres med KKØ-2, KKØ-3 og KKØ-4 korridorerne.
- KKV-2.2 starter i ilandføringspunkt Onsbjerg Nord og slutter i ilandføringspunkt Hou, hvilket giver en lidt længere korridor. Herved bliver den samlede længde mellem ilandføringspunkter 20,3 km. Korridoren kan udelukkende kombineres med KKØ-1 og en nordlig passage af Samsø jf. afsnit 9.2.

De undersøgte korridorers placering er vist på kortudsnittet i Figur 8-3 nedenfor.



Figur 8-3 *KKV-1.1 Onsbjerg Nord – Hou (sænketunnel – kunstig ø – bro)*
KKV-1.2 Onsbjerg Syd – Hou (sænketunnel – kunstig ø – bro)
KKV-2.1 Onsbjerg Syd – Hou (bro og boret tunnel)
KKV-2.2 Onsbjerg Nord – Hou (bro)

Ilandføringspunkter ved Onsbjerg er vist på kortudsnittet i Figur 8-4 nedenfor.

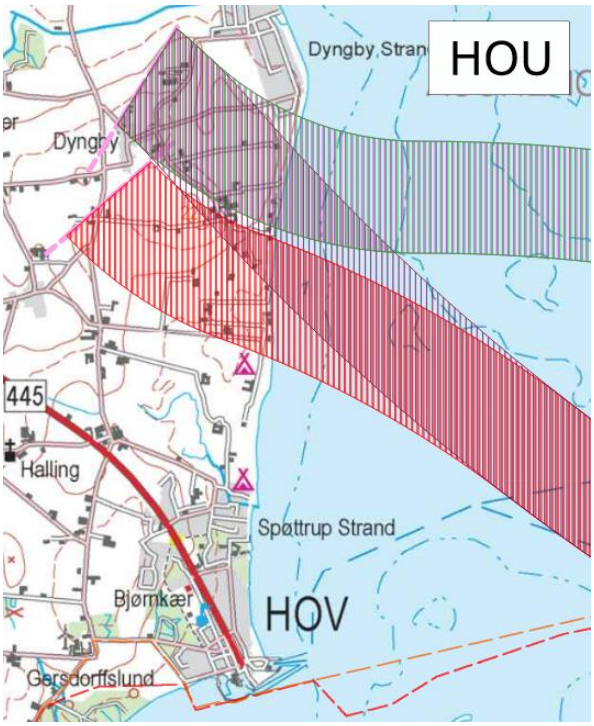


Figur 8-4 *Ilandføringspunkter ved Onsbjerg*

Orange stiplede linjer markerer Natura 2000-områder mens røde stiplede linjer markerer særligt betydningsfulde områder. Ilandføringspunkterne er ikke i nærheden af disse områder. Placering af ilandføringspunkterne Onsbjerg Nord og Onsbjerg Syd er bestemt for at opnå den korteste afstand til havs mellem Samsø og Jylland. Placering af

ilandføringspunkt Onsbjerg Nord er desuden valgt for at undgå en lokal forhøjning i terrænet umiddelbart syd for ilandføringspunktet.

Ilandføringspunkt ved Hou er vist på kortudsnittet i Figur 8-5 nedenfor.



Figur 8-5 Ilandføringspunkt ved Hou

Der er ingen Natura 2000 områder eller særligt betydningsfulde områder i nærheden af dette ilandføringspunkt. Ilandføringspunkt Hou er på nuværende stadie ikke ét veldefineret punkt men i stedet 3 områder hvor ilandføring kan foregå under hensyn til sommerhusområdet Dyngby Strand, større bebyggelser og campingpladser. Den endelige placering afhænger af udformning af landanlæg.

En nordligere placering af KKV-1-korridoren vurderes ikke mulig af følgende årsager:

- Korridoren vil passere meget tæt på Tunø, hvilket kan være uhensigtsmæssigt mht. landskabsanalyser og støj;
- Afstanden til havvindmølleparken ved Tunø Knob vil blive kortere, hvilket kan være uhensigtsmæssigt for en broløsning, både for vindmøllerne og bro, bl.a. mht. skyggevirkninger og turbulens;
- Del af korridor nær Tunø vil være på dybere vand, hvilket gør det mindre oplagt at anlægge kunstig ø til brug ved kombineret bro og tunnelløsning;
- Ilandføringspunkt på Samsø vil ligge for nordligt mht. landkorridoren;
- Korridorerne vil blive længere.

For sydligere placering er anvendt korridorerne KKV-2.1 og KKV-2.2.

Placering af korridorerne KKV-2.1 og KKV-2.2 er valgt for at opnå den korteste korridor på vand, som netop er uden for Natura 2000-området.

Hvor Korridor KKV-1 på dette stadie er udvalgt som den mest realiserbare korridor mellem Onsbjerg og Hou for en kombineret sænketunnel og bro, er KKV-2 på det foreliggende grundlag vurderet mest realiserbar for en ren broløsning og ren boret tunnelløsning, da det er de mest direkte linjeføringer mellem Onsbjerg og Hou.

8.2.2 KKV-1.1 Onsbjerg Nord – Hou (sænketunnel og lavbro)

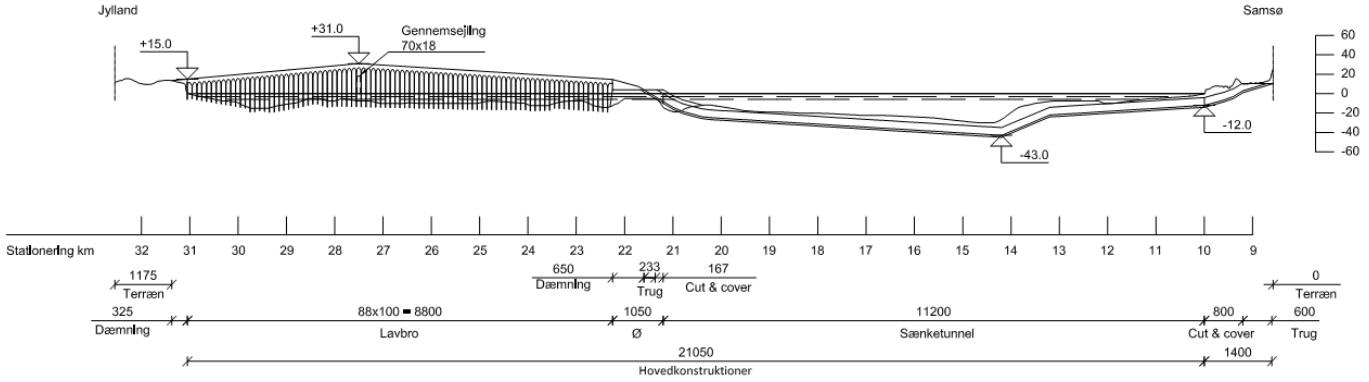
8.2.2.1 Teknisk beskrivelse

Den valgte tekniske løsning er kombineret bro og sænketunnel.

Sænketunnel er i denne del af forundersøgelsen anvendt over den østlige del af korridoren hvor sejlruten krydses, og der er størst vanddybde. Dette vil tillade passage af al den skibstrafik i renden mellem Samsø og Tunø, som passerer der i dag.

Hvor korridoren passerer en grund med kun 5 m vanddybde er konstruktionstypen skiftet til lavbro med 100 m fag. Der etableres en kunstig ø som overgangskonstruktion fra tunnel til bro.

Denne kombinerede bro- og tunnelløsning er optegnet i Figur 8-6.

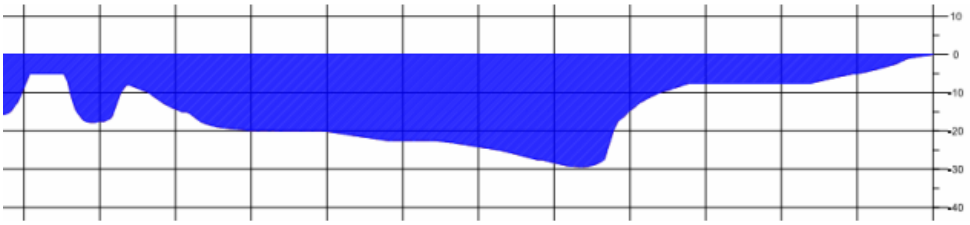


Figur 8-6 KKV-1.1 Længdeprofil sænketunnel og lavbro (Bilag 8-2 i bilagsmappen)

Lavbro svarende til Storebælt Vestbro er på det foreliggende grundlag vurderet som den foretrukne broløsning, da både vanddybde og skibstrafik er sammenlignelig med forholdene ved Storebælt Vestbro.

Sænketunnelen svarer i dybde til Femern tunnelen, men er med en længde på 11,2 km væsentlig kortere end Femerns 18 km. På strækningen er maksimal dybde omkring 30 m. Det vil sige, at der kan etableres en sænketunnel med maksimal funderingsdybde på 40 m, hvilket er inden for erfaringerne fra en større gruppe af andre projekter (Busan-Geoje, Hong Kong – Zhuhai – Macao mfl.).

Ved Samsø er der behov for en cut & cover tunnel og trug, formodentlig med grundvandssænkning under udførelse pga. terrænkoten.



Figur 8-7 KKV-1 Østlige farvand mod Samsø

En sænketunnel på ca. 11,2 km er væsentligt kortere end Femern tunnelen på 18 km, og det antages derfor, at drift – og sikkerhedskoncepterne herfra kan adapteres i betydeligt omfang til trods for ændrede projektforhold i øvrigt. Tunnelen passerer depressionen lige vest for Samsø, men vil have et dybdepunkt cirka 40 m under vandoverfladen. Tunnelen vil være relativt kort sammenlignet med tunnelløsningerne på KKØ. Sænketunnelen vil være 11,2 km og den samlede længde mellem tunnelportaler vil være 12,8 km.

8.2.2.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene fra projektering, udførelse og luftkvalitet i tunnel. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Broen er en lavbro som i størrelse og udformning ligner Vestbroen over Storebælt. Spændvidden er lidt kortere, gennemsnitsvanddybde er ca. det halve og den samlet brolængde på er 33% længere sammenlignet med Vestbroen.

Sænketunnelen er med 12,2 km noget kortere end i KKØ-3.1 og på lidt mindre vanddybde, men kan projekteringsmæssigt dog sammenlignes med denne. Der henvises derfor til afsnit 7.3.5.2.

Projekteringen af den kunstige ø kan sammenlignes med projekteringen af de kunstige øer for Storebæltsforbindelsen (Sprogø) og Øresundsforbindelsen (Peberholm), og er således ikke usædvanlig.

Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbane medfører, er der for en jernbanekonstruktion forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Den samlede vurdering af projekteringsrisikoen er, at den er i den høje ende af **Forventelig**.

Udførelse

Broen er en lavbro som i størrelse og udformning ligner Vestbroen over Storebælt. De lokale forhold vurderes også som værende sammenlignelige med Storebælt. Der kan være usikkerheder forbundet med byggemetode og tilgængelighed af specialudstyr til transport og installation af elementer, idet der med forudsat montage af hele fag vil være tale om meget tunge elementer, for hvilke der kun er et begrænset antal kraner

på verdensmarkedet med tilstrækkelig løftekapacitet. Dette vurderes dog ikke i sig selv at medføre et projektrisikobidrag højere end forventeligt, eftersom det ikke er usædvanligt, at løfteudstyr specialfremstilles til et projekt af en størrelse som en Kattegatforbindelse.

Sænketunnelen er med 12,2 km noget kortere end i KKØ-3.1 og på lidt mindre vanddybde, men kan udførelsesmæssigt dog sammenlignes med denne. Der henvises derfor til afsnit 7.3.5.2.

Den kunstige ø i KKV-1.1 placeres på vanddybde omkring 10 m hvilket ikke er usædvanligt sammenlignet med tilsvarende kunstige øer.

Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanekonstruktion forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

Den samlede vurdering af projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen er, at det er i den lave ende af **Forhøjet**.

Luftkvalitet i tunnel

Sænketunnel for KKV-1.1 er kortere end sænketunnel for KKØ-2.1. Der henvises derfor til afsnit 7.3.5.2. Det er vurderet, at projektrisikobidraget forbundet med opfyldelse af krav til luftkvalitet for sænketunnel ligger i den lave ende af **Forventeligt**.

8.2.3 KKV-1.2 Onsbjerg Syd – Hou (sænketunnel og lavbro)

8.2.3.1 Teknisk beskrivelse

Den valgte tekniske løsning er sænketunnel, kunstig ø og lavbro. KKV-1.2 svarer til KKV-1.1 bortset fra at den østlige del går i land i Onsbjerg Syd og sænketunnelen derved er 300 m længere end ved KKV-1.1. Der henvises derfor til afsnit 8.2.2.1. Det er vurderet, at der ikke er behov for afhjælpende tiltag.

8.2.3.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Lavbroen og den kunstige ø er identisk til lavbroen og kunstig ø for KKV-1.1. Sænketunnellen er sammenlignelig i længde og dybde med sænketunnellen for KKV-1.1. Der henvises derfor til afsnit 8.2.2.2 for beskrivelse af projektrisikobidraget.

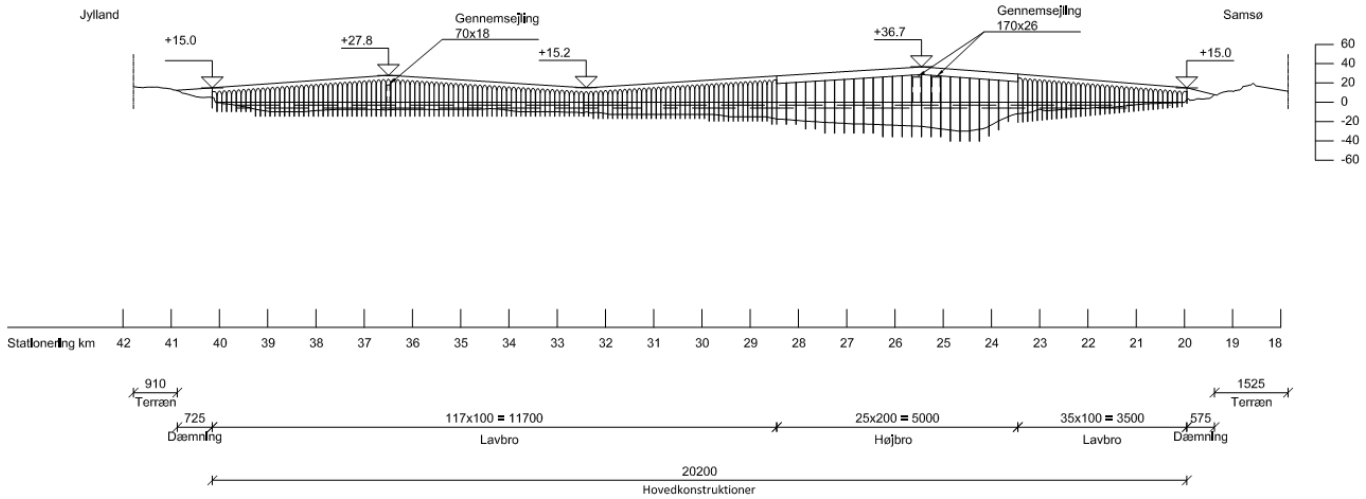
For en samlet oversigt over projektrisikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

8.2.4 KKV-2.1 Onsbjerg Syd – Hou (bro)

8.2.4.1 Teknisk beskrivelse

Den valgte tekniske løsning er højbro og lavbro. Broløsningen er udviklet med hensyntagen til den store nord/sydgående sejlrende mellem Samsø og Tunø, samt behovet for en mindre passage vest om Tunø Knob. Hvor sejlruten krydses, og der er stor vanddybde, er anvendt en høj bjælkebro med 200 m fag. På den resterende del af strækningen er valgt en lavbro med 100 m fag og et mindre gennemsejlingsfag vest om Tunø Knob.

Denne broløsning er optegnet i Figur 8-8.



Figur 8-8 KKV-2.1 Længdeprofil højbro og lavbro (Bilag 8-3 i bilagsmappen)

Det er vurderet, at der ikke er behov for afhjælpende tiltag.

8.2.4.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene fra projektering og udførelse. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Lavbroen ligner Vestbroen over Storebælt i udformning og til dels størrelse. Spændvidden er lidt kortere og gennemsnitsvanddybde er ca. det halve men den samlede brolængde er 2,3 gange længere sammenlignet med Vestbroen. Højbroen ligner tilslutningsfagene til Østbroen over Storebælt i udformning og til dels størrelse. Spændvidden er lidt længere og den samlede brolængde er 20% længere men gennemsnitsvanddybden er ca. 3 gange større sammenlignet med Østbroens tilslutningsfag.

Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbanebro medfører, er der for en jernbanebro forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Projekteringsrisikoen er bestemt af højbroen og vurderes som **Forventelig**.

Udførelse

Lavbroen og højbroen ligner Vestbroen hhv. Østbroen over Storebælt i udformning og til dels størrelse. De lokale forhold vurderes også som værende sammenlignelige med Storebælt. Der kan være usikkerheder forbundet med byggemetode og tilgængelighed af specialudstyr til transport og installation af elementer, idet der med forudsat montage af hele fag vil være tale om meget tunge elementer, for hvilke der kun er et begrænset antal kraner på verdensmarkedet med tilstrækkelig løftekapacitet. Dette vurderes dog ikke i sig selv at medføre et projektrisikobidrag højere end forventeligt, eftersom det ikke er usædvanligt, at løfteudstyr specialfremstilles til et projekt af en størrelse som en Kattegatforbindelse.

Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanebro forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

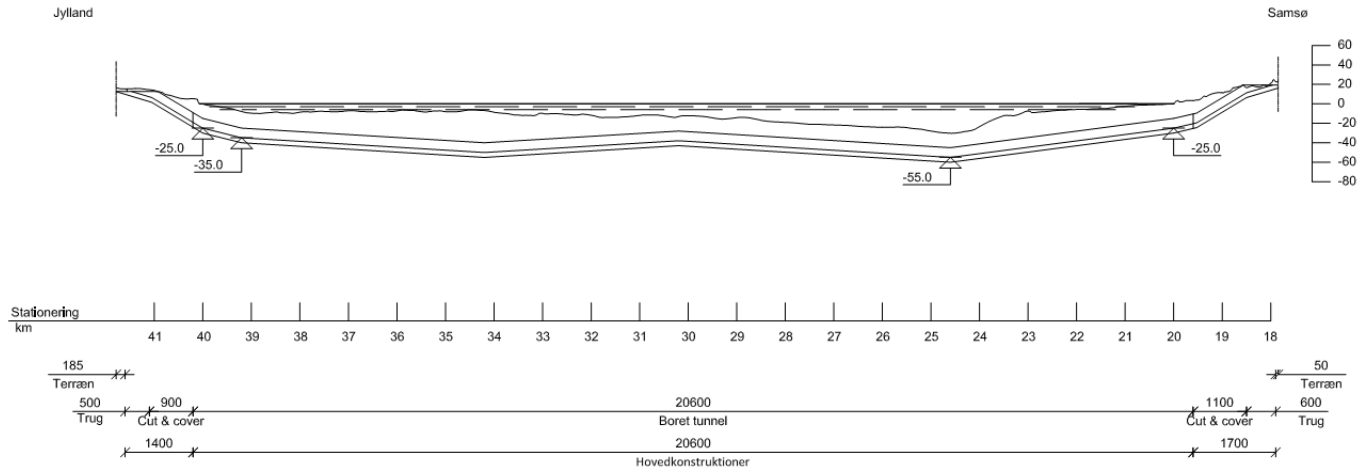
Projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen vurderes som værende i den høje ende af **Forventeligt**.

8.2.5 KKV-2.1 Onsbjerg Syd – Hou (boret tunnel)

8.2.5.1 Teknisk beskrivelse

Dette er en alternativ løsning, som ikke er miljøvurderet. Formålet har været at vise en løsning som dels ikke påvirker det marine Natura 2000 område og dels ikke påvirker skibstrafikken. Der er valgt en boret tunnelløsning, som derfor ikke belaster havbunden, som en bro eller sænketunnel ville gøre. Løsningen med en boret tunnel vil ikke være påvirket af, og omvendt heller ikke selv påvirke skibsfarten.

Løsningen er optegnet i Figur 8-9.



Figur 8-9 KKV-2.1 Længdeprofil boret tunnel (Bilag 8-4 i bilagsmappen)

Det er vurderet, at der ikke er behov for afhjælpende tiltag.

8.2.5.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene fra projektering, udførelse og luftkvalitet i tunnel. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Denne borede tunnel på 22,6 km er væsentlig længere end den borede tunnel i KKØ-2.5, men er knap så dyb, og kan projekteringsmæssigt sammenlignes med denne. Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2.

Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbane medfører, er der for en jernbanetunnel forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Den samlede vurdering af projekteringsrisikoen er, at den er i den lave ende af **Forhøjet**.

Udførelse

Denne borede tunnel på 22,6 km er væsentlig længere end den borede tunnel i KKØ-2.5, men er knap så dyb, og kan udførelsesmæssigt sammenlignes med denne. Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2.

For anlæg af lange borede tunneller henvises der til begrænsninger beskrevet i [14] ("Maksimal anlægsteknisk længde for boret tunnel", fagnotat, COWI). Den borede tunnellængde er over 19 km, og vil derfor kræve udførelse med en TBM fra hver side.

Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanetunnel forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

Den samlede vurdering er at projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen er i den høje ende af **Forhøjet**.

Luftkvalitet i tunnel

Ren boret tunnel for KKV-2.1 i på 22,6km er i samme størrelsesorden som boret tunnel for KKØ-4.1 på 25,6 km. Der henvises derfor til afsnit 7.7.3.2. Det er vurderet, at projektrisikobidraget forbundet med opfyldelse af krav til luftkvalitet for boret tunnel er i den høje ende af **Forventeligt**.

8.2.6 KKV-2.2 Onsbjerg Nord – Hou (bro)

8.2.6.1 Beskrivelse

Den valgte tekniske løsning er højbro og lavbro. KKV-2.2 svarer til KKV-2.1 bortset fra at den østlige del går i land i Onsbjerg Nord og den vestlige del går i land lidt nordligere end ved KKV-2.1. Broen er derved 200 m længere end ved KKV-2.1. Der henvises derfor til afsnit 8.2.4.1. Det er vurderet, at der ikke er behov for afhjælpende tiltag.

8.2.6.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Projektrisikobidragene fra projektering og udførelse for denne løsning vurderes at være de samme som for broløsningen i KKV-2.1 da eneste forskel er at lavbroen er 200 m længere. Der henvises derfor til afsnit 8.2.5.2.

For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

8.3 Fogedmark - Hou

8.3.1 Korridorbeskrivelse

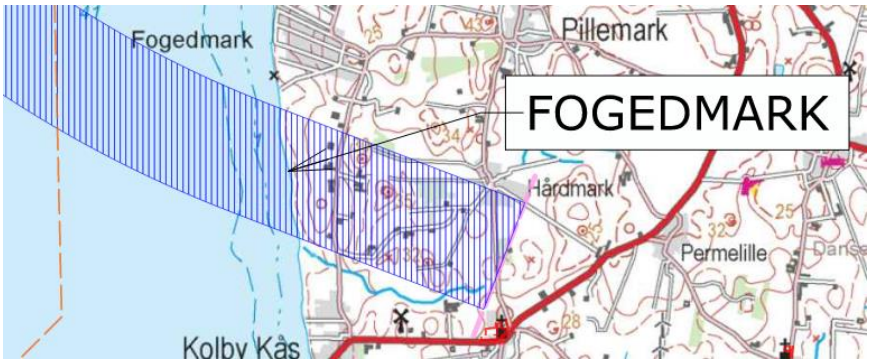
Der er kun undersøgt én korridor (KKV-2.3) imellem Fogedmark og Hou, som vist på kortudsnittet i Figur 8-10 nedenfor. Den samlede længde mellem ilandføringspunkter er 22,2 km.

Figur 8-10 KKV-2.3 Fogedmark – Hou (bro)

Korridoren er valgt fordi den muliggør den mest direkte og dermed korteste forbindelse over Samsø for KKØ-korridorer med ilandføringspunkt i Hjalmarsgård og samtidig medfører den korteste strækning i Jylland. Korridoren er over vand til gengæld ca. 2,1 km længere end den korteste KKV korridor.

Linjeføringen går gennem den nordøstlige del af Natura 2000-området men nord om de to habitatområder ved Svanegrund og Søby/Hou Rev.

Ilandføringspunkt Fogedmark er vist på kortudsnittet i Figur 8-11 nedenfor.



Figur 8-11 Ilandføringspunkt Fogedmark

Orange stiplet linje til havs markerer Natura 2000 område vest herfor. Ilandføringspunktet er ikke i nærheden af dette område. Placering af ilandføringspunkt Fogedmark er bestemt af det overordnede formål med korridoren beskrevet ovenfor.

Der henvises til afsnit 8.2.1 for beskrivelse af ilandføringspunkt Hou.

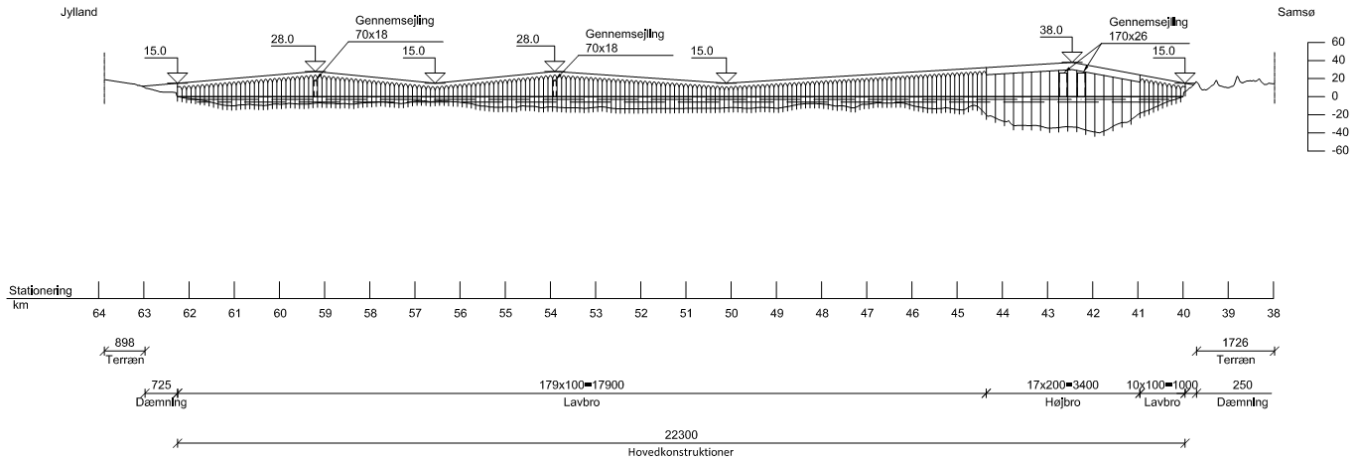
Til havs er korridoren tilnærmelsesvis en ret linje mellem ilandføringspunkter som netop går nord om de særligt betydningsfulde områder. Dette er for at minimere længden. En nordligere placering vil betyde en længere korridor og mere skrå skæring af sejlruten nær Samsø's vestkyst. En sydligere placering vil berøre de særligt betydningsfulde områder samt gøre korridoren længere. Korridoren er derfor ikke placeret nordligere eller sydligere mellem ilandføringspunkter.

8.3.2 KKV-2.3 Fogedmark – Hou (bro)

8.3.2.1 Teknisk beskrivelse

KKV-2.3 minder meget om KKV-2.1 og samme broløsning er derfor valgt, dvs. højbro over sejlrenden ved Samsøs vestkyst samt lavbroer med 100 m fag på den resterende strækning. Korridoren krydser sejlruten nær Samsø med en relativ skrå skæring (se også afsnit 10).

Broløsningen er optegnet i Figur 8-12.



Figur 8-12 KKV-2.3 Længdeprofil bro (Bilag 8-5 i bilagsmappen)

Vanddybden er lokalt op til 40 m hvilket er noget mere end på KKV-2.1. Det betyder at bropiller for højbro her vil have større fundamenter for at kunne optage kræfter fra skibsstød. Da det er få bropiller som berøres, er indflydelsen på anlægsoverslag forsvindende. Det er vurderet, at der ikke er behov for yderligere afhjælpende tiltag.

8.3.2.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene fra projektering og udførelse. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Lavbroen ligner Vestbroen over Storebælt i udformning og til dels størrelse. Spændvidden er lidt kortere og gennemsnitsvanddybde er ca. det halve men den samlede brolængde er næsten 3 gange længere sammenlignet med Vestbroen. Højbroen ligner tilslutningsfagene til Østbroen over Storebælt i udformning og til dels størrelse. Spændvidden er lidt længere og den samlede brolængde er knap 20% kortere men gennemsnitsvanddybden er mere end 4 gange større sammenlignet med Østbroens tilslutningsfag.

Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbanebro medfører, er der for en jernbanebro forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Projekteringsrisikoen er bestemt af højbroen og vurderes som værende i den høje ende af **Forventelig**.

Udførelse

Lavbroen og højbroen ligner Vestbroen hhv. Østbroen over Storebælt i udformning og til dels størrelse men lavbroen er betydeligt længere og højbroens piller er funderet på betydeligt dybere vand. De lokale forhold vurderes ellers som værende sammenlignelige med Storebælt. Der kan være usikkerheder forbundet med byggemetode og tilgængelighed af specialudstyr til transport og installation af elementer, idet der med forudsat montage af hele fag vil være tale om meget tunge elementer, for hvilke der

kun er et begrænset antal kraner på verdensmarkedet med tilstrækkelig løftekapacitet. Dette vurderes dog ikke i sig selv at medføre et projektrisikobidrag højere end forventeligt, eftersom det ikke er usædvanligt, at løfteudstyr specialfremstilles til et projekt af en størrelse som en Kattegatforbindelse.

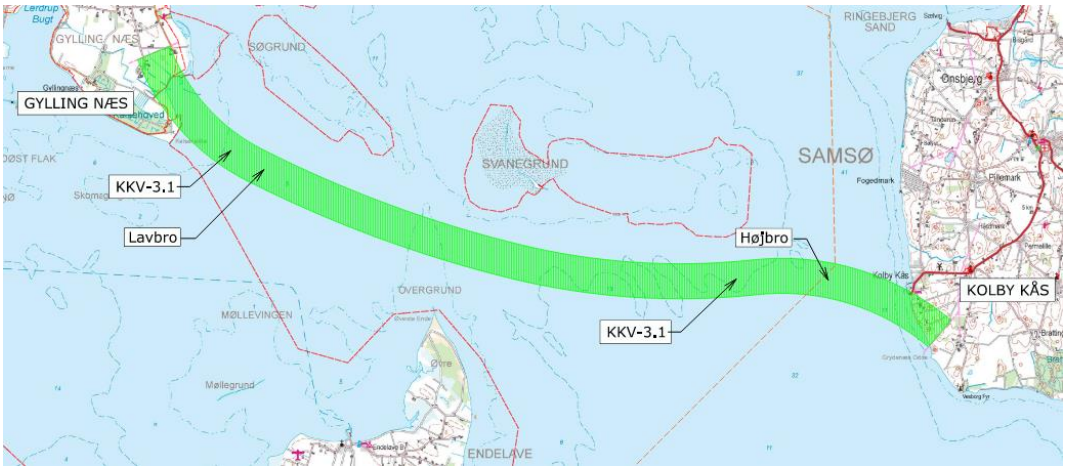
Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanebro forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

Projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen vurderes at være i den høje ende af **Forventeligt**.

8.4 Kolby Kås – Gylling Næs

8.4.1 Korridorbeskrivelse

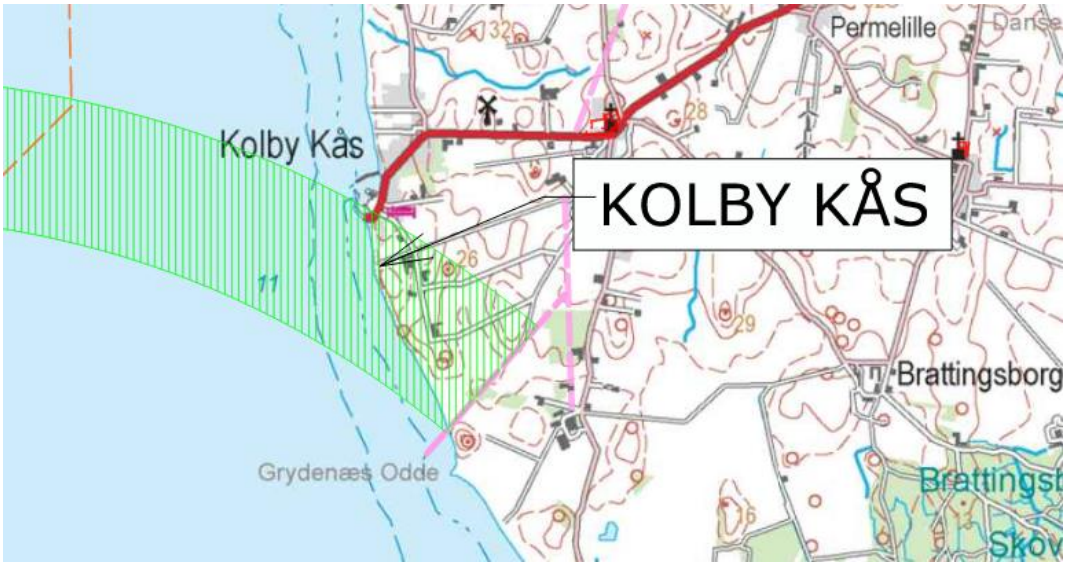
Der er kun undersøgt én korridor (KKV-3.1) imellem Kolby Kås og Gylling Næs, som vist på kortudsnittet i Figur 8-13 nedenfor.



Figur 8-13 KKV-3.1 Kolby Kås – Gylling Næs (bro)

KKV-3.1 er den sydligste af de undersøgte korridorer fra Samsø til Jylland. Korridoren er valgt fordi den påvirker Samsø mindst muligt og fordi den udmærker sig ved at størstedelen af strækningen er på lavt vand. Korridoren starter i ilandføringspunkt Kolby Kås og slutter i ilandføringspunkt Gylling Næs. Den samlede længde mellem ilandføringspunkter er her 23,1 km. Denne korridor går gennem Natura 2000-området, men nord om habitatområdet Endelave og syd om de to habitatområder ved Svanegrund og Søgrund, som alle tre er særligt betydningsfulde områder der ikke må berøres.

Ilandføringspunkt Kolby Kås er vist på kortudsnittet i Figur 8-14 nedenfor.



Figur 8-14 Ilandføringspunkt Kolby Kås

Orange stiplet linje til havs markerer Natura 2000-område vest herfor. Ilandførings-punktet er ikke i nærheden af dette område. Placering af ilandføringspunkt Kolby Kås er bestemt af linjeføringen på Samsø med formål at berøre Samsø mindst muligt.

Ilandføringspunkt Gylling Næs er vist på kortudsnittet i Figur 8-15 nedenfor.

Figur 8-15 Ilandføringspunkt Gylling Næs

Ilandføringspunktet er placeret således at særligt betydningsfulde områder undgås.

Korridorens nord/sydlige placering er i hver ende bestemt af ilandføringspunkter på land og landkorridorer. Under arbejdet med placering af KKV-3.1 er den på baggrund af input fra Miljørådgiveren, se [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll), blevet flyttet mod syd for at opnå større afstand til Svanegrunden, og for at komme ud på dybere vand, så uddybning af arbejdskanaler kan undgås.

En nordligere eller sydligere placering af KKV-3.1-korridoren over vand, mellem iland-føringspunkterne vurderes ikke mulig af følgende årsager:

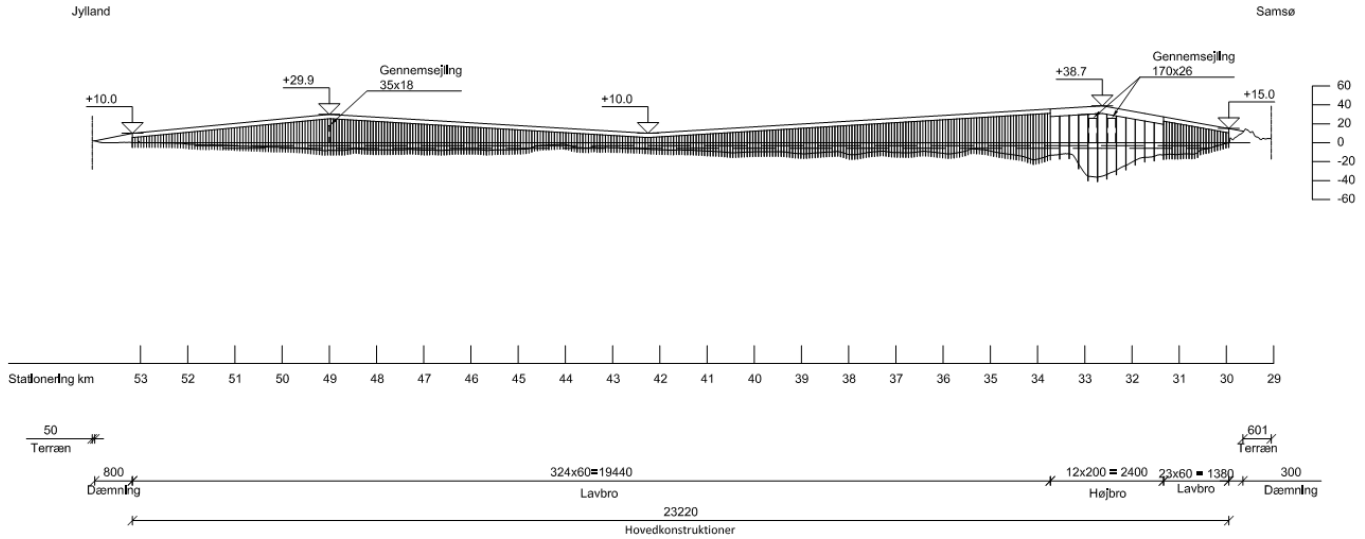
- Habitatnaturtyper inden for særligt betydningsfulde områder ville blive berørt i be-tydeligt omfang;
- Del af korridor mellem Samsø og Endelave vil komme på meget lavt vand, hvilket komplicerer byggeriet hvis bro- eller sænketunnelløsning, da minimumsvand-dybde er krævet;
- Korridoren vil blive længere.

8.4.2 KKV-3.1 Kolby Kås - Gylling Næs (bro)

8.4.2.1 Teknisk beskrivelse

På grund af lav vanddybde over det meste af strækningen er en broløsning udvalgt til nærmere analyse for hele strækningen. Hvor sejlruten krydses, og der er stor vanddybde, er det på det foreliggende grundlag vurderet at der er behov for en højbro med 200 m fag. For den resterende del er der på det foreliggende grundlag valgt en lavbro med 60 m fag og et mindre gennemsejlingsfag nær Jylland. Lavbroen er funderet med monopiles, hvilket giver mulighed for at reducere sedimentspild under byggeriet.

Denne broløsning er optegnet i Figur 8-16.



Figur 8-16 KKV-3.1 Længdeprofil højbro og lavbro (Bilag 8-6 i bilagsmappen)

Broen er så vidt muligt placeret på minimum 6 m vanddybde for at sikre adgang ad vandvejen til udstyr under byggeriet og derved reducere behovet for midlertidige arbejdskanaler. Dog er ca. 6,2 km af brolængden beliggende på mindre end 6 m vanddybde, hvilket primært er beliggende tæt ved ilandføringspunktet ved Gylling Næs, samt i lavvandede område nord for Endelave. Afhjælpende tiltag for at afbøde sedimentspredningen over de 6,2 km kan blive nødvendige.

Det er vurderet, at der ikke er behov for yderligere afhjælpende tiltag.

8.4.2.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene fra projektering og udførelse. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Lavbroens overbygning ligner Kronprinsesse Marys bro i udformning men ikke størrelse. Spændvidden er noget kortere, gennemsnitsvanddybden betydeligt større og den samlede brolængde er næsten 15 gange længere end for Kronprinsesse Marys bro. Lavbroens underbygning er forudsat bestående af monopiles for at minimere det marine gravearbejde. En løsning som ikke er så udbredte for lange marine broer, og

hvor vandrette laster som især bremselast og islast kan være en udfordring. Løsningen for lavbroen er dog velkendt fra udlandet, hvor de fleste lange marine broer på lavt vand har spændvidder på 50-80 m. Højbroen ligner tilslutningsfagene til Østbroen over Storebælt i udformning og til dels i størrelse. Spændvidden er lidt længere og den samlede brolængde 40% kortere, men gennemsnitsvanddybden er ca. 3 gange større sammenlignet med Østbroens tilslutningsfag.

Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbanebro medfører, er der for en jernbanebro forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Projekteringsrisikoen er bestemt af lavbroen og vurderes som værende i den lave ende af **Forhøjet**.

Udførelse

Lavbroens overbygning til vej og højbroen ligner Kronprinsesse Marys bro hhv. Østbroen over Storebælt i udformning og til dels størrelse men lavbroen er betydeligt længere og højbroens piller er funderet på betydeligt dybere vand. De lokale forhold vurderes ellers som værende sammenlignelige med Storebælt. Der kan være usikkerheder forbundet med byggemetode især for monopiles samt tilgængelighed af specialudstyr til transport og installation af elementer.

Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanebro forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

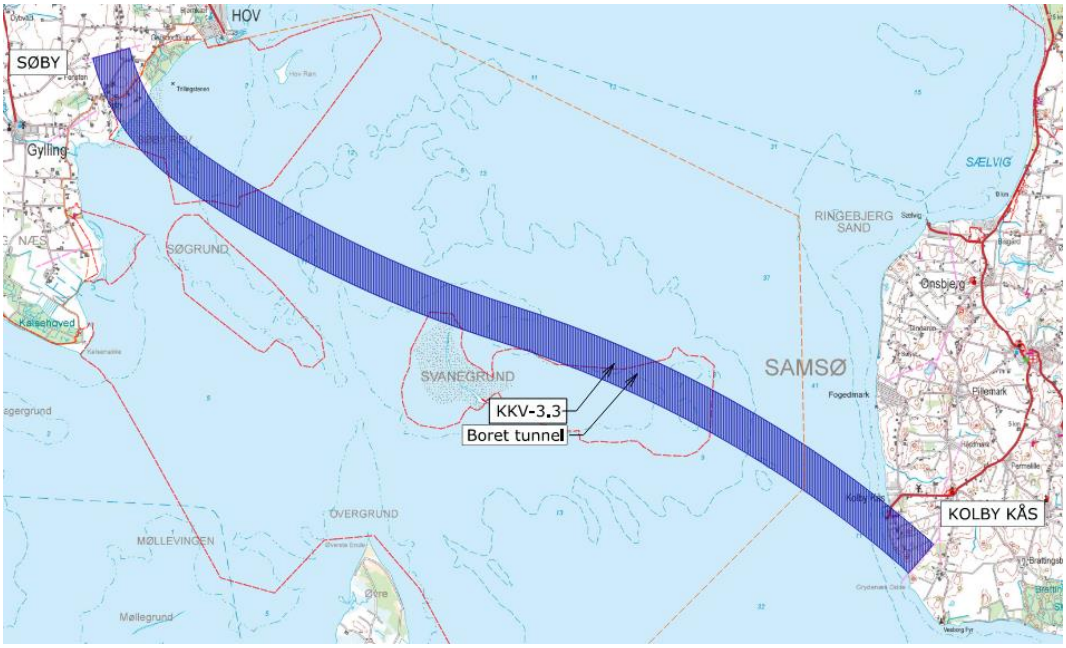
Projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen er bestemt af højbroen og vurderes at være i den høje ende af **Forventeligt**.

8.5 Kolby Kås – Søby

8.5.1 Korridorbeskrivelse

Der er kun undersøgt én korridor (KKV-3.3) imellem Kolby Kås og Søby, som vist på kortudsnittet i Figur 8-17 nedenfor.

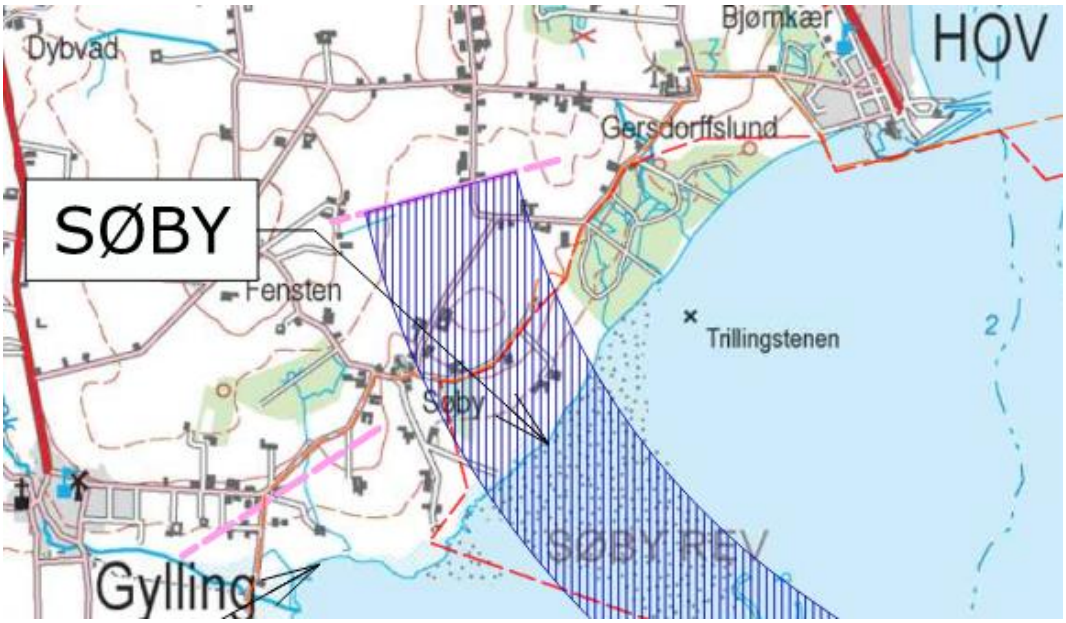
Korridoren er valgt fordi den bidrager til en kort strækning på Samsø og samtidigt undgår naturfølsomme Gylling Næs. Korridoren er udviklet udelukkende til en boret tunnel som ikke påvirker Natura 2000-området og ingen begrænsninger udgør for skibstrafikken.



Figur 8-17 KKV-3.3 Kolby Kås – Søby (boret tunnel)

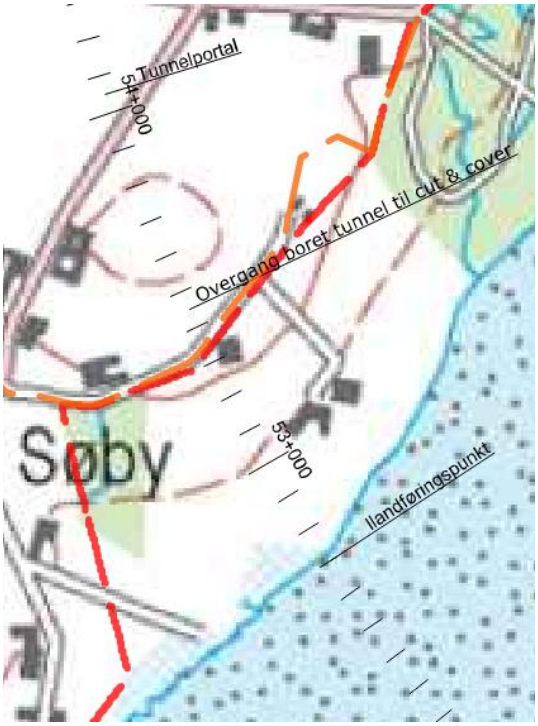
Der henvises til afsnit 8.4.1 for beskrivelse af ilandføringspunkt Kolby Kås.

Ilandføringspunkt Søby er vist på kortudsnittet i Figur 8-18 nedenfor.



Figur 8-18 Ilandføringspunkt Søby

Placering af ilandføringspunktet er bestemt af linjeføring i land og er beliggende midt imellem Søby og skovområdet nordøst herfor. Punktet ligger i et særligt betydningsfuldt område som ikke må berøres. Derfor er den borede tunnel fortsat 750 m ind i land således at overgang til cut & cover tunnel sker udenfor dette område (vist med rød punktering i Figur 8-19).



Figur 8-19 Ilandføringspunkt Søby

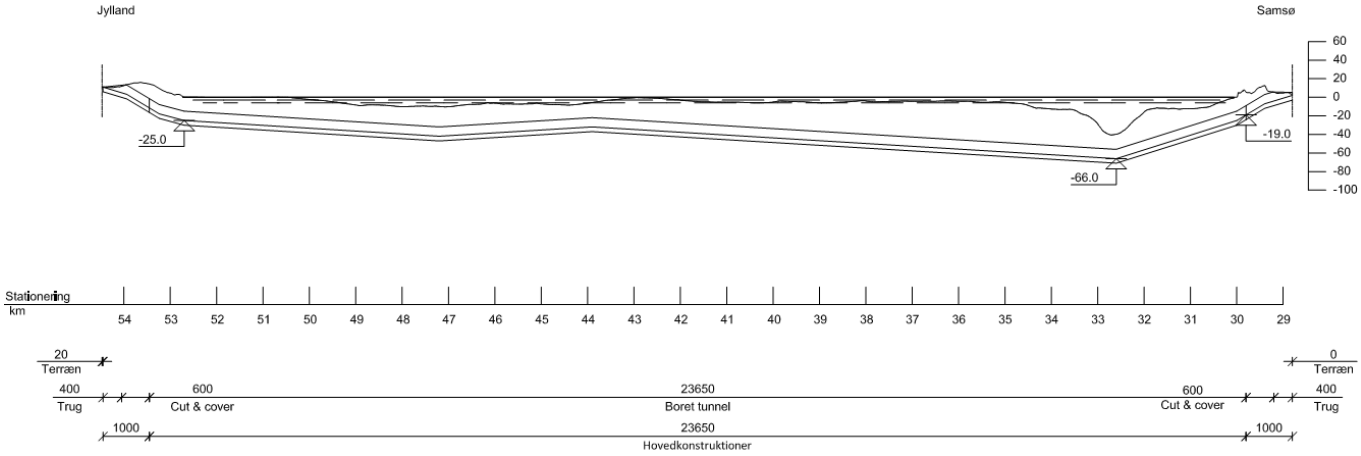
Til havs er der ingen miljøhensyn for en boret tunnel og korridoren er derfor tilnærmelsesvis en ret linje mellem ilandføringspunkter for at minimere længden. Korridoren er derfor ikke placeret nordligere eller sydligere mellem ilandføringspunkter.

8.5.2 KKV-3.3 Kolby Kås – Søby (boret tunnel)

8.5.2.1 Teknisk beskrivelse

Dette er en alternativ løsning, som ikke er miljøvurderet. Formålet har været at vise en løsning, som dels ikke påvirker det marine Natura 2000 område, og dels ikke påvirker skibstrafikken, samtidig med at Samsø påvirkes meget lidt pga. den meget sydlige placering. Der er valgt en boret tunnelløsning, som derfor ikke belaster havbunden, som en bro eller sænketunnel ville gøre. Løsningen med en boret tunnel vil ikke være påvirket af, og omvendt heller ikke selv påvirke skibsfarten.

Løsningen er optegnet i Figur 8-20.



Figur 8-20 KKV-3.3 Længdeprofil boret tunnel (Bilag 8-7 i bilagsmappen)

8.5.2.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene fra projektering, udførelse og luftkvalitet i tunnel. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Den borede tunnel på 24,9 km er væsentligt længere end den borede tunnel i KKØ-2.5, men er knap så dyb, og kan projekteringsmæssigt sammenlignes med denne. Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2.

Den borede tunnellængde er i den høje ende af det undersøgte i [14] ("Maksimal anlægsteknisk længde for boret tunnel", fagnotat, COWI).

Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbane medfører, er der for en jernbanetunnel forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Den samlede vurdering af projekteringsrisikoen er, at den er i den lave ende af **Forhøjet**.

Udførelse

Den borede tunnel på 24,9 km er væsentligt længere end den borede tunnel i KKØ-2.5, men er knap så dyb, og kan udførelsesmæssigt sammenlignes med denne. Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2.

For anlæg af lange borede tunneller henvises der til begrænsninger beskrevet i [14] ("Maksimal anlægsteknisk længde for boret tunnel", fagnotat, COWI). Den borede tunnellængde er over 19 km, som kræver udførelse med en TBM fra hver side.

Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanetunnel forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

Projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen vurderes at være i den høje ende af **Forhøjet**.

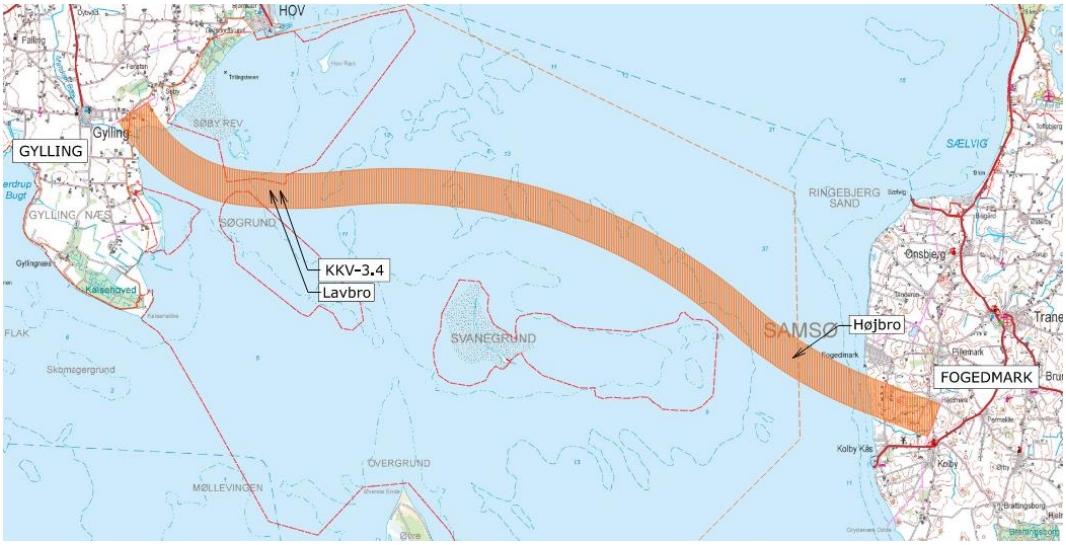
Luftkvalitet i tunnel

Ren boret tunnel for KKV-3.3 på 24,9 km er sammen med KKØ-4.1 på 25,6 km de længste borede tunneller. Risikoen for ikke at opnå tilstrækkelig luftkvalitet i lange tunneller er vurderet i [13] ("Analyse af ventilationsbehov for at sikre luftkvalitet i tunnel", Fagnotat, COWI). Det er derfra vurderet, at projektrisikobidraget forbundet med opfyldelse af krav til luftkvalitet for boret tunnel på denne længde er i den høje ende af **Forventeligt**.

8.6 Fogedmark – Gylling

8.6.1 Korridorbeskrivelse

Der er kun undersøgt én korridor (KKV-3.4) imellem Fogedmark og Gylling, som vist på kortudsnittet i Figur 8-21 nedenfor. Den samlede længde mellem ilandføringspunkter er 23,2 km.



Figur 8-21 KKV-3.4 Fogedmark – Gylling (bro)

Korridoren er valgt fordi den muliggør den mest direkte og dermed korteste forbindelse over Samsø for KKØ-korridorer med ilandføringspunkt i Hjalmarsgård, ligesom KKV-2.3. Korridoren adskiller sig dog fra KKV-2.3 ved at den vestlige del er placeret sydligere syd om Søby Rev for at udnytte lavere vanddybde og dermed muligheden for at anvende en billigere broløsning. Korridoren er over vand til gengæld ca. 1 km længere end KKV-2.3.

Linjeføringen går gennem den nordøstlige del af Natura 2000-området, men nord om de to habitatområder ved Svanegrund og Søgrund og syd om habitatområdet ved Søby Rev, som alle tre er særligt betydningsfulde områder der ikke må berøres.

Der henvises til afsnit 8.3.1 for beskrivelse af ilandføringspunkt Fogedmark. Ilandføringspunkt Gylling er vist på kortudsnittet i Figur 8-22 nedenfor.

Figur 8-22 Ilandføringspunkt Gylling

Ilandføringspunktet er placeret således at særligt betydningsfulde områder både nord og syd for korridoren undgås, heraf det bugtede forløb.

Korridorens nord/sydlige placering er i hver ende bestemt af ilandføringspunkter på land og landkorridorer.

En nordligere eller sydligere placering af KKV-3.4-korridoren over vand, mellem ilandføringspunkterne vurderes ikke mulig af følgende årsager:

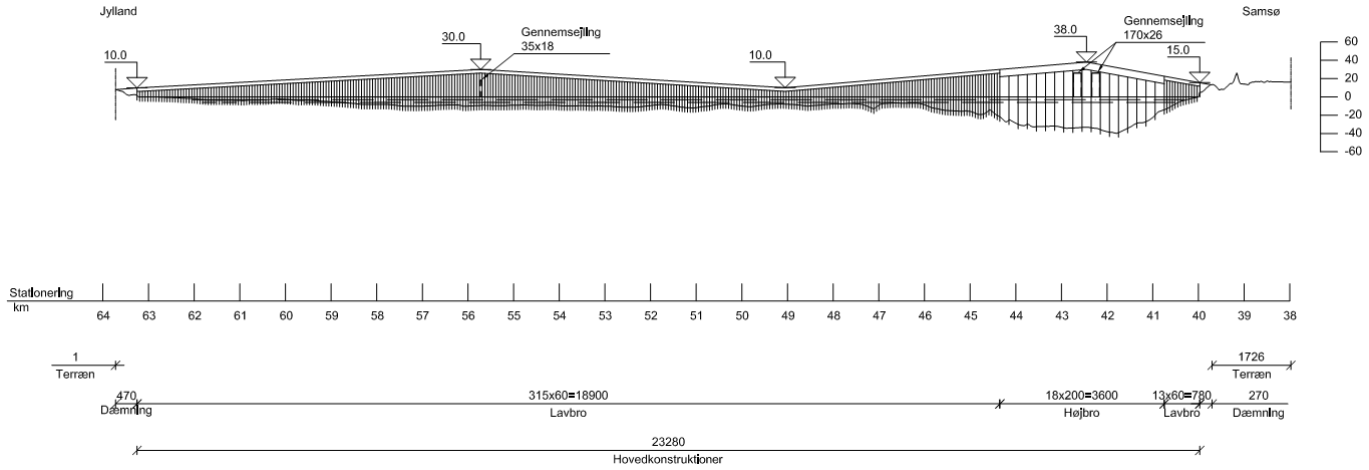
- Habitatnaturtyper inden for særligt betydningsfulde områder ville blive berørt i betydeligt omfang;
- Den centrale del af korridoren vil komme på meget lavt vand, hvilket komplicerer byggeriet hvis bro- eller sænketunnelløsning, da minimumsvanddybde er krævet;
- Korridoren vil blive længere.

8.6.2 KKV-3.4 Fogedmark - Gylling (bro)

8.6.2.1 Teknisk beskrivelse

KKV-3.4 minder meget om KKV-3.1 og samme broløsning er derfor valgt, dvs. højbro over sejlrenden ved Samsøs vestkyst samt lavbroer med 60 m fag på den resterende strækning. Korridoren krydser sejlruten nær Samsø med relativ skrå skæring men 200 m gennemsejlingsfag er vurderet at være tilstrækkeligt.

Broløsningen er optegnet i Figur 8-23.



Figur 8-23 KKV-3.4 længdeprofil bro (Bilag 8-8 i bilagsmappen)

Vanddybden er lokalt op til 40 m. Det betyder at bropiller for højbro her vil have større fundamenter for at kunne optage kræfter fra skibsstød. Da det er få bropiller som kræver sådanne afhjælpende tiltag, er indflydelsen på anlægsoverslag forsvindende.

Broen er så vidt muligt placeret på minimum 6 m vanddybde for at sikre adgang ad vandvejen til udstyr under byggeriet og derved reducere behovet for midlertidige arbejdskanaler. Dog er ca. 4,8 km af brolængden nær Jylland beliggende på mindre end 6 m vanddybde. Afhjælpende tiltag for at afbøde sedimentspredningen over de 4,8 km kan blive nødvendige.

Det er vurderet, at der ikke er behov for yderligere afhjælpende tiltag.

8.6.2.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Projektrisikobidragene fra projektering og udførelse for denne løsning vurderes at være de samme som for broløsningen i KKV-3.1 da eneste forskel er at lavbroen er ca. 1100 m kortere og højbroen er 1200 m længere med gennemsnitlig 10 m dybere funderingsdybde. Der henvises derfor til afsnit 8.4.2.2.

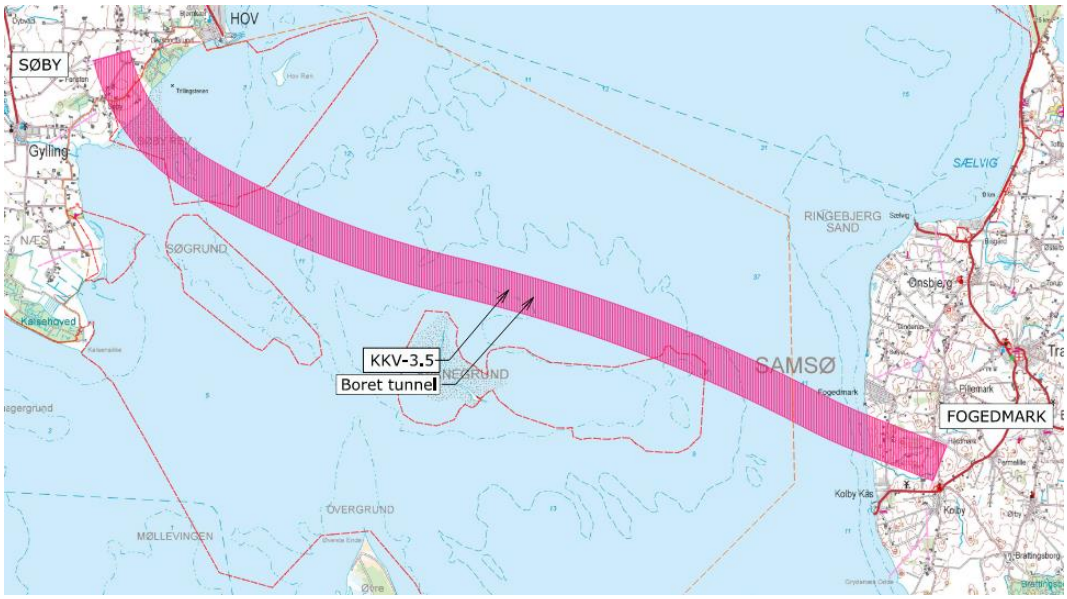
For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

8.7 Fogedmark – Søby

8.7.1 Korridorbeskrivelse

Der er kun undersøgt én korridor (KKV-3.5) imellem Fogedmark og Søby, som vist på kortudsnittet i Figur 8-24 nedenfor. Korridoren er valgt med henblik på at udvikle en ren boret tunnelløsning fra Fogedmark, som vil være kortere end den tilsvarende løsning fra Kolby Kås (KKV-3.3). Den samlede længde mellem ilandføringspunkter er 21,6 km.

Korridoren er valgt fordi den muliggør den mest direkte og dermed korteste forbindelse over Samsø for KKØ-korridorer med ilandføringspunkt i Hjalmarsgård, ligesom KKV-3.4. Korridoren adskiller sig dog fra KKV-3.4 ved, at den er udviklet udelukkende til en boret tunnel, som ikke påvirker Natura 2000-området, og derfor kan gå gennem habitatområderne ved Svanegrund og Søby Rev, og dermed få en mere direkte linjeføring, hvorfor korridorens samlede længde er ca. 1,6 km kortere end KKV-3.4.



Figur 8-24 KKV-3.5 Fogedmark – Søby (boret tunnel)

Der henvises til afsnit 8.3.1 for beskrivelse af ilandføringspunkt Fogedmark og afsnit 8.5.1 for beskrivelse af ilandføringspunkt Søby.

8.7.2 KKV-3.5 Fogedmark - Søby (boret tunnel)

8.7.2.1 Teknisk beskrivelse

Der er valgt en boret tunnelløsning for at tage hensyn til det marine Natura 2000 område, hvor man med en boret tunnel ikke belaster havbunden på samme vis som med en bro eller sænketunnel. En boret tunnel vil ikke være påvirket af og heller ikke selv påvirke skibsfarten.

Tunnelløsningen er ikke optegnet.

8.7.2.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene fra projektering, udførelse og luftkvalitet i tunnel. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Den borede tunnel på 24,1 km er væsentligt længere end den borede tunnel i KKØ-2.5, men er knap så dyb, og kan projekteringsmæssigt sammenlignes med denne. Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2.

Den borede tunnellængde er i den høje ende af det undersøgte i [14] ("Maksimal anlægsteknisk længde for boret tunnel", fagnotat, COWI).

Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbane medfører, er der for en jernbanetunnel forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Den samlede vurdering af projekteringsrisikoen er, at den er i den lave ende af **Forhøjet**.

Udførelse

Ren boret tunnel for KKV-3.5 på 24,1 km er noget længere, men er knap så dyb kan udførelsesmæssig sammenlignes med KKØ-2.5. For anlæg af lange borede tunneller henvises der til begrænsninger beskrevet i [14] ("Maksimal anlægsteknisk længde for boret tunnel", fagnotat, COWI). Der henvises derfor til afsnit 7.3.7.2. Boret tunnel længde er i den høje ende af det undersøgte.

Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanetunnel forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

Projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen vurderes at ligge i den høje ende af **Forhøjet**.

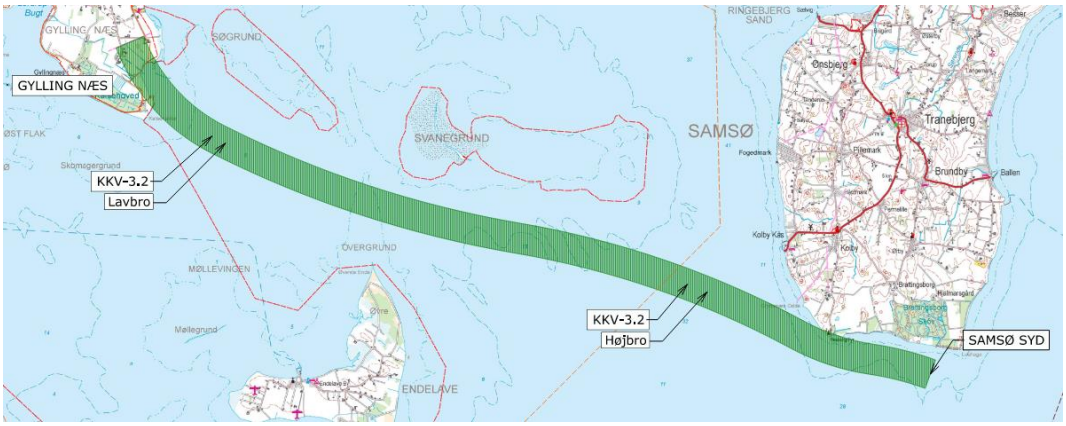
Luftkvalitet i tunnel

Ren boret tunnel for KKV-3.5 på 24,1 km er sammen med KKØ-4.1 på 25,6 km de længste borede tunneller. Risikoen for ikke at opnå tilstrækkelig luftkvalitet i lange tunneller er vurderet i [13] ("Analyse af ventilationsbehov for at sikre luftkvalitet i tunnel", fagnotat, COWI). Det er derfra vurderet, at projektrisikobidraget forbundet med opfyldelse af krav til luftkvalitet for boret tunnel på denne længde er ligger i den høje ende af **Forventeligt**.

8.8 Samsø Syd – Gylling Næs

8.8.1 Korridorbeskrivelse

Der er kun undersøgt én korridor (KKV-3.2) imellem Samsø Syd og Gylling Næs, som vist på kortudsnittet i Figur 8-25 nedenfor.



Figur 8-25 KKV-3.2 Samsø Syd – Gylling Næs (bro)

KKV-3.2 korridoren er valgt for at føre trafikken helt uden om Samsø. Korridorerne kan kombineres med KKØ-2 og KKØ-3 korridorerne.

Samsø Syd er ikke et ilandføringspunkt; men et punkt på åbent hav hvor KKØ-korridorer mødes med KKV-korridorer. Korridoren starter i Samsø Syd og slutter i ilandføringspunkt Gylling Næs. Den samlede længde mellem disse punkter er her 28,4 km.

Korridoren minder meget om KKV-3.1. Den vestlige halvdel er identisk mens den østlige halvdel adskiller sig fra KKV-3.1 ved at være 5,3 km længere og beliggende sydligere, hvor den dybe sejlrende har større udstrækning, og hvor skibstrafikken er mere spredt.

8.8.2 KKV-3.2 Samsø Syd - Gylling Næs (bro)

8.8.2.1 Teknisk beskrivelse

KKV-3.2 minder meget om KKV-3.1 og samme broløsning er derfor valgt, dvs. højbro over sejlrenden ved Samsøs vestkyst samt lavbroer med 60 m fag på den resterende strækning. Korridoren krydser sejlruten nær Samsø med relativ skrå skæring men 200 m gennemsejlingsfag er vurderet at være tilstrækkeligt.

Broen er så vidt muligt placeret på minimum 6 m vanddybde for at sikre adgang ad vandvejen til udstyr under byggeriet og derved reducere behovet for midlertidige arbejdskanaler. Dog er ca. 7,5 km af brolængden beliggende på mindre end 6 m vanddybde. Afhjælpende tiltag for at afbøde sedimentspredningen over de 7,5 km kan blive nødvendig.

Det er vurderet, at der ikke er behov for yderligere afhjælpende tiltag.

8.8.2.2 Vurdering af projektrisikobidrag

Nedenfor præsenteres projektrisikobidragene fra projektering og udførelse. For en samlet oversigt over risikobidragene for denne og øvrige korridorløsninger henvises til afsnit 11.

Projektering

Broløsningen i KKV-3.2 minder meget om broløsningen i KKV-3.1 og der henvises derfor til afsnit 8.4.2.2 for beskrivelse af projekteringsrisiko. Dog er lavbroen med 24,5 km samlet længde ca. 3600 m længere og højbroen 1400 m længere end tilsvarende broer i KKV-3.1.

Ud over de ekstra tekniske krav og normkrav, som en jernbanebro medfører, er der for en jernbanebro forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid og dermed forsinket opnåelse af S&I-godkendelse (Safety and Interoperability) iht. CSM (Common Safety Method).

Projekteringsrisikoen er bestemt af lavbroen og vurderes at være i den lave ende af **Forhøjet**.

Udførelse

Broløsningen i KKV-3.2 minder meget om broløsningen i KKV-3.1 og der henvises derfor til afsnit 8.4.2.2 for beskrivelse af udførelsesrisiko. Dog er især lavbroen betydeligt længere end tilsvarende bro i KKV-3.1.

Ud over den ekstra kompleksitet, som en jernbane medfører, er der for en jernbanebro forøgede dokumentationskrav, som erfaringsmæssigt kan føre til et uforudset merforbrug af tid for opnåelse af godkendelser og ibrugtagningstilladelse og dermed til forsinkelse.

Projektrisikobidraget hidrørende fra udførelsen er bestemt af højbroen og vurderes at være i den høje ende af **Forventeligt**.

8.9 Oversigt over projektrisikobidrag

Projektrisikobidragene beskrevet i foranstående vurderingsafsnit er resumeret i stikordsform i Tabel 8-4.

Sammenlignelige korridorer og tekniske løsninger er her samlet i grupper med samme projektrisikoniveau. For hver af disse er angivet udgangspunkter for projektrisikovurderingen (markeret med et √) efterfulgt af en oplistning af de væsentligste projektrisikobidrag fra projektering, udførelse og sikring af luftkvalitet i tunneler. I kolonnen til højre er niveauet af projektrisikobidragene angivet.

Tabel 8-4 Oversigt over projektrisikobidrag for KKV

Korridor og løsning	Udgangspunkter (√) samt væsentligste projektrisikobidrag (÷)	Vurdering af projektrisikobidrag
KKV-1.1 Bro+ST KKV-1.2 Bro+ST	√ Broen er en lavbro som i størrelse og udformning meget ligner Vestbroen over Storebælt √ Tunneltværsnittet og linjeføring er sammenlignelig med Femern sænketunnel og andre tilsvarende tunneller hvorfor drifts- og sikkerhedskoncepter herfra forventes at kunne anvendes √ Tunnellængden og dybden er mindre end eller sammenlignelig med Femern sænketunnel med et princip kendt fra andre tilsvarende tunneller hvorfor udførelseskoncepter herfra forventes at kunne anvendes √ Der er både dansk og international erfaring med kunstige øer af denne størrelse og vanddybde. ÷ Udgravning til tunnelrende i hårde materialer vil kunne udgøre en ekstra udfordring for udførelsen ÷ Noget af arbejdet kommer til at foregå nær sejlruten ved Samsø, hvilket stiller nogle ekstra krav; men de vil kunne håndteres og planlægges ÷ Jernbanen stiller ekstra krav til projektering og udførelse, og dokumentationskravene for opnåelse af godkendelser er væsentligt forøgede, hvilket erfaringsmæssigt kan føre til forsinkelser	Projektering: Den høje ende af **Forventeligt** Udførelse: Den lave ende af **Forhøjet** Sikring af luftkvalitet: Den lave end af **Forventeligt**
KKV-2.1 Bro KKV-2.2 Bro	√ Broen består af en lavbro og en højbro som i størrelse og udformning meget ligner Vestbroen hhv. Østbroen over Storebælt, sidstnævnte er dog uden jernbane ÷ Noget af arbejdet kommer til at foregå nær sejlruten ved Samsø, hvilket stiller nogle ekstra krav; men de vil kunne håndteres og planlægges ÷ Jernbanen stiller ekstra krav til projektering og udførelse, og dokumentationskravene for opnåelse af godkendelser er væsentligt forøgede, hvilket erfaringsmæssigt kan føre til forsinkelser	Projektering: **Forventeligt** Udførelse: Den høje ende af **Forventeligt**
KKV-2.3 Bro	√ Broen består af en lavbro og en højbro som begge i størrelse og udformning meget ligner Vestbroen hhv. Østbroen over Storebælt, sidstnævnte er dog uden jernbane ÷ Noget af arbejdet kommer til at foregå nær sejlruten ved Samsø, hvilket stiller nogle ekstra krav; men de vil kunne håndteres og planlægges ÷ Højbroens bropiller er på dybt vand ÷ Jernbanen stiller ekstra krav til projektering og udførelse, og dokumentationskravene for opnåelse af godkendelser er væsentligt forøgede, hvilket erfaringsmæssigt kan føre til forsinkelser	Projektering og udførelse: Den høje ende af **Forventeligt**

Korridor og løsning	Udgangspunkter (√) samt væsentligste projektrisikobidrag (÷)	Vurdering af projektrisikobidrag
KKV-3.1 Bro KKV-3.2 Bro KKV-3.4 Bro	√ Broen består af en lavbro, som i udformning meget ligner Kronprinsesse Marys bro, og en højbro som i størrelse og udformning meget ligner Østbroen over Storebælt, begge er dog uden jernbane ÷ Lavbroens underbygningen er forudsat bestående af monopiles, en løsning som ikke er så udbredte for lange marine broer og hvor vandrette laster som især bremselast og islast kan være en udfordring ÷ Noget af arbejdet kommer til at foregå nær sejlruten ved Samsø, hvilket stiller nogle ekstra krav; men de vil kunne håndteres og planlægges ÷ Højbroens bropiller er på dybt vand ÷ Jernbanen stiller ekstra krav til projektering og udførelse, og dokumentationskravene for opnåelse af godkendelser er væsentligt forøgede, hvilket erfaringsmæssigt kan føre til forsinkelser	Projektering: Den lave ende af **Forhøjet** Udførelse: Den høje ende af **Forventeligt**
KKV-2.1 BT KKV-3.3 BT KKV-3.5 BT	√ Linjeføring for den borede tunnel er placeret således at dybden er indenfor erfaringsrammen for udførelse √ Tunneltværsnit og linjeføring er sammenlignelig med andre tilsvarende borede tunneler hvorfor forudsatte drifts- og sikkerhedskoncepter forventes at kunne anvendes √ Tunnellængden og diameteren er hver for sig sammenlignelig med andre tilsvarende tunneller hvorfor udførelseskoncepter herfra forventes at kunne anvendes. Der er i evalueringen lagt vægt på at tunnellængden er under 19 km. ÷ Kombinationen af længden og diameteren af boret tunnel er dog usædvanlig. Teori og praksis viser at to TBM (en fra hver side) vil kunne bore hele strækningen ÷ Jernbanen stiller ekstra krav til projektering og udførelse, og dokumentationskravene for opnåelse af godkendelser er væsentligt forøgede, hvilket erfaringsmæssigt kan føre til forsinkelser	Projektering: Den lave ende af **Forhøjet** Udførelse: Den høje ende af **Forhøjet** Sikring af luftkvalitet: Den høje ende af **Forventeligt**

9 Undersøgte korridorer - Samsø (KSA)

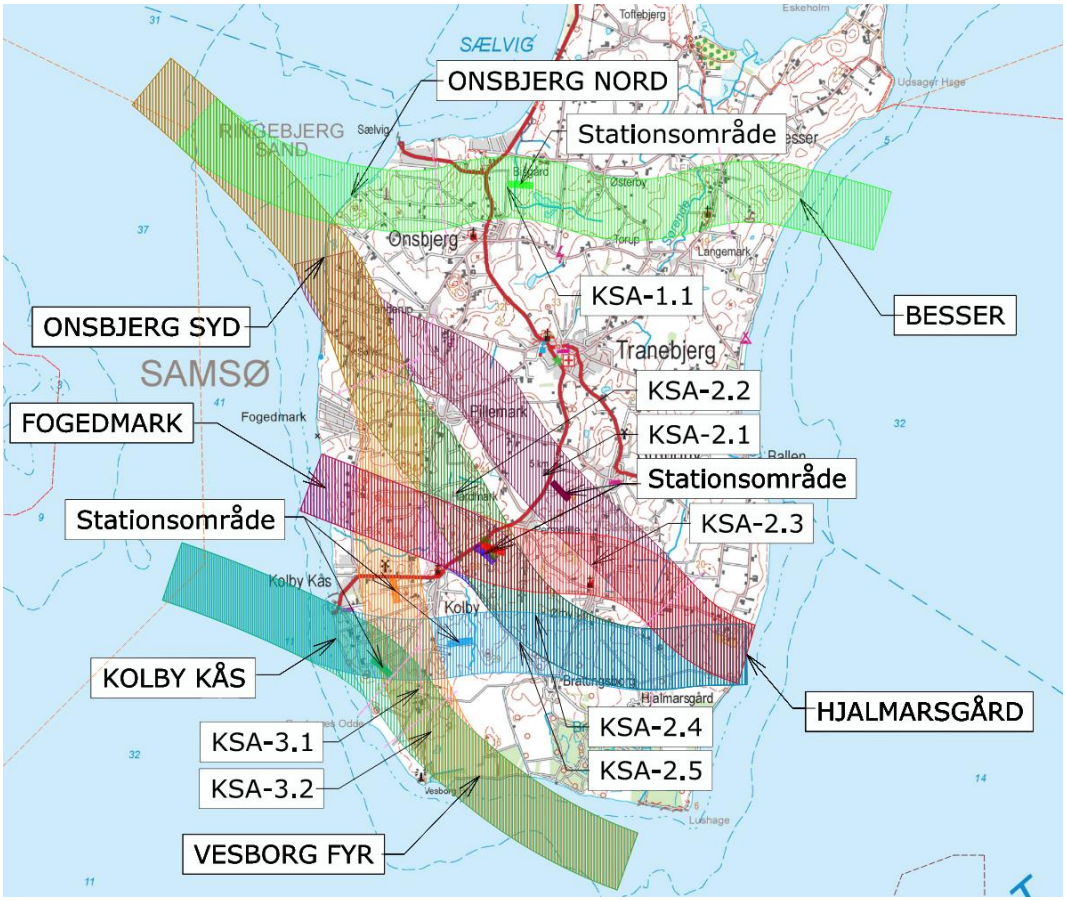
9.1 Generelt

De undersøgte korridorer på Samsø fremgår af Tabel 9-1 og Figur 9-1 nedenfor.

Tabel 9-1 Undersøgte korridorer på Samsø

Ilandførings-punkt mod Sjælland	Ilandførings-punkt mod Jylland	Korridornavn	Beteg-nelse i [4]	Afsnit
Besser	Onsbjerg Nord	KSA-1.1 Besser - Onsbjerg Nord	KSA 1	9.2
Hjalmarsgård	Onsbjerg Syd	KSA-2.1 Hjalmarsgård - Ørby Nord - Onsbjerg Syd	KSA 6	9.3
		KSA-2.2 Hjalmarsgård - Ørby Syd - Onsbjerg Syd	KSA 2	
	Fogedmark	KSA-2.3 Hjalmarsgård - Ørby Nord - Fogedmark	KSA 7	9.5
		KSA-2.4 Hjalmarsgård - Ørby Syd - Fogedmark	KSA 8	
	Kolby Kås	KSA-2.5 Hjalmarsgård - Ørby Syd - Kolby Kås	KSA 3	9.4
Vesborg Fyr	Onsbjerg Syd	KSA-3.1 Vesborg Fyr - Onsbjerg Syd	KSA 4	9.6
	Kolby Kås	KSA-3.2 Vesborg Fyr - Kolby Kås	KSA 5	9.7

Korridorerne har andre navne i [4] *(Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll). Disse er angivet i næstsidste kolonne.*



Figur 9-1 *KSA-korridorer med ilandføringspunkter og stationsområder (Bilag 9-1 i bilagsmappen)*

9.1.1 Tracering

Placeringen af landkorridorerne på Samsø er først og fremmest styret af kyst-kyst korridorernes placering på hav og deres ilandføringspunkter på Samsø.

Korridorerne på Samsø er generelt forsøgt placeret, så de undgår bysamfund og giver mindst mulig barrierevirkning i lokalområdet. For alle korridorerne vil dog gælde, at idet der ikke i dag er højklassede trafikforbindelser på øen, vil anlægget have en vis barrierevirkning og påvirke omgivelserne, hvilket er behandlet nærmere i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll).

Geometrien for de nye vej- hhv. baneanlæg på land vil generelt være afhængig af de lokale forhold som topografi, nærhed til byer samt af miljø- og naturforhold. Miljø- og naturforhold er ikke behandlet i nærværende baggrundsrapport. Der henvises i stedet til [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll).

Da projekteringskrav til nyt baneanlæg er mindre fleksible end tilsvarende til nyt vejanlæg følger vejen banen bedst muligt under hensyntagen til øget afstand imellem dem, hvor der etableres tilslutningsanlæg til vejnettet og ved stationsområder.

Da banen er placeret nord for vejen i Jylland (jf. [5] Baggrundsrapport Landanlæg), vil den i Samsø-korridorerne også skulle ligge på nordsiden for at eliminere krydsning mellem bane og vej.

Projekteringskravene til tracering af ny bane og vej fremgår af Fagnotatet Design Basis [6].

Vej og bane kan både anlægges forholdsvis tæt på hinanden i en fælles tætløbende korridor eller placeres i større afstand fra hinanden afhængig af geometriske krav, ønsker om landskabelig udformning af området mellem bane og vej samt hensyn til natur og bebyggelse i korridoren. Ved tilslutningsanlæg og ved en station vil vej og bane ligeledes skulle trækkes fra hinanden for at skabe den nødvendige plads.

9.1.2 Vej

For anlæg af en ny motorvej er udgangspunktet overordnet defineret ud fra Vejdirektoratets princip for udformning af tværprofil for en firesporet motorvej med nødspor.

Forudsætningen på land er en skiltet hastighed på 130 km/t for den nye motorvej.

9.1.3 Bane

Forudsætningen på land er en hastighed på 200 km/t for den nye bane, og denne forudsættes udelukkende trafikeret af passagertog.

9.1.4 Station

For en ny station på Samsø er der taget afsæt i en station i størrelsesordenen som den eksisterende Nyborg Station.

Stationen vil bestå af to gennemgående spor med en perron på hver side. Selve perronafsnittet vil udgøre ca. 400 m.

For at sikre størst mulig geometrisk frihed til projektering af ny bane kan en station placeres i en kurve.

Hvis det vælges som et alternativ at anlægge sidespor (ikke medtaget i anlægsoverslagene i afsnit 12), skal afgreningen fra gennemgående hovedspor til sidespor ske i et sporskifte, som skal placeres på et ret sporstykke, da krumning af sporskifter ikke tillades ved hastigheder på 200 km/t eller større iht. nugældende normer. Dermed bliver en sådan station samlet set omkring 2 km lang.

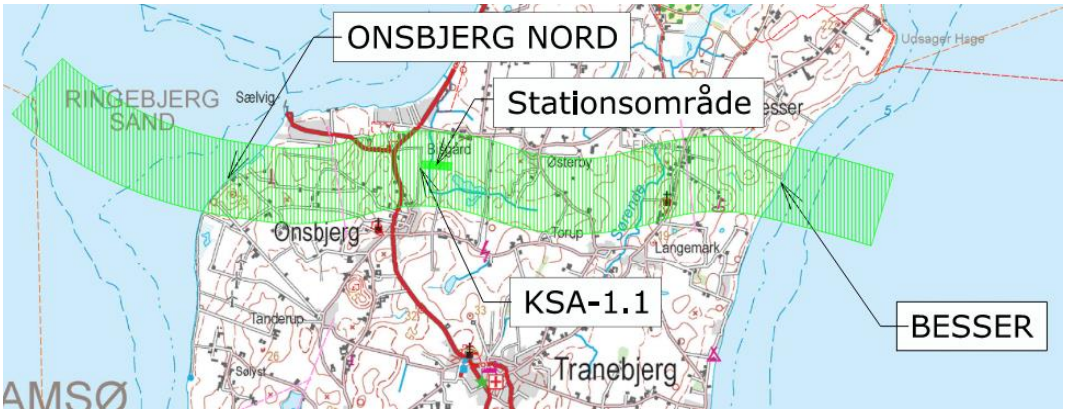
Vertikalt bør det tilstræbes, at stationer, herunder også perroner, placeres på en strækning, der er vandret eller med et meget lille fald. Sporskifter bør ikke være sammenfaldende med vertikalkurver.

I forbindelse med ny station for banen etableres en tilhørende forplads samt parkeringsfaciliteter.

9.2 KSA-1.1 Besser – Onsbjerg Nord

9.2.1 Beskrivelse

Der er kun undersøgt én korridor imellem disse to ilandføringspunkter, som vist på kortudsnittet i Figur 9-2 nedenfor. Korridoren er i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll) benævnt KSA 1.



Figur 9-2 KSA-1.1 Besser Onsbjerg Nord

Denne korridor er ca. 7,6 km lang og er den nordligste placererede af de undersøgte korridorer på Samsø. Den forløber mellem Besser og Onsbjerg.

Korridoren vil kunne anvendes ved valg af KKØ-korridorer fra Røsnæs samt de nordlige KKV-korridorer mod Hou.

Korridoren passerer flere mindre bysamfund som Langemark, Østerby og Bisgård og endvidere passeres sommerhusområder ud mod Sælvig nord for Onsbjerg.

Ved Bisgård vil det være muligt at placere en station for banen, så den kan få forbindelse til vejnettet via Tranebjerg – Nordby vejen.

Der kan etableres et tilslutningsanlæg til Tranebjerg – Nordby vejen umiddelbart nord for Onsbjerg.

Korridorens placering på tværs af øen vil alt andet lige have en barrierevirkning, som er nærmere beskrevet og analyseret i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll). Denne barriereeffekt kan mindskes noget ved at sørge for, at lokale veje og stier i videst muligt omfang føres over eller under den nye vej- og baneforbindelse, og at forbindelsen tilpasses bedst muligt til natur og landskab.

Ilandføringspunkterne Besser og Onsbjerg Nord er beskrevet i afsnit 7.2.1 hhv. 8.2.1.

9.2.2 Teknisk vurdering

Der vil generelt kunne placeres linjer med store horisontale radier på min. 3000 m indenfor korridoren – se dog nedenfor vedr. station, og det vil også være muligt at vælge en vertikal linjeføring, der overholder projekteringskravene for både bane og vej.

Hvis der for banen anvendes en kurveradius på 1900 m, og en hastighed på 200 km/t, kan lige strækninger opnås, og en mulig station anlægges ved Bisgård. Dette kan medføre, at vej og bane ikke kan placeres tætliggende på denne del af strækningen.

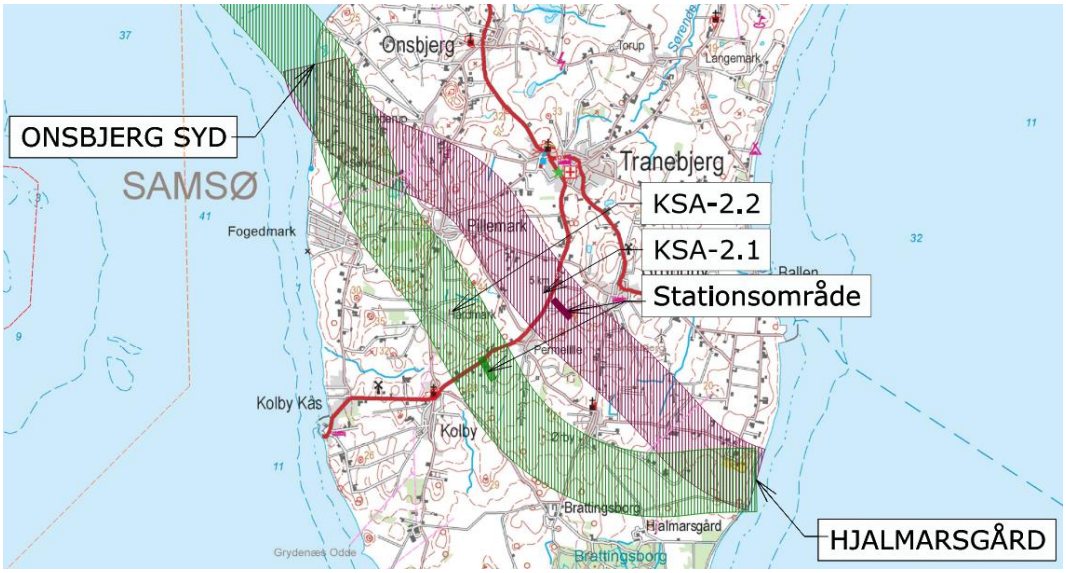
Udover et muligt tilslutningsanlæg ved Tranebjerg – Nordby vejens skæring med vejforbindelsen må der forventes etablering af krydsninger for 2 mindre veje. Herudover vil der være behov for forlægning af et par mindre adgangsveje til ejendomme.

Det vurderes ikke at være nødvendigt at etablere nogle større broer for vandløb eller lignende.

9.3 KSA-2.1 og -2.2 Hjalmarsgård – Onsbjerg Syd

9.3.1 Beskrivelse

Der er undersøgt 2 korridorer imellem disse to ilandføringspunkter, som går henholdsvis nord og syd om Ørby. Korridorerne er vist på kortudsnittet i Figur 9-3 nedenfor. De er i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll) benævnt hhv. KSA 6 og KSA 2.



Figur 9-3 KSA-2.1 Hjalmarsgård - Ørby Nord – Onsbjerg Syd og KSA-2.2 Hjalmarsgård - Ørby Syd – Onsbjerg Syd

Korridor KSA-2.1 er ca. 9,5 km lang og korridor KSA-2.2 er ca. 10,4 km lang. Begge forbinder de korteste kyst-kyst korridorer med hinanden.

Disse korridorer vil kunne anvendes ved valg af KKØ-korridorer fra både Røsnæs og Asnæs samt de nordlige KKV-korridorer mod Hou.

Begge korridorer starter mod øst nord for Hjalmarsgård og passerer henholdsvis nord (KSA-2.1) og syd (KSA-2.2) om Ørby til Onsbjerg Syd. KSA-2.1 passerer relativt tæt på Brundby, Permelille og Pillemark, mens KSA-2.2 passerer tæt på Ørby og Hårdmark samt midt mellem Pillemark og sommerhusområdet ved Fogedmark.

Der foreslås anlagt et tilslutningsanlæg ved den nuværende Kolby – Tranebjerg vej enten nord for Permelille (KSA-2.1) eller nordøst for Kolby (KSA-2.2) afhængig af korridorvalg.

Korridorerne passerer næsten diagonalt hen over øen og vil alt andet lige medføre en barriereeffekt, som er nærmere beskrevet og analyseret i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll). Denne barriereeffekt kan mindskes noget ved at sørge for, at lokale veje og stier i videst muligt omfang føres over eller under den nye vej- og baneforbindelse, og at forbindelsen tilpasses bedst muligt til natur og landskab.

Ved korridor KSA-2.2 er barrierevirkningen forsøgt imødegået ved at placere korridorsegmentet, så mest muligt af forbindelserne mellem Tranebjerg og de omliggende landsbyer undgår at skulle krydse korridoren.

I korridor KSA-2.1 vil der kunne placeres en station for banen nord for Permelille og i korridor KSA-2.2 nord for Kolby. Begge stationsplaceringer vil kunne få adgang til Kolby – Tranebjerg vejen.

Ilandføringspunkterne Hjalmarsgård og Onsbjerg Syd er beskrevet i afsnit 7.3.1 hhv. 8.2.1.

9.3.2 Teknisk vurdering

Der vil også i disse korridorer kunne placeres linjer med minimum horisontale radier på 3000 m og det vil også være muligt at vælge en vertikal linjeføring, der overholder projekteringskravene for både bane og vej.

En række eksisterende vindmøller mellem Ørby og Kolby kan få indflydelse på den endelige linjeføring, hvis ikke det er muligt at føre linjen syd om eller imellem to af møllerne. Det samme gælder for eksisterende vindmøller placeret øst for Ørby og Brundby samt vest for Onsbjerg.

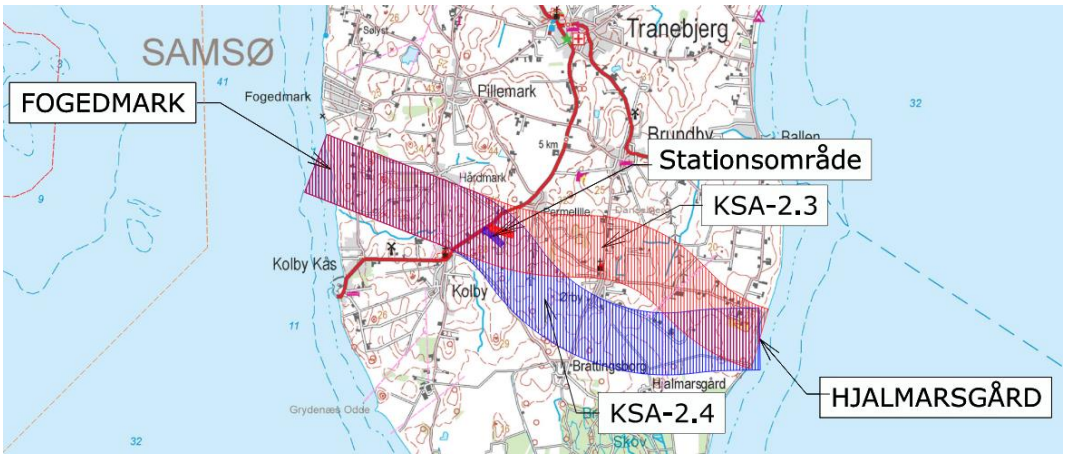
Der vil skulle etableres 4-5 krydsninger af de eksisterende veje over den nye vej- og baneforbindelse samt et par forlægninger af mindre adgangsveje til ejendomme.

Der passeres ikke nogen større vandløb eller landskabelige elementer, der kræver anlæg af dalbroer eller tilsvarende i korridorerne KSA-2.1 og KSA-2.2.

9.4 KSA-2.3 og -2.4 Hjalmarsgård – Fogedmark

9.4.1 Beskrivelse

Der er undersøgt 2 korridorer imellem disse to ilandføringspunkter, som går henholdsvis nord og syd om Ørby. Korridorerne er vist på kortudsnittet i Figur 9-4 nedenfor. De er i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll) benævnt hhv. KSA 7 og KSA 8.



Figur 9-4 *KSA-2.3 Hjalmarsgård - Ørby Nord – Fogedmark og KSA-2.4 Hjalmarsgård - Ørby Syd – Fogedmark*

Begge korridorer forløber mellem Hjalmarsgård og Fogedmark, og 2.3 forløber nord om Ørby, mens 2.4 forløber syd om Ørby. Strækningslængden er stort set ens og udgør ca. 7,6-7,7 km.

Korridorerne vil kunne forbinde KKØ-korridorer fra både Røsnæs og Asnæs med KKV-korridorer mod Gylling, Søby eller Hou. Korridorerne har umiddelbart et mindre aftryk på Samsø end korridorerne som går til Onsbjerg, samtidig med at de fortsat muliggør at KKV-korridorerne kan undvige havområderne ved Svanegrunden.

For begge korridorer forslås anlagt et tilslutningsanlæg ved den nuværende Kolby – Tranebjerg vej. Samme sted kan også en ny station for banen placeres umiddelbart syd for vejen.

Korridor 2.3 passerer tæt på Ørby, Permelille og Hårdmark/Kolby, mens korridor 2.4 passerer tæt på Ørby, Kolby og til dels Hårdmark.

Korridorerne passerer en anelse diagonalt hen over øen og vil alt andet lige skabe en vis barriereeffekt, som er nærmere beskrevet og analyseret i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll). Denne barriereeffekt kan mindskes noget ved at sørge for, at lokale veje og stier i videst muligt omfang føres over eller under den nye vej- og baneforbindelse, og at forbindelsen tilpasses bedst muligt til natur og landskab.

Ilandføringspunkterne Hjalmarsgård og Fogedmark er beskrevet i afsnit 7.3.1 hhv. 8.3.1.

9.4.2 Teknisk vurdering

Det vil også for disse korridorer være muligt at udforme linjeføring for en fremtidig forbindelse for både bane og vej inden de valgte designkriterier. Omkring en fremtidig station vil det formentlig være nødvendigt at anvende de mindste tilladelige horisontale radier for at opnå til strækkelig lange rette linjer på hver side af stationen.

For den nordlige korridor (2.3) passeres nogle eksisterende vindmøller i området øst for Ørby, som linjerne skal passere syd om eller imellem.

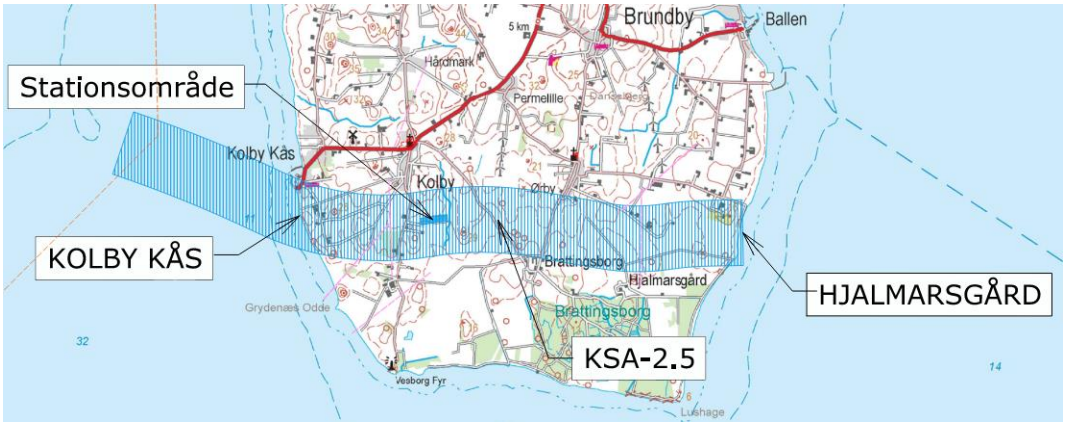
Udover ovenfor førnævnte tilslutningsanlæg vil der skulle etableres krydsninger af 5 mindre veje i korridor KSA-2.3 og 3 mindre veje i KSA-2.4.

Ingen af korridorerne passerer større vandløb eller topografiske hindringer, der nødvendiggør større bygværker.

9.5 KSA-2.5 Hjalmarsgård – Ørby Syd - Kolby Kås

9.5.1 Beskrivelse

Der er kun undersøgt én korridor imellem disse to ilandføringspunkter, som vist på kortudsnittet Figur 9-5 nedenfor. Korridoren er i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll) benævnt KSA 3.



Figur 9-5 KSA-2.5 Hjalmarsgård – Ørby Syd - Kolby Kås

Korridoren er ca. 6,8 km lang og forløber mellem Hjalmarsgård og Kolby Kås tværs over den sydlige del af Samsø.

Denne korridor vil kunne anvendes ved valg af KKØ-korridorer fra både Røsnæs og Asnæs samt de sydlige KKV-korridorer mod Gylling Næs og Søby.

Korridoren er placeret på en del af øen, som ikke er særlig tæt bebygget, og den er forsøgt holdt væk fra samlede bebyggelser. Der vil således være en væsentlig mindre barriereeffekt ved denne løsning end ved de tidligere beskrevne korridorer, der krydser den nordlige del af øen eller de længere korridorer langs vestkysten eller diagonalt på tværs af øen. Barriereeffekt er nærmere beskrevet og analyseret i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll).

Af hensyn til de eksisterende byer og alléen mod Brattingsborg vil det være mest hensigtsmæssigt at placere et tilslutningsanlæg med forbindelse til det lokale vejnet ved Vesborg – Kolby vejen, eller Brattingborg – Kolby vejen. Det vil være nødvendigt at udbygge og omlægge vejen frem til Kolby – Tranebjerg vejen.

En fremtidig station for banen vil kunne placeres syd for Kolby imellem Vesborg – Kolby vejen og Brattingborg – Kolby vejen.

Ilandføringspunkterne Hjalmarsgård og Kolby Kås er beskrevet i afsnit 7.3.1 hhv. 8.4.1.

9.5.2 Teknisk vurdering

Det vil også for denne korridor være muligt at udforme linjeføring for en fremtidig forbindelse for både bane og vej inden de valgte designkriterier.

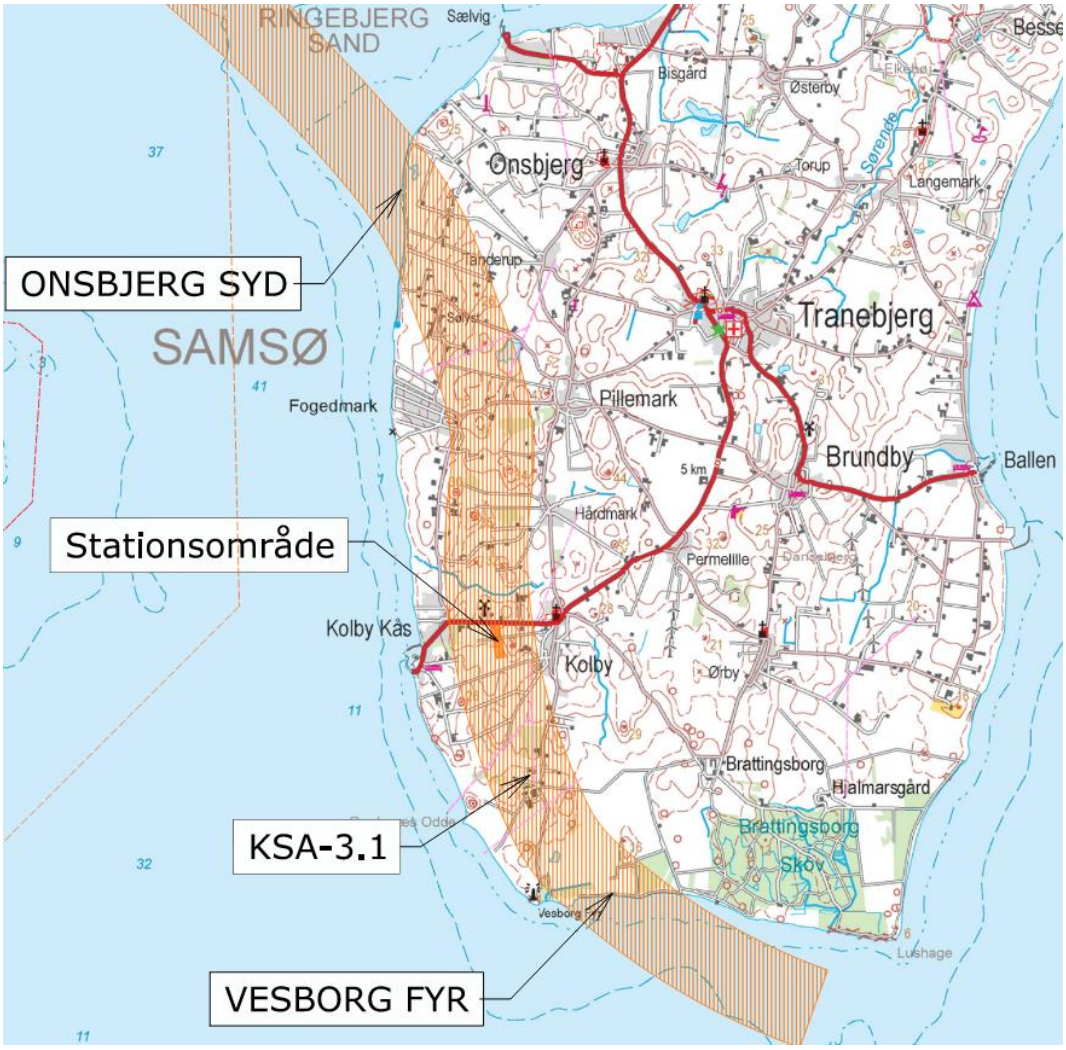
Udover ovenfor nævnte tilslutningsanlæg vil der skulle etableres krydsninger af to mindre veje samt formentlig omlægning af mindre adgangsveje til ejendomme.

Der vil ikke skulle anlægges andre broer på strækningen.

9.6 KSA-3.1 Vesborg Fyr – Onsbjerg Syd

9.6.1 Beskrivelse

Der er kun undersøgt én korridor imellem disse to ilandføringspunkter, som vist på kortudsnittet Figur 9-6 nedenfor. Korridoren er i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll) benævnt KSA 4.



Figur 9-6 KSA-3.1 Vesborg Fyr – Onsbjerg Syd

Korridoren har en længde på ca. 9,2 km og forløber mellem Vesborg Fyr i syd til Onsbjerg Syd. Korridoren går forholdsvis syd-nord og er den vestligst placerede af de undersøgte korridorer på Samsø.

Denne korridor vil kunne anvendes ved valg af KKØ-korridorer fra Asnæs samt de nordlige KKV-korridorer mod Hou.

Korridoren passerer tæt på byerne Kolby Kås og Kolby, Hårdmark og Pillemark og desuden forholdsvist tæt på sommerhusområdet ved Fogedmark.

For at mindske barrierevirkningen mellem de nuværende bysamfund mest muligt er korridoren placeret langs Samsøs vestkyst og påvirker således ikke skovområdet i syd eller den tættere bebyggede del af øen. Barriereeffekter er nærmere beskrevet og analyseret i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll). Disse kunne mindskes ved bedst mulig tilpasning af den fremtidige linje til landskabet og ved at opretholde skæringerne med flest mulige eksisterende veje og stier.

Det vil være naturligt at placere et tilslutningsanlæg ved Kolby Kås ved vejen til Tranebjerg for ikke at belaste mindre bebyggelser eller bysamfund unødigt.

En fremtidig station for banen vil kunne placeres vest for Kolby og umiddelbart syd for Kolby Kås – Tranebjergvejen.

Ilandføringspunkterne Vesborg Fyr og Onsbjerg Syd er beskrevet i afsnit 7.5.1 hhv. 8.2.1.

9.6.2 Teknisk vurdering

Korridoren giver i lighed med de andre på Samsø god mulighed for at udforme linjeføringen for en fremtidig forbindelse for både bane og vej indenfor de designkriterier, der er valgt.

De eksisterende vindmøller vest for Onsbjerg udgør også her en hindring, der skal tages hensyn til ved fastlæggelsen af den endelige linjeføring.

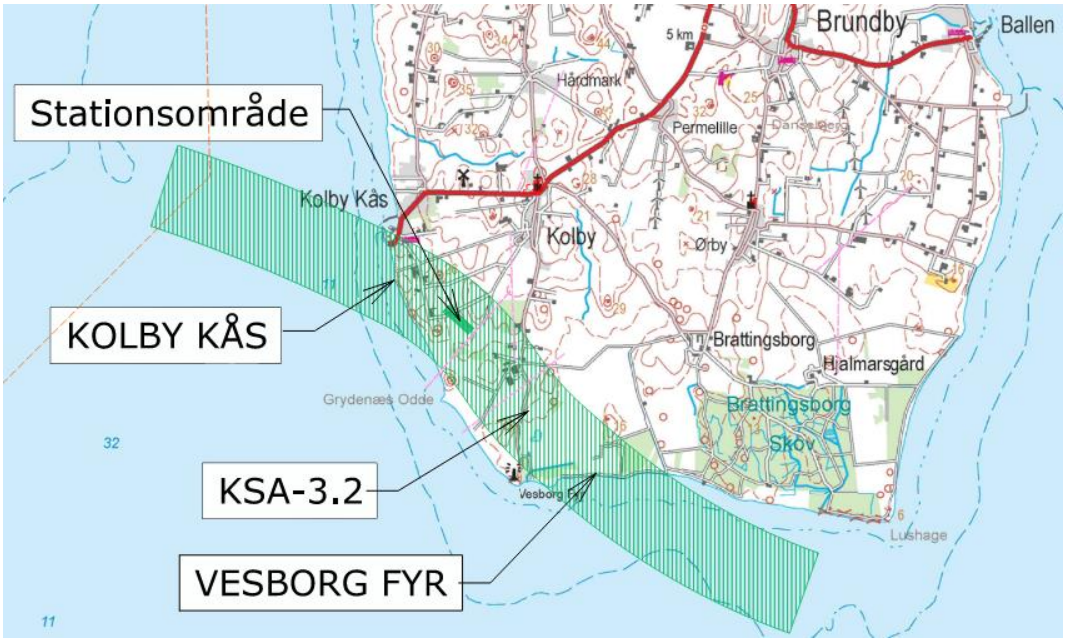
Der skal etableres skæringer for 3 mindre veje udover ovenfor nævnte tilslutningsanlæg ved Kolby Kås. Desuden skal der anlægges nogle forlægninger af mindre adgangsveje til ejendomme.

Der passeres et enkelt mindre vandløb, men der vil ikke være behov for anlæg af en landskabsbro på dette sted ligesom, der heller ikke vil være behov for det andre steder i korridoren.

9.7 KSA-3.2 Vesborg Fyr – Kolby Kås

9.7.1 Beskrivelse

Der er kun undersøgt én korridor imellem disse to ilandføringspunkter, som vist på kortudsnittet Figur 9-7 nedenfor. Korridoren er i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll) benævnt KSA 5.



Figur 9-7 KSA-3.2 Vesborg Fyr – Onsbjerg Syd

Denne korridor er ca. 3,3 km lang og dermed den korteste på Samsø. Den forløber mellem Vesborg Fyr i syd og Kolby Kås i vest.

Med en korridorplacering helt ude i det sydvestlige hjørne af Samsø er barriereeffekten ved denne korridor søgt minimeret. Barriereeffekt er nærmere beskrevet og analyseret i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll).

Korridoren vil kunne anvendes ved valg af KKØ-korridorer fra Asnæs samt de sydlige KKV-korridorer mod Gylling Næs og Gylling.

Der kan etableres et tilslutningsanlæg ved vejen mellem Vesborg Fyr og Kolby. I så fald skal der ligesom ved korridor KSA-3.1 også anlægges en ny vej fra tilslutningsanlægget rundt om Kolby til den nuværende Kolby Kås / Kolby – Tranebjerg vej, da den nuværende vej er lille og ikke egnet til den forøgede trafik til og fra Tranebjerg og nærliggende bysamfund.

En fremtidig ny station for banen vil kunne placeres mellem Grydenæs Odde og Kolby Kås. Da der ikke er nogen eksisterende veje af passende størrelse i området, vil der være behov for en ny adgangsvej til stationsområdet. Denne vej kan skabe forbindelse til den ovenfor omtalte nye vej fra motorvejens tilslutningsanlæg mod Kolby og dermed give direkte adgang fra Tranebjerg og de øvrige bysamfund. I tilfælde af at korridoren fortsættes som boret tunnel til Søby i Jylland (KKV-3.3) vil det være nødvendigt

at flytte stationen nærmere ilandføringen ved Vesborg Fyr. Det vil evt. kunne resultere i at noget af stationen vil komme til at ligge på dæmning.

Ilandføringspunkterne Vesborg Fyr og Kolby Kås er beskrevet i afsnit 7.5.1 hhv. 8.4.1.

9.7.2 Teknisk vurdering

Da korridoren er næsten retlinet, vil det uden problemer være muligt at fastlægge en linjeføring for både bane og vej, der opfylder de valgte designkrav.

Det forventes ikke, at der skal etableres krydsninger med mindre veje udover ovennævnte tilslutningsanlæg, men der vil formentlig være behov for omlægning af et par mindre adgangsveje til ejendomme, så adgang til områder omkring den nye forbindelse kan opretholdes.

Der passeres heller ikke på denne strækning nogen vandløb eller lignende, der kræver anlæg af større broer.

10 Sejladsforhold og kollisionsrisiko

10.1 Formål og fremgangsmåde

Etablering af en fast forbindelse over besejlet farvand skal håndtere såvel forbindelsens betydning for sejladsens arrangement og sikkerhed omkring og igennem broen, som skibstrafikkens betydning for forbindelsens sikkerhed. I nærværende undersøgelse af en fast forbindelse belyses, i hvilken udstrækning og hvordan begge disse forhold kan tilgodeses med de foreslåede korridorer og tilhørende konstruktive løsninger.

Anlægges forbindelsen som en tunnel, vil de to hensyn være afkoblede – skibstrafikkens arrangement og sikkerhed påvirkes ikke af tunnelens tilstedeværelse, og tunnelen kan beskyttes imod de farer, som skibstrafikken udgør, uden at det har betydning for skibstrafikken. Anlægges forbindelsen som en bro, vil de to hensyn være nært forbundne. Broforbindelsens tilstedeværelse tilføjer fysiske forhindringer, som skibstrafikken skal undvige, og som udgør en fare for kollisioner. Hensynet til broens sikkerhed fordrer ydermere, at skibstrafikken omlægges og fokuseres til alene at krydse forbindelsen igennem dedikerede gennemsejlingsfag. Broforbindelsen og hensynet til dennes sikkerhed tilføjer således en række begrænsninger for det enkelte skibs frihed til at vælge en hensigtsmæssig og sikker sejlads. Bliver disse begrænsninger for skibstrafikken for omfattende og trange, vil det få betydning for såvel sejladsens som for broens sikkerhed. Et broprojekt skal derfor etablere en acceptabel balance imellem frirum for sejladsen og sikkerheden i dens afvikling på den ene side, og sikkerheden for broforbindelsen på den anden.

Da skibstrafikkens sameksistens med en fast forbindelse kun udfordres af en broløsning, behandler evalueringerne i dette afsnit alene korridorer og løsninger for KKØ og KKV, der helt eller delvist er baseret på brokonstruktioner. For kombinerede bro- og tunnelløsninger undersøges konsekvensen for og af tunneldelen således ikke, men de særlige udfordringer for tunnelen, der kan opstå ved tunnellens afslutning på en kunstig ø midt i farvandet, er behandlet.

Den specifikke udformning af en broløsning for KKV vil have betydning for størrelsen af skibe, der kan – eller må – sejle vest om Samsø og passere gennem broløsningen for KKV. Dermed vil en del af de større skibe, der i dag passere vest om Samsø, henvises til at sejle øst om Samsø og passere KKØ. Selvom dette principielt giver en kobling imellem valget af løsning på KKV og skibstrafikken på KKØ, vil den omlagte trafik ikke have et omfang, der kan få betydning for evalueringen af korridorerne for KKØ. Den komplekse batymetri betinger at et skib, der utilsigtet afviger fra sin planlagte passage af KKØ, skal udvise bevidst og årvågen navigation i henhold til et søkort for at nå frem til KKV uden at grundstøde. En sådan sejlads kan alene bero på en fejlagtig opfattelse af skibets destination og ikke på teknisk(e) fejl eller uopmærksomhed fra besætningen. Denne type passager vil fremgå af den aktuelt observerede skibstrafik og være registreret som passager af KKV. For alle andre (utilsigtede) afvigelser fra en planlagt passage af KKØ, er det højst usandsynligt at skibet når frem til KKV uden at grundstøde undervejs. I behandlingen af sejladsforhold og kollisionsrisiko for korridorer og løsninger kan KKØ og KKV dermed behandles uafhængigt.

I processen med at bringe et koncept for en fast forbindelse frem mod realisering, skal detaljerede risikoanalyser demonstrere, at sikkerheden for såvel skibsfarten som forbindelsen er acceptabel. En risikoanalyse af den faste forbindelses indflydelse på skibsfartens betingelser og sikkerhed skal forelægges Søfartsstyrelsens til deres accept. Tilsvarende udarbejdes en risikoanalyse for forbindelsen, der skal afklare hvor hyppigt forbindelsen forventes at blive påsejlet, beskadiget og eventuelt afbrudt, samt i hvilken udstrækning påsejlinger vil være til fare for forbindelsens brugere. Denne risikoanalyse udgør dels et centralt værktøj i udviklingen af sikkerhedskonceptet for forbindelsen, så risiko for både afbrydelser og tab af menneskeliv bliver acceptabel. Og dels leverer analysen nødvendig basis til det detaljerede design af forbindelsens strukturer og eventuelle beskyttelsesværker, i overensstemmelse med gældende normmæssige krav.

Nærværende afklaring af sejladsforhold og kollisionsrisiko til forundersøgelsen er udarbejdet med fokus på, om disse endelige risikoredegørelser for forbindelsen har mulighed for at lede til arrangementer og risikoniveauer, der er acceptable for de relevante myndigheder og berørte interessenter. Undersøgelsen er baseret primært på kvalitative og komparative vurderinger, der er funderet på relevant og umiddelbart tilgængelige data for området, på erfaringer fra projekter for tilsvarende faste forbindelser, og på generel erfaring med sejladsforhold, kollisionsrisiko og brodesign.

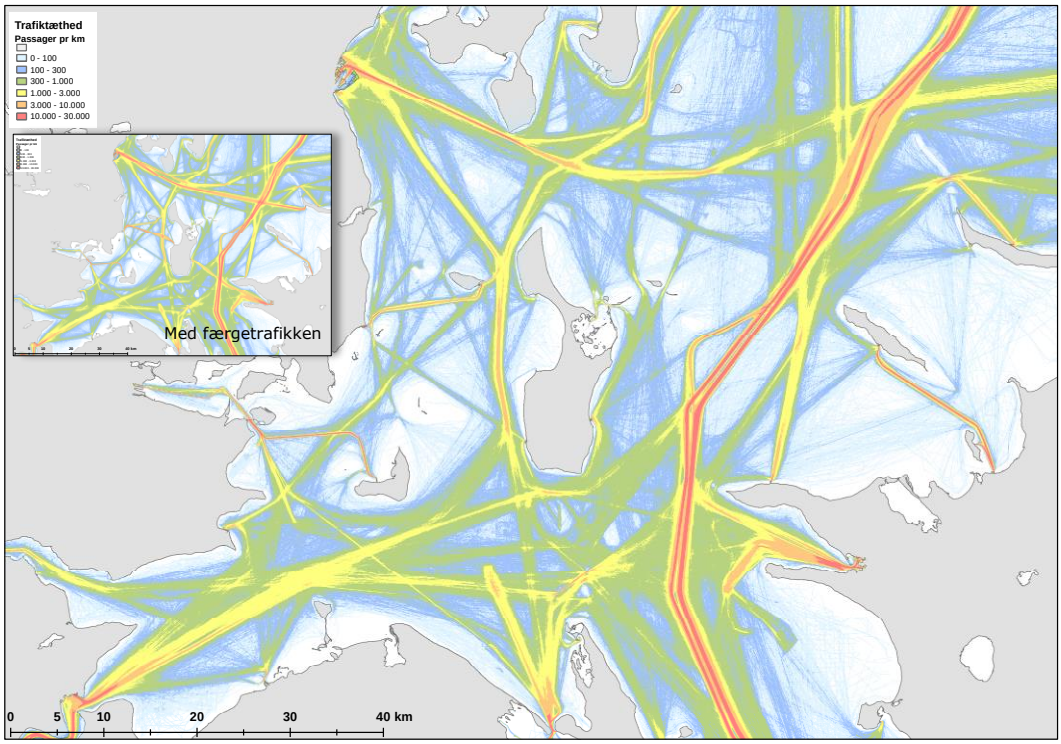
Det overordnede grundlag for vurderingen – skibstrafikken, batymetrien og de valgte korridorer – præsenteres og kommenteres overordnet i afsnit 10.2. I afsnit 10.3 sammenfattes den gennemførte analyse og vurdering af sejladsforhold og kollisionsrisiko for de KKØ-korridorer, hvortil der er foreslået løsninger helt eller delvist baseret på brokonstruktioner, som findes rapporteret i [23] (KKØ - Sejladsforhold og risiko for skibskollision, fagnotat, COWI). Og endelig giver afsnit 10.4 en tilsvarende sammenfatning for broløsningerne for KKV baseret på analyser og vurderinger i [9] (KKV - Sejladsforhold og risiko for skibskollision, fagnotat, COWI).

10.2 Grundlag

10.2.1 Skibstrafik

Analyse af AIS[2] data for 2018, der er indsamlet og stillet til rådighed af Søfartsstyrelsen, har dannet grundlag for at skabe overblik over skibstrafikken i området og for at udarbejde relevante, detaljerede analyser af skibstrafikkens sammensætning og logistik. Tætheden af skibstrafikkens vist i Figur 10-1 er baseret på optælling af den sejlede distance pr. arealenhed pr. år. Denne tæthed varierer både som funktion af mængden af trafik – antal årlige passager på en given rute – og af hvor snævert trafikken manøvrerer i denne rute. Datagrundlaget for 2018 indeholder de færgeforbindelser, der forbinder Samsø med Sjælland og Jylland, og forbindelserne mellem Sjællands Odde og Aarhus eller Ebeltoft. Da det forretningsmæssige grundlag for disse mineret fra de data, der er lagt til grund for undersøgelsen.

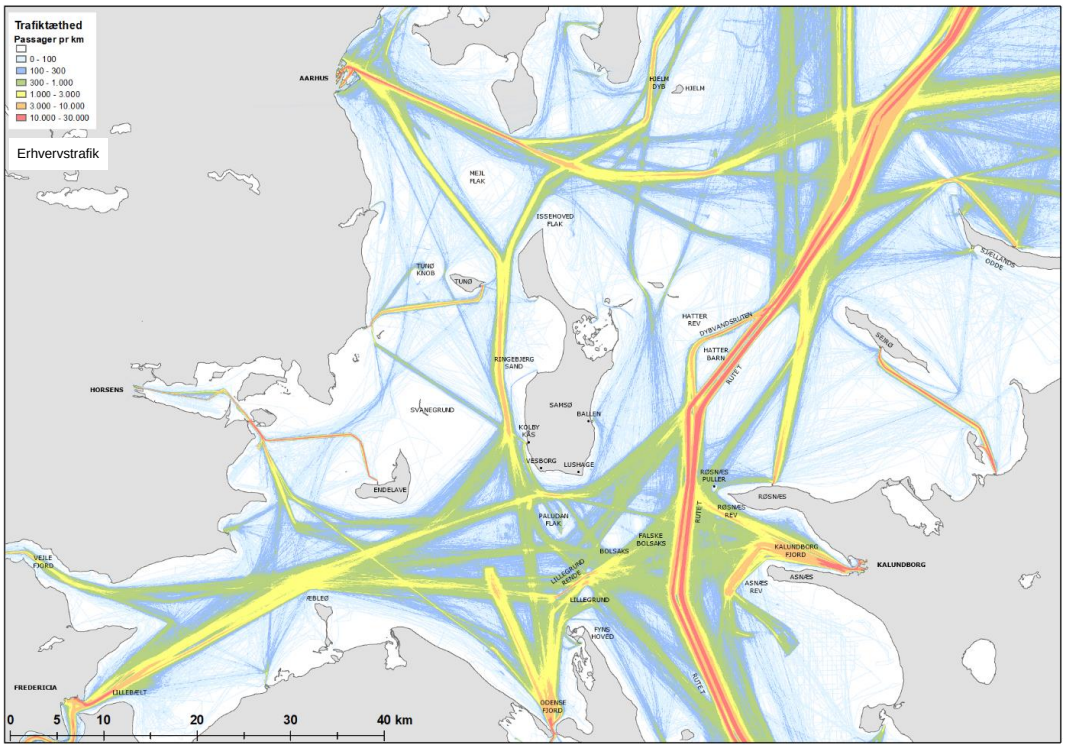
[2] AIS (Automatic Identification System) er et system indført i 2002 til at undgå kollisioner mellem skibe. Det kræver at alle større skibe (> 300 GRT) udsender hyppige VHF radiomeldinger med digital information om deres identitet, position, fart, kurs osv.



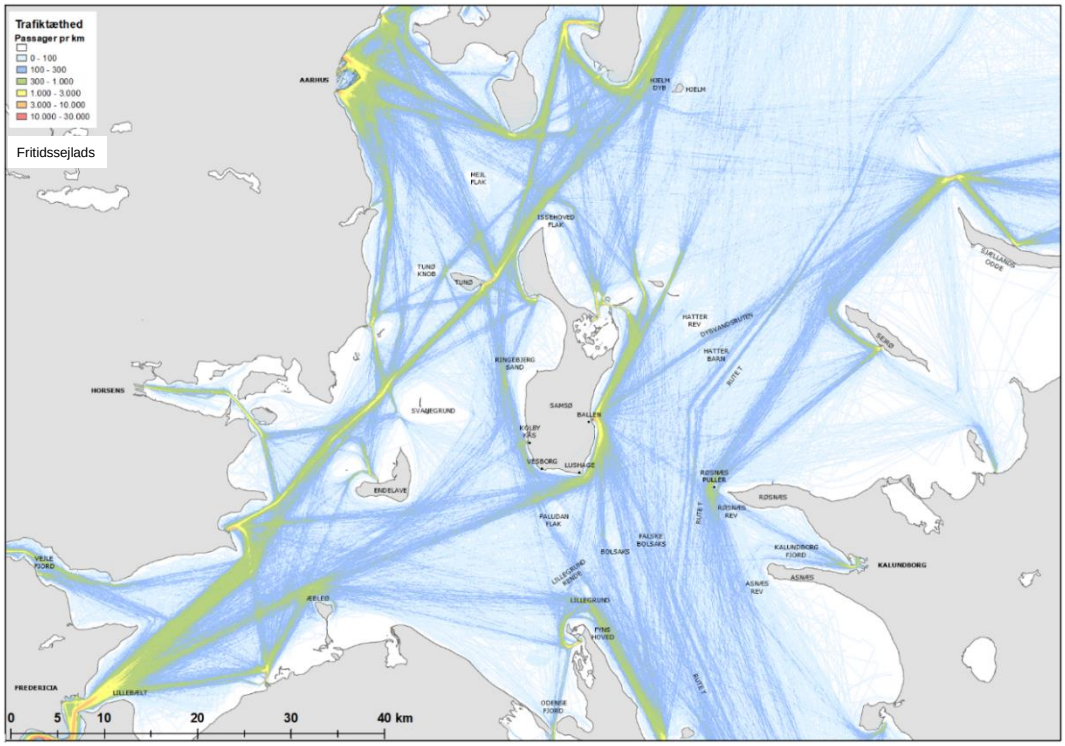
Figur 10-1 *Tætheden af skibstrafikken i området i 2018, når færgetrafikken til Samsø og mellem Sjællands Odde og Jylland er fjernet. (Trafikken inklusive færgerne er vist i det mindre, indlagte kort). (Bilag 10-1 i bilagsmappen)*

Trafiktætheden vist i Figur 10-1 omfatter både erhvervstrafik og lystsejlads, og når disse bidrag adskilles – se Figur 10-2 og Figur 10-3 – afsløres sejladsmønstrene at være meget forskellige. Lystsejladsen omfatter relativt små fartøjer, der hovedsagelig sejler kystnært og med fokus omkring lystbådehavne og lokale seværdigheder. De små fartøjer udgør ikke en reel risiko for en broforbindelses konstruktioner, men sejlskibenes høje master kan være til fare for trafikken på broen, hvis en lystsejler passerer broen hvor frihøjden er utilstrækkelig. Det primære hensyn en fast forbindelse skal udvise overfor denne trafik, er derfor at tilbyde gennemsejlingsåbninger med fornøden frihøjde placeret i overensstemmelse med denne trafiks fokus og destinationer.

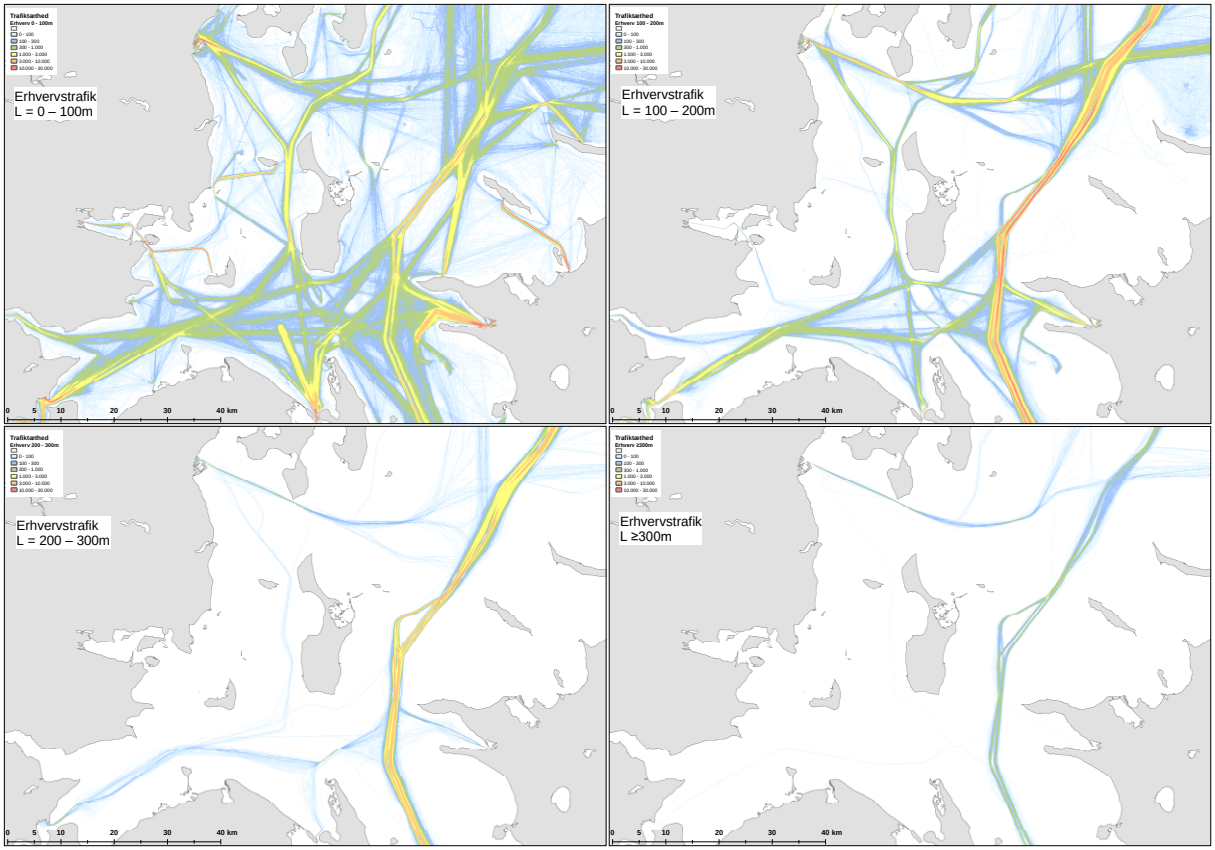
Erhvervstrafikken omfatter væsentlig større skibe og de navigerer i et mere stramt og fokuseret rutemønster, enten i transit mellem Kattegat og Storebælt via Rute T eller til og fra de lokale handelshavne i regionen – Aarhus, Fredericia, Odense, Kalundborg, Vejle og Horsens. Opdeles erhvervstrafikken efter skibenes længde observeres i Figur 10-4 en successiv fokusering af trafikken med de større skibe på Rute T og til de større lokale havne – Aarhus, Fredericia og Kalundborg. Farvandets mest omfattende skibstrafik og de største skibe vil således krydse KKØ mellem Sjælland og Samsø. Skibstrafikken vest om Samsø, som vil passere KKV mellem Samsø og Jylland, er domineret af skibe med en længde på op til 100 meter, men omfatter også en del trafik med skibe mellem 100 og 200 meter.



Figur 10-2 Trafiktætheden for erhvervstrafik i 2018. (Bilag 10-2 i bilagsmappen)



Figur 10-3 Trafiktætheden for fritidssejllads i 2018. (Bilag 10-3 i bilagsmappen)



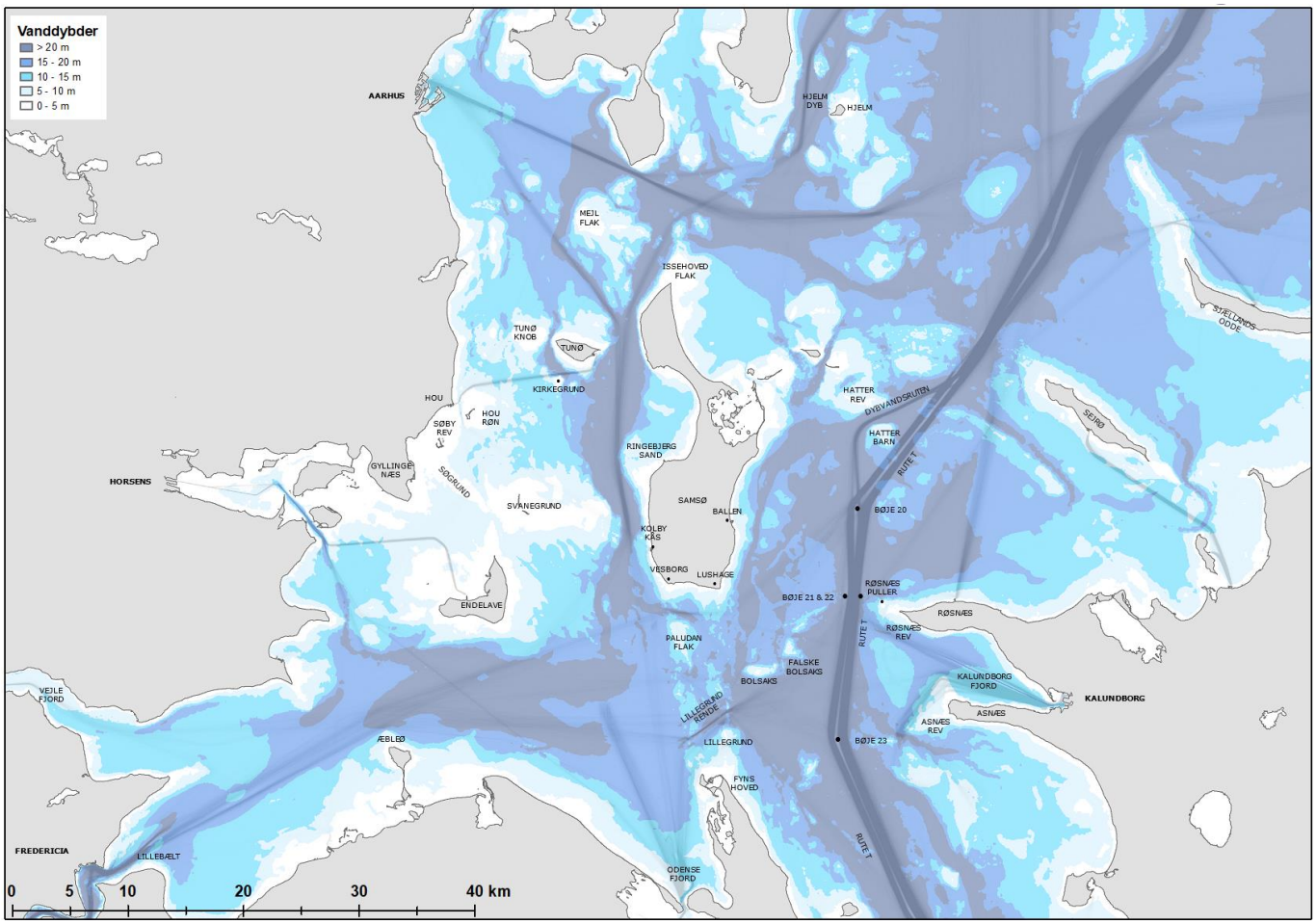
Figur 10-4 Trafiktætheder for erhvervstrafik opdelt på skibslængder. (Bilag 10-4 til 10-7 i bilagsmappen)

10.2.2 Batymetri

Ifølge batymetrien for området vist i Figur 10-5, byder farvandet på meget varierende vanddybder, og skibstrafikkens rutevalg som illustreret af trafiktætheden, ses flere steder at være dikteret af snævre passager og lokale grunde i farvandet.

Dybgangen for skibstrafikken i området er begrænset af:

- Tærsklerne ved Hatter Rev og Hatter Barn
  De etablerede ruter igennem dette område garanterer en vanddybde på 15 meter for Rute T syd om Hatter Barn, og en vanddybde på 19 m for den lidt nordligere dybvandsrute mellem Hatter Rev og Hatter Barn.
- Storebæltsforbindelsen, Østbroen
  Arrangementet for passage i Rute T af Østbroen betyder at dybgangen for nordgående trafik er begrænset til ca. 17 meter, mens dybderne i det sydlige spor er væsentlig større. Det kan undtagelsesvis arrangeres at et nordgående skib passerer i det sydgående spor, men det kræver en forhåndsgodkendelse, midlertidig ophævelse af trafikseparationen, og en deraf følgende særlig indsats af Storebælt VTS.



Figur 10-5 *Farvandsområdets batymetri med markering af skibstrafikken (mørktoning) samt angivelse af relevant geografiske og sejladsmæssige kendemærker. (Bilag 10-8 i bilagsmappen)*

- Kadetrenden

  Den ret omfattende trafik til og fra Østersøen, der passerer området som transittrafik i Rute T, vil være begrænset af en maksimal dybgang på 15 meter ved tærsklen i Kadetrenden syd for Gedser. Denne trafik kan dog læsse eller losse gods i en havn imellem Kadetrenden og Kattegat, så dybgangen for skibene i denne transittrafik ved passagen af området kan være mere end de 15 meter. Men tærsklen vil være bestemmende for dybgangen for en stor del af transittrafikken i området.

- Lokale anløb og render

  Skibe med anløb til regionale havne i området vil møde tilsvarende begrænsning af dybgangen: renden ind til Kalundborg Havn er udgravet til 15 meter og Lillegrund Rende igennem tærsklen mellem Fyns Hoved og Samsø, der giver passage over til Fredericia, Lillebælt, Vejle og Horsens, er udgravet til 15,7 meter. Aarhus Havn kan endnu ikke tilbyde vanddybder på 15 meter, men arbejder for en udvidelse af havnen og tilhørende uddybning af indsejling og havneløb til 15,5 meter.

En stor andel af både den internationale transittrafik og den regionale trafik er dermed underlagt begrænsninger på dybgangen, så den ikke overstiger 15 m. Hovedparten af trafikken i området vil dermed være med skibe, der ikke kræver mere end 15 meters vanddybde. Inspiceres farvandene mellem Sjælland og Samsø og mellem Samsø og Jylland, hvor den faste forbindelse overvejes placeret, ses de at indeholde udstrakte,

sammenhængende farvandsområder med vanddybder over 15 meter og – i lidt mindre omfang – områder med vanddybder over 20 meter. Hovedparten af skibene i området kan dermed nå frem til store dele af de lange broforbindelser uden at grundstøde, og det skaber basis for kollisionsrisiko fra alle størrelser af skibe langs med en stor del af forbindelsens samlede længde.

Med undtagelse af de lokale tærskler ved Hatter Rev, Hatter Barn og Lillegrund giver batymetrien mellem Sjælland og Samsø en stor grad af frihed for skibenes valg af rute og af sejladsmønster. Trafiktæthederne viser, at denne frihed i navigationen aktuelt udnyttes til at afkorte sejladsen, og skibenes mulighed for – både tilsigtet og utilsigtet – at afvige fra Rute T, kan repræsentere en udfordring – og en risiko – for en broforbindelse.

Mellem Samsø og Jylland er de store vanddybder begrænset til den naturlige sejlrende langs med Samsøs vestkyst, og trafikken her er derfor tvunget til at anlægge en mere stram og præcis navigation. Anlæg af en bro over denne trafik vil således være i harmoni med de sejladsmæssige begrænsninger, som farvandet vest for Samsø i forvejen byder på. Risikoen for kollisioner vil dermed være mindre udtalt for broløsninger for KKV end broløsningerne for KKØ, og vil i stor udstrækning være bestemt af broens arrangement hen over denne rende.

10.2.3 Internationale forpligtelser

Danmarks stræder – Storebælt, Lillebælt og Øresund - er centrale for skibstrafikken ind og ud af Østersøen, og en international aftale forpligter Danmark at tillade fri og uhindret passage igennem disse bælter. Denne forpligtelse betyder også, at ændringer i sejladsforholdene i danske territorialfarvande ikke må skabe begrænsninger for skibstrafikkens adgang til disse passager. Hele Rute T fra Kattegat og ned igennem Storebælt har international status og kan ikke ændres uden international accept via IMO[3]. Muligheden for passage igennem Lillebælt er betinget af sejladsforholdene fra Rute T til Lillebælt, og selvom dette er dansk territorialfarvand, må ændringer i disse farvande således ikke begrænse adgangen til Lillebælt.

De nuværende broforbindelser over de berørte bælter – den gamle og ny Lillebæltsbro, Østbroen over Storebælt og Øresundsbroen – og de begrænsninger, som disse broer udgør for skibstrafikken, er implicit anerkendt og accepteret i aftalen. En ny broforbindelse over Kattegat skal derfor tilbyde gennemsejlingsforhold for den internationale transittrafik, der ikke introducerer yderligere begrænsninger. En forbindelse over Rute T skal derfor tillade sikker passage for de samme skibe, der aktuelt kan passere sikkert igennem Østbroen over Storebælt. Og tilsvarende må forbindelsen og det tilhørende arrangement af skibstrafikken ikke give trafikken syd om Samsø imellem Rute T og Lillebælt mere omfattende begrænsninger, end de nuværende sejladsforhold og den gamle og den ny Lillebæltsbro giver anledning til. Når adgangsvejen syd om Samsø ind til Lillebælt ikke forringes af forbindelsen, kan betingelserne for skibstrafikken vest om Samsø tilpasses den faste forbindelse uden hensyn til den pålagte forpligtelse.

[3] IMO: International Maritime Organisation, en organisation under FN, der varetager sejladssikkerheden, skibsfartens sikkerhed og forurening.

10.2.4 Korridorerne

Korridorerne for KKØ og KKV, hvortil der er betragtet rene broløsninger, er illustreret i Figur 10-6. Af de syv broløsninger for KKØ føres de 5 i land på Røsnæs og 2 føres i land på Asnæs, og dette leder til fire forskellige placeringer af forbindelsens krydsning med Rute T. Alle krydsningerne ligger på det lige stræk mellem rutens nordlige knæk ved bøje 20 og det sydlige knæk ved bøje 23. KKØ-3.1 giver den sydligste krydsning cirka 4 km nord for bøje 23 og KKØ-1.1 giver den nordligste krydsning kun 2 km syd for bøje 20.

De 6 korridorer for KKV hvortil rene broløsninger er betragtet, leder tilsvarende til 4 forskellige placeringer af krydsningen af erhvervstrafikkens rute vest for Samsø. Broløsningerne for KKV ligger i dansk territorialfarvand og er ikke omfattet af retten til uhindret at passere danske stræder beskrevet i 10.2.3, og en broløsning for KKV kan derfor godt begrænse størrelsen af skibe, der lovligt (og sikkert) kan passere gennemsejlingsåbningen. Skibstrafik, der ikke kan eller må passere en broløsning for KKV, vil være henvist til at passere øst om Samsø via Rute T. En sådan omlægning af skibstrafikken vil primært – men ikke udelukkende – berøre trafik mellem Aarhus og Storebælt, og mellem Lillebælt/Fredericia og Kattegat. Dette er beskrevet i større detalje i afsnit 10.4.1. Sammenhængen imellem gennemsejlingsåbningens størrelse, anlægsomkostningerne, kollisionsrisikoen, og mængden af omledt trafik er skitseret i afsnit 10.4.2. Kombineret med skibsfartens omkostninger forbundet med omledning af trafikken, som er undersøgt i [24] (Vurdering af påvirkning af erhvervssejlads, rapport, Rambøll), opnås derved en indikation af det økonomiske incitament til at gøre gennemsejlingen større og dermed reducere mængden af trafik der må omledes.

Figur 10-6 Korridorer hvortil der er undersøgt rene broløsninger, vist med søkort og trafiktæthed som baggrund. (Bilag 10-9 i bilagsmappen. Bilag 10-10 viser samme kort med batymetrien som baggrund)

For at eliminere de udfordringer, som en broløsning over Rute T og en broløsning over ruten vest for Samsø kan medføre, er der i udvalgte korridorer foreslået kombinerede bro- og tunnelløsninger. Den del af KKØ- og KKV-korridorerne, hvori brodelen af disse løsninger ligger, er vist i Figur 10-7.

Figur 10-7 *Brodelen af korridorer, hvortil der er undersøgt delvis tunnel- og broløsninger, vist med søkort og trafiktæthed som baggrund. (Bilag 10-11 i bilagsmappen. Bilag 10-12 viser samme kort med batymetrien som baggrund)*

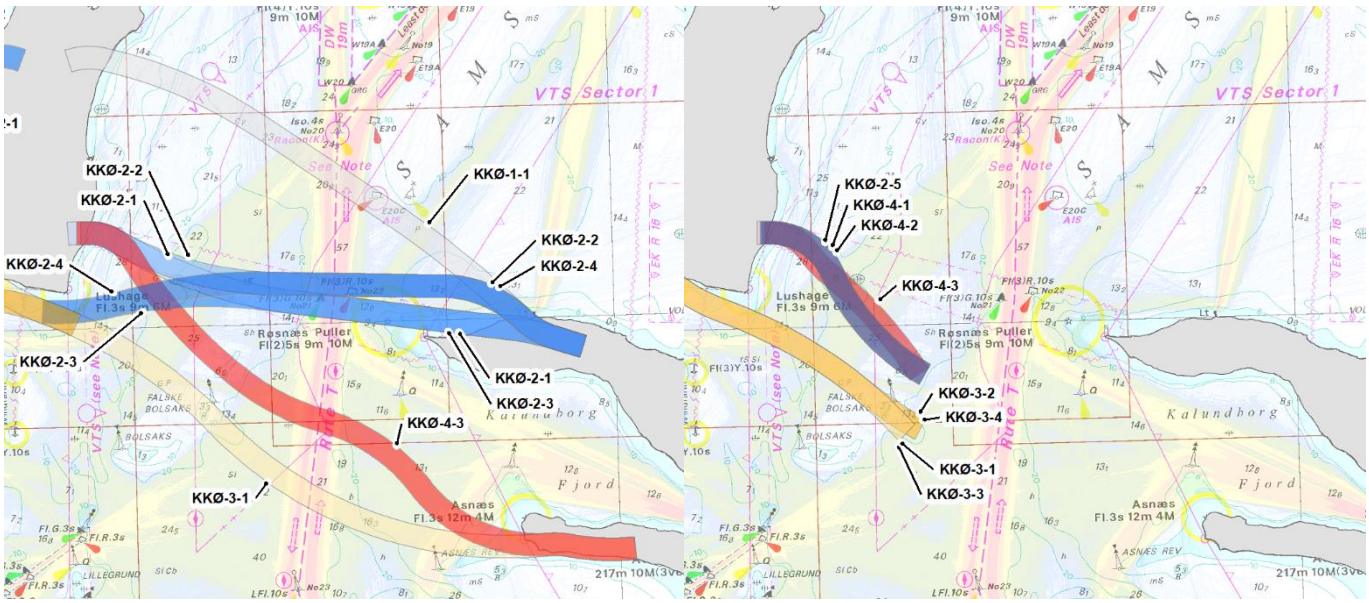
De kombinerede løsninger for KKØ er baseret på en lavbro fra Samsø ud til en kunstig ø, der etableres ved eller lidt nord for Falske Bolsaks (se Figur 10-5). Herfra overgår forbindelsen til en boret tunnel eller en sænketunnel, der fører forbindelsen under den internationale trafik i Rute T. De to kombinerede løsninger for KKV består af en lavbro fra Hou til en kunstig ø ved Kirkegrund syd for Tunø (se Figur 10-5), hvorefter forbindelsen overgår til en boret tunnel eller sænketunnel under erhvervstrafikken i renden vest for Samsø.

10.3 Broløsninger for KKØ

Den detaljerede diskussion, analyse og evaluering af sejladsforhold og kollisionsrisiko for rene eller delvise broløsninger for KKØ er rapporteret i et separat dokument [23] (KKØ - Sejladsforhold og risiko for skibskollision, fagnotat, COWI). Dette afsnit introducerer grundlaget for undersøgelsen og giver en sammenfatning af de væsentligste observationer, evalueringer og konklusioner, som undersøgelsen har afstedkommet. De undersøgte korridorer og den tilhørende type af løsning er sammenfattet i Tabel 10-1 og korridorernes forløb er illustreret i Figur 10-8 sammen med den observerede tæthed af skibstrafikken.

Tabel 10-1 Korridorer og løsninger dækket af undersøgelsen.

Korridor og ilandføringspunkter	Bro	Sænketunnel	Boret tunnel
KKØ-1.1 Nyby Øst - Besser	x		
KKØ-2.1 Nyby Vest - Hjalmarsgård	x		
KKØ-2.2 Nyby Øst - Hjalmarsgård	x		
KKØ-2.5 Røsnæs Syd - Hjalmarsgård	x		x
KKØ-2.3 Nyby Vest - Samsø Syd	x		
KKØ-2.4 Nyby Øst - Samsø Syd	x		
KKØ-3.1 Asnæs Syd - Vesborg Fyr	x		
KKØ-3.1 Asnæs Syd - Vesborg Fyr	x	x	
KKØ-3.2 Asnæs Nord - Vesborg Fyr	x		x
KKØ-3.3 Asnæs Syd - Samsø Syd	x	x	
KKØ-3.4 Asnæs Nord - Samsø Syd	x		x
KKØ-4.1 Asnæs Nord - Hjalmarsgård	x		x
KKØ-4.2 Asnæs Forskov - Hjalmarsgård	x		x
KKØ-4.3 Asnæs Syd - Hjalmarsgård	x		
KKØ-4.3 Asnæs Syd - Hjalmarsgård	x	x	



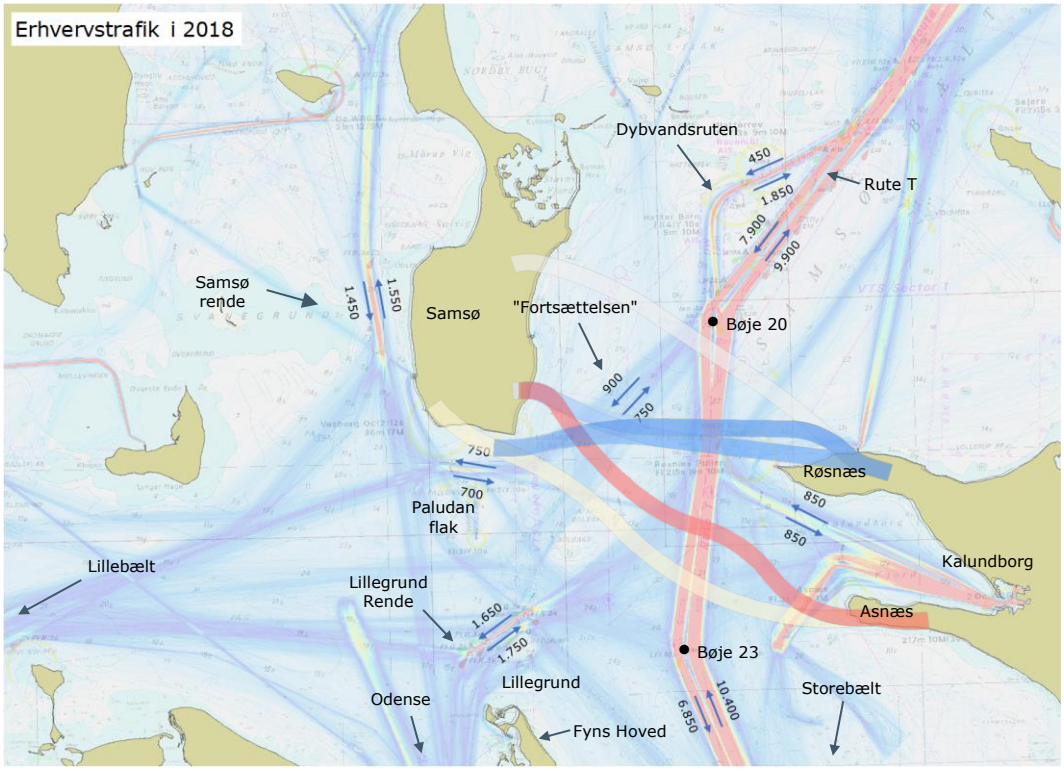
Figur 10-8 KKØ-korridorer med brokonstruktioner vist sammen med intensiteten af erhvervstrafikken for 2018. Til venstre er vist korridorerne med løsninger baseret på rene brokonstruktioner, og til højre er vist brodelen af de korridorer, der er undersøgt med en kombineret bro- og tunnelløsning.

De foreslåede rene broløsninger er udformet som tilslutningsbroer med 200 m spændvidde og med en central, kabelbåren bro over Rute T. I de kombinerede løsninger er brodelen en lavbro med 100 m spændvidde fra Samsø til en kunstig ø, der skal etableres ved Falske Bolsaks for KKØ-3 korridorer og lidt nord for Falske Bolsaks for KKØ-2 og KKØ-4 korridorer. For alle løsningerne arrangeres en kystnær gennemsejlingsåbning ind mod Samsø, der primært er tiltænkt fritidssejlads. Selvom tilsvarende gennemsejlinger til fritidssejladsen nær Røsnæs og Asnæs ikke er vist i de specifikke løsninger, vil denne trafik kunne arrangeres i dedikerede fag i tilslutningsbroen mellem Rute T og Sjælland. Der henvises til afsnit 7 for yderligere beskrivelse af de specifikke

løsninger. Den mulige variation af KKØ-4.3 indikeret i afsnit 7.7.6.1 er ikke medtaget i den sejladsmæssige evaluering af broløsningen i KKØ-4.3.

10.3.1 Skibstrafik og sejladsforhold

Kortet i Figur 10-9 indikerer årstrafikken i de tydeligste ruter og trafikstrømme i området. KKØ-korridorerne krydser over Rute T imellem rutens to knæk ved bøje 20 i nord og bøje 23 i syd. En broforbindelse vil nødvendiggøre ændringer i trafikarrangementet i farvandet mellem Sjælland og Samsø langs med denne del af Rute T og vil i nogen udstrækning også påvirke arrangementet af skibstrafikken imellem dette farvandsafsnit og farvandet syd for Samsø. Betydningen af disse ændringer afhænger af omfanget, sammensætningen og logistikken for den eksisterende trafik i og omkring Rute T, samt for trafikken i området syd for korridorerne, herunder trafikken til Kalundborg og trafikken i passagen mellem Fyns Hoved og Samsø mod de vestlige destinationer.

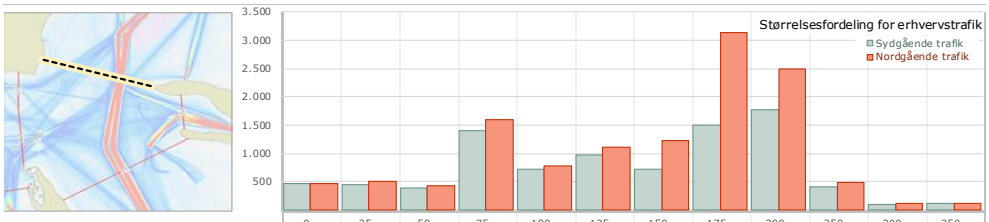


Figur 10-9 Erhvervstrafik i passager per år per retning på trafikken i området vist sammen med korridorernes placering. Baseret på AIS data for 2018.

Trafikken mellem Kattegat og Storebælt holder sig ganske tæt til Rute T og drager fordel af den organisering og støtte i sejladsen, som den generelle bøjemarkering, trafikseparering syd for Hatter Barn og dybvandsruten mellem Hatter Rev og Hatte Barn, giver. Nord for rutens knæk ved bøje 20 følger stort set al trafik således Dybvandsruten eller Rute T. Trafiktallene i Figur 10-9 viser en tydelig forskel imellem syd- og nordgående trafik. Denne forskel tilskrives at let lastede skibe med reduceret dybgang kan anvende Øresund som adgangsvej ind til Østersøen. I Øresund er dybgangen i Drogden Renden begrænset til 8 m. I lastet tilstand vil en del af de samme skibe have for stor dybgang til at anvende Øresund, og er derfor tvunget til at benytte Rute T for sejladsen ud af Østersøen. Den større nordgående trafik i Rute T antyder dermed en netto eksport af gods, fordi en del af trafikken til Østersøen sejler ind i

ballast via Øresund og ud i lastet tilstand via Storebælt og Rute T. Den detaljerede tælling i Tabel 10-2 af trafikken ind og ud af Kattegat igennem farvandet mellem Sjælland og Samsø viser, at denne ubalance er mest markant for skibe med en længde på 150 til 250 meter. For skibe større end dette interval vil selv ballastdybgangen være for stor til at kunne passere Øresund, og skibe, der er mindre, kan passere Øresund i lastet tilstand og vil derfor ikke søge til Rute T, medmindre skibets destination giver særlig grund herfor.

Tabel 10-2 Erhvervstrafik til og fra Kattegat for 2018



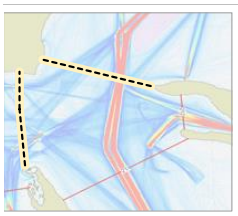
Sydgående trafik	Alle størrelser	0 - 25 m	25 - 50 m	50 - 75 m	75 - 100 m	100 - 125 m	125 - 150 m	150 - 175 m	175 - 200 m	200 - 250 m	250 - 300 m	300 - 350 m	350 - 400 m
Cargo	2.030	5	31	154	1.106	261	160	147	160	3	1		2
Container	1.302				1	3	216	305	307	284	50	17	119
Tanker	2.284		5	9	189	395	489	120	328	502	229	18	
Bulk	964				33	30	27	94	506	237	37		
Pass/RORO	1.181	5	11	5	17	1	9	42	194	742	87	68	
Fiskeri	48	34	5	2	6				1				
Øvrige	1.207	422	387	223	51	25	66	20	4	7	1		1
Samlet erhvervstrafik	9.016	466	439	393	1.403	715	967	728	1.500	1.775	405	103	122
Nordgående trafik	Alle størrelser												
Cargo	2.409	1	29	170	1.226	277	300	213	185	4	1		3
Container	1.595				7	10	300	500	309	281	47	20	121
Tanker	3.649		5	7	259	426	400	283	1.318	687	250	14	
Bulk	2.161			1	29	35	40	154	1.104	724	74		
Pass/RORO	1.307	3	15		33	2	13	62	210	790	104	75	
Fiskeri	65	47	15	2					1				
Øvrige	1.249	407	435	249	48	22	65	14	1	7	1		
Samlet erhvervstrafik	12.435	458	499	429	1.602	772	1.118	1.226	3.128	2.493	477	109	124

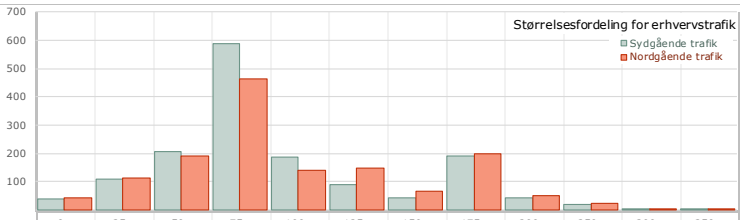
Syd for bøje 20 ses en del af trafikken at skille sig ud fra Rute T i en sydvestlig retning for passage syd om Samsø. Denne trafikstrøm eller rute er betegnet "Fortsættelsen" i Figur 10-9, som henvisning til, at denne trafik følger en direkte fortsættelse af Rute T's retning nord for bøje 20. Trafikken på Fortsættelsen har destinationer i regionen – Odense, Fredericia, Vejle, Horsens – eller skal passere gennem Lillebælt. Med en broløsning for KKØ skal trafikken på Fortsættelsen lægges ind i Rute T og passere broen gennem den centrale navigationsåbning. Den øvrige trafik igennem farvandet mellem Sjælland og Samsø følger Rute T meget fokuseret, og derfor er omlægningen af trafikken på Fortsættelsen ind i Rute T den primære konsekvens af en broløsning.

Tabel 10-3 viser en opgørelse af trafikken, der krydser begge tællelinjer i den indlagte figur – dvs. mellem Kattegat og sydvest om Samsø. Den omfatter således både den nævnte trafik på Fortsættelsen og den trafik, der udgår fra Rute T omkring Røsnæs, for at passere syd om Samsø. Den sidstnævnte trafik omfatter de større skibe, der søger mod den dybe passage gennem Lillegrund Rende.

For de sydlige KKØ-korridorer vil al denne trafik blive berørt af en broforbindelse, mens KKØ-1.1 og KKØ-2.1 primært vil påvirke trafikken på Fortsættelsen. Den årlige trafik er ca. 1.500 årlige passager hver vej, hvoraf de større skibe, med en længde over 175 m, udgør ca. 300 passager. Af disse større skibe repræsenterer RO-RO skibe med en længde på 175 – 200 m et dominerende bidrag med ca. 100 årlige passager hver vej. Disse RO-RO skibe sejler imellem Kattegat og Fredericia/Lillebælt, og benytter passagen mellem Paludan Flak og Samsø, og denne trafik udgør en stor andel af trafikken, og skibene er væsentlig større end den øvrige trafik i denne passage.

Tabel 10-3 Erhvervstrafik i 2018 mellem Kattegat og passagen mellem Fyns Hoved og Samsø.

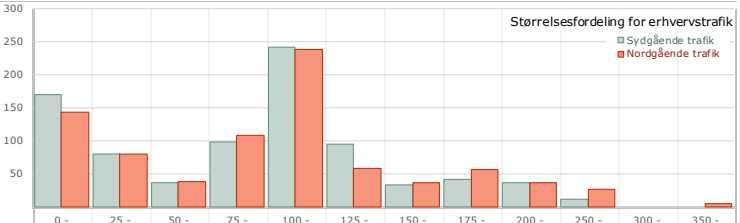




Sydgående trafik	Alle størrelser	0 - 25 m	25 - 50 m	50 - 75 m	75 - 100 m	100 - 125 m	125 - 150 m	150 - 175 m	175 - 200 m	200 - 250 m	250 - 300 m	300 - 350 m	350 - 400 m
Cargo	657			46	494	92	18	4	3				
Container	54						8	8	23	15			
Tanker	281		1	3	62	79	53	14	32	19	18		
Bulk	64				15	7	3	8	28	3			
Pass/RORO	125	1	4	1	1		3	7	103	4		1	
Fiskeri	5	4	1										
Øvrige	321	34	102	155	15	7	6		1				1
Samlet erhvervstrafik	1.507	39	108	205	587	185	91	41	190	41	18	1	1
Nordgående trafik	Alle størrelser												
Cargo	526	1		39	383	65	22	12	3				1
Container	126				1	2	61	31	18	6	2	1	4
Tanker	259		1	1	54	68	54	7	33	24	15	2	
Bulk	99				18	3	4	11	43	18	2		
Pass/RORO	114	1	1				2	5	101	2	2		
Fiskeri	2	1	1										
Øvrige	314	39	108	152	8	2	4			1			
Samlet erhvervstrafik	1.440	42	111	192	464	140	147	66	198	51	21	3	5

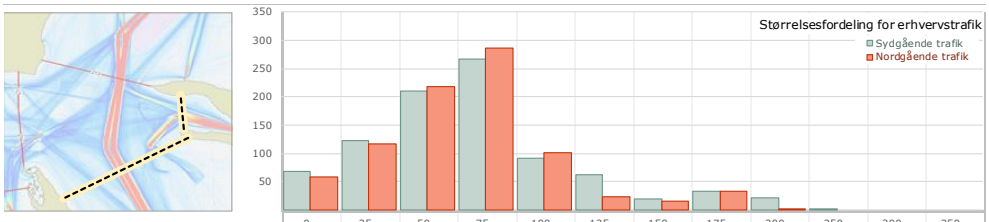
Betingelserne for skibstrafikken til og fra Kalundborg Fjord vil også i nogen udstrækning påvirkes af en broløsning, og betydningen vil være særlig afhængig af, om korridoren udgår fra Røsnæs eller Asnæs. Trafikken mellem Kalundborg og Kattegat hhv. Storebælt er opgjort i Tabel 10-4 og Tabel 10-5. Denne trafik udgør størstedelen af trafikken til Kalundborg Havn og tankskibstrafikken til og fra Kattegat ses at være det dominerende bidrag. Der er en del bevægelser med mindre skibe (under 100 m), og en stor del af denne fremgår synligt i trafiktætheden i Figur 10-9, som bevægelser langs med Asnæs, der fortsætter mod syd og for nogle bevægelsers vedkommende går et stykke ned mod Storebælt. I Figur 10-4 ses det, at denne lokalt høje trafikintensitet er begrænset til skibe under 100 m. Trafikken er identificeret som uddybningsfartøjer, der søger udenfor fjorden og mod syd – formentlig for at dumpe opgravet materiale fra vedligehold/uddybning af sejlrende og havnebassin. Tilsvarende bevægelser, der på samme måde ender blindt ude i farvandet, ses også ud af Odense Fjord i Figur 10-4. Ses der bort for denne lokale trafik i opgørelsen i Tabel 10-5, er antallet af bevægelser mellem Kalundborg og Storebælt kun ca. halvdelen af antallet af bevægelser mellem Kalundborg og Kattegat.

Tabel 10-4 Erhvervstrafik i 2018 mellem Kalundborg Fjord og Kattegat.



Sydgående trafik	Alle størrelser	0 - 25 m	25 - 50 m	50 - 75 m	75 - 100 m	100 - 125 m	125 - 150 m	150 - 175 m	175 - 200 m	200 - 250 m	250 - 300 m	300 - 350 m	350 - 400 m
Cargo	100		6	10	56	13	10	5					
Container	39				1	1	17	16	4				
Tanker	415			2	35	224	66	8	32	36	12		
Bulk	7					2			5				
Pass/RORO	1		1										
Fiskeri													
Øvrige	281	170	73	24	6	2	2	4					
Samlet erhvervstrafik	843	170	80	36	98	242	95	33	41	36	12		
Nordgående trafik	Alle størrelser												
Cargo	111		6	11	59	17	11	4	3				
Container	45					1	14	20	2	3	1		4
Tanker	371			1	44	213	33	8	30	19	23		
Bulk	40					4		1	21	11	3		
Pass/RORO	5	1	1							3			
Fiskeri	7	5	2										
Øvrige	248	137	71	26	5	4	1	4					
Samlet erhvervstrafik	827	143	80	38	108	239	59	37	56	36	27		4

Tabel 10-5 Erhvervstrafik i 2018 mellem Kalundborg Fjord og Storebælt.



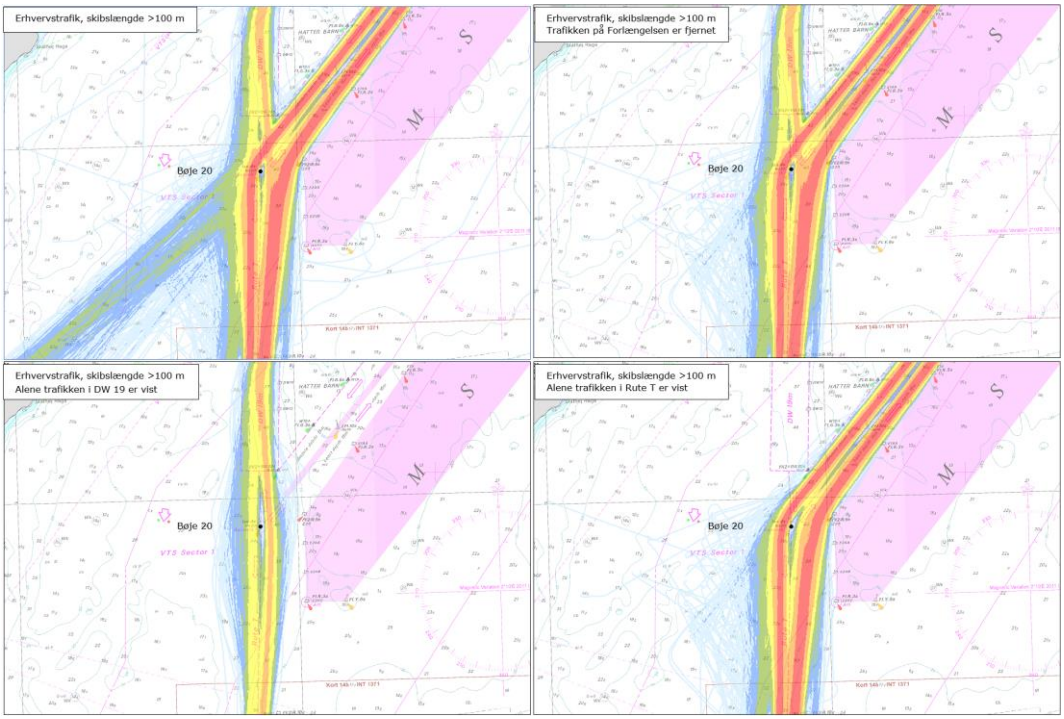
Sydgående trafik	Alle størrelser	0 - 25 m	25 - 50 m	50 - 75 m	75 - 100 m	100 - 125 m	125 - 150 m	150 - 175 m	175 - 200 m	200 - 250 m	250 - 300 m	300 - 350 m	350 - 400 m
Cargo	64		6	13	35	4	4	1	1				
Container	35					1	15	14	5				
Tanker	101				8	9	42	3	21	17	1		
Bulk	15					4	1		6	4			
Pass/RORO	2	1	1										
Fiskeri	1	1											
Øvrige	680	66	116	197	223	74	1	2		1			
Samlet erhvervstrafik	898	68	123	210	266	92	63	20	33	22	1		
Nordgående trafik	Alle størrelser												
Cargo	60		6	14	31	5	1	1	2				
Container	16						3	12	1				
Tanker	84				29	16	17		21	1			
Bulk	11					3			8				
Pass/RORO	4	2	1				1						
Fiskeri	4	4											
Øvrige	673	52	109	205	227	77	1	2					
Samlet erhvervstrafik	852	58	116	219	287	101	23	15	32	1			

Trafikken på Fortsættelsen, der sejler sydover ud af Rute T eller nordover ind i Rute T ved Bøje 20, er tidligere indikeret at skulle forblive i Rute T efter etablering af en bro-forbindelse. Andre forhold omkring Bøje 20 gør netop dette sted særlig komplekst – se Figur 10-10. Rute T knækker ca. 37 grader mod nordøst og går ind i trafikseparationen mellem Hatter Barn og Sejerø. Separationen sørger for at holde de to trafikretninger adskilt i dette snævre og let udfordrende farvand, for derved at undgå både kollisioner og grundstødninger. Separationen skal benyttes af skibe med en dybgang op til 13 meter, mens skibe med større dybgang henvises til Dybvandsruten. Denne er markeret med "DW 19m" på søkortet, og fortsætter nordover i forlængelse af Rute T.

Figur 10-10 Rute T og Dybvandsruten (DW 19m) omkring bøje 20.

Knækket på Rute T ind i separationen og den samtidige udskilning fra ruten af skibe med stor dybgang, øger behovet for opmærksom og hensynsfuld navigation ved denne bøje, og dette bliver forstærket af en forholdsvis stor trafik med ca. 12.000 hhv. 9,000

årlige passager ud og ind af Kattegat. Det svarer til ét udadgående skib per 45 min og ét indadgående skib per time. Disse trafikstrømme medfører en stor hyppighed af at to eller flere skibe mødes nær Bøje 20. Disse mødende skibe skal afstemme deres sejlads i forhold til og med hinanden, og dette viser sig ved at trafikken breder sig omkring bøje 20 for – i henhold til de sædvanlige søfartsregler – at give plads til og vige for hinanden. Trafiktætheden for skibe længere end 100 m vist i Figur 10-11 illustrerer omfanget af denne udvidelse på de forskellige ruter, der passerer bøje 20.



Figur 10-11 Trafiktætheder ved Bøje 20 på Rute T for erhvervsskibe større end 100 m. Med al trafik (øverst tv.), Når trafik på Forlængelsen er elimineret (øverst th.), Trafik på Dybvandsruten (nederst tv.), Trafik der følger Rute T (nederst th). (Bilag 10-13 i bilagsmappen)

Den samlede trafikmønsters generelle udvidelse ses tydeligt i forhold til den stramme og snævre navigation både i trafikseparationen mod nordøst, i Dybvandsruten mod nord og i den sydlige del af Rute T, der samles i passagen mellem Bøje 21 og 22 ved Røsnæs. Tages trafikken på Forlængelsen væk, bliver udvidelsen tydeligere, og en mængde spor vest for Rute T viser tillige, at noget af trafikken sejler ind i området sydvest for Bøje 20 for så at returnere til Rute T. Ses alene på trafikken, der anvender Dybvandsruten, dvs. trafikken med særlig stor dybgang, er den lokale udvidelse af navigationsrummet ved Bøje 20 særlig tydelig, idet denne trafik bruger ca. 50% større bredde ved Bøje 20 end i selve Dybvandsruten. Isoleres trafikken, der anvender trafikseparationen nordvest for Bøje 20, viser tætheden, at det er den sydgående del af denne trafik, der tager afstikkere ud i område vest for Rute T. Dette kan dels være for opankring – f.eks. mens der ventes på havneplads i Kalundborg Havn – eller for at modtage forsyninger. Andre af disse spor antyder, at nogle skibe er sene med at ændre kursen sydover efter at have passeret af Bøje 20. I vurderingen af sejladsforholdene ved en fast forbindelse er det er vigtigt at inddrage kompleksiteten ved Bøje 20 og trafikkens synlige reaktion på denne.

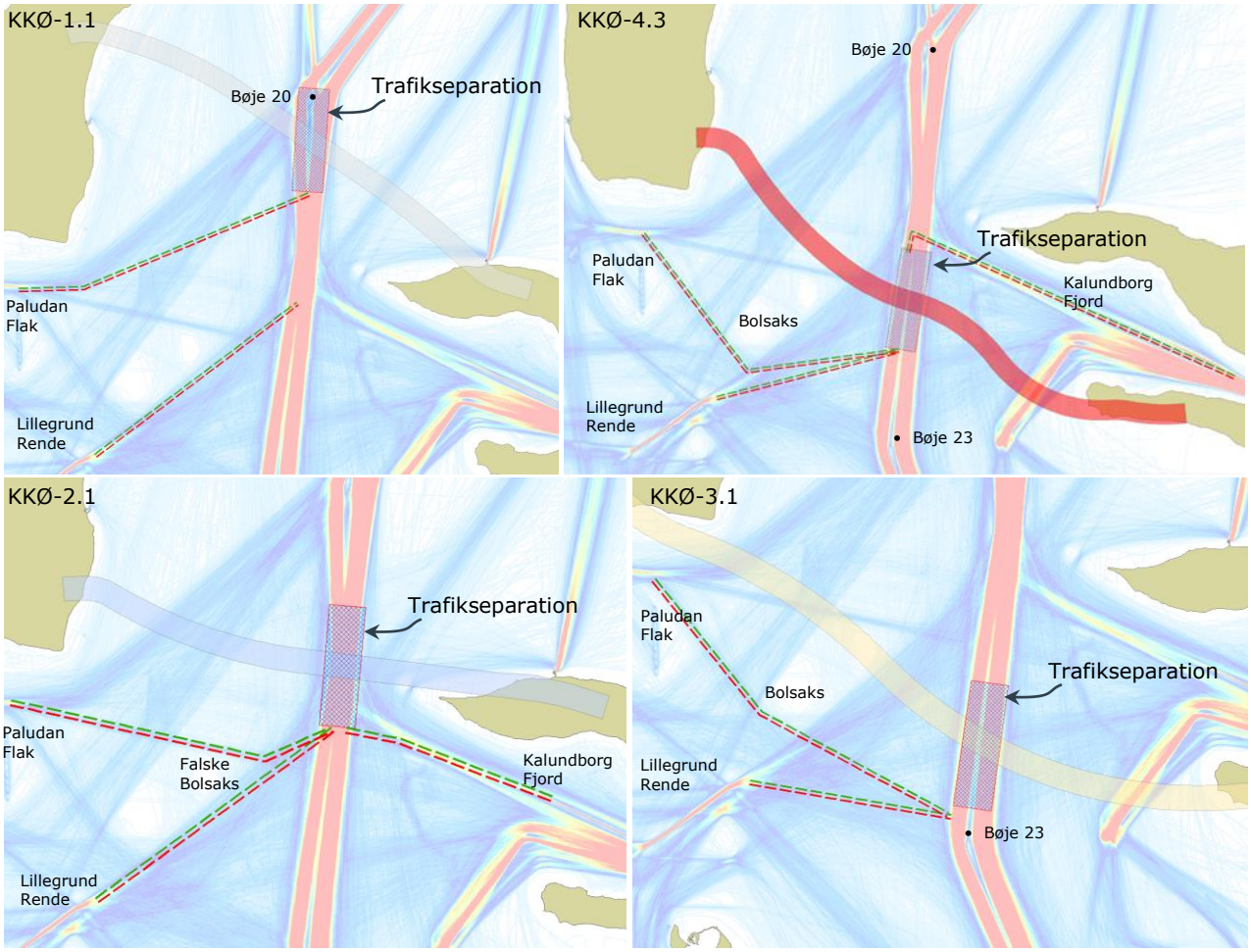
Trafikken, der passerer mellem Fyns Hoved og Samsø, skal tage højde for den tærskel med begrænset vanddybde, som findes mellem Fyns Hoved og Samsø – se batymetrien i Figur 10-5. De mest trafikerede passager i denne tærskel er mellem Paludan Flak og Samsø i nord, og gennem Lillegrund Rende i syd. Lillegrund Rende er knap 4 km lang, 300 m bred og vedligeholdes (aktivt) til en minimumdybde på 15,7 m. Trafikken gennem Lillegrund Rende af skibe større end 100 m var i 2018 ca. 700 årlige passager hver vej svarende til 2 større skibe per dag. Renden er aktuelt ikke bred nok til at to sådanne skibe kan/bør passere hinanden i renden. Med kun 2 passager pr. dag i hver retning, er kapaciteten af renden i forhold til mødesituationer endnu ikke udtømt. Men hvis en fast forbindelse medfører, at trafikken nord om Paludan Flak skal søge ned i Lillegrund Rende, og hvis en bro i KKV tillige introducerer en begrænsning for trafikken vest om Samsø, vil trafikken i Lillegrund Rende øges. Derfor skal udnyttelsen af denne rendes kapacitet have fokus, i senere mere detaljerede undersøgelser af løsninger for KKV og KKØ.

Foruden denne tærskel med de to nævnte gennemsejlinger, skal trafikken syd for KKØ tillige tage højde for revene mod sydøst for Samsø: Bolsaks, Falske Bolsaks og et ikke navngivet, lavvandet område nordøst herfor – se Figur 10-5. Tætheden af erhvervstrafikken i Figur 10-2 viser tydeligt hvordan disse områder undgås, så trafikken enten går nord om disse rev og møder Rute T ved Bøje 20, eller går syd om revene og møder Rute T ved Bøje 21 & 22 ud for Røsnæs. De begrænsede vanddybder over tærsklen og ved revene øst herfor vil derfor have betydning for det mulige arrangement af skibstrafikken med en broløsning for KKØ.

10.3.2 Navigationsarrangement

10.3.2.1 Rene broløsninger

For alle rene broløsninger vil den nord- og sydgående erhvervstrafik i farvandet mellem Sjælland og Samsø skulle lægges ind i Rute T for at passere broen i hovedbroens gennemsejlingsåbning. Selve gennemsejlingen skal støttes af en trafikseparering, der effektivt adskiller den nord- og sydgående trafik i to separate spor, og dette arrangement vil dække en ca. 2-3 km strækning af ruten på hver side af broen. Ifølge hensigten med trafikseparingen skal al trafik, der skal passere broen, slutte sig til ruten før separationen. Efter passage af broen kan trafikken i princippet godt forlade separeringen til egen (styrbords) side, men må først krydse det modgående spor efter separationens ophør. Dermed udgør separationen en navigationsmæssigt restriktiv zone omkring gennemsejlingen, der skubber andre ruters tilslutning til Rute T et stykke væk fra broens linjeføring. Som det ses i Figur 10-12 er denne trafikale restriktion ikke en udfordring for trafikkens arrangement syd for KKØ-1.1, hvor det kun er trafikken i renden nord for Paludans Flak, der lægges om, så den slutter til eller forlader Rute T 4 til 5 kilometer syd for Bøje 20. Nord for KKØ-1.1 vil separationen overlappe Rute T's knæk og udfletningen af Dybvandsruten nord for korridoren, og det vil dermed skabe en uønsket begrænsning i det navigationsmæssige frirum til at håndtere mødesituationer og krydsende trafik ved Bøje 20 umiddelbart nord for broen. Af denne grund må arrangementet nord for KKØ-1.1 forventes at møde ganske stor modstand fra Søfartsstyrelsen og fra søfartens parter. Og da arrangementet af ruterne omkring korridoren er låst af de snævre passager gennem Hatter Rev og Hatter Barn, evalueres bidraget til projektrisikoen med udgangspunkt i rutearrangementet ved KKØ-1.1 at være **Højt**.



Figur 10-12 Arrangement af en 5 km lang trafikseparation ved gennemsejling af en broløsning for 4 korridorer og illustration af hvad den betyder for tilslutningen af erhvervstrafikken til/fra vest og fra Kalundborg Havn til Rute T.

Den sydligere placering af KKØ-2.1 vil tvinge trafikken gennem renden ved Paludan Flak til at gå længere sydover og passere lige nord for Falske Bolsaks for at nå hen til Rute T syd for separationen for videre sejlads nordpå. Dermed bliver denne passage noget uhensigtsmæssig. Trafikken gennem Lillegrund Rende og fra Kalundborg skal tilsvarende sluttes til Rute T lidt længere mod syd, men det ændrer ikke ved ruternes anvendelighed. Indlemningen af al trafik ind i Rute T nord for korridoren vurderes ikke at udgøre en ændring, der kan møde modstand. Projektrisikobidraget for KKØ-2.1 i forhold til omlægninger af trafikken sættes derfor til **Forventeligt**.

Med KKØ-4.3 vil ruten til Kalundborg Havn slutte til Rute T nord for separationen, så trafikken til/fra nord vil ikke påvirkes af denne korridor. Trafikken mellem Kalundborg og destinationer syd for korridoren skal slutte sig til Rute T umiddelbart nord for separationen under en ikke optimal vinkel. Men da andelen af større skibe i denne trafik er begrænset, og siden der ikke er andre udfordringer på Rute T i nærheden, tillægges denne uhensigtsmæssige tilslutning ikke betydende vægt for korridoren. Trafikken i renden over Paludan Flak må flyttes syd om Bolsaks og vil dermed få et forløb, der gør rendens anvendelighed meget tvivlsom at anvende for trafik til/fra nord. Da det er en mindre rute og siden Lillegrund Rende giver et alternativ, sættes projektrisikobidraget for omlægningen til **Forventeligt**.

Med den sydligste korridor KKØ-3.1 vil trafikken mellem Rute T og Kalundborg være uberørt, hvorimod tilslutningen for trafikken gennem Lillegrund Rende og renden ved Paludan Flak til den nordlige del af Rute T bliver skubbet meget langt mod syd. Med den sydlige tilslutning vil ruten over Paludan Flak ikke længere vurderes at være relevant/anvendelig. Trafikken gennem Lillegrund Rende vil slutte sig til Rute T under en næsten ret vinkel og så tæt på knækket af Rute T ved Bøje 23, at det udgør en uønsket lokal kompleksitet både for den øvrige trafik i Rute T og for trafikken gennem Lillegrund Rende. Sejladsarrangementet syd for KKØ-3.1 forventes derfor at møde modstand både fra Søfartsstyrelsen og blandt interessenterne i den berørte trafik. På grund af disse omlægninger sættes projektrisikobidraget til at være i den høje ende af **Forhøjet**.

Spændvidden af hovedbroen i broløsningerne er valgt så de enten svarer til spændvidden af Østbroen over Storebælt, eller alternativt til den mindre spændvidde for den foreslåede skråstagsbro over Femern Bælt, der til gengæld anvender separate gennemsejlinger for hver trafikretning. Den effektive spændvidde af broen – dvs. spændvidden af broen målt vinkelret på ruten – bliver mindre ved en skæv krydsning mellem Rute T og korridoren. Dette udgør en direkte (første ordens) konsekvens af et skævt arrangement af korridoren i forhold til Rute T. I tillæg til denne rent geometriske betydning for navigationsåbning, udgør en skæv vinkel i krydsningen også en udfordring i forhold til den visuelle verifikation af skibets kurs og placering i forhold til brolinjen og gennemsejlingen. Om end dette er en sekundær (anden ordens) effekt, har den betydning for skibsførernes orientering og tryghed ved passagen.

Tabel 10-6 præsenterer de foreslåede broløsningers spændvidde, krydsningsvinkel med Rute T og den (simpelt beregnede) effektive spændvidde. Endvidere er de tilsvarende data for Østbroen over Storebælt og broløsningerne for Femern Bælt vist som reference.

Tabel 10-6 Brospænd krydsningsvinkel og effektivt brospænd for de rene broløsninger. Referenceprojekter (Østbroen og Femern) er inkluderet til sammenligning.

Broløsning	Brospænd	Krydsningsvinkel	Effektivt brospænd
KKØ-1.1	1.900 m	60°	1.645 m
KKØ-2.1 KKØ-2.3[1)]	1.630 m	85°	1.624 m
KKØ-2.2[1)] KKØ-2.4[1)]	1.630 m	90°	1.630 m
KKØ-3.1	2×750 m	66°	2×685 m
KKØ-4.3[2)]	2×750 m	80°	2×738 m
Østbroen over Storebælt	1.624 m	78°	1.588 m
Femern, Hængebro Femern, Skråstagsbro	1.632 m 2×724 m	~83°	1.620 m 2×719 m

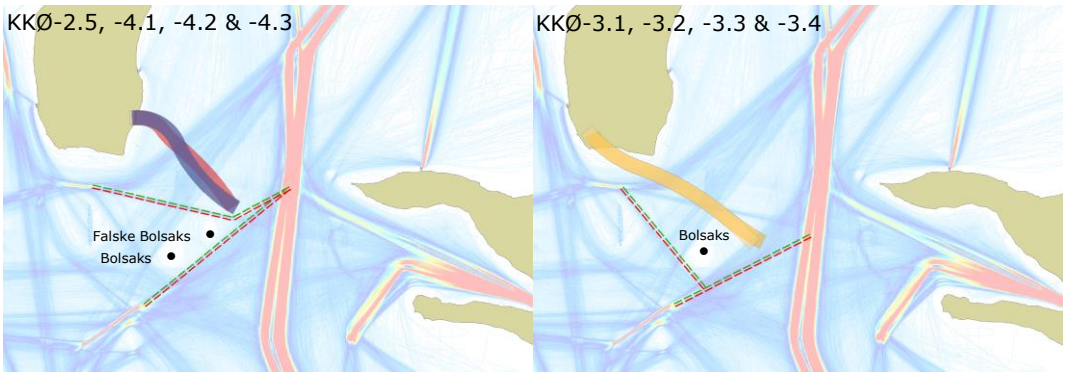
1) Baseret på designet for KKØ-2.1

2) Baseret på designet for KKØ-3.1

Spændvidden for KKØ-3.1 ses ikke helt at være afstemt til at reproducere den effektive spændvidde for Femern Bælt, baseret på korridorens faktiske krydsningsvinkel. Men for de øvrige korridorer og løsninger ses den effektive spændvidde at være større end referenceprojekternes. Effekten af at skulle navigere imod en bro i en skæv vinkel vil dog være til stede selvom den effektive spændvidde er den samme som for en vinkelret krydsning. Denne effekt vil være mest udtalt for KKØ-1.1 og KKØ-3.1, og dette vurderes at øge risikoen for projektet.

10.3.2.2 Kombinerede bro- og tunnelløsninger

For de kombinerede bro- og tunnelløsninger vist i Figur 10-8 er hovedbroen over Rute T erstattet af en tunnel, og brodelen er reduceret til en lavbro mellem Samsø og en kunstig ø mellem Samsø og Rute T. Lavbroens tilstedeværelse vil alene påvirke trafikken mellem den nordlige del af Rute T og de vestlige destinationer, der passerer tærsklen mellem Fyns Hoved og Samsø. Den nødvendige omlægning af trafikken for de kombinerede løsninger er indikeret i Figur 10-13.



Figur 10-13 Arrangement af skibsfarten omkring brodelen af de kombinerede bro- og tunnelløsninger for KKØ.

Det ses at de sydlige korridorer (KKØ-3.1 til KKØ-3.4) vil gøre passagen nord om Paludan Flak temmelig uhensigtsmæssig for trafik til eller fra Kattegat, mens de nordligere korridorer (KKØ-2.5 samt KKØ-4.1 til KKØ-4.3) giver en acceptabel besejling vestover via begge passager, om end trafikken over Paludan flak skal navigere mellem Falske Bolsaks og den kunstige ø.

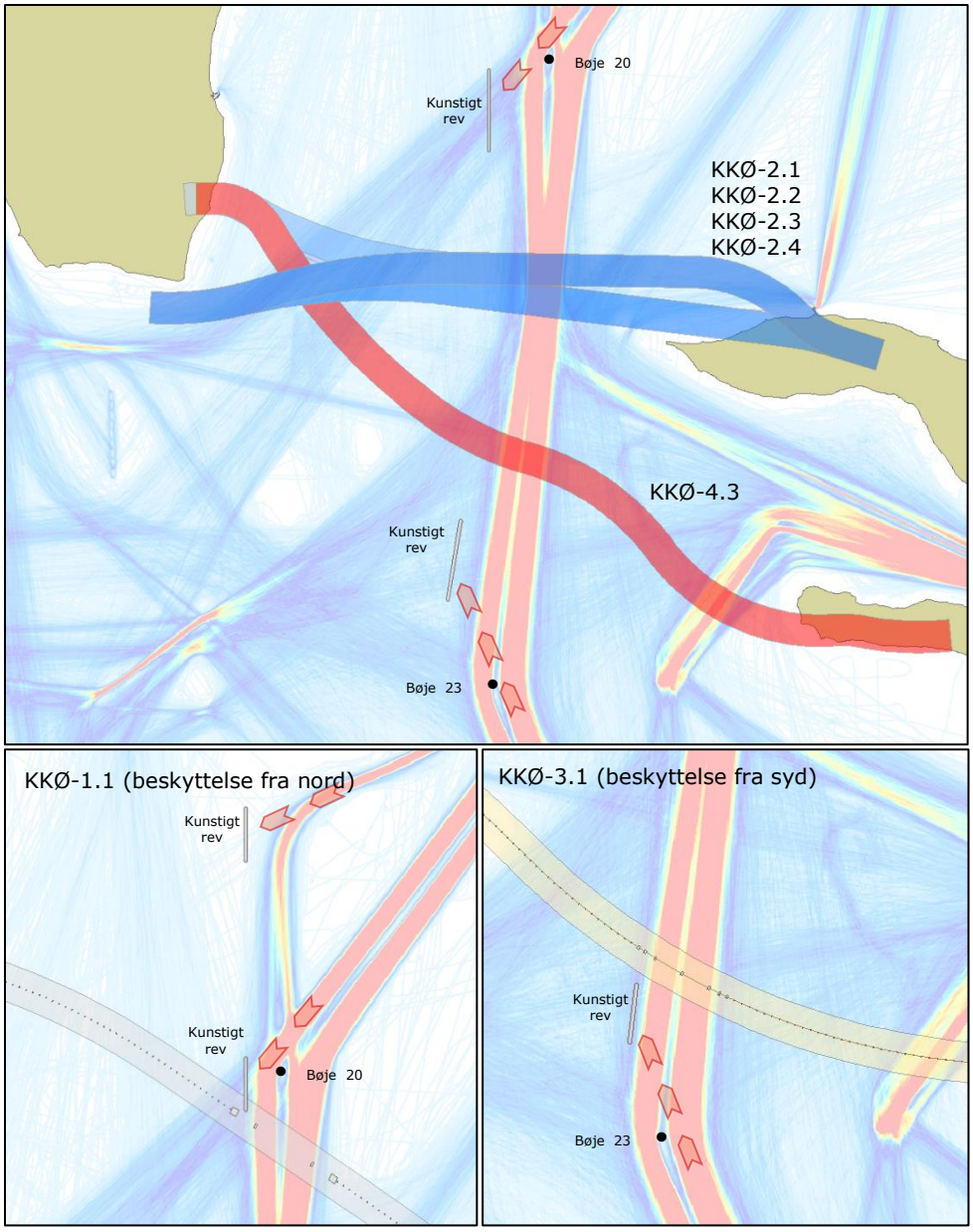
10.3.2.3 Kunstige rev som ekstern beskyttelse mod kollisioner

Modelberegninger af risikoen for kollisioner mod en broløsning har demonstreret, at den omfattende og tunge trafik på Rute T giver en meget stor frekvens af kollisioner, der skyldes at et skib ikke foretager den nødvendige kursændring ved Bøje 20 eller Bøje 23 – se Figur 10-14. En mulig beskyttelse mod denne kollisionsrisiko opnås ved at etablere kunstige, undersøiske beskyttelsesrev mellem ruteknækkene og broen, så skibene, der ikke foretager kursændringen, grundstøder på revet i stedet for at kollidere mod broen. Det er mest effektivt at placere disse rev så tæt på rutens knæk som muligt. Men af hensyn til trafikkens plads til at vige for øvrig trafik i ruten, og kunne gøre det uden at være i fare for grundstødning mod et rev langs ruten, må revene lægges i nogen afstand fra ruten.

Behovet for at etablere lokaliserede rev, der udgør en fare for grundstødning i et farvandsområde, hvor vanddybden i øvrigt er rigelig, forventes ikke at blive vel modtaget

af søfarten. Nødvendigheden af disse rev vurderes derfor helt generelt at øge projektrisikoen, navnlig hvis denne i forvejen er **Forhøjet**.

Den foreslåede placering af revene er indikeret i Figur 10-14. For de centrale korridorer vurderes revene ikke at influere på sejladsforholdene. For alle rene broløsninger er det nødvendigt at etablere to rev. For de sydlige og midterste korridorer skal revene placeres ved Bøje 20 og Bøje 23, som vist øverst i figuren. Med den nordlige placering af KKØ-1.1 udgør kollisionspotentialet fra Bøje 23 ikke en signifikant risiko, så et sydligt rev kan undværes for denne løsning. Korridoren er i stedet eksponeret for kollisioner fra knækket på Dybvandsruten, så det andet rev er for denne løsning placeret sydvest for dette knæk.



Figur 10-14 Foreløbig placeringer af kunstige rev til beskyttelse imod kollisioner fra skibe, der ikke drejer ved knække på Rute T.

For både KKØ-1.1 og KKØ-3.1 er knækket på Rute T så tæt på korridoren, at der ikke er den ønskede plads til revet imellem korridoren og Rute T. Revet må derfor gøres kortere og placeres tættere end ønsket på ruten. Det tilføjer en nærliggende fare for grundstødning mod revet til en i forvejen kompliceret navigationssituation ved KKØ-1.1. Om end revets placering mellem det sydgående spor af Rute T og KKØ-3.1 ikke er ønskelig, udgør den tætte placering ikke samme risiko for grundstødning som for KKØ-1.1. Den tætte placering af revene vurderes ikke i sig selv at udgøre en væsentlig udfordring for KKØ-1.1 og KKØ-3.1, men i kombination med andre udfordringer vurderes forholdet at øge projektrisikoen.

For de kombinerede bro- og tunnelløsninger har intentionen været at holde brodelen væk fra den store trafik på Rute T og dermed væk fra risikoen for kollisioner. Den store risiko, der er forbundet med skibe, der ikke drejer i rutens knæk, eksponerer dog også lavbroen i de kombinerede løsninger, og med den mindre pilleafstand og en generelt lavere brodrager vil denne eksponering lede til en betragtelig risiko for afbrydelse på grund af denne type kollision – se afsnit 10.3.3.5. Det er derfor også nødvendigt at etablere kunstige, undersøiske rev til beskyttelse imod disse kollisioner for de kombinerede løsninger. Det er med sikkerhed nødvendigt at etablere et rev sydvest for Bøje 20 nord for korridoren, mens truslen for kollisioner, der udspringer af rutens knæk ved Bøje 23, ikke nødvendigvis er en risiko for broen. Men tunnelen og den kunstige ø vil være eksponeret for kollision/grundstødning af de samme skibe, der ikke drejer ved Bøje 23. Så det kan også vise sig nødvendigt med et sydligt rev, der eventuelt kunne bygges sammen med den kunstige ø.

Revene kan placeres frit for de kombinerede løsninger og kan dermed placeres som ved KKØ-2.1, så de ikke får væsentlig betydning for sejladsforholdene.

10.3.2.4 Fritidstrafik

Gennemsejlingsåbningerne for fritidstrafikken i de foreslåede løsninger kan suppleres, flyttes og optimere uden at påvirke evalueringen af korridorerne og broløsningerne i øvrigt. Derfor er det ikke relevant på nuværende stadie af forundersøgelserne at lægge de foreløbige gennemsejlingsåbninger til grund for evaluering af hverken korridorer eller broløsningernes design.

10.3.2.5 Sammenfatning og evaluering af sejladsforhold for KKØ

Fordele og ulemper ved sejladsforhold og navigationsarrangement for de undersøgte korridorer og løsninger er sammenfattet i Tabel 10-7. Med udgangspunkt i de gjorte observationer er det evalueret i hvilken udstrækning navigationsforholdene ved en korridor og løsning forventes at møde modstand hos søfartsmyndighederne og blandt søfartens parter. Og dette er omsat til et risikoniveau for projektet, svarende til i hvilken udstrækning disse aspekter bidrager til projektrisikoen for den pågældende korridor og løsning.

Tabel 10-7 Evaluering af navigationsarrangement omkring KKØ-korridorer med rene eller delvise broløsninger. ("Bro": ren broløsning, "Bro+ST": bro og sænketunnel, "Bro+BT": bro og boret tunnel)

Korridor og løsning	Fordele og udfordringer ved navigationsarrangementet hørende til korridoren og den betragtede løsning.	Evaluering og Projektrisikobidrag
KKØ-1.1 Bro	+ Uvæsentlige trafikomlægninger syd for korridoren + Uændret anvendelighed af renderne ved Paludan Flak og Lillegrund + Uændret sejlads til/fra Kalundborg ÷ Trafik, der skal krydse korridoren, omlægges ind i Rute T ÷ Skæv vinkel ved krydsning af Rute T ÷ Sammenfald af navigationsmæssige udfordringer nær gennemsejling ÷ Beskyttelsesrevet er klemt inde mellem bro og Rute T, og begrænser dermed manøvrerummet for den sydgående trafik	Giver omfattende udfordringer for skibsfarten. Stærke indsigelser er forventelige. **Højt** projektrisikobidrag
KKØ-2.1 Bro KKØ-2.2 Bro KKØ-2.3 Bro KKØ-2.4 Bro	+ Krydser hvor Rute T er mest fokuseret + Korridoren er placeret omtrent midt imellem de to knæk på Rute T + God vinkel i krydsningen af Rute T + Uændret anvendelighed af Lillegrund Rende + Beskyttelsesrev kan placeres frit ÷ Trafik, der skal krydse korridoren, omlægges ind i Rute T ÷ Rende over Paludan Flak bliver uhensigtsmæssig for trafik, der skal krydse korridoren ÷ Let påvirket sejlads til/fra Kalundborg	Forventes at være acceptabel for skibsfarten **Forventeligt** projektrisikobidrag
KKØ-3.1 Bro	+ Uændrede betingelser for trafik mellem Kalundborg og farvande nord for korridoren ÷ Trafik, der skal krydse korridoren, omlægges ind i Rute T ÷ Renderne over både Paludan Flak og Lillegrund Rende bliver meget uhensigtsmæssige for trafik, der skal krydse korridoren ÷ Skæv vinkel i krydsningen af Rute T ÷ Det sydlige beskyttelsesrev ligger klemt inde mellem bro og Rute T, og begrænser manøvrerummet for den sydgående trafik	Giver omfattende udfordringer for skibsfarten. Stærke indsigelser er forventelige. **Højt** projektrisikobidrag
KKØ-4.3 Bro	+ God afstand fra begge knæk på Rute T + Gunstig vinkel i krydsningen af Rute T + Beskyttelsesrev kan placeres frit ÷ Trafik, der skal krydse korridoren, omlægges ind i Rute T ÷ Rende over Paludan Flak bliver uhensigtsmæssig for trafik, der skal krydse korridoren ÷ Let påvirket sejlads til/fra Kalundborg	Forventes at være acceptabel for skibsfarten **Forventeligt** projektrisikobidrag
KKØ-3.1 Bro+ST KKØ-3.2 Bro+BT KKØ-3.3 Bro+ST KKØ-3.4 Bro+BT	+ Uberørt navigation øst for korridoren dvs. øst for den kunstige ø + Uændret anvendelighed af Lillegrund Rende ÷ Rende over Paludan Flak bliver uhensigtsmæssig for trafik, der skal krydse korridoren	Forventes at være acceptabel for skibsfarten **Forventeligt** projektrisikobidrag
KKØ-2.5 Bro+BT KKØ-4.1 Bro+BT KKØ-4.2 Bro+BT KKØ-4.3 Bro+ST	+ Uberørt navigation øst for korridoren dvs. øst for den kunstige ø + Uændret anvendelighed af Lillegrund Rende ÷ Rende over Paludan Flak bliver lettere uhensigtsmæssig for trafik, der skal krydse korridoren	Forventes at være acceptabel for skibsfarten **Forventeligt** projektrisikobidrag

10.3.3 Kollisionsrisiko for en broløsning

Allerede ved de indledende linjeføringsovervejelser rapporteret i [25] (Indledende linjeføringsovervejelser for en Kattegatforbindelse, Delrapport, COWI) blev det klart, at risikoen for kollision mod en broforbindelse for KKØ kunne få en betydelig størrelse, og at særlige tiltag vil være nødvendige for at begrænse denne risiko til et acceptabelt niveau. Eksterne undersøiske beskyttelsesrev blev foreslået som et nødvendigt tiltag, og den mulige reduktion af risikoen med et sådan rev er demonstreret i den indledende undersøgelse.

På grund af kollisionsrisikoens betydelige størrelse og deraf følgende indflydelse på anbefalingen for korridorer og broløsninger, er det i denne forundersøgelse vurderet nødvendigt at gennemføre en mere detaljeret beregning af risikoen for tre udvalgte broløsninger. Disse beregninger skal både afklare en eventuel indflydelse på risikoen af korridorens placering, og samtidigt give grundlag for en skønsmæssig vurdering af risikoniveauet for løsninger i de øvrige korridorer. Parallelt med disse modelberegninger, er de danske referenceprojekter – Østbroen over Storebælt og broprojektet for en fast forbindelse over Femern Bælt – undersøgt med henblik på at definere regimet for et acceptabelt niveau af kollisionsrisikoen, og i særdeleshed for at definere, hvornår kollisionsrisikoen for en korridor og løsning er så høj, at løsningen bør fravælges.

Analyser og undersøgelser er rapporteret i [23] (Fagnotat, KKØ - Sejladsforhold og risiko for skibskollision, COWI), og i det følgende gives et sammendrag af de affødte observationer, resultater, evalueringer og konklusioner.

10.3.3.1 Forudsætninger og terminologi

De tidligere undersøgelser af korridorer for en Kattegatforbindelse [25] (Indledende linjeføringsovervejelser for en Kattegatforbindelse, Delrapport, COWI) tog udgangspunkt i den registrerede skibstrafik i området for året 2018. Dette grundlag vurderes fortsat at udgøre en relevant basis for beregning af kollisionsrisikoen. Erfaring fra den løbende observation af trafikken gennem Storebælt viser, at trafikken i området ikke udvikler sig markant fra år til år. Endvidere skal denne forundersøgelse skabe sammenligningsgrundlag på tværs af korridorer og konceptuelle løsninger, og en sådan relativ sammenligning af risikoniveauet for løsningerne, vil ikke influeres af en opdatering af skibstrafikken. Endelig bibringer det en nyttig konsistens og sammenlignelighed på tværs af undersøgelserne at fastholde datagrundlaget.

Termen kollisionsrisiko refererer i dette afsnit alene til risikoen for broforbindelsen ved en skibskollision. Evaluering af risikoen for skibet og dets besætning ved en mulig kollision mod broen er varetaget indirekte og kvalitativt via diskussion af sejladsforholdene i afsnit 10.3.2 og igennem den affødte vurdering af, hvorvidt sejladsforholdene og sejladssikkerheden ved de foreslåede broforbindelser forventes at være acceptable for søfartsmyndighederne og for søfartens parter.

Risiko er et sammensat begreb, der indeholder en akkumulering af hyppigheden af uønskede hændelser og disse hændelsers konsekvens. Kollisionsrisikoen kan således opgøres på mange forskellige måder afhængig af hvilken konsekvens ved kollisionen, der er i fokus. For en fast forbindelse er det et centralt og meningsfyldt formål, at forbindelsen forbliver tilgængelig og anvendelig. Derfor er det sædvanligt at repræsentere kollisionsrisikoen ved hyppigheden – eller frekvensen – af at forbindelsen afbrydes

ved en skibskollision. Konsekvenserne for trafikanterne på broen i form af personskade eller dødsfald ved en kollision har naturligvis et separat risikomæssigt fokus. Muligheden for personskade eller dødsfald blandt brugerne ved en kollision vil imidlertid være stærkt korreleret med, at kollisionen giver så store konstruktive skader, at forbindelsen må afbrydes mens skaden udbedres. Frekvensen af afbrydelse af forbindelsen ved en kollision er således et enkelt og meningsfyldt risikomål, der samtidig giver indikation af potentialet for personskade blandt trafikanterne. (Se dog diskussionen senere i afsnit 10.3.3.3 om varsling af kollisioner.)

I beskrivelse, diskussion og modellering af skibskollisioner, skelnes imellem 3 forskellige kollisionsscenarier:

- Kategori I
  Disse kollisioner sker i forbindelse med skibets passage af broens navigationsåbning. Kategorien omfatter navigationsmæssige afvigelser og tekniske fejl på den sidste, rette strækning af ruten frem mod broens navigationsåbning.
- Kategori II
  Disse kollisioner sker, når et skib har sat kursen mod næste knækpunkt på ruten, men passerer knækpunktet uden at ændre kurs, og dermed kommer på kollisionskurs mod broen.
- Kategori IV
  Disse kollisioner udgør en restgruppe af kollisioner, der ikke kan beskrives som en af de to andre kategorier. De er repræsenteret ved en meget lav andel af den samlede kollisionshyppighed og antages at kunne have retning mod et hvilket som helst sted langs med broen.

For en veldesignet bro med en tilstrækkelig stor navigationsåbning vil Kategori I alene berøre hovedbroens piller eller pyloner. Risikoen ved disse kollisioner kan dermed nedbringes enten ved at designe disse piller med tilstrækkelig modstandsevne, eller ved at opføre ekstern kollisionsbeskyttelse omkring pillerne. Kategori II kollisioner er en uheldig konsekvens af forløbet af en rute i broens nærhed. Den udsatte del af broen ligger i forlængelse af rutens forløb inden knækket, og kan omfatte dele af tilslutningsbroen, der ikke let lader sig forstærke til at modstå kollisioner. Derved kan denne type kollisioner komme til at udgøre en særlig stor udfordring for designet af en broforbindelse. Endelig udgør Kategori IV kollisioner en diffus eksponering, der giver risikobidrag for alle piller, som vanddybden tillader skibene at nå. Risikobidrag fra dragerne er både betinget af, at skibene har tilstrækkelig vanddybde hen til drageren, og af, at drageren er lavere end skibets dækshus. Men når disse forudsætninger er opfyldt, kan denne kollisionskategori lede til meget store risikobidrag, som vil kunne diskvalificere et brodesign med lavt placerede dragere over dybt vand.

10.3.3.2 Acceptabelt og uacceptabelt risikoniveau

Danske broprojekter, der i forhold til kollisionsrisikoen og sejladsforhold er sammenlignelige med en broløsning for KKØ, er begrænset til Østbroen over Storebælt og det foreslåede broprojekt for en fast forbindelse over Femern Bælt. Skibstrafikken igennem Øresundsbroen er mindre og navigationsforholdene væsentlig gunstigere i forhold til en broløsning i KKØ til at udgøre en sejladsmæssig reference. Storebæltsforbindelsen som helhed, og Østbroen i særdeleshed, var banebrydende for en risikobaseret designproces for et infrastrukturanlæg. Og med mere end 20 år i tæt monitoreret drift, udgør

Østbroen et erfaringsmæssigt tyngdepunkt for en velfungerende broløsning. Omvendt blev det foreslåede broprojekt for Femern Bælt ikke anbefalet i forhold til en tunnelløsning, og sejladsforhold og kollisionsrisiko blev nævnt som medvirkende årsager til denne indstilling. Projektet kan dermed anvendes som reference for hvornår kollisionsrisikoen og sejladsforhold udfordrer en broløsning så meget, at samfundet foretrækker et tunnelalternativ for en fast forbindelse.

I [23] (KKØ - Sejladsforhold og risiko for skibskollision, fagnotat, COWI) er grundlaget for risikoestimaterne for de to projekter harmoniseret og gjort sammenlignelige med beregningsgrundlaget for KKØ. Herved fremkommer følgende niveauer for frekvenser af længerevarende afbrydelser:

- Østbroen over Storebælt: 3×10^{-4} per år
- Broprojekt for Femern Bælt: 9×10^{-4} per år

Frekvensen for Østbroen repræsenterer et acceptabelt risikoniveau for en bro i drift, mens frekvensen for Femern Bælt repræsenterer et risikoniveau, hvor en tunnelløsning (muligvis) er en mere attraktiv løsning. Niveauet på 9×10^{-4} per år kan derfor betragtes som et legitimt fravalgskriterie for evaluering af broløsningerne for KKØ; men for den aktuelle forundersøgelse vil risikoniveauer nær dette niveau medføre at projektrisikoen for broløsningen markeres som i den høje ende af **Forhøjet** eller **Højt**.

For Østbroen er en længerevarende afbrydelse defineret som "mere end en måned", mens den for Femern Bælt er defineret som "mere end 100 dage" hvilket vil sige ca. 3 måneder. Denne forskel i risikomålene kan ikke umiddelbart harmoniseres. Frekvensen for Østbroen ville blive mindre, hvis den kunne omregnes til en afbrydelse på "mere end 100 dage", og dermed ville referencen for et acceptabelt risikoniveau blive endnu lavere. Men da frekvensen for Østbroen kun bruges som relativ indikator af et acceptabelt risikoniveau, og ingen KKØ-løsninger vælges fra eller til med henvisning til dette tal, bruges frekvensen for afbrydelse i mere end en måned derfor uændret som indikator for et acceptabelt risikoniveau.

10.3.3.3 Varsling før en kollision

Muligheden for varsling og evakuering før en truende skibskollision, kan forhindre at kollisionen medfører personskade eller dødsfald for trafikanter på broen. Varsling har vist sig afgørende for at opnå en acceptabel personsikkerhed på såvel Storebæltsforbindelsen, som på broprojektet over Femern Bælt. Kontinuerlig overvågning af skibstrafikken omkring broen er en nødvendig forudsætning for varsling af en kollision, og det er derfor generelt forudsat, at skibstrafikken overvåges og vejledes af et VTS-system svarende til Storebælt VTS, for alle løsninger af en fast Kattegatforbindelse, hvori der indgår en brokonstruktion over besejlet farvand. Arrangementet af skibstrafikken omkring broen vil i nogen udstrækning være bestemmende for, om, og under hvilke omstændigheder, det er muligt for overvågningen at erkende en kollisionsfare og dermed kunne alarmere trafikken på broen; og om det kan ske tidsnok til at evakuere det truede afsnit af broen før kollisionen indtræffer.

Varsling vil typisk ikke være mulig for Kategori I kollisioner, idet disse vil opstå på det sidste ruteben op mod gennemsejlingen. Hvis ikke skibet selv melder om eventuelle problemer, vil truslen om en mulig kollision først blive synlig udefra, når skibet er

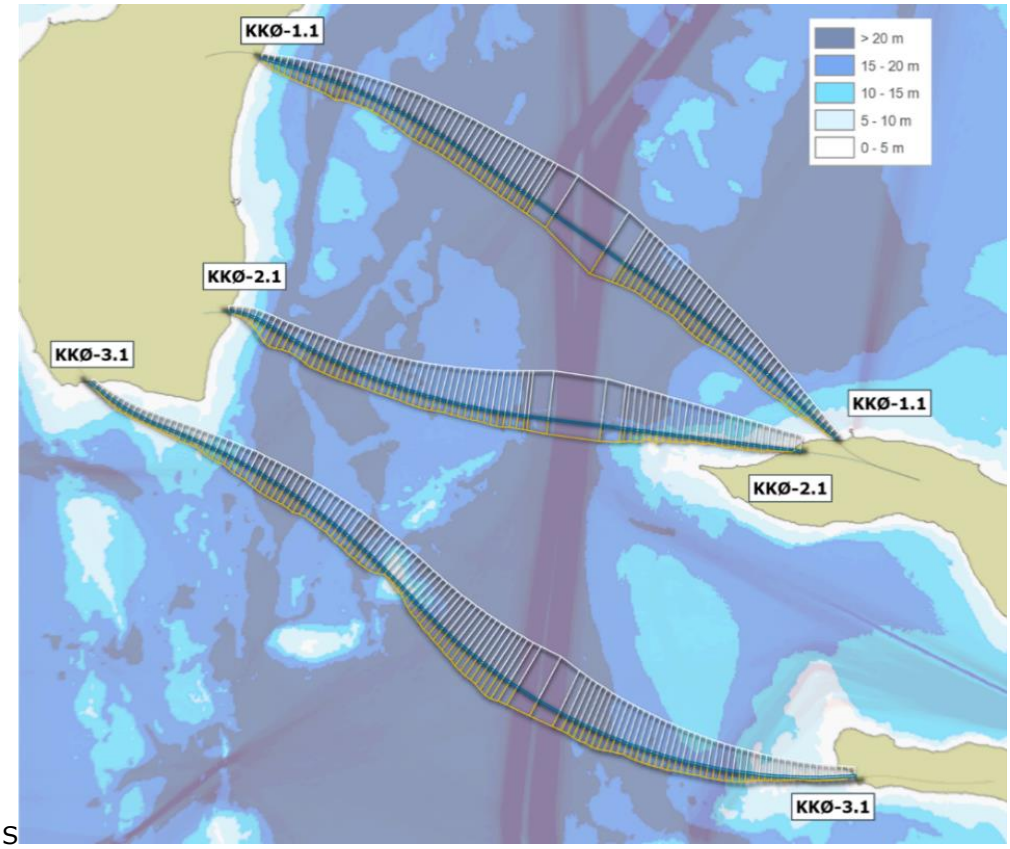
meget nær broen. Derimod vil den manglende kursændring ved et ruteknæk gøre Kategori II kollisioner meget enklere for overvågningen at detektere. Hvis afstanden fra ruteknækket til den eksponerede del af broen samtidig er tilstrækkelig stor, giver det gode muligheder for at varsle og evakuere trafikken fra den truede del af broen. Endelig vil varsling af Kategori IV kollisioner forudsætte, at skibet med sin position, kurs og adfærd adskiller sig fra den øvrige trafik og dermed påkalder sig opmærksomhed. Dette er mest oplagt for et skib, der sejler langs med eller mod broen på steder, hvor der normalt ikke er noget trafik. En brokorridor, hvor der normalt ikke er skibstrafik andre steder end ved ruten igennem gennemsejlingsfaget, giver dermed de bedste muligheder for varsling af en kollision svarende til Kategori IV.

For at inddrage den store betydning, som muligheden for varsling har for personsikkerheden, er muligheden for varsling vurderet for de enkelte risikobidrag, og det noteres, hvis et væsentligt risikobidrag har dårlige betingelser for varsling. Sammen med den beregnede frekvens for afbrydelse har disse anmærkninger indgået i den samlede vurdering af kollisionsrisikoens betydning for projektrisikoen.

10.3.3.4 Beregnet kollisionsrisiko for tre løsninger

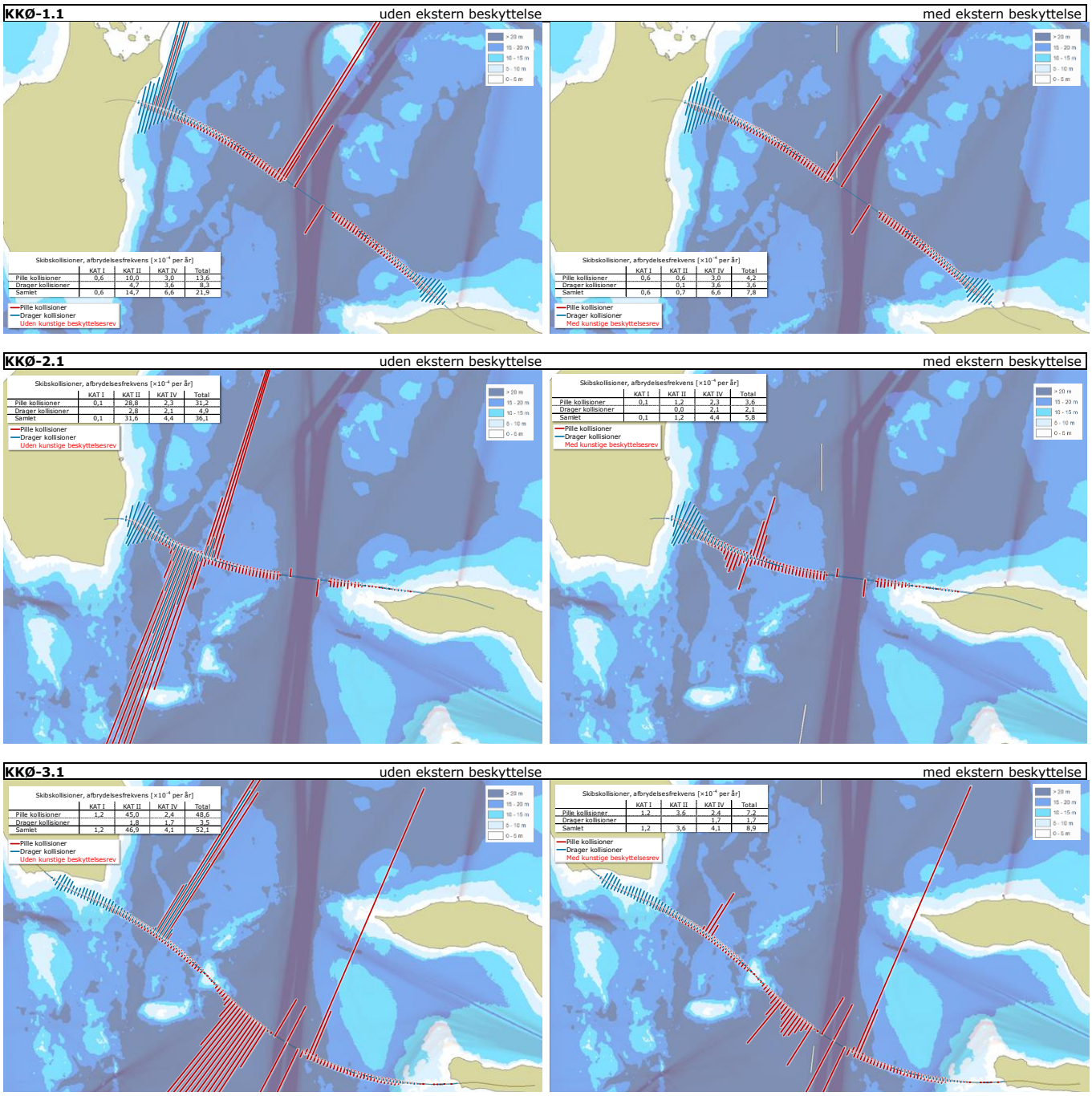
De rene broløsninger i KKØ-1.1, KKØ-2.1 og KKØ-3.1 er modelleret for en detaljeret beregning af kollisionsrisikoen. De tre broløsningers overordnede geometri er illustreret i Figur 10-15 og risikomodellerne er illustreret i Bilag 10-14 til 10-16 i Bilagsmappen. Detaljerne for modellerne er beskrevet i [23] (KKØ - Sejladsforhold og risiko for skibskollision, fagnotat, COWI).

S



Figur 10-15 Illustration af geometrien for de analyserede broløsninger for KKØ. Brolinjen er lagt i midten af korridoren og vanddybde og dragerhøjde ved pillerne er afbildet 20 gange større end i virkeligheden.

Modelberegningerne indikerer at alle løsningerne er alvorligt eksponeret for Kategori II kollisioner og at disse kollisioner alene giver et risikobidrag, der overskrider det acceptable niveau. Den betragtede løsning for at begrænse denne risiko er at etablere eksterne beskyttelsesværker – kunstige undersøiske rev – og effekten af disse er medtaget i analyserne. Resultaterne af risikoberegningen uden og med disse rev er illustreret grafisk i Figur 10-16 og er sammenfattet til sammenligning i Tabel 10-8.



Figur 10-16 Sammenfatning af risikoberegning for tre rene broløsninger for KKØ. Til venstre er vist resultaterne uden eksterne beskyttelsesrev og til højre med eksterne rev. (Bilag 10-17 til 10-22 i bilagsmappen)

Tabel 10-8 Sammenfatning af den beregnede frekvens for længerevarende afbrydelse af rene broløsninger for KKØ. [×10^{-4} per år]

Korridor		Kategori I	Kategori II	Kategori IV	Samlet
KKØ-1.1	uden rev	0,6	14,7	6,6	21,9
	med rev	0,6	0,7	6,6	7,8
KKØ-2.1	uden rev	0,1	31,6	4,4	36,1
	med rev	0,1	1,2	4,4	5,8
KKØ-3.1	uden rev	1,2	46,9	4,1	52,1
	med rev	1,2	3,6	4,1	8,9

Uden de eksterne beskyttelsesrev vil alle de analyserede broløsninger lede til en afbrydelsesfrekvens, der langt overstiger den øvre grænse på 9×10^{-4} per år. Det er kategori II kollisioner med udgangspunkt i knækkene af Rute T ved Bøje 20 i nord og ved Bøje 23 i syd, der giver de dominerende bidrag til risikoen. Tilføjes de eksterne beskyttelsesrev, vil Kategori II risikoen kunne reduceres til at være af samme størrelsesorden, som risikobidragene for Kategori I og IV. Den samlede risiko bliver dermed i alle tilfælde mindre end 9×10^{-4} per år, om end risikoniveauet for KKØ-1.1 og KKØ-3.1 er i nærheden af grænsen.

De kunstige beskyttelsesrev har afgørende betydning for bidraget fra Kategori II kollisioner, og effekten af disse rev kan justeres ved at ændre vanddybden over revets top. De viste resultater forudsætter 4 m vand over revet i overensstemmelse med præsentationen af revets design og opbygning i afsnit 5.3.5.

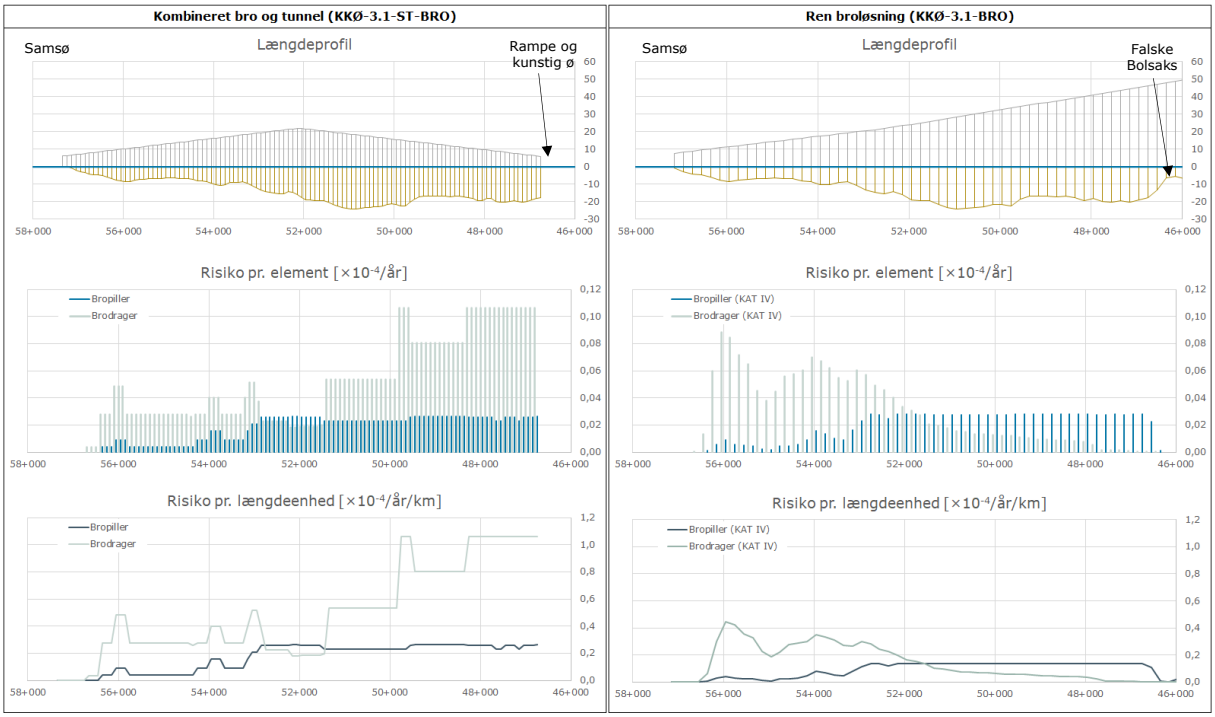
10.3.3.5 Approksimative estimater for øvrige løsninger

Kollisionsrisikoen for de øvrige 4 rene broløsninger (KKØ-2.2, KKØ-2.3, KKØ-2.4 og KKØ-4.3) er vurderet ved direkte sammenligning med de tre beregnede løsninger. For løsningerne i KKØ-2 er kollisionsrisikoen sat lig med resultatet for KKØ-2.1. Den noget nordligere placering af KKØ-4.3 i forhold til KKØ-3.1 giver en større afstand til Bøje 23 og Kategori II kollisionerne herfra, samt en bedre skæring af Rute T. Derfor er risikoen for KKØ-4.3 justeret lidt ned i forhold til KKØ-3.1.

Alle de kombinerede bro- og tunnelløsninger anvender en lavbro med kun 100 m spændvidde fra Samsø til den kunstige ø, hvor de rene broløsninger forudsætter en standard spændvidde på 200 m. Det deraf følgende større antal piller pr. længdeenhed af broen og den generelt mindre frihøjde under drageren vil i kombination lede til en større eksponering overfor både Kategori II og IV kollisioner, end de rene broløsninger. Det mere udsatte design af lavbroen kan opveje at længden af broen er kortere med de kombinerede løsninger, og for at afklare denne mulighed er risikoen bestemt ved en approksimativ beregning. Beregningen er baseret på detailresultaterne fra de fulde analyser af de tre rene broløsninger, og approksimationerne er etableret, så resultatet vides at repræsentere et nedre estimat for risikoen.

Resultaterne fra de detaljerede analyser kan bedst generaliseres i en approksimativ beregning for Kategori IV kollisioner. Med en simplificeret repræsentation af brogeometri og vanddybden langs med lavbroen for en kombineret løsning i KKØ-3.1 korridoren, bestemmes Kategori IV risikoen at variere langs med broen som vist i Figur

10-17. Til sammenligning er tillige vist brogeometri, vanddybde og den beregnede risiko for Kategori IV kollisioner for den rene broløsning i samme korridor.



Figur 10-17 Resultat af den approksimative estimering af KAT IV risiko for brodelen i en kombineret løsning (KKØ-3.1-ST-BRO) til venstre. Den beregnede KAT IV risiko for en ren broløsning (KKØ-3.1) i samme del af korridoren, er vist til højre til sammenligning.

Kollisionsrisikoen for hver bropille ses at variere på samme måde langs med brolinjen for de to løsninger, men med det halve spænd og dermed det dobbelte antal piller, bliver bidraget til risikoen (omtrent) dobbelt så stort per længdeenhed af lavbroen. For brodragerne betyder den mindre spændvidde at risikoen per spænd bliver ca. halvt så stor for lavbroen, som for den rene broløsning ved den vestlige ende af broen nær Samsø. Men for den østlige del ses risikoen for drager kollisioner at blive markant højere for lavbroen. Det skyldes drageren på lavbroen skal ned mod den kunstige ø til overgangen til tunnel, hvor dragerhøjden på den rene broløsning forsætter med at stige hen mod gennemsejlingen i hovedbroen over Rute T. De store vanddybder langs den østlige halvdel af lavbroen giver selv de helt store skibe mulighed for at nå frem til broen, og kombineret med en lav dragerhøjde, bliver kollisionsrisikoen fra drageren derfor jævnt stigende hen mod den kunstige ø.

For Kategori II kollisioner mod lavbroen estimeres risikoen approksimativt at være dobbelt så stor for lavbroen som for den rene broløsning. Dette tager alene højde for den mindre pilleafstand og dermed det større antal piller. Den detaljerede analyse af den rene broløsning i KKØ-3.1 giver ikke anledning til dragerkollisioner for Kategori II, og dette bidrag sættes derfor også til nul for lavbroen. Risikoestimaterne for lavbroen fra Kategori II og IV kollisioner forudsætter, at lavbroens piller og dragere har samme kollisionskapacitet som den rene broløsning. Det vil ikke i udgangspunktet være tilfældet, fordi lavbroens spændvidde er mindre og hver pille dermed skal bære mindre egen- og nyttelast. Ved en detaljeret beregning af lavbroen med en realistisk kollisionskapacitet forventes risikoen derfor at blive væsentligt større end de approksimative estimater.

Tabel 10-9 sammenfatter estimaterne for alle de kombinerede bro- og tunnelløsninger i KKØ-3. Det samlede risikoestimat for de 4 løsninger ses i alle tilfælde at overstige 8×10^{-4} per år, og siden beregningsmåden er forudsat at underestimere risikoen, vurderes risikoen også at overstige 9×10^{-4} per år.

Tabel 10-9 Approksimative estimater for frekvensen af afbrydelse pga. skibskollisioner for de 4 kombinerede løsninger i KKØ-3 korridoren.

Korridor og løsning	Frekvens for afbrydelse [$\times10^{-4}$ per år]			
	KAT I	KAT II	KAT IV	Total
KKØ-3.1 ST BRO	-	>1,1	>7,0	>8,1
KKØ-3.2 BT BRO	-	>1,1	>7,2	>8,2
KKØ-3.3 ST BRO	-	>1,1	>7,5	>8,6
KKØ-3.4 BT BRO	-	>1,1	>7,8	>8,8

Da forholdende for lavbroen i de øvrige kombinerede løsninger (KKØ-2.5, KKØ-4.1, KKØ-4.2 og KKØ-4.3) svarer til lavbroerne i KKØ-3, regnes disse også at have en kollisionsrisiko, der overstiger 9×10^{-4} per år.

Det estimerede høje risikoniveau forudsætter at effekten af de kunstige beskyttelsesrev nord og syd for korridoren medregnes på samme måde som for de rene broløsninger. Da lavbroen alene regnes eksponeret for Kategori II og IV kollisioner, vil der for disse kollisionsscenarier generelt være gode muligheder for at varsle trafikken på forbindelsen før en kollision. Det vil begrænse risikoen for at trafikanter kommer til skade ved en kollision. Trods denne fordel må det konstateres at risikoen for længerevarende afbrydelse af de kombinerede bro- og tunnelforbindelser når et niveau, der overstiger fravalgskriteriet etableret i afsnit 10.3.3.2.

10.3.3.6 Sammenfatning af resultaterne for kollisionsrisikoen

Den beregnede, estimerede eller vurderede kollisionsrisiko for de rene broløsninger og de kombinerede bro- og tunnelløsninger for KKØ er sammenfattet i Tabel 10-10. I tillæg er det anført, i hvilken udstrækning korridoren og arrangementet af skibstrafikken giver mulighed for at varsle trafikanterne på broen før kollisionen sker. For KKØ-1.1 er varslingen ved Kategori II kollisioner betegnet som "stærkt udfordret". Det skyldes at knækket på Rute T ved Bøje 20 umiddelbart nord for korridoren ligger så tæt på broen, at varsling reelt set ikke er mulig. Den beregnede afbrydelsesfrekvens på 8×10^{-4} per år er lidt under den øvre grænse på 9×10^{-4} per år. Baseret alene på denne risiko kunne løsningen klassificeres at være i den høje ende af **Forhøjet** projektrisiko. Men da dette høje risikoniveau er kombineret med en stærkt udfordret varsling for et kollisionsscenarie, der leder til et dominerende risikobidrag, er projektrisikobidraget hævet til **Højt**.

Den approksimativt estimerede afbrydelsesfrekvens for de kombinerede løsninger indikerer at kollisionsrisikoen kan og sandsynligvis vil overstige fravalgskriteriet. Fravalg af løsningerne bør dog ikke baseres alene på en approksimativ estimering, og derfor modereres projektrisikobidraget for løsningerne til at være i den høje ende af **Forhøjet**. Medtages en eller flere af de kombinerede løsninger i de videre undersøgelser, bør der

indledningsvist foretages en detaljeret beregning af kollisionsrisikoen for at be- eller afkræfte de approksimative estimater præsenteret og diskuteret i afsnit 10.3.3.5. Dette vil muligvis resultere i at projektrisikobidraget for disse løsninger revurderes til **Højt**.

Tabel 10-10 Kollisionsrisiko for KKØ-korridorer med løsninger helt eller delvist baseret på brokonstruktioner og afledt projektrisiko.

Korridor og løsning	Beregnet eller vurderet risiko for skibsstød samt vurdering af betingelserne for varsling	Projektrisikobidrag
KKØ-1.1 Bro	Beregnet afbrydelsesfrekvens: 8×10^{-4} per år Varsling KAT II: stærkt udfordret KAT IV: bedst mulig	**Højt**
KKØ-2.1 Bro KKØ-2.2 Bro KKØ-2.3 Bro KKØ-2.4 Bro	Beregnet afbrydelsesfrekvens: 6×10^{-4} per år Vurderet afbrydelsesfrekvens: ~6×10^{-4} per år Vurderet afbrydelsesfrekvens: ~6×10^{-4} per år Vurderet afbrydelsesfrekvens: ~6×10^{-4} per år Varsling KAT II: god KAT IV: let udfordret	**Forhøjet**
KKØ-3.1 Bro	Beregnet afbrydelsesfrekvens: 9×10^{-4} per år Varsling KAT II: god KAT IV: udfordret	**Højt**
KKØ-4.3 Bro	Vurderet afbrydelsesfrekvens: ~7×10^{-4} per år Varsling KAT II: god KAT IV: udfordret	**Forhøjet**
KKØ-3.1 Bro+ST KKØ-3.2 Bro+BT KKØ-3.3 Bro+ST KKØ-3.4 Bro+BT	Estimeret afbrydelsesfrekvens: ~9×10^{-4} per år Estimeret afbrydelsesfrekvens: ~9×10^{-4} per år Estimeret afbrydelsesfrekvens: ~9×10^{-4} per år Estimeret afbrydelsesfrekvens: ~9×10^{-4} per år Varsling KAT II: god KAT IV: udfordret	**Forhøjet**
KKØ-2.5 Bro+BT KKØ-4.1 Bro+BT KKØ-4.2 Bro+BT KKØ-4.3 Bro+ST	Estimeret afbrydelsesfrekvens: ~9×10^{-4} per år Estimeret afbrydelsesfrekvens: ~9×10^{-4} per år Estimeret afbrydelsesfrekvens: ~9×10^{-4} per år Estimeret afbrydelsesfrekvens: ~9×10^{-4} per år Varsling KAT II: god KAT IV: udfordret	**Forhøjet**

"Bro": ren broløsning, "Bro+ST": bro og sænketunnel, "Bro+BT": bro og boret tunnel

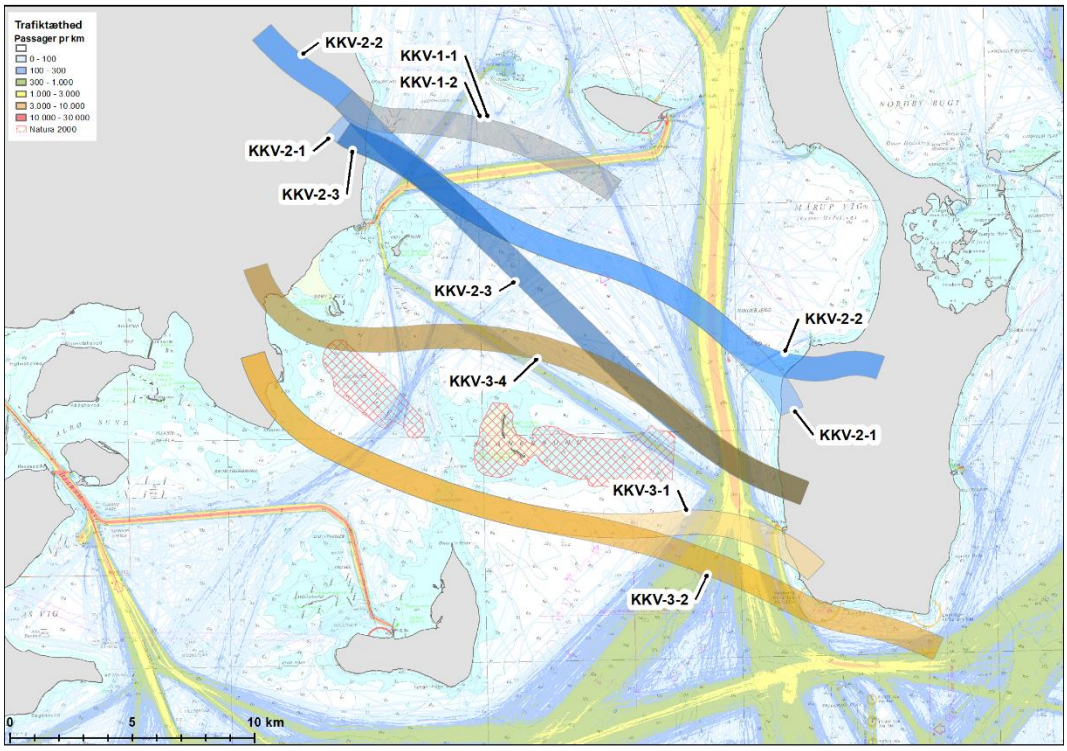
10.4 Broløsninger for KKV

Den detaljerede diskussion, analyse og evaluering af sejladsforhold og kollisionsrisiko for hele eller delvise broløsninger for KKV er rapporteret i et separat dokument [9] (KKV - Sejladsforhold og risiko for skibskollision, fagnotat, COWI). Dette afsnit introducerer grundlaget for undersøgelsen og giver en sammenfatning af de væsentligste observationer, evalueringer og konklusioner, som undersøgelsen har afstedkommet. For detaljer henvises til det underliggende fagnotat.

De undersøgte korridorer og den tilhørende type af løsning er sammenfattet i Tabel 10-11 og korridorernes geografiske forløb er illustreret i Figur 10-18.

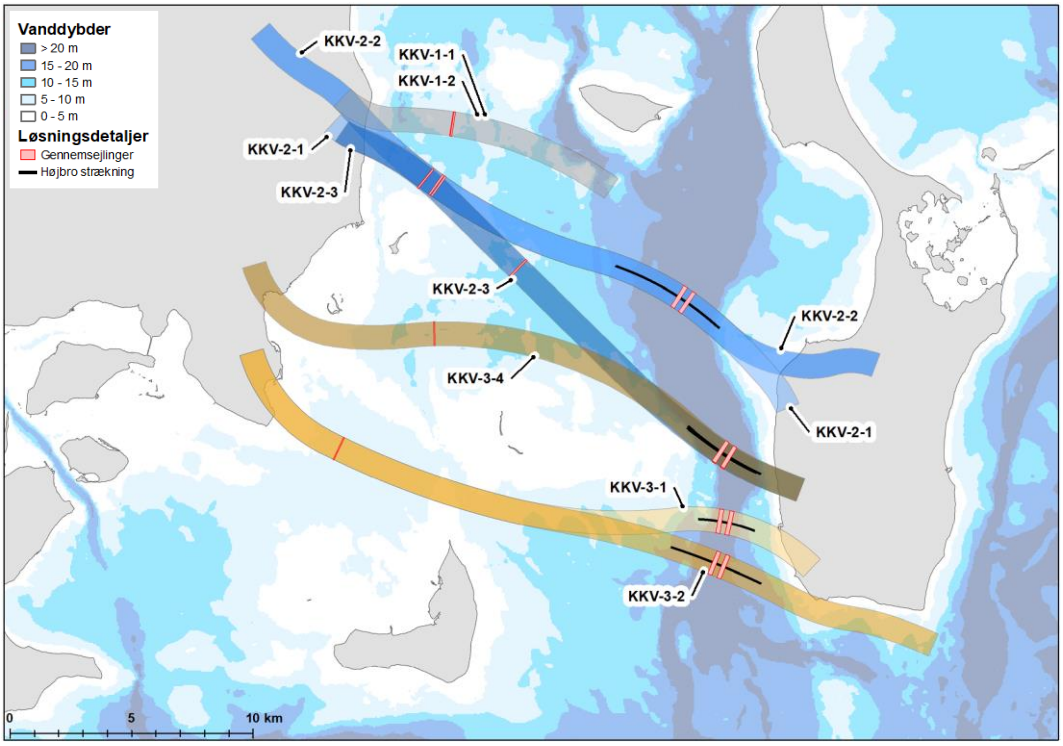
Tabel 10-11 Betragtede løsninger for KKV korridorer imellem Samsø og Jylland.

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-2.2 Onsbjerg Nord - Hou	x		
KKV-2.3 Fogedmark - Hou	x		
KKV-3.1 Kolby Kås - Gylling Næs	x		
KKV-3.4 Fogedmark - Gylling	x		
KKV-3.2 Samsø Syd - Gylling Næs	x		



Figur 10-18 Brodelen af de betragtede korridorer, der helt eller delvis er baseret på broløsninger, vist på søkort sammen med erhvervstrafikken og Natura 2000 områder. (Bilag 10-23 i Bilagsmappen)

De to kombinerede bro- og tunnelløsninger KKV-1.1 og KKV-1.2 anvender en sænketunnel under erhvervstrafikkens primære rute umiddelbart vest for Samsø. Via en kunstig ø syd for Tunø overgår forbindelsen til en lavbro, der skaber forbindelsen ind til Hou. For begge løsninger forudsætter lavbroen en fast spændvidde på 100 m og der er (indledningsvist) anlagt 1 gennemsejling – se Figur 10-19.



Figur 10-19 Brodelen af de betragtede korridorer, der helt eller delvis er baseret på broløsninger, vist med batymetrien og med indikation af gennemsejlinger og udstrækning af højbroen. (Bilag 10-24 i Bilagsmappen)

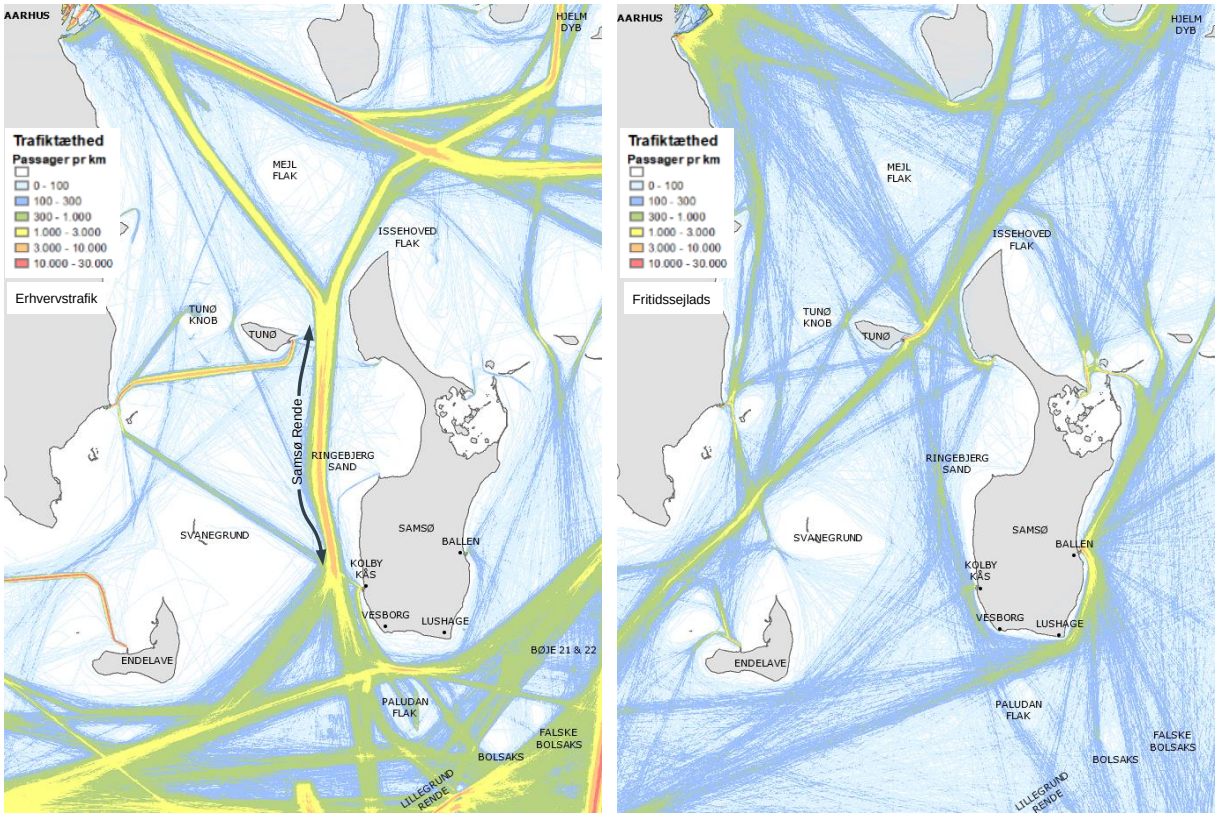
De rene broløsninger er udformet som lavbroer i de lavvandede dele af korridoren og en højbro med en fast spændvidde på 200 m i de dybe dele af korridoren hvor gennemsejlingen for erhvervstrafikken er arrangeret. Selve gennemsejlingen består af et separat 200 m navigationsfag til hver trafikretning adskilt af et centralt fag. Gennemsejlingsåbningen i hvert fag er 170 meter bred og 26 meter høj.

For løsningerne i KKV-2.1 og KKV-2.2 er lavbroen baseret på 100 m spændvidde, og højbroen udgør 5 km af den samlede længde på godt 20 km. Den sydligere og godt 22 km lange forbindelse i korridor KKV-2.3 anvender samme design, men højbroens længde er reduceret til 3,4 km.

I de noget længere korridorer KKV-3.1, KKV-3.2 og KKV-3.4 er det fundet opportunt at anvende en lavbro med en reduceret spændvidde på 60 m. KKV-3.1 er lagt hvor krydsningen af den dybe del af farvandet er kortest, så løsningen opnår den korteste sektion af højbro på blot 2,4 km. For KKV-3.2 og KKV-3.4 er højbroen 4 km hhv. 3,6 km.

10.4.1 Skibstrafik og aktuelle sejladsforhold

Skibstrafikken i området omkring KKV broløsningerne er illustreret ved trafiktætheden for 2018 vist i Figur 10-20. Erhvervstrafikken er domineret af trafikken igennem den naturlige sejlrende umiddelbart vest for Samsø. Batymetrien i Figur 10-5 viser tydeligt denne dybe rende og samme figur viser også hvordan trafikken går ret igennem farvandet med blot et nødvendigt knæk for at gå vest om Ringebjerg Sand. Renden har ikke noget formelt navn, men betegnes *Samsø Rende* i det følgende. Den øvrige fokuserede erhvervstrafik udgår primært fra Hou, og er færgen til Tunø, trafik til vindmølleparken ved Tunø Knob, og trafik med små fartøjer til Kolby Kås.



Figur 10-20 Trafiktætheden i farvandet vest for Samsø: Erhvervstrafik (venstre) og Fritidstrafik (højre). Baseret på AIS data for året 2018.

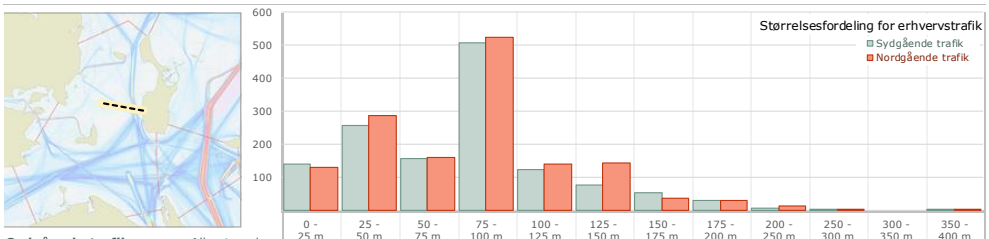
Fritidssejladsen er mere jævnt fordelt, men med en fokuseret rute fra Lillebælt i sydvest, nord om Endelave og op øst om Tunø. Endvidere er fritidssejladsen i korridorområdet fokuseret langs med den jyske østkyst og ud for Hou.

Erhvervstrafikken i Samsø Rende vil være den primære sejladsmæssige udfordring for en broløsning. Fritidssejladsen skal naturligvis tilgodeses med et tilstrækkeligt antal velplacerede og tilstrækkeligt store gennemsejlingsåbninger. Det er sejlskibenes master, der stiller krav til gennemsejlingernes højde, mens en velproportioneret bro sædvanligvis giver den nødvendige bredde i gennemsejlingsåbningerne for sejlskibene. Fritidstrafikkens behov vil dermed kunne imødekommes ved lokale forøgelser af frihøjden under drageren, og det er af sekundær betydning for anlægsomkostningerne for en broløsning. Hensynet til de større skibe i erhvervstrafikken i Samsø Rende stiller krav til gennemsejlingsbredden, og dermed spændvidden af broen, og det har en større, primær betydning for anlægsomkostningerne ved en broløsning.

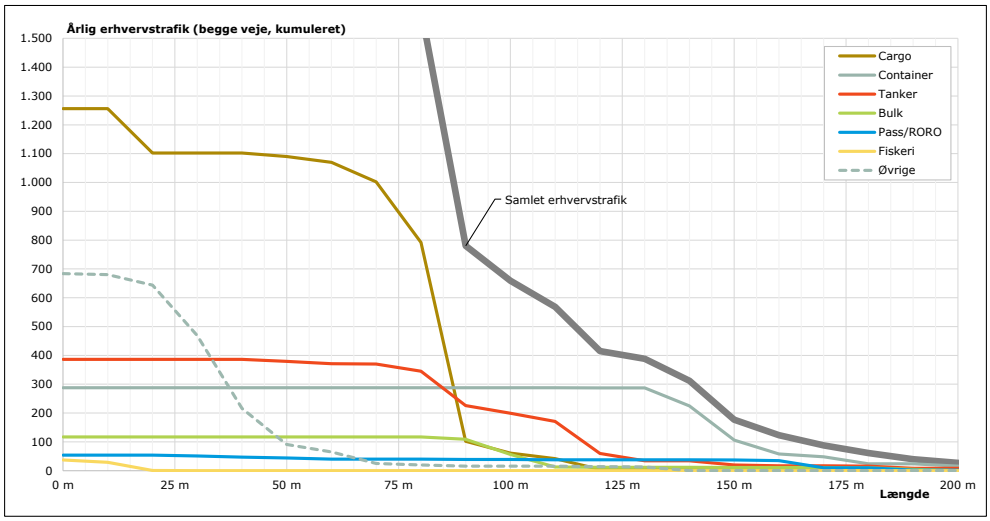
I modsætning til gennemsejlingen i KKØ-broløsningerne, der jævnfør afsnit 10.2.3 er omfattet af en international ret til fri passage, vil det være et indre nationalt anliggende, at regulere og/eller begrænse trafikken i Samsø Rende, for at afpasse den til en hensigtsmæssig broløsning. Der er ikke på forhånd stillet krav om, hvor meget af den aktuelle trafik i Samsø Rende, der sikkert skal kunne passere en KKV-broløsning. Og da trafikken i Samsø Rende har mulighed for at sejle øst om Samsø, er det en relevant option, at en broløsning for KKV ikke nødvendigvis skal tillade passage for al den skibstrafik, der i dag anvender Samsø Rende. Denne frihedsgrad i beslutningsprocessen omkring en fast forbindelse gælder parallelt for alle KKV-broløsninger og diskuteres derfor samlet i afsnit 10.4.2.

Opgørelsen af skibstrafikken i Tabel 10-12 viser først og fremmest at skibe med en længde på mellem 75 og 100 meter forekommer særlig hyppigt. Derudover noteres det, at praktisk talt alle størrelser af skibe er observeret i renden, om end at hyppigheden af de helt store skibe er lille. Den kumulative længdefordeling af trafikken vist i Figur 10-21 giver et bedre visuelt grundlag til at sammenligne volumen og størrelse af trafikken indenfor forskellige skibstyper.

Tabel 10-12 Sammensætning af erhvervstrafik der benytter Samsø Rende. Baseret på AIS data for året 2018.



Sydgående trafik	Alle størrelser	0 - 25 m	25 - 50 m	50 - 75 m	75 - 100 m	100 - 125 m	125 - 150 m	150 - 175 m	175 - 200 m	200 - 250 m	250 - 300 m	300 - 350 m	350 - 400 m
Cargo	612	77	6	108	386	31	1	2	1				
Container	109					1	53	38	12	4			1
Tanker	192		4	10	89	67	14	1	3	2	2		
Bulk	63				31	23			9				
Pass/RORO	24		5	2				13	4				
Fiskeri	21	21											
Øvrige	333	42	243	37	3	1	7						
Samlet erhvervstrafik	1.354	140	258	157	509	123	75	54	29	6	2		1
Nordgående trafik	Alle størrelser												
Cargo	644	77	6	112	423	26							
Container	179						128	21	19	10			1
Tanker	194		3	13	68	90	8	3	5	3	1		
Bulk	54				30	21	1		1	1			
Pass/RORO	30	1	4	2	1	1	1	14	4		2		
Fiskeri	16	15	1										
Øvrige	351	36	272	34	1	2	6						
Samlet erhvervstrafik	1.468	129	286	161	523	140	144	38	29	14	3		1



Figur 10-21 Kumulativ størrelsesfordeling af skibstyperne i erhvervstrafikken i Samsø Rende. Baseret på AIS data for året 2018.

Af denne figur ses sædvanlige fragtskibe ("General Cargo") at dominerer den samlede trafik med over 1.200 årlige passager. Hovedparten af denne trafik udgøres af skibe med en længde på 60 til 110 meter. Ikke-klassificerede skibe ("Øvrige") – dvs. servicefartøjer, udgravningsfartøjer og slæbebåde – med en længde på mindre end 50 meter udgør den næsthyppigste gruppe med knap 700 årlige passager, fulgt af tankskibe med knapt 400 årlige passager og containerskibe med knapt 300 årlige passager. Tankskibene er typisk mellem 75 og 125 meter lange, men omfatter skibe på helt op til 300 meters længde. Endelig ses containertrafikken at være fokuseret på skibe med længder mellem 130 og 175 meter. Denne afvigende størrelsesfordeling for containertrafikken betyder, at en broforbindelse, der er designet til passage af skibe på op til 125 meters længde, vil tilgodese 95% af trafikken med de øvrige skibstyper, men vil udelukke 99,5% af den trafik i 2018, der er registreret som containerskibe. Hvor trafikken af de øvrige skibstyper jævnfør Tabel 10-12 ses at være relativt ens i nord- og sydgående retning, adskiller containertrafikken sig tillige ved en væsentlig større nordgående end sydgående trafik. Containertrafikken er en vigtig, central og voksende del af den moderne søtransport, og betydningen af disse karakteristiske forskelle for containertrafikken bør derfor undersøges nærmere, i relation til analyse og vurdering af en broløsnings begrænsning af skibstrafikken.

Det fremgår af batymetrien i farvandet og af erhvervstrafikkens nuværende arrangement igennem Samsø Rende i Figur 10-5 og Figur 10-20, at friheden i sejladsen primært er begrænset i sejlrendens indsnævring nordøst for Tunø, ved det fremskudte lavvandede område ved Ringebjerg Sand og i indsnævringen mellem Kolby Kås og Svanegrund. Syd for indsnævringen ved Kolby Kås spreder trafikken sig mod de forskellige lokale destinationer – Lillebælt/Vejle/Horsens, Odense, Storebælt og Kalundborg – så der kan forekomme mødesituationer mellem skibe i forskellige retninger. Alt i alt udgør Samsøen Renden dog en relativ ubesværet passage, hvilket kan være medvirkende til den forholdsvis store trafik.

Analyserne såvel i [24] (Vurdering af påvirkning af erhvervssejlads, rapport, Rambøll) som i [9] (KKV - Sejladsforhold og risiko for skibskollision, fagnotat, COWI) påviser, at trafikken i Samsø Rende primært anvendes af trafik, der krydser igennem regionen. Det vil sige trafik imellem Kattegat i nordøst og de regionale destinationer i sydvest

(Vejle, Fredericia og Lillebælt), samt imellem Aarhus i nordvest og de sydøstlige destinationer Kalundborg og Storebælt. Den geografiske udstrækning og forgrening af trafikken i Samsø Rende er illustreret i Figur 3.5-3.7 i [9] (KKV - Sejladsforhold og risiko for skibskollision, fagnotat, COWI) og disse kort er medtaget til illustrativ orientering som Bilag 10-25 til 10-27 i bilagsmappen.

Fritidstrafikken, som er mere jævnt fordelt i farvandet mellem Samsø Rende og den jyske østkyst, begrænses i den sydlige del af området af den snævre passage i det lavvandede farvand mellem Svanegrund og Søgrund øst for Gyllinge Næs. Denne udgør sammen med den sydlige indsnævring af Samsø Rende ved Kolby Kås de eneste nord-sydgående passager for fritidssejladsen i den sydlige del af området. I den nordlige del skal fritidstrafikken passere omkring Tunø og Tunø knob, og et lavvandet område midt mellem Tunø Knob og den jyske østkyst. Både Hou og Aarhus er udgangspunkt og populære destinationer for fritidstrafikken, og fritidstrafikkens præference for at holde sig ind mod land giver derfor en høj trafiktæthed op mod den jyske østkyst. Der er tilstrækkelig vanddybde blot 1-2 km fra kysten, og en fast forbindelse baseret på en broløsning i farvandet bør tilgodese denne trafik med en dedikeret gennemsejling.

10.4.2 Hovedbroens gennemsejlingsåbning

Hovedbroens gennemsejlingsåbning og sejladsarrangementet omkring gennemsejlingen vil være bestemmende for, hvor stor en del af den nuværende trafik i Samsø Rende, der vil kunne passere en ren broløsning for KKV. Denne trafik vil blive den eneste erhvervstrafik med større skibe i farvandet omkring forbindelsen, og ifølge de aktuelt anvendte modeller til analyse af risiko for kollision, vil trafikken være udgangspunkt eller kilde til risikoen for kollisioner langs med hele broen. Kollisionsrisikoen vil være en væsentlig designparameter for de lange broforbindelser i KKV, så indretningen af gennemsejlingen og dermed af den trafik, som gennemsejlingen tillader, er en generel præmis for hele broen og ikke blot en lokal, designmæssig udfordring ved selve gennemsejlingen.

Trafikken i renden ligger i nationalt farvand og er ikke omfattet af internationale forpligtelse om at tillade passage omtalt i afsnit 10.2.3. Det vil dermed alene være et nationalt anliggende at regulere og/eller begrænse trafikken, for at afpasse den med en given broløsning. Der er ikke på forhånd opstillet krav om, hvor meget af den aktuelle skibstrafik i Samsø Rende, der skal kunne passere en ren broløsning for KKV. Og beslutningen om, hvor store skibe, der skal kunne passere en broløsning, må baseres på en balance imellem anlægsomkostningerne for forbindelsen, ved at tilbyde en given størrelse gennemsejlingsåbning, og ulempen for skibstrafikken, hvis en del af den nuværende trafik ikke længere kan anvende Samsø Rende. Betingelserne for denne balance vil involvere politiske prioriteringer, og forundersøgelserne for forbindelsen skal belyse problemstillingen og tilvejebringe en fyldestgørende basis for denne politiske afvejning. Skibstrafikkens volumen og størrelsesfordeling, kravet til broens gennemsejlingsåbning for at skibe af en given størrelse kan passere, anlægsomkostningen forbundet med at tilbyde en sådan gennemsejlingsåbning, og skibstrafikkens omkostninger ved ikke at kunne passere en broløsning, er centrale elementer i denne basis.

Skibstrafikken i Samsø Rende er indtil videre analyseret og diskuteret i følgende dokumenter fra de indledende overvejelser og forundersøgelser:

- "Vurdering af gennemsejlingsfag vest om Samsø, Sejladsanalyse" [26]
- "Indledende linjeføringsovervejelser for en Kattegatforbindelse, Delrapport" [25]
- "KKV - Sejladsforhold og risiko for skibskollision, Fagnotat" [9]

Den direkte omkostning for skibstrafikken ved omledning af de længste skibe til at sejle vest om Samsø er undersøgt i rapporten:

- "Vurdering af påvirkning af erhvervssejlads" [24].

Endelig redegøres der for kravene til broens gennemsejlingsfag for at kunne tillade passage af skibe med en given størrelse, samt for anlægsomkostningen forbundet med at tilbyde denne gennemsejling i dokumentet:

- "KKV - Sejladsforhold og risiko for skibskollision, Fagnotat" [9]

Afsnit 6 i dette dokument beskriver hvordan disse elementer kan indgå i en samlet omkostningsbeskrivelse eller -model, der kan støtte beslutningen om gennemsejlingens størrelse og dermed om, hvor stor en del af skibstrafikken, der skal ledes øst om Samsø. De overordnede sammenhænge i problemstillingen er pointeret og følsomheden overfor centrale parametre er illustreret. Selvom undersøgelsen giver en vis indsigt i den rationelt motiverede beslutning for gennemsejlingen og for begrænsning af skibstrafikken, er der stadig usikkerheder i forhold til væsentlige parametre og i betydningen af endnu ikke medtagne aspekter. Det anbefales derfor at forfølge denne modeldannelse i det videre forløb af forundersøgelserne.

Andelen af skibstrafikken, der vil kunne passere en given gennemsejlingsåbning, tænkes primært at være bestemt af åbningens højde. Hvis antenner, master eller dele af dækshuset er højere end åbningen, kan/vil disse blive beskadiget under en passage og den risiko vil afholde de store skibe fra passage. Navigationsåbningens bredde vil ikke udgøre en tilsvarende hård begrænsning, idet bredden skal indeholde en tilstrækkelig margin til at manøvrere skibet sikkert igennem åbningen. Betingelserne i passagen, skibets egenskaber, vejrsituationen og skibsførerens erfaring vil påvirke hvor stor en margin, der vurderes nødvendig. Alternativet at sejle øst om Samsø betyder en ikke uvæsentlig omkostning og forøget rejsetid, og det vil tilskynde til at forsøge passage, selvom passagen vil betyde en reduceret margin. I brodesignet håndteres dette forhold ved at designe broen med en navigationsåbning med en passende balance imellem højde og bredde. Omkostningsmodellen giver mulighed for systematisk at evaluere forskellige bredder og højder af gennemsejlingen. Den del af den oprindelige trafik, der ikke kan passere åbningen, associeres med en omkostning f.eks. svarende til at skulle sejle en omvej. Og den trafik, der kan passere åbningen, associeres med en risikoomkostning baseret på den geometrisk sikkerhedsmargin, som skibet har i passagen.

Modellen omfatter to navigationsarrangementer: det aktuelt foreslåede, med to separate gennemsejlinger, og et arrangement med kun én større gennemsejling, der skal anvendes af trafik i begge retninger. Det er oplagt mere kost-effektivt kun at investere i at øge bredden af én gennemsejling. Men med kun én gennemsejling opstår muligheden for at modgående trafik mødes nær broen, hvorved det navigationsmæssige

frirum nedsættes i skibenes passage af gennemsejlingen. Den øgede udfordring i passagen af broåbningen i mødesituationer er medtaget i modellen som en ækvivalent risikoomkostning i bedømmelsen af løsningen med kun én navigationsåbning.

Omkostningsbeskrivelsen kan og bør nuanceres yderligere, bl.a. med en progressiv forøgelse af omkostningen ved omledning øst om Samsø og for risikofyldte passager af broåbningen som funktion af skibenes størrelse. Men modellen bibringer stadig en nyttig indikation af balancen imellem anlægsomkostninger, omkostninger ved trafikomledning, og den associerede risikoomkostning ved passagen af skibe, der er større end anbefalet for en given gennemsejlingsbredde.

Med udgangspunkt i de foreslåede broløsninger over Samsø Rende med separate navigationsfag til hver trafikretning og en gennemsejlingsåbning på 170 meters bredde og 26 meters højde giver modellen og de etablerede økonomiske nøgletal følgende overordnede indikationer for det foreslåede navigationsarrangement:

- Spændvidden på 200 m i gennemsejlingsfagene ser ud til at være i balance med trafikmængden. Der er ikke omkostningsmæssigt belæg for at øge spændvidden i gennemsejlingen for at kunne lade en større del af skibstrafikken passere.
- Ændres arrangementet til kun at have én navigationsåbning fælles for begge retninger, giver skibstrafikkens størrelse kun omkostningsmæssigt belæg for at øge spændvidden af dette ene spænd til 220 m.
- En løsning med kun ét gennemsejlingsfag på 275-300 m svarende f.eks. til Farø-Falster broen, betinger at værdien af at skibstrafikken kan passere broen, sættes 3 gange højere end den aktuelt er vurderet til. Det indikerer, at der skal en aktiv politisk prioritering til, for at bekoste en bro, der tillader en større del af trafikken at passere.
- Forudsætningen om 200 m spændvidde på hele højbroen kunne være en unødig dyr løsning. En reduktion af højbroens generelle spændvidde vil skabe økonomisk råderum til at øge spændvidden i gennemsejlingsfagene. Omvendt vil en mindre spændvidde i højbroen lede til en større kollisionsrisiko, og betydningen af dette skal medregnes. Denne optimeringsstrategi bør forfølges.

På nuværende stadie af forundersøgelserne er risikoen for kollisioner mod broen ikke kvantificeret. Variationen af denne risiko med mængden af skibstrafik, som kan passere gennemsejlingen, er dermed ikke medtaget i modellen. Det vil være nødvendigt at belyse og analysere denne sammenhæng og inddrage det i omkostningsevalueringen og beslutningsprocessen omkring en ren broløsning for KKV.

De foreslåede korridorer og tilhørende broløsninger kan medføre, at skibstrafikken ikke nødvendigvis kan arrangeres med en gunstig krydsningsvinkel. Det kan enten løses ved at spændvidden af gennemsejlingsfagene for disse broløsninger øges for at kompensere for en skæve krydsning, eller ved at skibstrafikken i Samsø Rende begrænses yderligere. Balancen imellem forbindelsens anlægsøkonomi og omfanget af skibstrafik som en broforbindelse vil tillade i Samsø Rende, indeholder politiske prioriteringer. Disse vil indikere hvordan en skæv krydsning mellem bro og skibstrafik kan/skal håndteres, og vil påvirke hvordan evalueringen af en korridor med tilhørende broløsning påvirkes af en skæv krydsning.

Afklaring af de politiske prioriteringer i forhold til hvor meget trafikken igennem Samsø Rende kan/må begrænses er derfor væsentlig, ikke kun for optimering af den enkelte broløsning, men også i den relative evaluering af de foreslåede korridorer.

Som illustration af broløsningernes mulige betydning for skibstrafikken, vil det forudsatte navigationsspænd på 200 m, med en frihøjde på 26 m og under forudsætning af en optimal krydsningsvinkel (90°), tillade passage af skibe på op til 100 meters længde. Dette svarer til ca. 80% af den nuværende trafik og betyder, at ca. 20% af den nuværende trafik vil blive tvunget til at sejle øst om Samsø.

Jævnfør vurderingen af navigationsarrangementet for broløsningerne i afsnit 10.4.2 vil en næsten vinkelret krydsning være mulig for broløsningerne i KKV-2.1, KKV-2.2, KKV-3.1 og KKV-3.2. For broløsningerne i KKV-2.3 og KKV-3.4 vurderes det ikke muligt at opnå en større krydsningsvinkel end 45-50°, og dermed vil skibe, med en længde over 75 m, være forhindret passage. Det betyder at ca. 50% af den nuværende trafik vil skulle sejle øst om Samsø med disse løsninger.

10.4.3 Navigationsarrangement for KKV broløsninger

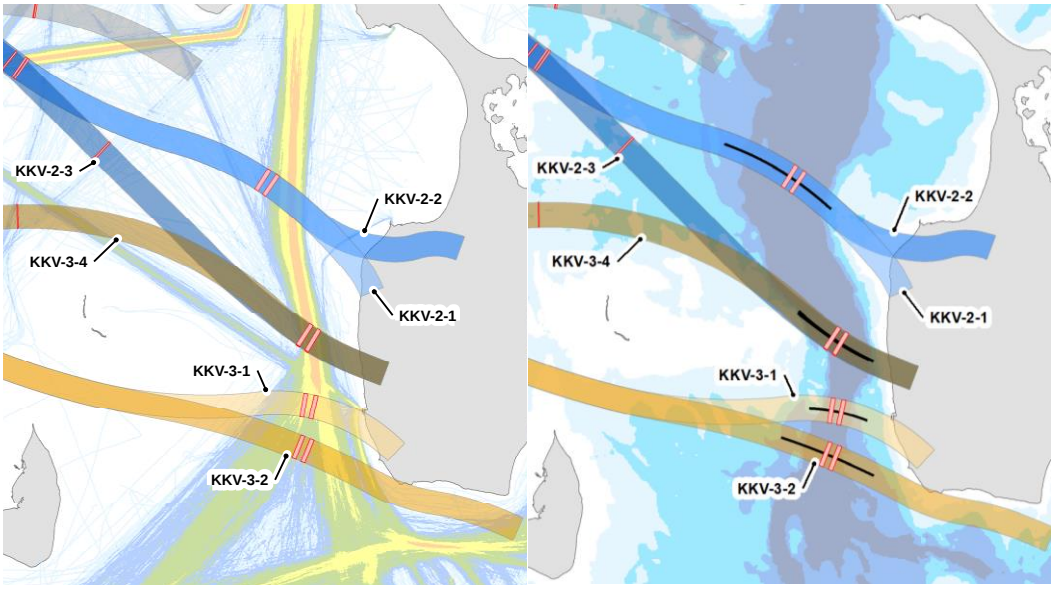
Det er naturligt at dele evaluering af navigationsarrangementet omkring KKV broløsningerne op i evaluering af den primære gennemsejling ved broens krydsning af Samsø Rende og i evaluering af de sekundære gennemsejlinger til trafikken i farvandet mellem Samsø Rende og Jylland.

10.4.3.1 Primær gennemsejling ved Samsø Rende

For så vidt angår korridorernes krydsning af trafikken i Samsø Rende har de to kombinerede løsninger KKV-1.1 og KKV-1.2, der begge omfatter en sænketunnel under Samsø Rende, ingen betydning for afviklingen af erhvervstrafikken i Samsø Rende.

De 6 resterende rene broløsninger krydser trafikken i Samsø Rende på 4 forskellige steder under forskellige vinkler – se Figur 10-22. Hver lokation har sine udfordringer i forhold til gennemsejlingens placering og arrangement af sejladsen op mod gennemsejlingen. Hvor batymetrien tillader det, kan trafikken lægges om, så der opnås en så vinkelret krydsning af broen som muligt. Placering af gennemsejlingen – og om nødvendigt også af højbroen – kan justeres uden at påvirke løsningens anlægsomkostninger. Men hvis gennemsejlingsarrangementet nødvendiggør en større spændvidde af gennemsejlingsfagene, vil det påvirke anlægsomkostningerne.

Ved gennemsejlingen på KKV-2.1 og KKV-2.2 giver batymetrien mulighed for at lægge trafikken længere mod vest, så der kan arrangeres en mere optimal (vinkelret) krydsning af broen. For KKV-2.3 og KKV-3.4 er gennemsejlingen lagt hvor den nuværende trafik krydser korridoren, idet mulighederne for at lægge trafikken om er mere begrænsede her. Arrangementet i disse korridorer kan derfor være nødsaget til at forudsætte en skrå krydsning af trafikken, hvilket kan/vil kræve en større spændvidde i gennemsejlingsfaget. De sydlige korridorer KKV-3.1 og KKV-3.2 krydser trafikken hvor den breder sig ud mod de forskellige destinationer i farvandet mod syd. Trafikken skal derfor holdes samlet i en rute igennem korridoren og et stykke syd herfor.



Figur 10-22 Korridorernes krydsning af erhvervstrafikken i Samsø Rende (til venstre) og batymetrien omkring krydsningerne (til højre).

Arrangementet af trafikken hen til og igennem broens gennemsejlingsfag skal være enkelt, logisk, sikkert og uden unødvendig forlægning eller kursændringer. Så længe kursændringer på ruten lægges i god afstand af gennemsejlingen, vil navigatører ikke opfatte kursændringer som en særlig kompleksitet. Men tilføjelsen af et knæk på ruten introducerer en risiko for at et skib ikke foretager denne kursændring. Og hvis skibet med den uændrede kurs har retning mod broen, tilføjer rutens knæk dermed en risiko for kollision mod broen. Da denne form for kollisionsrisiko kan være en ganske stor udfordring i relation til broens design, bør rutelægning så vidt muligt undgå at skabe uheldigt placerede ruteknæk i nærheden af broen.

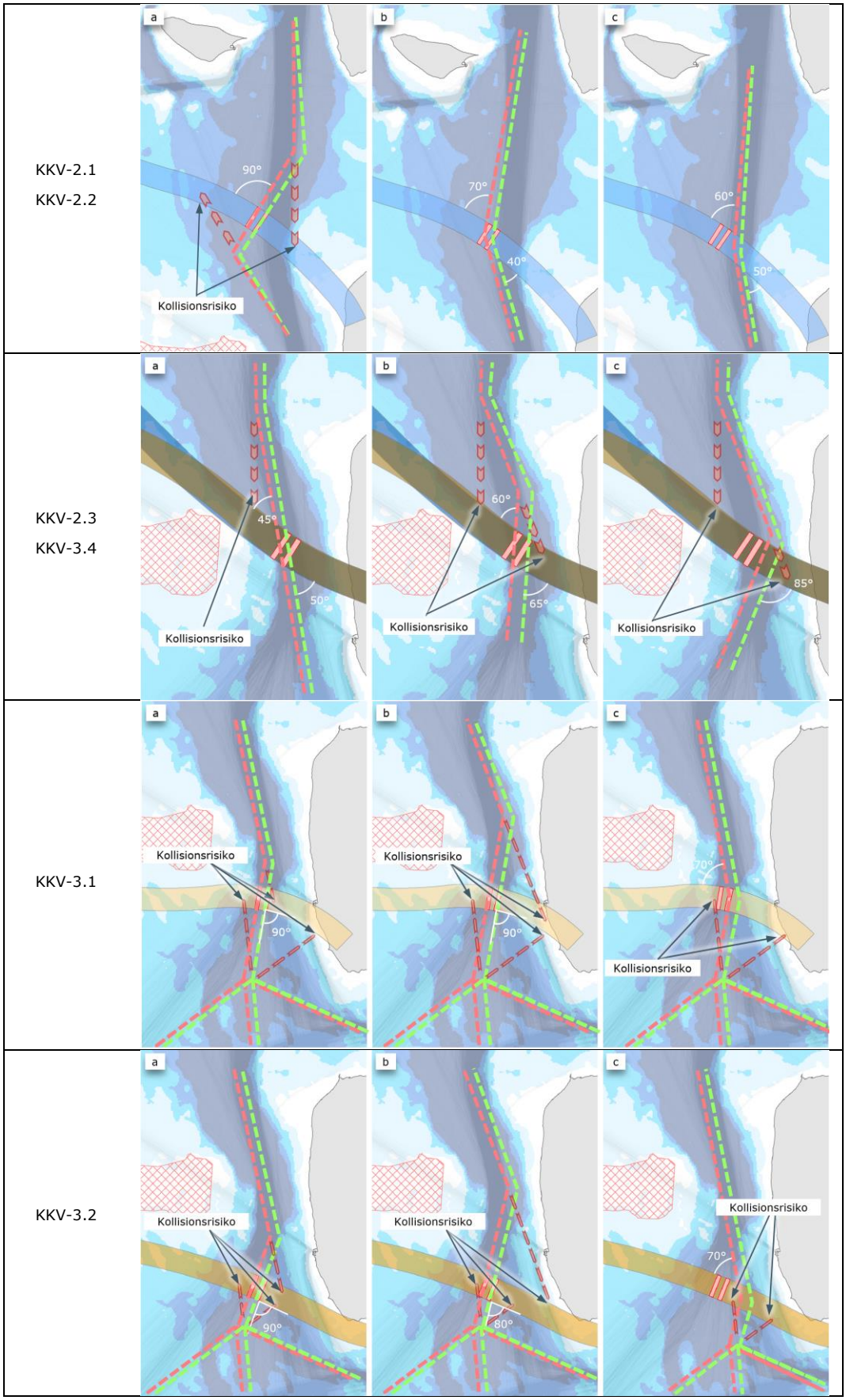
Selve passagen af broen skal arrangeres så vinkelret som muligt. Navigatøren får da en bedre visuel støtte under gennemsejlingen, og har den fulde bredde af gennemsejlingen til sin rådighed. Med en skæv krydsning vil den effektive bredde af gennemsejlingen blive mindre, og det vil gøre navigatørens marginer mindre og dermed øge risikoen for at skibet rammer pillerne. Den reducerede effektive bredde af gennemsejlingsåbningen kan enten kompenseres ved at øge spændvidden i gennemsejlingsfaget, eller ved at størrelsen af skibene, der kan eller må passere broen, sættes ned. Men udvidelsen af gennemsejlingsfaget vil ikke afhjælpe navigatørens dårligere visuelle støtte, ved at skulle sejle mod broen i en skæv vinkel.

Rutelægningen og placering af gennemsejlingsfagene skal således prioritere en række forskellige formål og forhold, hvor et kompromis kan blive nødvendigt. Leder arrangementet til en skrå krydsning, kan det håndteres enten ved at øge spændvidden af navigationsfaget eller ved at acceptere yderligere begrænsning af hvor store skibe, der kan passere broen. Det er ikke relevant på dette stadie af undersøgelserne at optimere broløsningerne, deres gennemsejlinger og sejladsens arrangement omkring gennemsejlingen, for at kunne bestemme og sammenligne de optimale konfigurationer for hver korridor. Evalueringen af sejladsarrangementet tager derfor udgangspunkt i de fordele og ulemper, der er identificeret ved at betragte forskellige eksempler på relevante arrangementer. Den mest uønskede og formentlig mest omkostningstunge ulempe er en skrå gennemsejling. For ikke at forudsætte en bestemt strategi for

håndteringen af en skrå skæring, er sejladsforholdenes betydning for projektrisikoen vurderet både når den foreslåede spændvidde i gennemsejlingen fastholdes til 200 meter, og når spændvidden øges for at kompensere for den skrå skæring.

Med henvisning til eksemplerne på mulige rutelægninger vist i Figur 10-23 knyttes følgende kommentarer til løsningerne:

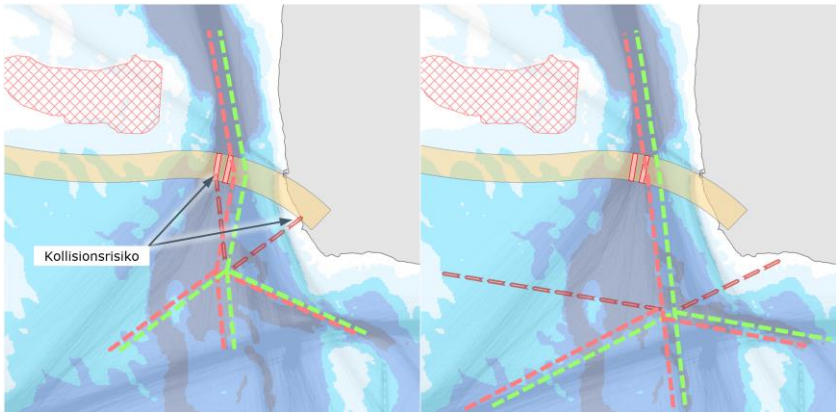
- KKV-2.1 og KKV-2.2
  Med en rutelægning "a" opnås en vinkelret krydsning med brolinjen, men rutens knæk tilføjer samtidig en risiko for kollision mod broen. Dette undgås ved at lægges rutens knæk i brolinjen ("b" og "c") men rutens krydsningsvinkel bliver derved mindre hensigtsmæssig. Korridoren kunne ændres så der opnås en mere optimal vinkel.
- KKV-2.3 og KKV-3.4
  Med et ruteforløb svarende til det nuværende sejladsmønster ("a") krydser trafikken gennemsejlingen under en meget skrå vinkel (45°-50°). Forsøg på at rette krydsningen ("b" og "c") giver et ruteforløb nord for broen, der er uhensigtsmæssigt klemt op mod sejlrendens afgrænsning mod nordøst. Rutens knæk nord for korridoren vil i alle tilfælde udgøre en risiko for kollision mod broen, og opretning af krydsningen tilføjer endnu et knæk, der øger denne risiko.
- KKV-3.1 og KKV-3.2
  For begge løsninger kan ruten med et enkelt knæk rettes op til en vinkelret krydsning af brolinjen ("a"). Dette knæk udgør en risiko for kollision mod broen, der ikke let/helt lader sig eliminere hvis krydsningen samtidig skal holdes nær vinkelret ("b"). Lægges ruteknækket i brolinjen elimineres risikoen, men krydsningsvinklen reduceres til 70°.



Figur 10-23 Betragtede eksempler på rutelægning for de rene broløsninger.

For ingen af korridorerne kan rutelægningen sikre både en god krydsningsvinkel og undgå ruteknæk, der giver risiko for kollisioner. På det nuværende analyse- og detaljeringsstadie er det ikke klart, hvilken af disse forhold der udfordrer broløsningen mest. Evaluering af korridorerne tager derfor udgangspunkt i, at der ikke tilføjes ruteknæk, der medfører en kollisionsrisiko for broen. Betydningen af en eventuel skrå skæring evalueres både uden og med en kompenserende øget spændvidde i gennemsejlingsfagene.

Sammenfletningen af ruterne syd for KKV-3.1 og KKV-3.2 leder uundgåeligt til ruteknæk, og i eksemplerne betragtet i Figur 10-23 er disse knæk kilde til kollisionsrisiko mod broen. Ved at lægge sammenfletningen længere mod syd, kan disse kilder elimineres – se Figur 10-24.



Figur 10-24 Yderligere optimering af rutelægning "c" for KKV-3.1 i Figur 10-23 så sammenfletningen af ruterne syd for broen ikke bliver kilde til kollisionsrisiko mod broen.

Vurderet alene på grundlag af mulighederne for at arrangere sejladsen op til og igennem den primære gennemsejling, evalueres projektrisikoen som følger:

- KKV-1.1 og KKV-1.2
  Sejladsen i Samsø Rende er ikke påvirket, så projektrisikoen er **lav**.

- KKV-2.1 og KKV-2.2
  Det enkleste arrangement uden ruteknæk, der eksponerer broen for kollisionsrisiko, reducerer den effektive navigationsbredde til 75-85%. Det klassificeres til en **forhøjet** projektrisiko. Muligheden for at justere korridoren til en mere ret krydsning, sænker klassifikationen til lave ende af **forhøjet**.

- KKV-2.3 og KKV-3.4
  Det enkleste og mest realistiske arrangement reducerer den effektive navigationsbredde til 70-75%. Det klassificeres til en **forhøjet** projektrisiko.

- KKV-3.1 og KKV-3.2
  Det enkleste arrangement reducerer den effektive navigationsbredde til 90-95%. Det klassificeres til den lave ende af **forhøjet** projektrisiko.

Disse klassificeringer skal kombineres med tilsvarende klassificeringer for de sekundære gennemsejlinger.

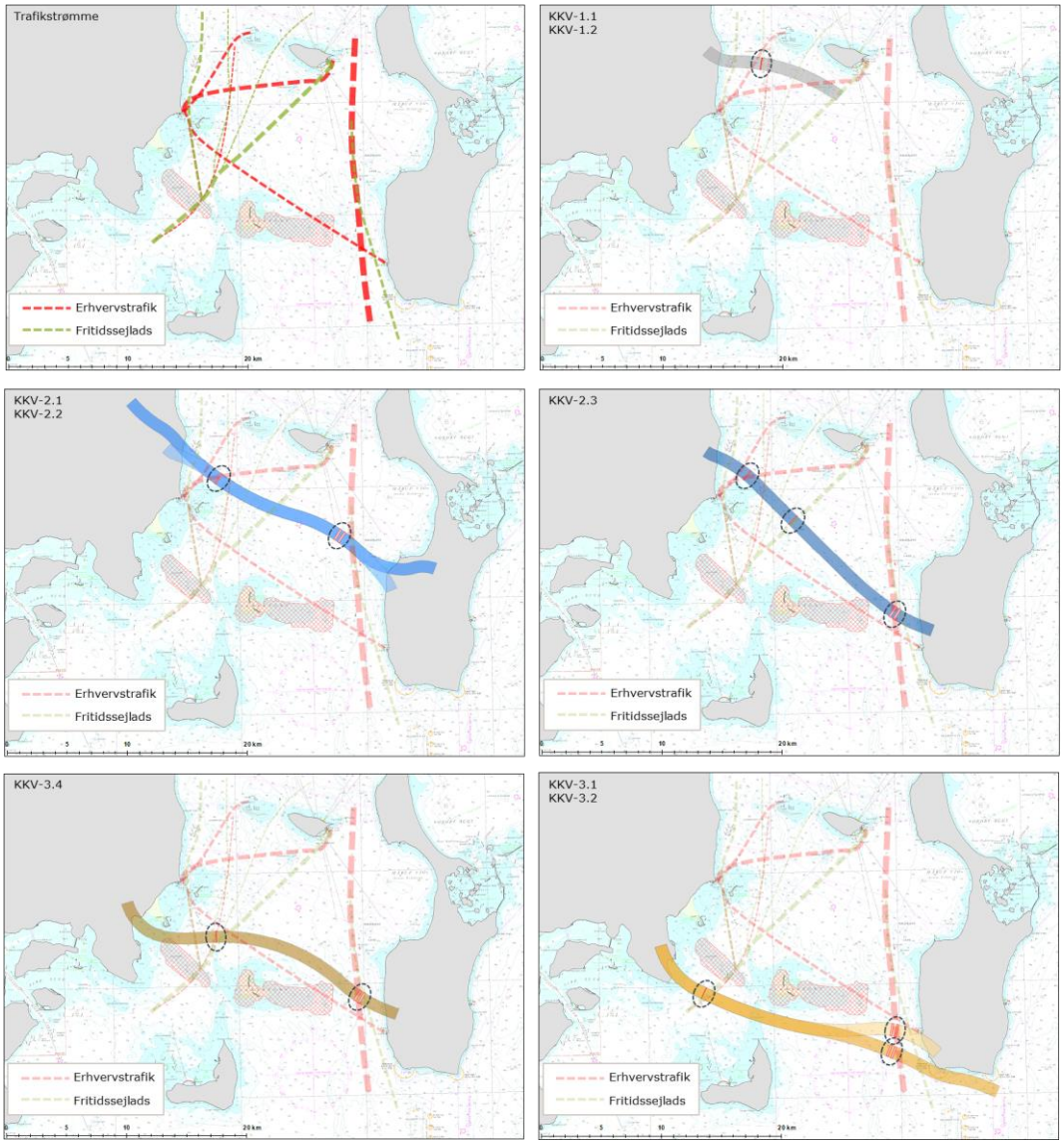
10.4.3.2 Sekundære gennemsejlinger

Farvandet fra Samsø Rende over til den jyske østkyst benyttes hovedsageligt af fritidsfartøjer, de lokale færger og små erhvervsfartøjer. Det observerede sejladsmønster vist i Figur 10-20, viser at navigationen foregår frit og uhindret mellem de få øer og større grunde i farvandet (Tunø, Tunø Knob, Svanegrund og Endelave). Trafikken samler sig i brede direkte ruter mellem farvandets destinationer og passager, og det vil være disse ruters mulighed for at passere broen, der har primær betydning for navigationsarrangementet med en given korridor. Den i øvrigt uhindrede sejlads giver rig mulighed for at trafikken kan arrangeres – eller selv arrangerer sig – i passende ruteforløb hen til gennemsejlingerne.

På baggrund af den detaljerede kortlægning af trafikken i Figur 10-20 er de typiske ruter og strømme af erhvervs- og fritidstrafik identificeret som vist i Figur 10-25 (øverst til venstre). Sammenligning af dette rutebillede med placeringen af navigationsåbningerne i de foreslåede løsninger, som også er indikeret i Figur 10-25, danner grundlag for den overordnede vurdering af de sekundære gennemsejlinger. Tilføjelse af yderligere sekundære gennemsejlinger, der kan baseres på lavbroens standardspænd, vil alene kræve en ændret vertikal linjeføring omkring gennemsejlingen. Med det nuværende detaljeringsniveau i undersøgelserne vil en sådan hævning ikke påvirke anlægsomkostningerne i en grad, der vil få betydning i den samlede vurdering og relative sammenligning af korridorerne og deres broløsninger. Derfor vil nødvendigheden af at antallet og/eller placeringen af de sekundære gennemsejlinger skal ændres ikke påvirke den projektmæssige risiko for korridoren og løsningen.

For alle KKV-broløsninger er de sekundære gennemsejlinger forudsat at have en 18 meter høj navigationsåbning. Denne højde vil kunne justeres uden at påvirke den relative evaluering og bidragene til projektrisikoen for broløsningerne. For løsninger med en lavbro med et standardspænd på 100 meter er gennemsejlingen sat til at være 70 meter bred, mens et standardspænd på 60 meter giver en gennemsejlingsbredden på 35 meter. Det er ikke sikkert at denne smallere bredde er tilstrækkelig til at tillade modgående trafik i gennemsejlingen og passage af større sejlskibe i hård vind. Det skal derfor overvejes enten at øge spændvidden i gennemsejlingsfaget og/eller at arrangere separate gennemsejlingsfag til hver retning.

Den endelige detaljering af en broløsning bør inddrage navigationsåbningernes betydning for fritidssejladsens valg af ruter. Dette er undersøgt og rapporteret i [27] (Sejladsanalyse - vurdering af påvirkning af rekreativ sejlads som følge af bro øst og vest for Samsø, rapport, Rambøll).



Figur 10-25 Indikation af trafikstrømme (øverst til venstre) i sammenligning med de placerede primære og sekundære gennemsejlinger (øvrige figurer).
(Bilag 10-28 i bilagsmappen)

Færgen mellem Hou og Tunø vil krydse KKV-1 og KKV-2 korridorerne og broløsningerne i disse. I disse broløsninger har lavbroen en standard spændvidde på 100 m, og gennemsejlingsåbningen vil være tilstrækkelig til den aktuelt anvendte færge, der blot er 30 m lang. Den observerede rute for færgen krydser broen i de kombinerede løsninger KKV-1.1 og KKV-1.2 umiddelbart vest for den kunstige ø i overgangen mellem tunnel og bro. Det er ikke hensigtsmæssigt at arrangere en gennemsejling på dette sted, men omvejen for færgen ved at gå øst om den kunstige ø er beskeden og dette vil være det mest oplagte arrangement.

I forhold til beskrivelsen af KKV-broløsningerne i afsnit 8 giver den systematiske gennemgang i [9] (KKV - Sejladsforhold og risiko for skibskollision, fagnotat, COWI) anledning til følgende ændringer/tilføjelser for de sekundære gennemsejlinger:

- KKV-1.1 og KKV-1.2
  Løsningen bør tilføjes en gennemsejling til den kystnære trafik
- KKV-2.1 og KKV-2.2
  Løsningen bør tilføjes en gennemsejling til den kystnære trafik samt en central gennemsejling til den store trafik til/fra Tunø
- KKV-2.3
  Løsningen bør tilføjes en gennemsejling til den kystnære trafik
- KKV-3.1, KKV-3.2 og KKV-3.4
  Én sekundær gennemsejling vurderes at være tilstrækkelig, men det kortere standardspænd i lavbroen (60 m) vurderes at give en utilstrækkelig gennemsejlingsbredde af denne ene åbning

Med disse ændringer forventes de sekundære gennemsejlinger og de ændringer til sejladsforholdene, som broens gennemsejlinger afstedkommer, ikke at bidrage mærkbart til projektrisikoniveauet. For løsningerne med en lavbro med et 60 m standardspænd, kan nødvendigheden af at øge spændvidden i gennemsejlingen dog udgøre en designmæssig tilføjelse, der udfordrer konceptet i lavbroen. Dette forhold definerer bidraget til projektrisikoen til at være i den lave ende af **forhøjet** som minimum.

Ved sammenligning af løsningerne noteres det imidlertid, at det er nødvendigt med tre sekundære gennemsejlinger for løsningerne i de midterste korridorer (KKV-2.1, KKV-2.2 og KKV-2.3), hvor de sydlige korridorer kun medfører en. Rent principielt betyder det, at de midterste korridorer skærer igennem områder med mere udbredt sejlads, hvor de sydlige korridorer, med deres placering op ad Svanegrund holder sig fri af sejladsbilledet. Den udbredte trafik omkring de midterste korridorer kan gøre overvågning af skibstrafikken omkring broen og dens åbninger til en mere kompleks opgave. Der er mere trafik at overskue og det vil være vanskeligere at identificere et vildfarent større skib i den store mængde af mindre fartøjer. De midterste korridorer har forhold ved den primære gennemsejling, der er mere specifikke og tungtvejende end dette, så antallet af sekundære gennemsejlinger er ikke inddraget i evaluering af løsningernes bidrag til projektrisikoen.

10.4.3.3 Sammenfatning

Navigationsforholdene omkring de foreslåede broløsninger har fokuseret på arrangementet af trafikken i Samsø Rende frem til passagen af hovedbroens gennemsejlinger. Sejladsen kan arrangeres efter forskellige prioriteter – minimering af ændringer 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. Eksemplernes fordele og udfordringer 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 endeligt favoriseres.

Navigationsforholdene for den resterende del af broerne er primært vurderet med udgangspunkt i hvordan broen og dens gennemsejlinger kan bringes til at harmonere med det nuværende sejladsmønster i farvandet vest for Samsø Rende. Denne evaluering har ikke identificeret forhold, der bidrager væsentligt til projektrisikoen. Det større antal af sekundære gennemsejlinger for de midterste korridorer er dog markeret som indikator for udfordringer, på grund af omfanget af sejlads, disse løsninger skærer igennem.

Evalueringerne er sammenfattet i Tabel 10-13 med angivelse af bidrag til projektrisiko vurderet både med og uden justering af spændvidden af gennemsejlingsfaget.

Tabel 10-13 Sammenfatning af evalueringen af navigationsarrangement omkring KKV-korridorer og deres broløsning med en resulterende vurdering af sejladsforholdenes bidrag til projektrisikoen.
("Bro": ren broløsning, "Bro+ST": bro og sænketunnel)

Korridor og løsning	Gennemsejlingen over Samsø Rende	Sekundære gennemsejlinger	Evaluering og bidrag til projektrisiko
KKV-1.1 Bro+ST KKV-1.2 Bro+ST	+ Trafikken i Samsø Rende er uberørt	+ kræver kun 2 gennemsejlinger + gennemsejlingsbredden tillader passage af sejlskibe med mastehøjde 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 færgen tvinges øst om den kunstige ø	Med supplerende og eventuelt højere sekundære gennemsejlinger vurderes løsningen ikke at have særlige udfordringer. **Forventelig**
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 gennemsejlinger I den lave end af **forhøjet** både med og uden forøget spænd
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** uden, og i den lave ende af **forhøjet** med øget spænd i hovedbroen
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 I den lave ende af **forhøjet** både med og uden forøget spænd i hovedbroen
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** uden og i den lave ende af **forhøjet** med øget spænd i hovedbroen

10.4.4 Kollisionsrisiko for KKV-broløsninger

Kollisionsrisikoen for KKV-broløsninger er vurderet med udgangspunkt i terminologien introduceret i afsnit 10.3.3.1. Da der endnu ikke er foretaget kvantitative beregninger af risikoen og heller ikke er defineret et acceptabelt niveau af denne risiko, er vurderingen af kollisionsrisikoen for KKV baseret på overordnede, kvantitative indikatorer for korridorer og broløsninger, der har direkte betydning for de tre kategorier af kollisionsrisiko. Vurderingen tager kun udgangspunkt i trafikken i Samsø Rende, idet det alene er skibene i denne trafik, der er store nok til at foranledige alvorlig skade på konstruktionen. Kollisionsrisikoen vil dermed være fokuseret omkring gennemsejlingen, men Kategori IV risikoen vil – ifølge den aktuelle modelleringspraksis – eksponere alle dele af broen, og dermed indgår hele korridoren i evalueringen.

Risikoen for Kategori I kollisioner, der betegner kollisioner mod hovedbroen i forbindelse med selve gennemsejlingen, er primært styret af gennemsejlingens effektive bredde og dens tilstrækkelighed i forhold til skibstrafikkens volumen og størrelsesfordeling. Skibstrafikken er den samme for alle løsninger, og dermed vil risikoen alene blive en funktion af den effektive gennemsejlingsbredde – en mindre bredde giver en større risiko. Alle rene broløsninger forudsætter den samme dimension af gennemsejlingsåbningerne, så det er alene den opnåede krydsningsvinkel mellem skibstrafikken og brolinjen, der bestemmer den effektive bredde og dermed risikoniveauet. Arrangeres trafikken med en krydsningsvinkel på α, hvor α = 90° svarer til en vinkelret krydsning, vil den effektive bredde være $\sin(\alpha)$ gange den fulde bredde. Beregninger af kollisionsrisikoen med relevante parameterværdier for Samsø Rendes krydsning af KKV, viser med god tilnærmelse, at risikoen med en skæv krydsning bliver $1/\sin(\alpha)$ gange større end risikoen ved en vinkelret krydsning. Dermed kan faktoren $1/\sin(\alpha)$ anvendes som en relativ indikator for Kategori I risikoen. Indikatoren angives i % så en vinkelret krydsning giver en indikator på 100%.

Kategori II kollisioner opstår med udgangspunkt i knæk på sejlruten, hvor skibet vil være på kollisionskurs mod broen, hvis det ikke ændrer kurs ved knækket. Hvert knæk på ruten med denne egenskab repræsenterer derfor en potentiel risiko for kollisioner. Sandsynligheden for at skibet rammer en af broens piller vil afhænge af, hvor på broen forlængelsen af ruten rammer. Risikoen vil være størst hvis rutens forlængelse peger direkte mod en pille, og mindst hvis rutens forlængelse rammer midt mellem to piller. Endvidere vil vinklen, som rutens forlængelse krydser brolinjen med, være bestemmende for sandsynligheden for at ramme en pille. Sandsynligheden øges jo mere kollisionsretningen afviger fra at være vinkelret på brolinjen. Det er mere komplekst og usikkert at gøre disse geometriske faktorer gunstige ved at justere ruten, korridoren og pillernes stationering, og erfaringsmæssigt vil sandsynligheden for at skibet i et Kategori II scenarie faktisk rammer en pille typisk være højere end i et Kategori I scenarie. Omvendt vil et ruteknæk kun eksponere broen for kollision med trafikken i rutens ene retning, og det halverer risikopotentialet i forhold til et Kategori I risikoen ved gennemsejlingen. Under forudsætning af, at Kategori II kollisionerne eksponerer højbroen, hvor broens spændvidde og pilledesignet svarer til gennemsejlingen, regnes hvert ruteknæk at udgøre et risikopotentiale af samme størrelsesorden som Kategori I kollisionerne ved gennemsejlingsåbningen. Dermed regnes den øgede geometriske sandsynlighed for at skibet rammer en pille at opveje, at det kun er trafikken i den ene retning, der bidrager til risikoen. Antallet af ruteknæk med kollisionspotentiale vil dermed udgøre en indikator for Kategori II kollisioner, der

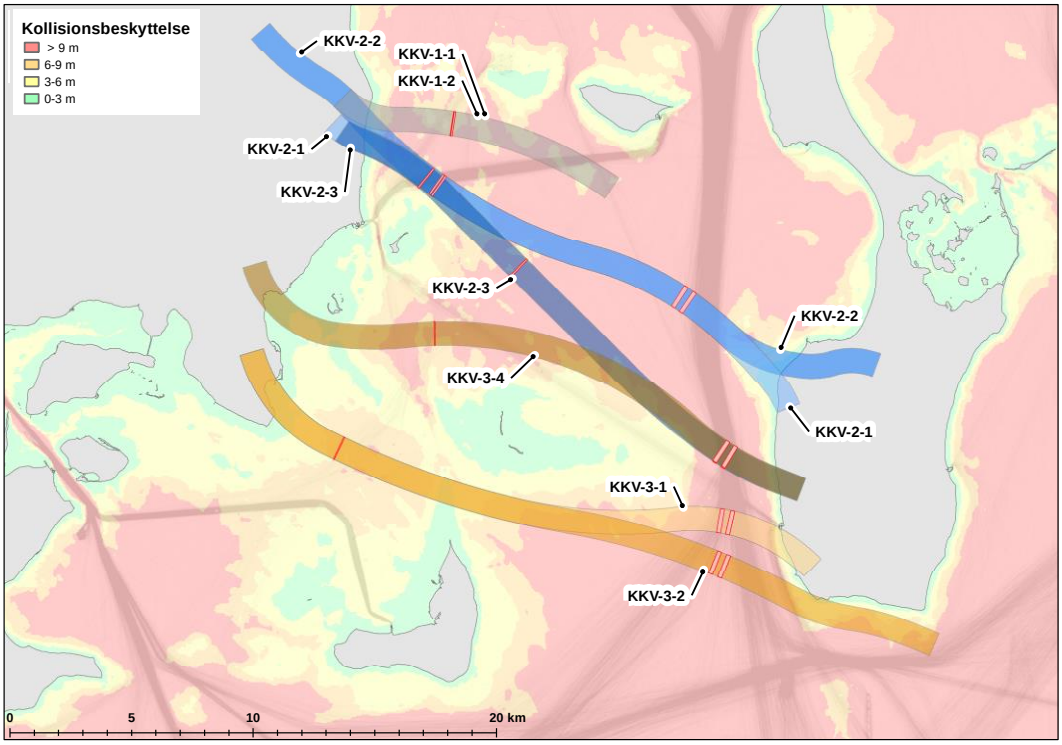
størrelsesmæssigt korrelerer med indikatoren for Kategori I risiko. Indikatoren opgøres i % og øges således med 100% for hvert knæk på ruten, der har potentiale for Kategori II kollisioner.

Kategori IV er en diffus restkategori af kollisioner, der eksponerer alle dele af broen, som skibet kan nå frem til fra Samsø Rende uden at grundstøde undervejs. De bestemmende faktorer for denne risiko er: skibstrafikken i Samsø Rende, broens design og modstandsevne, samt vanddybderne fra Samsø Rende hen til broen. Siden alle dele af broen er eksponeret, vil lavbroens relativt store andel af broens samlede længde og den mindre pilleafstand i lavbroen begge medvirke til, at bidraget fra lavbroen vil dominere Kategori IV risikoen. Indikatoren for Kategori IV risiko fokuserer derfor primært på forskelle i lavbroens design for løsningerne.

Skibstrafikken er den samme for Kategori IV kollisioner, som for Kategori I og II, og er dermed en grundlæggende faktor fælles for alle tre typer kollisionsrisiko. Dog vil tunneldelen i de kombinerede løsninger KKV-1.1 og KKV-2.1 tillade passage af al skibstrafik i Samsø Rende hvor trafikken med de rene broløsninger vil være begrænset af det foreslåede gennemsejlingsarrangement i højbroen. Trafikken vil dermed blive ca. 20% større med en tunnelløsning, men siden dette alene omfatter større skibe, vil risikoen for kollisioner med alvorlig skade øges med en endnu større faktor. En indikativ analyse af kollisioner mod en lavbro pille viser, at forskellen i skibstrafikken øger risikoen for de kombinerede broløsninger med 70% svarende til en faktor 1,7.

Lavbroens spændvidde udgør den primære forskel i broernes design, idet lavbroen i KKV-1.1, KKV-1.2, KKV-2.1, KKV-2.2 og KKV-2.3 anvender 100 meter spænd, mens spændvidden er reduceret til 60 meter for KKV-3.1, KKV-3.2 og KKV-3.4. Forudsættes Kategori IV risikoen at være domineret af pillekollisioner, vil Kategori IV risikobidraget (alt andet lige) blive 100/60 ≅ 1,7 gange større for løsningerne med 60 meter spændvidde. I forhold til brokonstruktionernes strukturelle design og deres modstandsevne overfor kollisioner, vil en større spændvidde generelt betinge en større modstandsevne af pillerne. Denne generelle korrelation kan dog påvirkes af om overbygningen udføres i beton eller stål, og det aktuelle detaljeringsniveau af de foreslåede broløsninger, giver ikke tilstrækkeligt grundlag til at nuancere indikatoren i forhold til modstandsevnen.

Endelig vil vanddybden fra Samsø Rende hen til korridoren udgøre en væsentlig og differentierende faktor for korridorerne og de tilhørende broløsninger. Andelen af broens periferi, som kan nås fra Samsø Rende med et nogenlunde direkte sejladsforløb uden at krydse lavvandede områder, vil være en faktor i den faktiske beregning af risikoen ved Kategori IV kollisioner. Denne andel er skønsmæssigt anslået baseret på hvor stor en relativ andel af korridorens nord- og sydside, der er beskyttet af vanddybder mindre end 3 meter – se Figur 10-26. Eksponeringen opgøres som en procentuel andel af nord- og sydsiden af korridoren, og fordi den nord- og sydgående trafik i Samsø Rende er stort set ens, vil middelværdien af den nord- og sydlige eksponering være en overordnet faktor i beregning af Kategori IV risikoen.



Figur 10-26 Batymetrien farvelagt i forhold til graden af beskyttelse: beskyttet (0-3 m), begrænset beskyttelse (3-6 m), ingen beskyttelse (6-9 m og > 9m). Erhvervstrafikkens placering er indikeret med en mørkfarvning. (Bilag 10-29 i bilagsmappen)

Kombinationen af disse tre faktorer – den relative eksponering af korridoren, en korrektion for trafikken i Samsø Rende (1 eller 1,7), og en korrektion for lavbroens spændvidde (1 eller 1,7) – leder til en procentuel indikator, der har samme størrelsesorden som indikatorerne for Kategori I og II risikoen. Erfaringen med detaljerede risikoberegninger af overvejede og gennemførte broprojekter viser, at alle tre risikobidrag kan blive af samme størrelsesorden, men viser også, at detaljerne i broprojektet kan medføre en stor dominans af et af risikobidragene. Resultaterne fra de detaljerede analyser af tre broløsninger for KKØ i afsnit 10.3.3.4 og fra de afledte estimater for de kombinerede løsninger for KKØ i afsnit 10.3.3.5 viser hvor drastisk risikoniveauet og balancen imellem de tre risikobidrag kan variere på grund af detaljerne i relativt ensartede projekter. De foreslåede indikatorer afspejler de mest oplagte forskelle imellem projekterne, og vurderes at give en relevant indikation af risikoniveauet imellem broløsningerne og af den relative betydning af risikobidragene for den enkelte løsning.

Kategori II kollisionsrisikoen kan erfaringsmæssigt være problematisk at håndtere for et broprojekt, og derfor er korridorer og broløsningerne vurderet med udgangspunkt i et rutearrangement, der har så få knækpunkter, med potentiale for Kategori II kollisioner, som muligt. Leder det til en skrå krydsning i hovedbroens gennemsejling, må denne udfordring enten håndteres ved at øge spændvidden i gennemsejlingen eller ved at begrænse trafikken til skibsstørrelser, hvor den skrå krydsning ikke udgør en særlig navigationsudfordring.

Tabel 10-14 sammenfatter de bestemte indikatorer for kollisionsrisikobidragene for KKV-broløsningerne, fremhæver løsningernes specifikke udfordringer og omsætter evalueringen til et risikobidrag for projektet. Da justering af spændvidden i hovedbroens gennemsejling har stor betydning for evalueringen, er bidraget til projektrisikoen angivet både med og uden denne justering af gennemsejlingen.

Tabel 10-14 Indikatorer for kollisionsrisikoen for KKV-korridorer med løsninger helt eller delvist baseret på brokonstruktioner og det afledte niveau af projektrisiko baseret alene på 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. Projektrisiko baseret på kollisionsrisiko: **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 Rende. 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 300-500 mio. kr. 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 i den lave ende af **Forhøjet**.
KKV-2.3 Bro	Kategori I Kategori II Kategori IV **Samlet**	faktor kilder faktor	135% 100% 70% **305%**	Denne korridor giver en skæv krydsning af trafikken i Samsø Rende. 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 500-700 mio. kr. 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.

Korridor og løsning	Indikatorer for kollisionsrisiko			Evaluering og Projektrisiko
				Fastholdes en spændvidde i gennemsejlingsfagene på 200 m vurderes projektrisikoen samlet set at være i den høje ende af **Forhøjet**. Øges spændvidden som foreslået til 270 m sænkes projektrisikoen til **Forhøjet**.
KKV-3.1 Bro KKV-3.2 Bro	Kategori I Kategori II Kategori IV **Samlet**	faktor kilder faktor	106% - 92% **198%**	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 kollisionsscenarier i nærheden af Samsø Rende. Risikoen kunne reduceres ved at øge spændvidden på lavbroen, men det vil betyde en ikke uvæsentlig forøgelse af anlægsomkostningerne. Projektrisikoen vurderes at være **Forhøjet**.
KKV-3.4 Bro	Kategori I Kategori II Kategori IV **Samlet**	faktor kilder faktor	135% 100% 100% **335%**	Denne korridor giver en skæv krydsning af trafikken i Samsø Rende. 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 500-700 mio. kr. 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 kollisionsscenarier i nærheden af Samsø Rende. Risikoen kunne reduceres ved at øge spændvidden på lavbroen, men det vil betyde en ikke uvæsentlig forøgelse af anlægsomkostningerne. Fastholdes en spændvidde i gennemsejlingsfagene på 200 m vurderes projektrisikoen samlet set at være i den høje ende af **Forhøjet**. Øges spændvidden som foreslået til 270 m sænkes projektrisikoen til **Forhøjet**.

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

Indikatorernes bestemmelse og omkostningsvurderingen for en øget spændvidde er beskrevet i detalje i [9] (KKV - Sejladsforhold og risiko for skibskollision, fagnotat, COWI).

10.5 Yderligere undersøgelser

Optimering af sejladsforholdene omkring en broløsning og tilsvarende minimering af den afledte risiko for kollisioner mod broens konstruktioner er en kompleks sammenkædet analyse med mange frihedsgrader, som vil have stor betydning for broens endelige design. Den rapporterede evaluering af korridorer og broløsninger for KKØ og KKV er baseret på et foreløbigt analysegrundlag og en indledende konceptuel udformning af broløsningerne, med det primære formål at vurdere broløsningernes mulighed for at kunne modnes til at blive realisable projekter med acceptable sejladsforhold og en samlet risiko for kollision mod broen, der kan forsvares.

Arbejdet med disse vurderinger har afdækket forhold, problemstillinger og beslutningsgrundlag af særlig betydning for broløsningernes relevans og videre modning. Disse beskrives i det følgende, med en motiveret anbefaling om yderligere undersøgelse eller afklaring i det videre forløb af forundersøgelserne:

1 Mekanisk evaluering af kunstige, undersøiske beskyttelsesrev
Motivation: For alle KKØ-broløsningerne er det nødvendigt at begrænse kollisionsrisikoen ved etablering af betydelige undersøiske beskyttelsesværker. Effekten af disse er foreløbig baseret på en simpel elimination af skibe, hvor dybgangen overstiger revets topkote med en vis margin. Den reelle effektivitet af revet bør undersøges i større detalje ved simulering af grundstødninger mod revet med realistiske skibe.

2 Reevaluering af risiko for kollision med skibe, der glemmer at dreje
Motivation: Alle KKØ-broløsninger er eksponeret for en stor risiko for kollisioner af skibe, der ikke ændrer kurs ved et knæk på ruten. I de fleste tilfælde er kilden til risikoen – dvs. knækket på ruten – lokaliseret ganske langt fra broen, og den beregningsmodel, der forudsiger den høje risiko, er ikke underbygget af data for sådanne lange afstande. Ved inspektion af AIS data for området over en årrække kan virkelige navigationsfejl af denne type identificeres og skabe et statistisk grundlag for justering eller verifikation af beregningsmodellen. Dermed kan det be- eller afkræftes, om kollisionsrisikoen har det forudsagte problematisk høje niveau.

3 Drøftelse af sejladsarrangement for KKØ-1.1 og KKØ-3.1 med Søfartsstyrelsen
Motivation: Sejladsforholdene omkring og igennem hovedbroen på broløsningerne for KKØ-1.1 og KKØ-3.1 er i denne forundersøgelse vurderet at kunne møde endog stor modstand såvel fra Søfartsstyrelsen som fra sejladsens aktører. Vurderingen har central betydning for løsningernes anbefaling og bør underbygges ved specifik dialog med Søfartsstyrelsen om realistiske arrangementer af skibstrafikken omkring disse løsninger.

4 Undersøgelse af justeret korridor for KKØ-4.3 med en ekstra hovedbro
Motivation: Arrangementet af sejladsen syd for KKØ-3.1 og i nogen udstrækning også for KKØ-4.3 er presset af den sydlige placering af disse korridorer. Det er indikeret at denne problemstilling kan afhjælpes ved en modifikation af KKØ-4.3 og tilføjelsen af endnu en kabelbåren navigationsåbning. Denne løsning bør detaljeres og evalueres på samme niveau, som de formelt foreslåede løsninger i denne forundersøgelse.

5 Detaljeret beregning af skibsstødsrisikoen for kombinerede løsninger i KKØ.
En approksimativ bestemmelse af skibsstødsrisikoen for lavbrosdelen af en kombineret tunnel-bro-løsning på KKØ indikerer at risikoen kunne overstige fravalgskriteriet. Videre betragtning af disse løsninger i de følgende faser bør derfor indledes med en detaljeret beregning af skibsstødsrisikoen koblet med optimering af korridor, brogeometri og afværgetiltag med henblik på at opnå et acceptabelt niveau for skibsstødsrisikoen.

6 Detaljeret beregning af kollisionsrisikoen for en specifik KKV-broløsning.
Motivation: Kollisionsrisikoen for KKV-løsningerne er ikke blevet beregnet i denne forundersøgelse, men er underkastet en indikativ evaluering med afsæt i den generelle viden om og erfaring med de forskellige risikobidrag. Kollisionsrisikoen har en afgørende betydning for evalueringen af de forskellige løsninger, og det vil derfor være relevant at lave en fuld beregning af en bro-løsning, for at konkretisere det absolutte risikoniveau og balancen imellem risikobidrag fra Kategori I, II og IV kollisioner.

7 Designoptimering af højbroen og gennemsejlingen i KKV-broløsninger.
Motivation: Begrænsningen på størrelsen af erhvervsskibe, der kan passere gennemsejlingen, må forventes at blive kilde til indsigelser og modstand fra skibsfartens aktører. Mulighederne for at minimere denne begrænsning og omkostningerne forbundet derved, bør undersøges. Den foreslåede spændvidde af højbroen på 200 m er baseret på et optimeret design for en broløsning over Femern Bælt, hvor skibstrafikken og dermed kollisionsrisikoen er væsentlig større end i farvandet vest for Samsø. En risikoberegning af en konkret broløsning vil kunne afgøre om der er basis for at reducere denne spændvidde. Er det tilfældet kan en reduktion af spændvidden skabe økonomisk råderum til at øge gennemsejlingsåbningen i hovedbroen, så en større del af den nuværende trafik kan passere broen. En sådan optimeringsøvelse bør gennemføres og dokumenteres som støtte for en oplyst dialog med skibsfartens aktører om en relevant størrelse af erhvervsskibe, der kan sejle vest om Samsø.

8 Erfaring fra lodser, havnelodser og skibsførere med sejladsen i Samsø Rende.
Motivation: Den oversigtsmæssige forståelse af sejladsen i renden vest for Samsø (Samsø Rende) baseret på AIS spor indikerer en ubesværet og relativ stram sejlads i farvandet, uden særlige udfordringer eller kompleksitet. Denne opfattelse bør underbygges ved interview med relevante aktører (lodser, havnelodser, rederier og deres besætning), så eventuelle særlige forhold – strøm, vind, fritidssejlads – ikke overses i vurdering af en KKV-broløsning.

9 Nærmere undersøgelse og analyse af containertrafikken i Samsø Rende.
Motivation: Med det foreslåede gennemsejlingsarrangement vil trafikken med fartøjer, der i AIS data er kategoriseret som containerskibe, helt blive udelukket fra at passere gennemsejlingen i en KKV-broløsning. Fartøjerne i containertrafikken er alle registreret at være for lange til at passere den foreslåede gennemsejling. At forhindre passage for hele denne fartøjskategori må betragtes som en radikal ændring i den eksisterende logistik, og det bør undersøges hvilken betydning trafikken har, og hvordan trafikken og erhvervslivet, der afhænger af denne trafik, vil reagere på begrænsningen.

10 Forbindelsens ændringer af trafikken i Lillegrund Rende og konsekvenserne heraf. En broløsning for KKV, der begrænser trafikken vest om Samsø, og en sydlig broløsning for KKØ, der nødvendiggør et mere sydligt arrangement af trafikken i farvandet mellem Samsø og Fyns Hoved, vil begge kunne påvirke trafikken igennem Lillegrund Rende. De mulige ændringer af trafikken i renden, som den faste forbindelse kunne foranledige, bør afklares, og mulighederne for udvidelse og/eller omlægning af renden skal undersøges og omkostningsbestemmes.

11 Sammenfatning af projektrisiko

11.1 Indledning

I følgende to underafsnit er projektrisikobidragene sammenfattet for følgende seks discipliner: Projektering, Udførelse, Luftkvalitet i tunnel, Geoteknik, Navigation og Skibsstød. For nærmere forklaring af disse henvises til afsnit 4.3.

For hver af disse discipliner er projektrisikobidraget vurderet i forhold til 4 projektrisikoniveauer: **Lavt**, **Forventeligt**, **Forhøjet** og **Højt**. For nærmere forklaring af disse henvises til afsnit 4.4.

Herudover er der en række projektrisikobidrag som ikke er vurderet i nærværende Baggrundsrapport, såsom projektrisici forbundet med natur- og miljøforhold, planforhold, arkæologi samt ueksploderet ammunition (UXO).

I de følgende to afsnit er de vurderede niveauer af projektrisikobidrag for alle undersøgte korridorer vist samlet i skemaform. I kolonnerne yderst til højre er angivet et samlet niveau for de undersøgte projektrisikobidrag. Dette er sat til at være det samme som det højeste af bidragene for den enkelte korridor.

Der er ikke foretaget en tilsvarende projektrisikovurdering for landkorridorerne på Samsø (KSA), da den anlægstekniske projektrisiko for disse korridorer vurderes at være lav. Her vil det i stedet være miljø- og planforhold som vil have størst indflydelse på valg af korridor. Disse er ikke behandlet i nærværende Baggrundsrapport.

Broløsningerne syd om Samsø, uden ilandføring på Samsø er så lange at længden i sig selv bidrager til en forøget projektrisiko jf. afsnit 5.1.8.4. Der er ikke taget højde herfor, da KKV og KKØ er projektrisikovurderet hver for sig. Projektrisikobidraget for disse sammensatte løsninger vil derfor skulle underkastes en nøjere analyse i en kommende fase, såfremt det vælges at arbejde videre med dem.

11.2 Samlet vurdering KKØ

11.2.1 Tabeloversigt

I Tabel 11-1 er projektrisikobidragene for hver korridorløsning imellem Sjælland og Samsø resumeret foruden en samlet vurdering af bidraget til projektrisikoen hidrørende fra de i denne Baggrundsrapport undersøgte tekniske forhold.

Tabel 11-1 Sammenstilling af projektrisikovurderinger for KKØ

Korridornavn	Bro	Sænketunnel	Boret tunnel	Bidrag til projektrisiko						
				Projek-tering Afsnit 7 + 8	Udfø-relse Afsnit 7 + 8	Geo-teknik Afsnit 6.2	Luftkva-litet i tunnel Afsnit 7 + 8	Sejlads-forhold Afsnit 10	Skibs-stød Afsnit 10	Samlet vurde-ring
KKØ-1.1 Nyby Øst - Besser	x									
KKØ-2.1 Nyby Vest - Hjalmarsgård	x									
KKØ-2.1 Nyby Vest - Hjalmarsgård		x								
KKØ-2.2 Nyby Øst - Hjalmarsgård	x									
KKØ-2.5 Røsnæs Syd - Hjalmarsgård	x		x							
KKØ-2.6 Nyby Øst - Hjalmarsgård		*x*								
KKØ-2.3 Nyby Vest - Samsø Syd	x									
KKØ-2.4 Nyby Øst - Samsø Syd	x									
KKØ-3.1 Asnæs Syd - Vesborg Fyr	x									
KKØ-3.1 Asnæs Syd - Vesborg Fyr	x	x								
KKØ-3.2 Asnæs Nord - Vesborg Fyr	x		x							
KKØ-3.3 Asnæs Syd - Samsø Syd	x	x								
KKØ-3.4 Asnæs Nord - Samsø Syd	x		x							
KKØ-4.1 Asnæs Nord - Hjalmarsgård			x							
KKØ-4.1 Asnæs Nord - Hjalmarsgård	x		x							
KKØ-4.2 Asnæs Forskov - Hjalmarsgård	*x*		*x*							
KKØ-4.3 Asnæs Syd - Hjalmarsgård	x									
KKØ-4.3 Asnæs Syd - Hjalmarsgård	x	x								

Projektrisikoniveauer:	Irrelevant	Lavt	Forventeligt	Forhøjet	Højt

To af korridorløsningerne ovenfor er vist med *kursiv og grå font,* da de udgør alternativer som er tilføjet undervejs i processen, og derfor ikke er miljøundersøgt. De er af samme grund ikke behandlet i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll).

11.2.2 Bemærkninger til den samlede vurdering af KKØ

Sejladsforhold og skibsstød dominerer bidragene til projektrisikoen for broløsningerne. Broløsninger i to korridorer nemlig KKØ-1.1 og KKØ-3.1 er begge vurderet til at have et projektrisikobidrag som er **Højt** for både sejladsforhold og skibsstød, og både projekteringsrisikoen og bidraget til projektrisikoen fra udførelsen er vurderet som værende i den øvre ende af **Forhøjet**. Da disse løsninger således har høje projektrisikobidrag fra så godt som alle undersøgte parametre anbefales det ikke at arbejde videre med disse løsninger i fremtidige undersøgelser.

Sejladsforholdene for de rene broløsninger KKØ-2.1, KKØ-2.2, KKØ-2.3 og KKØ-2.4 vurderes ikke at udfordre projektet, men håndtering af broernes eksponering overfor skibsstød skal vinde accept og usikkerheden herfor leder til et projektrisikobidrag som

er **Forhøjet**. Med hensyn til projektering og udførelse er projektrisikobidraget fra disse 4 løsninger vurderet som værende **Forhøjet**. Samlet set leder det til et projektrisikobidrag for disse løsninger på niveauet **Forhøjet**. Broløsningen i KKØ-4.3 ligner disse meget, men med lidt højere projektrisikobidrag (samlet set i den høje ende af **Forhøjet**).

Med de kombinerede løsninger (KKØ-2.5, KKØ-3.1, KKØ-3.2, KKØ-3.3, KKØ-3.4, KKØ-4.1, KKØ-4.2 og KKØ-4.3) vil tunneldelen under Rute T eliminere forbindelsens indflydelse på Rute T. Trods afstanden fra Rute T er brodelen stadig eksponeret for skibsstød fra trafikken på ruten, og en foreløbig approksimativ estimering af risikoen viser at lavbrodelen over det dybe vand op mod øen leder til en høj risiko for afbrydelse af forbindelsen. Risikoniveauet kan overstige fravalgskriteriet og derfor er projektrisikobidraget for skibskollision sat til at være i den høje ende af **Forhøjet**, og dette er videreført til det samlede projektrisikobidrag. Medtages disse kombinerede løsninger i det videre undersøgelsesarbejde, bør det indledningsvist påvises, at afbrydelsesfrekvensen ved detaljeret beregning af skibsstødsrisikoen, designmæssig optimering af brodelen og indførelse af afværgeforanstaltninger, kan bringes ned under fravalgskriteriet.

En tunnel under Rute T vil i forhold til skibsstød med fordel kunne fortsættes i hele korridorens længde, og tre sådanne løsninger er undersøgt med en sænketunnel i KKØ-2.1 og KKØ-2.6 samt en boret tunnel i KKØ-4.1. For disse løsninger vurderes projektrisikobidraget fra projektering som værende i den lave ende af **Forhøjet**, og fra udførelsen som **Forhøjet** (KKØ-4.1 dog i den høje ende).

11.3 Samlet vurdering KKV

11.3.1 Tabeloversigt

I Tabel 11-2 er projektrisikobidragene for hver korridorløsning imellem Samsø og Jylland resumeret foruden en samlet vurdering af bidraget til projektrisikoen hidrørende fra de i denne Baggrundsrapport undersøgte tekniske forhold.

Tabel 11-2 Sammenstilling af projektrisikovurderinger for KKV

Korridornavn	Bro	Sænketunnel	Boret tunnel	Bidrag til projektrisiko						
				Projektering Afsnit 7 + 8	Udførelse Afsnit 7 + 8	Geoteknik Afsnit 6.2	Luftkvalitet i tunnel Afsnit 7 + 8	Sejladsforhold Afsnit 10	Skibsstød Afsnit 10	Samlet vurdering
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			*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			*x*							
KKV-3.4 Fogedmark - Gylling	x									
KKV-3.5 Fogedmark - Søby			x							
KKV-3.2 Samsø Syd - Gylling Næs	x									

Projektrisikoniveauer:	Irrelevant	Lavt	Forventeligt	Forhøjet	Højt

To af korridorløsningerne ovenfor er vist med *kursiv og grå font,* da de udgør alternativer som er tilføjet undervejs i processen, og derfor ikke er miljøundersøgt. De er af samme grund ikke behandlet i [4] (Baggrundsrapport, Kyst-kyst - Miljøundersøgelser, Rambøll).

11.3.2 Bemærkninger til den samlede vurdering af KKV

Sejladsforhold og skibsstød er de to projektrisikobidrag som dominerer i den samlede vurdering af broløsningerne; men dog i mindre udtalt grad end for KKØ.

KKV-1.1 og KKV-1.2 udgør dog undtagelser herfra, idet det her er projektrisikobidraget fra udførelsen, som er vurderet til at være størst. Alt sammen dog kategoriseret til samme niveau, nemlig i den lave ende af **Forhøjet**.

De tre borede tunnelløsninger KKV-2.1, KKV-3.3 og KKV-3.5 er alle kategoriseret med projektrisikobidraget i den høje ende af **Forhøjet**, hvilket skyldes vurderingen af projektrisikoen ved udførelsen af de lange borede tunneler.

De fire broløsninger KKV-2.1, KKV-2.2, KKV-3.1 og KKV-3.2 har så godt som samme projektrisikoprofil resulterende i samme samlede vurdering, nemlig **Forhøjet**.

KKV-2.3 og KKV-3.4 er vurderet til et have et lidt højere projektrisikobidrag, nemlig i den høje ende af **Forhøjet** på grund af en ugunstig skæringsvinkel med sejlruten, hvilket dog vil kunne nedbringes til **Forhøjet** ved indførelse af længere navigations-spænd.

12 Anlægsoverslag

12.1 Indledning

I det følgende er overordnet beskrevet, hvordan nærværende anlægsoverslag for Kattegatforbindelsen Projekt Kyst-Kyst er udarbejdet.

12.2 Metode generelt

Generelt er principperne i ny anlægsbudgettering forsøgt fulgt.

Basis i ny anlægsbudgettering er et fysikoverslag baseret på mængder og kendte enhedspriser. Dette er dog ikke muligt at implementere detaljeret i denne tidlige forundersøgelse med den begrænsede tid, der har været til rådighed.

Det er derfor – som på mange andre store anlægsprojekter – valgt at skele til erfaringstal for lignende projekter.

Den anvendte metode er dog afhængig af anlægsmetoden. Overordnet er følgende metodik anvendt:

Tabel 12-1 Metodik for fremskaffelse af enhedspriser baseret på anlægsmetode

Anlægsmetode	Metodik
Vejanlæg	Enhedspriser fremfundet af Vejdirektoratet baseret på erfaringspriser.
Jernbaneanlæg	Enhedspriser fremfundet af Trafikstyrelsen.
Brokonstruktioner (lav og høj)	Enhedspriser kalibreret mod nationale og internationale erfaringspriser og justeret til Kattegat projektets forudsætninger.
Sænketunneler	Enhedspriser fremfundet af Sund & Bælt ekskl. Jernbaneanlæg.
Cut & Cover og Trug	Enhedspriser fremfundet af Sund & Bælt og justeret til Kattegat projektets forudsætninger.
Borede tunneler	Enhedspriser baseret på High Speed 2 projektets pris guide for borede tunneler og skaleret til Kattegat projektets forudsætninger. Skaleringen er valideret mod erfaringer fra et antal tilsvarende projekter med TBM af stor diameter. De væsentlige indre betonkonstruktioner er estimeret baseret på mængder og enhedspriser.
Kunstige øer og dæmninger	Enhedspriser er baseret på seneste erfaringspriser og en konkret skitseret løsning.
Betalingsanlæg	Betalingsanlæg er ikke inkluderet i anlægsoverslaget. Sund & Bælt oplyser, at etablering af betalingsanlæg udgør en så lille del af det samlede anlægsoverslag, at det kan negligeres i denne forundersøgelse.

12.2.1 Referencepriser anlæg

Kattegat-projektet er et unikt megaprojekt, og der foreligger derfor ikke direkte sammenlignelige priser. Der er derfor for de enkelte delelementer (vej, bane, bro, tunnel etc.) anvendt forskellig strategi for fastlæggelse af enhedspriser.

Overordnet set gælder det, at anlægsomkostningerne for et projekt af denne størrelse og kompleksitet i væsentlig grad afhænger af projektspecifikke forhold, som f.eks. geotekniske forhold, tracering, vanddybder på hav, anlægsmetoder, omfanget af miljømæssige afværgeforanstaltninger m.v.

Idet de anvendte enhedspriser baserer sig på sammenlignelige referenceprojekter, om end i mindre skala, vil enhedspriserne give en god indikation af den samlede anlægsomkostning, som dog vil være behæftet med en vis usikkerhed, relateret til detaljeringsgraden af det konkrete projekt. Usikkerheden er i løbet af forundersøgelserne søgt nedbragt via en differentiering inden for hver konstruktionstype:

- Brotype (spænd, underbygning, trafikbelastning og konfiguration)
- Boret tunnel type (anlægsplanlægning i forhold til de lange boringer, indvendige arbejder for hhv. vej og banerør, herunder differentiering af nødvendige faste omkostninger relateret til tunnellængden)
- Sænketunnel (validering mod supplerende projekter, herunder differentiering af nødvendige faste omkostninger relateret til tunnellængden).

Der henvises til de efterfølgende afsnit pr. konstruktionstype for en oversigt over, hvordan referencepriser er fremkommet.

Beregning af enhedspriser er afrapporteret i et særskilt fagnotat "Enhedspriser til anlægsoverslag" [28].

12.2.2 Tillæg projektering, tilsyn og administration (PTA)

I tillæg til Entreprisearbejderne for en given strækning er der tillagt et beløb til dækning af bygherreomkostninger til PTA. Sund & Bælt har generelt fastlagt PTA-tillægget til 12%.

På Samsø er der dog for bane anvendt et PTA-tillæg på 25%.

PTA er fastsat som en procentdel af Enterprisearbejderne.

12.2.3 Ikke medtagne tillæg

Der er ikke medtaget tillæg for eventuelle udgifter inden for følgende emner:

- Ledningsomlægninger
- Grundvandshåndtering
- Kontrolcenter og Betalingsanlæg
- For-klassificering jord
- Ammunitionsrydning (UXO)
- Arkæologiske undersøgelser til havs
- Afværgeforanstaltninger miljø ud over hvad der måtte være eksplicit beskrevet

12.2.4 Korrektionstillæg

Der er ved fastsættelsen af korrektionstillæg taget hensyn til Transportministeriets notat af 19 september 2019, hvormed der besluttes at anvende en differentiering af korrektionstillægget i relation til anlægstype.

Følgende korrektionstillæg er anvendt:

Tabel 12-2 Oversigt over anvendte korrektionstillæg

Anlægstype	Korrektionstillæg
Vej i terræn	40%
Bane i terræn	50%
Bro (høj og lav)	50%
Tunnel (sænke, rampe, cut & cover og boret)	50%

Korrektionstillægget er fastsat som en procentdel af summen af entreprisearbejder og PTA.

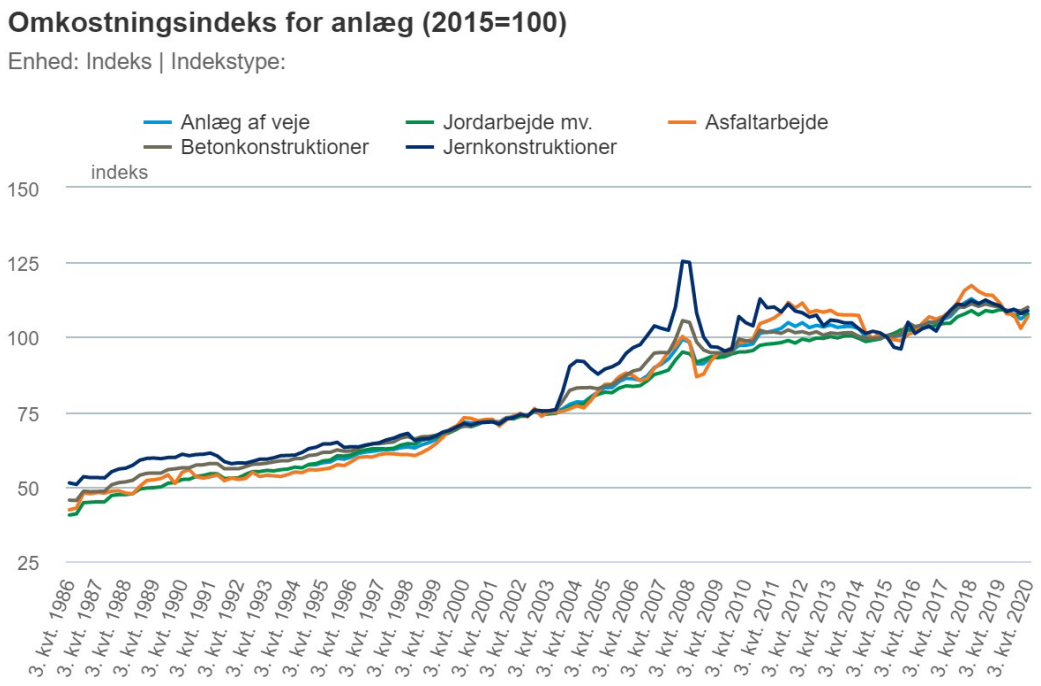
12.2.5 Prisindeks

For broer og tunneler er anvendt prisindeks fra Danmarks Statistik (DST). Omkostningsindeks BYG61 for anlæg (2015=100) Betonkonstruktioner er anvendt. Begrundelse for at dette indeks også er valgt for broer med en relativ høj andel af stål fremgår af afsnit 12.4.1.

BYG61 for anlæg indeholder følgende indekstyper:

- Anlæg af veje
- Jordarbejde mv.
- Asfaltarbejde
- Betonkonstruktioner
- Jernkonstruktioner (efterfølgende benævnt stålkonstruktioner)

Indekstype "anlæg af veje" er et vægtet gennemsnit af de øvrige undtagen jernkonstruktioner. Udviklingen i de forskellige indekstyper over tid er illustreret i Figur 12-1.



Figur 12-1 BYG61 indeks

Projektet afrapporteres i indeks 2020K3. Dette indeks anvendes i de samlede Anlægsoverslaget for KKØ, KKV hhv. KSA. En del enhedspriser er dog afrapporteret i 2019K2 og efterfølgende korrigeret i forbindelse med samling af Anlægsoverslaget til 2020K3.[4] En eventuel omregning til 2020K3 udregnes ved formlen:

$$Pris_{2020K3} = Pris_i \times Indeks_{2020K3} / Indeks_i$$

hvor i refererer til kvartalet, hvor prisen er oplyst. Fremskrivningen fra 2019K2 til 2020K3 gøres med en faktor 0.995 (en marginal prisreduktion).

12.2.6 Samlet anlægsoverslag

Det samlede anlægsoverslag udregnes efter samme model, men med forskellige faktorer for Kyst-Kyst hhv. Samsø:

Tabel 12-3 Udregning af samlet anlægsoverslag for Kyst-Kyst

	Vej	Bane
Enterprisearbejder (indeks 2020K3)	EA_{Vej}	EA_{Bane}
PTA-tillæg	$PTA_{Vej} = EA_{Vej} * 0,12$	$PTA_{Bane} = EA_{Bane} * 0,12$
Korrektionstillæg	$KT_{Vej}=(EA_{Vej}+PTA_{Vej})*0,5$	$KT_{Bane}=(EA_{Bane}+PTA_{Bane})*0,5$
Samlet Anlægsoverslag	$\mathbf{EA_{Vej}+PTA_{Vej}+KT_{Vej}}$	$\mathbf{EA_{Bane}+PTA_{Bane}+KT_{Bane}}$

[4] Projektet er blevet afrapporteret af flere omgange og for at sikre sporbarheden er 2019K2 fastholdt og den efterfølgende korrektion til 2020K3 påført.

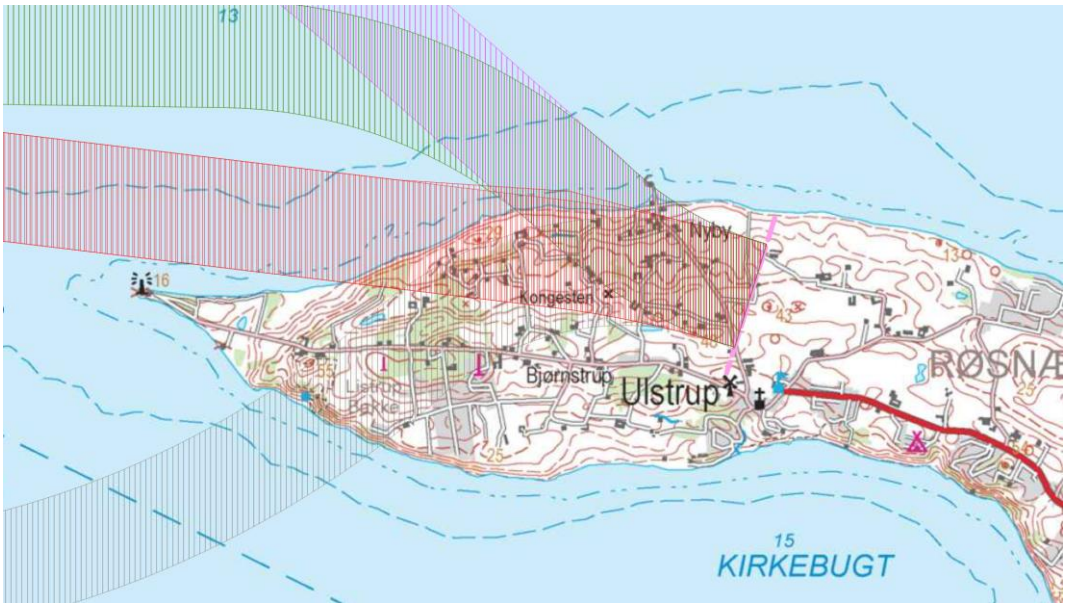
Tabel 12-4 Udregning af samlet anlægsoverslag for Samsø

	Vej	Bane
Enterprisearbejder (indeks 2020K3)	EA_{Vej}	EA_{Bane}
PTA-tillæg	$PTA_{Vej} = EA_{Vej} * 0,12$	$PTA_{Bane} = EA_{Bane} * 0,25$
Korrektionstillæg	$KT_{Vej} = (EA_{Vej}+PTA_{Vej})*0,4$	$KT_{Bane}=(EA_{Bane}+PTA_{Bane})*0,5$
Samlet Anlægsoverslag	$\mathbf{EA_{Vej}+PTA_{Vej}+KT_{Vej}}$	$\mathbf{EA_{Bane}+PTA_{Bane}+KT_{Bane}}$

12.3 Grænseflade til Projekt landanlæg

For at håndtere en klar opdeling mellem de to projekter Kyst-kyst og Landanlæg er der for hvert ilandføringspunkt (Røsnæs, Asnæs osv.) aftalt et fast grænsesnit imellem de to projekter. Anlægsoverslaget for Projekt Kyst-Kyst medtager således alle arbejder (bro, tunnel, rampe, vej og bane) på kystsiden af grænsesnittet, medens Projekt Landanlæg medtager alle arbejder på landsiden af samme grænsesnit.

Placeringen af disse grænsesnit er valgt, så alle kyst-kyst konstruktioner (bro, tunnel, rampe) ligger på kyst-siden af grænsesnittet uanset om der er tale om tunnel eller bro. Dermed er Projekt Landanlæg uafhængig af Projekt Kyst-Kysts valg af konstruktionstype.



Figur 12-2 Eksempel på grænsesnit (lilla stiplet linje) mellem Projekt Kyst-Kyst og Projekt Landanlæg.

12.4 Broer

12.4.1 Metode

Broer inkluderer alle marine broer samt udfletningsanlæg på land for adskillelse af vej og jernbane ved broløsninger i 2 etager.

Anlægsoverslag for broer er baseret på erfaringspriser for sammenlignelige referenceprojekter.

Prisen på en bro afhænger i høj grad af, hvilken trafik og intensiteten af trafik som skal føres over. Dette afspejles i bredde af kørebaneareal samt antal jernbanespor. Da dette varierer meget for referenceprojekterne, omregnes priser derfor til pris per broareal. Dette resulterer i enhedspriser i kr. pr. m². Disse enhedspriser er derefter anvendt for Kattegat til udarbejdelse af fysikestimat og anlægsoverslag.

Beregning af enhedspriser er afrapporteret i et særskilt fagnotat "Enhedspriser til anlægsoverslag" [28] suppleret af fagnotatet "Enhedspriser for broer baseret på mængder" [29] og sammenfattet herunder.

Estimat af Enterprisearbejder for broer i referenceprojekter kan være baseret på følgende:

- Fysikestimat ved ikke byggede broer eller broer under udførelse
- Kontraktsum
- Endelig pris ved afsluttet byggeri

Referenceprojekterne er store broprojekter som typisk er totalentrepriser, hvor pris inkluderer detailprojektering, men ikke bygherreorganisation og tilsyn.

Et fysikestimat er en detaljeret beregning baseret på mængdelister. Dette refereres også til som "bottom up", da man opbygger projektet i dets mange dele og anvender erfaringspriser for forskellige materialer og komponenter. Hertil lægges en %-sats for detailprojektering. Det er normalt rådgiver, som udarbejder fysikestimatet.

Kontraktsum er entreprenørens bud på pris og svarer til et fysikestimat med et detaljeret estimat af anlægsomkostninger (inkl. detailprojektering hvis udbudt som totalentreprise) baseret på den valgte byggemetode inkl. dækningsbidrag og risikotillæg. Entreprenøren kan evt. have reduceret prisen, hvis projektet vurderes strategisk vigtigt for den bydende.

Endelig pris ved afsluttet byggeri indeholder udover kontraktsum også tillægsarbejder og accepterede ekstrakrav.

For at have sammenlignelige referencer anvendes som udgangspunkt kun fysikestimater og kontraktsummer.

Priser for de forskellige broprojekter er totalpriser. Indledningsvis er der for disse referenceprojekter estimeret en fordeling af beton- hhv. stålkonstruktioner og derudfra er et vægtet beton- og stålindeks beregnet for alle referenceprojekterne. Denne

vægtning ville resultere i at enhedspriser 2019K2 afviger med mellem +1.8% og -3.3% sammenlignet med enhedspriser baseret udelukkende på betonindeks. Dette anses ikke for at være signifikant, og der er derfor udelukkende anvendt betonindeks (BYG61) ved fremskrivning af priser til aktuelt prisniveau. Enhedspriser for broer er generelt afrapporteret i indeks 2019K2 (betonindeks: 110,5) og efterfølgende korrigeret til 2020K3 i forbindelse med samling af anlægsoverslaget.

Der korrigeres som udgangspunkt ikke for landeindeks, da de udvalgte meget store broprojekter i høj grad er drevet af internationale priser. For broer i lande, hvor meget billige enhedspriser observeres, er dog korrigeret for landeindeks.

Kriterier og prioritering for udvælgelse af referenceprojekter er:

- Sammenlignelig med forventede broløsninger på Kattegat
- Af "nyere" dato (Storebælt med åbning i 1998 er et af de ældste projekter som er medtaget)
- Kabelbårne broer med ét stort eller to mindre gennemsejlingsfag (sidstnævnte for separeret skibstrafik)
- Bjælkebro med mange fag med spændvidder 60-200 m (lange krydsninger med stor gentagelse)
- Geografisk nærhed til Danmark
- COWI kendskab gennem design eller uafhængig kontrollant-opgave
- Offentligt tilgængelige oplysninger

Broerne er grupperet i kabelbårne broer hhv. bjælkebroer. Udfletningsanlæg på land behandles som øvrige bjælkebroer. De har billigere underbygning, men til gengæld er der behov for portalrammer som antages at opveje dette.

Enhedspriser for vejbroer (4+0) er estimeret, som følger:

- Kabelbårne broer baseret på trendlinje for 11 referenceprojekter
- Bjælkebroer baseret på trendlinjer for op til 13 referenceprojekter

Eftersom de 13 udvalgte referenceprojekter for bjælkebroer varierer meget både med hensyn til brotype, spændvidder og geografisk beliggenhed er der udført en følsomhedsanalyse hvor antallet af referenceprojekter indsnævres gradvis med hensyn til øget relevans for en Kattegatforbindelse. De forskellige trin i denne analyse er:

- Trin 1: Revurdering af udvalgte referenceprojekter
- Trin 2: Kun referenceprojekter med spændvidde under 150 m
- Trin 3: Kun nyere referenceprojekter i Skandinavien
- Trin 4: Referenceprojekter i Danmark vægtet med faktor 2

Trin 2 til 4 er kun relevant for lavbro og udfletningsanlæg. Enhedspriser beregnet i højeste trin er valgt, svarende til mest relevant for en Kattegat forbindelse. Variationen af enhedspriser baseret på trendlinjer for alle projekter, udvalgte projekter og projekter defineret i de fire trin er under 8% i forhold til valgt enhedspris, dvs. priserne er

kun i lav grad følsomme over for antagelser mht. hvilke referenceprojekter der anvendes.

Prissætningen af bjælkebroer med kombineret vej og jernbane er undersøgt ved at detaljere udformninger af overbygninger inkl. overslagsberegninger af mængder for broløsningerne højbro og lavbro med 100 m fag. Beregnet tillæg til rene vejbro-enhedspriser (4+0) per m² er sammenfattet i nedenstående tabel. Gennemsnit af højbro og lavbro 100 m fag er efterfølgende anvendt for alle brotyper og alle spændvidder.

Tabel 12-5 Forøgelse af den totale m²-enhedspris ved tilføjelse af jernbane

Brotype	Dobbeltsporet (4+2)	Enkeltsporet (4+1)
Højbro 200 m fag	8,1%	13,7%
Lavbro 100 m fag	4,4%	9,1%
Gennemsnit	6%	12%

Den relativt beskedne forøgelse af enhedsprisen ved tilføjelse af jernbanetrafik skyldes, at jernbanetrafikken på Kattegatforbindelsen kun består af persontog, som er langt lettere end godstog, som en traditionel kombineret bro vil være dimensioneret for. Således er vægten af persontog pr. m² brodæk i samme størrelsesorden som for vejtrafikken.

Procentsatserne i Tabel 12-5 er beregnet som den procentvise forøgelse af m²-prisen på det samlede areal for vej og bane. Samlet bredde af vej og bane anvendt for Kattegatforbindelsen er angivet i Tabel 12-6.

Tabel 12-6 Bredder anvendt for broer for Kattegatforbindelse

Løsning	Ren vej (4+0)	Vej + 2 jernbanespor (4+2)	Vej + 1 jernbanespor (4+1)
Bredde [m]	23,6	35,9	31,6

For vej + 2 jernbanespor (4+2) øges bredden af belastet areal med 52% i forhold til en løsning med ren vej (4+0). For 4+1 øges bredden tilsvarende med 34%. Det samlede tillæg er disse breddeforøgelser gange tillæg på m² prisen og er sammenfattet i nedenstående tabel i form af multiplikationsfaktorer.

Tabel 12-7 Tillæg til vej enhedspriser per meter pga. jernbane

Faktor	Vej + 2 jernbanespor (4+2)	Vej + 1 jernbanespor (4+1)
Faktor på m² pris	1,06	1,12
Faktor bredde	1,52	1,34
Faktor i alt	1,61	1,50

Det ses at broerne bliver 61% dyrere når to jernbanespor skal føres med over mens prisforøgelsen ved kun at føre ét spor med over er 50%, dvs. næsten den samme. Grunden til at 4+1 er næsten lige så dyr som 4+2 er at udformningen af brotværsnit her ikke er optimal. Ved gitterdrager udnyttes underetagen ikke fuldt ud mens for to parallelle kassedragere i beton bliver jernbanedrageren meget smal og uøkonomisk.

12.4.2 Enhedspriser

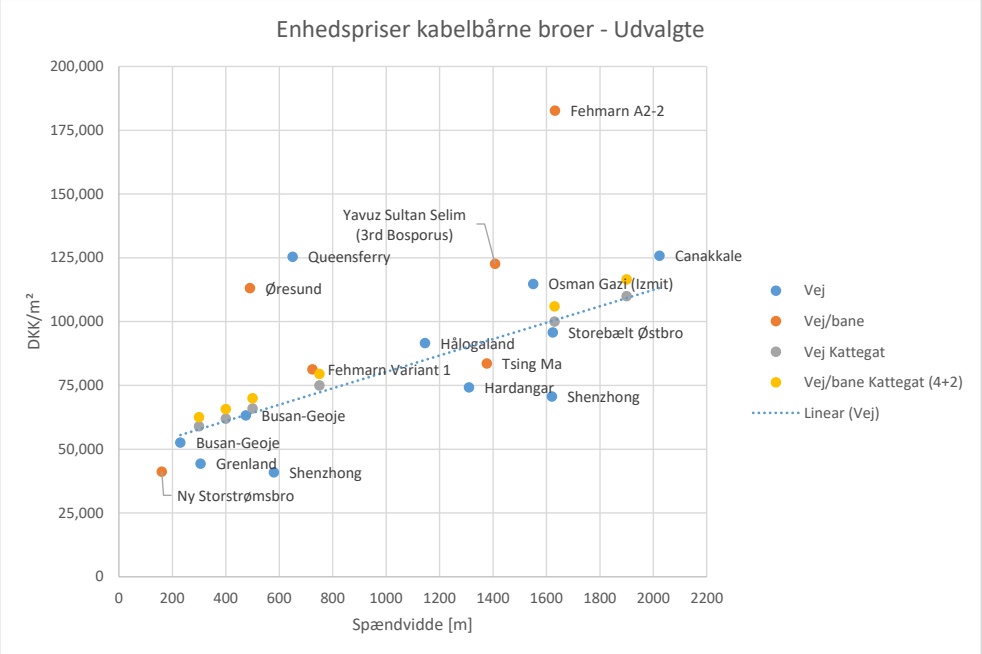
Enhedspriser per m² for broerne på en Kattegatforbindelse er sammenfattet i Tabel 12-8.

Tabel 12-8 Enhedspriser per m² fysikoverslag Kattegatbroer (DST omkostningsindeks BYG61 for anlæg, 2019K2)

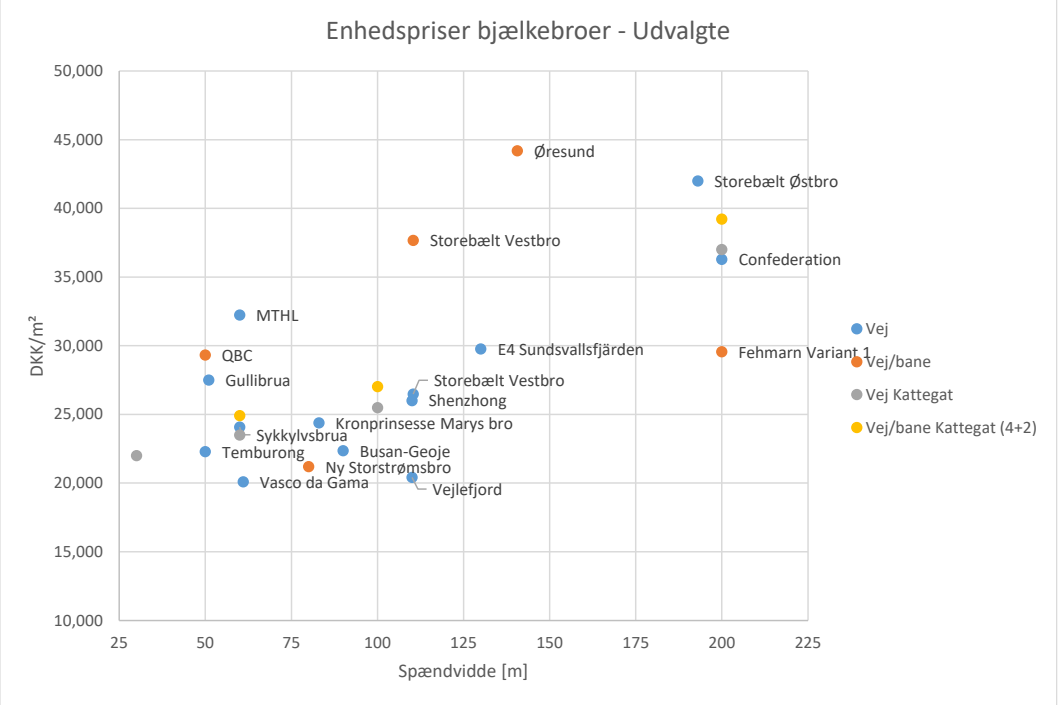
Brotype	Spænd-vidde [m]	Enhedspris vej 4+0 [kr/m²]	Enhedspris vej/bane 4+2 [kr/m²]	Enhedspris vej/bane 4+1 [kr/m²]
Skråstagsbro	300	59.000	62.540	66.080
Skråstagsbro	400	62.000	65.720	69.440
Skråstagsbro	500	66.000	69.960	73.920
Skråstagsbro	2 × 750	75.000	79.500	84.000
Hængebro	1630	100.000	106.000	112.000
Hængebro	1900	110.000	116.600	123.200
Bjælkebro, højbro	200	37.000	39.220	41.440
Bjælkebro, lavbro	100	25.500	27.030	28.560
Bjælkebro, lavbro	60	23.500	24.910	26.320
Udfletningsanlæg	30	-	22.000	22.000

Disse enhedspriser er optegnet sammen med enhedspriser for anvendte referenceprojekter i Figur 12-3 og Figur 12-4.

Den anvendte lineære model for fastlæggelse af enhedspriser er en simplificeret model for estimering af enhedspriser, som vurderes at være retvisende for forundersøgelserne, om end den er forbundet med ikke uvæsentlig usikkerhed.

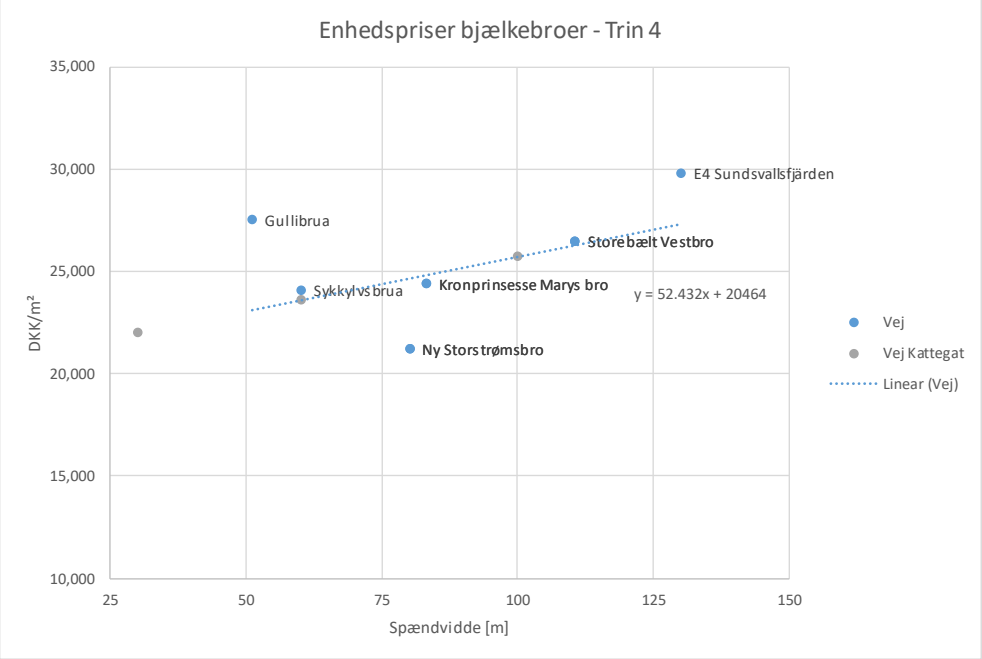


Figur 12-3 Enhedspriser for kabelbårne broer



Figur 12-4 Trin 1 - Enhedspriser for bjælkebroer

For lavbroer er sidste trin af følsomhedsanalysen vist i Figur 12-5.



Figur 12-5 Trin 4 - Enhedspriser for lavbroer med tilhørende lineære model

Enhedspriser per m² omregnes til enhedspriser per løbende meter ved at gange med bredde af areal belastet med trafik jf. Tabel 12-6.

Herved får enhedspriser per m angivet i nedenstående tabel.

Tabel 12-9 Enhedspriser per m fysikoverslag Kattegatbroer (DST omkostningsindeks BYG61 for anlæg, 2019K2)

Brotype	Spændvidde [m]	Enhedspris vej 4+0 [kr/m]	Enhedspris vej/bane 4+2 [kr/m]	Enhedspris vej/bane 4+1 [kr/m]
Skråstagsbro	300	1.392.000	2.245.000	2.088.000
Skråstagsbro	400	1.463.000	2.359.000	2.194.000
Skråstagsbro	500	1.558.000	2.512.000	2.336.000
Skråstagsbro	2 × 750	1.770.000	2.854.000	2.654.000
Hængebro	1630	2.360.000	3.805.000	3.539.000
Hængebro	1900	2.596.000	4.186.000	3.893.000
Bjælkebro, højbro	200	873.000	1.408.000	1.310.000
Bjælkebro, lavbro	100	602.000	970.000	902.000
Bjælkebro, lavbro	60	555.000	894.000	832.000
Udfletningsanlæg	30	-	519.000	519.000

For broerne på en Kattegatforbindelse lægges enhedspriser i Tabel 12-9 til grund for fysikoverslagene.

For højbroer er der ved 3 bropiller til hver side for hænge- og skråstagsbroer inkluderet et tillæg til forstærkning mod skibsstød. Dette tillæg er 5% af enhedsprisen over berørte strækning svarende til at det er estimeret at underbygningen bliver 15% dyrere.

Enhedspriser for dæmninger i land og på kunstig ø, fra brolandfæster til terræn, er baseret på følgende antagelser:

- Højdeforskel 12 m med lineær variation
- Anlæg af skrænter 1:2
- Kronebredde svarende til bredde af konstruktioner på bro + 7 m for adgangsveje
- Enhedspris på jordfyld 100 kr./m³

Herved fås enhedspriser i Tabel 12-10.

Tabel 12-10 Enhedspriser per m fysikoverslag dæmninger inkl. vejelementer (DST omkostningsindeks BYG61 for anlæg, 2019K2)

Delelement	Enhed	Vej 4+0	Vej/bane 4+2	Vej/bane 4+1
Kronebredde	m	32	46	42
Enhedspris jorddæmning	kr/m	22.400	28.000	26.400
Enhedspris vejelementer	kr/m	34.900	34.900	34.900
Enhedspris i alt	**kr/m**	**57.300**	**62.900**	**61.300**

Derudover er jernbaneinstallationer lagt til separat jf. afsnit 12.9.

Længde af udfletningsanlæg på land ved kombineret vej/bane broløsning i to etager er 600 m per landfæste.

12.5 Sænketunneler

12.5.1 Metode

Anlægspriserne er baseret på et datagrundlag udarbejdet af Sund & Bælt. Priserne inkluderer følgende poster:

- Sænketunnel (inkl. konstruktioner, fundering, tilbagefyld, beskyttelse og vej)
- Tunnelelementfabrik
- Tunnel udgravning og landopfyld
- Arbejdshavn
- Tunnel portaler og ramper dog ekskl. Cut & Cover
- M&E installationer

Cut & cover er trukket ud i ovennævnte enhedspriser, og tillægges separat efterfølgende idet længden vil variere meget fra løsning til løsning alt efter terrænniveau for portalerne

12.5.2 Enhedspriser

Det har resulteret i følgende fysikoverslagspriser for Kattegat:

Tabel 12-11 Anvendte sænketunnel priser tunnel inkl. portal og installationer, ekskl. Cut & Cover og ekskl. BEST (DST Omkostningsindeks BYG61 for anlæg, 2020K3)

	Enhed	Vej/bane 4+2	Vej/bane 4+1	Vej 4+0
Fast pris	mia. kr.	11,480	9,838	8,195
Pris pr. lb. km.	mia. kr. /km	1,461	1,238	1,014

Den faste del af prisen vurderes konstant inden for de tunnellængder mellem 10 og 25 km, hvor det antages at der kun arbejdes fra de to ender mod midten.

De analyserede tunnelstrækninger på KKØ og KKV er vurderet separat, og altså en parallel produktion på to fabrikker af Femern tunnelelementfabrikkens størrelse. Ved anlæg af både en sænketunnel på KKV og KKØ vil der kunne opnås en besparelse på tunnelfabrikken, hvis tunnelelementerne kan støbes efter hinanden. Femerns produktionsanlæg er etableret for at støbe 17,5 km tunnel.

En potentielle besparelse ved genanvendelse af Femern tunnelfabrikken er ikke indregnet i ovenstående.

I tilfælde af at både dele af KKØ og dele af KKV anlægges som sænketunnel vil den samlede længde variere mellem 27 og 29 km.

12.6 Borede tunneler

For de borede tunneler er der på dette projektstadie anvendt samme tværsnit, som blev udviklet i forbindelse med konceptevalueringer for Femern. Her er konceptet baseret på 3 autonome rør uden tværtunneller.

Figur 12-6 Boret tunnel layout 3 uafhængige rør (koncept fra Femern)

12.6.1 Metode

Prisen for boret tunnel er regnet som en samlet enhedspris pr. løbende meter ud fra en given anlægsplanlægning, herunder:

- Hvor lang en total strækning skal der bores af den enkelte TBM
- Hvor mange delstrækninger skal der bores med den enkelte TBM
- Bores der med to TBM parallelt eller en TBM til begge parallelle rør

Det skal noteres at estimering af prisen på de borede tunnelløsninger er behæftet med en del usikkerhed, da der ikke er etableret mange store lange TBM-tunneler af den kompleksitet som vi har at gøre med på Kattegat.

Ud over omregning af enhedspriser fra 2011 i England til 2019K2 i Danmark skal der også justeres for at de borede tunneler under Kattegat er en anden type tunnel end i High Speed 2. Forskellene er opsamlet i Tabel 12-12

Det er ikke entydigt beskrevet i HS2 guiden om f.eks. PTA er indeholdt. Det er her af forsigtighedsgrunde vurderet at det ikke er indeholdt.

Forskellene er opsamlet i følgende skema, Tabel 12-12.

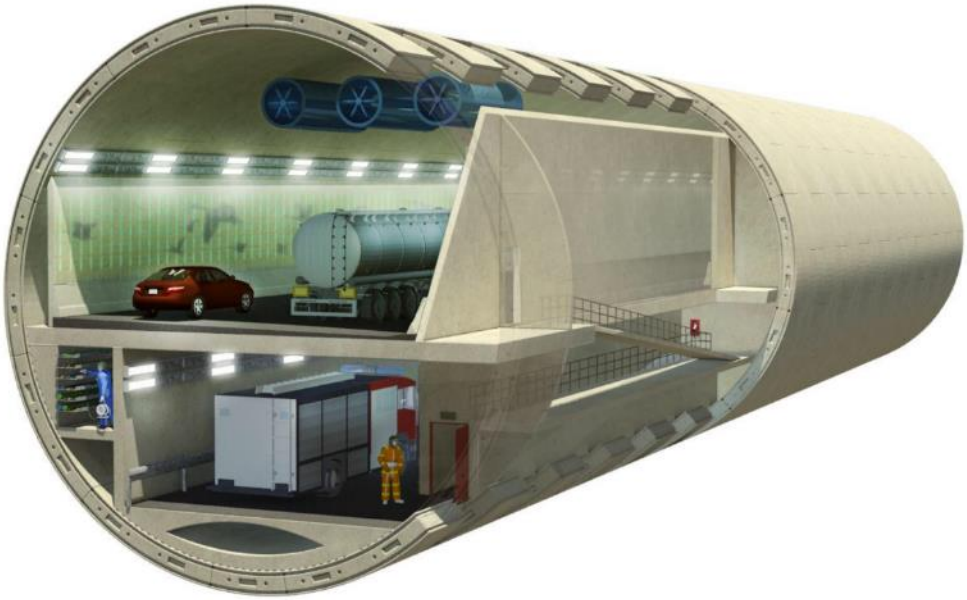
Tabel 12-12 Forskel imellem boret tunneller angivet i HS2 og Kattegat

Forskelle	HS2	Kattegat Vej	Kattegat jernbane
Funktion	Jernbane – et spor pr. rør	Vej – 2 spor pr. rør	Jernbane – to spor pr. rør
Dimensioner	Passer til fritrums-profil for Jernbane	Passer til fritrums-profil til vej samt plads til føringsveje	Passer til fritrums-profil for jernbane inkl. servicegalleri under banen
Indre opbygning	Ingen væsentlig	Har underliggende intern bærende konstruktion	Har underliggende intern bærende konstruktion
Genanvendelse af TBM	Ikke genanvendt	Ikke genanvendt	Ikke genanvendt
Deponering af jord	Engelske forhold	Delvist kendte danske forhold	Delvist kendte danske forhold

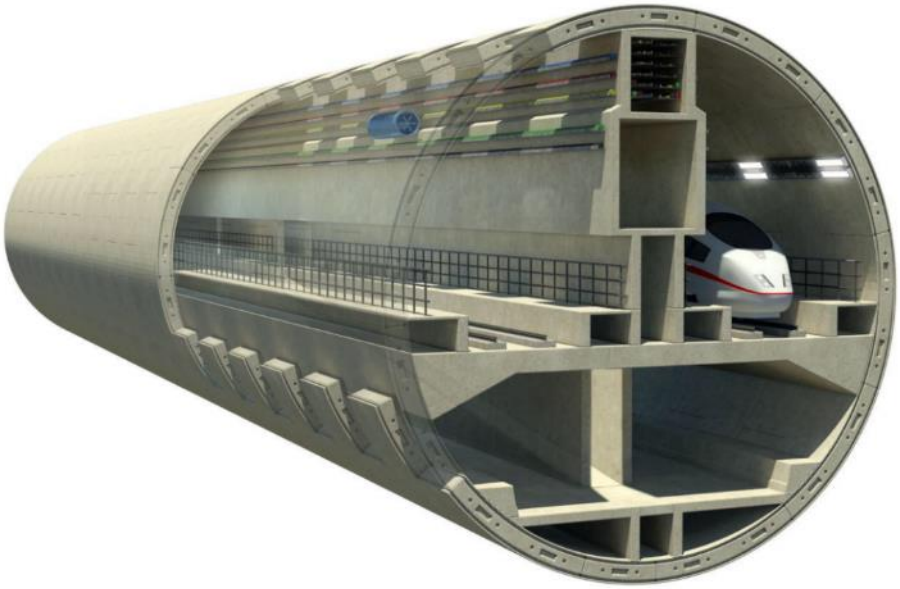
Hvordan ovennævnte forskelle er beskrevet er gennemgået i de følgende afsnit.

12.6.1.1 Vej- og banetværsnit

Tværsnit for vej henholdsvis jernbane er vist på Figur 12-7 og Figur 12-8.



Figur 12-7 Boret tunnel tværsnitsprofil for vejtunnel D_y = 15,94 m (eksempel fra Femern)



Figur 12-8 Boret tunnel tværsnits for jernbanetunnel D_y = 16,94 m (eksempel fra Femern)

En sammenligning af geometrien for HS2 og Kattegat er givet i Tabel 12-13, hvor man kan se at Kattegatforbindelsen er væsentligt større målt på den ydre diameter af TBM. Dette er vurderet indenfor en rimelig margen til at kunne anvende guiden for HS2.

Tabel 12-13 Sammenligning af HS2 og Kattegat Vej/Bane

	HS2	Kattegat	
		Vej	Bane
Indre Diameter [m]	8,80	14,2	15,2
Segment tykkelse [m]	0,60	0,70	0,70
Over ekskavering på grund af TBM skjold [m]	0,17	0,17	0,17
TBM ydre diameter [m]	10,34	15,94	16,94
Størrelsesskalering	100%	154%	164%

12.6.1.2 M&E installationer og vejopbygning

M&E installationer er ikke medtaget i beregningen baseret på HS2-projektet. Der er generelt medtaget følgende tillæg:

Tabel 12-14 Tillæg for M&E installationer og vejopbygning ekskl. BEST (DST Omkostningsindeks BYG61 for anlæg, 2019K2)

	Vej 2 rør [mio. kr./km]	Bane 1 rør [mio. kr./km]
Mekaniske og elektriske installationer	157	66
Vej	5	
Vandtågeanlæg	15	10
I alt	**177**	**76**

12.6.2 Enhedspriser

TBM-priserne er baseret på en analyse foretaget på High Speed Rail 2 "*A Guide to Tunnelling Costs*" som omhandler priselementer ved anlæg af store borede tunneler. Pris elementerne fra HS2 er efterfølgende korrigeret for størrelsesforskelle i diameter baseret på en dialog mellem Metroselskabet, COWI og Vejdirektoratet.

For de undersøgte korridorer giver dette anledning til følgende priser som ligger til grund for fysikoverslaget.

For de borede tunneler er alene analyseret ren vej (4+0) og vej + dobbeltsporet bane (4+2). Dette skyldes at etablering af kun ét jernbanespor vil være overordentligt komplekst eller kostbart. Årsagen er at de borede tunneler ikke er anlagt med tværtunneler så flugt og evakuering af et stort antal togpassagerer skal kunne håndteres via et andet sikkert område.

Tabel 12-15 Priser for boret tunnel (inkl. portal ekskl. Cut & Cover og BEST) (DST Omkostningsindeks BYG61 for anlæg, 2019K2)

	Enhed	4+0 Vej 2 rør	0+2 Bane 1 rør to spor	4+2 Vej 2 rør + bane 1 rør
TBM Diameter	m	15,94	16,94	
Længdeuafhængige poster				
TBM	mio. kr.	1.373	752	2.125
Arbejdspladser (én i hver ende)	mio. kr.	3.050	1.620	4.670
Tunnelportaler og ramper, ekskl. C&C	mio. kr.	2.487	1.066	3.554
I alt	mio. kr.	6.911	3.438	10.349
Længdeafhængige poster				
Boring	mio. kr./km.	320	172	492
Færdiggørelse	mio. kr./km.	82	47	129
Tunnelelementer, transport af jord til overfladen, afvanding, mm	mio. kr./km.	456	250	706
Bortskaffelse af jord	mio. kr./km.	100	57	157
Indre opbygning	mio. kr./km.	268	192	460
M&E og vandtågeanlæg	mio. kr./km.	172	76	248
Vej	mio. kr./km.	5		5
I alt	mio. kr./km.	1.403	793	2.196

Som det ses af Tabel 12-15 udgør den indre opbygning af banetunnelen 192 mio. kr./km. ud af en samlet løbende pris på 793 mio. kr./km. Det svarer til 25% af den løbende pris, og er en meget anselig post som bør undersøges nærmere i en kommende fase, herunder om en banetunnel bestående af to rør med tværtunnel – svarende til Storebælt – er en mere kosteffektiv løsning.

12.7 Cut & Cover tunneler

12.7.1 Metode

For cut & cover tunneler er priserne baseret på prisinformation pr. m fra Femern. Disse priser er relevante for 4+2-løsningen for en sænketunnel på Kattegat og er efterfølgende skaleret til 4+1 også.

For Cut & Cover tunneler op til borede tunneler er der tillagt 50% af den anlægstekniske del af omkostningen i forhold til op til sænketunneler, idet den gennemsnitlige dybde og bredde er væsentligt større.

For Cut & Cover hvor der kystnært er høje skrænter er der korrigeret for en dybere åben udgravning.

12.7.2 Enhedspriser

Nedennævnte priser er baseret på referencepris modtaget fra Sund & Bælt.

Tabel 12-16 Anvendte priser pr. løbende m cut & cover tunnel ekskl. BEST, PTA og Korrektionstillæg (DST Omkostningsindeks BYG61 for anlæg, 2019K2)

Tunneltype	Vej + dobbeltsporet bane (4+2) [mia. kr. / km]	Vej + enkeltsporet bane (4+1) [mia. kr. / km]	Ren vej (4+0) [mia. kr. / km]
Sænketunnel	1,24	1,08	0,87
Boret tunnel	1,76	1,53	1,24

Tabel 12-17 Udregnede pristillæg for Cut & Cover v høje skrænter

Cut & Cover strækning	Pristillæg i % af referencepris
KKØ-2.1 Samsø øst KKV-1.1 Samsø vest KKV-1.2 Samsø vest	Reference (0%)
KKØ-2.1 Røsnæs	10%
KKØ-2.6 Røsnæs KKØ-3.1 Asnæs KKØ-3.3 Asnæs KKØ-4.3 Asnæs	5%

12.8 Vej på land

For vej på land er der udvalgt en række anlægselementer som er relevante ved gennemgang af de undersøgte korridorer. Disse elementer danner baggrund for fysikoverslaget igennem en optælling (antal km eller antal stk. for hver korridor).

12.8.1 Metode

Fysikoverslaget for vej på land er bygget op ud fra en liste af anlægselementer, som er udvalgt til at skabe et grundlag for en foreløbig prissætning af vejene og som kunne optælles i forundersøgelsen.

Der er ikke lavet en detaljeret analyse i forhold til støj på dette indledende stadie, men som en antagelse er der medregnet støjskærme i begge sider langs 10% af motorvejen på land.

12.8.2 Enhedspriser

Referencepriserne for de aftalte anlægselementer er udarbejdet af Vejdirektoratet på baggrund af data fra relevante referenceprojekter fra deres prisbibliotek. Alle enhedspriser er modtaget i 2020K3 indeks.

For så vidt angår enhedspriser for omkostninger til byggeplads er disse indeholdt i enhedspriserne.

Der er en større usikkerhed for enhedsprisen pr. km motorvej. Der er ikke i forundersøgelsen optegnet længdeprofiler. Der er derfor foretaget et overordnet skøn i forhold til terrænets beskaffenhed (kuperet eller ej) og tillagt 20% for kuperet terræn.

Tabel 12-18 Enhedspriser fysikoverslag vej på land (2020K3)

Delelement	Enhedspris [mio. kr.]	Enhed
Motorveje MV, 4-sporet m. nødspor, jævnt terræn (0 - 4 m)	26,8	km.
Motorveje MV, 4-sporet m. nødspor, kuperet terræn (4 - 10 m)	36,2	km.
Tilslutningsanlæg TSA, fuldt anlæg som ruderanlæg (8 m bred krydsende vej)	28,9	stk.
Samkørselsplads	2,0	stk.
I alt fuldt TSA inkl. samkørselsplads	30,9	stk.
Skærende veje (større veje)	8,8	stk.
Skærende veje (mindre veje)	5,7	stk.
Dalbroer 250 m	76,0	stk.
Faunabro UF	3,2	stk.
Vandløbspassage UF inkl. banketter	5,2	stk.
Faunarør Ø1500, længde 35 m	0,4	stk.
Støjskærme langs 10% af strækningen begge sider	1,8	km. MV

12.9 Bane

Også for bane er der vurderet en række anlægselementer som er relevante ved gennemgang af de undersøgte korridorer. Disse elementer danner baggrund for fysikoverslaget igennem en optælling (antal km eller antal stk. for hver korridor).

Basisscenariet er en ny dobbeltsporet bane til passagertog, med maksimal hastighed på 200 km/t [5] for Kyst-kyst og 250 km/t på land.

For Samsø er basisscenariet en station på hovedbanen uden sidespor, og således uden ekstra BEST-installationer sammenlignet med hovedbanen.

12.9.1 Metode

Enhedspriserne for bane er leveret af Vejdirektoratet på baggrund af input fra Banedanmark.

Fysikoverslaget for bane på land er bygget op ud fra en liste af anlægselementer, som kunne optælles i forundersøgelsen, som er udvalgt til at skabe et grundlag for en foreløbig prissætning af banen.

Der er ikke lavet en detaljeret analyse i forhold til støj på dette indledende stadie, men som en antagelse er der medregnet støjskærme i begge sider langs 10% af banen på land.

12.9.2 Enhedspriser

Referencepriserne for de aftalte anlægselementer er udarbejdet af Vejdirektoratet. Alle enhedspriser er modtaget i 2020K3 indeks.

Omkostninger til byggeplads er indeholdt i enhedspriserne.

Tabel 12-19 Enhedspriser for fysikoverslag bane (2020K3)

Delelement	Enhedspris [mio. kr.]	Enhed
Ny bane opbygget i terræn, kat 2 - små højdeforskelle inkl. geoteknik og underbygning	24,1	km. dobbeltspor
2 transversaler (sporskifter 1:27,5), inkl. adgangsveje samt sikringsteknik	32,7	stk.
Ny bane – Station langs hovedbane, ekskl, signaler	58,5	stk.
Ny bane - Skærende større vej (v fælles tracé med vej), inkl. bygværk	11,9	stk.
Ny bane - Skærende mindre vej, medregnes som bro, selvom en forbindelsesvej vælges (v fælles tracé med vej), inkl. bygværk	7,5	stk.
Ny bane - Skæring med vandløb	2,4	stk.
Ny bane - Faunapassage UF (3 m frihøjde, 5 m bred, længde ca. 20 m)	1,9	stk.

[5] Der er dog anvendt nogle konservative projekteringsforudsætninger omkring vertikalradier, jfr. afsnit 5.4.6.

Delelement	Enhedspris [mio. kr.]	Enhed
Ny bane - Faunarør, Ø1500 (længde ca. 20 m)	0,3	stk.
Elektrificering - Ny bane	9,6	km. dobbeltspor
Elektrificering – inkl. autotransformere (løbende tillæg)	0,5	km. dobbeltspor
Signaler inkl. teleudstyr - Ny bane	2,7	km. dobbeltspor
Større ledninger	0,5	km. dobbeltspor
Arkæologi	1,6	km. dobbeltspor
Afværgeforanstaltninger	3,5	km. dobbeltspor
Støjafskærmning, placeres på 10% i den ene side	0,8	km.
Arealerhvervelse på Samsø, nyanlæg (sammen med vej)	3,8	km. dobbeltspor

12.9.3 Samlede løbende enhedspriser for bane

Til sammenligning er nedenfor opgjort de samlede løbende omkostninger pr. km (eksklusive bygværker i forbindelse med krydsende veje og faunapassager).

I tillæg til BEST er på land suppleret med:

- Større ledninger
- Arkæologi
- Afværgeforanstaltninger
- Støjafskærmning

BEST dækker de 4 delelementer som udgør de banetekniske installationer:

- Bane (skinner, sveller og underbygning)
- Elektrificering ekskl. hovedfordelerstation.
- Signaler/ERTMS
- Teleudstyr

Enhedspriserne er samlet til en strækningspris pr. km for hhv:

- Bane i terræn på land
- Bane på bro
- Bane i tunnel

Enhedsprisen pr. km er estimeret for to spor. For løsninger med kun ét spor halveres enhedsprisen.

Tabel 12-20 Bane i terræn, 2 spor, herunder forberedende arbejder på åben mark (ekskl. støjafskærming)

Delelement	Mio. kr. pr. km bane
Bane inkl. jordarbejder og geoteknik	24,1
Elektrificering/køreledning	9,6
Strømforsyning - autotransformer pr. 20 km	0,5
Signaler inkl. teleudstyr	2,7
I alt BEST:	***36,9***
Større ledninger	0,5
Arkæologi	1,6
Afværgeforanstaltninger	3,5
Arealerhvervelse inkl. Nedrivning	3,8
I ALT	**46,4**

Tabel 12-21 Bane på bro, 2 spor

BEST delelement	Mio. kr. pr. km bane
Bane på Slabtrack	23,0
Elektrificering/køreledning	10,2
Strømforsyning - autotransformer pr. 20km	0,5
ERTMS inkl. teleudstyr	2,7
I ALT	**36,4**

Tabel 12-22 Bane i tunnel, 2 spor

BEST delelement	Mio. kr. pr. km bane
Bane på Slabtrack	23,0
Elektrificering/køreledning	10,9
Strømforsyning - autotransformer pr. 20 km	0,5
ERTMS inkl. teleudstyr	2,7
I ALT	**37,1**

12.10 Kunstige øer, rev, undersøisk dæmning og tunnelbeskyttelse

12.10.1 Metode

Der er udarbejdet referencepriser for følgende konstruktionselementer:

- Kunstige øer
- Kunstigt rev
- Undersøisk dæmning
- Sænketunnelbeskyttelse
- Beskyttelse af den borede tunnel

Foreløbige løsninger er skitseret, og mængder samt priser er beregnet.

Kunstige øer på KKØ-korridorer er mere udsatte end de kunstige øer på KKV-korridorerne. Der er p.t. kun udført snit i øen, og på dette grundlag, og under benyttelse af estimerede enhedspriser udregnet et overslag over materialeprisen inkl. udførelse. Priserne pr. løbende perimeter er estimeret. Her er regnet med 100 kr./m³ for indbygning af tunnelmateriale, men ikke for udgravning mm. inde på øen eller for det nødvendige drænsystem på øen. Der er endvidere ikke regnet med entreprenørens omkostninger til mobilisering og demobilisering mm.

For kunstigt rev er der foretaget en vurdering af materialemængder. Der er på dette stade anvendt samme enhedspriser for øer og rev med undtagelse af stenmaterialer, hvor der er antaget en højere enhedspris for de store dæksten, som kun benyttes til de kunstige øer. For enderne af de kunstige rev er antaget hoveder med samme profil som den lige strækning.

De følgende omkostningsoverslag er konservative, da tværsnittene på de kunstige øer og rev samt undersøiske dæmning og sænketunnelbeskyttelsen anses at være robuste i deres design. Med udgangspunkt i disse tværsnit og under benyttelse af estimerede enhedspriser er der udregnet et overslag over materialeprisen inkl. udførelsen for perimeterkonstruktionerne på de kunstige øer og rev samt undersøiske dæmning. Estimerede enhedspriser fremgår af Tabel 12-23.

Tabel 12-23 Enhedspriser for marine konstruktioner

Delelement	Enhedspris [mio. kr.]	Enhed
Kunstige øer - KKØ	1,0	m. ø-perimeter
Kunstig ø - KKV	0,5	m. ø-perimeter
Skibsstødsrev 30 m dybde	0,6	m. rev
Skibsstødsrev 22 m dybde	0,325	m. rev
Sænketunnelbeskyttelse ved øer - KKØ og KKV	0,7	m. beskyttelse
Beskyttelse af den borede tunnel ved øer	0,805	m. beskyttelse

Enhedspriser for undersøiske dæmninger er angivet i Tabel 12-24.

Tabel 12-24 Enhedspriser per m undersøiske dæmninger (DST omkostningsindeks BYG61 for anlæg, 2019K2)

Korridor	Højde af dæmning [m]	Enhedspris vej 4+0 [kr/m]	Enhedspris vej/bane 4+2 [kr/m]	Enhedspris vej/bane 4+1 [kr/m]
KKØ-2.1	9,0	435.000	500.000	470.000
KKØ-2.6	3,5	265.000	305.000	285.000

12.10.2 Enhedspriser

Anvendte enhedspriser for materialer inkl. indbygning, men uden mobilisering og demobilisering mv. fremgår af Tabel 12-25.

Tabel 12-25 Anvendte enhedspriser

Materiale	Enhedspris [kr.]	Enhed
Indbygning af tunnelmateriale	100	m³
Filterdug	50	m²
Ral/usorteret sprængsten	250	m³
Sand	120	m³
Gruspude	550	m³
Sikrings/tilfyld	400	m³
Filterlag og sprængsten (30-300 kg)	450	m³
Dæksten, str. 150-400 kg	600	m³
Dæksten, str. 0,3-1 ton	700	m³
Dæksten, str. 1-3 ton	700	m³
Dæksten, str. 3-6 ton	700	m³
Dæksten, str. 6-9 ton:	700	m³
Dæksten, str. 8-14 ton:	900	m³

12.11 Mængder

Længder af alle konstruktionselementer for alle 28 løsninger beskrevet i afsnit 7 og 8 er sammenfattet i tabel i bilag 12-1 i bilagsmappen.

12.11.1 Kunstig ø

For de kunstige øer er længden beregnet fra brolandfæste til overgang mellem sænke-tunnel eller boret tunnel og cut & cover tunnel. Hertil er lagt tillæg i begge ender for overlap mellem ø og bro hhv. tunnel.

Længden af perimeterdæmning langs dens centerlinje er beregnet ud fra øens længde og bredde med halvcirkel i hver ende.

Længde af cut & cover tunnel er beregnet ud fra 3% langsgående gradient mellem startstationering ved overgang tunnel til cut & cover tunnel og slutstationering ved portal, defineret hvor koten er -3,0 m, som følger:

- Længde L = (slut kote – start kote) / gradient
- Sænketunnel: L = (-3,0 – (-8,0)) / 0,03 = 167 m
- Boret tunnel: L = (-3,0 – (-21,0)) / 0,03 = 600 m

Længde af trug er beregnet ud fra 3% langsgående gradient mellem startstationering ved afslutning af cut & cover tunnel og slutstationering ved kote +4,0 m, som følger:

- Længde L = (slut kote – start kote) / gradient = (4,0 – (-3,0)) / 0,03 = 233 m

Længde af vej- og banedæmning er den resterende længde defineret som længde af kunstig ø mellem brolandfæste og tunnelportal minus trug. Dette giver 650 m ved sænketunnel og 667 m ved boret tunnel.

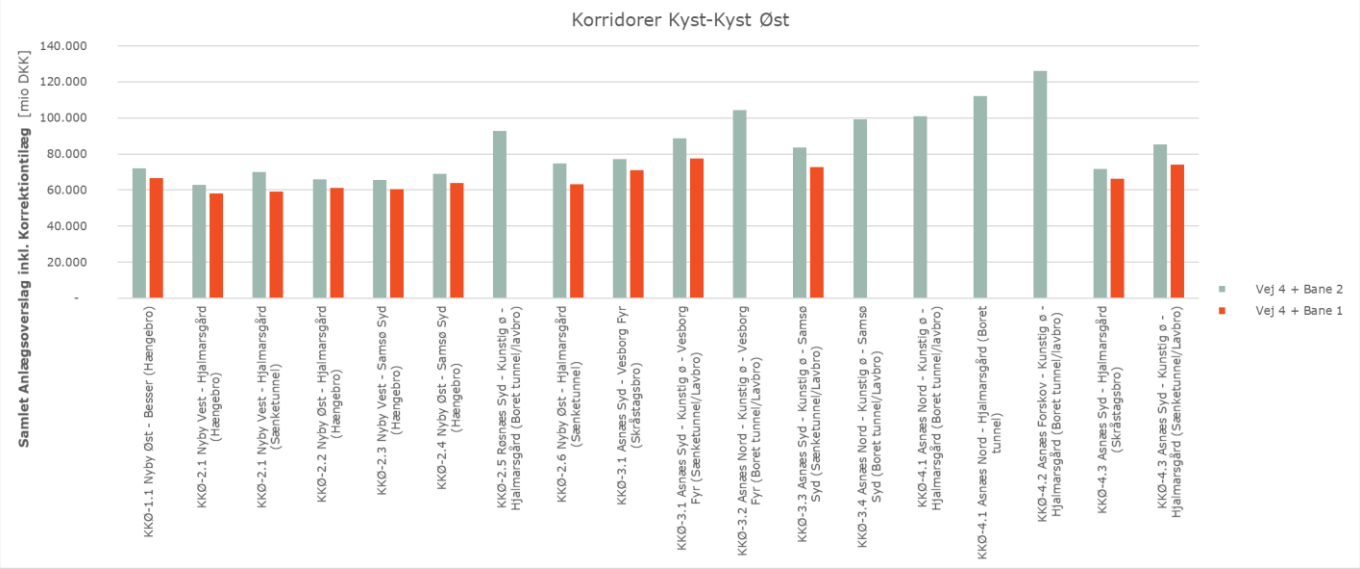
For boret tunnel er øen 50 m bredere i "tunnelenden" end for en sænketunnel pga. nødvendig afstand mellem de 3 tunnelrør. Beregningsteknisk er denne ekstra bredde inkluderet ved, at der i stedet er lagt et tilsvarende bidrag til øens længde.

12.12 Anlægsoverslag per korridor

I de følgende afsnit vises resultaterne af anlægsoverslagene for de enkelte korridorer både grafisk form og i tabelform. Der er meget information i disse figurer og tabeller hvorfor de i printet format kan være svære at aflæse. De indgår derfor også som bilag i A3-format i Bilagsmappen.

I tabellerne er billigste alternativ vist med lysegrøn markering.

12.12.1 KKØ



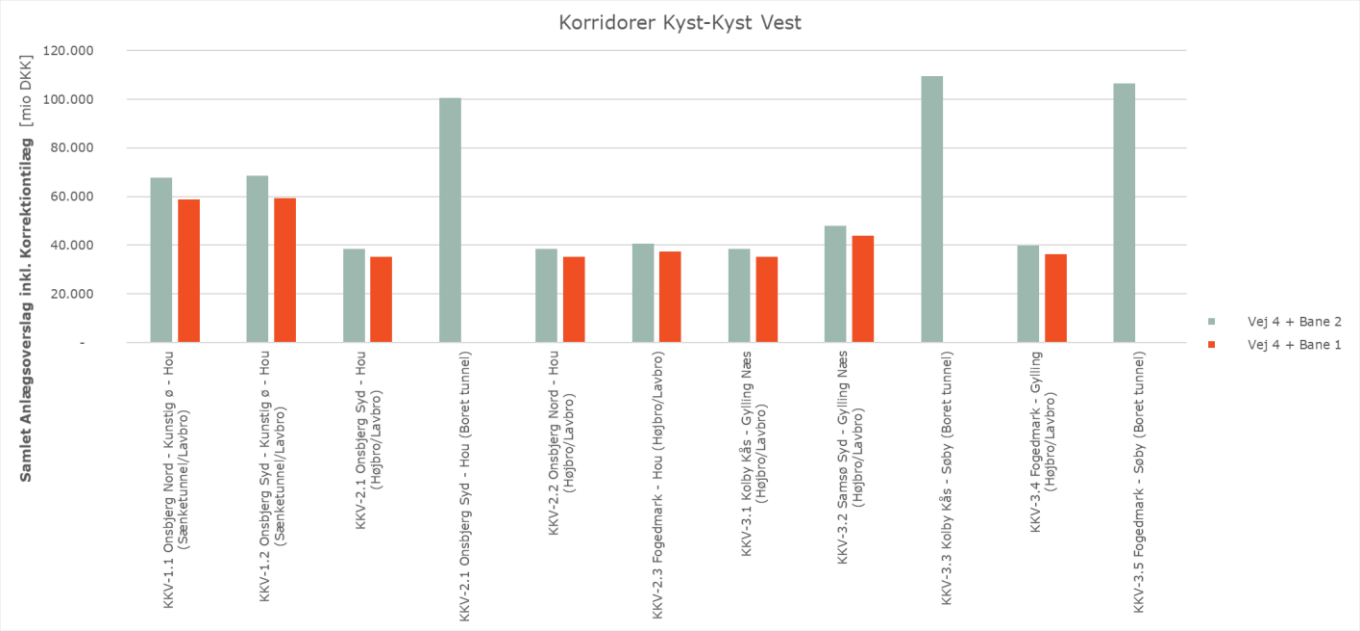
Figur 12-9 Anlægsoverslag KKØ (Bilag 12-3 i Bilagsmappen)

Tabel 12-26 Anlægsoverslag KKØ (Bilag 12-2 i Bilagsmappen)

Korridor navn			KKØ-1.1 Nyby Øst - Besser (Hængebro)	KKØ-2.1 Nyby Vest - Hjalmarsgård (Hængebro)	KKØ-2.1 Nyby Vest - Hjalmarsgård (Sænketunnel)	KKØ-2.2 Nyby Øst - Hjalmarsgård (Hængebro)	KKØ-2.3 Nyby Vest - Samsø Syd (Hængebro)	KKØ-2.4 Nyby Øst - Samsø Syd (Hængebro)	KKØ-2.5 Rønnæs Syd - Kunstig ø - Hjalmarsgård (Boret tunnel/lavbro)	KKØ-2.6 Nyby Øst - Hjalmarsgård (Sænketunnel)	KKØ-3.1 Asnæs Syd - Vesborg Fyr (Skråstagsbro)	KKØ-3.1 Asnæs Syd - Kunstig ø - Vesborg Fyr (Sænketunnel/Lavbro)	KKØ-3.2 Asnæs Nord - Kunstig ø - Vesborg Fyr (Boret tunnel/Lavbro)	KKØ-3.3 Asnæs Syd - Kunstig ø - Samsø Syd (Sænketunnel/Lavbro)	KKØ-3.4 Asnæs Nord - Kunstig ø - Samsø Syd (Boret tunnel/Lavbro)	KKØ-4.1 Asnæs Nord - Kunstig ø - Hjalmarsgård (Boret tunnel/lavbro)	KKØ-4.1 Asnæs Nord - Hjalmarsgård (Boret tunnel)	KKØ-4.2 Asnæs Forskov - Kunstig ø - Hjalmarsgård (Boret tunnel/lavbro)	KKØ-4.3 Asnæs Syd - Hjalmarsgård (Skråstagsbro)	KKØ-4.3 Asnæs Syd - Kunstig ø - Hjalmarsgård (Sænketunnel/Lavbro)
Længde																				
Vej		[km]	24,31	22,56	22,56	22,86	22,53	23,04	25,59	23,28	31,47	31,47	30,85	27,32	26,69	28,33	28,33	33,76	28,92	29,28
Bane		[km]	24,31	22,56	22,56	22,86	22,53	23,04	25,59	23,28	31,47	31,47	30,85	27,32	26,69	28,33	28,33	33,76	28,92	29,28
Entreprisearbejder på strækningen																				
Vej 4		[mio DKK]	25.292	22.641	28.671	23.808	23.790	25.131	36.974	30.531	28.005	36.587	41.184	34.781	39.377	40.043	42.373	49.428	26.403	35.481
Bane 2		[mio DKK]	17.587	14.716	13.021	15.452	15.164	16.014	18.270	13.999	17.803	16.130	20.931	14.897	19.698	20.100	24.342	25.683	16.327	15.232
Bane 1		[mio DKK]	14.302	11.973	6.595	12.546	12.283	12.947		7.062	14.281	9.510		8.543					13.109	8.697
PTA (12% add on)																				
Vej 4		[mio DKK]	3.035	2.717	3.441	2.857	2.855	3.016	4.437	3.664	3.361	4.390	4.942	4.174	4.725	4.805	5.085	5.931	3.168	4.258
Bane 2		[mio DKK]	2.110	1.766	1.563	1.854	1.820	1.922	2.192	1.680	2.136	1.936	2.512	1.788	2.364	2.412	2.921	3.082	1.959	1.828
Bane 1		[mio DKK]	1.716	1.437	791	1.506	1.474	1.554		847	1.714	1.141		1.025					1.573	1.044
Samlet anlægsoverslag																				
Vej 4		[mio DKK]	28.328	25.358	32.112	26.665	26.645	28.147	41.411	34.195	31.366	40.978	46.126	38.954	44.102	44.848	47.458	55.359	29.572	39.739
Bane 2		[mio DKK]	19.698	16.482	14.584	17.306	16.984	17.936	20.462	15.679	19.939	18.066	23.443	16.685	22.061	22.512	27.263	28.765	18.286	17.060
Bane 1		[mio DKK]	16.018	13.410	7.386	14.052	13.757	14.501		7.909	15.995	10.651		9.568					14.682	9.741
Korrektionstilæg																				
Vej 4		50%	14.164	12.679	16.056	13.332	13.323	14.073	20.705	17.098	15.683	20.489	23.063	19.477	22.051	22.424	23.729	27.679	14.786	19.869
Bane 2		50%	9.849	8.241	7.292	8.653	8.492	8.968	10.231	7.840	9.969	9.033	11.722	8.342	11.031	11.256	13.632	14.383	9.143	8.530
Bane 1		50%	8.009	6.705	3.693	7.026	6.879	7.250		3.955	7.998	5.326		4.784					7.341	4.871
Samlet Anlægsoverslag inkl. Korrektionstilæg																				
Vej 4 + Bane 2		[mio DKK]	**72.038**	**62.760**	**70.044**	**65.957**	**65.443**	**69.124**	**92.810**	**74.811**	**76.957**	**88.565**	**104.354**	**83.458**	**99.245**	**101.040**	**112.081**	**126.186**	**71.786**	**85.198**
Vej 4 + Bane 1		[mio DKK]	**66.518**	**58.152**	**59.248**	**61.075**	**60.604**	**63.971**		**63.156**	**71.041**	**77.443**		**72.784**					**66.380**	**74.220**

Løsninger med 1-sporede jernbaner er fravalgt for borede tunnelløsninger

12.12.2 KKV



Figur 12-10 Anlægsoverslag KKV (Bilag 12-5 i Bilagsmappen)

Tabel 12-27 Anlægsoverslag KKV (Bilag 12-4 i Bilagsmappen)

Korridor navn			KKV-1.1 Onsbjerg Nord - Kunstig ø - Hou (Sænketunnel/Lavbro)	KKV-1.2 Onsbjerg Syd - Kunstig ø - Hou (Sænketunnel/Lavbro)	KKV-2.1 Onsbjerg Syd - Hou (Højbro/Lavbro)	KKV-2.1 Onsbjerg Syd - Hou (Boret tunnel)	KKV-2.2 Onsbjerg Nord - Hou (Højbro/Lavbro)	KKV-2.3 Fogedmark - Hou (Højbro/Lavbro)	KKV-3.1 Kolby Kås - Gylling Næs (Højbro/Lavbro)	KKV-3.2 Samsø Syd - Gylling Næs (Højbro/Lavbro)	KKV-3.3 Kolby Kås - Søby (Boret tunnel)	KKV-3.4 Fogedmark - Gylling (Højbro/Lavbro)	KKV-3.5 Fogedmark - Søby (Boret tunnel)
Længde													
Vej		[km]	23,95	25,16	23,94	23,94	23,38	25,90	24,97	29,31	25,67	25,75	25,33
Bane		[km]	23,95	25,16	23,94	23,94	23,38	25,90	24,97	29,31	25,67	25,75	25,33
Entreprisearbejder på strækningen													
Vej 4		[mio DKK]	27.374	27.715	13.664	38.146	13.744	14.491	13.677	17.045	41.370	14.124	40.313
Bane 2		[mio DKK]	12.895	13.084	9.170	21.732	9.207	9.759	9.235	11.469	23.764	9.541	23.116
Bane 1		[mio DKK]	7.551	7.668	7.226		7.251	7.689	7.237	9.000		7.504	
PTA (12% add on)													
Vej 4		[mio DKK]	3.285	3.326	1.640	4.577	1.649	1.739	1.641	2.045	4.964	1.695	4.838
Bane 2		[mio DKK]	1.547	1.570	1.100	2.608	1.105	1.171	1.108	1.376	2.852	1.145	2.774
Bane 1		[mio DKK]	906	920	867		870	923	868	1.080		900	
Samlet anlægsoverslag													
Vej 4		[mio DKK]	30.659	31.041	15.304	42.723	15.393	16.230	15.318	19.091	46.334	15.819	45.150
Bane 2		[mio DKK]	14.443	14.654	10.271	24.339	10.312	10.930	10.343	12.845	26.615	10.686	25.890
Bane 1		[mio DKK]	8.457	8.588	8.093		8.121	8.611	8.105	10.080		8.404	
Korrektionstilæg													
Vej 4		50%	15.330	15.521	7.652	21.362	7.696	8.115	7.659	9.545	23.167	7.910	22.575
Bane 2		50%	7.221	7.327	5.135	12.170	5.156	5.465	5.171	6.423	13.308	5.343	12.945
Bane 1		50%	4.229	4.294	4.046		4.060	4.306	4.053	5.040		4.202	
Samlet Anlægsoverslag inkl. Korrektiontilæg													
Vej 4 + Bane 2		[mio DKK]	**67.653**	**68.543**	**38.362**	**100.594**	**38.558**	**40.740**	**38.491**	**47.904**	**109.424**	**39.758**	**106.561**
Vej 4 + Bane 1		[mio DKK]	**58.675**	**59.443**	**35.095**		**35.271**	**37.262**	**35.135**	**43.757**		**36.335**	

Løsninger med 1-sporede jernbaner er fravalgt for borede tunnelløsninger

12.12.3 Samsø

Figur 12-11 Anlægsoverslag Samsø (inkl. differentieret korrektionstillæg) (Bilag 12-7 i Bilagsmappen)

Tabel 12-28 Anlægsoverslag Samsø (inkl. differentieret korrektionstillæg) (Bilag 12-6 i Bilagsmappen)

Korridor navn			KSA-1.1 Besser - Onsbjerg Nord	KSA-2.1 Hjalmarsgård - Ørby Nord - Onsbjerg Syd	KSA-2.2 Hjalmarsgård - Ørby Syd - Onsbjerg Syd	KSA-2.3 Hjalmarsgård - Ørby Nord - Fogedmark	KSA-2.4 Hjalmarsgård - Ørby Syd - Fogedmark	KSA-2.5 Hjalmarsgård - Ørby Syd - Kolby Kås	KSA-3.1 Vesborg Fyr - Onsbjerg Syd	KSA-3.2 Vesborg Fyr - Kolby Kås
Længde										
Vej		[km]	4,78	5,90	6,85	4,04	4,22	3,85	5,67	0,83
Bane		[km]	4,78	5,90	6,85	4,04	4,22	3,85	5,67	0,83
Entreprisearbejder på strækningen										
Vej 4		[mio DKK]	265	318	357	230	220	224	313	85
Bane 2		[mio DKK]	392	463	509	358	344	344	473	178
PTA										
Vej 4	12%	[mio DKK]	32	38	43	28	26	27	38	10
Bane 2	25%	[mio DKK]	98	116	127	90	86	86	118	45
Samlet anlægsoverslag										
Vej 4		[mio DKK]	297	356	400	258	247	251	351	96
Bane 2		[mio DKK]	490	578	636	448	430	429	591	223
Korrektionstilæg										
Vej 4		40%	119	143	160	103	99	100	140	38
Bane 2		50%	245	289	318	224	215	215	296	111
Samlet Anlægsoverslag inkl. Korrektiontilæg										
Vej 4 + Bane 2		[mio DKK]	**1.150**	**1.366**	**1.513**	**1.033**	**990**	**996**	**1.379**	**468**

12.13 Samlede korridorer mellem Sjællands vestkyst og Jyllands østkyst

Som det ses af kapitlerne 7, 8, 9 er der i forundersøgelsen gennemgået et stort antal forskellige korridorer for hver af de 3 dele af de samlede korridorer.

Tabel 12-29 Oversigt over antal undersøgte korridorer

Del af samlede korridorer	KKV	KSA (Samsø)	KKØ
Antal undersøgte korridorer	11	8	18

Disse korridorer kan ikke kombineres vilkårligt da de skal have sammenhængende punkter på øst og vestkysten af Samsø. Der er i alt 161 valide kombinationer, og det vil selvsagt være en uoverskuelig opgave at præsentere dem i detaljer hver især.

Der er derfor udvalgt 7 forskellige samlede kombinationer som præsenteres i det følgende. De præsenterede samlede korridorer er udvalgt ud af de 161 ud fra følgende parametre:

- Har vist sig at give acceptabel miljømæssig påvirkning (i henhold til Baggrundsrapporten Miljøundersøgelser udarbejdet af Rambøll [4]).
- Har et fornuftigt sammenhængende forløb.
- Dækker et spektrum af forskellige tekniske løsninger.
- Dækker et spektrum af forskellige udgangspunkter på Jylland og Sjælland.
- Dækker et spektrum af forskellige passager af Samsø.
- Har for de fleste en fornuftig anlægsøkonomi og vurderes derfor også at være blandt de løsninger der giver den bedste samfundsøkonomi.

De præsenterede anlægsoverslag for udvalgte korridorer indeholder ikke landanlæg på henholdsvis Sjælland og Jylland, som skal tillægges for at få et samlet anlægsoverslag for en Kattegatforbindelse.

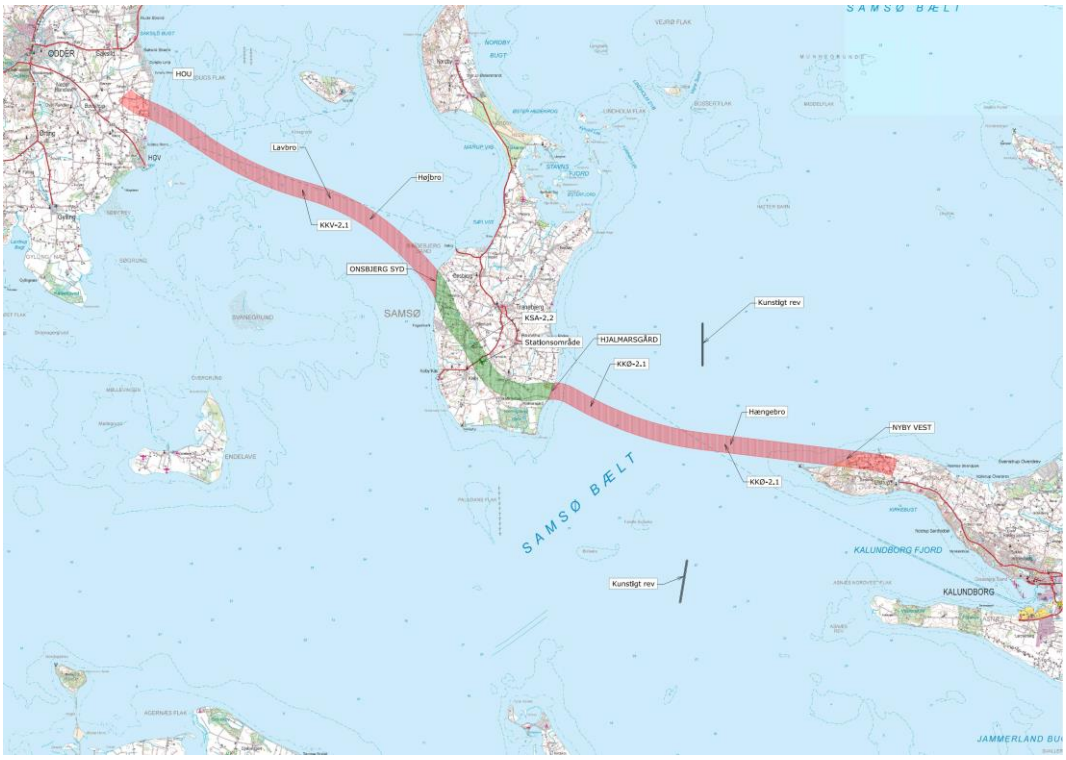
Opmærksomhed henledes på at KKØ-korridorerne er tilpasset en passage på Samsø syd om Ørby (KSA-2.2, KSA-2.4 og KSA-2.5). I tilfælde at der i næste fase vælges at arbejde videre med løsninger nord om Ørby som KSA-2.1 eller KSA-2.3 vil der for disse kunne foretages en udretning af en del af KKØ-korridorerne nær Samsø, så store dobbeltsving på land og vand undgås. Dette er ikke gjort i denne fase, da det ville øge antallet af KKØ-korridorer fra 18 til 28.

I bilagsmappen bilag 12-8 er de samlede anlægsoverslag for alle 161 valide kombinationer samlet.

12.13.1 Præsentation af udvalgte samlede korridorer

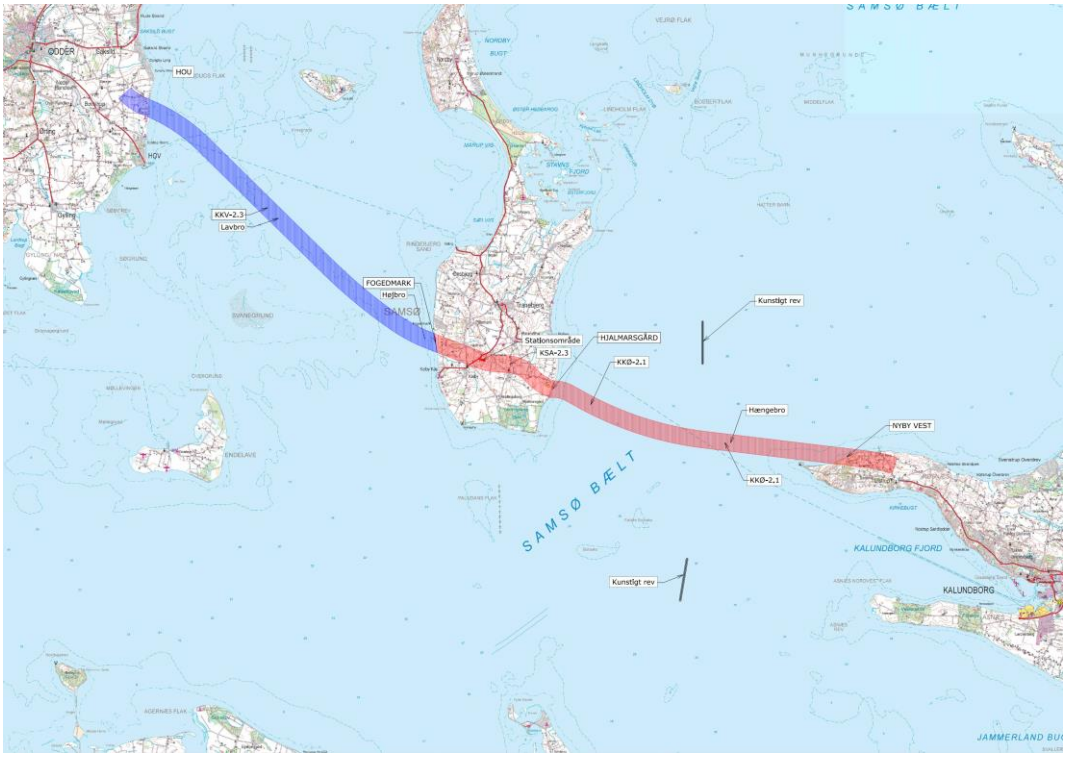
I det følgende er 7 udvalgte kombinationer af korridorer til samlede korridorer præsenteret på hver sit kort. Der henvises til de individuelle afsnit under kapitlerne 7, 8, 9 for en gennemgang af de enkelte korridorer.

12.13.1.1 KKV-2.1-bro – KSA-2.2 – KKØ-2.1-bro



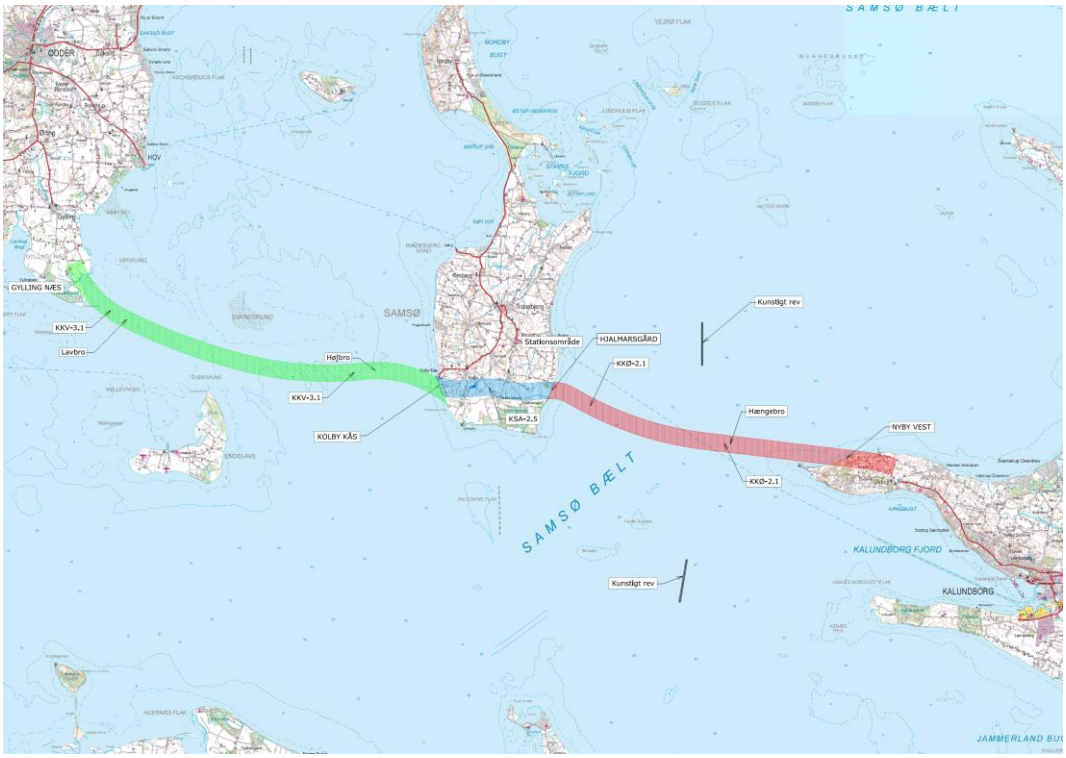
Figur 12-12 KKV-2.1-Bro – KSA-2.2 – KKØ-2.1-Bro

12.13.1.2 KKV-2.3-bro – KSA-2.3 – KKØ-2.1-bro



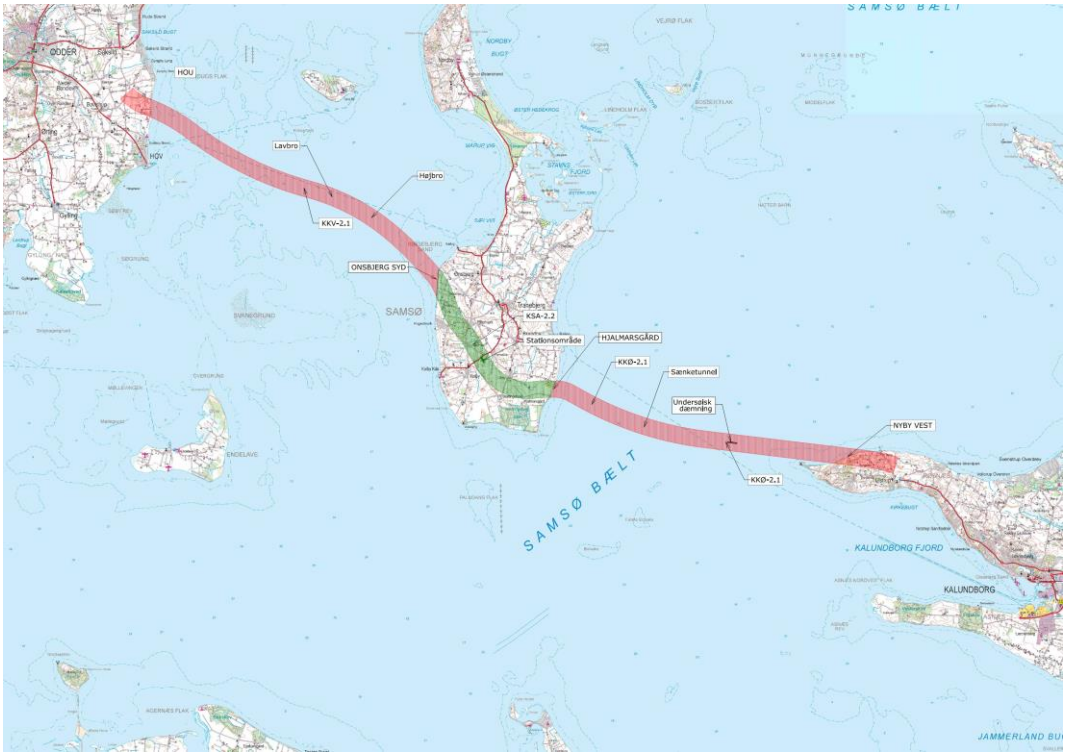
Figur 12-13 KKV-2.3-Bro – KSA-2.3 – KKØ-2.1-Bro

12.13.1.3 KKV-3.1-bro – KSA-2.5 – KKØ-2.1-bro



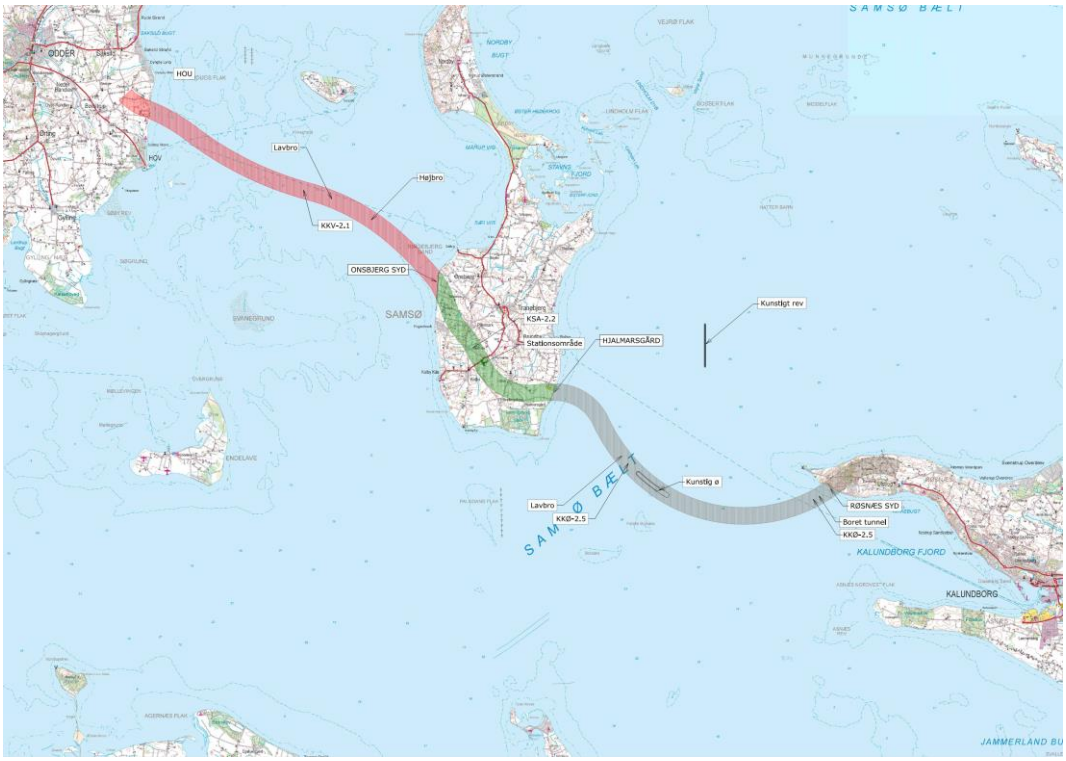
Figur 12-14 KKV-3.1-Bro – KSA-2.5 – KKØ-2.1-Bro

12.13.1.4 KKV-2.1-bro – KSA-2.2 – KKØ-2.1-sænketunnel



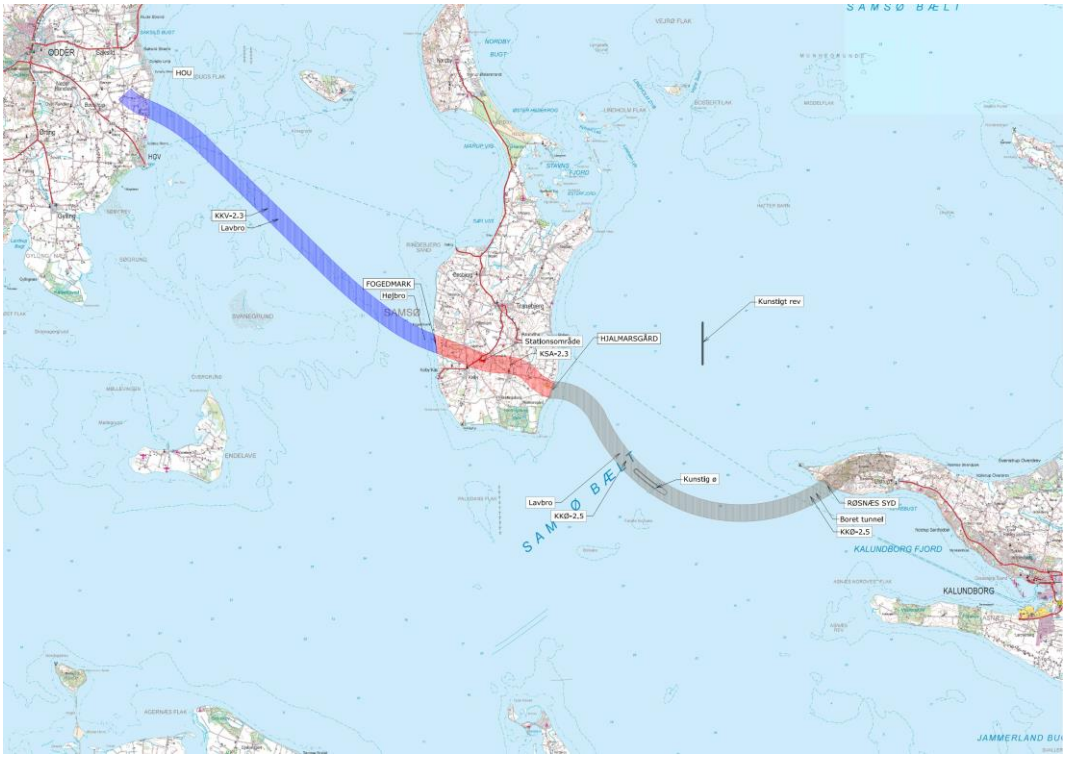
Figur 12-15 KKV-2.1-Bro – KSA-2.2 – KKØ-2.1-Sænketunnel

12.13.1.5 KKV-2.1-bro – KSA-2.2 – KKØ-2.5-boret tunnel/lavbro



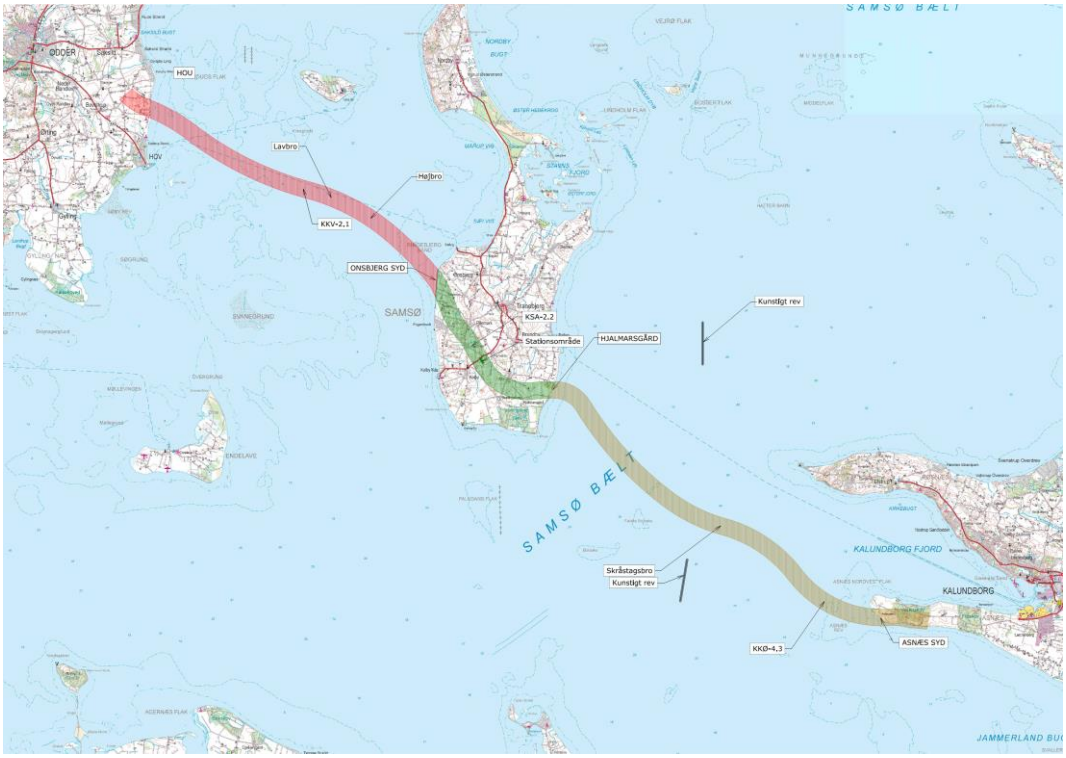
Figur 12-16 KKV-2.1-Bro – KSA-2.2 – KKØ-2.5-Boret tunnel/Lavbro

12.13.1.6 KKV-2.3-bro – KSA-2.3 – KKØ-2.5-boret tunnel/lavbro



Figur 12-17 KKV-2.3-Bro – KSA-2.3 – KKØ-2.5-Boret tunnel/Lavbro

12.13.1.7 KKV-2.1-bro – KSA-2.2 – KKØ-4.3-bro



Figur 12-18 KKV-2.1-Bro – KSA-2.2 – KKØ-4.3-Bro

12.13.2 Samlede anlægsoverslag (kyst-kyst)

I det følgende præsenteres de samlede anlægsoverslag for de 7 udvalgte samlede korridorer samt forskellige undersøgte konfigurationer af vej og bane.

Øverst i Tabel 12-30 og Tabel 12-31 er for hver overordnet korridor (KKV, KSA og KKØ) også præsenteret det laveste og det højeste anlægsoverslag ud af de undersøgte korridorer (jfr. Tabel 12-29). Her er også angivet overslaget for den billigste og dyreste af samtlige 161 valide kombinationer af samlede korridorer.

I Bilag 12-8 i Bilagsmappen er den fulde oversigt over de 161 valide kombinationer af samlede korridorer præsenteret.

12.13.2.1 Kombineret vej og dobbeltsporet bane (4+2)

Tabel 12-30 Anlægsoverslag for samlede korridorer (inkl. PTA og KT)

Jylland	KKV-	Samsø Vest	KSA-	Samsø Øst	KKØ-	Sjælland	4+2 KKV	KSA	KKØ	Total
						Min:	38 362	468	62 760	**102 247**
						Max:	109 424	1 513	126 186	**236 606**
Hou	2.1 (Højbro/Lavbro)	Onsbjerg Syd	2.2 via Ørby Syd	Hjalmarsgård	2.1 (Hængebro)	Nyby	38 362	1 513	62 760	**102 635**
Hou	2.3 (Højbro/Lavbro)	Fogedmark	2.3 via Ørby Nord	Hjalmarsgård	2.1 (Hængebro)	Nyby	40 740	1 033	62 760	**104 532**
Gylling Næs	3.1 (Højbro/Lavbro)	Kolby Kås	2.5 via Ørby Syd	Hjalmarsgård	2.1 (Hængebro)	Nyby	38 491	996	62 760	**102 247**
Hou	2.1 (Højbro/Lavbro)	Onsbjerg Syd	2.2 via Ørby Syd	Hjalmarsgård	2.1 (Sænketunnel)	Nyby	38 362	1 513	70 044	**109 919**
Hou	2.1 (Højbro/Lavbro)	Onsbjerg Syd	2.2 via Ørby Syd	Hjalmarsgård	2.5 (Boret tunnel/lavbro)	Røsnæs Syd	38 362	1 513	92 810	**132 685**
Hou	2.3 (Højbro/Lavbro)	Fogedmark	2.3 via Ørby Nord	Hjalmarsgård	2.5 (Boret tunnel/lavbro)	Røsnæs Syd	40 740	1 033	92 810	**134 582**
Hou	2.1 (Højbro/Lavbro)	Onsbjerg Syd	2.2 via Ørby Syd	Hjalmarsgård	4.3 (Skråstagsbro)	Kyst Asnæs Syd	38 362	1 513	71 786	**111 661**

12.13.2.2 Kombineret vej og enkeltsporet bane (4+1)

Løsninger med boret tunnel er ikke medtaget for 4+1, da løsninger med kun ét spor i en boret tunnel i denne projektfase er vurderet at være meget uøkonomisk.

Tabel 12-31 Anlægsoverslag for samlede korridorer med enkeltsporet bane på kyst-kyst og dobbeltspor på Samsø (inkl. PTA og KT)

Jylland	KKV-	Samsø Vest	KSA-	Samsø Øst	KKØ-	Sjælland	4+1 KKV	KSA(4+2)	KKØ	Total
						Min:	35 095	468	58 152	**94 283**
						Max:	59 443	1 513	77 443	**138 265**
Hou	2.1 (Højbro/Lavbro)	Onsbjerg Syd	2.2 via Ørby Syd	Hjalmarsgård	2.1 (Hængebro)	Nyby	35 095	1 513	58 152	**94 760**
Hou	2.3 (Højbro/Lavbro)	Fogedmark	2.3 via Ørby Nord	Hjalmarsgård	2.1 (Hængebro)	Nyby	37 262	1 033	58 152	**96 447**
Gylling Næs	3.1 (Højbro/Lavbro)	Kolby Kås	2.5 via Ørby Syd	Hjalmarsgård	2.1 (Hængebro)	Nyby	35 135	996	58 152	**94 283**
Hou	2.1 (Højbro/Lavbro)	Onsbjerg Syd	2.2 via Ørby Syd	Hjalmarsgård	2.1 (Sænketunnel)	Nyby	35 095	1 513	59 248	**95 856**
Hou	2.1 (Højbro/Lavbro)	Onsbjerg Syd	2.2 via Ørby Syd	Hjalmarsgård	2.5 (Boret tunnel/lavbro)	Røsnæs Syd	35 095	1 513		
Hou	2.3 (Højbro/Lavbro)	Fogedmark	2.3 via Ørby Nord	Hjalmarsgård	2.5 (Boret tunnel/lavbro)	Røsnæs Syd	37 262	1 033		
Hou	2.1 (Højbro/Lavbro)	Onsbjerg Syd	2.2 via Ørby Syd	Hjalmarsgård	4.3 (Skråstagsbro)	Kyst Asnæs Syd	35 095	1 513	66 380	**102 988**

13 Anbefaling til kommende faser

I dette afsnit er opsummeret emner det ikke har været muligt at undersøge til bunds inden for rammerne af arbejdet med nærværende Baggrundsrapport, herunder anbefalinger af yderligere undersøgelser i eventuelle kommende faser.

13.1 Generelt

Korridorernes og de anlægstekniske løsningers endelige påvirkning af omgivelserne afhænger af, hvor de endelige korridorer placeres, samt i sidste instans hvor de enkelte linjeføringer placeres indenfor korridorerne. I en efterfølgende fase - og efter en indsnævring af antallet af løsninger - vil der naturligt blive foretaget en optimering af de enkelte korridorvalg med tilhørende linjeføringer og anlægstekniske løsninger.

13.2 Geoteknisk grundlag

13.2.1 Geofysiske undersøgelser og geologisk model

Resultaterne af de geofysiske undersøgelser til havs udført i sensommeren 2020 er tolket af hhv. GEUS og COWI og indarbejdet i en geologisk model. Tolkningen af de seismiske linjer præsenteres i separate fagnotater, hhv. "Geofysiske undersøgelser og geologisk model, COWI" [19] og " Overfladenær geologisk delmodel, GEUS" [20]. Der er ikke suppleret med yderligere data for ilandføringspunkterne, hvorfor disse fortsat baseres på data fra tidligere undersøgelser.

13.2.2 Anbefaling til yderligere undersøgelser

De geofysiske kampagner til havs har givet et mere præcist billede af forekomsten af havbundsnære foldede forekomster eller flager af prækvartære aflejringer. Det anbefales, at de seismiske undersøgelser kalibreres op imod geotekniske boringer, således det er muligt med større præcision at skelne mellem formationerne fundet i de geofysiske undersøgelser. Der bør i samme kampagne indsamles prøvemateriale til avancerede laboratorieforsøg for at fastlægge materialeegenskaberne. Endeligt anbefales det, at supplerende seismiske undersøgelser gennemføres i områder hvor datakvalitet/-dækning fra tidligere kampagner er mangelfuld. Undersøgelserne angivet nedenfor er vurderet tilstrækkelige med henblik på at kvalificere den stratigrafiske model for projektområdet og udgør således et minimumsprogram, som (evt. i en senere fase) skal suppleres med løsnings-/korridorspecifikke undersøgelser.

- Geotekniske boringer offshore i form af geotekniske boringer og CPTU-sonderinger til minimum 50 m dybde under havbund
  - i en eller flere korridorlinjer ud for den jyske kystlinje. Placering af undersøgelsespunkterne skal udvælges ud fra det tolkede seismiske profil, således at de målrettes de forskellige fundne foldninger/flager, som

forventeligt er af forskellig geologisk oprindelse (Røsnæsler, Lillebæltsler, Søvindmergel, …).

- for KKØ-2 linjerne bør udføres 3 dybe boringer (mindst 50 m under havbund) for stationering 25+000, 30+000 og 35+000 (KKØ-2.1 stationering) mhp. at kortlægge overside og oprindelse af fundne, foldede prækvartære formationer.
- i udvalgte positioner i KKV og KKØ-områderne med henblik på at etablere korrelationer mellem seismiske data og geotekniske egenskaber.

- Supplerende seismiske undersøgelser i områder, optimeret med henblik på at belyse dybere lags variationer, hvor forekomst af gas og andre features påvirkede kvaliteten af de netop afsluttede kampagner.

Ilandføringspunkterne på Sjælland, Samsø og Jylland er ikke belyst yderligere i denne fase. Generelt er geologien på kysterne præget af at være glaciale randzoner, hvor der kan være store variationer i funderingsforholdene over korte afstande. Supplerende geotekniske undersøgelser i form af geotekniske boringer bør afvente en yderligere indsnævring af antallet af korridorer. Det anbefales at udføre:

- Røsnæs: (KKØ-1.X, KKØ-2.X): 5 supplerende geotekniske boringer til mindst 30 m dybde, hvoraf 2 boringer bør forlænges til minimum 50 m for den borede tunnelløsning (KKØ-2.5).
- Asnæs (KKØ-3.X og KKØ-4.X): 5-10 geotekniske boringer til mindst 30 m dybde på Asnæs, hvor der ikke findes tilgængelige geotekniske boringer. For KKØ-3.2 og -3.4 anbefales at føre hveranden boring til 50 m dybde.
- Samsø: 2 supplerende boringer til mindst 30 m dybde pr. ilandføringspunkt.
- Jylland: 2 supplerende boringer til mindst 30 m dybde pr. ilandføringspunkt.

Såfremt der sker en indsnævring af korridorantallet inden der udføres supplerende undersøgelser, anbefales det at fokusere undersøgelserne med mindst 5 boringer pr. ilandføringspunkt - specielt på Samsø og i Jylland.

13.3 Yderligere afklaring af sejladssikkerhed og skibsstødsrisiko for broløsninger

Der henvises til afsnit 10.5 for yderligere motivation for og detaljer af de anbefalede undersøgelser i relation til sejladsforhold og risiko for skibskollision.

13.3.1 Farvandet mellem Samsø og Sjælland (KKØ)

Alle løsninger for KKØ, helt eller delvist baseret på brokonstruktioner, er eksponeret for muligheden for at skibe, der ikke foretager de nødvendige kursændringer ved knækkene på Rute T nord og syd for forbindelsen, fortsætter frem mod broen og forårsager en kollision. Modellering og beregning af risikoen ved dette scenario har afgørende betydning for det samlede risikoniveau for alle foreslåede løsninger for KKØ, der indeholder brokonstruktioner. De anvendte modeller kunne overestimere risikobidraget og det anbefales derfor at undersøge

mulighederne for at tilpasse og justere de anvendte beregningsmodeller for disse scenarier til de specifikke forhold ved KKØ.

Det er nødvendigt at etablere ekstern beskyttelse imod denne specifikke risiko for alle KKØ-løsninger, der indeholder brokonstruktioner. Kunstige undersøiske rev, som skibene vil grundstøde på inden de når frem til broen, er foreslået som en enkel og robust form for beskyttelse, og sådanne rev er medtaget som en nødvendig del af alle KKØ-løsninger med brokonstruktioner. Hvis KKØ-løsninger, der er afhængige af beskyttelsen fra sådanne rev, medtages i det fortsatte undersøgelsesarbejde, anbefales det indledningsvis at undersøge og bekræfte revenes effektivitet og udformning ved detaljeret mekanisk analyse af grundstødning af relevante skibe mod revet.

De rene broløsninger i KKØ-1 og KKØ-3 er placeret i nærheden af både knæk på Rute T og ind- og udflettende trafik fra tilstødende ruter. Det resulterende komprimerede arrangement af sejladsen nær disse broløsninger er vægtet tungt i evalueringen af sejladssikkerheden, og det anbefales at drøfte arrangementet, evalueringen og mulighederne for at forbedre sejladssikkerheden med Søfartsstyrelsen. En broløsning i KKØ-4 har umiddelbart samme udfordringer som i KKØ-3, men korridorens placering gør det muligt at arrangere en supplerende hovedbro, der giver den tilsluttende trafik til og fra Lillebælt en mere gunstig krydsning af korridoren. Det anbefales derfor at denne løsning analyseres og evalueres med samme detaljeringsgrad som broløsningen for KKØ-3, og at sejladsens arrangement omkring denne løsning drøftes med Søfartsstyrelsen parallelt med arrangementet omkring KKØ-3.

Risikoen for kollision mod brodelen af de foreslåede kombinerede tunnel- og broløsninger for KKØ er approksimativt estimeret. Selvom brodelen for disse løsninger er placeret i god afstand fra den dominerende skibstrafik i Rute T, viser estimaterne for kollisionsrisikoen sig at være nær eller over fravalgskriteriet. Hvis det vælges at arbejde videre med disse løsninger, anbefales det derfor at kollisionsrisikoen beregnes ved en detaljeret modellering af en eller flere af løsningerne. Det vil dels give et mere kvalificeret grundlag for at vurdere risikoniveauets betydning for løsningernes anbefaling, og vil tillige give mulighed for at undersøge risikoens følsomhed overfor designmæssige optimeringer af brodelen.

13.3.2 Farvandet mellem Jylland og Samsø (KKV)

Den primære problemstilling for broløsningerne på KKV er arrangementet af gennemsejlingen for erhvervstrafikken i ruten langs med Samsøs vestkyst. Gennemsejlingsfagenes bredde og højde samt muligheden for at arrangere en vinkelret krydsning vil tilsammen betinge hvilken størrelse af skibe, det er forsvarligt at tillade passage. I forundersøgelserne er skitseret en modellering af problemstillingen, hvor betydningen af gennemsejlingsfagets geometri for risikoen for kollision mod broen, for anlægsomkostningen, og for erhvervstrafikkens gene ved begrænsningen af større skibes passage, er kombineret for at identificere en rationel strategi i valget af gennemsejlingen. Arbejdet med denne modellering anbefales videreført i en kommende fase af undersøgelserne for at

kunne dokumentere, at det endelige valg af gennemsejling på rationel og behørig vis tager hensyn til de berørte parters interesser.

Broløsningerne for KKV omfatter længere afsnit af lavbro placeret på betydelige vanddybder hvilket skaber mulighed for skibskollisioner mod broen. Det anbefales derfor at gennemføre en detaljeret beregning af risikoen for skibsstød mod for en eller flere af de foreslåede løsninger. Det vil dels afklare lavbroens betydning for risikoniveauet, og vil også give input til optimering af højbroen og til valget af gennemsejlingsfagenes geometri.

Datagrundlaget anvendt i forundersøgelserne antyder ikke at sejladsforholdene for erhvervstrafikken langs Samsøs vestkyst skulle være særlig udfordret, og denne opfattelse er afspejlet i evalueringen af broløsningerne for KKV, såvel i evalueringernes detaljeringsgrad, som ved den frihed hvormed sejladsen antages at kunne arrangeres omkring en broløsning. For at supplere og nuancere denne opfattelse, anbefales det at indsamle faktisk erfaring med sejladsen vest for Samsø fra erhvervstrafikken (lodser, havnelodser, skibsførere) og fra fritidssejlere. Med udgangspunkt i de i forundersøgelserne udførte analyser af erhvervstrafikken vest for Samsø og de trafikstrømme denne trafik omfatter, anbefales det tillige at nuancere den etablerede beskrivelse af trafikken, dens formål og logistik med input fra havne, rederier og shippingbranchen i øvrigt. Navnlig skal det afklares, hvilke trafikstrømme der berøres, hvis gennemsejlingen i en broløsning for KKV sætter en øvre grænse for skibenes størrelse.

13.4 Dæmninger fra land

Broer og tunneler vil kunne afkortes ved hjælp af dæmninger fra land. Især i lavvandede områder vil dette kunne medføre betydelige besparelser. Denne mulighed er dog ikke undersøgt i denne fase af forundersøgelserne.

Dette udgør således et optimeringspotentiale i fremtidige undersøgelser.

13.5 Ledninger

I senere faser vil man skulle undersøge ledningsforhold. F.eks. er der en ledningskorridor for telekabler som overlapper KKØ-2-korridorerne imellem Røsnæs og Hjalmarsgård.

13.6 Borede tunneler

Der er i denne forundersøgelse taget udgangspunkt i de valgte løsninger i Femern sammenligningsstudiet, hvor begge jernbanespor er samlet i ét fælles rør. Forundersøgelsen har vist at denne konfiguration er overordentligt bekostelig.

Hvis man i en senere fase går videre med en boret tunnelløsning, vil det være relevant at undersøge, om to mindre rør med tværtunneler hver indeholdende ét jernbanespor, som man kender det fra Storebælt, vil være mere fordelagtigt,

herunder om der vil være en besparelse at hente. I en sådan løsning vil redning foregå igennem tværtuneler til det modsatte rør.

Ligeledes kunne en boret tunnelløsning til kun ét spor undersøges nærmere. Der kan undersøges forskellige konfigurationer med redning med tværtunnel til vejtunnel, eller en mindre parallel tunnel eller med redning indeholdt i samme rør som det ene spor.

13.7 Driftsrisiko

Det anbefales i en kommende fase, hvor antallet af mulige løsninger antages væsentligt reduceret, at foretage vurdering af i hvor mange og hvor lange perioder forbindelsen vil være lukket for trafik, samt tilsvarende belagt med restriktioner som f.eks. indsnævring af vognbaner eller begrænsninger for høje og lette køretøjer, herunder om der vil være væsentlige forskelle imellem de forskellige korridorløsninger.

13.8 Forøgelse af toghastighed fra 200 til 250 km/t

Hvis der i en senere fase vælges en tunnelløsning, og der samtidig er ønske om at sætte den maksimale hastighed op til 250 km/t, bør der søges dispensation fra kravet i Banenormen om et 1,01 m højere fritrumsprofil, da det ellers vil få betydelige omkostningsmæssige konsekvenser.

Der bør foretages grundigere studier af baggrunden for kravet, herunder hensyntagen til at Kattegatforbindelsen kun vil blive befærdet med persontog, og kravet bør sammenlignes med det tilsvarende krav andre steder i Europa. Tillige kan valg af løsninger for ophæng af kørestrømsledninger/skinner inddrages i vurderingen. Med udgangspunkt heri kan udarbejdes en anbefaling om et projektspecifikt fritrumsprofil, som sammen med en eksplicit risikoanalyse kan indgå i en dispensationsansøgning.

Dette formodes at kunne føre til, at kravet kan lempes.

14 Referencer

[1] VD, S&B, TBST, »Indledende linjeføringsovervejelser for en Kattegatforbindelse, Delrapport,« COWI, Marts 2020.

[2] VD, S&B, TBST, »Kattegatforbindelse - Kyst-kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, Indledende linjeføringsovervejelser, Sjællands Odde - Jylland, Delrapport,« COWI, September 2020.

[3] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-kyst - Miljøtekniske Forundersøgelser, Analyse af særligt betydningsfulde områder,« Rambøll, Juni 2020.

[4] Sund & Bælt Holding A/S, »Forundersøgelse af en Kattegatforbindelse, Kyst-kyst, Miljøundersøgelser - Vej og bane, Baggrundsrapport,« Rambøll, 2021.

[5] Vejdirektoratet, »Forundersøgelse af en Kattegatforbindelse, Landanlæg, Anlægsteknik og miljø - Vej og bane, Baggrundsrapport,« COWI, 2022.

[6] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, Design Basis, Fagnotat,« COWI, Juni 2021.

[7] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, Vurdering af konstruktioner for 250 km/t toghastighed, Fagnotat,« COWI, Juni 2021.

[8] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelsen, Estimering af omkostninger til D&V og reinvesteringer,« Sund & Bælt, Januar 2021.

[9] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-Kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, KKV - Sejladsforhold og risiko for skibskollision , Fagnotat,« COWI, Juni 2021.

[10] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, Interfaceinformation til miljøundersøgelser, Fagnotat,« COWI, Maj 2021.

[11] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, Byggemetoder og arbejdskanaler for lavbroer på lavt vand, Fagnotat,« COWI, Marts 2021.

[12] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, Supplerende undersøgelser af løsninger med kun ét jernbanespor,« COWI, November 2021.

[13] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, Analyse af ventilationsbehov for at sikre luftkvalitet i tunnel, Fagnotat,« COWI, 2021.

[14] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, Maksimal anlægsteknisk længde for boret tunnel, Fagnotat,« COWI, 2021.

[15] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, Marine Konstruktioner, Fagnotat,« COWI, Februar 2022.

[16] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, Sænketunnelbeskyttelse, Fagnotat,« COWI, 2021.

[17] Sund & Bælt Holding A/S, Kattegatforbindelse - Kyst-kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, Arbejdspladsarealer, Fagnotat, COWI, 2021.

[18] Sund & Bælt Holding A/S, "Kattegatforbindelse - Kyst-kyst - Anlægstekniske forundersøgelser, Elementproduktionspladser, Fagnotat", COWI, Juni 2021.

[19] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, Geofysiske undersøgelser og geologisk model, Fagnotat,« COWI, Juni 2021.

[20] GEUS, »Kattegatforbindelse - Kyst-Kyst anlægstekniske forundersøgelser. Overfladenær geologisk delmodel,« GEUS, 2020.

[21] VD, S&B, TBST, »Forundersøgelse af Kattegatforbindelse - Indledende linjeføringsovervejelser. Geologisk og geoteknisk screening, Fagnotat,« COWI, Marts 2020.

[22] O. Ditlevsen, »A story about estimation of a random field of boulders from incomplete seismic measurements,« *Probabilistic Engineering Mechanics,* årg. 20, p. 342–35, 2005.

[23] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, KKØ - Sejladsforhold og risiko for skibskollision , Fagnotat,« COWI, Marts 2021.

[24] Sund & Bælt Holding A/S, »Vurdering af påvirkning af erhvervssejlads,« Rambøll, December 2020.

[25] VD, S&B, TBST, »Indledende linjeføringsovervejelser for en Kattegatforbindelse, Delrapport,« COWI, Marts 2020.

[26] Sund & Bælt Holding A/S, »Vurdering af gennemsejlingsfag vest om Samsø, Sejladsanalyse,« Rambøll, August 2019.

[27] Sund & Bælt Holding A/S, »Sejladsanalyse - vurdering af påvirkning af rekreativ sejlads som følge af bro øst og vest for Samsø,« Rambøll, December, 2020.

[28] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, Enhedspriser til anlægsoverslag, Fagnotat,« COWI, Marts 2021.

[29] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, Enhedspriser for broer baseret på mængder, Fagnotat,« COWI, Januar 2021.