SEPTEMBER 2020
SUND & BÆLT HOLDING A/S

KATTEGATFORBINDELSE - KYST-KYST
ANLÆGSTEKNISKE FORUNDERSØGELSER

INDLEDENDE LINJEFØRINGSOVERVEJELSER, SJÆLLANDS ODDE – JYLLAND,
EFTER PLAN- OG MILJØVURDERING

DELRAPPORT

COWI

INDHOLD

1	Indledning	5
2	Sammenfatning	7
3	Overordnede rammer og definitioner	9
3.1	Projektområde	9
3.2	Korridorer	9
3.3	Øvrige definitioner	10
3.4	Forkortelser	11
4	Analyseparametre	13
4.1	Indledning	13
4.2	Analyseparametre	13
5	Tekniske løsninger	15
5.1	Tunneler	15
5.2	Broer	29
5.3	Kunstige øer	35
6	Geotekniske forhold	37
6.1	Overordnede geologiske forhold	37
6.2	Anlægstekniske konsekvenser	39
7	Sejladssikkerhed	41
7.1	Aktuel skibstrafik	41
7.2	Skibstrafikkens betingelser og arrangement	42
7.3	Ændringer i trafikarrangementet	45
7.4	Kollisionsrisiko	48
7.5	Sammenfatning	54
8	Foreløbige Korridorer	55
8.1	KKN-1.3 til Djursland Nord	58
8.2	KKN-1.5 til Djursland Syd	64
8.3	KKN-2.2 til Fløjstrup	67

9 Fravalgte korridorer 71

10 Anlægsoverslag 73
10.1 Indledning 73
10.2 Mængder for kyst-kyst korridorer 73
10.3 Anlægsoverslag 75

11 Referencer 77

BILAG

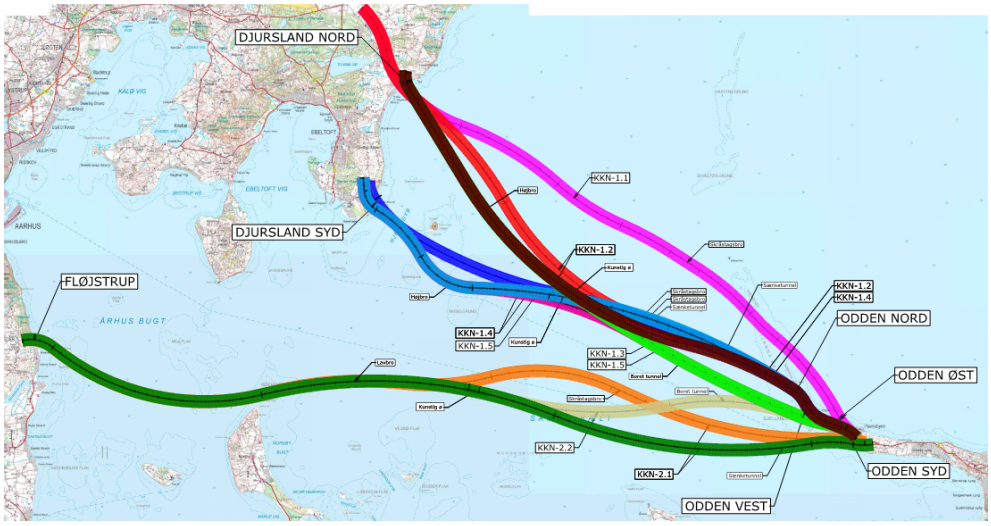
Bilagsmappe (A3)

1 Indledning

Nærværende Delrapport er et resultat af et arbejde udført af COWI efter i januar 2020 af Sund & Bælt Holding A/S at have fået overdraget opgaven med anlægstekniske forundersøgelser af en kyst-kyst-forbindelse over Kattegat.

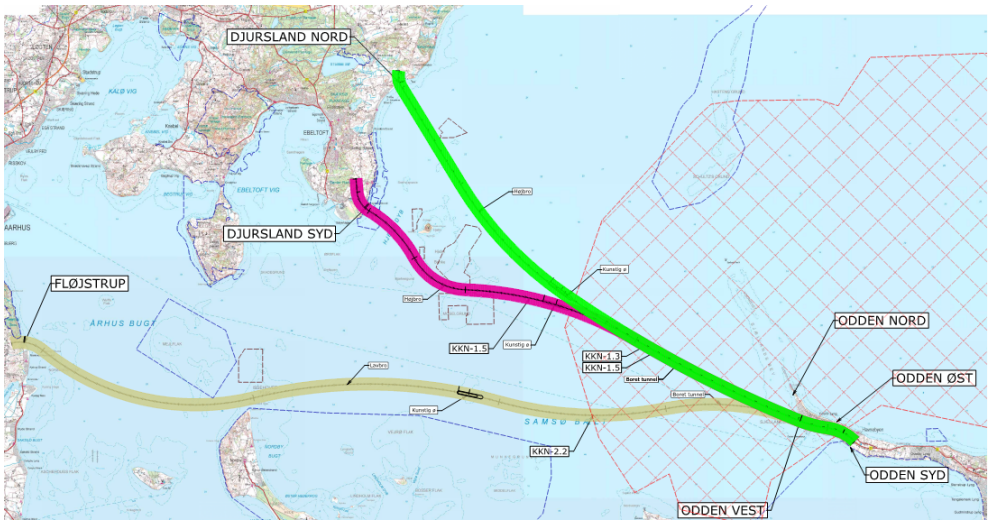
Delrapporten har haft til formål at beskrive anlægstekniske løsninger for en direkte forbindelse imellem Sjælland og Jylland via Sjællands Odde. Rapporten indeholder udelukkende vurderinger af kyst-kyst anlæggene, mens vurderinger af tilhørende landanlæg i henholdsvis Sjælland og Jylland ikke udarbejdes i denne fase.

Nærværende delrapport efterfølger en delrapport fra juni 2020 [1] (lettere redigeret i september 2020), som blev udarbejdet forud for gennemførelse af høringer hos Miljøstyrelsen og Forsvarsministeriet. Høringssvar fra disse myndigheder er efterfølgende blevet suppleret med vurderinger fra Sund & Bælts miljørådgiver, og rapporteret i et notat dateret 25-06-2020 [2].



Figur 1-1 Undersøgte korridorer rapporteret i delrapport fra juni 2020 [1]

Ovennævnte høringer og miljøvurderinger har givet anledning til en reduktion af antallet af korridorløsninger fra Sjællands Odde til Jylland fra 10 til 3. De 3 tilbageværende korridorer er beskrevet i nærværende delrapport, og de fravalgte 7 andre løsninger er kort præsenteret i afsnit 9. For mere deltajeret information om de fravalgte løsninger henvises til [1].



Figur 1-2 Tilbageværende korridorer efter plan- og miljøundersøgelser (Bilag 8-1 i bilagsmappen)

Detaljeringsniveauet er tilstræbt svarende til beskrivelsen af korridorerne via Samsø i delrapporten i den forrige fase: Indledende linjeføringsovervejelser for en Kattegatforbindelse, marts 2020, [3].

Udvalgte figurer og tabeller i denne rapport kan tillige findes i A3-format i separat bilagsmappe.

2 Sammenfatning

Undersøgelserne afrapporteret i nærværende delrapport har gået ud på at finde mulige linjeføringer for en ren vejforbindelse henholdsvis en kombineret vej- og jernbaneforbindelse fra Sjællands Odde til Jylland henholdsvis med ilandføringspunkt syd for Århus eller på Djursland.

Som følge af primært det store militære øvelsesområde ud for Sjællands Odde er løsninger med broer og sænketunneler fra Sjællands Odde blevet fravalgt. I forvejen er broløsninger fra Sjællands Odde vurderet at indebære en stærkt forhøjet projekt- og driftsrisiko på grund af skibsstød som følge af uhensigtsmæssige skæringer med især T-ruten igennem Storebælt. De fravalgte løsninger er vist i afsnit 9.

Det har ledt frem til 3 korridorer, med løsninger som alle er baseret på en boret tunnel fra Sjællands Odde ud til en kunstig ø beliggende uden for det militære øvelsesområde, og derfra videre til Jylland på en bro. Forløbet af korridorerne er vist på Figur 1-2 samt Bilag 8-1 i bilagsmappen. To af korridorerne ilandføres på Djursland hhv. tæt ved Ebeltoft og lidt nord for Holme. Den sidste korridor ilandføres ved Fløjstrup syd for Århus.

Det skal fremhæves at Forsvarsministeriet i høringssvar af 24. juni 2020 gør opmærksom på, at borede tunnelløsninger igennem det militære øvelsesområde bør underkastes yderligere analyse i forhold til påvirkning af skarpskydning og undervandssprængninger, hvis der arbejdes videre med disse løsninger.

Tilhørende forbindelser på land, altså tilsluttende veje og jernbaner på Sjælland og i Jylland, ligger uden for kommissoriet for nærværende delrapport. Dermed er væsentlige anlægsomkostninger, herunder til forholdsvise lange strækninger på land med mulige cut & cover tunneler ikke medtaget.

Alle tre løsninger vurderes at medføre en forhøjet projektrisiko. Dette skyldes primært faren for at skibe kolliderer med brokonstruktionerne, som medfører både en driftsrisiko og en projektrisiko. Desuden anses en boret tunnel under det militære øvelsesområde at udgøre en projektrisiko, da det endnu ikke har været muligt at analysere om en sådan løsning vil være forenelig med Forsva-

rets aktiviteter i området. Endelig gælder det for to af løsningerne, at de kunstige øer ved overgang fra boret tunnel til bro er placeret på vanddybder over 20 m, hvilket i sig selv medfører en forhøjet projektrisiko.

3 Overordnede rammer og definitioner

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 foreløbige korridorer

En foreløbig 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 KKN-x.y, hvor KKN står for Kyst-Kyst Nord, og x og y er tal. Tilsvarende er korridorer via Samsø i [3] benævnt KKØ-x.y og KKV-x.y for hhv. øst og vest for Samsø.

3.3 Øvrige definitioner

Udtryk	Definition
Konstruktionstype	Hængebro, skråstagsbro, højbro, lavbro, boret tunnel, sænketunnel, cut & cover tunnel, trug, dæmning.
Løsningsmodeller	4-sporet motorvej uden bane (4+0) Dobbeltsporet bane uden vej (0+2) Kombineret 4-sporet motorvej og dobbeltsporet bane (4+2) Kombineret 4-sporet motorvej og enkeltsporet bane (4+1) (enkeltsporet bane alene på kyst til kyst delen) (0 + 1)
Højbro	Bjælkebro med stor frihøjde og stor spændvidde, anvendt af hensyn til skibstrafikken og/eller ved stor vanddybde. Eksempler på højbro er gennemsejlingsfag til bjælkebroer og tilslutningsfag til hænge- og skråstagsbroer.
Lavbro	Bjælkebro med begrænset frihøjde og moderat spændvidde, anvendt hvor kun mindre skibe forventes at passere. Eksempel er Storebælt Vestbro.
En fast forbindelse over Kattegat	Dækker over det samlede projekt, inkl. såvel jernbane, vejanlæg på land alt efter om det er tale om en kombineret forbindelse eller ej og bro/tunnelanlæg. Anvendes i flæng med de øvrige benævnelser for hele projektet, afhængigt af kontekst og læsbarhed.
Kattegatprojektet	
Kattegatforbindelsen	
Kyst-til-kyst anlæg(-get)	Dækker over den del af projektet som Sund & Bælt Holding A/S har som kommissorium, dvs. forbindelsen mellem Jylland og Sjælland inkl. landanlæg som passeres på vejen (Samsø) inkl. ilandføringszoner.
Landanlægget	Dækker over den del af projektet som Vejdirektoratet/TBST har som kommissorium, dvs. vej/bane på Jyllands og Sjællands side fra knudepunkter ved kysterne til tilslutning med eksisterende vej og bane.
Undersøgelsesområde	Det område indenfor hvilket konsekvenserne af projektet afdækkes.
Korridorer	De områder indenfor hvilket linjeføringer kan blive placeret. 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
Linjeføring	En eksemplificeret linje inden for en korridor, som kan afbildes både i plan og profil, og som anvendes til udregning af økonomi.
Ilandføringspunkt	Det punkt, hvor anlægsprojektet fra havsiden krydser vandkanten (kote 0)

3.4 Forkortelser

Forkortelse	Betydning
AIS	Automatic Identification System (system til registrering af skibstrafik)
BT	Boret tunnel
CL	Centerlinje
DVR90	Dansk Vertikal Reference
DWT	Dead Weight Tons (enhed til benævnelse af skibsstørrelser)
DS	Dansk Standard
EPB	Earth Pressure Ballance – En type TBM
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KKN	Kyst-Kyst Nord (foreløbige korridorer imellem Sjælland og Jylland med udgangspunkt i ilandføringspunkt på Sjælland på Sj. Odde)
KKV	Kyst-Kyst Vest (foreløbige korridorer imellem Samsø og Jylland)
KKØ	Kyst-Kyst Øst (foreløbige korridorer imellem Sjælland og Samsø)
KP	Kilometerpunkt
LM1	Eurocode lastmodel 1 for vejtrafik
LM71	Eurocode lastmodel for tog
NA	Nationalt Anneks til Eurocodes
SLR	Sea Level Rise (vandstandsstigning)
SLS	Serviceability Limit State (anvendelsesgrænsetilfælde)
ST	Sænketunnel
TBM	Tunnel Boring Machine
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)

4 Analyseparametre

Der henvises generelt til [3].

4.1 Indledning

På baggrund af offentligt tilgængelige data er der ved udarbejdelsen af nærværende delrapport fokuseret på at foretage anlægstekniske, geotekniske og sejladsmæssige undersøgelser.

Formålet med disse undersøgelser har været at bidrage til at identificere de mest relevante løsninger og korridorer fra Odden til Jylland, herunder foretage en prissætning af disse. Der er ikke foretaget en systematisk vurdering og indbyrdes rangordning af de foreslåede løsningsmuligheder og korridorer, ligesom det begrænsende datagrundlag betyder, at de foreslåede løsningsmuligheder og korridorer kan blive justeret og ændret i den videre proces på baggrund af efterfølgende supplerende undersøgelser og heraf følgende ændrede vurderinger. De mulige korridorer betegnes og betragtes, som en tydeliggørelse heraf, i det følgende for "foreløbige korridorer".

4.2 Analyseparametre

I denne delrapport har der været fokus på kyst til kyst. Forholdene på land har indtil nu kun indgået i overvejelserne i forhold til placering af ilandføringspunkter og f.eks. længder af borede tunneler. Det er tilstræbt at forkorte den samlede længde af krydsningen og undgå indlysende følsomme naturområder og tætte bebyggelser, og placeringen af ilandføringspunkter er sket i et samspil med Sund & Bælts miljørådgiver, hvis vurderinger er beskrevet i [2].

Af ovenstående emner er det ud over længden på krydsningen hensynet til vanddybder, sejlruter, Natura 2000-områderne, militære øvelsesområder og råstofindvindingsområder, som har været styrende for placering af linjeføringerne.

Herudover er der under udarbejdelsen af de foreløbige korridorer inddraget effekten i forhold til 3 yderligere parametre, hvor hovedfokus i denne rapport er på projektrisikoen.

- Trafikal betjening
- Driftsrisiko
- Projektrisiko

Her er det først og fremmest parameteren "Projektrisiko", som har betydning i vurderingen af de forskellige konstruktionsløsninger, idet projektrisikoniveauet for forskellige løsninger kan være markant forskelligt. De forskellige konstruktionsløsninger forventes ikke at adskille sig afgørende fra hinanden mht. "Trafikal betjening" og "Driftsrisiko". Eventuelle forskelle i driftsrisiko for eksempelvis en tunnelløsning og en broløsning bør baseres på statistik og erfaringer fra driften af sådanne bygværker, såsom Storebælt og Øresund, hvilket ikke er gjort her. Den trafikale betjening er først og fremmest bestemt af rejsetid og antal brugere, hvilket blandt andet kan få betydning, når løsninger skal vurderes i forhold til hinanden i det videre arbejde med forundersøgelsen. De nordlige korridorer til Djursland (KNN-1) vil i princippet ikke væsentligt afvige fra hinanden på denne parameter og ligeledes vil der ikke være forskel på de sydlige korridorer til Århus Syd (KKN-2).

Overvejelser om projektrisiko er i nærværende Delrapport foretaget efter følgende kategorisering:

- **Lav risiko**
  Lav risiko som ikke giver anledning til yderligere tiltag
- **Acceptabel risiko**
  Acceptabel risiko som med gængse midler, kan reduceres til kun at være lettere forhøjet og acceptabel. Udgifter hertil er medtaget i anlægsoverslagene.
- **Forhøjet risiko**
  Højere risiko som vil kræve mere usædvanlige afhjælpende tiltag. Udgifter hertil er så vidt muligt indregnet i anlægsoverslagene, men efterlader en vis projektrisiko.
- **Uacceptabel risiko**
  Høj risiko, hvor de anlægstekniske løsninger vil kræve usædvanlige afhjælpende tiltag, som ikke er gennemført før, eller hvor projektet under anlæg eller i drift vil overskride acceptgrænser i forhold til risiko for materielle skader eller risiko for menneskers liv og sundhed, som ikke kan reduceres tilstrækkeligt med afhjælpende tiltag.

Anlægsoverslag er præsenteret i afsnit 10, men betragtes ikke som en analyseparameter.

5 Tekniske løsninger

5.1 Tunneler

5.1.1 Tunneler generelt

I det følgende vil vi kort adressere et par emner som er væsentlige for tunnelanlæggets udformning og anlægsøkonomi.

Der beskrives både sænketunnel og boret tunnel på trods af at optegning af løsninger ikke indeholder sænketunneller.

5.1.1.1 Referenceprojekter

Følgende er en liste over de længste vejtunneler på verdensplan der er åbnet for trafik.

Tabel 5-1 Oversigt over længste åbnede vejtunneler

Tunnel	Længde
Lærdal (NO)	24,5 km
Zhongnanshan (CN)	18,0 km
St. Gotthard (SW)	17,0 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

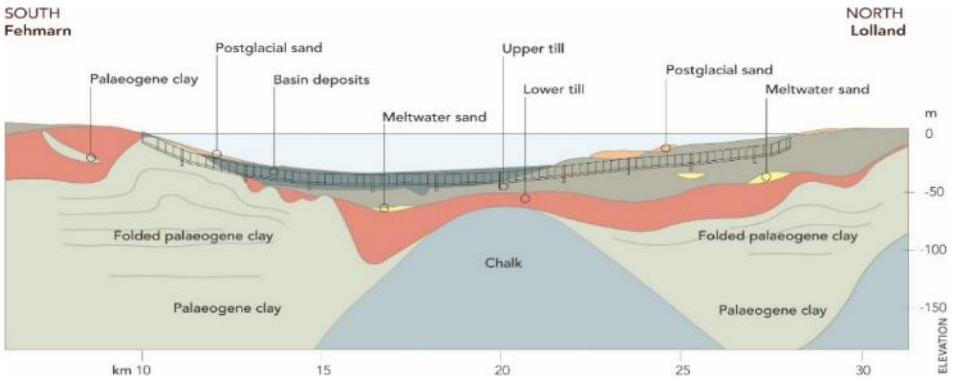
I tillæg til disse er yderligere tre bemærkelsesværdige projekter under udførelse.

- Femern
- Rogfast (sprængt tunnel)
- Lyon-Torino (jernbanetunnel i bjerg)

5.1.1.1.1 Femern

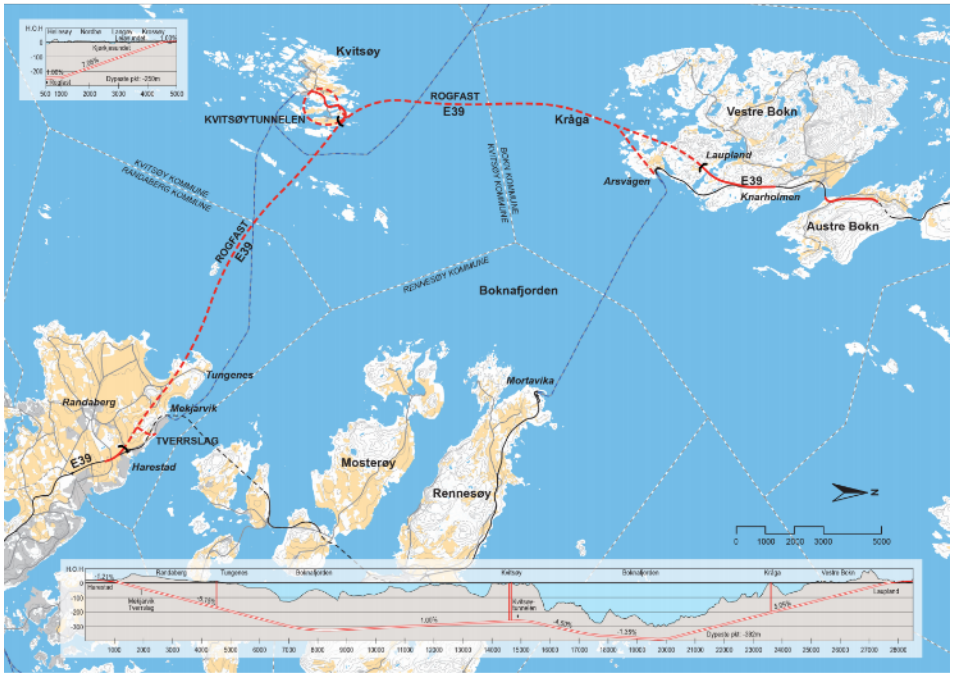
Femern sænketunnel (kombineret vej og bane) er under forberedelse for anlæg og bliver 18 km lang, når den er etableret.

Funktionskrav (bl.a. omkring trafikbetjening og drift) og jord– og havbundsforhold på Femern er sammenlignelig med samme krav og forhold på Kattegat og gør at projektet er det mest relevante referenceprojekt for de vurderede sænketunnelløsninger for en Kattegatforbindelse.



Figur 5-1 Femern tunnelprofil

5.1.1.1.2 Rogfast



Figur 5-2 Rogfast plan (Norge, under opførelse)

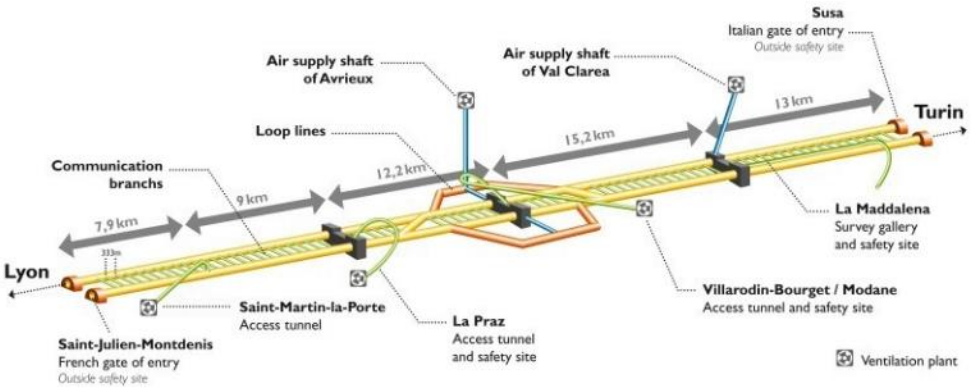
Rogfast er en vejtunnel i Norge med hovedkorridor på 26 km samt afkørsel til øen Kvitsøy på 5 km.

Længste afstand til en portal er ca. 9.5 km. Trafikkapacitet på Rogfast forbindelsen er en lille smule lavere end for Femern og derfor også mindre end for en Kattegatforbindelse. Komfort ved kørsel i meget lange tunneller er udfordret, derfor er opmærksomheden rettet på dette referenceprojekt.

5.1.1.1.3 Lyon-Torino base tunnel

Lyon Torino base tunnelen er ca. 57 km lang og etableret i klippe. Tunnelen skal anvendes både til passagertrafik og til biltog specifikt for lastbiler. Som det ses på nedenstående Figur 5-3 er der igennem tunnelen etableret adgang/redning efter de samme principper som for andre kortere jernbanetunneller. Midtvejs

etableret sidespor og kryds så trafik kan omdirigeres og eventuelt parkeres midlertidigt for hermed at forbedre forhold for driften. Referencen er medtaget for at vise muligheden for drift og vedligehold af meget lange jernbanetunneller.



Figur 5-3 Lyon-Torino Base tunnel, Ventilation, adgang og omkørselsmuligheder

5.1.1.2 Ventilation

Formålet med ventilation af en vejtunnel er todelt:

- Ved normal drift: At sikre at der er tilstrækkelig frisk luft for tunnelbrugere pga. køretøjernes emissioner (CO, NO_X, VOC og partikler)

- Ved brand/eksplosion: At kontrollere røggasser, så tunnelens brugere kan evakueres sikkert og redningstjenester kan komme frem til hændelsen.

Ventilation af tunneler håndteres enten via længdeventilation, hvor selve tunnelrøret anvendes som ventilationskanal, eller som tværventilation med store ventilationskanaler som løber på langs i tunnelrøret, eller i en kombination af disse.

Der stilles bl.a. følgende krav til anvendelsen af tunnelen:

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

Disse krav er forudsætninger for planlægning med langsgående ventilation.

5.1.1.2.1 Ventilation i normal drift

Ved langsgående ventilation vokser forureningskoncentration stort set lineært gennem en tunnel. Uacceptable forureningskoncentrationer i tunnel eller i nærområdet udenfor portaler og afkørselsramper skal undgås.

5.1.1.2.2 Ventilation i tilfælde af brand/eksplosion

Hvis der skulle opstå en brand i tunnelen, så skal der så vidt muligt være mulighed for at trafikken foran branden frit kan forlade tunnelen, så der ikke vil være køretøjer fanget i en røggas der blæses fremad. Figur 5-4 og Figur 5-5 viser principperne ved røggashåndteringen ved henholdsvis langsgående- og trans vers ventilation.

Ved langsgående ventilation blæses røgen ud af vejtunnelen i trafikkens retning. Personer opstrøms brand er sikret da der her er røgfrit, men zonen nedstrøms for brand vil blive røgfyldt og trafikanter i denne zone skal derfor relativt hurtigt flygte ud af tunnelrøret, som derved tømmes for trafik. I dette tilfælde er sikkerhed mod kødannelse i tunnel foran branden derfor vigtig.

Figur 5-4 *Røggashåndtering ved langsgående ventilation – Røgen blæses ud af vejtunnelen i trafikkens retning.*

Ved semi-tværventilation suges røgen ud i en separat kanal (f.eks. under loftet) så personer kan flygte nedenunder røgen. Dette kræver store udsugningskanaler og kraftige ventilatorer i portalbygningerne og af praktiske årsager dimensioneres kanaler normalt kun for røg for brande op til 50 MW. Evakueringen skal derfor være afsluttet inden branden bliver for stor, da selv lastbiler uden farligt gods kan nå 100 MW eller mere.

Figur 5-5 *Røggashåndtering ved udsugning (semi-trans vers ventilation) – Røgen suges væk fra vejtunnelen og op i en kanal. Personer på begge sidder af brand vil være i sikkerhed.*

Med moderne ITS (Intelligent Trafik Styring) har man mulighed for at styre trafik over for kortere tunnelafsnit og lukke for tilkørsel / aflede trafik langs strækningen. Kombineret med øget antal flugtveje og andre tiltag kan langsgående ventilation ofte anvendes.

For en fast Kattegatforbindelse ses i denne fase på mulige linjeføringer og på tunnellængder som er sammenlignelige med Femern tunnelen. På Femern er der udarbejdet et sikkerhedskoncept der beskriver sikkerhedsmålsætning og håndtering af sikkerhedsrisici for brugere af tunnel. På det nuværende grundlag er der ikke basis for at vurdere at myndighedskrav, trafikmængder eller trafiksammensætning skulle resultere i, at man ikke kan genanvende et tilsvarende sikkerhedskoncept som det der er udviklet på Femern.

For sænketunnelløsningen vil der langs hele strækningen være adgang til et sikkert område i form af det modsatte trafikrør via nøddøre. Her anvendes ITS systemet til ikke bare at styre trafik i området, hvor der måtte være en hændelse der skal evakueres fra, men også det modsatte rør hvor man kan f.eks. kan lukke for indkørende trafik, lukke venstre vejbane og reducere hastigheden i højre vejbane – så man langsomt men sikkert får tømt det sikre rør i tunnelen og ikke får standset trafik i begge rør.

For de borede tunneler vil der være adgang til sikkert område og via ramper, som fører ned til et sikkert område under vejbanen hvorfra der kan evakueres. Det må antages, at der vil være behov for en eller anden form for motoriseret evakuering så personer ikke skal vandre op til 10 km til hver ende.

5.1.1.3 Nødspor/nødnicher

Tunneltværsnit for en Kattegat sænketunnelløsning er valgt svarende til Femern tunnelen – det vil sige med nødspor.

Der er ikke noget regelmæssigt krav om nødspor eller nødnicher i tunnelen. EU's tunneldirektiv henviser alene til, at i tilfælde af dobbeltrettet trafik i et 2-spors tunnelrør vil der være krav om nødnicher (”laybays”) i begge sider af røret, så et nedbrudt køretøj kan bugseres til nødnichen og dermed ikke obstruere trafikken.

Det er ikke vurderet operationelt at lede trafik over i det andet tunnelrør, f.eks. i forbindelse med vedligeholdelsesarbejder. Det ville lede til modkørende trafik over en strækning på over 15 km, hvilket midlertidigt vil forøge risikoen betragteligt. Længdeventilationen ville i en sådan situation ikke kunne anvendes som ved ensrettet trafik i en nødsituation, da man således vil blæse røg i retningen hvorfra nogen biler kommer.

Typiske hændelser som punktering, tom brændstoftank eller tabt gods vil have en mindre påvirkning af drift og sikkerhed når man har et nødspor. Der vil være en forhøjet risiko for sammenstød, hvis der er stoppede køretøjer på vejbanen. Lange tunneler uden nødspor eller nicher ville kunne opleve problemer med tilgængelighed, idet autohjælpen til strandede køretøjer kan stoppe eller besværliggøre trafikken i tunnelen, mens hjælpen foregår.

For Kattegatforbindelsen ses p.t. på korridorer der indeholder tunneller med længde op til35 km.. Skal der bores længere (forudsat der bores med TBM fra begge sider mod hinanden) må man forvente behov for at borestrækninger deles op i mindre dele f.eks. i forbindelse med etablering af ventilationsø. Begrænsning af borelængde skyldes slid på TBM maskinens hovedleje. Skulle en TBM af en eller anden grund standse, kræves en intervention som er særdeles kompleks i undersøiske løsninger. Boring uden mulighed for intervention må betragtes at være med en gradvist forøget risiko relateret til den samlede længde. Risikoen kan komme i form af nedbrud til trods for evt. skærpet vedligeholdelse. Som eksempel kan ses Storebælt som blev påbegyndt med 4 TBM, men færdiggjort med 3 maskiner.

For Kattegat vil der skulle bores med en maskine fra hver side, hvor maskinerne er planlagt til at mødes omtrent midtvejs, men i tilfælde af nedbrud af den ene TBM kan det planlægges med en TBM strategi hvor den anden TBM vil kunne bore længere, og overtage boring på en del af den strækning, der var planlagt til den nedbrudte TBM. Det kan være relevant af geologiske årsager at forskyde punktet hvor TBM'erne planlægges at mødes til den ene eller anden side. Dette må vurderes når der foreligger et bedre geologisk grundlag.

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

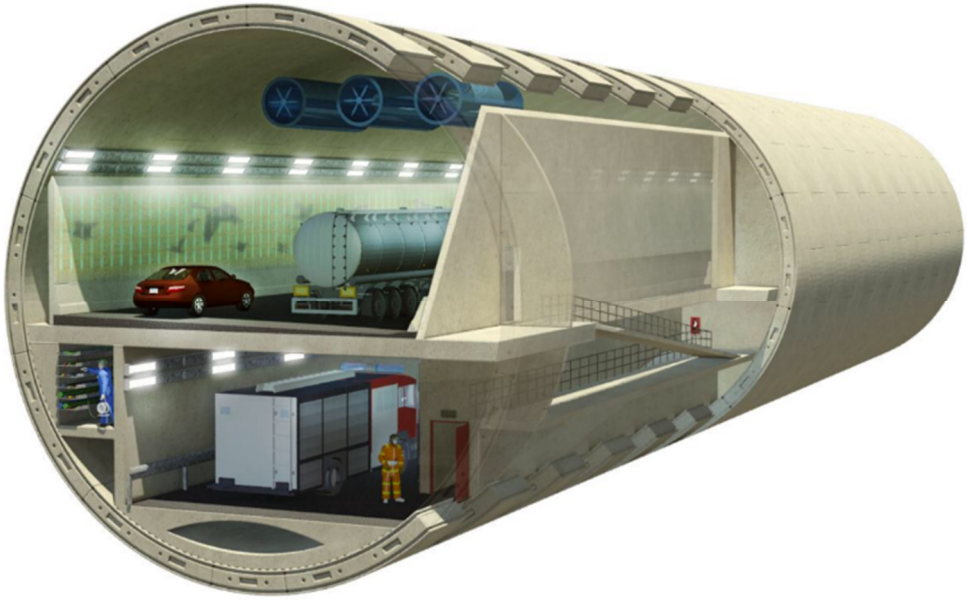
- For en sænketunnelløsning vil der være nicher ved specialelementerne som forventes placeret hver 2 km og hvor alle primære installationer er placeret. Her er på Femern konceptet antaget speciel parkeringsplads for servicepersonalet og adgang via en passage under vejbanen.
- For de borede tunnelløsninger vil de fleste installationer være placeret under vejniveau hvor der er separat adgang.

5.1.1.4 Flugtveje

Flugtveje kan enten være gennem portalerne, galleri, via tværtunneler som forbinder de to tunnelrør med hinanden, eller døre imellem trafikrør i cut & cover og sænketunnel. Borede tunnelrør kan enten forbindes eller der kan etableres et sikkert rum under vejbanen. Af EU's tunnelsikkerhedsdirektiv fremgår det, at der må være maksimum 500 m mellem flugtveje. I lande som Tyskland og Storbritannien har man dog krav om væsentlig kortere afstand mellem disse.

Afstanden imellem flugtveje skal vurderes i en flugtvejsanalyse og risikovurdering og evalueres op imod en sikkerhedsmålsætning defineret i sikkerhedskonceptet, hvori også evakuerings- og interventionsstrategierne indgår. Dette udvikles i forbindelse med det endelige design af den valgte løsning, hvor det ligeledes tilpasses ønsker og krav fra brand- og redningsorganisationer. 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.

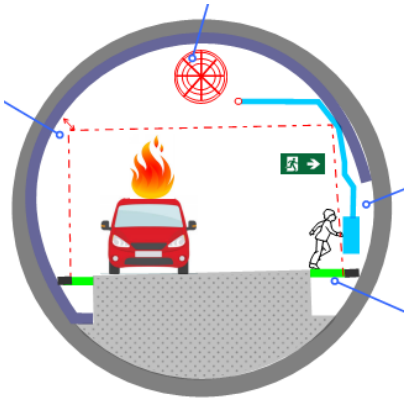
For de borede tunneler er der antaget en flugttrappe/rampe i stedet for (såkaldt escape tower), hvor man kan flygte via rampe med en acceptabel hældning og ned under vejbanen som vil udgøre et sikkert sted, se Figur 5-6.



Figur 5-6 Layout for boret tunnel løsning (eksempel fra Femern boret tunnel koncept studie)

Geometrien af tunnelprofiler (gældende for både sænketunneller og boret tunnel) er tilpasset, så der er plads til al krævet sikkerhedsudstyr såsom brandbeklædning, rør til vandtågeanlæg, lys, brandhaner, jet fans etc., se Figur 5-7. Et oplæg vil være:

- Der etableres nødspor i højre side af tunnelen.
- Der etableres et 1,0 m nødfortov i venstre side af tunnelrør.
- Tunnelen udstyres med hændelses- og branddetekteringssystemer samt foranstaltninger til at stoppe trafik i tilfælde af en hændelse.
- Tunnelen udstyres med vandtågeanlæg.
- Udrykningskøretøjer har adgang via tilslutningsanlæg.
- Vandforsyning etableres med brandhaner per 250 m.
- Bærbare brandslukkere etableres per 150 m.



Figur 5-7 Sikkerhedsudstyr

5.1.1.5 Farligt gods

Forudsat at farligt gods tillades i tunnelen, så skal en tunnel klassificeres for transport af farligt gods i henhold til ADR-konventionen. Der skal etableres en prognose for farlige godstransporter, som skal sikre, at den rette tunnelklassifikation kan foretages.

ADR omfatter fem tunnelkategorier, med følgende overordnede definitioner:

- 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.

EU-tunneldirektivet kræver, at der laves en risikoanalyse til vurdering af transport af farligt gods i en tunnel. Transporter af farligt gods har indflydelse, ikke blot på tunnelen, men også på den region den er beliggende i, 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.

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

Der er ikke p.t. indarbejdet specifikke hensyn til transport af farligt gods i projektet, da tunnelkategori først skal vurderes og risikoanalysen udføres for at afgøre hvilke tiltag, som evt. kræves. Der er dog allokeret plads i tunnelprofilet og økonomi til brandbeklædning og vandtågeanlæg.

5.1.1.6 Servicegalleri

Størrelsen for et centralt galleri i cut & cover og sænketunneler skal også vurderes i en kommende fase i forbindelse med udarbejdelsen af et sikkerhedskoncept for tunnelen.

Det antages p.t., at der ikke af redningsårsager er behov for at et centralt galleri, der skal fungere som langsgående flugtvej. Det anbefales derimod at driftsmæssige årsager at bevare et service galleri imellem vej-rør.

For boret tunnel placeres som udgangspunkt service galleri under vejdækket eller under jernbanen

P.t. baseres løsningerne (både sænketunnel og boret tunnel) på erfaringer og tunneltværsnit fra Femern tunnelen.

5.1.1.7 Drift og vedligehold

Helt overordnet kan følgende siges om de tre konstruktionstyper vedr. drift og vedligehold:

- Boret tunnel
  Der er tale om en kendt og gennemprøvet konstruktion, som primært giver anledning til mindre driftsrisici som følge af vandgennemsivninger ved samlinger. Gennemsivningerne er primært et vedligeholdelsesmæssigt problem for installationerne, så længe de højst har en størrelse op til dryppende vand, , der kan blive nedbrudt af det indtrængende, saltholdige vand.

- Cut & cover tunnel
  Der er tale om en kendt og gennemprøvet konstruktion, som primært giver anledning til problemer som følge af vandgennemsivninger ved bevægelsesfuger og støbe-skel samt ved gennemgående revner.
  Især gennemgående revner skal undgås, da de øger risikoen for armeringskorrosion.

- Sænketunnel
  Der er tale om en kendt og gennemprøvet konstruktion som primært giver anledning til problemer som følge af vandgennemsivninger ved samlinger samt ved gennemgående revner.
  Især gennemgående revner skal så vidt muligt undgås, da de øger risikoen for armeringskorrosion.

  Der kan være problemer med gennemsivninger og korrosion ved elementsamlinger.

5.1.2 Borede tunneler

5.1.2.1 Metoden

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 5-8.

Figur 5-8 Eksempel på opstilling af TBM i startkammer (Dublin Port Tunnel).

En boret tunnel vil indebære en langt dybere beliggenhed under terræn eller havbund end en sænketunnel. Dette skyldes dels den ekstra højde på grund af det cirkulære profil, og dels at den konstruktive virkemåde forudsætter, at der skal være et betydeligt jordlag ovenover (i flg. en tommelfingerregel svarende til tunnelens diameter).

Det anbefales, 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 at antage et jordlag på mindst 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 lange strækninger med cut & cover tunnel til forholdsvis stor dybde.

5.1.2.2 Tværsnit

Ved etablering af en boret tunnel til Kattegat vil der skulle bores 2 eller 3 separate rør:

- To rør, et i hver kørselsretning, med hver med 2 vejbaner
- Et ekstra rør som indeholder begge jernbanespor (i tilfælde af en kombineret løsning)

Figur 5-9 Et eksempel på en boret tunnelkonfiguration (Femern koncept design)

Der er således her lagt op til en 4+0 eller 4+2 konfiguration. 4+1 kan ikke umiddelbart etableres på en økonomisk fornuftig måde.

Under arealet for vej etableres et sikkert flugtareal for bilister, som beskrevet under flugtvejene. Fra et jernbanerør sker flugt til det modsatte spor efter stop af trafikken. Sporene ligger adskilt af en midtervæg som sikrer mod røgspredning.

En boret tunnel kan typisk etableres uden gener for de overliggende arealer.

5.1.2.3 Referenceprojekter

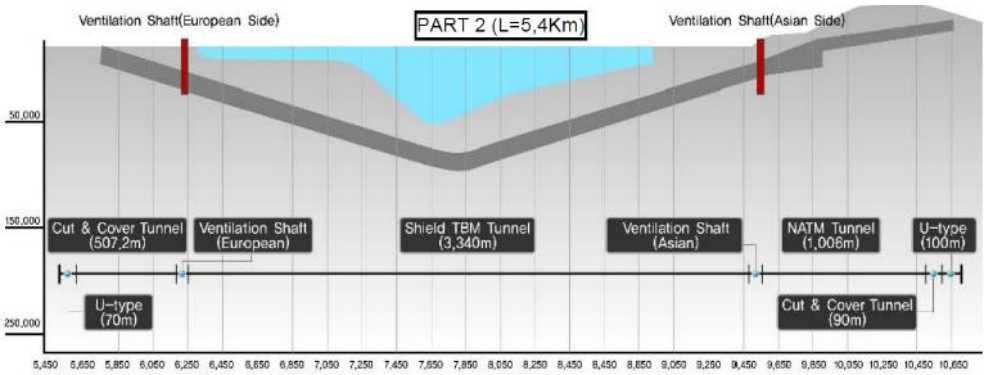
Følgende projekter er relevante i forbindelse med undersøgelse af korridorer med boret tunnelløsningerne.

Tabel 5-2 Oversigt over TBM-maskiner med stort jorddække

Projekt	TBM-type	TBM Diameter	Længde af TBM del	"Jorddække" til TBM-centerlinje	"Jorddække" til TBM-bund
Storebælt	EPB	8.5 m	8,0km	71 m	79 m
Madrid M30	EPB	15,4 m	4,8km	70 m	77 m
SR99 Seattle	EPB	17,5 m	3,2km	66 m	75 m
TMCLK (Tuen Mun–Chek Lap Kok Link)	mixshield TBM	14,0 m	4,2km	55 m	62 m
Shanghai. Project S –317	mixshield TBM	15,0 m	7,5km	65 m	73 m
Eurasia Tunnel	mixshield Slurry	13,7 m	3,3km	99 m	106 m

Som det ses, kan et bundniveau på cirka 75 m betragtet som velafprøvet, mens bundniveauer dybere end dette må vurderes at kræve nærmere foranstaltninger. Hvis der antages en TBM-diameter på 15 m og en ønsket jorddække på 1 x Diameteren, vil det sige at TBM-løsninger kun kan betragtes som velafprøvede under havbundsniveauer op til -45 m.

Som det ses af Tabel 5-2 adskiller Eurasia tunnelprojektet sig fra ovennævnte regel og er bemærkelsesværdigt med sit maksimale dybdepunkt 106 m under vandoverfladen.



Figur 5-10 Eurasia tunnel projekt. (max vandtryk 106 m)

Der er dog tale om en relativ kort TBM-tunnel på 3.34 km som af markedet karakterises som "*En af de dristigste tunnelopgaver nogensinde*". Kombinationen af lange borede tunneler som nærmer sig grænsen for udførelse af TBM kan ikke anbefales sammen med rekord-dybder, hvorfor de 75 m dybde vurderet som velafprøvet vil indtil videre blive brugt som grænsen for de udarbejdede løsninger.

5.1.2.4 Vej

En vejtunnel vil kunne etableres med to tunnelrør, som kræver en nominel indvendig diameter på 14,2 m. Dette svarer til tværsnit vurderet nødvendigt for Femern vejtunnel

5.1.2.5 Kombineret vej og bane

En jernbanetunnel med 2 spor vil skulle etableres i et separat tunnelrør og antages her at kræve en nominel indvendig diameter på 15,2 m. Dette svarer til tværsnit vurderet nødvendigt for Femern jernbanetunnel

5.1.2.6 Tunnelportaler

Der henvises til afsnit 5.1.3 hvad angår størrelsen på portalanlæggene. Tunnelportalen vil være rykket et væsentligt stykke væk fra kysten for at sikre tilstrækkeligt jorddække over den borede tunnelstrækning i forhold til sænketunnelløsninger.

5.1.3 Cut & cover tunnel og portalbygninger

5.1.3.1 Metoden

Cut- & cover-metoden er karakteriseret ved, at tunnelen støbes på stedet enten i en åben udgravning, hvorefter der tilbagefyldes med jord eller imellem afstivende vægge i form af spuns, sekantpæle eller slidsevægge. Alternativt kan bygges med åben udgravning, men dette kræver en yderlige kontrol med grundvand.

På Kattegatprojektet forventes cut & cover-metoden 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 vurdering af behovet for grundvandssænkningsanlæg i og med, at der er et større antal placeringer som fortsat er 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 5-11. Da der ikke forventes anlæg i direkte nærhed til sætningsfølsomme bygninger og områder i øvrigt vil det primære fokus i anlægsperioden være at sikre byggegruben.

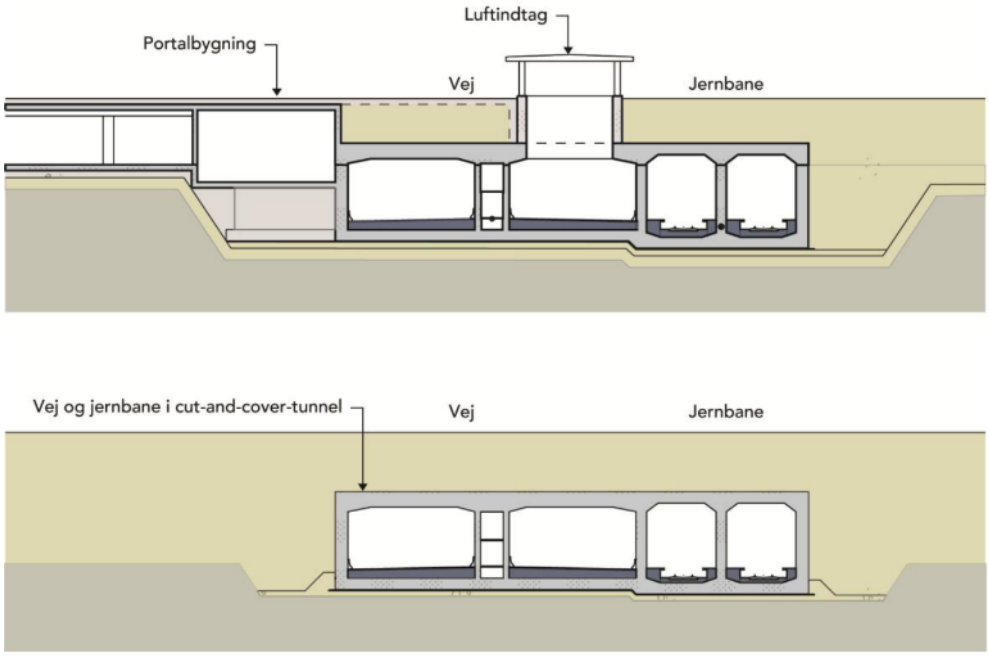
Anlæg forventes at blive etableret uden permanent grundvandssænkning (modsat Storebæltstunnelen).

Figur 5-11 Eksempel på anlæg af cut & cover tunnel (Kastrup, København)

I tilfælde af udgravning med frie skråninger vil der kunne opnås en væsentlig besparelse på op mod 30% af prisen på udgravning med støttevægge. Muligheden for dette vil kunne vurderes i en kommende fase, når antal mulige placeringer er indskrænket.

5.1.3.2 Tværsnit

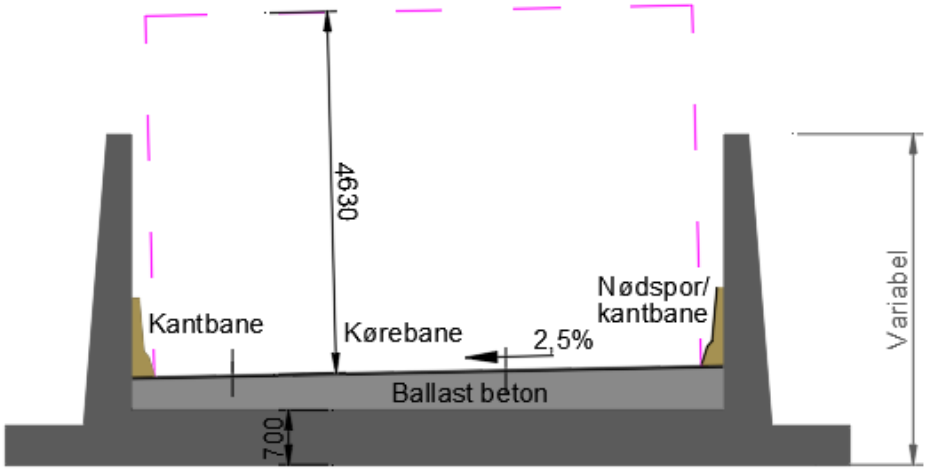
Cut & cover og portalbygning kan have et tværsnitsprofil som vist på Figur 5-12 nedenfor. Der er ikke et separat servicegalleri til installationer. Elinstallationer placeres i stedet udenfor tunnelprofilet på begge sider og afvanding lægges ned i kantbanen.



Figur 5-12 Cut & cover og Portalbygning (Eksempel fra Femern)

5.1.4 Trug

Som overgangskonstruktion mellem cut & cover tunnel og vej i terræn etableres en trug-konstruktion. Dette gøres på den del af strækningen hvor der ikke er behov for en tagkonstruktion, men dog stadig er jord og grundvandtryk på bund og vægge. Her udføres rampen som et betontrug med lukket bund og sider.



Figur 5-13 Trug profil (eksempel fra Østlig Ringvej)

5.1.4.1 Tærskelniveau mod stormflod og ekstremt regnskyl

For sikring mod oversvømmelse fra stormflod og ekstremt regnskyl er det nødvendigt at føre trugkonstruktionen op til et niveau hvor vand ikke kan løbe ned i tunnelen. Dette niveau vil være afhængigt af de lokale forhold omkring enden af trugkonstruktionen, i form af omkringliggende landskab og nærhed til havniveau.

5.2 Broer

5.2.1 Bjælkebroer

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

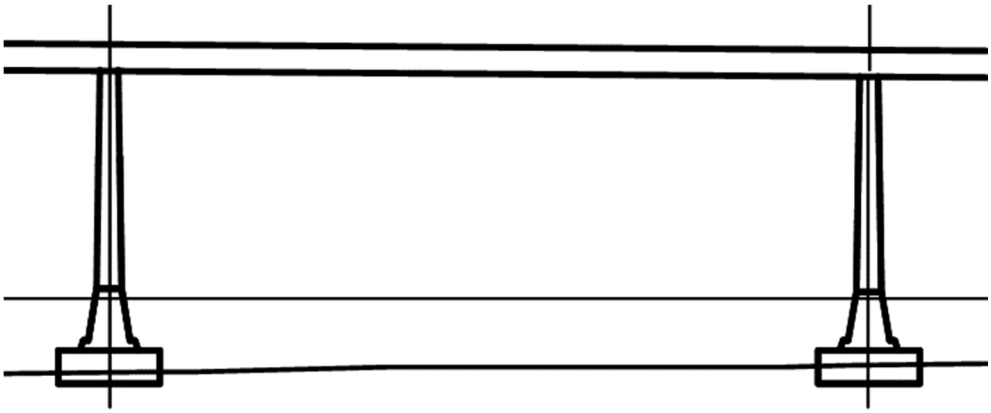
5.2.1.1 Højbro

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

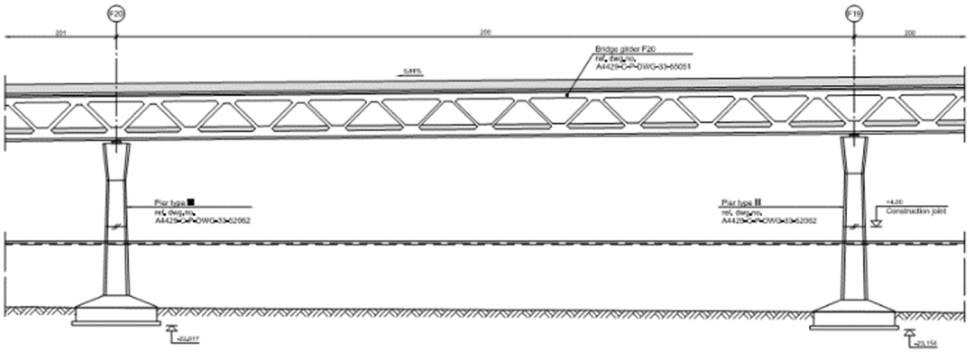
- Krav om stor navigationsbredde og højde;
- Minimering af risiko for skibsstød;
- Stor vanddybde og dermed fordel af større spændvidde og færre bropiller.

Spændvidde for højbro på Kattegatforbindelsen er fastlagt til 200 m af følgende grunde:

- For en vejbro er dette sammenligneligt med tilslutningsfagene på Storebælt Østbro, som har spændvidde på 193 m, se Figur 5-14;
- For en kombineret vej og jernbane er denne spændvidde fundet optimal for tilsvarende tilslutningsfag for Femernbælt konceptdesign, se Figur 5-15. Trods mindre toglast er øget spændvidde ikke foreslået på grund af moderat vanddybde og forventede gode funderingsforhold;
- Den nødvendige navigationsbredde for broer, der krydser sejlrender vest for Hjelm og nær Samsø, er skønnet til 170 m, hvorfor 200 m spændvidde er valgt her. I det videre arbejde med sejladsanalyser, skal det dog undersøges om denne antagelse er acceptabel.



Figur 5-14 Højbro med trafik i ét niveau (eksempel fra Storebælt Østbro)



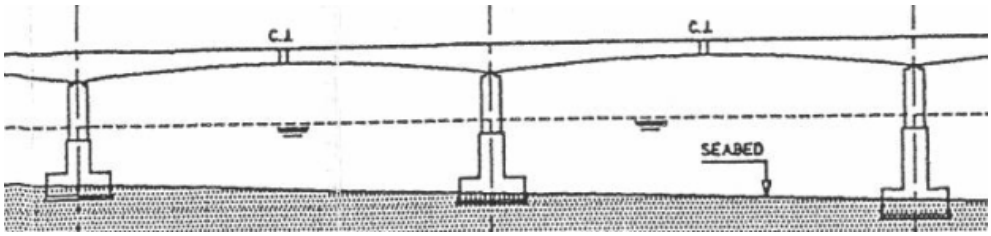
Figur 5-15 Højbro med trafik i to niveauer (eksempel fra Femernbælt konceptdesign)

5.2.1.2 Lavbro

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

- Kun krav om ingen eller lille 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 Kattegatforbindelse Sjællands Odde til Jylland er fastlagt til 100 m. Denne spændvidde er baseret på Storebælt Vestbro som typisk har 110,4 m lange fag, se Figur 5-16.



Figur 5-16 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 antallet af bropiller samtidig med, at overbygningen ikke bliver tungere end, at brofag kan sejles ud og monteres i fuld faglængde. Endelig sikrer den lidt større spændvidde broen bedre mod skibsstød og giver gode sejladsforhold for lystbåde.

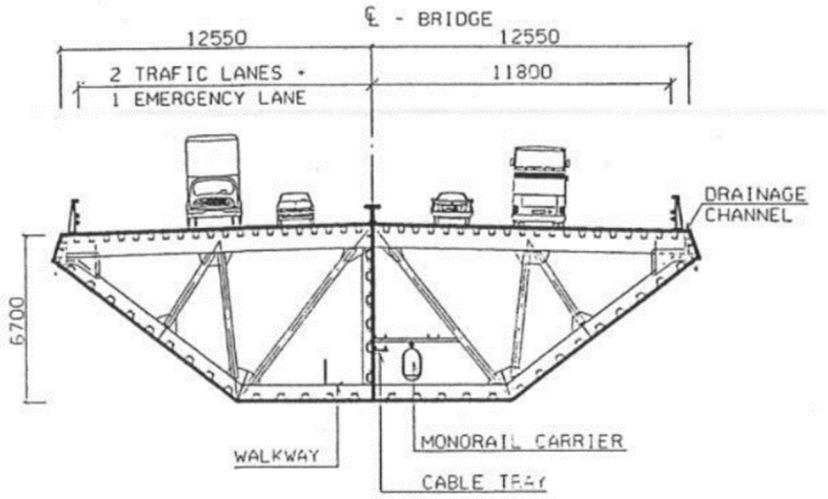
På Storebælts Vestbro har brodrageren varierende højde og fabrikeredes på land i segmenter med længder svarende til spændvidden, med en halv faglængdes udkragning til hver side af understøtningspunktet over bropillen. De præfabrikerede fag støbtes sammen ved fagmidte på stedet.

5.2.2 Brotværsnit

De viste brotværsnit er taget fra referenceprojekter, hvorfor brobredde ikke altid er identisk med den foreslåede for Kattegat.

5.2.2.1 Vej

Brotværsnit for bjælkebroer er for højbro udformet som en lukket kassedrager i stål pga. relativ stor spændvidde. Dette sikrer lav vægt, præfabrikation på land og let vedligeholdelse. Brodrageren har konstant højde på 7 m. Brotværsnit er vist i Figur 5-17.



Figur 5-17 Højbro med vejtrafik (eksempel fra Storebælt Østbro)

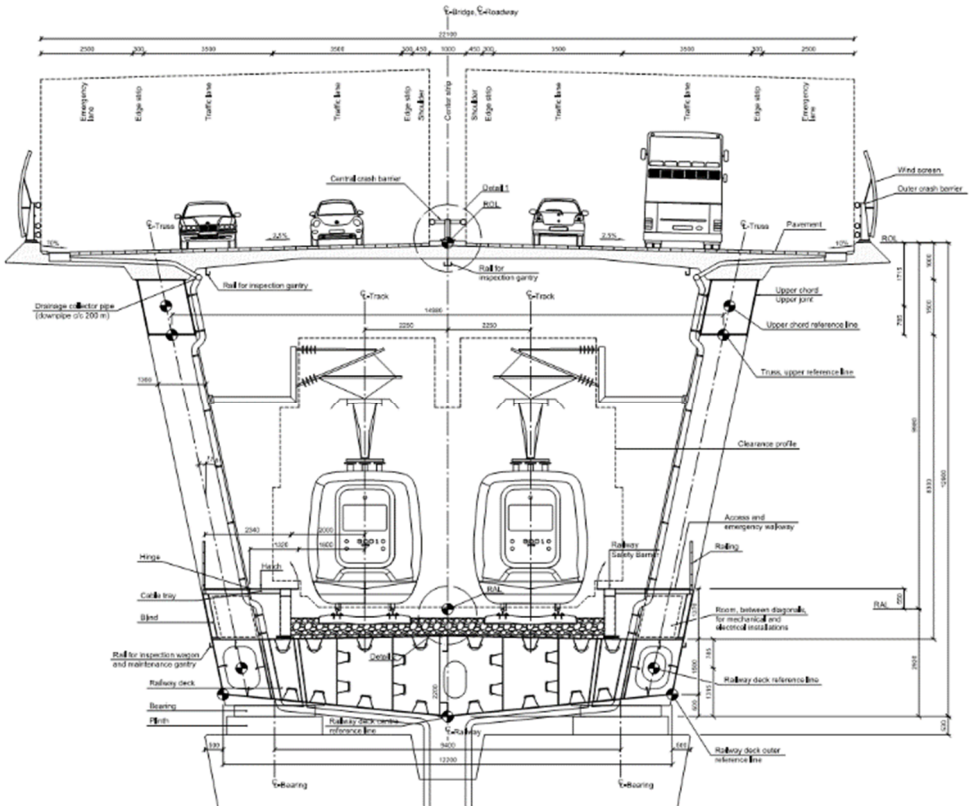
Alternativt kan brotværsnit også udformes som betondrager med variabel dragerhøjde, men for 200 m spændvidde vil det resultere i en meget høj drager, som typisk bygges med fri frembygning enten støbt på stedet eller udført af præfabrikerede segmenter. En betonløsning er gunstigere end en stålløsning med hensyn til skibsstød, da en tungere overbygning giver højere kapacitet mod skibsstød.

Brotværsnit for bjælkebroer er for lavbro udformet som en lukket kassedrager i beton pga. moderat spændvidde. Dette sikrer en billigere overbygning, præfabrikation på land og minimal vedligeholdelse.

For vej-lavbro med 100 m spændvidde har brodrageren varierende højde, som vist i Figur 5-16. Dragerhøjde er 7 m ved piller og 3.5 m i midten af fag. Tværsnit er udformet, som vejdelen vist i Figur 5-19.

5.2.2.2 Kombineret vej og bane

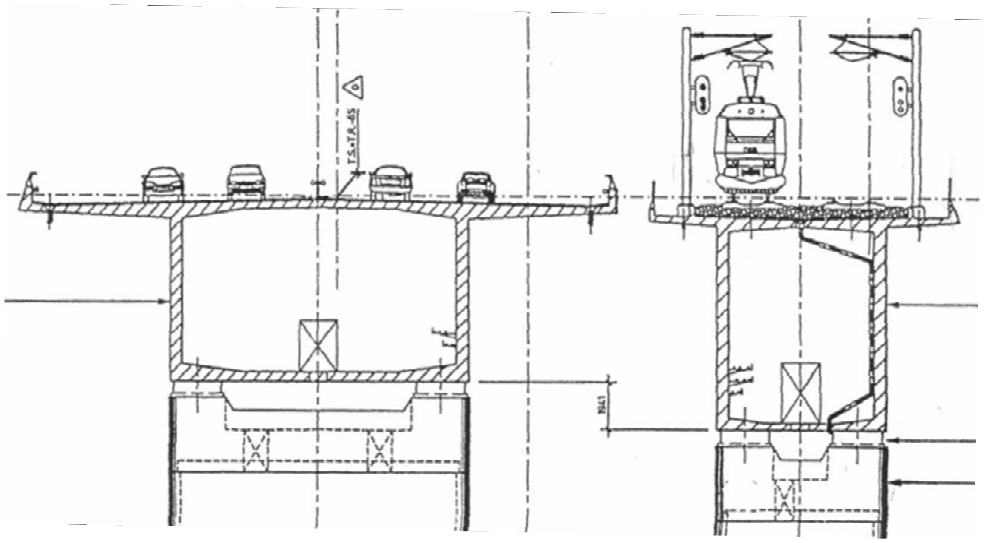
Brotværsnit for bjælkebroer er for højbro udformet som en gitterdrager i stål og beton pga. stor spændvidde. Dette er strukturelt en gunstig tværsnitsudformning, som sikrer høj stivhed, høj styrke og relativ lav vægt. Brodrageren har konstant højde på ca. 13 m. Brotværsnit er vist i Figur 5-18. Øverste dæk til vej er udformet i beton, da dette er økonomisk gunstigt for bjælkebroer, hvor den ekstra egenvægt af betondækket ikke er så betydende som i en kabelbåren bro.



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

Brotværsnit for bjælkebroer er for lavbro udformet som to parallelle lukkede kassedragere i beton pga. 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 5-16. 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 5-19.



Figur 5-19 Lavbro med trafik i et niveau (eksempel fra Storebælt Vestbro)

5.2.3 Brounderbygninger

Brounderbygninger omfatter:

- Bropiller
  - Fundamenter
  - Pilleskafter

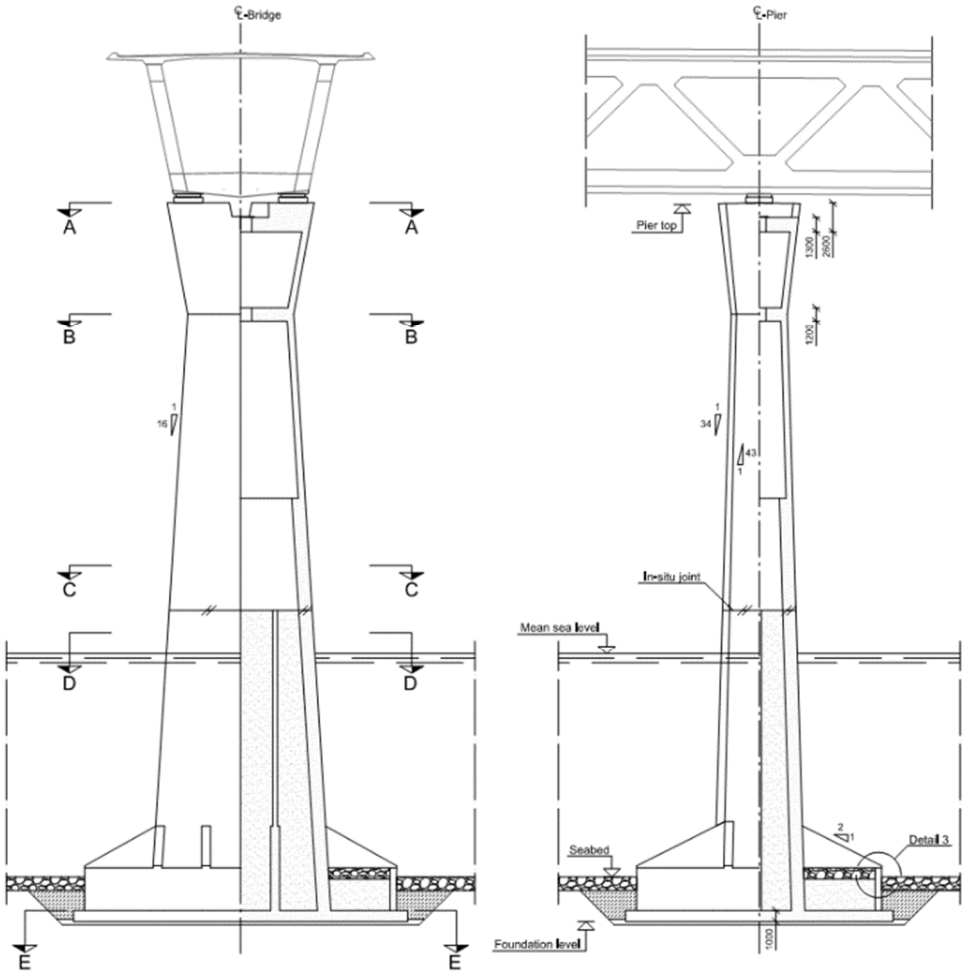
Al underbygning er af beton.

5.2.3.1 Funderingsforhold

Se afsnit 6.2.1.

5.2.3.2 Bropiller

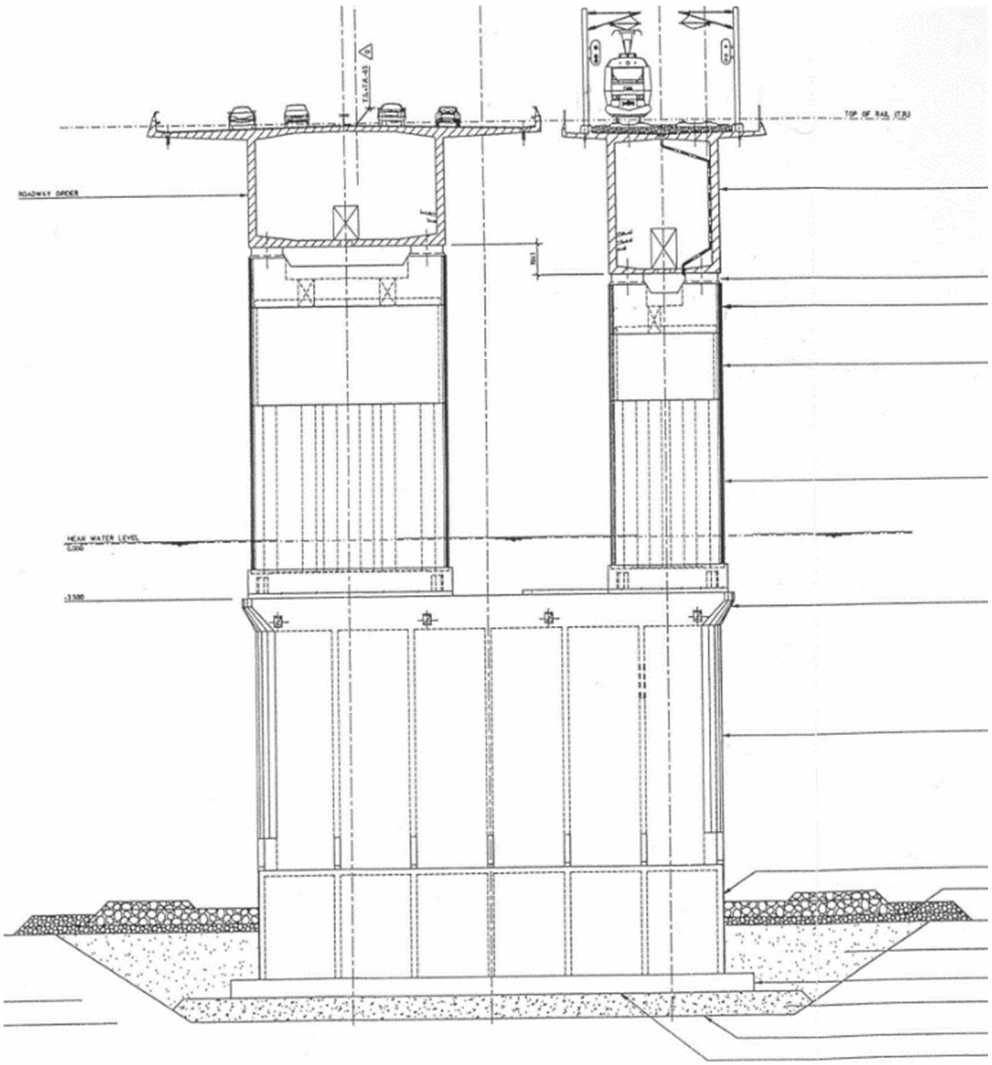
Typisk vil der være tale om direkte fundering, og derfor er anvendt caisson fundamenter med pilleskaft ovenpå. Eksempel på udformning af bropille for højbro er vist i Figur 5-20.



Figur 5-20 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 5-21. 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 p.gr.a. en bredde af brodæk på næsten 40 m.

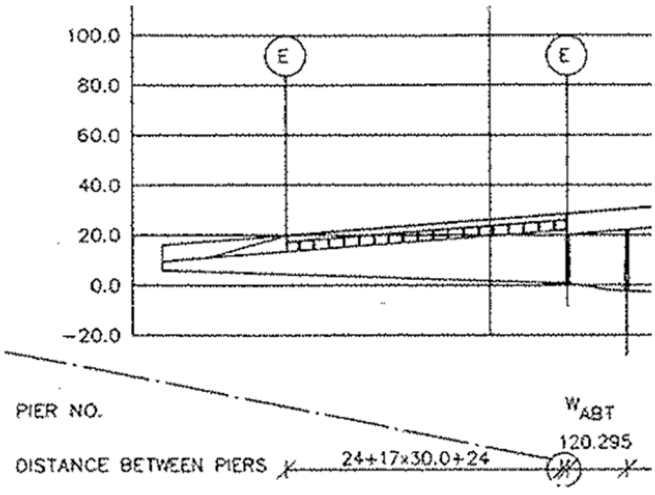


Figur 5-21 Bropille lavbro (eksempel fra Storebælt Vestbro)

5.2.4 Udfletningsanlæg imellem bane og vej på land

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 antaget gjort med en betonbro-løsning som på Peberholm (Øresundsbroen), se Figur 5-22 og Figur 5-23.

Figur 5-22 Udfletningsanlæg luftfoto (eksempel fra Øresund Peberholm)

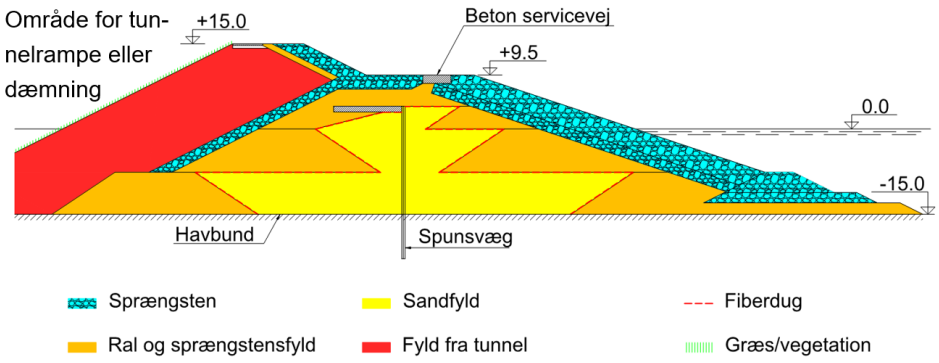


Figur 5-23 Udfletningsanlæg opstalt (eksempel fra Øresund Peberholm)

5.3 Kunstige øer

For KKN-1.3, KKN-1.5 og KKN-2.2 skal der etableres kunstige øer der forbinder tunneler og broer. Foreløbig placering ses markeret på Figur 8-1 og på Bilag 8-1 i Bilagsmappen. Med den nuværende detaljeringsgrad er der meget lille forskel

på opbygning og ydre forhold (bølger og vanddybder) af de to øer på KKN-1.3 og KKN-1.5. De er opbygget principielt tilsvarende den kunstige ø på KKN-2.2, blot er de større, da de er beliggende på noget større vanddybde. En principiel opbygning af sidstnævnte er vist Figur 5-24.



Figur 5-24 Principielt tværsnit af perimeteren af kunstig ø ved KKN-2.2.

Følgende er antaget:

- Længden af øen er bestemt ud fra den maksimale stigning af vej/bane.
- Bredden af øen er sat til 200 m ved vandlinje svarende til Peberholm.
- For en foreløbig vurdering er det antaget, at dybden er 15 m hhv. 23 m for KKN-2.2 hhv. KKN-1.3 og KKN-1.5 alle steder, hvor dæmningen/perimeter-konstruktionen rundt om øerne skal udføres. I denne foreløbige analyse er der antaget flad bund i kote -15 m, også for KKN-2.2 der er beliggende på relativt højtliggende havbund med dybden i de fleste sektioner beliggende på hældende havbund. ¤
- Det er her antaget, at havbunden alle steder består af jordarter, som har en tilstrækkelig bæreevne til dæmningen. Hvis det viser sig ikke at være tilfældet, kan bundudskiftning eller anden forstærkning af havbunden komme på tale.
- 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 5-24.
- Det vides ikke om tunnelfylden vil have en tilstrækkelig permeabilitet til at det kan undgås at sikre med en spunsvæg hele vejen rundt i øernes kerne. Der er derfor forudsat en spuns til sikring af lav vandgennemstrømning.

Der er på dette grundlag udarbejdet et typisk profil for dæmningen/perimeter-konstruktionen. Der er til dette profil valgt en design bølgehøjde på, H_s = 6 m og en kronekote for stenkonstruktionen på +9,5 m, hvor der er en beton-servicevej med en bredde på 5,0 m tilsvarende servicevej som anlagt på Sprogø. Hældningen af dæklaget er 1:3 op til kote +9,5 m.

6 Geotekniske forhold

Linjeføringerne fra Sjællands Odde til Jylland (KKN-1, KKN-2) er screenet geoteknisk i en korridor på ca. 50 km bredde baseret på offentligt tilgængelige geotekniske databaser (JUPITER) suppleret med relevant kortmateriale i form af jordartskort, andre geologiske, tematiske kort fra GEUS samt søkort.

Den geologiske model for de nordlige korridorer (KKN) anvender samme geologiske (hydrostratigrafiske) enheder som i delrapporten fra marts 2020 [3], og geotekniske parametre for den geologiske model skal derfor indledningsvis hentes fra screeningsrapporten, [4]. Der er behov for supplerende klassifikationsforsøg og andre geotekniske laboratorie- eller feltforsøg til bestemmelse af materialeparamtre, hvis de nordlige korridorer skal undersøges yderligere.

Formålet med den geologiske og geotekniske screening i denne rapport er at beskrive funderingsforholdene ud fra offentlig tilgængelig viden for en mulig Kattegatforbindelse mellem Sjællands odde og Jylland med fokus på linjeføringerne KKN-1.3, KKN-1.5 og KKN-2.2.

6.1 Overordnede geologiske forhold

Den geologiske model for Kattegat Kyst-Kyst består af 8 hydrostratigrafiske hovedenheder, som angivet nedenfor:

- Post-glaciale aflejringer
  - Postglacial tørv og gytje
  - Postglacial sand
  - Senglacial ler
- Øvre sand
  - (Sen)glaciale forekomst af sand og grus
- Øvre ler
  - Smeltevandsler
  - Moræneler
- Mellem sand
  - Smeltevandssand og -grus
  - Svagt leret morænesand/-grus
- Mellem ler
  - Smeltevandsler
  - Moræneler
- Nedre sand
  - Smeltevandssand og -grus
  - Svagt leret morænesand/-grus
- Nedre ler
  - Smeltevandsler
  - Moræneler
- Prekvartære aflejringer

- Kalk/kridt
- Palæogent ler

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

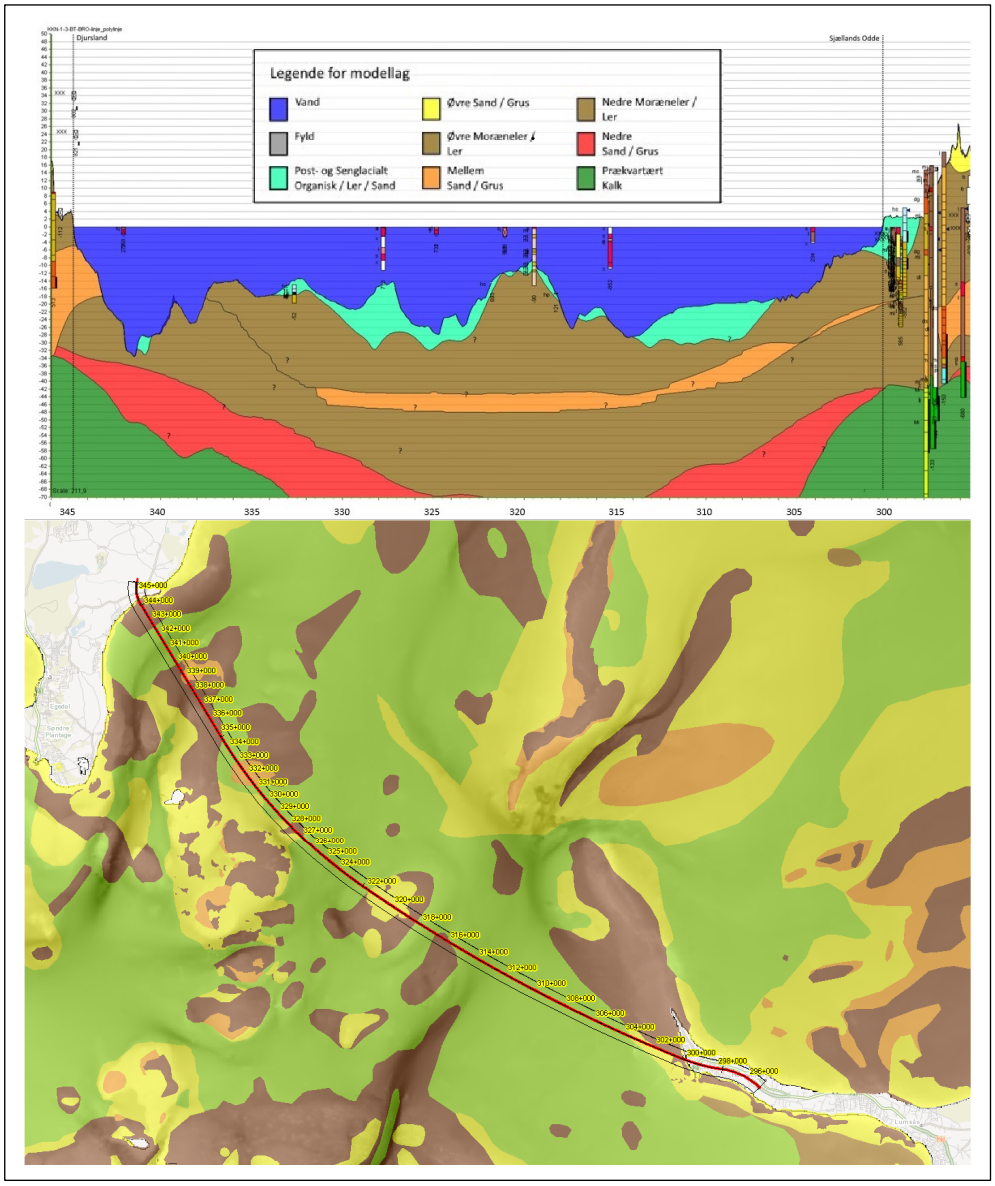
Den geologiske model for området mellem Sjællands Odde og Jylland er eksemplificeret for linjeføringen KKN-1.3 for den kombinerede borede tunnel/bro-løsning med en kunstig ø cirka midtvejs på strækningen. Linjeføring er skitseret på planen med sedimentkort (Figur 6-1). Grønne områder angiver de dele hvor havbunden overvejende består af bløde, organisk-holdige sedimenter, mens brun angiver fritlagt glacial moræneler/sand. Gul markerer sandbund.

Længdeprofilet viser, at der ved kysterne, i de dybe render samt på Yder Flak kan forventes glaciale/senglaciale funderingsegnede aflejringer nær havbund.

Det er dog vurderingen, at der kan være sedimenter (evt. mobile grundet strømforholdene) i disse områder, som ikke ses på den geologiske model grundet manglende geotekniske boringer lokalt i disse områder. Det betyder, at man i disse områder skal forvente, at der skal graves i større udstrækning end denne model antyder, for at sikre placering af fundamenter på bæredygtige lag.

På begge sider af Yder Flak (se kort i Bilag 6: km 304 til 315 samt km 320 til 330 for KKN-1.3), forventes større områder med bløde sedimenter, som skal bortgraves for at nå bæredygtige aflejringer. Tykkelsen af disse sedimenter kan være op til 8-10 m, men den konkrete placering af disse er forbundet med stor usikkerhed grundet at datagrundlaget er yderst begrænset. Konkret vurderes anormaliteten i den øvre moræneoverflade mellem km 322 og 328 (se kort i Bilag 6), herunder især den meget dybe dal ved km 326,5, hvor sedimentlaget er op 15 m tykt, at være en konsekvens af interpolationsmetode og begrænsede datapunkter i dette område.

De øvre prækvartære aflejringer i dette område forventes primært at bestå af kalk/kalksten. Dog kan palæogent, plastisk ler enkelte steder udgøre den øverste del af prækvartæren, ligesom der må forventes at optræde større eller mindre flager af plastisk ler i de overliggende kvartære glaciale aflejringer. Disse flager/lag kan have betydelig indflydelse på styrke- og deformationsegenskaber for de enkelte områder. Datagrundlaget er dog på nuværende tidspunkt ikke stort nok til at kunne udpege områder med prækvartære flager specifikt.



Figur 6-1: *Øverst: Geologisk længdesnit for korridor KKN-1.3 (boret tunnel/bro)*
Nederst: Linjeføring KKN-1.3 på baggrund af jordartskort
(Bilag 6-1 og 6-2 i bilagsmappen)

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. Som nævnt ovenfor er der sandsynligvis større mægtigheder (5-12 m) af post-glaciale aflejringer på begge sider af Yder Flak, hvilket vil kræve betydelig gravning.

Det er erfaringen, at der kan være enkelte lommer af palæogent ler i de glaciale lag. Disse lommer øger risikoen for sætninger af fundamenterne, som evt. må imødegås ved pæleforstærkning eller egentlig pælefundering. Baseret på det ovenstående geologiske profil er det forventningen at risikoen er stigende ind mod kysterne, hvor de prækvartære aflejringer findes i lavere dybde og de glaciale lag generelt er tyndere. Særligt kan det forventes, at KKN-2.2 vil blive påvirket af palæogene leraflejringer, da disse er relativt overfladenære i Aarhus Bugt.

6.2.2 Borede tunneller

Generelt skal der bores i glaciale aflejringer – i forhold som er sammenlignelige med Storebælt.

Sten udgør en risikofaktor, men mængden og størrelsen af disse kan vurderes med modellen udviklet for Storebæltsforbindelsen.

6.2.3 Kunstige øer og undersøiske rev

Der er lagt op til at etablere en kunstig ø som overgang mellem bro og tunnel. For KKN-1.3 og KKN-1.5 er øen placeret i et område med ca. 20 m vand. Bundforholdene kan være præget af betydelige forekomster af bløde sedimenter 5-15 m jf. ovenstående screening, hvilket vil påvirke både udformning og udførelsen af disse anlæg signifikant.

For KKN-2.2 er den kunstige ø placeret på et rev med lav vanddybde (ca. 5-6 m). Revet forventes at være en glacial/senglacial bakkeø, hvor mægtigheden af blødbund er yderst begrænset, hvilket gør anlæg af en kunstig ø simplere.

Generelt anbefales det at fjerne evt. blødbund direkte under vej/jernbane, så sætningsrisikoen minimeres. Alternativt kan vælges at jordforstærke. Begge metoder er omkostningstunge.

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 Sejladssikkerhed

Brokonstruktionerne i den faste forbindelse vil udgøre en ny forhindring for skibstrafikken i farvandet mellem Sjællands Odde og Djursland og i Aarhus Bugt. Uhindret og sikker afvikling af skibstrafikken omkring og igennem en broløsning skal tænkes ind i løsningen både ved broens placering og design, og ved et tilhørende praktisk og sikkert arrangement af skibstrafikken. Selvom dette er opnået, vil skibstrafikken alligevel udgøre en risiko for påsejling af brokonstruktionerne og såvel broens placering og design, som skibstrafikkens omfang, sammensætning og arrangement vil være bestemmende for, hvorvidt denne risiko kan bringes til et acceptabelt niveau og hvor store omkostninger, der er forbundet hermed.

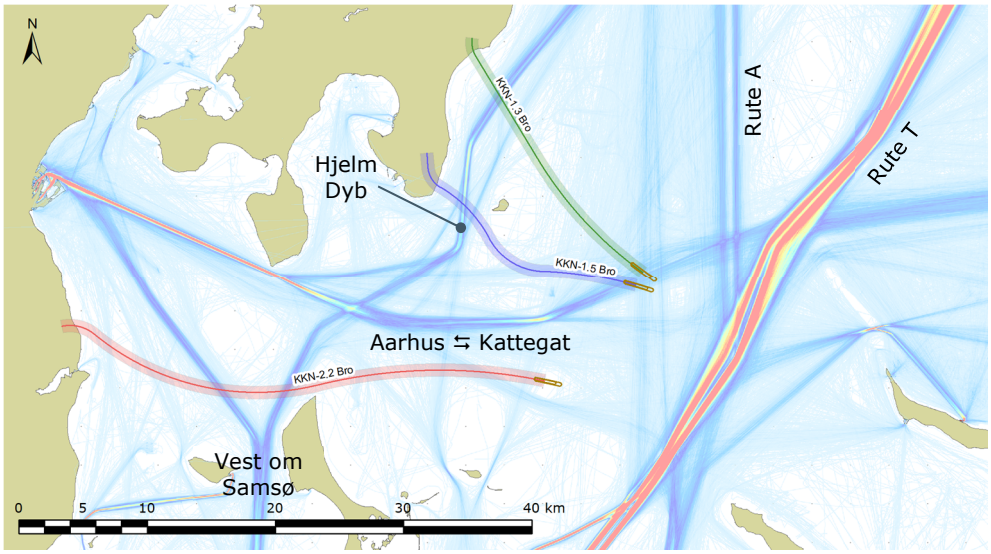
Den nedenstående diskussion og evaluering af de foreløbige KKN-korridorer indeholder en kvalitativ vurdering og scoring af løsningernes kvaliteter og udfordringer i forskellig henseende, og den giver mulighed for en mere rationel sammenligning af løsningerne på tværs af de forskellige vurderingsparametre. I afsnit 7.5 sammenfattes og kommenteres scoringen og der gives en anbefaling til korridorernes projektrisiko med udgangspunkt i sejladssikkerheden.

7.1 Aktuel skibstrafik

Skibstrafikken vist i Figur 7-1 er domineret af den store og for det meste gennemgående trafik på Rute T og af Rute A. Trafikken med umiddelbar betydning for bro-delen af de foreløbige korridorer er:

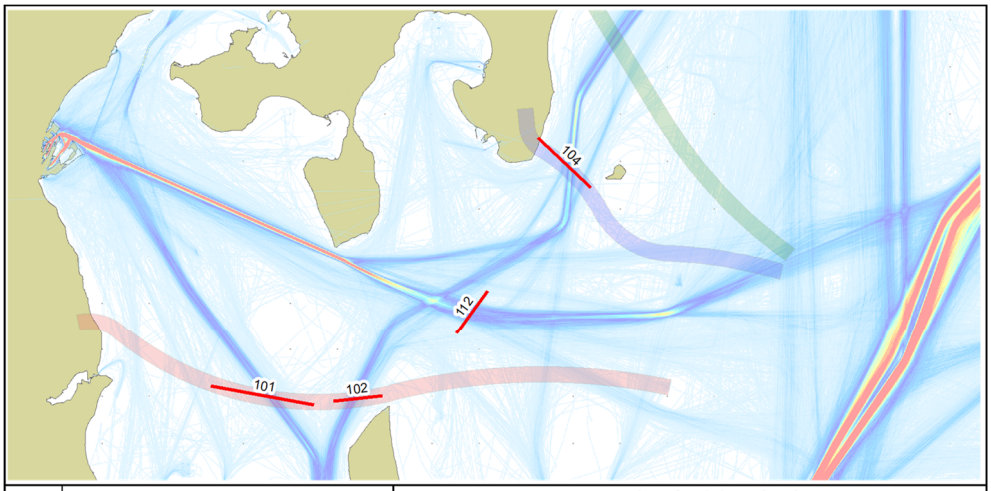
- Trafikken gennem Hjelm Dyb
- Trafikken Vest om Samsø
- Trafikken mellem Aarhus Bugt og Kattegat

Omfanget og sammensætningen af den kommercielle skibstrafik på disse ruter er sammenfattet i Tabel 7-1. Trafikken på de tre ruter er af samme størrelsesorden (2000-2600 passager per år), men trafikken mellem Aarhus Bugt og Kattegat (Linie 112) har den største andel af store skibe. Trafikken vest om Samsø (summen af trafikken over Linie 101 og 102) udgør også ca. 2600 passager per år, men med større relativ andel af små (25-50m) til mellemstore (100-150m) skibe.



Figur 7-1 *Tætheden af den kommercielle skibstrafik i omegnen af de foreløbige KKN-korridorer.*

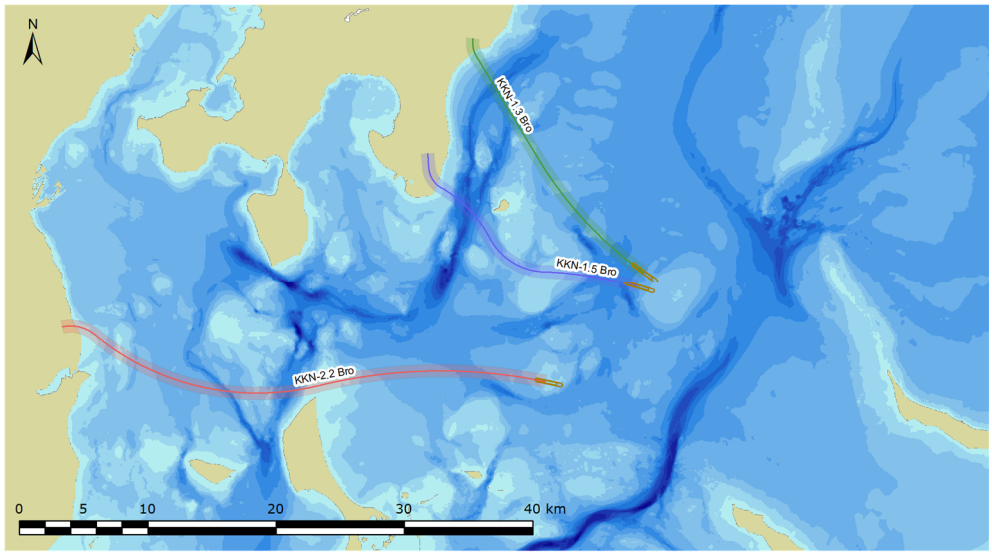
Tabel 7-1 *Kommercielle skibes passager af udvalgte krydsningslinjer for året 2018*



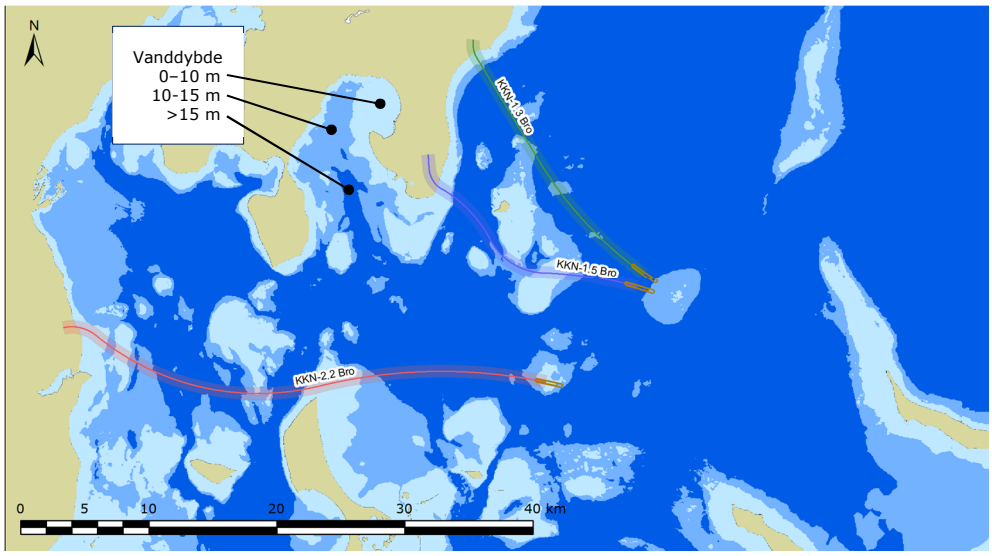
	Passager i 2018			Størrelsesfordeling (L_{OA})						
Linie	Syd-gående	Nord-gående	Samlet	0 - 25 m	25 - 50 m	50 - 100 m	100 - 150 m	150 - 200 m	200 - 300 m	300 - 400 m
101	624	723	1,347	32	295	540	341	119	18	1
102	646	648	1,294	85	236	768	163	30	11	1
104	970	1,035	2,005	175	367	968	393	67	27	8
112	1,307	1,315	2,622	19	86	549	835	893	156	85

7.2 Skibstrafikkens betingelser og arrangement

Den navigationsmæssige frihed i området dikteres af bathymetrien (se Figur 7-2 og Figur 7-3) og der ses et umiddelbart sammenfald imellem de naturligt dybe render (de mørke områder på Figur 7-2) og skibstrafikken i Figur 7-1. Den langt overvejende del af skibene, der besejler området, har en dybgang på under 15 m, og af Figur 7-3 fremgår det, at store områder udenfor renderne har tilstrækkelig vanddybde til besejling. Det giver mulighed for en mere fri navigation udenfor renderne, og det let udspredte trafikbillede i Figur 7-1 antyder at denne frihed anvendes i nogen udstrækning.



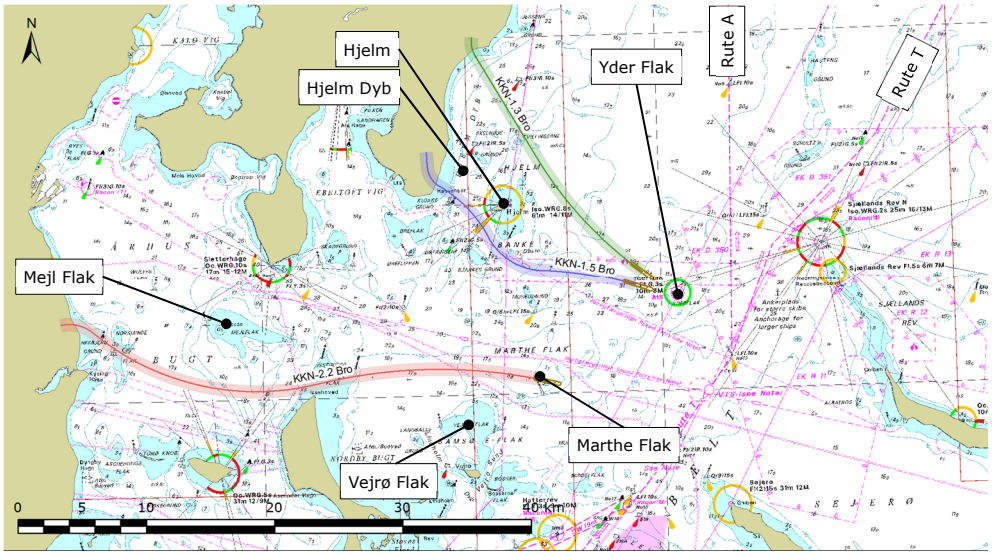
Figur 7-2 *Bathymetrien i området vist i detalje med 5 m kurver*



Figur 7-3 *Bathymetrien i området vist med fokus på 10m hhv. 15m vanddybde (Bilag 7-1 i bilagsmappen)*

De store områder med tilstrækkelig vanddybde betyder også, at vildfarne eller fejlramte skibe kan nå langt udenfor de sædvanligt navigerede ruter uden at grundstøde, og det bidrager til risikoen for kollisioner mod brokonstruktioner i disse områder, selv fra skibstrafik, der normalt navigerer langt fra broen. Så selvom den intense trafik i Rute T ikke passerer gennem nogen af de foreløbige KKN-korridorer, så udgør trafikken pga. sit volumen og skibenes størrelse stadig en risiko for brokonstruktionerne.

Den tydelige fokusering af trafikken på distinkte ruter, som det ses i Figur 7-1 er tillige en konsekvens af den afmærkning af løb og grunde, som støtter trafikken – se Figur 7-4. Denne afmærkning er et tilbud og en støtte for sejladsen, men giver ingen garanti i forhold til den risiko for kollisioner, som skibstrafikken udgør for en brokonstruktion anlagt på 10-15 meters vanddybde.



Figur 7-4 *Søvejenes arrangement ifølge søkort med markering af specifikke render og grunde af betydning for sejladsen (Bilag 7-2 i bilagsmappen)*

Eventuelle ændringer i skibstrafikkens arrangement omkring og igennem en brokonstruktion skal støtte og underbygge en praktisk og sikker sejlads, og følgende generelle regler vil medvirke hertil:

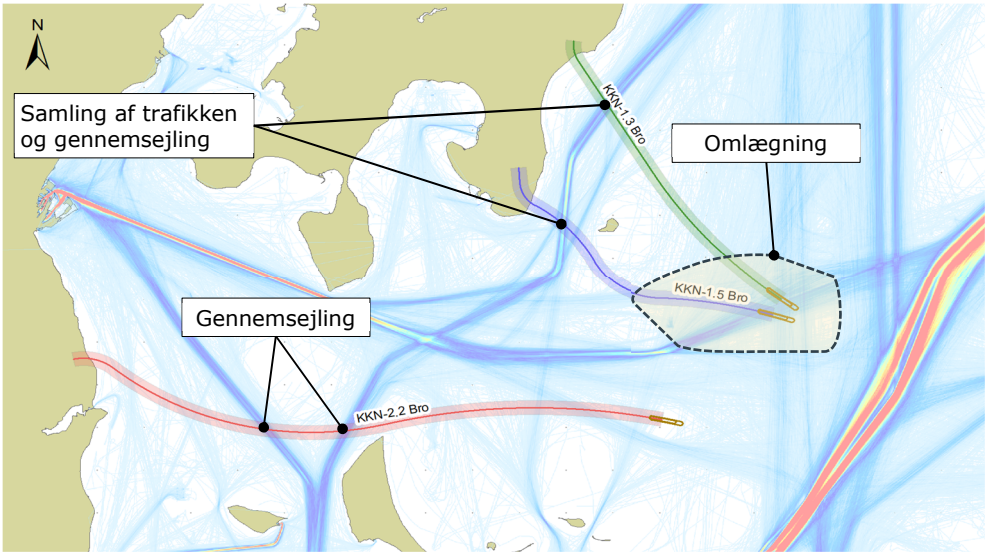
- **Gennemsejlingsåbning**
  Den nødvendige bredde af gennemsejlingsåbningen relateres til længden (L_{OA})[1] af de største skibe, der forventes at passere, og afhænger af hyppigheden af samtidig passage af to eller flere skibe. For envejstrafik eller meget sjælden forekomst af mødesituationer i nærheden af broen, kan en åbning på 1,6×L_{OA} være tilstrækkelig, mens det ved tovejstrafik og/eller hyppige mødesituationer vil være nødvendigt med den dobbelte 3,2× L_{OA}.
- **Gennemsejling**
  Gennemsejlingen arrangeres så retvinklet på broens linjeføring, som muligt.
- **Ruter**
  Rutelægning og rutemarkering skal skabe stykvis rette ruter med veldefinerede knæk, der placeres med så stor indbyrdes afstand som muligt, og i god afstand af forhindringer og sejladsmæssige udfordringer på ruten
- **Krydsning**
  Krydsende ruter, med stor hyppighed af mødesituationer, bør arrangeres under så ret en vinkel, som muligt, med så stor afstand til ruteknæk, som muligt
- **Sammenfletning**
  Ind- og sammenfletning af ruter, med stor hyppighed af mødesituationer, bør arrangeres under så flad en vinkel, som muligt, og med så stor afstand til ruteknæk, som muligt

[1] Det nødvendige frirum relateres til skibets længde og ikke bredden, fordi manøvrerummet – dvs. den plads skibet skal bruge til at foretage en given kursændring - er proportional af skrogets længde.

Hensynet til arrangementets betydning for risikoen for kollisioner mod brokonstruktionen kan være i modstrid med ovenstående generelle regler, og en umiddelbar indikator for en uhensigtsmæssig linjeføring og/eller placering af gennemsejlingen. En samlet afklaring af risikoforholdene vil være påkrævet, for at balancere og tilgodese både skibstrafikkens og broens sikkerhed.

7.3 Ændringer i trafikarrangementet

Brokonstruktionerne i KKN-korridorerne vil begrænse friheden for skibstrafikken og for større skibe vil passage alene blive muligt i de gennemsejlinger, der planlægges for broerne. Trafikken bliver dermed fokuseret til gennemsejlingerne eller henvist til at sejle udenom korridoren. Figur 7-5 viser de planlagte gennemsejlinger og de omlægninger af de større trafikstrømme, der vil være nødvendige.



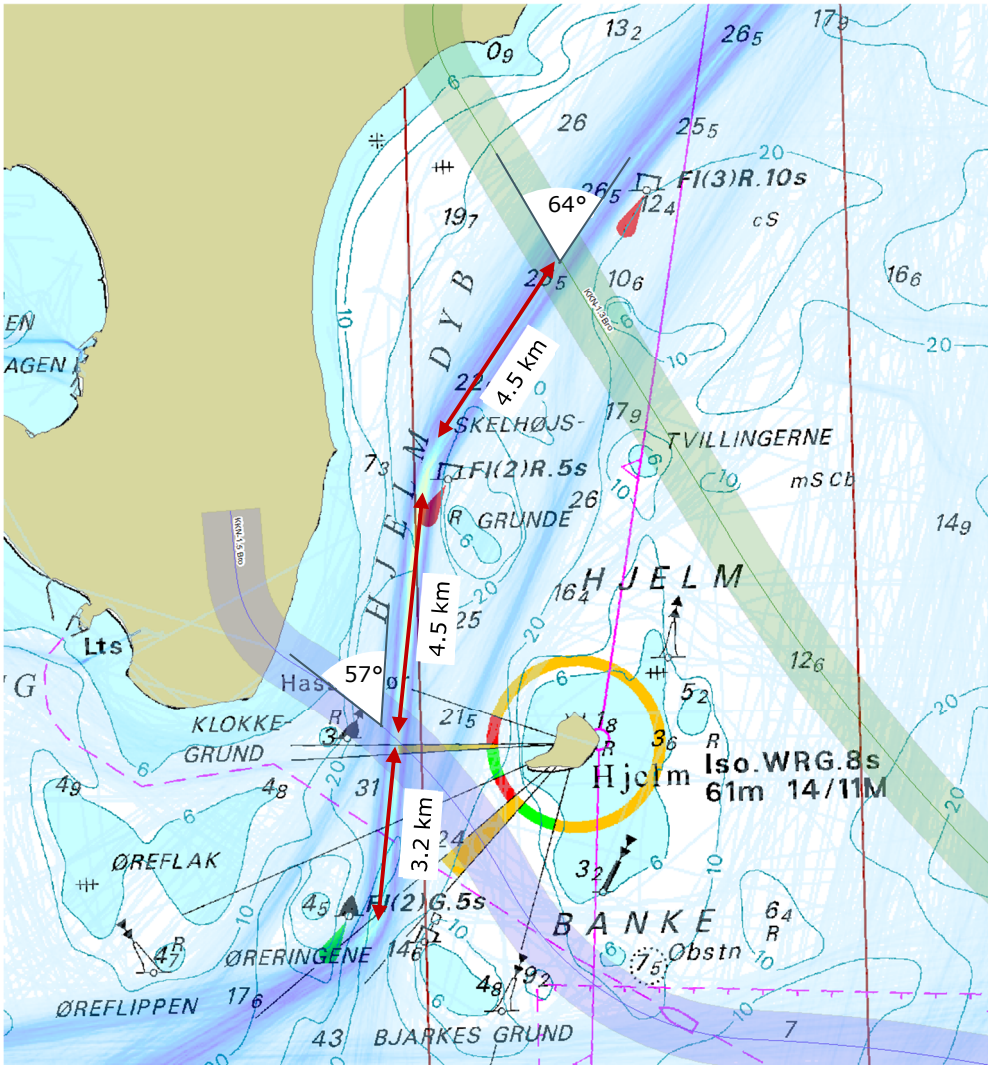
Figur 7-5 *Områder hvor KKN-korridorerne vil være i konflikt med den aktuelle skibstrafik.*

7.3.1 Gennemsejlinger

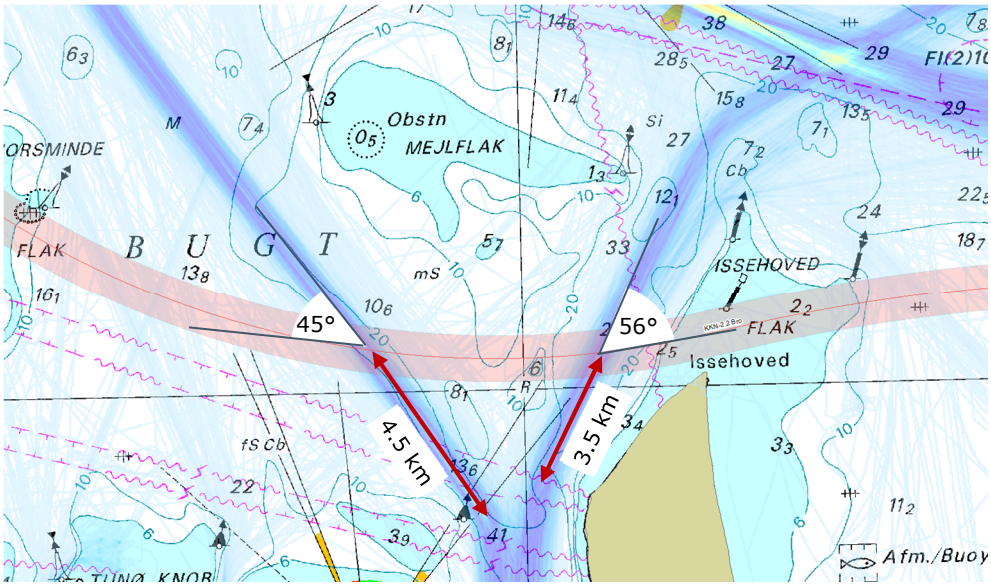
De tre korridorer indeholder fire trafikerede gennemsejlinger, og de grundlæggende geometrier for disse er vist i Figur 7-6 i Figur 7-7. Ingen af gennemsejlingerne er anlagt med den foretrukne rette krydsningsvinkel, og i den vestlige krydsning af KKN-2.2 er vinklen helt nede på 45°. En eventuel opretning af ruten gennem Hjelm Dyb (se afsnit 7.4.2) vil forbedre situationen for både KKN-1.3 og KKN-1.5 og vil også eliminere ruteknæk i nærheden af gennemsejlingen (Figur 7-6).

Mejl Flak forhindrer en opretning af ruterne igennem KKN-2.2 (Figur 7-7).

Afstanden fra ruteknæk til gennemsejlingen varierer fra 3.2 til 4.5 km, og med de aktuelle skibsstørrelser i den krydsende trafik, vurderes disse afstande i alle situationer tilstrækkelige til, at kunne få skibet stabilt på den nye kurs inden gennemsejlingen.



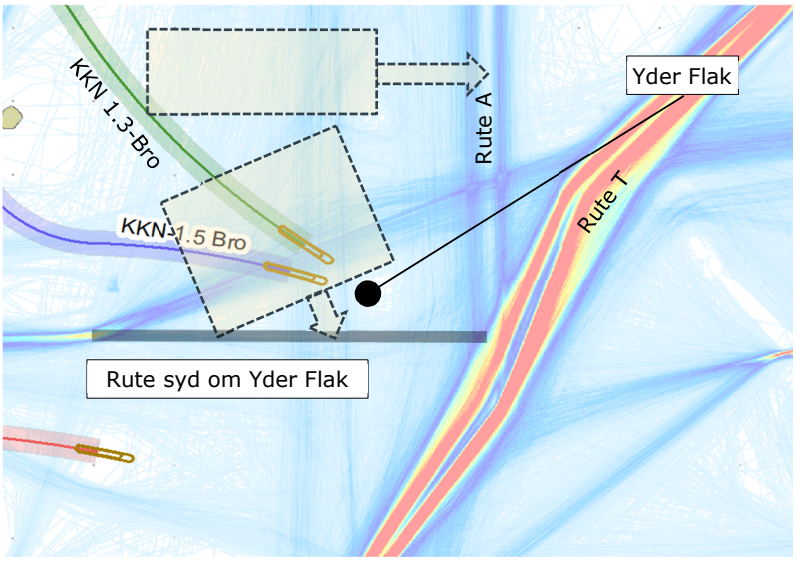
Figur 7-6 Geometrien af gennemsejlingerne for KKN-1.3 og KKN-1.5



Figur 7-7 Geometrien af gennemsejlingerne for KKN-2.2

7.3.2 Omlægninger

Den væsentligste omlægning af skibstrafikken er nødvendig for KKN-1.3 og KKN-1.5, hvor trafikken der går lige vest hhv. nord om Yder Flak skal omlægges til at gå syd hhv. øst om Yder Flak – se Figur 7-8. Omlægning af den nord-syd-gående trafik vest om Yder Flak ind i Rute A vurderes ikke at give anledning til nogen gene. Derimod vil omlægningen af trafikken, der aktuelt går nord om Yder Flak, knytte an til de separerede spor for Rute T i en mere uhensigtsmæssig vinkel og på samme sted som Rute A fletter ind i Rute T. Denne omlægning har Søfartsstyrelsen tidligere kommenteret som uheldig, og noteres derfor som en kritisk udfordring for KKN-1.3 og KKN-1.5.



Figur 7-8 *Nødvendig omlægning af trafikken omkring Yder Flak for KKN-1.3 og KKN-1.5*

7.3.3 Scoring

Den kvalitative scoring af gennemsejlingerne og ruteændringerne for de tre KKN-korridorer er sammenfattet i Tabel 7-2. Den samlede score er bestemt som den mest kritiske af de to.

Tabel 7-2 *Kvalitativ scoring af gennemsejlinger og ruteændringer*

Korridor	Forhold	Kritikalitet	Samlede score
KKN-1.3	Gennemsejling Ruteændringer ved Ydre Flak	1 – Lav 3 – Kritisk	3
KKN-1.5	Gennemsejling Ruteændringer ved Ydre Flak	2 – Moderat 3 – Kritisk	3
KKN-2.2	Gennemsejlinger Ruteændringer	2 – Moderat 1 - Lav	2

7.4 Kollisionsrisiko

Vurdering af risiko for skibskollision mod brokonstruktionen skal omfatte meget forskellige scenarier, fra de oplagte under skibets passage af broen, hvor skibets nærhed betinger at en kortvarig teknisk eller menneskelig fejl kan foranledige en kollision, til de mindre oplagte, hvor et skib i en normalt sikker afstand af broen rammes af en vedvarende fejl, der bringer skibet på kollisionskurs. De oplagte situationer under passage af broen, sker oftere og resulterer i kollisioner i umiddelbar nærhed af gennemsejlingen, og det giver en stor forståelse for og accept af, at broen skal beskyttes og forstærkes i umiddelbar nærhed af gennemsejlingen. De mindre oplagte situationer, hvor fejlen skal bestå i længere tid for at foranledige en kollision, er mere udfordrende at håndtere og beskytte broen imod. Dels er denne type fejlsituationer sjældnere, så forståelsen og modelleringen af dem hviler på et mere teoretisk og mindre observerbart grundlag. Og dels kan situationerne føre til kollisioner imod en større strækning af mindre beskyttet og ofte lavereliggende dele af broen langt fra gennemsejlingen, hvor konsekvensen af en kollision er stor. Trods deres sjældenhed kan disse situationer således udgøre et betragteligt risikobidrag, og der er ikke etableret en (international) konsensus for, om og hvordan denne risiko skal adresseres. I Danmark er der tradition for at håndtere risikobidraget eksplicit i design af nye broer, men det giver udfordringer for lange broer på dybt vand, der har større eksponering for disse kollisionsscenarier.

Samme tradition har identificeret og etableret risikomodeller for specifikke kollisionsscenarier:

- Kategori I: Gennemsejling
- Kategori II: Ruteknæk
- Kategori III: Mødesituation i nærheden af broen
- Kategori IV: Vildfarne skibe

Kategori III er faldet bort som eksplicit scenarie og betragtes som indeholdt i Kategori I. Risikobidragene for Kategori I, II og IV beskrives i det følgende og risikobidragene hørende til de foreløbige KKN-korridorer diskuteres og sammenlignes kvalitativt.

7.4.1 Kategori I: Gennemsejling

Kollisioner relateret til gennemsejlingen vedrører alene den skibstrafik, der skal/vil passere broens navigationsåbning. Den relaterede risiko for kollision aftager (hurtigt) med afstanden fra den ideelle passagelinje og risikoen for kollision med pillerne på hver side af gennemsejlingen kan dermed begrænses ved at vælge en passende stor spændvidde af navigationsåbningen og/eller ved specifik forstærkning af disse piller.

Trafikken på de ruter, der vil passere en af de foreløbige KKN-korridorer, er af samme omfang og sammensætning – se Tabel 7-1 – og det er derfor valgt at forudsætte samme gennemsejlingsarrangement for alle de foreløbige KKN-korridorer. Passagen for hver retning arrangeres i separate brospænd, der hver

tilbyder en navigationsåbning på 170 m × 26 m. Dette er valgt med udgangspunkt i en effektiv broløsning baseret på et standard brospænd på 200 m, og er kombineret med nyere erfaringer fra sejladsvurdering ved design af broer over indre danske farvande som f.eks. den nye Storstrømsbro.

En detaljeret vurdering af skibstrafikken og af de lokale forhold ved hver af gennemsejlingerne i de betragtede korridorer, kunne betinge at en større navigationsåbning findes nødvendig. Men denne konklusion vil være gældende for alle gennemsejlinger i de tre korridorer, og den associerede forøgelse af anlægsomkostningerne for at etablere en større navigationsåbning vil være gældende for alle løsninger. Med behov for to gennemsejlinger til trafikken Øst hhv. Vest om Mejl Flak vil KKN-2.2 blive ramt dobbelt af denne forøgelse i forhold til KKN-1.3 og KKN-1.5.

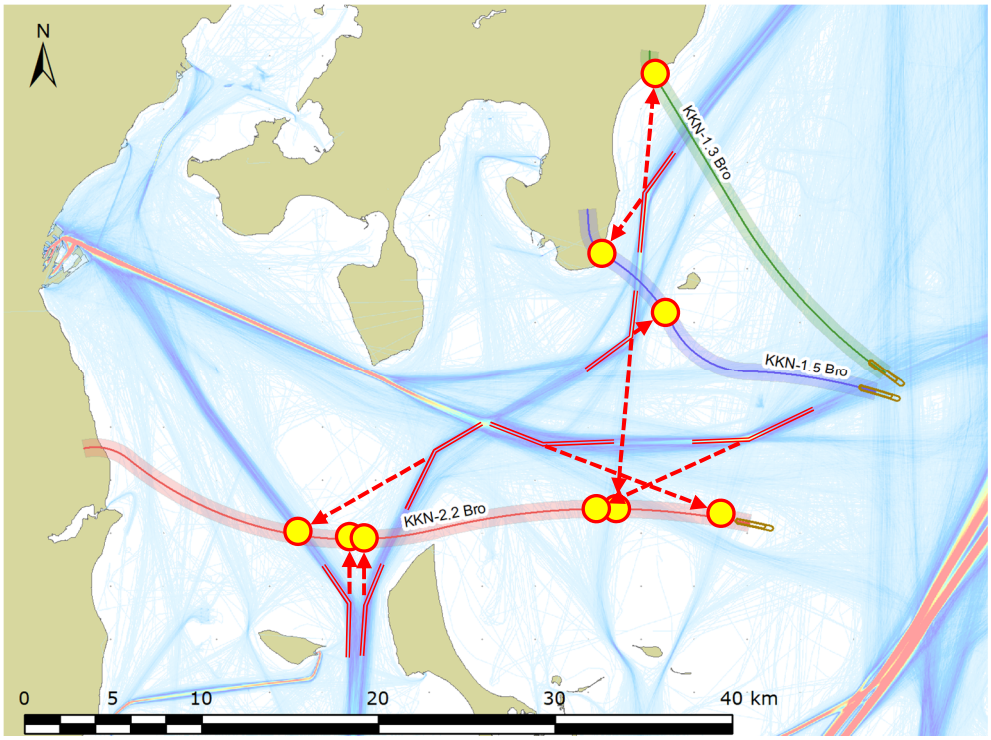
Bredden af navigationsspændet kontrollerer risikobidraget og det vil være muligt at gøre dette risikobidrag acceptabelt for alle de foreløbige KKN-korridorer ved tilstrækkelig forøgelse af navigationsspændet. Eksponeringen af KKN-korridorerne for kategori I kollisioner er sammenfattet i Tabel 7-3.

Tabel 7-3 Eksponering for Kategori I kollisioner

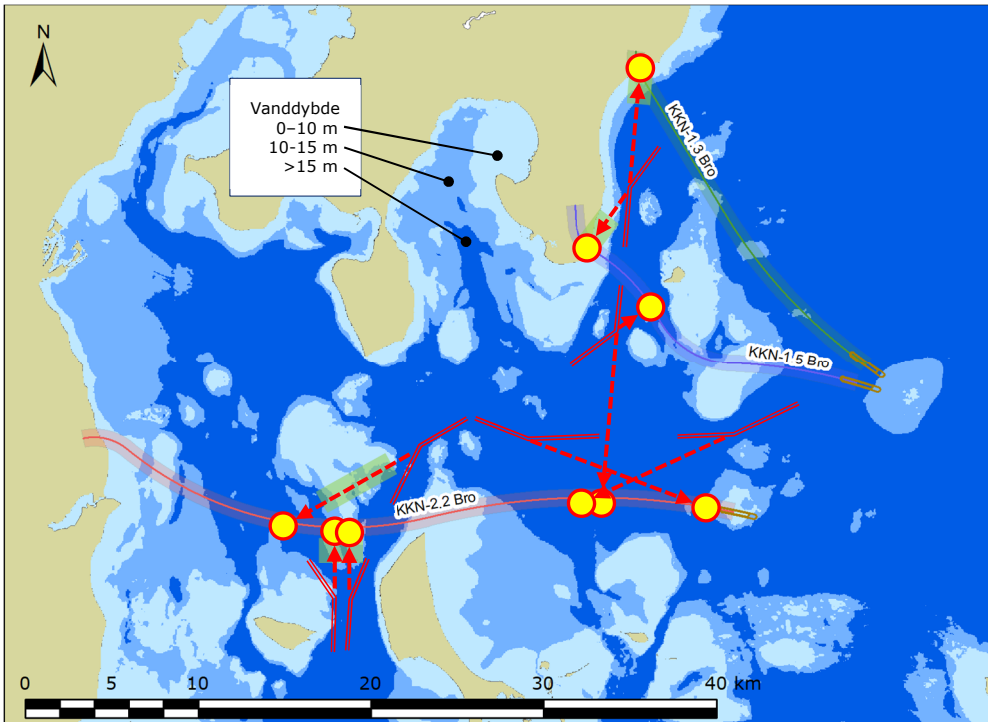
Korridor	Eksponering	Kritikalitet	Samlet rating
KKN-1.3	Hjelm Dyb	2 – Moderat	2
KKN-1.5	Hjelm Dyb	2 – Moderat	2
KKN-2.2	Trafik vest om Samsø	2 – Moderat	2

7.4.2 Kategori II: Ruteknæk

Kursændringer på en rute, der går igennem eller passerer i nærheden af broen, medfører en risiko for, at et skib ikke foretager den nødvendige kursændring (se eksemplerne på Figur 7-9) men forsætter sejladsen med kurs mod broen. Scenariet giver en lokaliseret risiko for kollisioner i forlængelse af ruten før knækket, og denne lokalisering giver mulighed for at forstærke eller beskytte de udsatte dele af broen. Der er stærk evidens for denne risiko – bl.a. i forundersøgelserne til Storebæltsforbindelsen, fra registrering af den type fejl igennem overvågningen af trafikken omkring Storebæltsforbindelsen, og ved Karen Danielsen kollision mod Vestbroen i 2005.



Figur 7-9 *Knæk på ruterne i området og indikation af områder på broerne, der er eksponerede for påsejling af skibe, der ikke drejer.*



Figur 7-10 *Lokation af kategori II kollisionerne vist i Figur 7-9 lagt over bathymetrien. De få lavvandede områder, der kunne yde beskyttelse, er markeret med grønt.*

Risikobidraget er meget afhængigt af det lokale arrangement af ruter omkring broen, af hvor langt skibet skal fortsætte på fejlagtig kurs for at nå frem til broen, og om skibet grundstøder på lavvandede områder inden det når broen. Figur 7-9 viser de mulige kollisionssteder på de tre KKN-korridorer, som følge af skibe, der ikke drejer ved et ruteknæk, og de samme forløb er vist i Figur 7-10

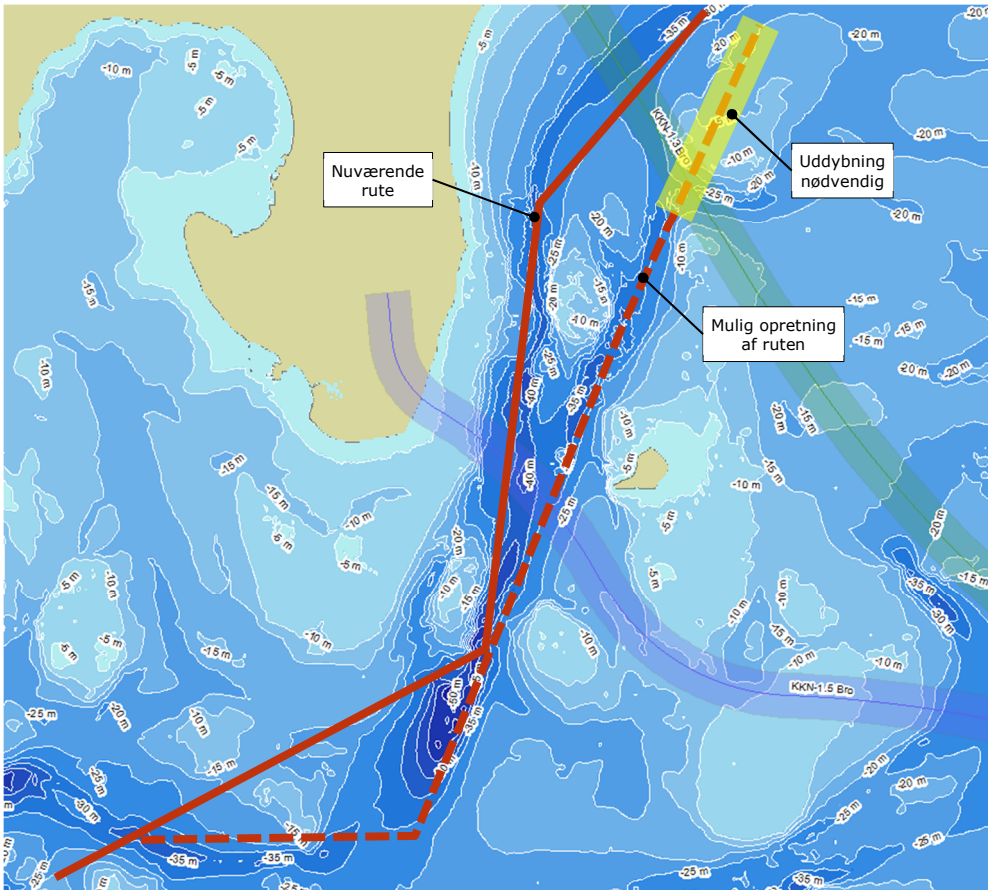
sammen med bathymetrien, for at afklare den naturlige beskyttelser fra lavvandede områder.

Den nordligste korridor KKN-1.3 ses at være mindst udsat for denne kollisionsrisiko, med kun en enkelt mulig lokation ved den vestlige ilandføring. Den lave vanddybde kunne helt eliminere risikoen.

De to knæk på ruten igennem Hjelm Dyb skaber risiko for KKN-1.5 på to steder: ved det vestlige ilandføringspunkt af trafik nordfra, og i den østlige side af Hjelm Dyb af trafik sydfra. Den lave vanddybde ved ilandføringen yder sandsynligvis tilstrækkelig beskyttelse hér, mens dens østlige eksponering nyder ingen naturlig beskyttelse, og den store vanddybde gør det vanskeligt og bekosteligt at beskytte og/eller forstærke de udsatte piller.

Korridoren KKN-2.2 er eksponeret for kategori II kollisioner i alt seks steder, hvoraf de vestligste syd for Mejl Flak vil nyde nogen beskyttelse af den lave vanddybde, mens de øvrige tre steder nord for Vejrø Flak er ubeskyttede.

På baggrund af den samlede eksponering forekommer KKN-2.2 at være mest udsat for kategori II kollisioner, men eksponeringen betinger, at skibene skal tilbagelægge knap 10 km uden at erkende og rette deres fejl. Den korteste vej fra ruteknæk til broen findes ved KKN-1.5's eksponering i Hjelm Dyb fra nordgående trafik, og denne risiko vurderes at være en reel og stor udfordring for denne korridor. Hjelm Dyb gør det muligt at rette ruten op så dette knæk elimineres, men det vil kræve uddybning af renden nord for KKN-1.5 på et 4-5 km langt stykke.



Figur 7-11 *Mulig opretning af ruten igennem Hjelm Dyb for at eliminer ruteknæk i nærheden af KKN-1.5. Områder hvor afgravning ville være nødvendig er er markeret med gult.*

Forudsættes ruten igennem Hjelm Dyb ikke at kunne rettes op som antydet i Figur 7-11, kan eksponeringen for Kategori II kollisioner gives en relativ sammenfatning som vist i Tabel 7-4.

Tabel 7-4 *Eksponering og klassifikation for Kategori II kollisioner*

Korridor	Eksponering	Kritikalitet	Samlet rating
KKN-1.3	Hjelm Dyb, nordgående	1 - Lav	1
KKN-1.5	Hjelm Dyb, nordgående Hjelm Dyb, sydgående	3 - Høj 1 - Lav	4
KKN-2.2	Trafik vest om Samsø Hjelm Dyb, sydgående Aarhus Bugt, østgående Aarhus Bugt, vestgående	1 – Lav 2 – Moderat 2 – Moderat 2 – Moderat	7

7.4.3 Kategori IV: Vildfarne skibe

Kategori IV omfatter alle andre kollisionssituationer, der ikke deler den specifikke årsag og lokaliserede karakter, der er givet for Kategori I og II. Kollisionerne antages at kunne forekomme langt fra de trafikerede ruter svarende til, at

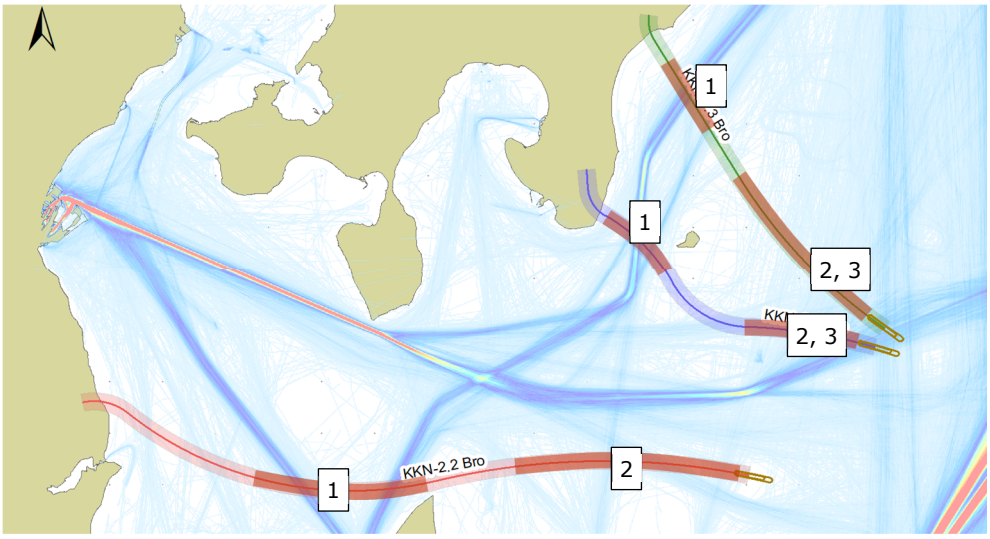
skibet er ramt af en vedvarende fejl – f.eks. at motoren er sat ud, at skibsføreren har en forkert opfattelse af sin position i farvandet – men fortsat er i bevægelse.

I sin oprindelse er denne kategori etableret for at sikre robusthed mod kollisioner langt fra gennemsejlingen, i erkendelse af at store afvigelser fra sejlruterne forekommer, og selv meget sjældne kollisioner langt fra gennemsejlingen kan udgøre en betragtelig risiko, fordi konstruktionen her er mere sårbar. Modelleringen er grundlæggende ikke klart defineret, men baseres på, at alle dele af broens linjeføring kan blive ramt af skibe, der ikke vil grundstøde på vejen hen til broen. Hyppigheden af kollisioner i denne kategori vil dermed blive proportional med længden af den eksponerede del broen, der ikke er beskyttet af lavvandede områder, og vil også være proportional med mængden eller tætheden af skibstrafik i det/de omkringliggende farvand(e).

Med dette som udgangspunkt kan eksponeringen for denne risiko vurderes i en relativ sammenligning af KKN-korridorerne, i form af den eksponerede (ikke-beskyttede) længde af broen ud mod navigeret farvand, kombineret med en klassifikation af det farvand, som broen er eksponeret for. For de aktuelle korridorer kan trafikken og farvandet klassificeres ved (se *Figur* 8-13).

1 Den lokal gennemsejling (Vest om Samsø/Hjelm Dyb)
2 Aarhus Bugt,
3 Kattegat trafik

Ved inspektion af vanddybden omkring korridorerne (>10m) i Figur 7-3 er de eksponerede længder af korridorerne identificeret som angivet i Figur 7-12 og i Tabel 7-5.



Figur 7-12 *Eksponering for Kategori IV kollisioner: ubeskyttede længder og tilhørende farvandskategori*

Tabel 7-5 Klassifikation og eksponeret længde for Kategori IV kollisioner

Korridor	Klassifikation (trafik og eksponering)		Samlet rating	
KKN-1.3	1: Hjelm Dyb trafik 2: Aarhus Bugt 3: Kattegat trafik	5 km 5 km 10 km	1×5 1×5 2×10	= 30
KKN-1.5	1: Hjelm Dyb trafik 2: Aarhus Bugt 3: Kattegat	5 km 5 km 5 km	1×5 1×5 2×5	= 20
KKN-2.2	1: Trafik vest om Samsø 2: Aarhus Bugt	15 km 15 km	1×15 1×15	= 30

Trafikken igennem korridorerne og i Aarhus Bugt generelt er af samme omfang og sammensætning, hvorfor eksponering for disse trafiktyper kan sidestilles. Den mere omfattende trafik med større skibe i Kattegat gør denne eksponering mere kritisk og det er konkretiseret kvalitativt ved at vægte denne eksponering med en faktor 2 i forhold til de øvrige.

7.5 Sammenfatning

På baggrund af løsningernes scoring for sejladsforhold (afsnit 7.3) og for risiko for skibsstød (afsnit 7.4) er de ratings som vurderes at udgøre kritiske forhold markeret med orange i Tabel 7-6 herunder.

Tabel 7-6 Sammenfatning af scoring – kritiske forhold

		Kollisionsrisiko		
Korridor	Sejladsforhold	Kategori I	Kategori II	Kategori IV
KKN-1.3				
KKN-1.5				
KKN-2.2				

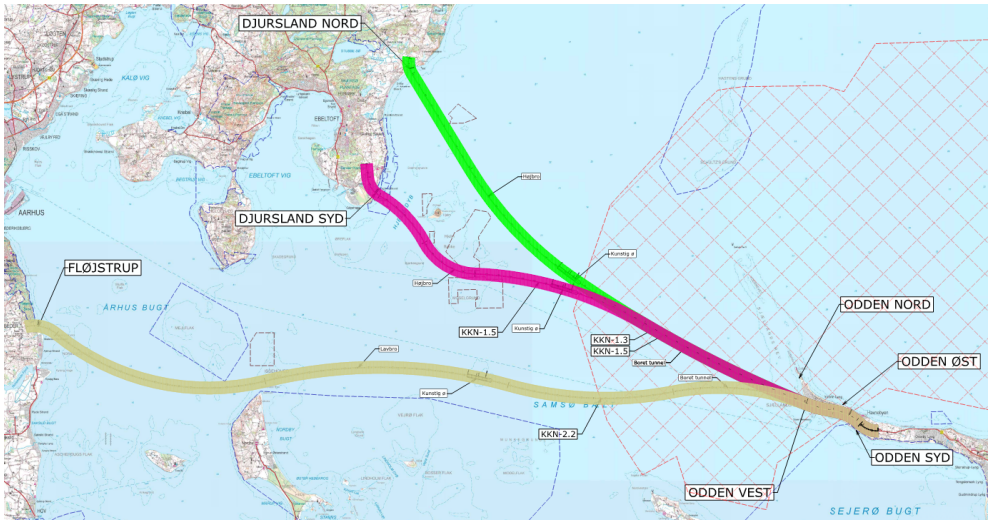
Da alle de betragtede løsninger har et eller flere kritiske forhold, der enten ikke er håndteret tidligere (eksponering over meget lange stræk) eller vil være komplicerede at realisere, vurderes broerne i alle korridorer at lede til et projekt med **forhøjet projektrisiko**.

De lange broer er eksponeret for både kategori II og IV kollisioner og set i forhold til andre realiserede projekter i Danmark, udgør dette en generel projektudfordring. I tillæg hertil er det med KKN-1.3 og KKN-1.5 nødvendigt at indføre trafikale omlægninger ved Ydre Flak, som ikke følger gængs god praksis, og som forventes at møde modstand såvel fra myndighederne som hos søfartens interessenter.

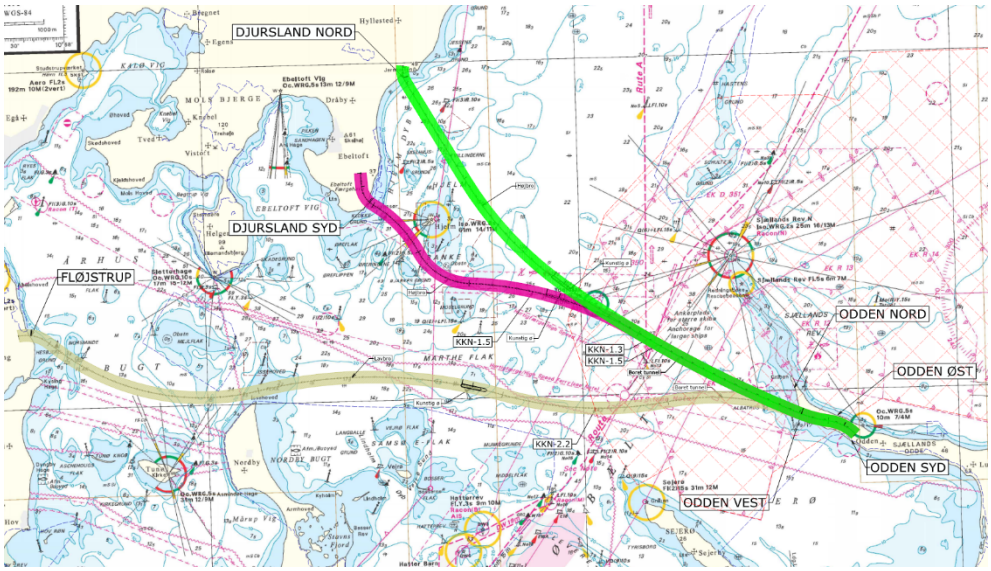
8 Foreløbige Korridorer

Der er, som følge af de i kapitel 9 fravalgte korridorer, undersøgt 3 foreløbige korridorer fra Sjællands Odde til Jylland, hvoraf 2 går til Djursland og 1 ilandføres syd for Århus.

Korridorerne er vist i Figur 8-1 sammen med geografiske ilandføringspunkter og konstruktionstyper, samt i Figur 8-2 på et søkort.



Figur 8-1 *Foreløbige KKN korridorer med boret tunnel fra Sjælland, topografisk kort (Bilag 8-1 i bilagsmappen)*



Figur 8-2 *Foreløbige KKN korridorer med boret tunnel fra Sjælland, søkort (Bilag 8-2 i bilagsmappen)*

Korridorerne er sammenfattet i Tabel 8-1.

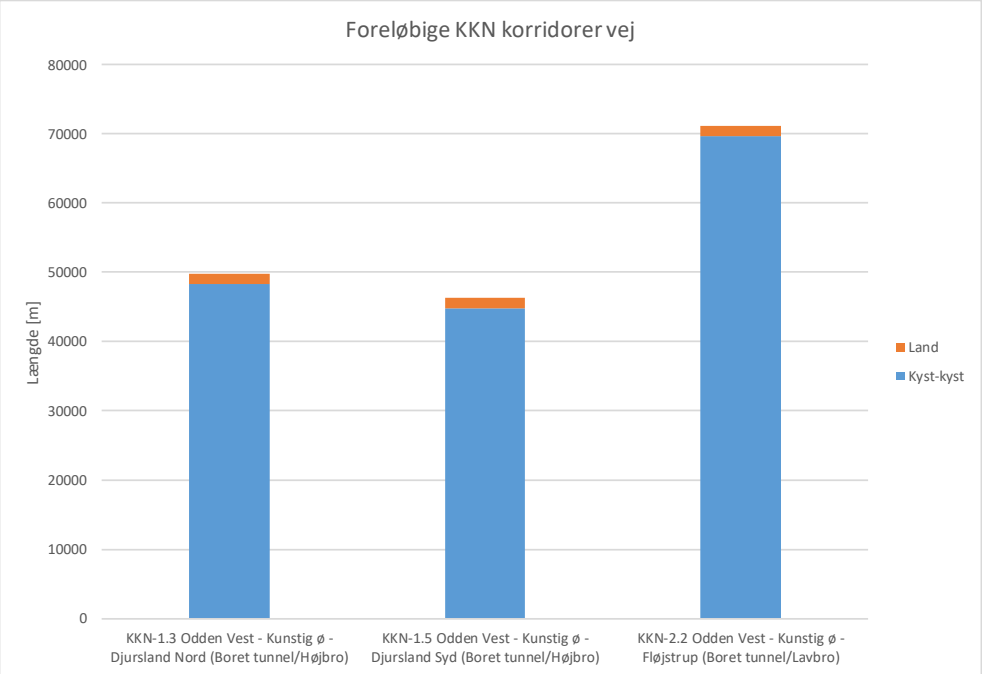
Tabel 8-1 KKN-korridorer, ilandføringspunkter, kunstige øer og konstruktionstyper

Korridor	Ilandførings-punkt start	Ilandførings-punkt slut	Kunstig ø	Konstruktionstype
KKN-1.3	Odden Vest	Djursland Nord	Vest for Yderflak	Boret tunnel/Højbro
KKN-1.5	Odden Vest	Djursland Syd	Vest for Yderflak	Boret tunnel/Højbro
KKN-2.2	Odden Vest	Fløjstrup	Ved Marthe flak	Boret tunnel/Lavbro

Tunnel/bro omfatter kombineret tunnel og bro inklusiv kunstig ø ved overgang fra tunnel til bro. Se særskilte afsnit for hver korridor.

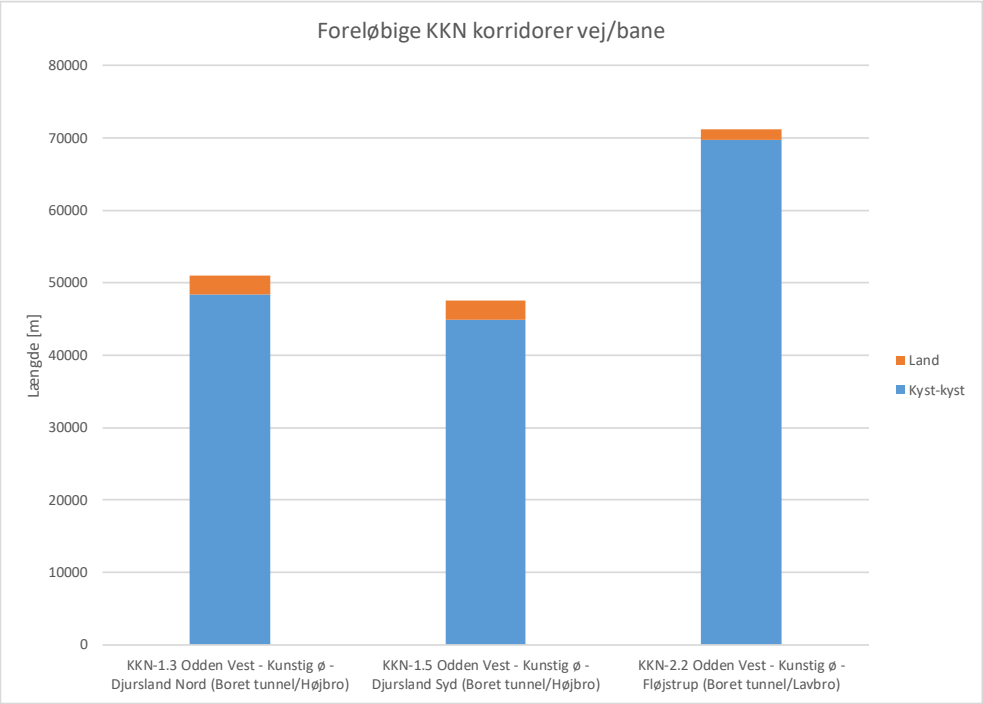
Den samlede længde af kyst-kyst-korridorerne er her defineret som afstanden imellem broendevederlaget i Jylland og punktet på Sjælland, hvor den borede tunnel går over i cut & cover tunnel. Længde på land inkluderer cut & cover tunnel, portalbygning og trug.

Længden af de forskellige korridorer for vejløsningerne er illustreret i Figur 8-3.



Figur 8-3 KKN-korridorer vej, længder

Længden af de forskellige korridorer for kombineret vej/bane er illustreret i Figur 8-4.



Figur 8-4 KKN-korridorer vej/bane, længder

Kyst-kyst længder opdelt i konstruktionstyper for vej/bane er angivet i Tabel 8-2. Tunnel inkluderer boret tunnel samt cut & cover tunnel.

Tabel 8-2 KKN-korridorer vej/bane, længder af konstruktioner

Korridor	Ilandførings-punkt start	Ilandførings-punkt slut	Bro [m]	Tunnel [m]	Kunstig ø [m]	Kyst-kyst [1)] [m]
KKN-1.3	Odden Vest	Djursland Nord	20.900	27.100	1.700	48.300
KKN-1.5	Odden Vest	Djursland Syd	17.650	26.900	1.700	44.850
KKN-2.2	Odden Vest	Fløjstrup	37.300	32.300	1.500	69.700

[1)] Længden er afstanden mellem broendevederlag i Jylland til hvor den borede tunnel går over i cut & cover tunnel på Sjælland

Kyst-kyst længder for rene vejløsninger er de samme, bortset fra at den kunstige ø er 200 m kortere og bro tilsvarende længere.

En krydsning udelukkende i tunnel er overvejet i de to korridorer fra Odden til Djursland (KKN-1.3 og KKN-1.5), med en boret tunnel under det militære område og herefter imod Djursland i sænketunnel. Grundet anlægsforhold og ventilation skal der placeres en kunstig ø i overgangen mellem de to tunneltyper. Det formodes at anlægsprisen for en sådan ren tunnelløsning vil være sammenlignelig med bro + boret tunnelløsning og vil kunne adressere skibsstødsproblematikken på acceptabel vis.

Skulle en løsning mellem Odden og Djursland vise sig at være attraktiv i forhold til de bedste løsninger over Samsø, foreslås at en ren tunnelløsning undersøges

yderligere, herunder en nærmere beskrivelse af de begrænsninger der er forbundet med lange tunneller (dvs. under anlæg og i drift).

8.1 KKN-1.3 til Djursland Nord

8.1.1 Beskrivelse

KKN-1.3 er en korridor der er tilpasset specifikt til en boret tunnelløsning på den østlige del under T-ruten. Da en boret tunnel ikke påvirker kystnær bebyggelse, er ilandføringspunktet (tunnellinjens krydsning med kystlinjen/vandkanten) placeret lige nordvest for Odden Færgehavn, hvilket giver et fornuftigt korridorforløb af tunnel på land og påvirkning af bebyggelse i Yderby Lyng undgås.

Korridoren er vist i Figur 8-1. Korridoren starter i ilandføringspunkt Odden Vest og slutter i ilandføringspunkt Djursland Nord, lidt nord for Holme. Den samlede længde mellem ilandføringspunkter er 44,6 km.

En tunnelløsning med boret tunnel er anvendt over første del af korridoren, hvor det militære øvelsesområde og T-ruten krydses. For generel udformning af boret tunnelløsning henvises der til afsnit 5.1. Strækningen med boret tunnel vil holdes indenfor længden jf. Tabel 8.2 hvad der skønnes muligt både anlægsteknisk og driftsteknisk.

Muligheden for en boret tunnel under militærområdet beror på en yderligere analyse i forhold til påvirkning af skarpskydning og undervandssprængninger i Forsvarets områder såvel nord som vest for Sjællands Odde, jf. Forsvaret høringssvar. Jo dybere den borede tunnel placeres, jo mindre vil denne påvirkes af militære aktiviteter. Uden yderligere kendskab til aktiviteternes omfang, begrænset erfaring med undersøiske krydsninger under militære øvelsesområder og specialanalyser vurderes projektrisikoen for dette forhold derfor til at være forhøjet.

En placering af en kunstig ø, som overgang imellem bro og boret tunnel, uden for det militære øvelsesområde ville betyde, at øen vil skulle placeres på vanddybder op til 25 m. Ideelt ville man placere en kunstig ø på lavere vanddybder, men en kunstig ø på lignende vanddybder er dog set på tilsvarende krydsninger f.eks. Tokyo Bay, hvor den kunstige ø er anlagt på ca. 20 m vanddybde. Løsningen til Kattegatforbindelsen baserer sig derfor på kendte tilsvarende løsninger, men på større vanddybde, projektrisikoen vurderes på den baggrund til at være forhøjet. Det bidrager yderligere til den forhøjede projektrisiko, at en kunstig ø på større vanddybde kan vise sig at medføre en uacceptabel reduktion af vandgennemstrømningen, hvilket ikke er blevet undersøgt.

Fra den kunstige ø til ilandsætningspunktet i Jylland er valgt en højbro med 200 m fag grundet forholdsvis stor vanddybde, hvorfor denne løsning er vurderet at have en økonomisk optimal spændvidde specielt for kombineret vej og jernbane. Endvidere er den med hensyn til sejladssikkerhed bedre end KKN-1.2, idet arrangementet omkring gennemsejlingsfaget over Hjelm Dyb ikke eksponerer

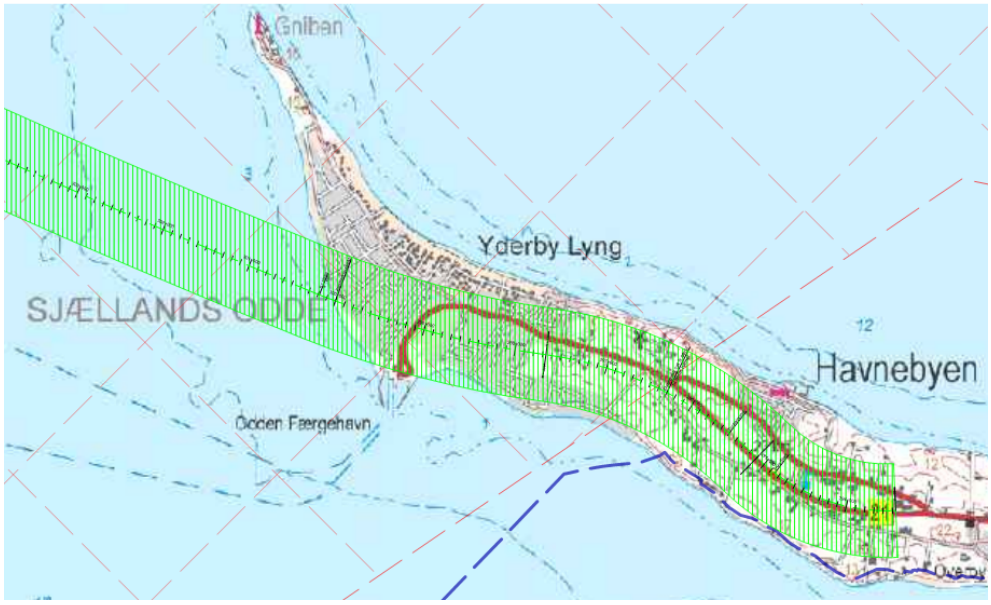
denne løsning for Kat-II kollisioner (glemmer at dreje). Den langsgående gradient er bestemt af minimumskrav for afvanding over størstedelen af strækningen. Den kunstig ø vil have en samlet længde på ca. 1,7 km. For generel udformning af kunstig ø og broløsning henvises der til afsnit 5.3 hhv. 5.2.

Med en tunnelløsning under Rute T er der skabt et sikkert og acceptabelt arrangement for den nord- og sydgående skibstrafik, som kan passere uhindret øst om Yder Flak hen over tunnelen. Den store længde af bro på ganske dybt vand vest for Yder Flak vurderes dog stadig at udgøre en væsentlig risiko for kollisioner (se afsnit 7), som vil være meget vanskeligt at forstærke broen imod. Dette udgør således en projektrisiko.

Justeringer i forhold til [1] som følge af miljøtekniske forundersøgelser [2] er beskrevet i følgende afsnit. Det bemærkes at justeringer ikke er indarbejdet i længdeprofil, hvorfor der mht. længdeprofil henvises til [1].

8.1.2 Ilandføringspunkter

Ilandføringen på Sjællands Odde forløber som vist i Figur 8-5 og Figur 8-6.



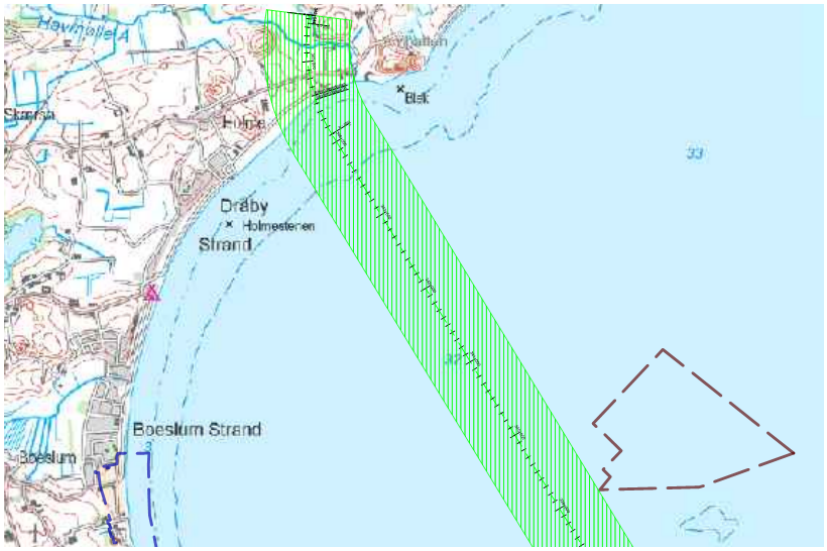
Figur 8-5 KKN-1.3 ilandføring af boret tunnel ved Odden Vest

Figur 8-6 KKN-1.3 ilandføring af boret tunnel

Korridoren starter øst for sommerhuskvarteret Yderby Lyng i terræn og ført 650 m i åbent trug, dernæst 800 m i cut & cover tunnel indtil start af boret tunnel som placeres tættest muligt på militærområdet herefter føres forbindelsen i 3700 m boret tunnel under militærområdet og bebyggelse frem til kystlinjen.

Miljøtekniske forundersøgelser [2] har ikke givet anledning til justeringer af dette ilandføringspunkt i forhold til [1].

Ilandføringen på Djursland forløber som vist i Figur 8-7.



Figur 8-7 KKN-1.3 ilandføring af højbro ved Djursland Nord og råstofområde (brun stiplet boks) nord for Hjelm

Dette ilandføringspunkt er justeret i forhold til [1] som følge af miljøtekniske forundersøgelser [2]. Ilandføringspunktet er flyttet lidt mod øst til udkanten af et paragraf 3 område uden at komme i konflikt med den nærliggende fredning (voldsted).

Afstanden fra linjeføringen til nærmeste punkt på voldstedet (se Figur 8-8) er ca. 100 m.

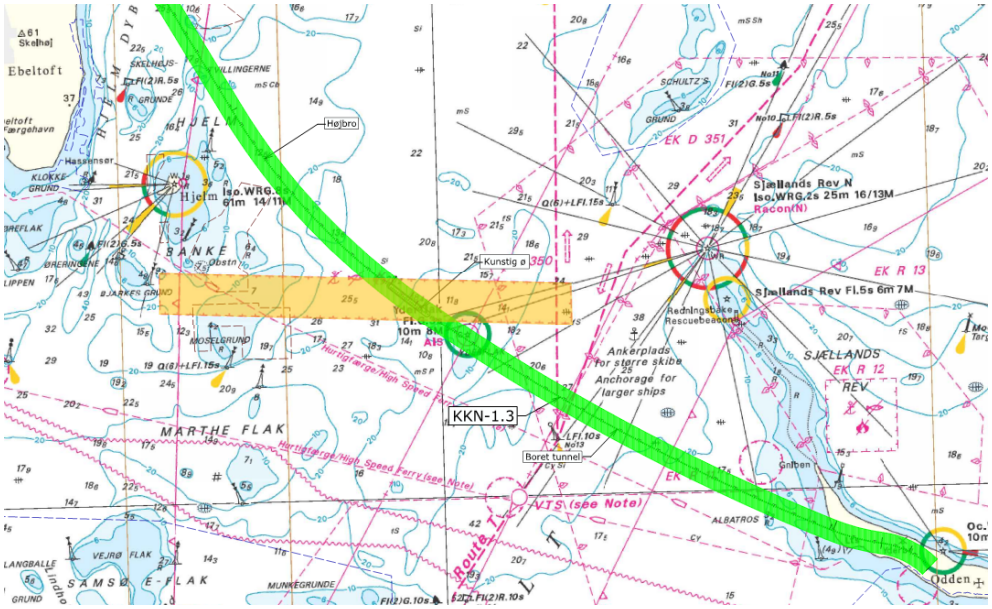
Figur 8-8 *KKN-1.3 ilandføring af højbro ved Djursland Nord (voldsted iøverste højre hjørne)*

8.1.3 Råstofområde

Linjeføringen er justeret i forhold til [1] som følge af de miljøtekniske forundersøgelser [2]. Linjeføringen er således flyttet lidt mod vest for at tage hensyn til råstofområdet vist som brun stiplet boks i Figur 8-7.

8.1.4 UXO

Korridoren krydser igennem et ret stort område med UXO (ammunition og ueksploderede bomber) over en længde af 3,3 km. UXO-området er 1,8 km bredt og 19 km langt, og går fra A- og T-sejlruterne i øst til Bjarkes Grund i vest (se Figur 8-9). Korridoren kræver anlæggelse af en kunstig ø på tværs af UXO-området. Dette forudsætter at der foretages en UXO undersøgelse af det berørte areal, og at eventuelle ueksploderede granater fjernes eller uskadeliggøres. Dette er vurderet at være en sædvanlig aktivitet, og er ikke særskilt prissat.



Figur 8-9 KKN-1.3 gennem UXO-område (Orange rektangel)

8.1.5 Militært øvelsesområde

8.1.5.1 Ved Sjællands Odde

Som følge af høringssvar fra Forsvarsministeriet rapporteret i [2] er placeringen af overgang mellem cut & cover tunnel og boret tunnel justeret, så cut & cover tunnelen placeres uden for det militære øvelsesområde (vist som rødt stiplet område i Figur 8-10). Overgangen er flyttet 1400 m mod øst i forhold til placeringen angivet i [1]. Afstanden mellem overgangen og øvelsesområdet er ca. 100 m. Flytningen har medført længere boret tunnel, hvilket er afspejlet i anlægsoverslaget og vurderingen af projektrisikoen.

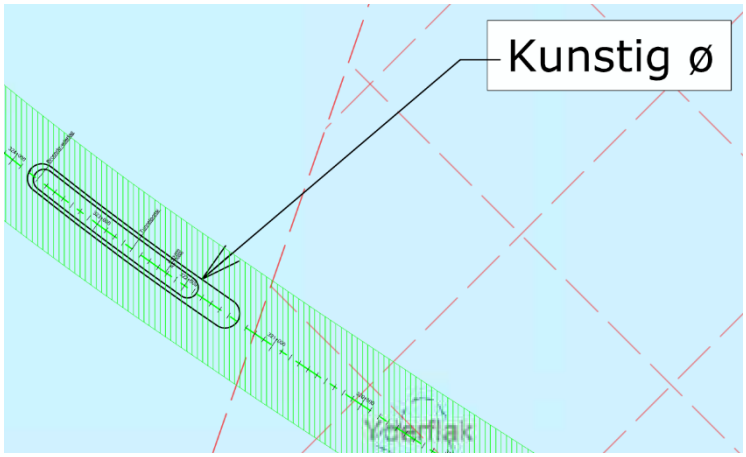
Figur 8-10 *KKN-1.3 cut & cover tunnel sydøst for militært øvelsesområde (rødt skraveret område)*

Konsekvenserne af den nye placering af overgangen er:

- Længde af boret tunnel er øget med 1400 m, anlægsrisikoen som er knyttet til tunnellængden er uændret
- Længde af cut & cover er reduceret med 600 m
- Længde af trug er øget med 50 m
- Samlet længde i land er øget med 850 m

8.1.5.2 Ved kunstig ø

Som følge af høringssvar fra Forsvarsministeriet rapporteret i [2] er placeringen af den kunstige ø justeret, så den placeres uden for det militære øvelsesområde (vist som rødt stiplet område i Figur 8-11). Den kunstige ø er flyttet ca. 3,2 km mod vest i forhold til placeringen angivet i [1]. Afstanden mellem fodaftryk af den kunstige ø på havbunden og øvelsesområdet er ca. 200 m. Flytningen har medført at øen placeres uden for Yderflak på væsentlig større vanddybde, hvilket er afspejlet i anlægsoverslaget og vurderingen af projektrisikoen.



Figur 8-11 *KKN-1.3 kunstig ø vest for militært øvelsesområde (rødt skraveret område)*

Konsekvenserne af den nye placering af den kunstige ø er:

- Længde af boret tunnel er øget med 3,2 km
- Længde af højbro er reduceret med 3,2 km
- Gennemsnitlig vanddybde lange linjeføring af kunstig ø er øget fra 10,9 m til 23,2 m

- Enhedspris for perimeterdæmning er øget med 35%

8.1.6 Vurdering

Baseret på risikoen for skibskollision mod brodelen, boret tunnel under militærområde og placeringen af kunstig ø på dybere vand end prøvet før vurderes projektrisikoen for denne løsning til **Forhøjet risiko.**

8.2 KKN-1.5 til Djursland Syd

8.2.1 Beskrivelse

KKN-1.5 er en ny korridor der svarer til "KKN-1.4 Boret tunnel/Højbro" kortfattet beskrevet i [1], og som nu er optegnet i plan og justeret under hensyntagen til de miljøtekniske forundersøgelser [2]. Korridoren er udarbejdet for at have en kombineret boret tunnel- og broløsning på den korteste kyst-kyst strækning mellem Sjællands Odde og Djursland.

Korridoren er vist i Figur 8-1. Korridoren starter i ilandføringspunkt Odden Vest og slutter i ilandføringspunkt Djursland Syd. Korridoren går syd om Hjelm. Den samlede længde mellem ilandføringspunkter er her 41,1 km. Længdeprofil er ikke optegnet for denne nye korridor.

Boret tunnel er anvendt over første del af korridoren, hvor det militære øvelsesområde og T-ruten krydses. Korridor for tunneldelen af KKN-1.5 er sammenfaldende med tunneldelen af KKN-1.3 indtil lidt før den kunstige ø. Forhold forbundet med krydsning af det militære øvelsesområde med boret tunnel, er de samme som for løsningen beskrevet for korridor KKN-1.3 (se afsnit 8.1).

Den kunstige ø svarer til øen i KKN-1.3 bortset fra at den ved KKN-1.5 er placeret lidt sydligere. Vanddybden er sammenlignelig med KKN-1.3.

Broløsningen svarer til KKN-1.3 bortset fra at korridoren slutter i sydligere ilandføringspunkt og dermed er 3,5 km kortere. Korridoren er placeret syd om øen Hjelm da denne er fredet grundet såvel historiske og arkæologiske interesser samt naturhensyn. Det er desuden ikke vurderet hensigtsmæssigt at udnytte landgang på Hjelm til at reducere længden af bro til havs, da det drejer som om en kort strækning, der ikke modsvares af komplikationer med forskellig byggemetode og overgangskonstruktioner.

For generel beskrivelse af konstruktionstyper og sejladsforhold henvises der til KKN-1.3 afsnit 8.1.1 og afsnit 7.

8.2.2 Ilandføringspunkter

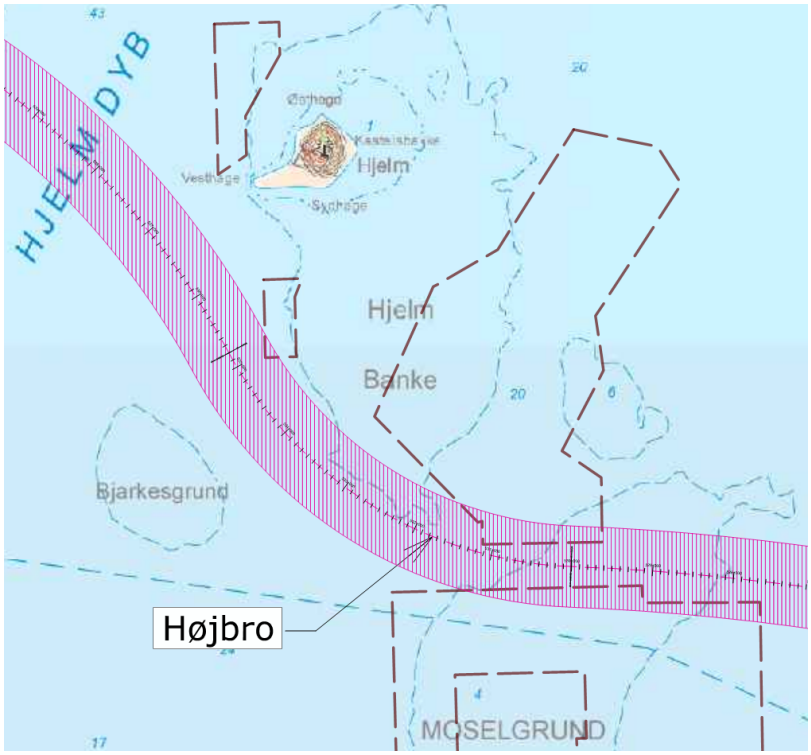
Ilandføringen på Sjællands Odde er identisk til korridor KKN-1.3, se afsnit 8.1.2.

Ilandføringen på Djursland forløber som vist i Figur 8-12. Dette ilandførings-punkt er justeret i forhold til sammenlignelig korridor KKN-1.4 i [1] som følge af miljøtekniske forundersøgelser [2]. Ilandføringspunktet er flyttet lidt mod syd for at undgå Natura 2000 områderne og linjeføringen bugter sig gennem områderne med horisontal radius 10.000 m og 2.000 m, sidstnævnte svarende til minimumsradius ved ilandføringen.

Figur 8-12 *KKN-1.5 ilandføring af højbro ved Djursland Syd og Natura 2000 områder (blå stiplede linjer)*

8.2.3 Råstofområder

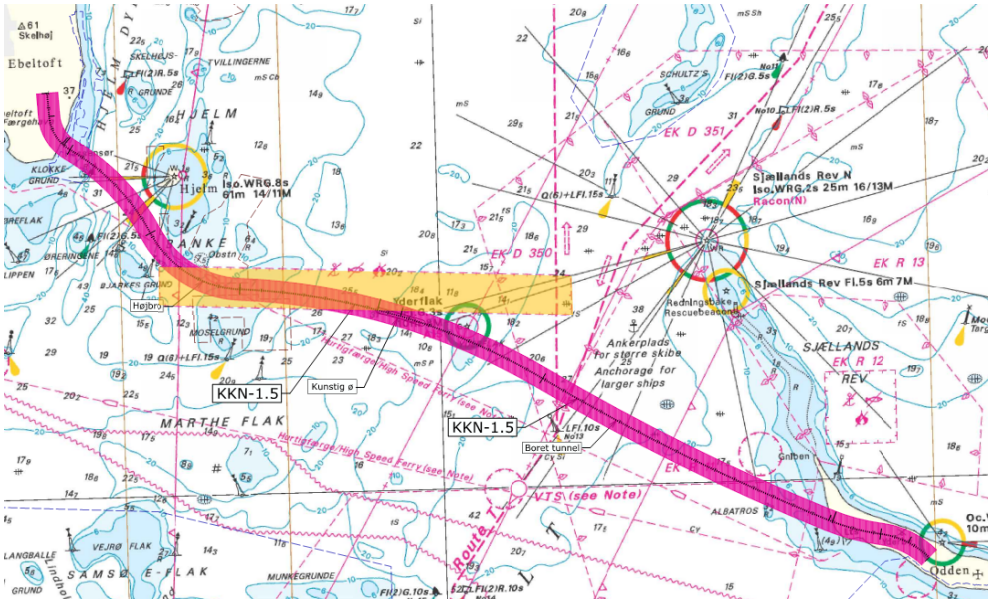
Linjeføringen er justeret i forhold til sammenlignelig korridor KKN-1.4 i [1] som følge af miljøtekniske forundersøgelser [2]. Linjeføringen er således flyttet lidt mod syd for at tage hensyn til råstofområderne vist som brune stiplede bokse i Figur 8-13, og bugter sig gennem områderne med horisontal radius 5.000 m.



Figur 8-13 KKN-1.5 ved råstofområder (brune stiplede bokse) syd for Hjelm

8.2.4 UXO

Korridoren krydser over en næsten 10 km lang strækning igennem et ret stort UXO-område (se afsnit 8.1.4). Dette forudsætter at der foretages en UXO-undersøgelse af det berørte areal, og at eventuelle ueksploderede granater fjernes eller uskadeliggøres. Dette er vurderet at være en sædvanlig aktivitet, og er ikke særskilt prissat.

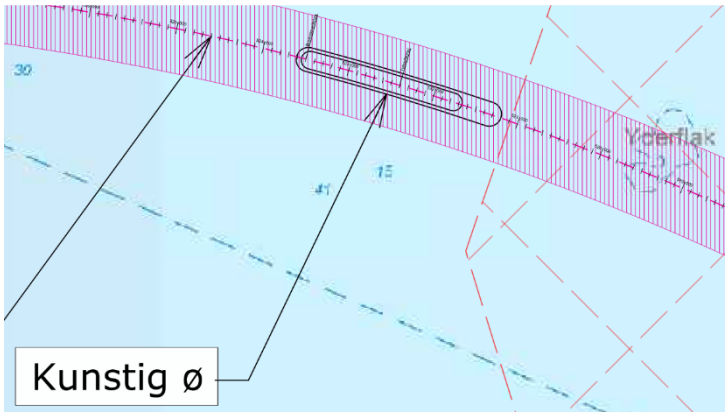


Figur 8-14 KKN-1.5 gennem UXO-område (Orange rektangel)

8.2.5 Militært øvelsesområde

Overgangen mellem cut & cover tunnel og boret tunnel ved ilandføring på Sjællands Odde er justeret, så cut & cover tunnelen placeres uden for det militære øvelsesområde. Ilandføring af KKN-1.5 er identisk til KKN-1.3 hvorfor der henvises til afsnit 8.1.5.1 for yderlige beskrivelser.

Den kunstige ø er placeret udenfor det militære øvelsesområde, vist som rødt stiplet område i Figur 8-15 jf. miljøtekniske forundersøgelser [2]. Afstanden mellem fodaftryk af den kunstige ø på havbunden og øvelsesområdet er ca. 100 m. Der henvises til afsnit 8.1.5.2 for yderlige beskrivelser.



Figur 8-15 KKN-1.5 kunstig ø vest for militært øvelsesområde (rødt skraveret område)

8.2.6 Vurdering

Baseret på risikoen for skibskollision mod brodelen, boret tunnel under militærområde og placeringen af kunstig ø på dybere vand end prøvet før vurderes projektrisikoen for denne løsning til **Forhøjet risiko.**

8.3 KKN-2.2 til Fløjstrup

8.3.1 Beskrivelse

KKN-2.2 er den direkte korridor mellem Sjællands Odde og Århus uden påvirkning af Djursland.

Korridorens placering har i denne del af forundersøgelsen været fokuseret på at finde den korteste afstand til et ilandføringspunkt på land samt at undgå Natura 2000 områder til havs. Den er lagt således at den ligger i passende afstand fra Samsøs nordspids og samtidig undgår råstofområdet og Natura 2000 området mod nord. Korridoren er vist i Figur 8-1. Korridoren starter i ilandføringspunkt

Odden Syd og slutter i ilandføringspunkt Fløjstrup syd for Århus. Den samlede længde mellem ilandføringspunkter er her 66,0 km.

Boret tunnelløsning er anvendt over første del af korridoren, hvor T-ruten og det militære øvelsesområde krydses. Hvor korridoren passerer en grund med ca. 8 m vanddybde, opbygges en overgangsø og konstruktionstypen skifter til at bestå primært af lavbro med 100 m fag på nær to sektioner hver med 1 km højbro over de to gennemsejlingsområder mellem Samsø og Jylland. I alt seks sekundære gennemsejlingsfag 2 til lystbåde og 2x2 til kommerciel regionaltrafik er placeret, hvor AIS data viser skibstrafik i dag. Langsgående gradient er bestemt af minimumskrav for afvanding over størstedelen af strækningen. Herved er 3 dybdepunkter nødvendige for at undgå unødvendig høj beliggenhed af brodrager. Den kunstig ø vil have en samlet længde omkring 1,5 km.

Med en tunnelløsning under Rute T vurderes det muligt at skabe et sikkert og acceptabelt arrangement for skibstrafikken nord og syd for brodelen til at passere øst om Marthe Flak hen over tunnelen. Men den store længde af høj- og lavbro vest for Samsø vurderes stadig at udgøre en stor risiko for kollisioner, som det vil være vanskeligt at forstærke broen imod.

Baseret på risikoen for skibskollision mod brodelen vurderes projektrisikoen for denne løsning som: **Forhøjet risiko.**

Miljøtekniske forundersøgelser [2] har ikke ført til justeringer i forhold til [1]. Dette er beskrevet i følgende afsnit. Længdeprofil er derfor uændret og kan ses i [1].

8.3.2 Ilandføringspunkter

ilandføringen på Sjællands Odde er identisk til korridor KKN-1.3, se afsnit 8.1.2.

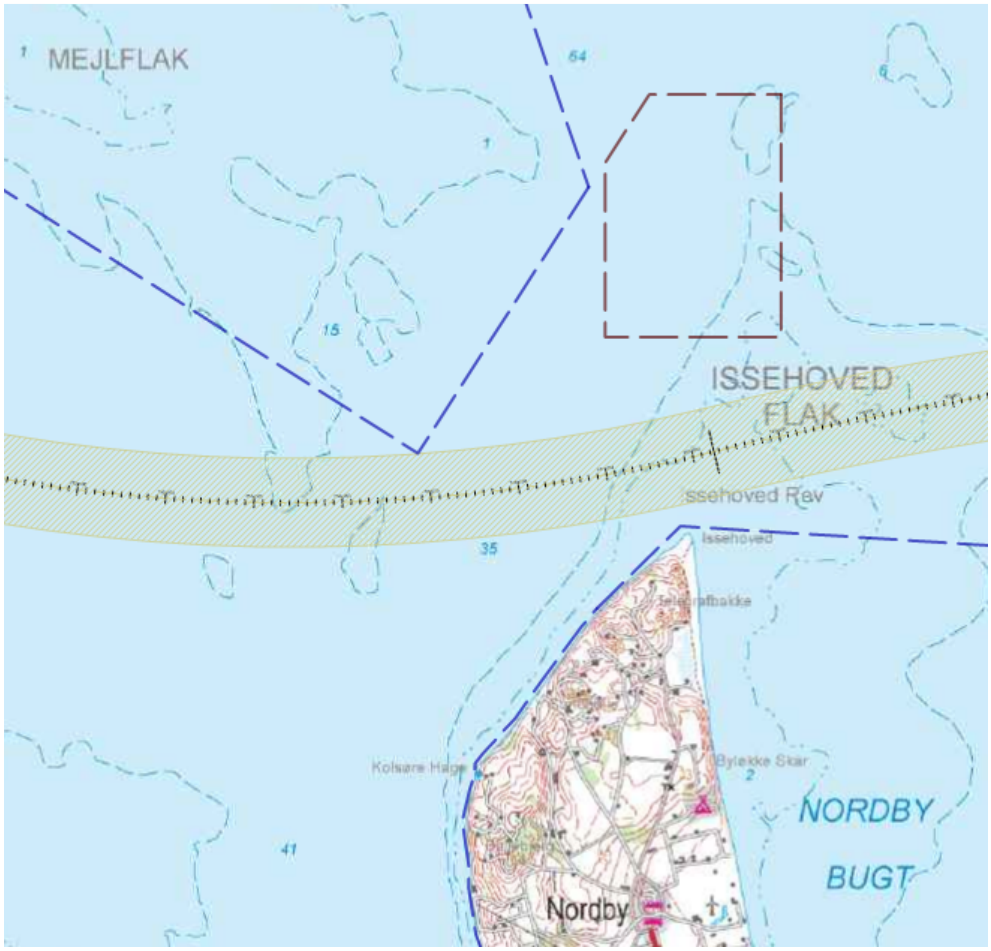
Ilandføringen ved Fløjstrup syd for Århus forløber som vist i Figur 8-16.

Figur 8-16 KKN-2.2 ilandføring af lavbro ved Fløjstrup

Miljøtekniske forundersøgelser [2] har ikke givet anledning til justeringer af ilandføringspunkter i forhold til [1].

8.3.3 Råstofområder

Miljøtekniske forundersøgelser [2] af råstofområder har ikke givet anledning til justeringer af linjeføring i forhold til [1] da linjeføringen er udenfor eneste nærliggende råstofområde nord for Samsø, se Figur 8-17.



Figur 8-17 *KKN-2.2 ved råstofområde (brun stiplet boks) og Natura 2000 områder (blå stiplede linjer) nord for Samsø*

8.3.4 Militært øvelsesområde

Overgangen mellem cut & cover tunnel og boret tunnel ved ilandføring på Sjællands Odde er justeret, så cut & cover tunnelen placeres uden for det militære øvelsesområde. Ilandføring af KKN-2.2 er identisk til KKN-1.3 hvorfor der henvises til afsnit 8.1.5.1 for yderlige beskrivelser.

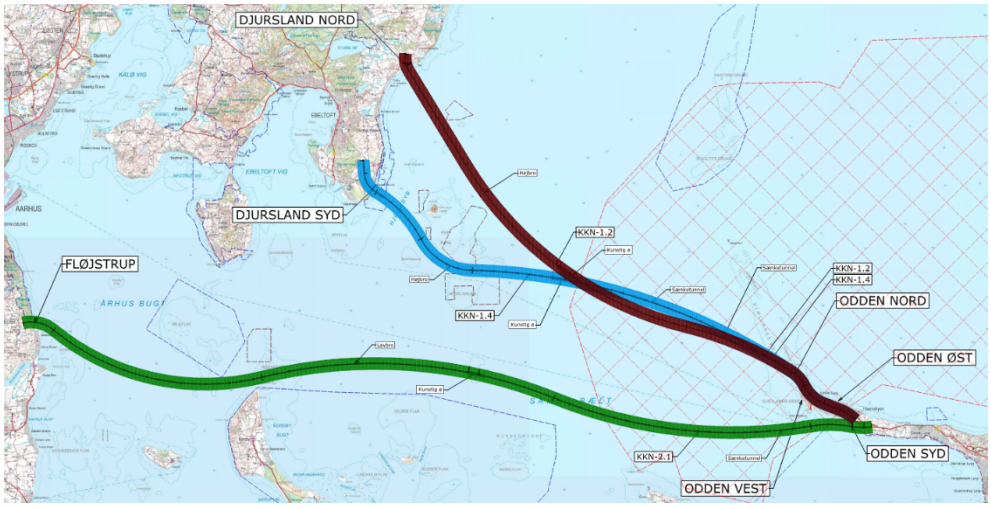
8.3.5 Vurdering

Baseret på risikoen for skibskollision mod brodelen og boret tunnel under militærområde vurderes projektrisikoen for denne løsning til **Forhøjet risiko.**

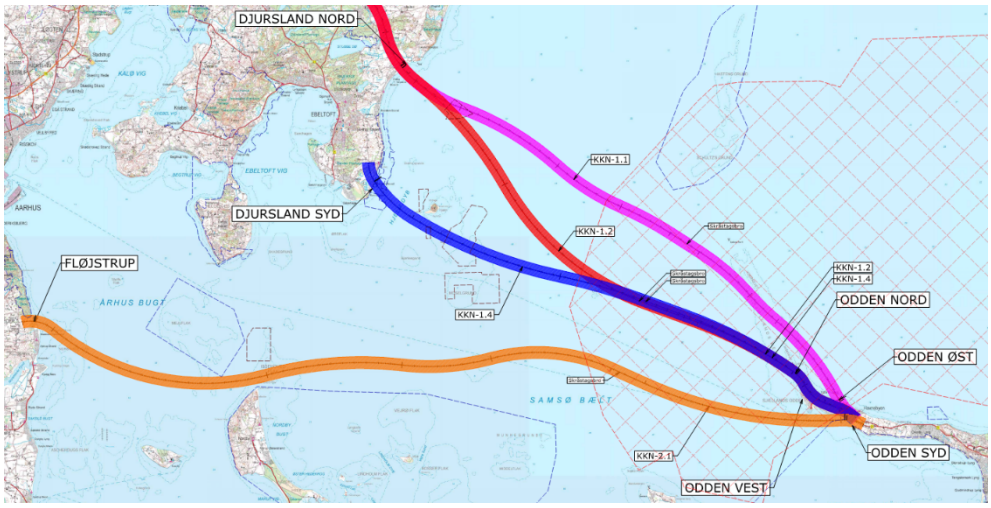
9 Fravalgte korridorer

Arbejdet med at udvikle korridorer fra Sjællands Odde til Jylland blev påbegyndt i marts 2020, og resulterede i skitsering af 10 forskellige løsninger. Disse løsninger fremgår af Figur 8-1, Figur 9-1 og Figur 9-2 ,og er nøjere beskrevet i [1].

Korridorerne er først og fremmest fravalgt på grundlag af Forsvarsministeriets høringssvar af 24. juni 2020, hvoraf fremgår en linjeføring ved Sjællands Odde vurderes i væsentlig grad at ville begrænse Forsvarets aktiviteter og derfor vil være uforenelig med Forsvarets interesser i området. Det tilføjes dog at en boret tunnelløsning eventuelt vil være en mulighed, beroende på en yderligere analyse i forhold til påvirkning af skarpskydning og undervandssprængninger i Forsvarets områder såvel nord som vest for Sjællands Odde. Hertil kommer at broløsninger i dette område krydser skibsfartens T-rute og A-rute, og udgør en betydelig risiko for kollisioner imellem bro og skibe (se [1]).



Figur 9-1 *Fravalgte korridorer med sænketunneler fra Sjællands Odde (Bilag 9-1 i bilagsmappen)*



Figur 9-2 *Fravalgte korridorer med broer fra Sjællands Odde (Bilag 9-2 i bilagsmappen)*

10 Anlægsoverslag

10.1 Indledning

I det følgende er overordnet beskrevet, hvordan nærværende anlægsoverslag for Kattegatforbindelsen er udarbejdet.

I forhold til forudsætninger for fastlæggelse af enhedspriser m.v. henvises generelt til [3].

10.2 Mængder for kyst-kyst korridorer

10.2.1 Generelt

Der henvises generelt til [3].

10.2.2 Forudsætninger – Kombinerede vej/bane-korridorer

Kyst-kyst korridorer for kombineret vej/bane indeholder følgende hovedkonstruktionselementer:

- Højbro (bjælkebro med spændvidde 200 m)
- Lavbro (bjælkebro med spændvidde 100 m)
- Boret tunnel
- Landanlæg
  - Cut & cover tunnel
  - Trug
- Kunstig ø på åbent vand.
- Udfletningsanlæg (separation af bane og vej)

Længder af disse konstruktionselementer er sammenfattet i tabel i bilag 10-1 i bilagsmappen.

For de kunstige øer er længden beregnet fra brolandfæste til overgang mellem boret tunnel og cut & cover tunnel. Hertil er lagt tillæg i begge ender for overlap mellem ø og bro hhv. tunnel. For boret tunnel med vej/bane 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.

Den kunstige ø består af følgende delelementer:

- Perimeterdæmning
- Vej/bane dæmning
- Trug

- Cut & cover tunnel

Det bemærkes at de kunstige øer på KKN ligger væsentligt mere ubeskyttede og på dybere vand end de tilsvarende for korridorer via Samsø (KKØ og KKV). Der er derfor behov for en mere robust og dermed dyrere konfiguration end for KKØ og KKV.

Længden af perimeterdæmning er beregnet ud fra øens længde og bredde med halvcirkel i hver ende, som anført i tabel i bilag 10-1 i bilagsmappen.

Beregning af længden af øvrige delelementer af kunstig ø er beskrevet i [1].

Længde af udfletningsanlæg på land eller kunstig ø ved kombineret vej/bane broløsning i to etager er 600 m per landfæste.

Efterfølgende faser vil vise om der vil være behov for yderligere afværgeforanstaltninger i forhold til skibsstød. Dette kan f.eks. være i form af kunstige rev nær udsatte bropiller eller forstærkning af bropiller. Sådanne er ikke blevet prissat i nærværende fase, og udgør derfor en projektrisiko.

For konstruktionselementer, hvor referencepriser er per m², er der ved omregning til længder anvendt følgende bredder:

- 4+2: Bredde = 23,6 m + 12,3 m = 35,9 m
- 4+1: Bredde = 23,6 m + 8,0 m = 31,6 m

10.2.3 Forudsætninger- Vej-korridorer

Konstruktionselementer for løsningen med kun vej er som for kombineret vej/bane med undtagelse af følgende:

- Udfletningsanlæg på land er ikke nødvendige;
- Kunstige øer kan gøres 200 m kortere grundet lempeligere vertikal radius, og højbro eller lavbro vil så tilsvarende være 200 m længere. Den del af øen, som er afkortet, er vejdæmning, som herved bliver ca. 525 m lang.

Længder for alle konstruktionselementer er sammenfattet i bilag 10-1 i bilagsmappen.

Vejdæmning har mindre kronebredden end vej/bane dæmning, og har derfor mindre mængder. Kronebredden er ca. 30 m.

For konstruktionselementer, hvor referencepriser er per m², er der ved omregning til længde anvendt følgende bredde:

- 4+0: Bredde = 23,6 m.

10.3 Anlægsoverslag

10.3.1 Metode og enhedspriser

Anlægsoverslaget kan for de samlede korridorer via Odden-Djursland hhv. Odden-Fløjstrup opdeles i de 3 korridorbidrag; Landanlæg på Sjælland, kyst-kyst anlæg og landanlæg i Jylland. Det vil sige, at for at vurdere det samlede anlægsoverslag for en Kattegat forbindelse skal relevante kombinationer af de 3 korridorbidrag lægges sammen. Da denne rapport alene omfatter kyst-kyst-strækningerne (KKN), kan et samlet anlægsoverslag ikke præsenteres.

Det er dog værd at bemærke at landanlæg på Sjællands Odde må antages at kræve nogle ganske omfattende afværgeforanstaltninger, såsom en overdækning af vej og bane (cut & cover tunnel) over en længere strækning på Odden for at beskytte sommerhusområdet mod støj og sikre uhindret adgang til nordkysten. Sådanne udgifter vil have mærkbar indflydelse på et samlet anlægsoverslag (kyst-kyst plus landanlæg); men er ikke medtaget i denne rapport, som altså kun omhandler anlægget kyst-kyst.

Alle anlægsoverslag baserer sig på nogle foreløbige antagelser om konstruktiv udformning af broer og tunneler og nogle simplificerede modeller for prissætning baseret på relevante referenceprojekter, men som på dette stadie ikke er tilpasset de projektspecifikke forhold, som vil gøre sig gældende for Kattegatforbindelsen.

Enhedspriser anvendt for broer er typisk baseret på 10 referenceprojekter med varierende udformning og forskel i dimensionerende laster. De fleste referenceprojekter er dimensioneret for store vandrette laster, enten fra skibsstød eller jordskælv. Der er derfor indregnet en vis effekt fra skibsstød i enhedspriserne. Alle KKN broløsningerne er vurderet til at have forhøjet projektrisiko pga. skibsstødsrisiko og derfor må øgede omkostninger forventes. Det kan skyldes behov for kunstige rev nær udsatte bropiller eller til forstærkning af bropiller. Sådanne er ikke blevet prissat i nærværende fase, og udgør derfor en projektrisiko.

Prissætning af tunneller er baseret på tilsvarende analyser i forbindelse med Femern projektet, samt et større studie af anlægspriser af boret tunnel indsamlet i forbindelse med HS2 projektet i England.

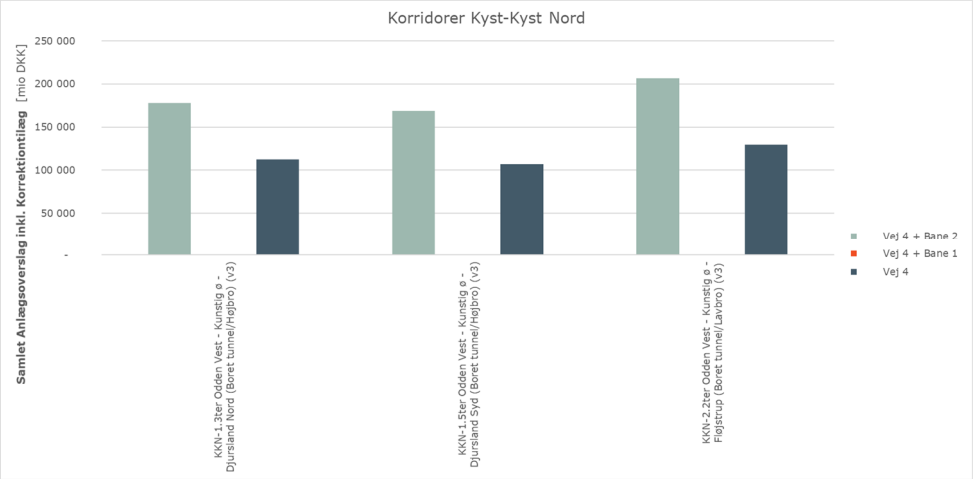
For KKN, er resultater vist for:

- vej (4 spor) + bane (2 spor).
- vej (4 spor)

Der er ikke p.t. vist resultater for en forbindelse bestående af: vej (4 spor) + bane med kun 1 spor. Generelt har vi ikke vurderet det relevant med borede tunnelstrækninger med kun ét banespor, da besparelsen vil være beskeden og evakuering vil blive mere kompliceret.

For at skelne mellem beregninger af anlægsoverslag for korridorerne før og efter indarbejdelse af konsekvenser af [2] er de opdaterede beregninger i anlægsoverslaget benævnt "v2".

10.3.2 Beløb



Figur 10-1 Anlægsoverslag KKN Kyst-kyst (inkl. 50% korrektionstillæg)

Tabel 10-1 Anlægsoverslag KKN Kyst–Kyst

Korridor ID			KKN13BBv3	KKN15BBv3	KKN22BBv3
Korridor navn			KKN-1.3ter Odden Vest - Kunstig ø - Djursland Nord (Boret tunnel/Højbro) (v3)	KKN-1.5ter Odden Vest - Kunstig ø - Djursland Syd (Boret tunnel/Højbro) (v3)	KKN-2.2ter Odden Vest - Kunstig ø - Fløjstrup (Boret tunnel/Lavbro) (v3)
Længde					
Vej		[km]	49.75	46.30	71.15
Bane		[km]	50.95	47.50	71.15
Entreprisearbejder på strækningen					
Vej 4		[mio DKK]	66 778	63 541	77 096
Bane 2		[mio DKK]	39 205	36 991	45 838
Bane 1		[mio DKK]	- 66 778	- 63 541	- 77 096
PTA (12% add on)					
Vej 4		[mio DKK]	8 013	7 625	9 252
Bane 2		[mio DKK]	4 705	4 439	5 501
Bane 1		[mio DKK]	- 8 013	- 7 625	- 9 252
Samlet anlægsoverslag					
Vej 4		[mio DKK]	74 791	71 166	86 347
Bane 2		[mio DKK]	43 910	41 430	51 338
Bane 1		[mio DKK]	- 74 791	- 71 166	- 86 347
Korrektionstilæg					
Vej 4		50%	37 396	35 583	43 174
Bane 2		50%	21 955	20 715	25 669
Bane 1		50%	- 37 396	- 35 583	- 43 174
Samlet Anlægsoverslag inkl. Korrektiontilæg					
Vej 4		[mio DKK]	**112 187**	**106 749**	**129 521**
Vej 4 + Bane 2		[mio DKK]	**178 051**	**168 895**	**206 528**
Vej 4 + Bane 1		[mio DKK]	**-**	**-**	**-**

11 Referencer

[1] KATTEGATFORBINDELSE - KYST-KYST ANLÆGSTEKNISKE FORUNDERSØGELSER, Indledende linjeføringsovervejelser, Sjællands Odde - Jylland, Delrapport, COWI, Juni-2020 (efterfølgende lettere redigeret i september 2020).

[2] »KATTEGATFORBINDELSE - KYST-KYST MILJØTEKNISKE FORUNDERSØGELSER, Analyse af særligt betydningsfulde områder v2,« Rambøll, 25-06-2020.

[3] »Indledende linjeføringsovervejelser for en Kattegatforbindelse, Delrapport,« COWI, Marts 2020.

[4] »Forundersøgelse af Kattegatforbindelse - indledende linjeførings-overvejelser. Geologisk og geoteknisk screening,« COWI, 2019.