

SUND & BÆLT HOLDING A/S

KATTEGATFORBINDELSE - KYST-KYST ANLÆGSTEKNISKE FORUNDERSØGELSER

SÆNKETUNNELBESKYTTELSE

FAGNOTAT

ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

INDHOLD

1	Indledning	2
1.1	Generelt	2
1.2	Typer og eksempler	2
2	Grundlag og antagelser	3
3	Udformning af beskyttelsen	5
3.1	Typisk sænketunnelbeskyttelse	5
3.2	Dæmning omkring kunstig ø	7
3.3	Undersøiske dæmning over havbund	9
4	Bygbarhed	12
4.1	Udførelsesmetode	12
5	Referencer	13

PROJEKTNR.

A134385

DOKUMENTNR.

A134385-C-NOT-002

VERSION

1.0

UDGIVELSESDATO

29. juni 2021

BESKRIVELSE

UDARBEJDET

TOOL

KONTROLLERET

SSO

GODKENDT

PTR

1 Indledning

1.1 Generelt

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

Formålet med dette tekniske fagnotat er kort at beskrive de koncepter der ligger til grund for udformningen og udførelsen af beskyttelse af sænketunneller ved mulige kyst-til-kyst løsninger til en Kattegatforbindelse. Tunnelbeskyttelsen er primært til at beskytte imod ulykkeslaster fra skibstrafik.

Beskrivelsen i dette notat har til hensigt - ud fra et tunnelteknisk synspunkt - at give et overblik over de under specielle forhold ved lidt usædvanlige udformninger af sænketunnelbeskyttelsen, hvor linjeføringen af vej og evt. med jernbane medfører en placering af beskyttelsen over havbunden. Beskrivelsen i dette tekniske notat er generisk beskrevet og skal derfor tilpasses de specifikke forhold der gælder for en given korridor og trafikal funktion.

Overblikket skal hjælpe med at danne et bedre grundlag for udarbejdelsen af et anlægsoverslag og en bedre vurdering af projektrisikoen, hvor disse typer af sænketunnelbeskyttelse er indarbejdet i linjeføringsstudiet.

Som en del af beskrivelsen inddrages blandt andet

- > Risiko fra sejlads (baseret på erfaringer fra tilsvarende udførte projekter)
- > Marine konstruktioner (med henvisning til hydraulisk projektering)
- > Udførelsesrisiko forbundet med marine arbejder ved sænketunnel
- > Funderingsmæssige forhold (med henvisning til geoteknisk grundlag)
- > Drift og vedligehold (med henvisning til hydraulisk projektering)

Hydrauliske og geologiske forhold omkring sænketunnelbeskyttelsen er beskrevet i fagnotater for henholdsvis hydraulik i Design Basis [1] og den geologiske model [2] og derfor ikke omhandlet specifikt i dette sænketunnelnotat.

1.2 Typer og eksempler

Sænketunnelbeskyttelsen beskrives for tre forskellige generiske typer af tværsnit:

- 1 **Typisk udformning**, hvor oversiden af tunnelbeskyttelsen er i niveau med eller under eksisterende havbund (eksempel Femern sænketunnelbeskyttelse)
- 2 **Ved overgang imellem sænketunnel og kunstig ø**, hvor tunnelbeskyttelsen er placeret over havbunden, hvor linjeføring som følge af tilslutningen tilskriver dette specielle behov.

- 3 **Ved undersøisk dæmning**, hvor tunnel og tunnelbeskyttelsen er placeret over havbund i Storebælt-renden for at reducere dybden.

Det forudsættes at i-landføringer af sænketunnel, ikke kræver speciel udformning af tunnelbeskyttelsen ved kystlinjen. Det forventes at sænketunnellen vil kunne blive placeret under den eksisterende havbund, strand og kystlinje, med minimal miljøpåvirkning af kystzonen.

Tunnelportal, teknikbygning og rampe på hver side af kyst-til-kyst delen placeres et stykke inde på land, i tilstrækkelig afstand fra kystzonen for også hermed at begrænse miljøpåvirkningen af kystzonen. Det forudsættes, at der ikke kan etableres løsninger med dæmninger og tilhørende tunnelbeskyttelse ud fra kysten til at minimere længden af sænketunnel og dermed anlægsprisen. Det foreslås at en mere tilbunds gående analyse af muligheden for at lægge længere stræk af linjeføringen på dæmninger undersøges og gennemføres i en senere fase.

Beskrivelsen af aktiviteter, input/grundlag og leverancer forbundet med udarbejdelsen af dette fagnotat er angivet i arbejdsbeskrivelsen i Appendiks B.

2 Grundlag og antagelser

Projekteringsgrundlaget for Kattegatforbindelsen overordnet beskrevet i Design Basis [1].

2.1.1 Sikkerhed imod skibsstød

Krav til sikkerhed imod skibsstød på bro-løsninger er beskrevet i fagnotatet KKØ - Sejladsforhold og risiko for skibskollision [3]. Samme principper for tilvejebringelse af sikkerhed imod påsejling af broer vil blive anvendt for beskyttelse imod påsejling af sænketunnel.

Til forundersøgelsen er der ikke foretaget en decideret analyse for sænketunnel, som for broer. Omfanget af skibsstødsbeskyttelsen for sænketunnelløsningerne er derimod baseret på erfaring fra tilsvarende udførte projekter, beskrevet senere. Tunnelbeskyttelsen vurderes ikke at være afgørende udslagsgivende i anlægsoverslaget, det er på den baggrund vurderet at den anvendte tilgang er rimelig.

Hvor en undersøisk dæmning tænkes anlagt til sikring imod skibsstød fastlægges geometri dvs. bredde og højde af dæmning, under den antagelse at uheldslast fra skibsstød på sænketunnel ikke vil udgøre en dimensionsgivende last på konstruktion, med andre ord "geometri af sænketunnelbeskyttelsen skal sikre at skibet ikke rammer selve konstruktionen, men at skibet som påsejler beskyttelsen stoppes inden den rammer selve konstruktionen".

2.1.2 Jordbundsforhold

På baggrund af eksisterende data bl.a. fra undersøgelser forbundet med råstof-indvinding, samt for projektet nyligt udførte seismiske undersøgelser findes der foreløbigt jordbundsinformation for alle korridorer og udvalgte linjeføringer.

Jordbundsforhold som ligger til grund for denne forundersøgelse er kort beskrevet i fagnotatet Geofysiske undersøgelser og geologisk model [2].

Data viser udbredte lag af moræner i alle korridorer med områder af sand og smeltevangsgrus enkelte steder. På enkelte lokaliteter, kan et ikke udelukkes, at der vil kunne findes plastisk lillebæltssler. Aflejringen af mergel findes i forskellig dybde ved hver korridor, men vil ikke nødvendigvis påvirke udformning af løsninger og linjeføringer.

I Storebæltsrenden, som krydser linjeføringskorridorerne øst for Samsø, finder man ingen eller kun mindre tykkelser af blød bund og derfor forventes en meget lille afgravning forbundet med fundering af undersøisk dæmning til tunnelbeskyttelse.

2.1.3 Marine forhold

De hydrauliske forhold som vil være dimensionsgivende for stenstørrelsen på beskyttelsen, vil afhænge af eksponering for større bølger, strøm og vanddybden til tunnelkonstruktionen. Projekteringsgrundlaget for marine konstruktioner er beskrevet i Design Basis [1], mens udformning af undersøisk dæmning for sænketunnel og tunnelbeskyttelse imod skibsstød ved kunstig ø er beskrevet i fagnotatet Marine Konstruktioner [4].

2.1.4 Reference projekter

Omkring valget af de aktuelle løsninger til denne forundersøgelse henvises der til erfaring fra udførelse af lange sænketunneller til i) vej alene og ii) kombineret vej og jernbane, anlagt indenfor de sidste 20 år, herunder sænketunnel projekter som

- > Øresundsforbindelsen, Danmark/Sverige - 3,6km (2000)
- > Busan-Geoje Fixed Link, Sydkorea - 3,4km (2010)
- > Hong Kong – Zhuhai – Macao Link (HZM), Kina - 5,6km (2018)

(åbningsår er givet i parentes)

Disse tre sænketunneller er herefter refereret til, i ovenstående rækkefølge som henholdsvis "Øresund", "Busan" og "HZM".

Appendiks A indeholder billeder af forskellige udformninger af kunstige øer anlagt som overgang imellem bro og tunnel.

3 Udformning af beskyttelsen

3.1 Typisk sænketunnelbeskyttelse

3.1.1 Tunnelbeskyttelsen

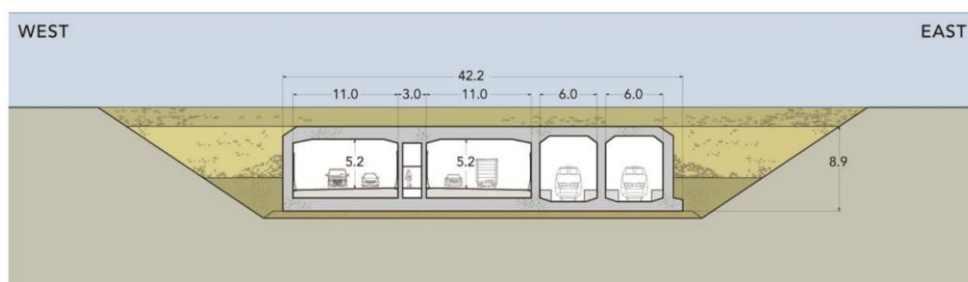
Tunnelbeskyttelsen omkring sænketunnel beskytter betonkonstruktionen imod stød fra genstande, som ville kunne beskadige blandt andet dæklaget for armeringen. En beskadigelse af denne ville kunne reducere betonkonstruktionens holdbarhed, hvis ikke tunnelen var beskyttet med et stødabsorberende stenlag.

I værste fald kunne stød på konstruktionen beskadige bl.a. en tunnelfuge i en sådan grad at fugen ikke længere var vandtæt. En sådan reparation vil ofte være omkostningstung og generende for trafikanter under udførelse af reparation.

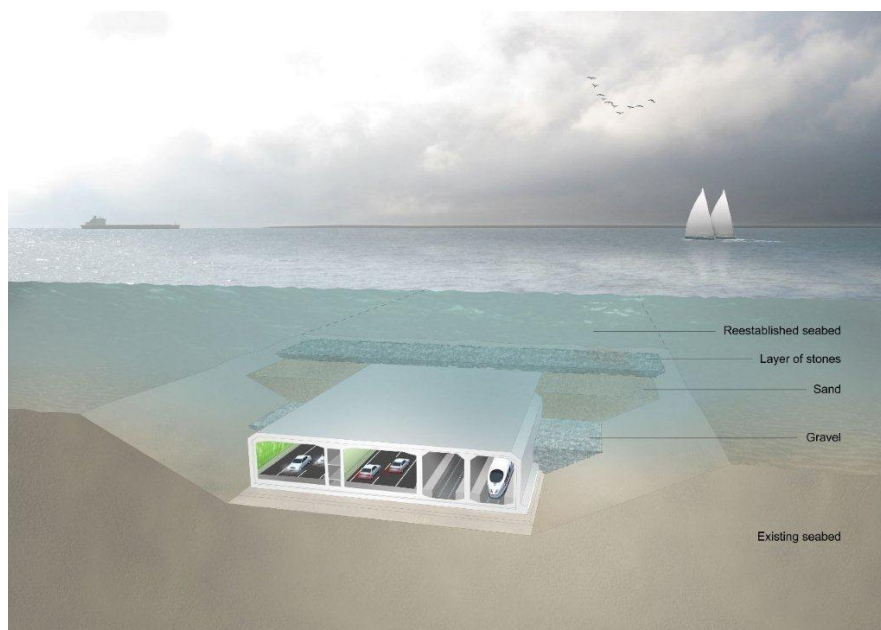
Genstande som kan påvirke tunnelen, vil dog med højere sandsynlighed være skibssankre, enten faldne skibssankre eller dem gennem havbunden trukne skibssankre. I værste tilfælde kan det dreje sig om skibe, som uheldigvis synker og derved rammer sænketunnelen. Det er god praksis at projekttere sænketunneler for en sådan last, hermed sikres også en vis robusthed i konstruktionen.

Tunnelbeskyttelsen foreslået til Kattegatforbindelse vil i princippet være den samme som er anvendt på Femern sænketunnel, som er vist på Figur 1 og Figur 2.

Beskyttelsen består nederst af et sten- og gruslag, som placeres på siderne af tunnelementerne umiddelbart efter nedsænkning og forbindelsen imellem et nyt tunnelement og det forrige tunnelement. Laget benævnes som sikringsfyld, da funktionen netop er at fastholde element imod horisontale laster bl.a. fra strøm og bølger indtil hele tunnelbeskyttelsen er placeret i sin fulde udstrækning omkring hele tunnelen i hele dens længde.



Figur 1 - Tunnelbeskyttelse til Femern sænketunnel



Figur 2– Tunnelbeskyttelse til Femern sænketunnel

Placeret over sikringsfyldet lægges yderligere et lag af sten eller grus, som udgør undersiden af den endelige stenbeskyttelse. På tunneltaget udlægges et lag af større sten til at beskytte tunnelkonstruktionen.

Stenstørrelsen fastlægges af strøm- og bølgeforhold, som omfatter både naturlig strøm f.eks. tidevand og vindgenereret strøm og/eller strøm fra skibes propeller. Tykkelsen af stenlaget afhænger af to forhold, dels stenstørrelsen, oftest placeres stenbeskyttelsen i et 2-lags system og dels af størrelsen på de ankre man skal beskytte tunnelen imod.

Erfaring fra sænketunneller anlagt under internationale sejlrender med større skibe er der risiko tabte skibsankre, her vil tykkelsen af stenbeskyttelsen kunne begrænses til en tykkelse på mellem 1,5m – 2,0m.

Bredden af stenbeskyttelsen fastlægges ligeledes under hensyntagen til ankre som vil kunne trækkes gennem havbund. Stenbeskyttelsen skal sikre at skibsankre enten trækkes ud af havbunden før det trukne skibsanker rammer tunnelen, eller også at projektere tunnelen for en påtrykt last svarende til brudlasten for ankerlinen.

I de tilfælde en sænketunnel anlægges i områder hvor havbundskoten varierer over kortere afstand eller ændres over tid grundet erosion/sedimentation kan man med fordel lægge linjeføringen således at tunnelbeskyttelsen vil ligge et stykke under havbunden. I sådanne tilfælde skal tunnelen projekteres for de vertikale jordlaster inklusive lastvariationer som fremkommer ved sedimentation på oversiden af tunnelbeskyttelsen.

Alt i alt findes der fornuftige og velafprøvede principper og løsninger for udformning af beskyttelse af sænketunnel, som kan danne grundlag for undersøiske dæmninger og skibsstødsbeskyttelse ved tilslutning til kunstig ø. Disse normalt anvendte principper for projektering af beskyttelse af sænketunnel vil blive anvendt i de efterfølgende afsnit.

3.1.2 Fundering af tunnel og beskyttelsen

Det lodrette jordtryk under tilbage-fyld på siden af sænketunnellen – det vil sige de jordspændinger, som skaber tunnelsætninger – vil oftest være højere end fundamenttrykket under selve sænketunnelkonstruktionen. Hvor en sænketunnel anlægges på bløde aflejringer, vil man ofte kunne forbedre jordens egenskaber f.eks. med forbedringen under fyldet omkring tunnelkonstruktionen.

For typiske tværsnit af tunnelbeskyttelse og med det nuværende kendskab til de geologiske forhold, er det vurderet at jordbundsforholdene vil være tilstrækkeligt egnede til at udgøre sænketunnellens fundering uden yderligere tiltag.

På grund af tunnelens placering oftest en rende vil bæreevnebrud ikke være et reelt problem for sænketunneller i de typiske tværsnit. For sænketunnel placeret på dæmning er det afgørende af dæmningen sikres imod stabilitetsbrud.

Det skal tilføjes, at udgravning til rende for sænketunnel vil sikre at øvre blødere jordlag fjernes, som er typisk på eksisterende havbund. Det må derfor med rimelighed antages at funderingen i 10-12m dybdes under den eksisterende havbund kan gøres med direkte funderes og mængderisikoen for en evt. jordforbedring lokalt må anses som meget begrænset.

Det forventes at funderingslaget (mellem konstruktion og fundering) vil bestå af en afrettet gruspude med en tykkelse på omkring 0.6m - 0.8m. Metoden er velkendt og blev anvendt på sænketunnel projekterne Øresund, Busan og HZM.

3.2 Dæmning omkring kunstig ø

3.2.1 Tunnelbeskyttelse

Hvor linjeføringen foreskriver et behov for at dele af eller hele sænketunnellen placeres over eksisterende havbund vil der være en risiko for horisontal skibspåsejling.

Dette vil gælde for skibe som ikke er begrænset og standset af de omliggende havbundskoter herunder dybden af sejltreder. Følgende afsnit omhandler forhold hvor den typiske udformning af sænketunnelbeskyttelse ikke vil kunne benyttes.

For at minimere udstrækningen af den kunstige ø, som udgør overgangen imellem en sænketunnel og en bro, placeres linjeføringen og tunnelkonstruktionen over eksisterende havbund. Uden beskyttelse vil tunnelkonstruktionen være eksponeret for skibspåsejling. Udstrækningen af den kunstige ø minimeres for at reducere påvirkningen af strømforhold, som kan have miljømæssige negative påvirkninger.

En kunstig ø på lav vanddybde vil muligvis vise sig at være billigere at anlægge per løbende m end det er at anlægge strækningen, som en bro per løbende m. Skulle yderligere analyser i en eventuel senere fase vise at de miljømæssige

påvirkninger omkring en kunstig ø er begrænsede, bør en forøgelse af øens længde overvejes.

Påsejling fra større skibe vil naturligvis være begrænset af vanddybden i området omkring den kunstige ø. Hvor vanddybden er gunstig, vil større skibe, som har mistet kontrollen, blive standset ved grundstødning (på havbunden) før det rammer tunnelbeskyttelsen.

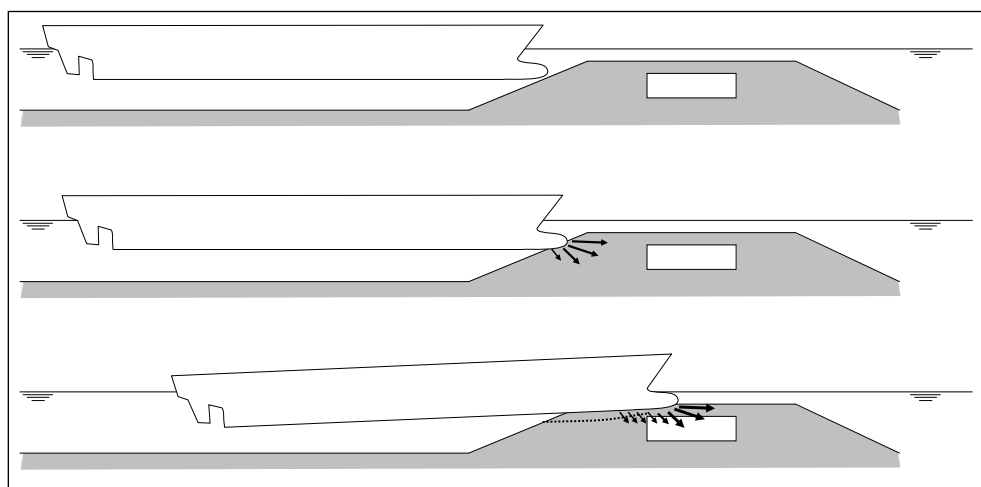
Ved risiko for skibspåsejling af sænketunnel i langsgående retning, parallelt med linjeføringen (aksial), kan denne risiko forbundet med påsejling fra større skibe, på samme vis som ved risiko for påsejling af bro, reduceres ved hjælp af under-søisk dæmning.

Ved risiko for skibspåsejling af sænketunnel i tværgående retning, vinkelret på linjeføringen (transversalt), reduceres denne risiko ved at gøre tunnelbeskyttelsen bredere, højere og tykkere.

Den horisontal afstand fra sænketunnelkonstruktionen til kanten af tunnelbeskyttelsen afgøres af den kinetiske energi, som skibet har ved påsejling af beskyttelsen. Skibet standses af beskyttelsen ved friktion, jordtryk og/eller tunnelbeskyttelsen løfter skibet og dermed fjernes kinetisk energi fra skibet. Herved bringes skibet til standsning inden skibet rammer tunnelkonstruktionen.

For igen at minimere den miljømæssige blokkeringseffekt fra den kunstige ø og beskyttelsen, samt reducere den vertikale last på tunnellen, foreslås det at tykkelsen af tunnelbeskyttelsen begrænses til 4m. Herved forventes det at en 2-lags stenbeskyttelse, vil kunne blive udlagt.

Erfaringsmæssigt (fra Busan sænketunnel) er det analyseret for skibe med dybgang op til 14-16m vil kræve en kronebredde (fra top af skråningsbeskyttelse til tunnelkonstruktion) på op til 25-30m, det vil sige samlet bredde på 80-100m (afhængig af trafikal funktion). Figur 3 viser en skematisk udformning af tunnelbeskyttelse ved kunstig ø hvor overside af sænketunnel konstruktion er over eksisterende havbund.



Figur 3 – Sænketunnelbeskyttelse imod horisontalt skibsstød

Det viste koncept indebærer store mængder af stenbeskyttelse, og i de tilfælde hvor strømforhold vil kunne acceptere en større kunstig ø, er det ikke udelukket at en længere kunstig ø (med mere materiale over tunnelen), vil være en mere optimal løsning. Det vil sige en løsning hvor sænketunnelkonstruktionen altid vil være under havbunden eller under den længere kunstige ø.

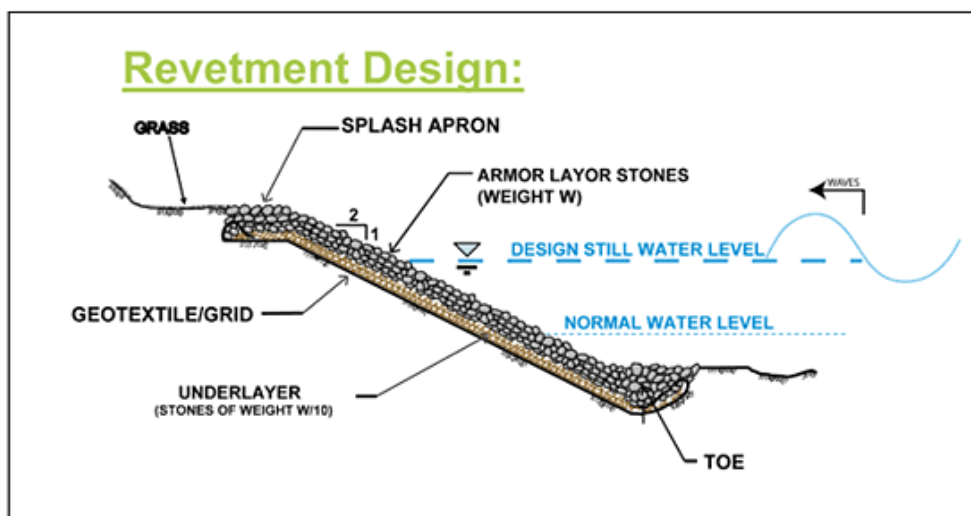
Andre ulykkeslaster forbundet med skibstrafik skal der også tages hensyn til. Udformning vil basere sig på de samme principper som beskrevet for det typiske tværsnit med hensyn til bl.a. last tilfælde "tabt anker", "trukken anker" og "sænket skib".

3.2.2 Fundering af beskyttelse ved kunstig ø

Hvor lag af blødbund identificeres, fjernes disse og dæmning til tunnelbeskyttelse antages at blive anlagt på mere egnede jordbundslag.

Skråningsstabilitet og bæreevne af skråning sikres på normal vis ved tilstrækkelig hældning og opbygning af fod til stenbeskyttelse.

Figur 4 viser typisk opbygning af kystbeskyttelse under ikke for bløde jordbundsforhold.



Figur 4 – Typisk tværsnit af kystbeskyttelse

3.3 Undersøiske dæmning over havbund

3.3.1 Tunnelbeskyttelse

For nogle af korridorerne og tilhørende linjeføringer, vil en sænketunnelløsning krydse Storebælt-renden. Grundet dybden af renden, samt en forventning om at en lokal opfyldning vil have en begrænset indflydelse på vandgennemstrømning, foreslås det at lægge dele af sænketunnellen her helt eller delvist over havbunden her.

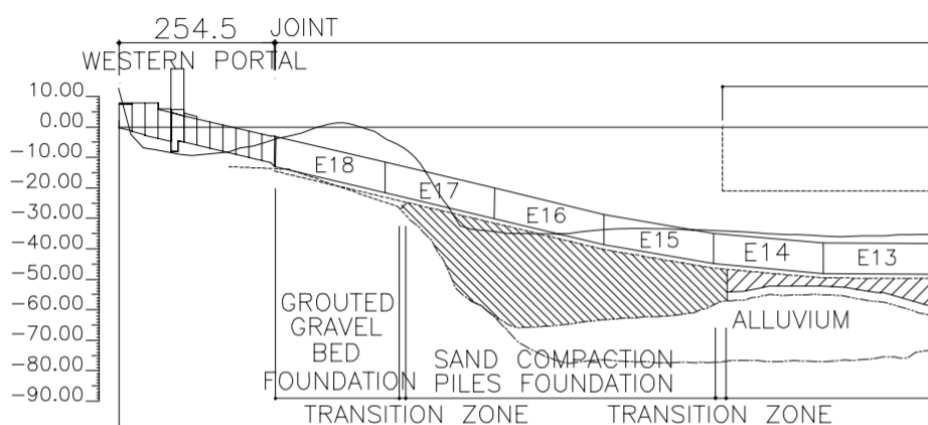
Verdens dybeste sænketunnel til vejtrafik er Busan sænketunnellen, med dybeste vejkode i -46m. Bosphorus sænketunnel (Istanbul åbnet i 2013) til jernbane er anlagt på 60m vanddybde på det dybeste sted.

Udgravning på stor vanddybde samt et højt vandtryk på konstruktioner og fuger er forhold man bør have med overvejelserne, for at sikre at risici knyttet til linjeføringen holdes indenfor acceptable grænser.

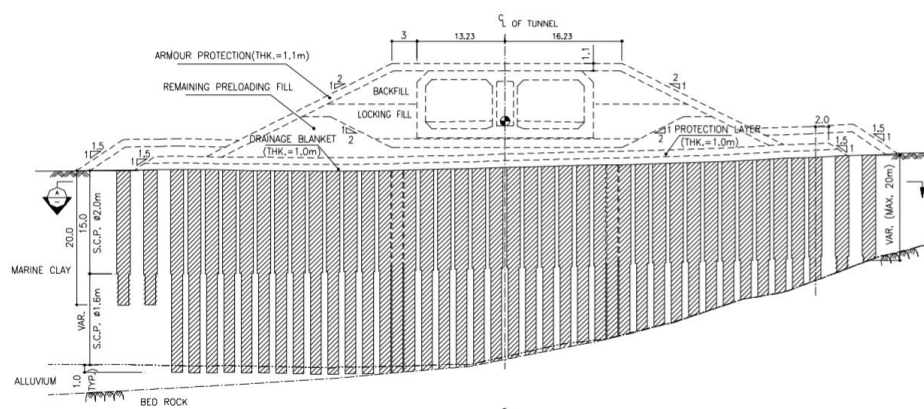
Anlægsaktiviteter forbundet med opbygning af undersøisk dæmning på høj vanddybde til sænketunnel er forbundet med en vis projekterings- og udførelsesrisiko.

I forbindelse med Busan sænketunnellen anlagde man en strækning af sænketunnel på en undersøisk dæmning med havbunden i ca. -30m. Figur 5 viser den horisontale linjeføring for den undersøiske dæmning, mens Figur 6 viser et tværsnit af den undersøiske dæmning på det samme projekt.

Årsagen til behovet for denne undersøiske dæmning skal findes i minimumskravet til gennemsejlingshøjde for den tilstødende bro og dermed de bindinger det giver til linjeføringen. På grund af bløde jordbundsforhold under dæmningen var det ydermere nødvendigt af jordforbedre med Sand Compaction piles (SCP) med tilhørende forkonsolidering.



Figur 5 – Busan sænketunnel - Linjeføring med sænketunnel lokalt over havbund



Figur 6 – Busan sænketunnel, tværsnit af dæmning og tilbagefyld

For Kattegatforbindelsen er linjeføringen fra Røsnæs imod Samsø, hvor dæmningen krydser Storebælt-renden, bleven lagt på en sådan måde at tunnel bliver så kort som mulig. Dybden af vejkoten er fastlagt med udgangspunkt i erfaring fra Busan sænketunnel, som p.t. er den dybeste vejsænketunnel og dermed udformet indenfor de kendte grænser for sænkning af større tunnel elementer.

En sådan udformning medfører at tykkelsen af opfyldet under sænketunnel er i størrelsesorden omkring 8-10m, som er større end anvendt på Busan sænketunnelprojektet, og større end andet projektgruppen er bekendt med. Som et alternativt kan man flytte linjeføringen længere mod nord, hvor vanddybden er lavere og dermed kan man opnå en mindre dæmning. Vanddybder viser at man kan gøre tykkelsen mellem undersiden af sænketunnellen til havbunde til 3-4m og dermed have en opbygning svarende til erfaring fra Busan.

Opbygning af undersøisk dæmning består i at blød bund fjernes og derefter indbygges der et skarpt og stabilt materiale op til undersiden af sænketunnellens funderingslag (beskrevet ovenfor).

På tværs af den undersøiske dæmning skabes der en kunstig rende til sænketunnellen ved at opbygge to mindre dæmninger, en på hver side af den fremtidige placering af sænketunnellen. Oversiden af disse dæmninger svarer til oversiden af det fremtidige sikringsfyld, som indbygges på samme måde og med samme funktion, som i det typiske tværsnit. Når de ydre dæmninger er bleven anlagt, klargøres funderingslaget, tunnelelementerne sænkes og sikringsfyldet placeres omkring til sikring af tunnelelementerne.

Sikrings- og tilbage-fyldet placeres omkring tunnel, over tilbage-fyldet placeres større sten til tunnel beskyttelse, efter samme principper som for det typiske tværsnit. Med andre ord fastlægges stenbeskyttelse som funktion af strøm og ulykkeslaster.

Risikoen for horisontalt skibsstød på den undersøisk dæmning forventes kun at opstå i forbindelse med at et skib synker, ikke fra et horisontalt stød. Undersøiske dæmninger anlagt i forbindelse med Storebæltssenden skal have en kote, som ligger under koten i de internationale sejlrender i området.

3.3.2 Fundering af undersøisk dæmning

Grundet erosion primært fra smeltevand forventes formen af Storebælt-renden at være V-formet, med et koncentreret dybdepunkt (hvor smeltevandssfloden lå).

Der er ikke fundet blødbundsaflejringer i disse smeltevands-render, det forventes at eventuelle undersøiske dæmninger vil uden videre kunne udføres med direkte fundering.

4 Bygbarhed

4.1 Udførelsesmetode

Udgravning til sænketunnel består dels af a) grov udgravning (bulk) som består i at få fjernet så meget som muligt, på kortest tid og b) finudgravning (præcisionsudgravning), som består i at etablere jævn og stabil skråning uden for megen ekstra udgravning (da det skaber ekstra last og dermed sætning af tilbagefyld) og en jævn underside til funderingslaget, udenfor megen ujævnhed i udgravningen da det kan skabe i tilsigtede stivhedsvariationer i funderingen af tunnelen.

Udgravning på høje dybder (>30m) forventes udført med skære-sugemaskine (Cutter Suction Dredger) eller med Grab, som i begge tilfælde vil kunne udgrave de fleste og forventede typer af jordmateriale. For blødere jordtyper vil en Trailing Suction Hopper Dredger kunne komme på tale, men på det nuværende vidensniveau er det ikke til at vide hvilket udgravningsmateriel, som vil være mest egnet.

For de senest udførte lange sænketunneller i Busan og HZM, hvor den dybeste del af udgravningen svarede til vejkotter på henholdsvis -46m og -40m, blev udgravning foretaget med Trailing Suction Hopper Dredger. Der findes på markedet Cutter Suction Dredgers, som kan udgrave op til 45 m ("Spartacus" ejet af Belgiske DEMA), mens der ikke findes samme begrænsninger for grab, udover produktionsraten kan være væsentlig lavere end for en Cutter Suction Dredger.

Undersøiske dæmninger kan opbygges med kendte metoder og ned til vanddybder på 40m. For dæmninger placeret dybere vil dette formodentlig være muligt, risikoen forbundet med dette (grundet begrænset erfaring) er i øjeblikket ukendt.

Installering af et tunnelement er uafhængig af udformning af tunnelbeskyttelse. Principperne for installation er de samme for alle komponenter for sænkning af elementer. Jo dybere, jo højere risiko, derfor tages der udgangspunkt i kendte dybder, men dette udelukker ikke at en dybere linjeføring i sidste end ville vise sig at være bedre at andre henseender og den forøgede risiko var en lille i forhold til andre fordele der måtte være ved at hæve linjeføringen.

5 Referencer

- [1] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-Kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, Design basis, Fagnotat,« COWI, Juni 2021.
- [2] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-Kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, Geofysiske undersøgelser og geologisk model, Fagnotat,« COWI, Juni 2021.
- [3] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-Kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, KKØ - Sejladsforhold og risiko for skibskollision , Fagnotat,« COWI, Marts 2021.
- [4] Sund & Bælt Holding A/S, »Kattegatforbindelse - Kyst-Kyst - Anlægstekniske Forundersøgelser, Marine Konstruktioner, Fagnotat,« COWI, April 2021.

Bilag A Eksempler på kunstige øer for faste forbindelser

Nedenfor er angivet liste over projekter af faste forbindelser, hvori der indgår både bro og tunnel. Åbningsår og repræsentativ vanddybde er angivet.

- > Chesapeake Bay sænketunnel, USA (1964), vanddybde ca. 10m - Figur 7
- > Tokyo Bay boret tunnel, Japan (1997), vanddybde ca. 20m - Figur 8
- > Storebælt boret tunnel Danmark (1997), vanddybde ca. 5m - Figur 9
- > Øresund sænketunnel, Danmark (2000), vanddybde ca. 3m - Figur 10
- > HZM, sænketunnel Kina (2018), vanddybde ca. 10m - Figur 11



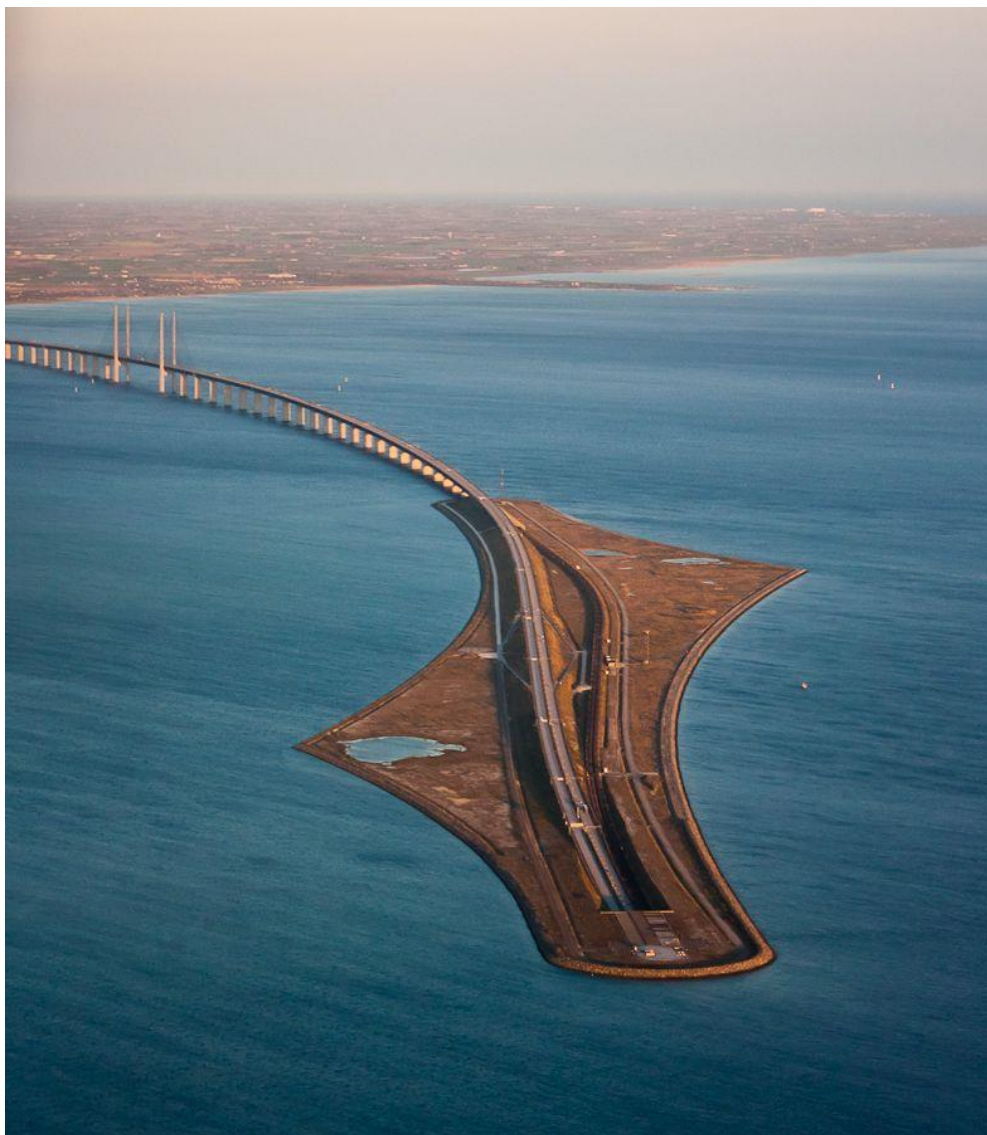
Figur 7 – Kunstig ø for Chesapeake Bay forbindelsen (bro og sænketunnel)



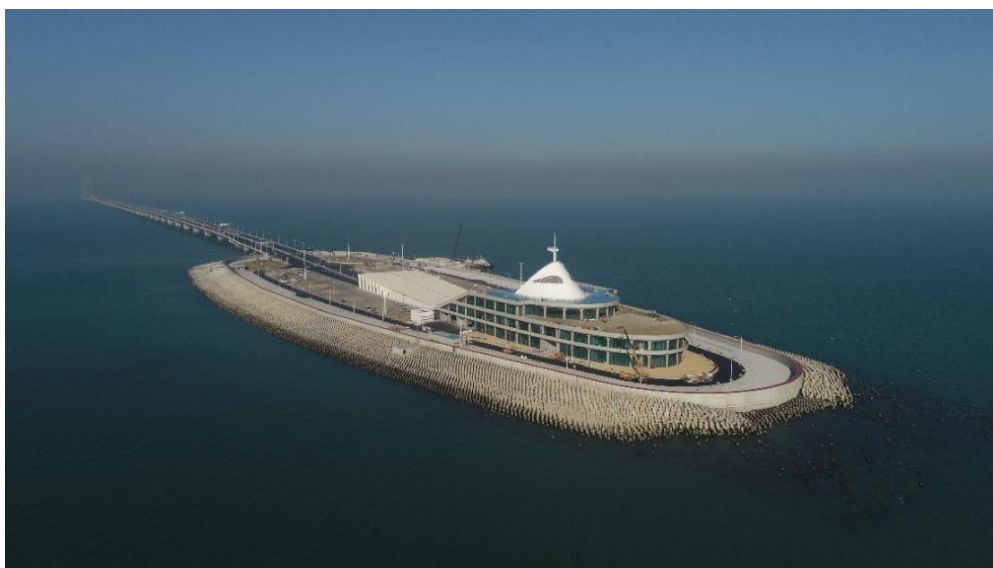
Figur 8 - Kunstig ø for Tokyo Bay forbindelse (bro og boret tunnel)



Figur 9 - Kunstig ø Storebæltsforbindelsen (bro og boret tunnel)



Figur 10 - Kunstig ø for Øresundsforbindelsen (bro og sænketunnel)



Figur 11 - Kunstig ø HZM-forbindelse (bro og sænketunnel) (foto: CCCC)



Figur 12 – Busan sænkning af tunnel element tæt på ilandføring (foto: Daewoo)

Bilag B Beskrivelse af aktivitet

Beskrivelse	Input	Leverancer
Den dybe undersøiske dæmning under KKØ sænketunnelen kræver supplerende overvejelser i forhold til feasibility, koncept og pris.	Geotekniske informationer langs linjen, herunder specielt forventet stivhed og materialets egnethed til jordforstærkning.	Fagnotat med videreudviklet koncept og prisestimat på dæmning samt evt. jordforstærkning
Den undersøiske beskyttelse af sænketunnel ved overgang til Kunstig Ø vil kræve beskyttelse mod skibsstød. Udstrækningen af denne beskyttelse skal vurderes i forhold til skibsanalyserne og vil være forskellig afhængig af placering af øen både i KKØ og for KKV.	Placering af øen COWI input Vurdering af skibslast under påsejling af det beskyttende rev. Antagelser om havbundsforhold, herunder evt. behov for jordforstærkning til at bære lasten af den undersøiske dæmning	Fagnotat med videreudviklet koncept og prisestimat på dæmning samt evt. jordforstærkning