STRATEGISK ANALYSE FOR EN FAST HELSINGØR-HELSINGBORG FORBINDELSE

SAMLET RAPPORT OVER ANALYSEARBEJDE

RAMBØLL Bright ideas. Sustainable change.

STRATEGISK ANALYSE FOR EN FAST HELSINGØR-HELSINGBORG FORBINDELSE

Projektnavn	**Strategisk analyse af fast H-H forbindelse**
Projektnr.	**1100041923**
Modtager	**Lene Nøhr Michelsen**
Dokumenttype	**Rapport**
Version	**0**
Dato	**19 November 2020**
Udarbejdet af	**Igor Blagojevic**
Kontrolleret af	**Mads Abrahamsen**
Godkendt af	**Søren Wegener Gamst**

Rambøll
Hannemanns Allé 53
DK-2300 København S

T +45 5161 1000
F +45 5161 1001
https://dk.ramboll.com

Rambøll Danmark A/S
CVR NR. 35128417

Medlem af FRI

INDHOLD

0.	**Indledning**	**3**
0.1	Baggrund for notatet	3
0.2	Formål og afgrænsninger	3
HOVEDAFSNIT 1. Sænketunnel		**5**
1.	**Forudsætninger**	**6**
1.1	Linjeføring	6
1.2	Geologiske forhold	7
1.3	Miljøforhold	8
1.4	Tunnel tværsnit for den borede tunnel	9
1.5	M&E pladskrav	10
1.6	Tunnelsikkerhed	10
2.	**beskrivelse af Sænketunnel alternativet**	**11**
2.1	Normer og retningslinjer	11
2.2	Tværsnit	11
2.2.1	Fritrumsprofil i tunnel, Dansk regelværk	12
2.2.2	Fritrumsprofil i tunnel, Svensk regelværk	13
2.2.3	Nødspor i tunnel	15
2.3	Tilsluttende konstruktioner	15
2.3.1	In-situ støbt tunnel (C&C tunnel)	15
2.3.2	Rampekonstruktioner	18
2.4	Sænketunnel elementer	19
2.4.1	Produktion at tunnel elementer	20
2.4.2	Transport og sænkning af tunnel elementer	23
3.	**Anlægsoverslag**	**25**
3.1	Indledning	25
3.2	Prisvurdering for sænketunnel	25
3.3	Prisvurdering for C&C tunnel og rampekonstruktioner	26
3.4	Tillæg	26
3.5	Udeladelser	26
3.6	Samlet anlægsoverslag	27
HOVEDAFSNIT 2. Fælles vej- og banetunnel		**28**
4.	**beskrivelse af fællesløsningen**	**29**
4.1	Linjeføring	29
4.2	Tværsnit	31
4.2.1	Boret tunnel til bane	31
4.2.2	Sænketunnel til vej og bane	32
4.2.3	C&C tunnel til vej	32
4.3	Konstruktioner	32
4.4	Sænketunnelen til fællesforbindelsen	33
4.4.1	Vejforbindelsen	34
4.4.2	Jernbaneforbindelse	35
4.5	Stationer	37
5.	**Anlægsoverslag**	**38**
5.1	Prisvurdering for sænketunnel	38
5.2	Prisvurdering for C&C tunnel og rampekonstruktioner	38
5.3	Tillæg	38
5.4	Udeladelser	38
5.5	Anlægsoverslag for fælles løsningen	39

HOVEDAFSNIT 3. Erfaringspriser fra tilsvarende TBM projekter 40
6. Introduction 41
7. Cost estimate basis 42
7.1 Basis for Rail Tunnel Cost Estimate 42
7.2 Basis for Road Tunnel Cost Estimate 43
7.3 Cost Derivation 44
7.3.1 Materials 44
7.3.2 Labour 45
7.3.3 Single Items 45
7.3.4 Portal work 45
7.3.5 M&E and rail works 45
7.3.6 Contractor's Add-on costs 45
7.3.7 Other costs 45
7.3.8 Groundwater treatment Risk Contingency 45
7.3.9 Client Project Management Costs 45
8. Cost Estimations 46
8.1 Rail Project Cost Estimation 46
8.2 Road Project Cost Estimation 47
9. Cost Comparison 48
9.1 Comparison with existing H-H Estimates 48
9.2 Rail Cost Comparison 48
9.3 Road Comparison 49
HOVEDAFSNIT 4. Sammenligning af anlægsoverslag 53
10. Sammenligning af anlægsoverslag 54
10.1 WSP Basis løsning 54
10.2 Sænketunnel alternativ som vejforbindelse 54
10.3 Fælles løsning 55
11. Sammenligning og konklusion 57

Bilag 1. Fast forbindelse HH_Plan og profiltegning for sænketunnelalternativet
Bilag 2. Fast forbindelse HH_Plantegning for fællesløsningen
Bilag 3. Fast forbindelse HH_Længdeprofiler for fællesløsningen
Bilag 4. Fast forbindelse HH_Plantegning for Helsingborg kommunes forslag til en fællesløsning
Bilag 5. Fast forbindelse HH_Oversigt over Anlægsoverslag

0. INDLEDNING

Nærværende rapport beskriver resultatet af den "Strategisk analyse for fast HH forbindelse", som er udført i perioden mellem Februar 2020 og Juli 2020.

0.1 Baggrund for notatet

Danmark og Sverige har igangsat en strategisk analyse af en fast HH-forbindelse, hvor Vejdirektoratet sammen med Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen og det svenske Trafikverket undersøger muligheden for etablering af en brugerbetalt fast forbindelse.

Analysen skal blandt andet indeholde:

- Et forslag til linjeføring for vej og bane
- En vurdering af behovet for udbygningen af vejinfrastruktur på dansk og svensk side
- Beregninger af konsekvenserne for person- og godstrafik på en ren vejforbindelse, samt beregninger af samfundsøkonomien i projektet
- Beregninger af brugerfinansiering for både en ren vejforbindelse og en kombineret vej- og baneforbindelse for persontog
- Pris for en HH-vejforbindelse og togforbindelse for persontrafik.

0.2 Formål og afgrænsninger

Rambøll's engagement omfatter følgende opgaver/delopgaver, som defineret i ydelsesbeskrivelsen:

1. *Fælles vej- og banetunnel:*
   Mulighederne for udformning af en fælles tunnelløsning undersøges på den ene side med fokus på at opnå en besparelse ved at samle tunnellinjeføringen, og på den anden side at belyse udfordringer ved at føre enten biltrafikken til bycentrene ved stationerne eller ved i en sydligere tunnellinjeføring at skabe baneforbindelse til stationerne i de to byer.
2. *Sænketunnel:*
   Der beskrives en mulig løsning med sænketunnel for vejtrafik omtrent i samme linjeføring som for boret tunnel. Dette inkluderer udarbejdelse af bidrag til overordnede mængder/enhedspriser for en sådan tunnel til brug for Vejdirektoratets overslagssystem ved indledende anlægsoverslag. Samtidig undersøges besparelsesmuligheder, fx udformning af tværsnit for tunnelen, herunder en sikkerhedsscreening af mulighederne for en tunnelløsning uden nødspor.
3. *Erfaringspriser fra tilsvarende vejprojekter udført som TBM:*
   Der indsamles erfaringspriser fra tilsvarende TBM-projekter rundt om i verden med fokus på vejforbindelsen, hvilket har til formål at kvalificere det indledende anlægsoverslag.

Nærværende rapport er delt op i 3 hovedafsnit, svarende til hver af de 3 del-opgaver i ydelsesbeskrivelsen. Der er dog ændret lidt på rækkefølgen, således at:

-Hovedafsnit 1 beskriver sænketunnelløsningen
-Hovedafsnit 2 beskriver fælles vej- og banetunnel
-Hovedafsnit 3 beskriver erfaringspriser fra tilsvarende vejprojekter udført som TBM
-Hovedafsnit 4 beskriver sammenligning af anlægsoverslagende for de forskellige løsninger

Hovedafsnit 3 er skrevet på engelsk, som aftalt med VD.

Overordnede forudsætninger og projektspecifik information fremgår af dokumenterne oplistet i tabel 0.1, som alle er gjort tilgængelige for Rambøll i analysearbejdet. Disse dokumenter udgør baggrundsmaterialet for nærværende rapport, og skal sikre et sammenligneligt grundlag mellem sænketunnel alternativet og den aktuelt gældende løsning med borede tunneler (WSPs basisløsning som er omhandlet i [1]), samt tidligere analyserede alternativer ([2]-[4]).

Tabel 0.1. Referencer

[1]	Trafikverket, "Fast Forbindelse mellan Helsinborg och Helsingør - Teknisk utredning version 0.3," 2019, inklusive bilag 1-8
[2]	Öresundskomiteen, "IBU-update - Opdatering af analyser af HH-forbindelsen," 2014.
[3]	Rambøll &. Cowi, "Fast HH-forbindelse - tekniske analyser," 2010.
[4]	Cowi A/S, "Analyse af fast forbindelse mellem Helsingborg og Helsingør - Teknisk rapport," 2010.

Digitalt grundlag gjort tilgængeligt og brugt i analysearbejdet, omfatter:

- Terrænpunkter for Helsingør siden
- Højdekurver Helsingør (UTM32, HHMP)
- Grundkort over Helsingør (UTM32, HHMP).
- Grundkort over Helsingborg (HHMP)
- Ortofoto over Helsingør (DKTM3, HHMP)
- Ortofoto over Helsingborg (HHMP)
- Vej plan (HHMP)
- Tværsnit og længdesnit vej
- Bane alignment (HHMP)

Havbundens topografi er ikke opmålt eller digitalt tilgængeligt, og længeprofilerne i bilagene er derfor baseret på topografien i længeprofilerne for vejlinjen brugt i [1].

HOVEDAFSNIT 1. SÆNKETUNNEL

1. FORUDSÆTNINGER

1.1 Linjeføring

Linjeføringen i strækker sig fra E47 Helsingør motorvejen på Danmark-siden til E4/E6 på Sverige-siden.

Følgende dimensioneringsforudsætninger for linjeføring fremgår af [1]:

- Langsgående største hældning (anbefalet værdi/størst tilladelige værdi): 30‰ / 50‰
- Horisontale kurver: 1.200m ved 120 km/h, 900 m ved 110 km/h
- Konveks, Vertikal kurve: 12.000m ved 120 km/h, 9.000 m ved 110 km/h
- Konkav, Vertikal kurve: 6.500 m ved 120 km/h, 5.500 m ved 110 km/h.

Ovenstående krav er baseret på Svenske regelværk.

Dansk regelværk afviger lidt fra Svensk, og i nærværende analyse er de geometriske grænser for linjeføringen baseret på Dansk regelværk, som også er benyttet i reference [4] og er gengivet herunder:

	Hastighed	Vertikale radier	Horisontale radier	Maksimal gradient
Veje	80 km/t	8.600 m	1.170 m	Normalt op til 35 ‰
	90 km/t	12.500 m	1.820 m	45 ‰ på kortere strækninger
	110 km/t	25.000 m	3.460 m	
Bane	Op til 200 km/t	14.000 m	1.700 m	Normalt 12,5 ‰.
	Godstog maks. 140 km t i DK			Med dispensation 15,6 ‰

Figur 1.1. Dimensionerende hastigheder, radier og gradienter. Reference: [4], afsnit 4.1.

På grund af det relativt stigende terræn på begge sider af kystlinjerne i Sverige og Danmark er det nødvendigt på kortere strækninger at benytte den maksimalt tilladte stigning på 35‰ for at føre tunnelen til terræn uden væsentlig forlængelse af tunnelstrækningen.

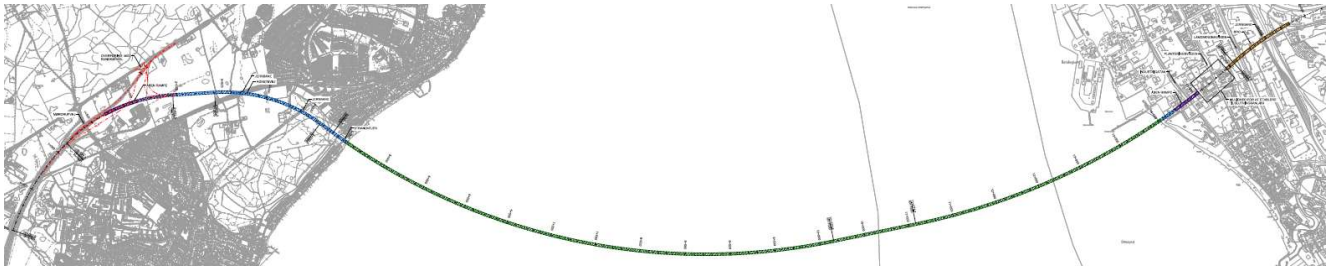
På Helsingørsiden er tunnelen ført gennem den nordlige del af Egebæksvang skov. Dette for at undgå at krydse de sydligere vandløb, og samtidig er det søgt at undgå at ramme mindre søer og vandhuller. Linjeføringen krydser dog stadig et vandløb.

På Helsingborg siden er linjeføringen trukket syd om Bulkhamnen for at undgå et forurenet jorddepot – Aluflour AB's såkaldte "Deponi 314", samt for at undgå at forstyrre driften af havnen.

Linjeføringen er ført til overfladen ved Planteringsvägen idet der herved opnås mulighed for at etablere et tilslutningsanlæg lokalt på havnesiden af banen.

Linjeføringen resulterer i en forbindelse med en total længde på lidt mindre end 13km, målt fra de punkter på hver side af sundet hvor forbindelsen dykker under terræn, hvoraf de ca. 9,5 km udgøres af selve sænketunnelen.

Den valgte linjeføring kan optimeres i en senere fase.

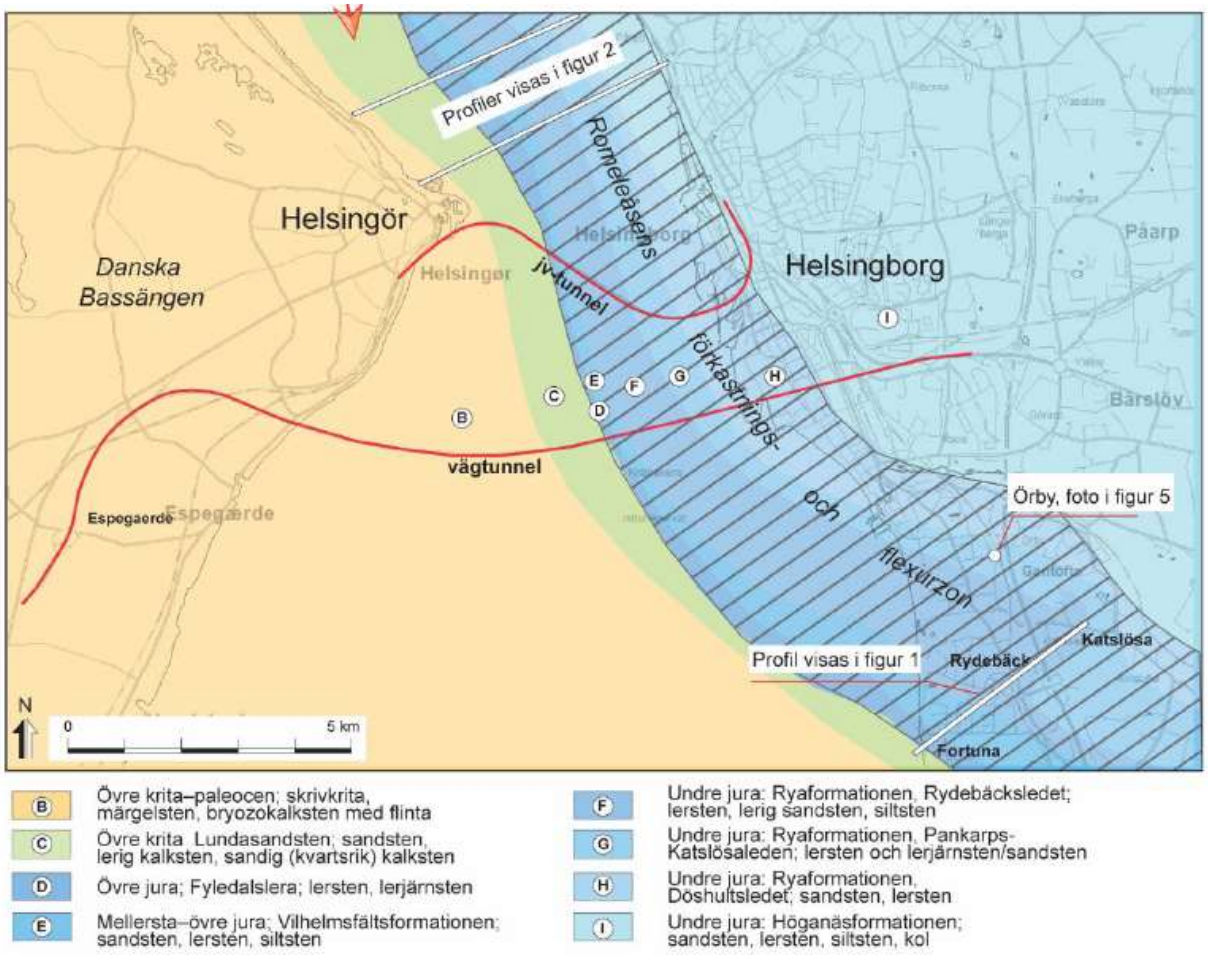


Figur 1.2 – Linjeføring for sænketunnelen. Se også bilag 1.

1.2 Geologiske forhold

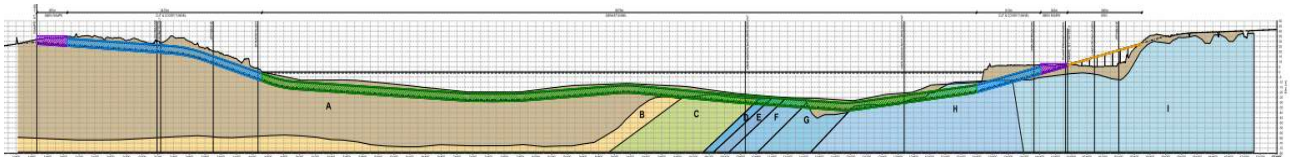
Der er taget udgangspunkt i de geologiske og geotekniske forundersøgelser beskrevet i [1], bilag 4 (SGU rapport - Konceptuell geologisk modell för väg- respektive järnvägstunnel mellan Helsingborg och Helsingør) – se figur 1.3 for geologisk kort.

Generelt set består Øresunds undergrund mellem Helsingør og Helsingborg af sedimenter fra Jura-kridttiden, overlejret af postglacialt materiale af varierende tykkelse. Nær Helsingør består undergrunden af kalksten og kridt, og det postglaciale dække er mindst 20m mægtigt, og generelt >50m. Nær Helsingborg består undergrunden af ler-, silt- og sandsten fra Jura perioden, mens det postglaciale dække generelt er mindre end 5m tykt.



Figur 1.3. Tolkede jordbundsforhold i den nordlige del af Øresund.

På den Danske landside udgøres undergrunden havbunden af et generelt 70-100m mægtigt kvartært jordlag, som fortsætter ud i sundet indtil ca. 3/5 af kyst-kyst strækningen er passeret, hvorefter kvartæret bliver væsentligt mindre mægtigt – 5-10m – og underlejres af faste bjergarter. Disse faste bjergarter bliver successivt ældre i retning mod Helsingborg, fra kridttidsaflejringer midt i sundet, til Juraaflejringer nær Helsingborg. Figur 1.4 viser et simplificeret geologisk profil der illustrerer dette (se også bilag 1).



Figur 1.4. Længdeprofil af linjeføringen. Se også bilag 1.

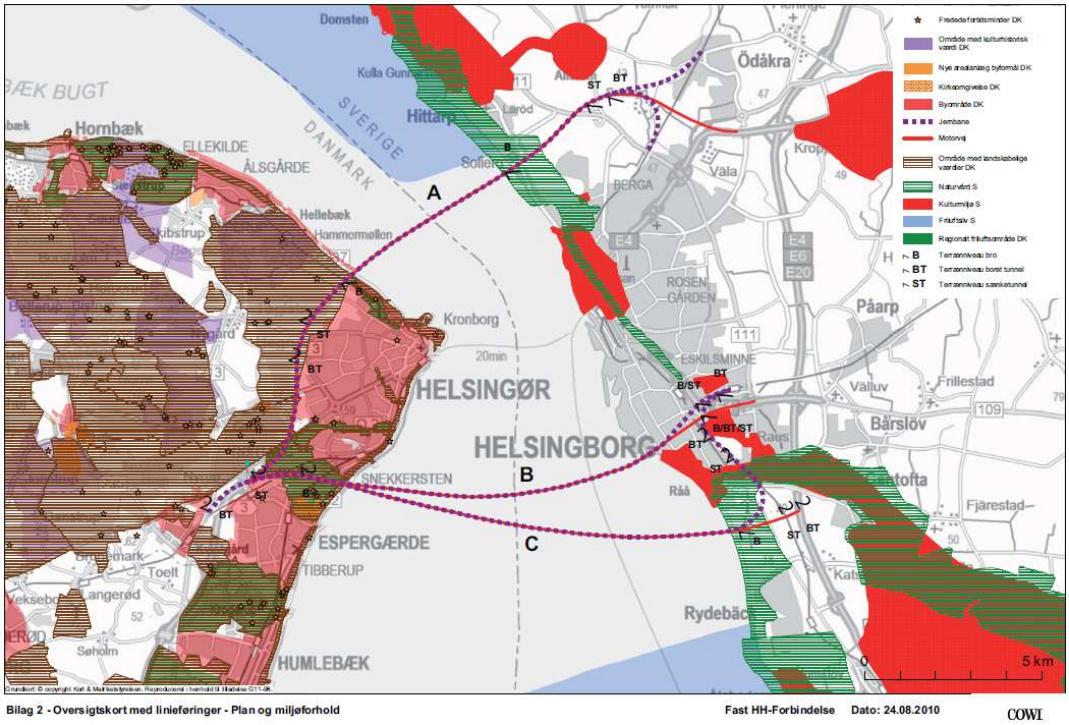
Anlægsteknisk betyder dette at set fra Helsingør mod Helsingborg, vil sænketunnelen skulle anlægges i et udgravningsprofil med et skråningsudslag på ca. 3:1 den første 3/5 del af strækningen, mens skråningsudslaget de sidste 2/5 del af strækningen vil være de samme ca. 3:1 i profilets øverste del i kvartæret, mens skråningsudslaget nedenunder, i de faste bjergarter, vil kunne etableres væsentligt stejlere.

1.3 Miljøforhold

Vurdering af sænketunnelens påvirkning på miljøet er ikke en del af denne analyse, og udføres i regi af WSP efter nærværende afrapportering.

Groft set, er de væsentligste miljøpåvirkninger fra den forslåede linjeføring (tilsvarende løsning B på figur 1.5) er:

- Krydsning af det fredede område ved Rørtangskilen sydvest for Helsingør
- Påvirkning af det marine naturreservat Knähaken (ikke vist på figuren)
- Trafikstøj og luftforureningspåvirkninger af boligområder i Helsingborg syd
- I anlægsfasen vil sænketunnellen påvirke vandgennemstrømningen samt plante- og dyrelivet på hele strækningen

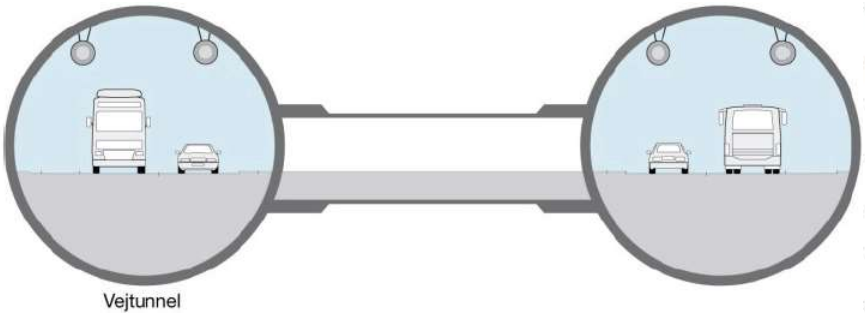


Figur 1.5. Tidligere linjeføringer og miljøforhold, som vist i reference [4]

1.4 Tunnel tværsnit for den borede tunnel

En boret tunnel løsning som vejforbindelse mellem Helsingør og Helsingborg fremgår af [1].

En principskitse den borede tunnel er vist i figur 1.6, inklusiv de betydende dimensioner.



Mått	Totalt
Inre diameter	13 m
Segmentlining	60 cm
Yttre tunneldiameter	14,2 m
Annular gap[31]	0,2 m
Borrdiameter	14,6 m

Figur 1.6. Tværsnit af vejforbindelsen, inkl. dimensioner. Reference: [1], Kapitel 7.1.2.

Det fremgår at vejtunnelrørene er opbygget med to kørebaner og et nødspor pr. tunnelrør, og at den indvendige diameter er ca. 13m per tunnelrør. I tabel 1.1 er gengivet de forudsætninger som er brugt i reference [1] til at fastlægge tværsnitsdimensionerne.

Tabel 1.1. Forudsætninger for fastlæggelse af tunneltværsnittet for den borede løsning iht. Dansk- og Svensk regelværk. Reference: [1], kapitel 2.1.1.

Kategori	Sverige	Danmark
Referenshastighet	120 km/h	120 km/h
Maximal önskvärd lutning väg ovan jord	6%	Upp till 7%, beroende på väglängd
Maximal önskvärd lutning tunnel	3%	
Körfältsbredd	3,5 m	Min 3,25–3,75[1] m
Bredd vägren	2,0 m	3,0 m
Minsta horisontalradie (120km/h)	1 200 m	2 500 m
Minsta vertikalradie för konvex radie (120km/h)	12 000 m	8 100 m
Minsta vertikalradie för konkav radie (120km/h)	6 500 m	2 100 m

1) 3,25m tillämpas på vägar för endast personbilstrafik medan 3,5m används för lastbilstrafik.

Det generelle udgangspunkt for hovedvejen er at forbindelsen skal følge motorvejsstandarden i begge lande.

Detaljer omkring kantbaner/objektafstand/nødfortov, minimumsfrihøjde, minimumsafstand til installationer, m.m. fremgår ikke af baggrundsmaterialet. Det forudsættes dog at tværprofilet er bestemt af nationale anbefalinger (Trafikverkets og Vejdirektoratets anbefalinger). Dette bør bekræftes i en senere fase.

1.5 M&E pladskrav

Der er i nærværende rapport ikke gjort detaljerede overvejelser omkring udstyring og udrustning af tunnelen, men det er verificeret på overordnet niveau, at de krav der er til teknisk udstyr, herunder føringsveje for kabler, tunnelafvanding mv., kan rummes af det definerede tværsnit.

1.6 Tunnelsikkerhed

Ifølge Tunnelsikkerhedsdirektivet (2004/54/EF) skal der i forbindelse med alle europæiske vejtunneler udarbejdes en såkaldt Tunnelsikkerhedsdokumentation. Dokumentationen skal bl.a. indeholde udførlige beskrivelser af anlæggets tekniske udformning, trafikprognose, risikoanalyse, organisation og samarbejde mellem redningsberedskaber og myndigheder samt procedure for løbende forbedring og optimering. Der er i denne fase ikke taget stilling hvad dette betyder i forhold til brandsikring, brandslukning, trafikovervågning og -regulering, ventilation mv. Krav til flugtveje, er at disse skal etableres med maksimum 500m afstand igennem tunnelen. I en sænketunnel etableres flugtveje som adgange mellem de separate vej-rør (se mere herom i næste afsnit), således at ved brand eller ulykke rømmes der fra det ramte vej-rør over i modsatte vej-rør der dermed udgør *sikkert område*. I praksis gør det ingen nævneværdig forskel i anlægsoverslaget, om disse adgange etableres med kortere afstande end de foreskrevne 500m, som det eksempelvis er tilfældet i Femern tunnelen (110m) og det aktuelle koncept for en boret vejtunnel (125m).

2. BESKRIVELSE AF SÆNKETUNNEL ALTERNATIVET

I det følgende gennemgås hvordan sænketunnellen og de tilstødende bygværker er tænkt udført på et overordnet niveau, og de elementer og antagelser der er anset for de vigtigste i forhold til anlægsoverslaget.

Da Sænketunnel strækningen udgør hovedposten i anlægsoverslaget, fokuseres der særligt på denne i det følgende.

Dette afsnit skal læses i forbindelse med følgende tegning:
-Bilag 1. Fast forbindelse HH_Plan og profiltegning for sænketunnelalternativet

2.1 Normer og retningslinjer

Sænketunnel alternativet skal opbygges og indrettes efter de nationale normkrav. Da tunnelforbindelsen etableres på tværs af landegrænser, kan både det danske regelværk og det svenske regelværk gøre sig gældende.

Dansk regelværk:
- Vejdirektoratets "Håndbog om Grundlag for udformning af trafikarealer", Oktober 2012;
- Vejdirektoratets "Tværprofiler i åbent land", August 2018;

Svensk regelværk:
- TRVK Tunnel 11 (TDOK 2016:0231);
- Trafikverkets publikation 2020:029 (*TRV publikation 2015:086), VGU;

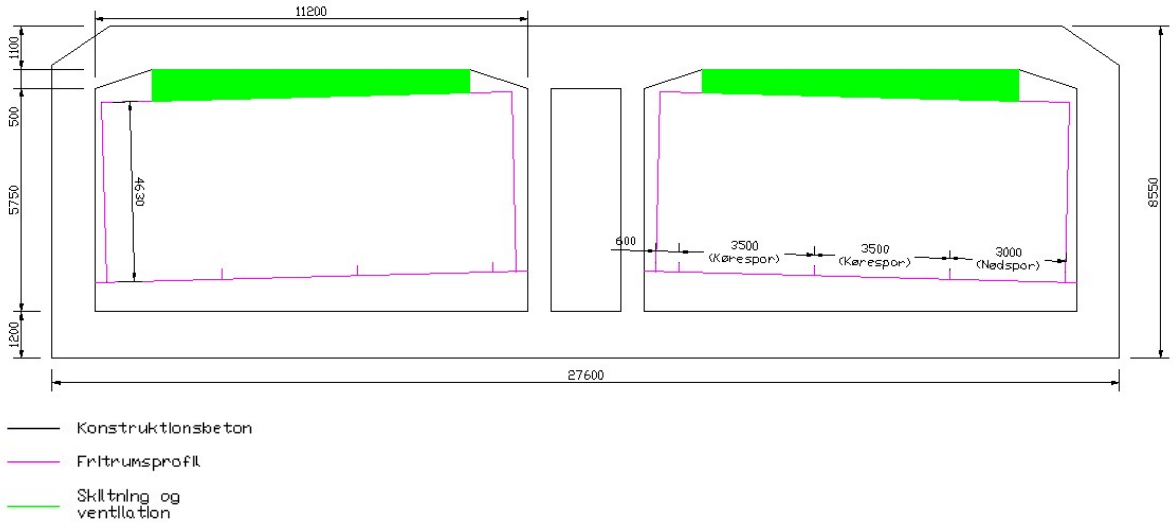
Helt overordnet set vil et sænketunneltværsnit etableret efter Dansk regelværk resultere i en bredere tunnel, mens etablering efter Svenske anbefalinger resulterer i en højere tunnel. Det er en aftalt forudsætning for nærværende analyse, at sænketunnelløsningen og anlægsoverslaget baseres på Dansk regelværk.

2.2 Tværsnit

Tunneltværsnittet indeholder to vej-rør som hver skal imødekomme plads til to kørespor og et nødspor.
Da sænketunnellen er ca. 9,5 km lang vurderes det nødvendigt af have et galleri til tekniske installationer samt drift og vedligehold af tunnelen. Dette galleri er placeret imellem de to vej-rør.

Tværsnittet for sænketunnelen fremgår af figur 2.1 (for standardelementer), hvor betontykkelserne er håndberegnet sådan at:
- tunnel elementet kan flyde under sejlads med en given fribord (tunnel højde - dybgang);
- tunnelen har en tilstrækkelig totalsikkerhed mod opløft i dets endelige placering.

Tværsnittet er vejledende og beregningerne skal gentages som med korrekte densiteter, når disse er fundet i en senere fase. Den endelige vægt af tunnelelementerne skal verificeres når tunnelelementet er fremstilles og flyder, ved at måle fribordet.



Figur 2.1. Tværsnit af sænketunnelen, frirumsprofil (i lyserød) med plads til installationer (i grønt). Mål angivet i mm.

Et frirumsprofil som er i overensstemmelse med det svenske regelværk, er undersøgt i afsnit 2.2.2.

Specialelementer skal ligeledes detaljeres yderligere, hvis sænketunnel løsningen vælges som den foretrukne løsning. I dette studie skaleres prisen for specialelementer i forhold til Femernbælt forbindelsens tværsnit for specialelementer (Bygherrens anlægsoverslag, 2014).

2.2.1 Fritrumsprofil i tunnel, Dansk regelværk

Fritrumsprofilet er bestemt i overensstemmelse med Vejdirektoratets "Håndbog om Grundlag for udformning af trafikarealer" og Vejdirektoratets "Tværprofiler i åbent land" til:

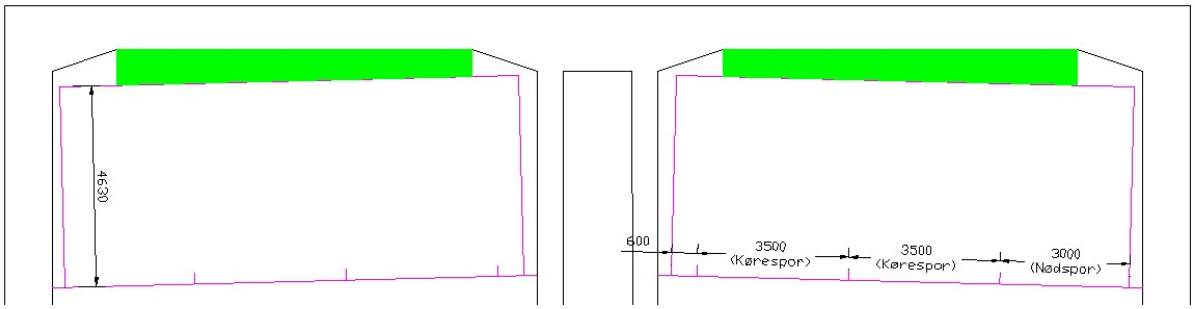
Fritrumsbredde (inkl. New jersey barrierer):		Fritrumshøjde (inkl. skiltning og ventilation):	
New Jersey Barrier	0,3 m	Frihøjde, køretøj	4,5m
Nødspor (inkl kantbane):	3,0 m	Tillæg for sne og fremtidig belægning	0,1m
Køresporsbredde:	3,5 m	Udførelsestolerance	0,03m
Køresporsbredde:	3,5 m	*M&E Installationer	≥0,62m
Objektafstand (inkl. kantbane):	0,6 m		
New Jersey Barrier	0,3 m		
Samlet	11,2m	Samlet	5,25m

* Erfaringsmæssigst skønnes en ekstra tunnel højde på ≥ 0,62 m til eksempelvis installationer og fremtidig asfaltering. Større skiltning og langsgående ventilation forventes etableret i nicher (1 niche per tunnelelement).

Da tværsnittet ikke er eksplicit udformet for en tunnelforbindelse af denne størrelsesorden, bør det i en senere fase undersøges hvorvidt:

- kantbaner kan medregnes som en del af Nødsporet (som antaget);
- kantbaner kan medregnes som en del af Objektafstanden (som antaget);
- hvis tillæg for udførselstolerancer, M&E installationer og tillæg for sne og fremtidig belægning er sammenlignlige med de andre løsninger (som eksempelvis Femertunnelen).

Fritrumsprofilet fremgår af figur 2.2.



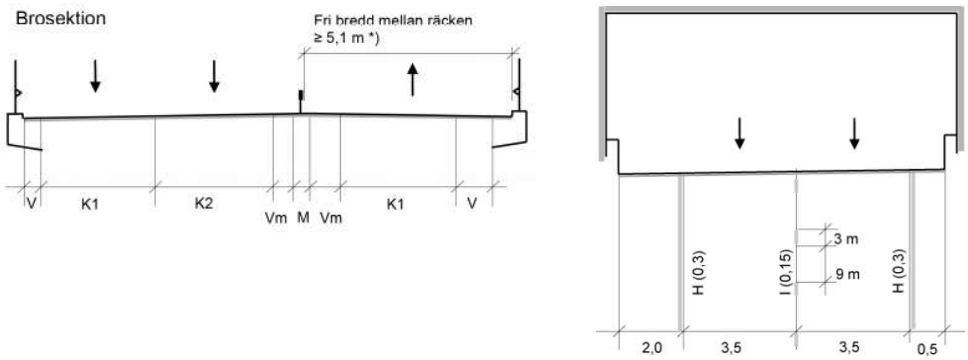
Figur 2.2. Fritrumsprofil (i lyserød) med plads til installationer (i grønt). Mål angivet i mm.

2.2.2 Fritrumsprofil i tunnel, Svensk regelværk

Bredden af tværsnittet er bestemt efter Trafikverkets "Krav för vägar och gators utformning (VGU), Trafikverkets publikation 2015:086".

Den samlede bredde bliver 10 m per retning for en to-sporet motorvejstunnel, inkl. nødspor. For nærmere detaljer se figur 2.3Figur 2.3.

	K1 (yttre körfält) (m)	K2 (inre körfält) (m)	Vm (mitt-vägren) (m)	V (vägren) (m)	M *) (mittremsa) (m)	Räffling **) (se kap. 13.2.1.7.2)
Nybyggnad						
Väg	3,5	3,5	0,5	2,0	2,5	Vägren och mittvägren
Bro	3,5	3,5	0,5	2,0		
Tunnel	3,5	3,5	1,0	2,0		



*V=0,5 m indikeret i tunnel figuren foroven bør undersøges nærmere. I tværsnitsudformningen Antages V=1 m.

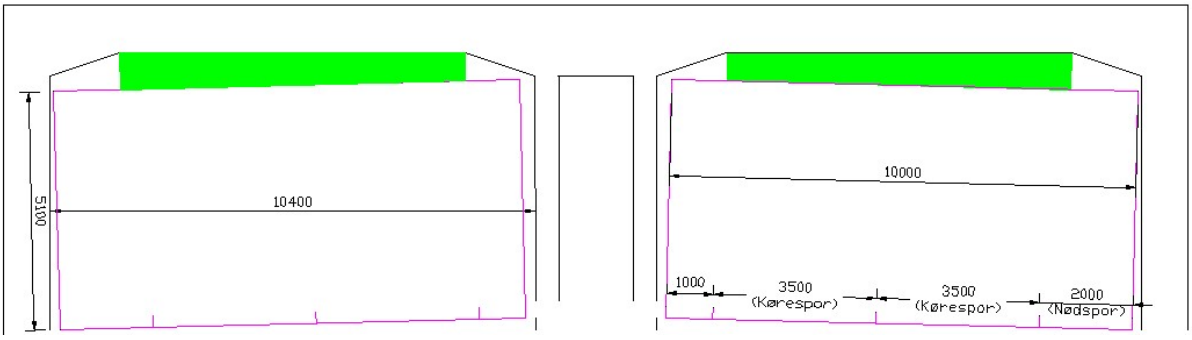
Figur 2.3. Dimensioneringsværdier for en motorvejsforbindelse i henhold til Svensk regelværk. Reference: Trafikverkets VGU, TRV publikation 2020:029.

Frihøjden bliver 5,1m som det fremgår af tabel 2.1. Ekstra tunnel højde til installationer er ikke angivet, men er for sammenligningens skyld antaget at være ≥ 0,62m, mens større skiltning og langsgående ventilation forventes etableret i nicher.

Tabel 2.1. Frihøjde iht. Trafikverkets VGU, TRV publikation 2020:029, tabel 6.1.

	Hindertyp	Fri höjd (m)
Bana för biltrafik	Bro över väg som inte är av stål, prefabricerade betongelement, aluminium eller trä. Vägmärken. Tunneltak utan installationer	4,7
Bana för biltrafik	Portalbalk för vägmärke, utan elledning	4,9
Bana för biltrafik	Portalbalk för vägmärke, med elledning	5,1
Bana för biltrafik	Bro över väg som är lättkonstruktion (stål, prefabricerade betongelement, aluminium eller trä), installation i tunneltak	5,1

Fritrumsprofilet fremgår af figur 2.4 med lyserødt, mens område for installationer og skiltning er markeret grønt.

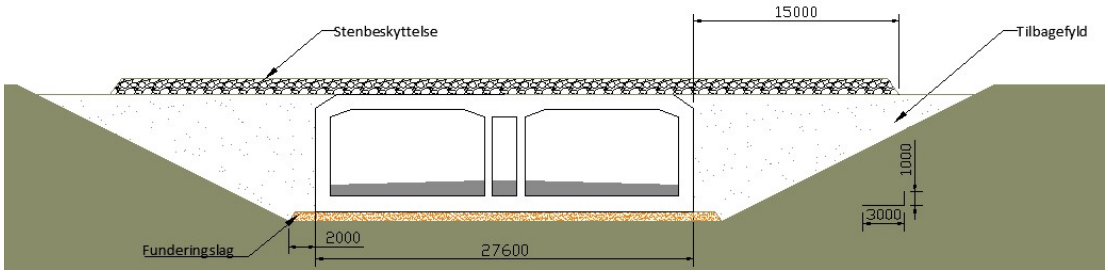


Figur 2.4. Fritrumsprofil (i lyserød) med plads til installationer (i grønt). Mål angivet i mm.

Ved sammenligning mellem Dansk og Svensk regelværk kan konsekvensen af forskellene opsummeres på følgende måde:

- En forskel på tværprofilets bredde på ca. 0,8m per tunnel rør
- En forskel på frihøjden på ca. 0,5m.

Forskellen vurderes ubetydelige i forhold til anlægsoverslaget udarbejdet i denne tidlige fase.



Figur 2.5 Sænketunnelens endelige placering i tunnelerende.

Figur 2.5 viser det udgravningsprofil hvor sænketunnelen anlægges i kvartære aflejringer. Da der ikke er foretaget geologiske sonderinger i området omkring linjeføringen bør det undersøges hvilke egenskaber materialet som sænketunnelen er placeret i, har, og hvordan dette påvirker udgravningsmængderne. I kvartæret har udgravningsprofilet en samlet bredde på ca. 100m, og

da det det er usikkert præcist hvor, og i hvilken dybde de faste bjergarter forekommer, er denne udgravningsbredde antaget for hele sænketunnelstrækningen.

2.2.3 Nødspor i tunnel

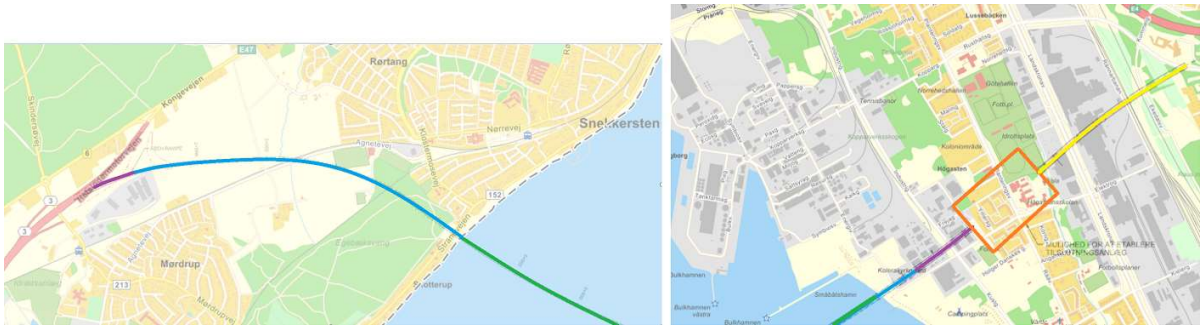
I følge både det Danske og Svenske regelværk, og EU's tunneldirektiv, er anlæggelse af et nødspor i selv lange tunneler ikke et krav. Men hvis et nødspor udelades, skal der anlægges et nødfortorv.

Fravær af et nødspor er end ikke nævnt under tunneldirektivets "specielle forhold", som et forhold der udløser krav om udførelse af en risikoanalyse. En risikoanalyse må dog forventes at skulle udføres i tilfælde af at nødspor udelades. Den øgede risiko for ulykker/sammenstød uden et nødspor vil være det centrale forhold der skal behandles i analysen, men hvis det kan sandsynliggøres at risikoen for dødsfald er lavere end en fastsat tærskel, er der forventeligt ingen hindring for at udelade nødsporet. Denne tærskel værdi er ikke fastsat i Tunneldirektivet, men på eksempelvis Femern Tunnelprojektet, er denne sat som svarende til antal dødsfald på en tilsvarende vejstrækning i åbent terræn.

Øresundstunnelen er uden nødspor og erfaringen herfra er at der er meget få uønskede hændelser, og fraværet af et nødspor har ikke været problematiseret.

2.3 Tilsluttende konstruktioner

Dette afsnit beskriver de forudsætninger som er benyttet i forbindelse med prissætningen af bygværkerne på land. Prissætningen afgrænses som aftalt med vejdirektoratet ved grænsefladen mellem rampe-trug og traditionel vej (i Danmark) og mellem Rampe-trug/Mulighed for tilslutningsanlæg (I Sverige). Linjeføringen på land fremgår af figur 2.6. Som det fremgår af figuren, tilsluttes vejforbindelsen til Helsingørmotorvejen i Danmark og til E4 Motorvejen I Sverige.



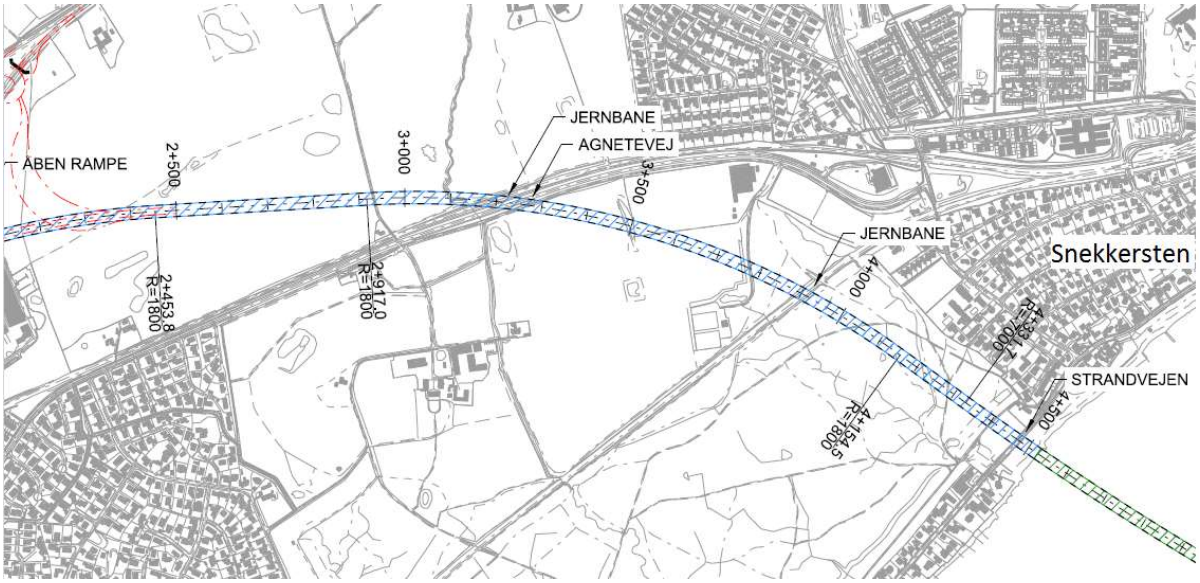
Figur 2.6. Linjeføring på land, sydvest for Snekkersten og sydøst for Helsingborg havn. Sænketunnel (grøn markering), Pladsstøbt tunnel (blå markering), Rampe (lilla markering), Tilslutningsanlæg (område markeret med orange)

2.3.1 In-situ støbt tunnel (C&C tunnel)

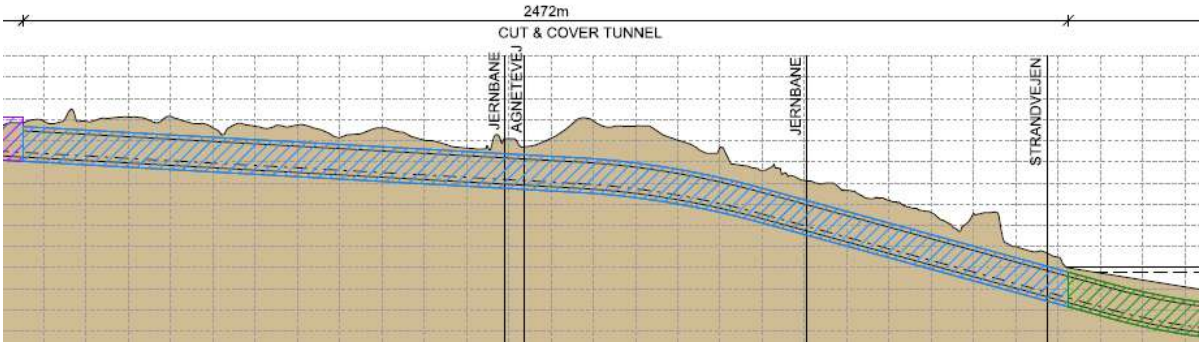
Den in-situ støbte tunnel skaber overgang mellem sænketunnelen og rampekonstruktioner på begge sider af sundet. Dette afsnit beskriver hvilke forudsætninger der er foretaget i forbindelse med løsningen og anlægsoverslaget.

Helsingørsiden

En oversigtsplan og en længdesnit af C&C tunnelen tunnel fremgår af figur 2.7 og 2.8.

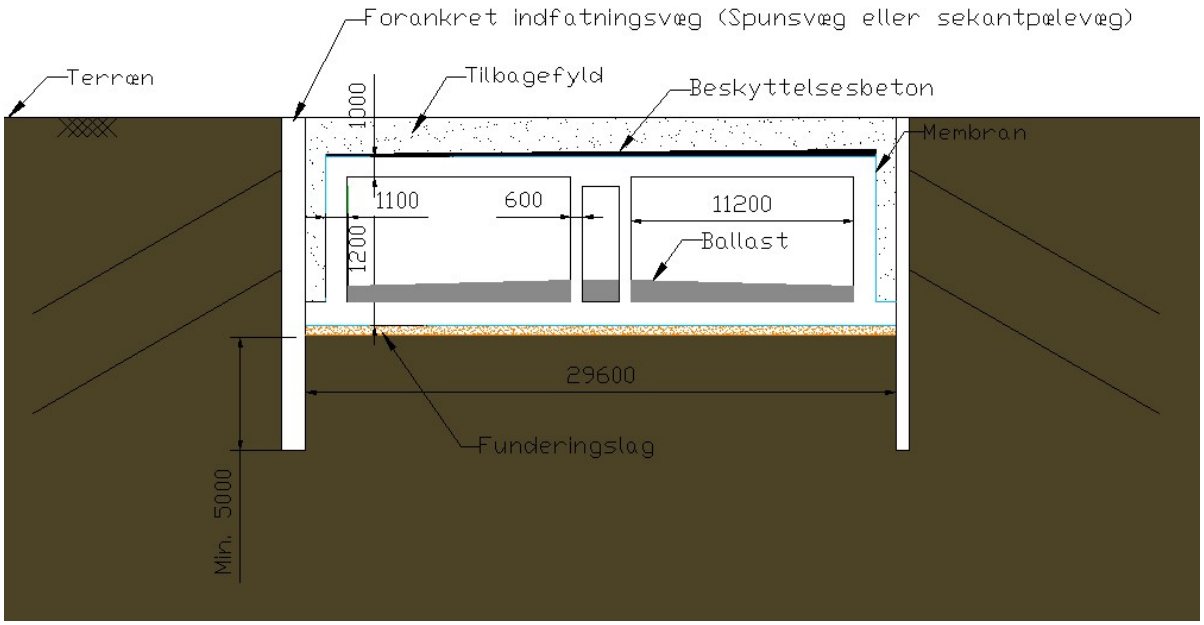


Figur 2.7. Oversigtsplan. C&C tunnel (markeret blå), sænketunnel (markeret grøn), rampekonstruktioner (markeret røde).



Figur 2.8. C&C tunnel (markeret blå), sænketunnel (markeret grøn), rampekonstruktion (Markeret lilla). Afstand mellem horisontale stiplede linjer er 5 m.

Tunnelens bundplade støbes i en dybde af ca. 9m til 17m. Spunsvægge benyttes hovedsagligt som indfatningsvægge i anlægsoverslaget, da størstedelen af udgravningsdybden ikke vil overstige ca. 10-13 m. Hvor dybden måtte være større benyttes sekantpæle som indfatningsvæg. Støttevæggene placeres i direkte forbindelse til C&C tunnelen, som vist på figur 2.9.



Figur 2.9. C&C tunnel

Støttevæggen rammes mindst 4m under forventet udgravningsniveau eller 2m ned i kvarterets moræneler/kalklag (hvis vandførende lag træffes). Fysikestimatet antager 5 m under niveau for bund af udgravning i mangel på boreprofiler i nærområdet.

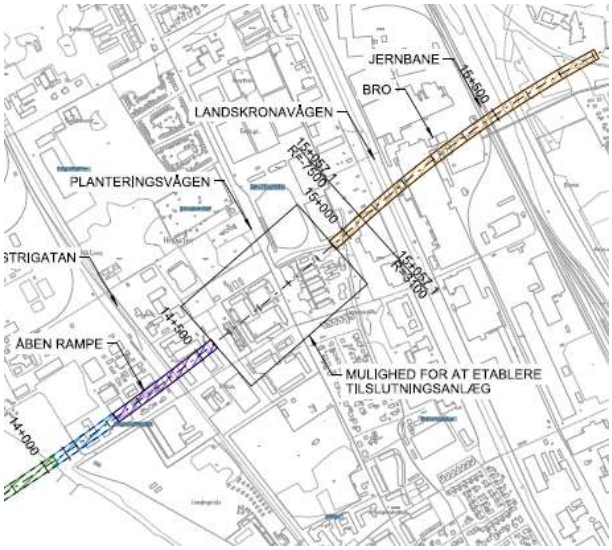
Figur 2.Figur 2.9 skaber grundlaget for prissætningen af C&C tunnelen, hvor følgende arbejder er medregnet:

- Installering af indfatningsvæg
- Udgravning mellem indfatningsvæg
- Udlægning af rense-, samt funderingslag
- Etablering og støbning af bygværk som armeret konstruktionsbeton
- Støbning af ballastbeton og installering af betonværn
- Støbning af beskyttelsesbeton
- Etablering af vandtæt membran
- Etablering af asfaltbelægning og diverse afsluttende arbejder.
- Tilbagefyldning til terrænniveau.

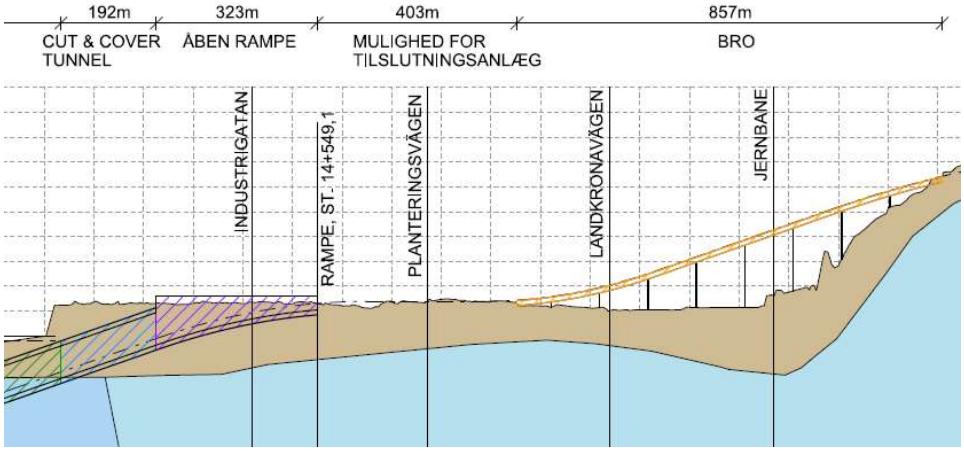
Sænketunnelens tværsnit (inklusive galleri) benyttes i anlægsoverslaget frem til overgang til rampekonstruktion.

Helsingborgsiden

Den geografiske placering af den ca. 192 m lange C&C tunnel fremgår af figur 2.10 og 2.11. Tunnelens tværsnit fremgår af figur 3.9, dog vil indfatningsvæggene vælges som sekantpæle da udgravningsdybden vurderes at være op til ca. 24m. Tunnelen stoppes 1 m under terræn og erstattes af en rampekonstruktion.



Figur 2.10. Oversigtsplan. In-situ støbt tunnel (markeret blå), Rampe-trug (Markeret lilla). Reference: S-TT-4001.

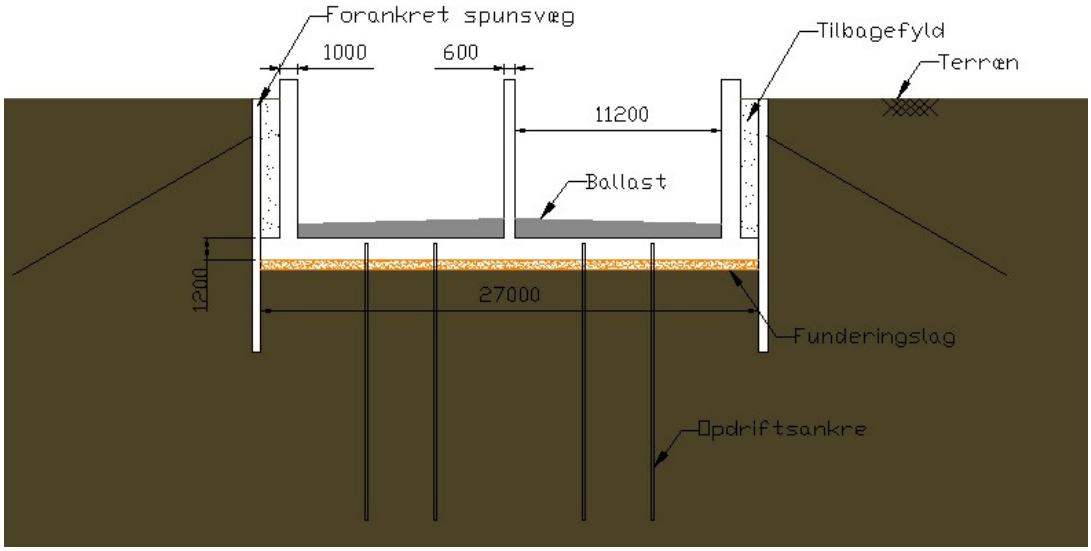


Figur 2.11. In-situ støbt tunnel (markeret blå), Trug (Markeret lilla). Afstand mellem horisontalt, stiplede linjer er 5 m. Reference: S-TT-4001.

I anlægsoverslaget er inkluderet samme arbejder som beskrevet i forrige afsnit.

2.3.2 Rampekonstruktioner

Rampekonstruktionerne har en samlet længde på 387m + 323m = 710m og forventes udført af beton på begge sider af sundet. Figur 2.12 viser et tværsnit på betontruget som prissætningen er baseret på i nærværende studie.



Figur 2.12. Rampekonstruktion. Mål i mm.

Skulle det vise sig muligt forkorte bygværket vest for Øresund, bør det vurderes om en åben rampe uden støttevægge er mulig da det kan give en stor besparelse i form af en midlertidig støttekonstruktion, samt permanente beton ydervægge.

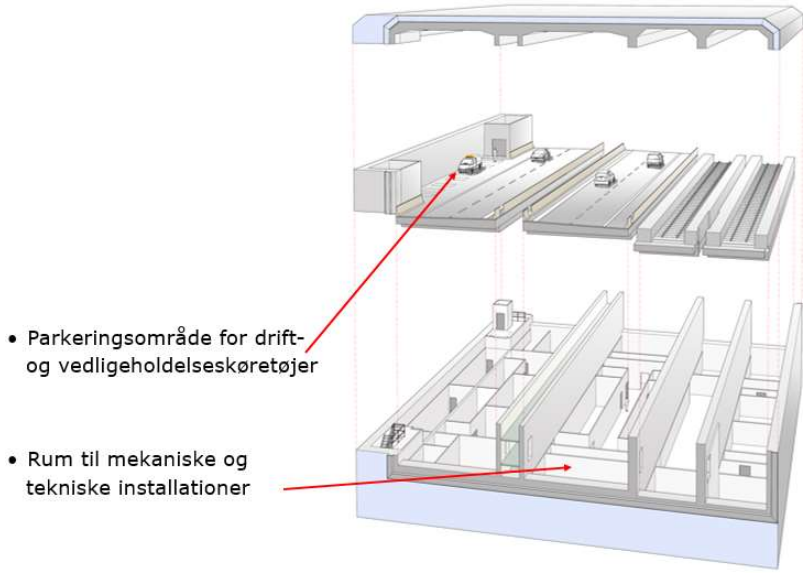
Følgende er inkluderet i prissætningen af rampetrug:

- Installering af indfatningsvæg
- Udgravning mellem indfatningsvæg
- Udlægning af rense-, samt funderingslag
- Etablering og støbning af bygværk som armeret konstruktionsbeton
- Etablering af opdriftsankre
- Etablering af asfaltbelægning og diverse afsluttende arbejder
- Tilbagefyldning over tå til terrænniveau.

Det skal bemærkes at strækningen med C&C tunnel og åben rampe på Helsingørsiden, samt valg af indfatningsvæg, er baseret på et usikkert grundlag (detaljerede geologiske forhold og terræn/havbundsniveau i linjeføringen kendes ikke). Der bør derfor, i en kommende VVM-redegørelse, undersøges nærmere hvorvidt denne strækning kan reduceres i længde, og erstattes af en billigere traditionel vejforbindelse anlagt på terræn.

2.4 Sænketunnel elementer

Sænketunnelen planlægges udført som 43 stk. standard tunnel elementer af armeret beton. I løsningsforslaget har hvert tunnel element en længe på ca. 216 m. I tillæg til standard elementerne, indeholder forslaget 5 stk. specialelementer hver med en længde på 39m, der etableres med en indbyrdes afstand på ca. 1.8km. I specialelementerne anlægges teknik-rum under vejdækket, hvor eksempelvis pumpesumpe mv placeres. I tillæg har disse elementer en øget bredde for at gøre det muligt for drifts- og vedligeholdelsespersonell at parkere i en niche. Figur 2.13 viser hvordan disse specialelementer er udformet i Femerntunnelen. Femerntunnelen indeholder også celler/rør til jernbane, og siden nærværende løsning kun indeholder vejtrafik, kan der givetvis optimeres på brugen og udformning af specialelementerne.



Figur 2.13. Specialelementer, som planlagt for Femerntunnelen.

2.4.1 Produktion at tunnel elementer

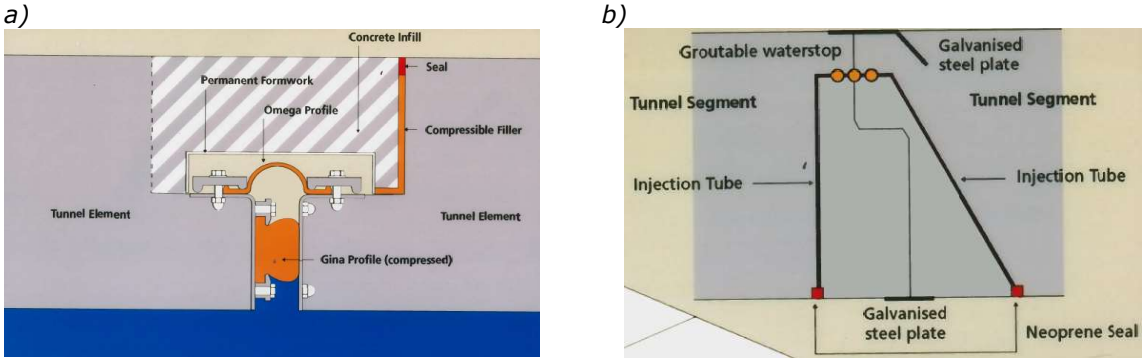
Overordnet set produceres tunnelelementer enten i en nyanlagt tørdok, en allerede anlagt tørdok (som for eksempel til skibe), eller i en tunnelfabrik som anlægges i forbindelse med projektet.

I løsningsforslaget og anlægsoverslaget antages det at sænketunnelen skal produceres i en nyanlagt tunnelfabrik, da det store antal tunnelelementer gør denne fremstillingsmetode rentabel. Dette er tidligere blevet udført med succes bla. i forbindelse med Øresundsforbindelsen, Hong Kong – Zhuhai – Macao forbindelsen (se figur 2.14). Femerntunnel projektet planlægger også en tilsvarende løsning for produktionen af tunnelelementer.

Figur 2.14. Visualisering af tunnel element fabrikken i forbindelse med Hong Kong – Zhuhai – Macao forbindelsen

Et tunnelelement består af individuelle betonsegmenter, som støbes i en kontinuerlig proces for at begrænse langsgående spændinger og gennemgående revnedannelser i betonen (ingen støbeskæl). Mellem hver støbning af segmenterne skal fugen imellem hvert segment være vandtæt, og det samme er gældende for fugen mellem tunnel elementer. Figur 2.15 viser hvordan fugerne var projekteret i forbindelse med tunnelen for Øresundsforbindelsen.

a) *b)*



Figur 2.15. Fugedetaljer for Øresundsforbindelsen. a) fuge mellem tunnelelementer. b) Fugebånd mellem individuelle betonsegmenter.

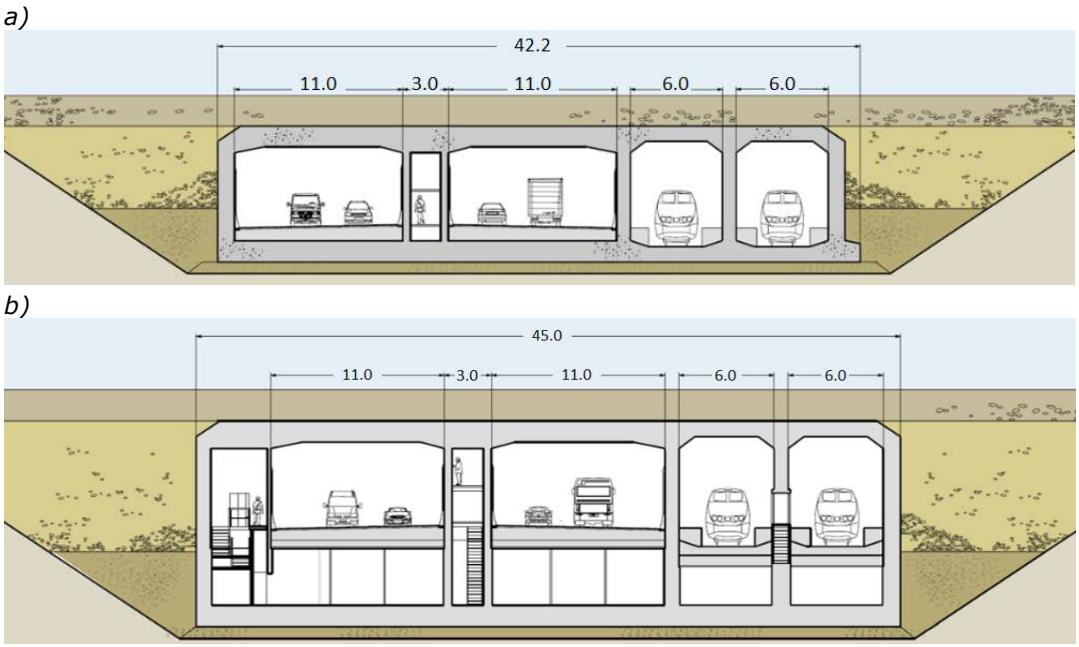
Efterhånden som et tunnelelement fremstilles, skubbes det gradvist frem fra støbeområdet til basinområdet hvor det for-spændes og klargøres til transport.
Da specialelementer ikke er geometrisk udformet som standardelementer, skal de etableres på en særskilt produktionslinje (eller alternativt i en allerede anlagt tørdok).

Da løsningsforslagets linjeføring er anlagt med en horisontal kurve på mindst R=7000 m, vil et antal af elementer etableres som lige elementer, mens andre etableres med en indbygget "horisontal krumning". Dette medfører at bredden af tunnelelementet øges en smule (cm skala). Forøgelsen af bredden er ikke medregnet i anlægsoverslaget da omkostningerne vurderes at være små. Dette har dog en betydning for detaljeringen af produktionsfaciliteten, linjeføringen bør derfor tilpasses den industrielle produktion af tunnelelementer hvis sænketunnel alternativet vælges som den foretrukne løsning.

Femerntunnelens elementfabrik øst for Rødbyhavn

Det bør undersøges hvis sænketunnelen kan produceres i den kommende Femerntunnels tunnelfabrik, øst for Rødbyhavn. For at dette er muligt skal produktionsanlægget genanvendes som en bygherreleverance til entreprenøren. Der er her både en betydelig økonomisk og tidsmæssig gevinst at hente. I anden sammenhæng er det vurderet at besparelsen kan ligge helt om på ca. 4,5 til 5,0 Mia. Kr (PTA+NAB inkluderet).

Produktionsfaciliteten der aktuelt er planlagt for Femerntunnelen indeholder 6 produktionslinjer (5 linjer til standardelementer og én produktionslinje til specialelementer). Produktionslinjerne er skræddersyet til tværsnittet for Femern Bælt sænketunnelen hvor 217 m lange standardelementer er planlagt sammen med 39 m lange specialelementer. Figur 2.16 viser tværsnit af de standardelementer (foroven) og special elementer (forneden) der tiltænkt for Femerntunnelen.



Figur 2.16. Femernbælt sænketunnel tværsnit. a) standardelementer og b) specialelementer.

Med afsæt i de danske vejregler virker det nærliggende at benytte et tværsnit for Helsingør-Helsingborg der er identisk med Femerntunnelens vej-del, og dermed muliggøre udnyttelse af Rødby fabrikken med mindst muligt behov for ombygning.

Tørdok løsning

Alternativt kunne produktionen af tunnelelementer udføres i forbindelse med en allerede anlagt tørdok. Eksempler på transport af tunnelelementer over store strækninger er set adskillelige gange, eksempelvis for Bjørvika Tunnelen i Oslo. Her transporterede man tunnelelementer ca. 500 km langs kysten fra elementfabrikationen på Hanøytangen nær Bergen, til Bjørvika.

Tørdokken Barendrecht i Holland er et andet eksempel på en produktionsfacilitet som i flere omgange har produceret tunnelelementer til sænketunneler, bl.a. Coentunnel (se figur 2.17).

Fælles for tørdokke er at støbningen er mere traditionel og at dybgangen bør undersøges langs transportruten for at sikre tunnelens dybgang under transport.

2nd Coentunnel 2010

De noord tunnel 1989

2e Beneluxtunnel 1999

Willemspoortunnel 1988

Figur 2.17. Produktion af tunnelelementer i tørdokken Barendrecht (Nederland) til forskellige sænketunnelanlæg

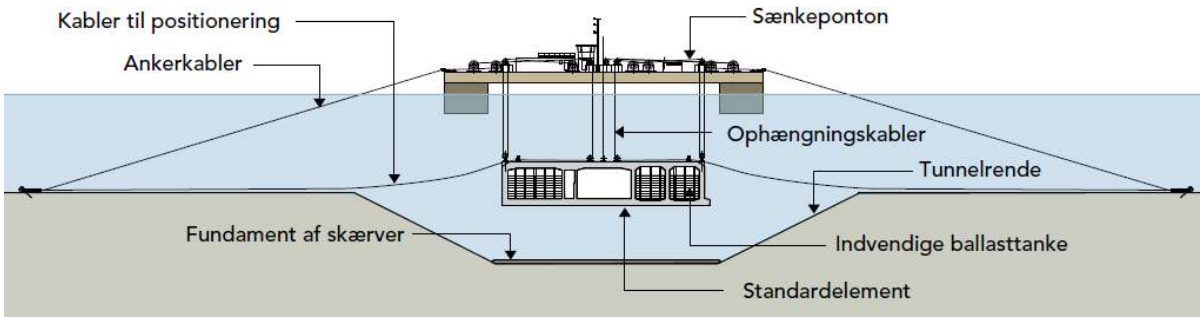
2.4.2 Transport og sænkning af tunnel elementer

Når det enkelte tunnelelement er produceret på fabrikken, skubbes elementet ud til et tilstødende basinområde som består af et lavt basinområde og et dybt basinområde. Bassinet lukkes af ved hjælp af en glideport (mod tunnelfabrikken) så produktionen af de næste elementer kan foregå som i en industriel proces. Her udrustes elementet med bl.a. med vandtætte skotter, indvendige tanke til trimning, og for-spændes så alle segmenter er sammenpresseset under transporten.

Når de enkelte tunnelelementer er klar til transport, oversvømmes bassinområdet så elementet flyder. Tunnelelementerne trækkes herefter ud til det dybe basinområde ved hjælp af f.eks. kabler og/eller slæbebåde. Når elementet er placeret i det dybe basinområde, kan vandspejlet kan sænkes til samme niveau som det øvrige vandmiljø. Tunnelelementet kan dernæst bugseres gennem flydeporten ved hjælp af slæbebåde til et fortøjningsområde, frem til destinationen i den udgravede rende i den aktuelle linjeføring. Figur 2.18 viser hvordan bassinområdet var anlagt i forbindelse med etableringen af Øresundstunnelen, hvor der var etableret 2 produktionslinjer.

Figur 2.18. Oversigt over Øresundstunnelens tunnelelementfabrik, inkl. bassinområdet.

I fortøjningsområdet nær linjeføringen placeres nedsænkningspontoner (hvis disse ikke allerede er installeret) på elementet, som derefter transporteres og placeres over tunnelrenden. Tunnelelementet nedsænkes herefter ved hjælp af vandballast som fyldes op i de tidligere installerede ballasttanke. Nedsænkningen til elementets endelige placering sker kontrolleret ved hjælp ophængningskabler som er fastgjort til hhv. pontonerne og tunnelelementet. Forankringskabler og positioneringskabler er fastgjort mellem havbunden, sænketunnelen og sænkepontonener som vist på figur 2.19. Vandballasteringen erstattes løbene af ballastbeton når elementet er endeligt placeret i tunnel renden.



Figur 2.19. Nedsænkning af tunnelelement som planlagt for Femerntunnelen. Reference: "Den faste forbindelse over Femern Bælt (kyst-kyst), VVM-REDEGØRELSE, sammenfattende rapport".

Sænketunnelen etableres som udgangspunkt på et funderingslag af grus i en åbent udgravet rende. Når sænketunnelelementet er endeligt placeret i renden, tilbagefyldes med friktionsjord (ca. 5 m grusfyld over top af funderingslag) som fastlåser elementet for bevægelser. Efterfølgende tilbagefyldes den resterende del af renden med det udgravede materiale op til niveau for overkant tunnel. Hvis det udgravede materiale ikke er indbygningsegnet, erstattes det med friktionsjord (sandfyld). Over tunnelen etableres et lag stenbeskyttelse mod f.eks. faldne objekter. Det antages at havbunden reetableres i kystnære områder (hvor afstanden mellem linjeføringen og kyst er mindre end 500m).

3. ANLÆGSOVERSLAG

3.1 Indledning

Anlægsoverslaget er afgrænset til 3 typer konstruktioner;

- Sænketunnel
- C&C tunnel
- Åbne rampekonstruktioner

Hver konstruktionstypes udbredelse fremgår af tegningen Bilag 1, og tabel 3.1 opsummerer kort de enkelte bygværkers længder.

Tabel 3.1. Konstruktionstyper og strækningslængder for sænketunnelalternativet

Strækning	Bygværk	Længde	Gns. Udgravningsdybde
Delstrækning 1 (I Danmark)	Rampe	387 m	7m
	C&C	2472 m	12 m
	Afkørsler på land	-	-
Delstrækning 2 (Øresundet)	Sænketunnel	9597 m	-
Delstrækning 3 (I Sverige)	C&C	205 m	13 m
	Rampe	343 m	7m
	Tilslutningsanlæg	-	-
	Bro	-	-
	Afkørsler på land	-	-

3.2 Prisvurdering for sænketunnel

For sænketunnelen har Rambøll lavet en benchmarking af den betingede kontrakt på Femerntunnelen fra hhv. 2015 og 2016.

Femernbælts forbindelsens tværsnit er væsentlig større da den indeholder to tunnelrør til jernbaneforbindelsen. Prisen som anføres i tabellen forneden tager højde for inflation og et mindre tværsnit.

Pris for produktionsfacilitet til tunnelelementproduktion er også baseret på Femerntunnel projektet, og korrigeret for at der i aktuelle løsningsforslag er antaget en fabrik med 3 produktionslinjer.

Tabel 3.2. Vurderet kilometerpris for sænketunnel

	Sænketunnel
Tunnel (Design, produktion og finish)	Inkluderet
Dredging	Inkluderet
Fundament, nedsænking og tilbagefyld	Inkluderet
M&E	Inkluderet
Samlet pris	843 mio dkk/km

3.3 Prisvurdering for C&C tunnel og rampekonstruktioner

Priser for bygværker på land er udregnet som mængder ganget med enhedspriser. Mængderne er beregnet ved at betragte repræsentative tværsnit i bygværker som derefter bliver ganget op med længden af bygværket. Enhedspriserne er erfaringspriser for tilsvarende anlægsprojekter. Her er der skelet til Nordhavnsvejprojektets tilkoblingsanlæg (rampekonstruktion og C&C tunnel), samt et sænketunnel studie for en fast forbindelse over Femernsund i Tyskland.

3.4 Tillæg

Eftersom prisvurderingen for sænketunnelen er baseret på Femerntunnelens betingede kontrakter, og indeholder alle arbejder, er der ikke brugt tillægssatser for eksempelvis arbejdsplads, M&E installationer.
Dog er lagt et tillæg for øvrige ikke-prissatte omkostninger (ledningsomlægninger, arealerhvervelse, arkæologiske undersøgelser, miljørelaterede afværgeforanstaltninger mv) på 3%

For C&C tunnelstrækningerne og rampekonstruktionerne, er følgende arbejder inkluderet som tillæg, ganget på totalen for mængde x enhedspris:

- Tillæg for tekniske installationer, 18%
- Tillæg for entreprenørens byggeplads, 8%
- Tillæg for entreprenørens byggepladsledelse, 5%.
- Tillæg for øvrige ikke-prissatte omkostninger (ledningsomlægninger, arealerhvervelse, arkæologiske undersøgelser, miljørelaterede afværgeforanstaltninger mv), 3%

PÅ det samlede fysikoverslag, er yderligere lagt til korrektionstillæg PTA på 12% og korrektionstillæg totalbevilling 50%.

3.5 Udeladelser

Følgende er ikke prissat i anlægsoverslaget:

- Traditionelt vejanlæg på terræn, Helsingørsiden
- Tilslutningsanlæg til eksisterende E47 på Helsingørsiden
- Tilslutningsanlæg mellem rampekonstruktion og Bro på Helsingborgsiden
- Brokonstruktion på Helsingborgsiden
- Tilslutningsanlæg til eksisterende E4-motorvej på Helsingborgsiden

3.6 Samlet anlægsoverslag

RAMBØLL

Project no.

Job
Anlægsoverslag
Oversigt, Sænketunnel alternativ til vej

Check by: MDA, SWG
Date: 24-06-2020

Samlet længde: 12,90 km

Enterpriseoverslag	*L [m]	Bygværk	[mio DKK]	[mio DKK/km]
Tunnelelementfabrik			3.200	-
Rampekonstruktion og C&C tunnel, Helsingør	2.859	CC/RA	2.779	972
Sænketunnel, Øresund	9.510	IMT	8.017	843
C&C tunnel og Rampekonstruktion, Helsingborg	535	CC/RA	433	808
Enterprisearbejder på strækningen			**14.428**	
Pris pr km intrastruktur længde (mio DKK/km)			**1.118**	
* Længden er målt langs hovedlinjen.				
Øvrige, ikke prissatte omkostninger	3%		421	
Samlede Enterprisearbejder			**14.849**	
Udeladelser:				
Rydning af byggeplads, SE		VD-INPUT		
Rydning af byggeplads, DK		VD-INPUT		
VEJ - Traditionelt vejanlæg på terræn, Helsingørsiden		VD-INPUT		
VEJ - Tilslutningsanlæg til eksisterende E47 på Helsingørsiden		VD-INPUT		
VEJ - Tilslutningsanlæg mellem rampekonstruktion og Bro på H		VD-INPUT		
VEJ - Brokonstruktion på Helsingborgsiden		VD-INPUT		
VEJ - Tilslutningsanlæg til eksisterende E4-motorvej på Helsing		VD-INPUT		
Arkæologiske undersøgelser (land og vand)		VD-INPUT		
Afværge foranstaltning miljø		VD-INPUT		
Ledningsomlægning		VD-INPUT		
Arealerhvervelse		VD-INPUT		
Samlet fysikoverslag			**14.849**	
Korrektionstillæg PTA	12%		1.782	
Samlet anlægsoverslag			**16.631**	
Korrektionstillæg for totalbevilling	50%		8.316	
Anlægsoverslag for bygværker, i alt [Mia DKK]			**24,9**	

RA= Rampekonstruktion, CC=Cut&Cover tunnel, BT=Boret tunnel, IMT=Sænketunnel,
VAR=Varierende-metode ikke fastlagt på nuværende tidspunkt
Omkostninger til M&E installationer og arbejdsplads er generelt medregnet i de enkelte poster for Entrepriseoverslaget.
Arbejdspladsomkostninger for sænketunnelen er medregnet som en del af prisen for tunnelelementfabriken.
PTA tillæg er i nærværende anlægsoverslag regnet som 12% (både for bygværker som releterer sig til vej og jernbane).

HOVEDAFSNIT 2. FÆLLES VEJ- OG BANE TUNNEL

4. BESKRIVELSE AF FÆLLESLØSNINGEN

4.1 Linjeføring

Linjeføringen er valgt som et tidligt forslag til en fællesforbindelse. Med fællesforbindelse menes at både vej- og baneanlægget er samlet i ét tunneltværsnit langs krydsningen af sundet. Eftersom det er en forudsætning at vejanlægget skal forbinde E47 Helsingør motorvejen på Danmark siden, med E4/E6 på Sverige siden, og baneanlægget skal forbinde Helsingør station med Helsingborg station for banedelen, separeres vej- og banedelen ved kysterne og videre ind på land til de respektive tilslutningspunkter til den eksisterende infrastruktur.

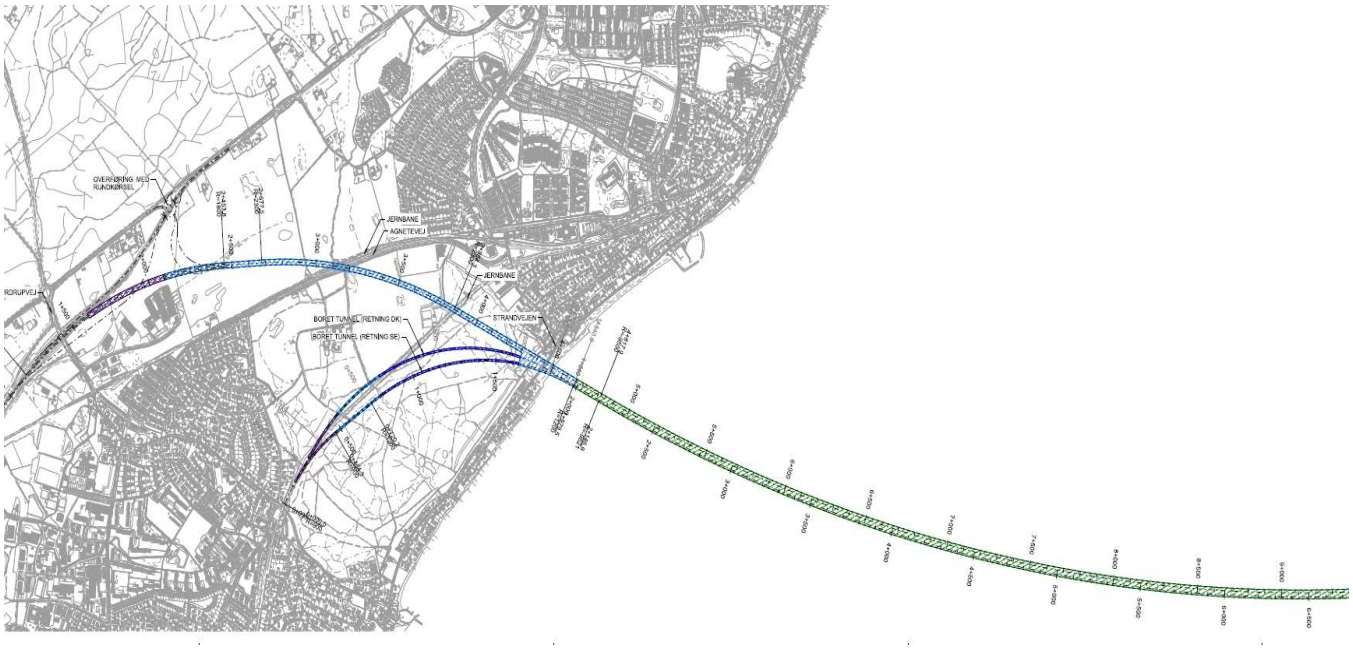
Krydsningen af sundet, hvor vej og bane er samlet i ét tunneltværsnit, er forudsat udført som en sænketunnel.

Linjeføringen beskrevet i det følgende, er baseret på Dansk regelværk for hhv vej (Vejdirektoratets krav til vejprojektering) og bane (BDKs krav til baneprojektering), og tager udgangspunkt i en linjeføring over sundet der stort set følger basisløsningens (WSP's) linjeføring for vejtunnelen, og sænketunnelen til vej omhandlet i det tidligere hovedafsnit.

Helsingborg kommune har udviklet (eller er i et forløb med at udvikle) en linjeføring til en fælles forbindelse anlagt i sænketunnel, der følger basisløsningens nordligere linjeføring til banetunnelen. Denne er ikke vurderet som del af nærværende opgave, men er tegnet op og vedlagt som bilag 4.
Der dog gjort en grov vurdering af anlægsoverslaget, og det vurderes i samme størrelsesorden som fællesløsningen i nærværende rapport. Helt overordnet, synes Helsingborg kommunes forslag at medføre nogle store konsekvenser for bymiljøet på begge sider af sundet, da sænketunnelen "lander" centralt i de to byer og vil medføre et væsentligt og langt-varende anlægsmæssigt fodaftryk med tilhørende forstyrrelser.

Linjeføringen resulterer i en forbindelse hvor baneanlægget totalt er ca 16 km langt, og vejanlægget ca. 13km. Heraf er ca. 8,8 km selve fællesforbindelsen hvor både bane og vej er samlet i en sænketunnel der krydser sundet. Ved kysterne skilles fællesforbindelsen ud i separate vej- og baneforbindelser der føres videre ind på land mod tilslutningspunkterne til den eksisterende infrastruktur. Den separate vej-del anlægges hovedsageligt i en C&C tunnel og den separate bane-del hovedsageligt som en boret dobbelt tunnel, hvor togene mod hhv Sverige og Danmark anlægges i hver sin TBM tunnel. Flugtvejene i denne konfiguration er sikret af tværtunneler mellem de to hovedtunneler. Det skal bemærkes at selvom den borede tunnel på

Helsingborgsiden er vist som en enkelt ”streg”, er der tale om to (tætliggende) TBM tunneler med tværtunneler som på Helsingørsiden.



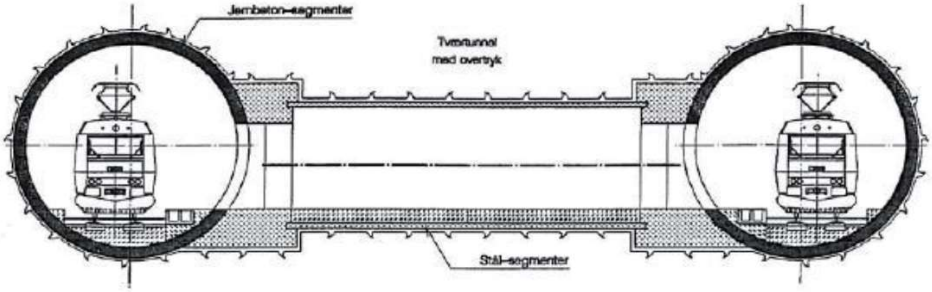
Figur 4.1. Linjeføring, Helsingørsiden. Se også bilag 1. Den grønne del af linjeføringen udgøres af sænketunnelen, der både indeholder vej- og banespor. Den blåskraverede, kileform ved kysten udgør overgangen fra sænketunnel til hhv de borede banetunneler (blålilla) der drejer mod sydvest og forbindelse til den eksisterende bane sydvest for Snekkersten og cut&cover vejtunnelen (blå) der først drejer lidt mod nordvest, herefter mod sydvest indtil den via en åben rampekonstruktion (lilla) slutter til eksisterende E47.

Figur 4.2. Linjeføring, Helsingborgsiden. Se også bilag 1. Den grønne del af linjeføringen udgøres af sænketunnelen, der både indeholder vej- og banespor. Den blåskraverede, kileform ved kysten udgør overgangen fra sænketunnel til hhv de borede banetunneler (blålilla) der drejer mod nord og Helsingborg station, og en kort cut&cover vejtunnel (blå) der drejer mod nordøst, hvorefter den via en åben rampekonstruktion (lilla) når op til terrænniveau. Den buede firkant markerer et område hvor det antages muligt at etablere vej i terræn. Den gulmarkerede fortsættelse af dette område, udgør en mulig broforbindelse over Landskronavägen og jernbanen, hvorefter der kan sluttes til den eksisterende E47.

4.2 Tværsnit

4.2.1 Boret tunnel til bane

Tunneltværsnittet er baseret på reference [1] i tabel 0.1:

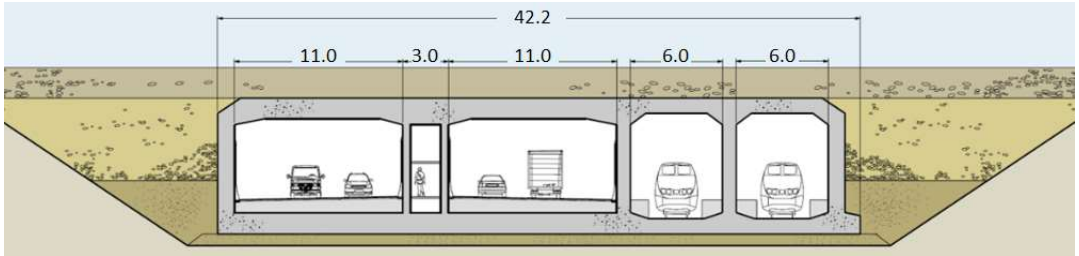


Figur 4.3. Anvendt tværsnit for den borede banetunnel

Den ydre diameter af TBM tunnelerne er ca. 9m.

4.2.2 Sænketunnel til vej og bane

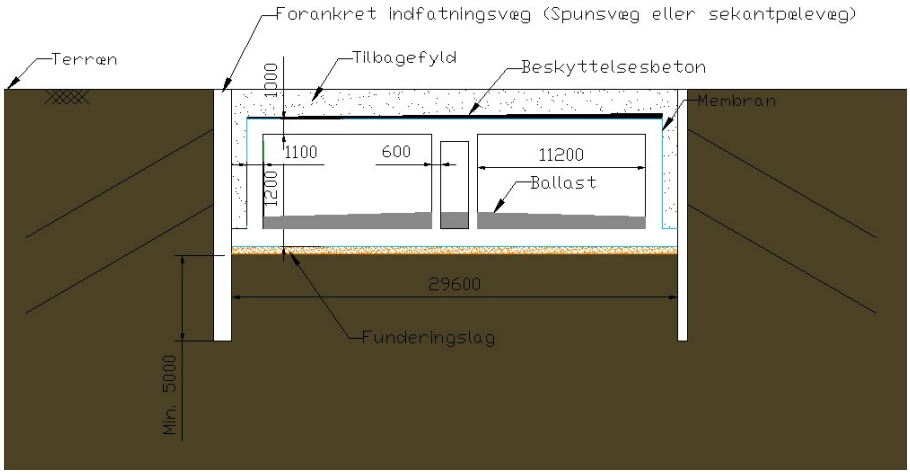
Sænketunnel tværsnittet er baseret på Femerntunnelen, og resulterer i et ca. 42 m bredt tværsnit.



Figur 4.4. Anvendt tværsnit for sænketunnelen

4.2.3 C&C tunnel til vej

C&C tværsnittet til vejbanen er baseret på det tilsvarende i Hovedafsnit 1.



Figur 4.5. Anvendt tværsnit for C&C tunnel til vej.

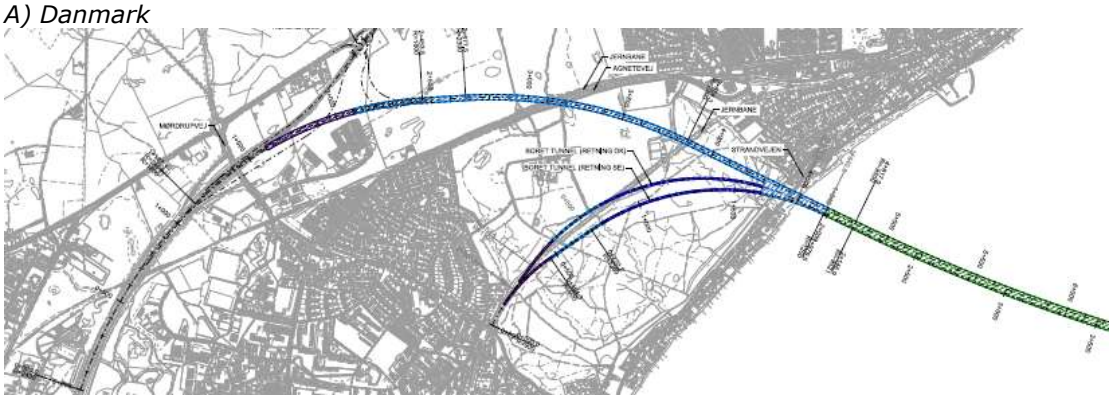
4.3 Konstruktioner

Dette afsnit beskriver de forudsætninger som er benyttet i forbindelse med prissætningen af bygværkerne på land. For vejforbindelsen afgrænses prissætningen som aftalt med vejdirektoratet mellem:

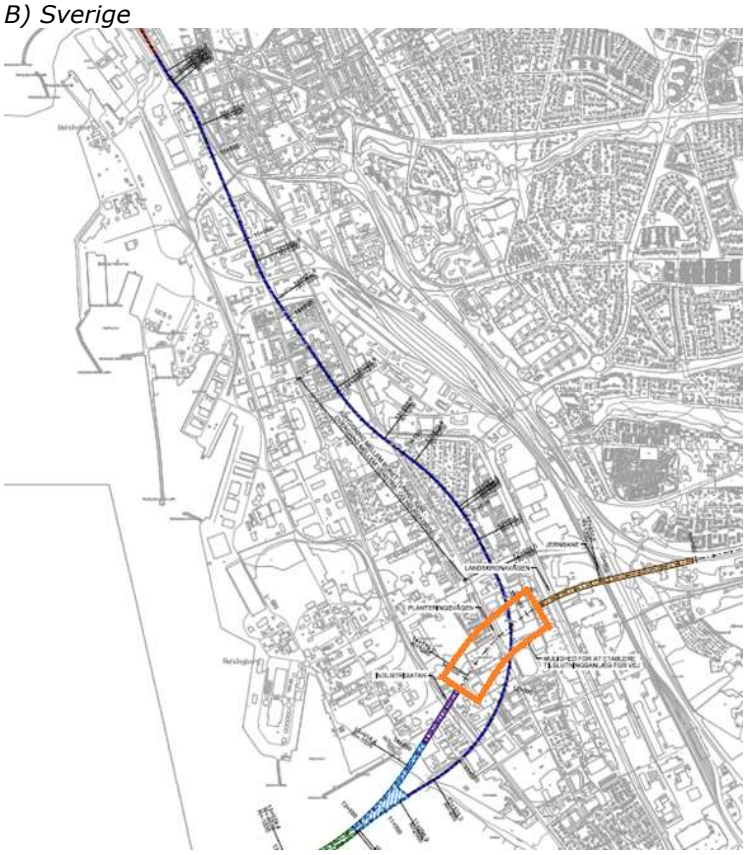
- Åben rampekonstruktion og traditionel vej i Danmark
- Åben rampekonstruktion muligt tilslutningsanlæg I Sverige

For jernbaneforbindelsen prissættes alle bygværker. Jernbaneforbindelsen tilsluttes til Regionalbanen mellem København og Helsingør. I Sverige forventes jernbaneforbindelsen at ende i en nyanlagt station.

A) Danmark



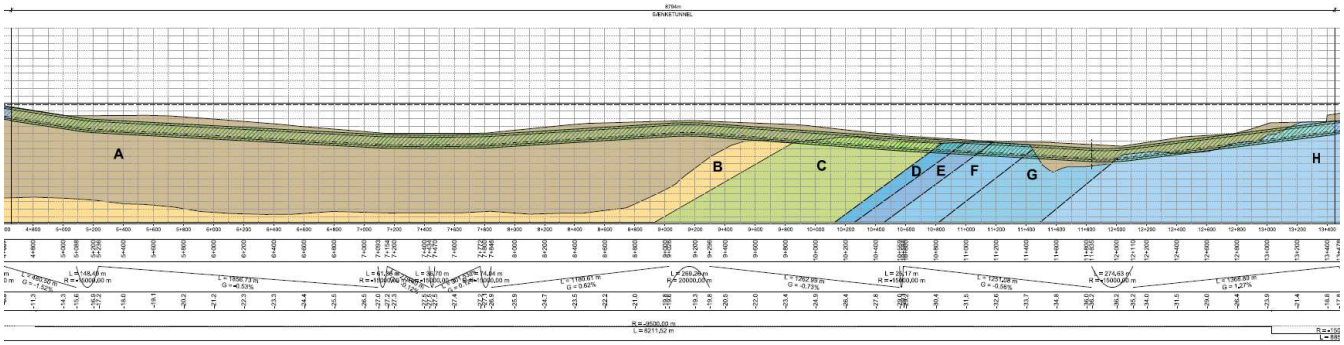
B) Sverige



Figur 4.6. Linjeføring på land. (A) sydvest for Snekkersten og (B) sydøst for Helsingborg havn. Bygværker er; Sænketunnel (grøn markering), C&C tunnel (lyseblå markering), Boret tunnel (blålilla markering), Rampe (lilla markering), Tilslutningsanlæg (orange markering) og ny Helsingborg station (Rød markering længst mod nord).

4.4 Sænketunnelen til fællesforbindelsen

Sænketunnelen der indeholder på vej- og baneforbindelsen, løber fra kyst til kyst – se figur 4.7. Der er ikke taget stilling til længde og antal af individuelle tunnelelementer. Linjeføringen og anlægsforholdende er antaget som i hovedafsnit 1, korrigeret for det bredere tværsnit.

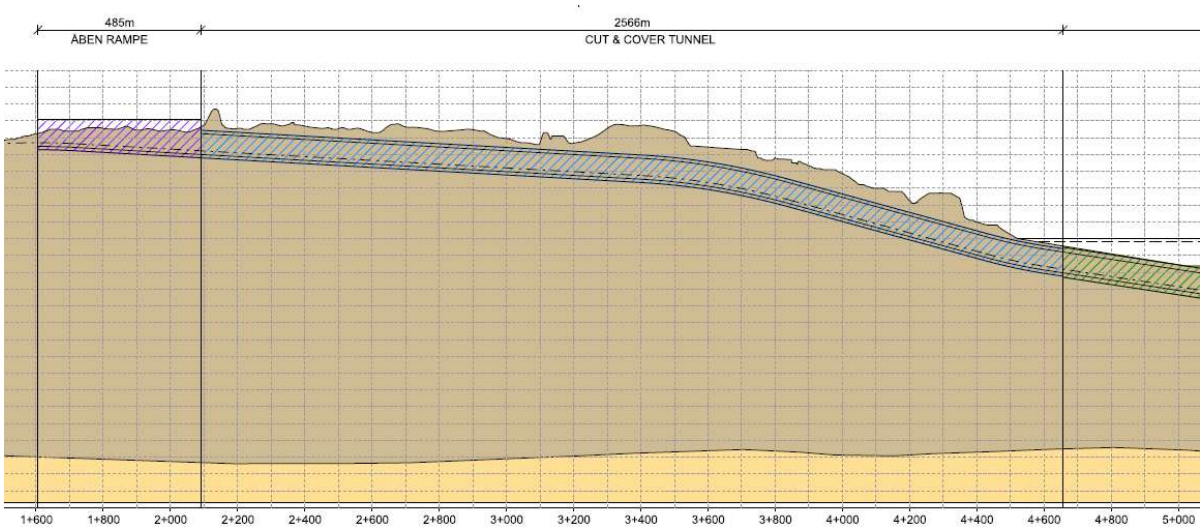


Figur 4.7. Længdeprofil for sænketunnelen. Afstand mellem horisontale stiplede linjer er 5 m.

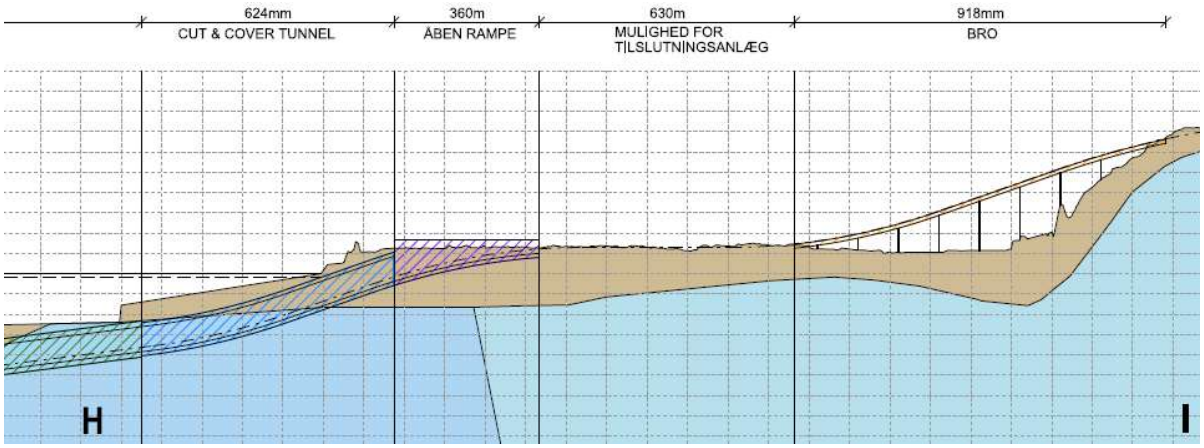
Ved kysterne er der antaget et overgangsbygværk, der anlægges med det formål at muliggøre overgang fra sænketunnelkonstruktionen, til dels den videre vejforbindelse anlagt som C&C tunnel, dels den videre baneforbindelse anlagt borede tunneler. Bygværket vil dermed også udgøre enten start- og/eller modtagekammer for TBM maskinerne. Bygværket er antaget udført som åben, afstivet byggegrube anlagt på havindvundet land (ikke vist i detaljer på figurer eller bilag).

4.4.1 Vejforbindelsen

Vejforbindelsen på begge sider af sundet består af en C&C tunnel og en åben rampekonstruktion. Bygværkernes længdeprofil forudsættes som vist på figur 4.8 (i Danmark) og figur 4.9 (i Sverige).



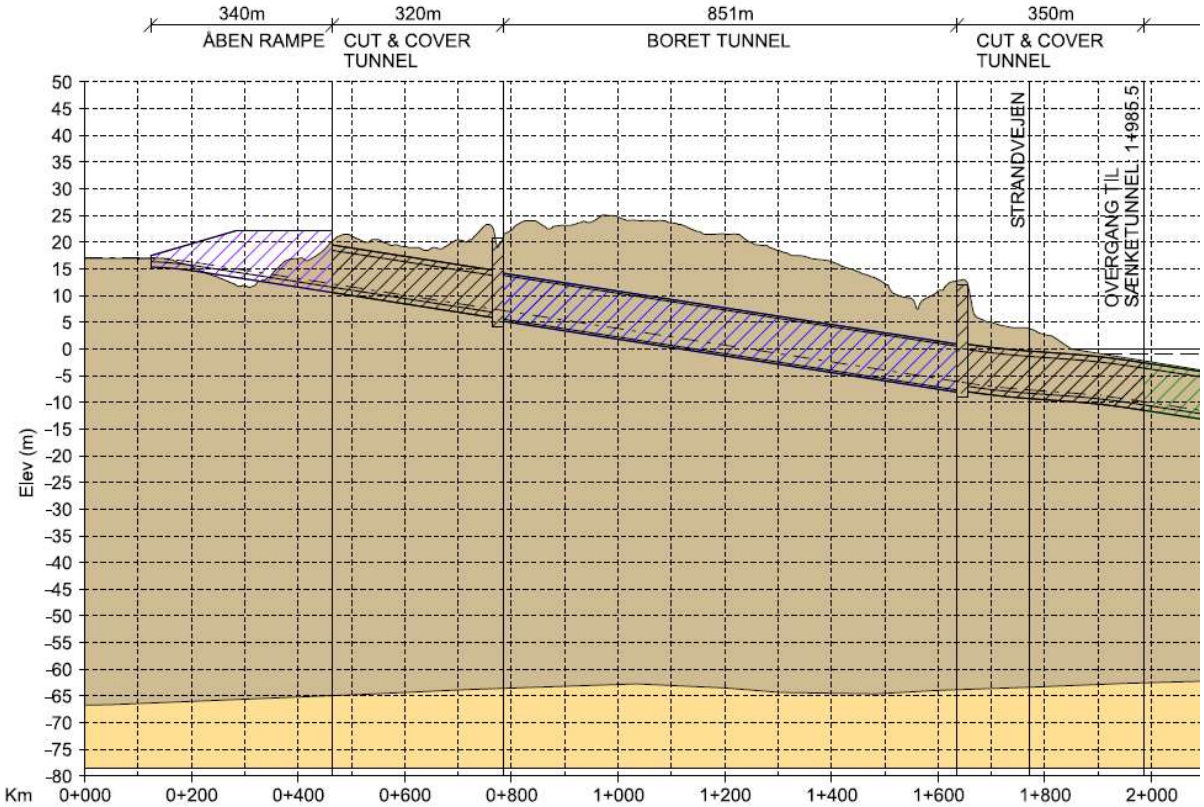
Figur 4.8. Længdeprofil for vejforbindelse i Danmark. Rampekonstruktioner (markeret lilla), C&C tunnel (markeret blå), sænketunnel (markeret grøn). Afstand mellem horisontale stiplede linjer er 5 m.



Figur 4.9. Længdeprofil for vejforbindelse i Sverige. Rampekonstruktioner (markeret lilla), C&C tunnel (markeret blå), sænketunnel (markeret grøn). Afstand mellem horisontale stiplede linjer er 5 m.

4.4.2 Jernbaneforbindelse

På Helsingørsiden forudsættes jernbaneforbindelsen etableret som hhv. en boret tunnel og en C&C tunnel/rampekonstruktion op mod Helsingør station. Se figur 4.10.



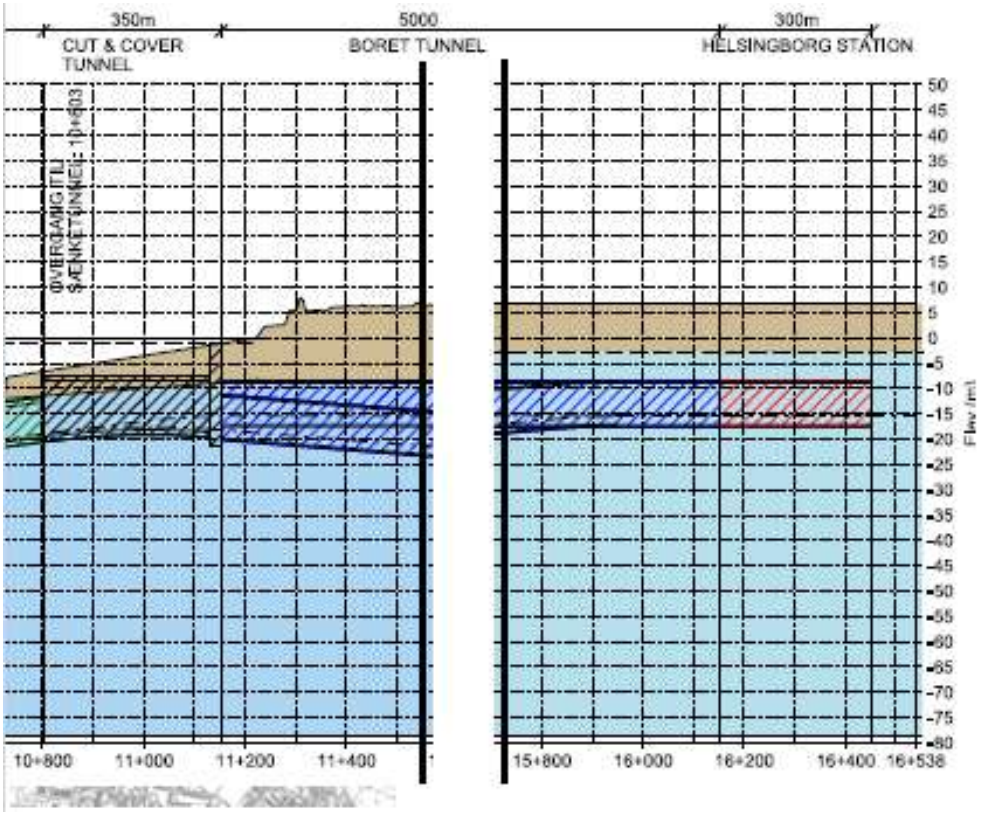
Figur 4.10. Længdeprofil for baneanlægget.

Grunden til at der er valgt en løsning med relativt korte borede tunneler i stedet for en C&C tunnel, skyldes terrænforholdene og en ret brat stigning op fra kysten – se figur 4.11. Med de tilladte stigningsgradienter, vil en C&C tunnel medføre en nogen steder meget dyb udgravning,

der dels vil være en dyr og kompleks løsning i interimssituationen, og dels vil have omfattende negativ konsekvens for miljøet og skovområdet sydvest for Snekkersten.

Figur 4.11. Terrænprofil fra Google Earth. Røde pile på oversigtstegning angiver højdepunkt.

På Helsingborgsiden forudsættes jernbaneforbindelsen etableret som en lang boret tunnel, som det fremgår af figur 4.12. En boret tunnel er valgt af hensyn til bymiljøet og for at mindske trafikgener.



Figur 4.12. Længdeprofil for baneforbindelsen på Helsingborgsiden.

4.5 Stationer

Den borede tunnel forbindes til en 300 m nyanlagt stationsboks under Helsingborg station. Der er ikke taget stilling udformning og teknisk løsning for stationen, og prisestimatet for den i anlægsoverslaget, er udelukkende baseret på erfaringstal.

5. ANLÆGSOVERSLAG

5.1 Prisvurdering for sænketunnel

For sænketunnelen har Rambøll baseret prisestimatet på den betingede kontrakt på Femerntunnelen fra 2015-2016.

Pris for produktionsfacilitet til tunnelelementproduktion er også baseret på Femerntunnel projektet, og korrigeret for at der i aktuelle løsningsforslag er antaget en fabrik med 4 produktionslinjer.

Tabel 5.1. Vurderet kilometerpris for sænketunnel

	Sænketunnel
Tunnel (Design, produktion og finish)	Inkluderet
Dredging	Inkluderet
Fundament, nedsænking og tilbagefyld	Inkluderet
M&E	Inkluderet
Samlet pris	1235 mio dkk/km

5.2 Prisvurdering for C&C tunnel og rampekonstruktioner

Priser for bygværker på land er baseret på de tilsvarende fra Hovedafsnit 1.

5.3 Tillæg

Eftersom prisvurderingen for sænketunnelen er baseret på Femerntunnelens betingede kontrakter, og indeholder alle arbejder, er der ikke brugt tillægssatser for eksempelvis arbejdsplads, M&E installationer.

For de borede tunneler, C&C tunnelstrækningerne og rampekonstruktionerne, er følgende arbejder inkluderet som tillæg, ganget på totalen for mængde x enhedspris:

- Tillæg for tekniske installationer, 18%
- Tillæg for entreprenørens byggeplads, 8%
- Tillæg for entreprenørens byggepladsledelse, 5%.
- Tillæg for øvrige ikke-prissatte omkostninger (ledningsomlægninger, arealerhvervelse, arkæologiske undersøgelser, miljørelaterede afværgeforanstaltninger mv), 3%

PÅ det samlede fysikoverslag, er yderligere lagt til korrektionstillæg PTA på 12% og korrektionstillæg totalbevilling 50%.

5.4 Udeladelser

Følgende er ikke prissat i anlægsoverslaget:

- Traditionelt vejanlæg på terræn, Helsingørsiden
- Tilslutningsanlæg til eksisterende E47 på Helsingørsiden
- Tilslutningsanlæg mellem rampekonstruktion og Bro på Helsingborgsiden
- Brokonstruktion på Helsingborgsiden
- Tilslutningsanlæg til eksisterende E4-motorvej på Helsingborgsiden

5.5 Anlægsoverslag for fælles løsningen

Samlet længde, bane, km:	15,92	km		
Samlet længde, vej, km:	12,13	km		
Enterpriseoverslag	*L [m]	Bygværk	[mio DKK]	[mio DKK/km]
Tunnelelementfabrik			4.400	-
BANE - Rampekonstruktion, Helsingør (retning mod DK)	267	RA	93	350
BANE - Rampekonstruktion, Helsingør (retning mod SE)	340	RA	119	350
BANE - C&C tunnel, Helsingør (retning mod DK)	320	C&C	192	600
BANE - C&C tunnel, Helsingør (retning mod SE)	320	C&C	192	600
BANE - Boret tunnel, Helsingør (retning mod DK)	861	BT	258	300
BANE - Boret tunnel, Helsingør (retning mod SE)	851	BT	255	300
VEJ OG BANE - Overgangsbygværk, Helsingør	350	C&C	525	1.500
VEJ OG BANE - Sænketunnel, Øresund	8.794	IMT	10.861	1.235
VEJ OG BANE - Overgangsbygværk, Helsingborg	350	C&C	525	1.500
BANE - Boret tunnel, Helsingborg (retning mod DK)	5.000	BT	1.500	300
BANE - Boret tunnel, Helsingborg (retning mod SE)	5.000	BT	1.500	300
HELSINGBORG STATION	400	VAR	800	2.000
VEJ - Rampekonstruktion og C&C tunnel, Helsingør	2.701	CC/RA	2.650	981
VEJ - C&C tunnel og rampekonstruktion, Helsingborg	634	CC/RA	519	818
Enterprisearbejder på strækningen			**24.389**	
Pris pr km samlet intrastruktur længde (mio DKK/km)			**869**	
Øvrige, ikke prissatte omkostninger	3%		732	
Samlede Enterprisearbejder			**25.121**	
Udeladelser:				
Rydning af byggeplads, SE		VD-INPUT		
Rydning af byggeplads, DK		VD-INPUT		
VEJ - Traditionelt vejanlæg på terræn, Helsingørsiden		VD-INPUT		
VEJ - Tilslutningsanlæg til eksisterende E47 på Helsingørsiden		VD-INPUT		
VEJ - Tilslutningsanlæg mellem rampekonstruktion og Bro på Helsingborgsiden		VD-INPUT		
VEJ - Brokonstruktion på Helsingborgsiden		VD-INPUT		
VEJ - Tilslutningsanlæg til eksisterende E4-motorvej på Helsingborgsiden		VD-INPUT		
BANE - Tilslutning og stationsarbejder på Helsingør station		VD-INPUT		
Arkæologiske undersøgelser (land og vand)		VD-INPUT		
Afværge foranstaltning miljø		VD-INPUT		
Ledningsomlægning		VD-INPUT		
Arealerhvervelse		VD-INPUT		
Samlet fysikoverslag			**25.121**	
Korrektionstillæg PTA	12%		3.014	
Samlet anlægsoverslag			**28.135**	
Korrektionstillæg for totalbevilling	50%		14.068	
Anlægsoverslag, i alt [Mia DKK]			**42,2**	

HOVEDAFSNIT 3. ERFARINGSPRISER FRA TILSVARENDE TBM PROJEKTER

6. INTRODUCTION

This cost analysis has been undertaken for the rail and road connections proposed between Helsingør in Denmark and Helsingborg in Sweden, as part of Rambøll's commission "strategic analysis of a fixed HH link". The objective is to check and validate the cost estimate carried out by others in 2019.

The two projects both feature bored tunnel works under the sea, with cut and cover tunnelled portions and open ramp troughs at the land tie-in locations.

The alignments are shown in Figure 6.12 below. The new railway alignment is shown in red, and the new highway alignment is in black.

Figure 6.1. Rail and Highway Tunnel Alignments between Helsingør and Helsingborg.

Ramboll have estimated that the costs for the two projects are:

- for the rail tunnel link, 13.3 billion DKK, and;
- for the road tunnel link, 21.7 billion DKK.

Both of these estimates are inclusive of a 50% risk allowance, and a client costs/PTA of 12% for rail and road projects. Other inclusions and exclusions are clarified within this note. Individually, tunnelling works cost can be summarized in the following way:

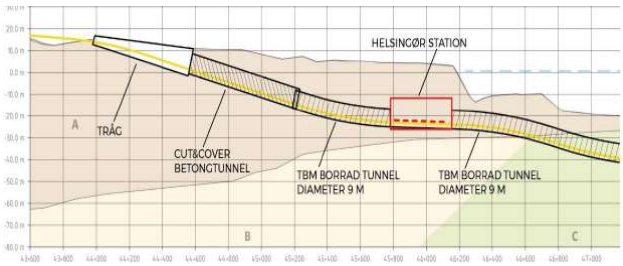
- 188,000 DKK/m of single tube rail tunnel; and
- 332,000 DKK/m of single tube road tunnel.

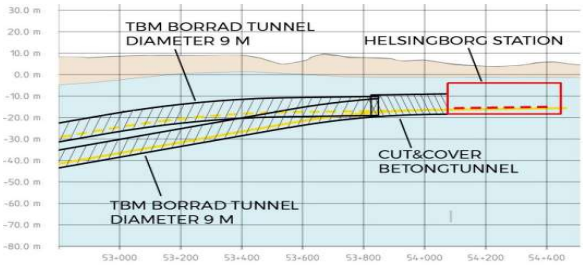
7. COST ESTIMATE BASIS

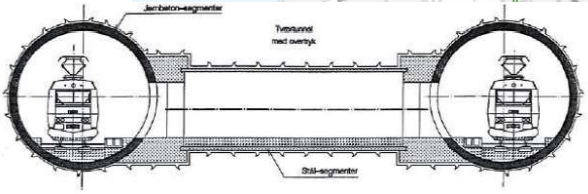
7.1 Basis for Rail Tunnel Cost Estimate

The alignment can be broken into the following sections:

Item	Ch.	Ch.	Length	Description
Helsingor Surface Rail Tie-in	43+800	44+000	200	Open track
Helsingor Ramp Trough	44+000	44+600	600	Open track
Helsingor Cut & Cover Tunnel	44+600	45+170	570	Enclosed tunnel
Helsingor Cut & Cover TBM	45+170	45+200	30	Enclosed tunnel
Bored Tunnel	45+200	45+800	600	Enclosed tunnel
Helsingor Station	45+800	46+120	320	Enclosed tunnel
Bored Tunnel	46+120	53+820	7700	Enclosed tunnel
Helsingborg Cut & Cover TBM	53+820	53+850	30	Enclosed tunnel
Helsingborg Cut & Cover Tunnel	53+850	54+094	244	Enclosed tunnel
Helsingborg Station	54+094	54+415	421	Enclosed tunnel
Helsingborg Cut & Cover Tunnel	54+415	54+500	85	Enclosed tunnel
Total				
Helsingor - Surface			200	Rail tie-in
Helsingor – Subsurface,			1,520	Open trough/cut and
Bored Tunnel			8,300	Bored tunnel
Helsingborg			780	Cut and cover
Grand Total	43+800	54+500	10,800	Mixed





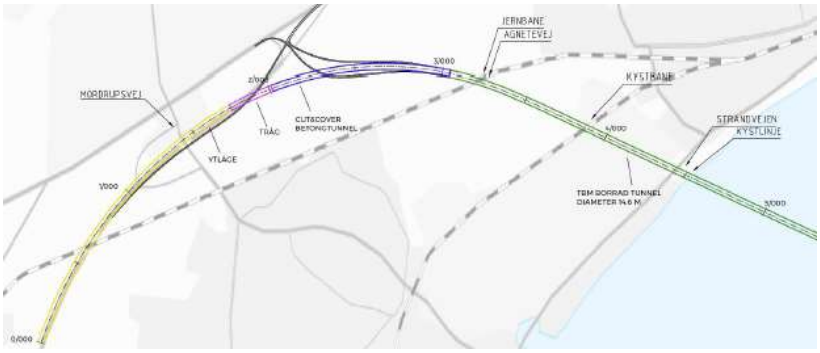


Inner Diameter	7.9 m
Lining Thickness	400 mm

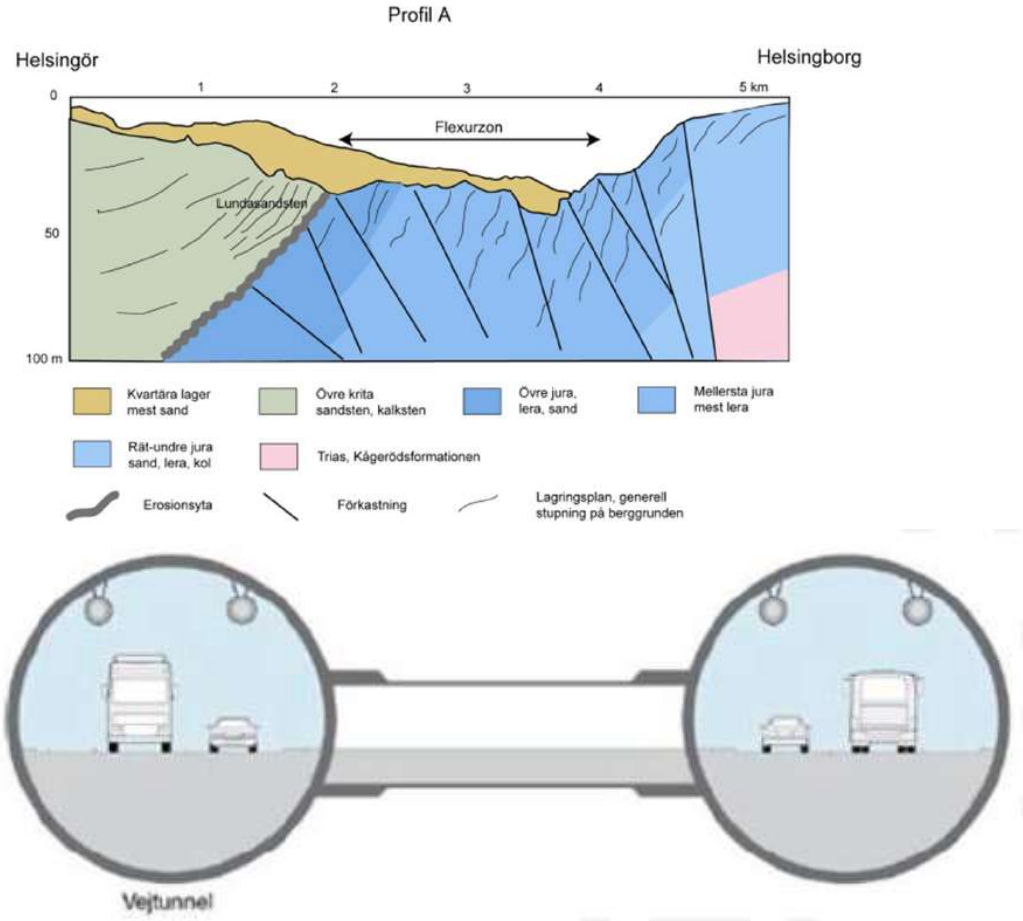
7.2 Basis for Road Tunnel Cost Estimate

The alignment can be broken into the following sections:

Item	Ch.	Ch.	Length	Description
Helsingor Surface Road Tie-in	0+000	1+750	1,750	Open road
Helsingor Ramp Trough	1+750	2+015	265	Open road
Helsingor Cut & Cover Tunnel	2+015	3+010	995	Enclosed tunnel
Helsingor Cut & Cover TBM	3+010	3+040	30	Enclosed tunnel
Bored Tunnel	3+040	13+960	10,800	Enclosed tunnel
Helsingborg Cut & Cover TBM	13+960	13+990	30	Enclosed tunnel
Helsingborg Cut & Cover Tunnel	13+990	14+650	660	Enclosed tunnel
Helsingborg Ramp Trough	14+650	14+800	100	Open road
Helsingborg Ramp Road Tie-in	14+800	15+250	450	Open road



The overall geological section, tunnel configuration and assumed lining thicknesses are shown below:



Inner Diameter	13.0 m
Lining Thickness	600 mm

7.3 Cost Derivation

The cost estimates have been based on Rambolls own cost spreadsheets that have been developed off the back on recent detailed cost estimated for bored tunnels in Denmark and beyond, including Fehmarnbelt and Vejlefjord bored tunnels. We have based the cost estimates on parts of the project that are measurable and more clearly understood (such as the tunnel works), and have omitted items that have the greatest variation – such as the land tie-in works (although these parts are not typically large contributors to the overall cost). Cost estimates have been modified from other projects in several ways:

7.3.1 Materials

For material costs, calculations have been done on the volume of concrete and grout that is required, and of the volume of excavated material to be removed. Costs relating to these items have been adjusted proportionally.

7.3.2 Labour

Items related to the labour costs have been factored by the foreseen change in the size of the team. For works inside the tunnel, this can be proportional to the volume of materials in and out of the tunnel.

Labour costs are also proportional to duration of the works. Duration is directly proportional to the expected advance rate of the TBM.

7.3.3 Single Items

Items required once for each project are costed individually, as they are less likely to be entirely proportional.
On the surface, the workforce team size is not greatly effected by the size of the tunnel, and items are priced individually.

7.3.4 Portal work

Due to the variation in portal works, we have taken a reasonable and separate linear cost for: rail ramp troughs, rail cut and cover tunnels, road ramp troughs, and road cut and cover tunnels.

7.3.5 M&E and rail works

This have been calculated as a running meter cost for the project. The cost are based on similar projects. Rail equipment has been split according to the requirements by Bane Denmark.

7.3.6 Contractor's Add-on costs

Design, Management (Including on site management) overheads and profit have been included separately as add-on percentages for individual parts. They have been based on the Femarnbelt cost, which is our best reference project that went into sufficient detail to determine individual add-ons.

7.3.7 Other costs

An additional add-on of 3% is added to the cost estimate, which includes additional costs for site e.g

- Control center
- Classification of soil
- Ground water lowering

7.3.8 Groundwater treatment Risk Contingency

A risk add-on of 50% has been added as agreed with VD.

7.3.9 Client Project Management Costs

An indicative add-on has been included for PTA, differing for road and rail. The following percentage add-ons have been used, as agreed with VD:

- 10% for the rail project
- 12% for the road project

8. COST ESTIMATIONS

The tables presented in this section include the categories agreed with VD for the purposes of comparison, and are aligned with typical cost estimations undertaken by VD. The rail estimate is aligned with Bane Denmarks cost estimation categorisation.

8.1 Rail Project Cost Estimation

Ref.	Section	Length (m)	Cost (M DKK)		
			Base Cost	D/M/O/P	Total
1	Track System	10,800	1,095	129	1,224
2	Aboveground earthworks	200			
3	Bridges and Construction Works	N/A			
	- Bored tunnel TBM (without M&E)	8,300	2,234	879	3,113
	- M&E	10,800	470	(inc)	470
	- C&C, ramps & portals	1,480	875	245	1,120
	- Other auxillary structure	N/A			
4	Overhead Electrification	10,800	90	(inc)	90
5	Power Systems	10,800	183	(inc)	183
6	ERMTS/ATC (Signalling)	10,800	141	(inc)	141
7	Communication Equipment	10,800	37	(inc)	37
8a	Station (DK)	320	575	65	640
8b	Station (SE)	400	719	81	800
9	Land Acquisition	N/A			
10	Landscaping	N/A			
11	Miscellaneous	N/A			
12	**Subtotal**		**6,419**	**1,398**	**7,818**
	Other costs (3%)				235
	Subtotal				**8,053**
13	Client costs/PTA (10%)				805
14	**Subtotal**				**8,858**
15	Risk Add-on (50 %)				4,429
16	**Grand Total (M DKK)**				**13,287**

8.2 Road Project Cost Estimation

Ref.	Section	Length	Cost (M DKK)		
			Base Cost	D/M/O/P	Total
1	Surface Works (DK)	1,750	N/A		
2	C&C, ramps & portals (DK)	1,290	1,995	558	2,552
4	Tunnelling	10,800	5,151	2,027	7,177
5	C&C, ramps & portals (SE)	790	1,171	327	1,498
6	Surface Works (SE)	500	N/A		N/A
7	M&E	12,780	997	(inc)	997
8	Pavement/Cladding	15,250	90	11	101
9	Toll Plaza		210		210
10	**Subtotal**		**9,613**	**2,922**	**12,536**
	Other costs (3%)				376
	Subtotal				**12.912**
11	Client costs/PTA (12%)				1,549
12	**Subtotal**				**14,462**
13	Risk Add-on (50%				7,231
14	**Grand Total (M DKK)**				**21,692**

9. COST COMPARISON

9.1 Comparison with existing H-H Estimates

A cost comparison has been undertaken, taking into account the contractors expected fees, but no allowance for clients costs/PTA (10% for the rail project, 12% for road project) or risk allowance (set at 50% for this stage of study).

All previous estimates were in SEK, so conversion is included.

9.2 Rail Cost Comparison

The WSP estimate for the rail project was SEK 9,800 included all works and no risk allowance, while the Amberg estimate for the rail project of SEK 5,400 omitted M&E costs, but included 20% risk. We have therefore compared a price by Amberg of SEK 4,500 for all work without M&E and without risk.

Ref.	**Section**	**Total**		**Civils only**	**Comparison**
	Ramboll Cost Estimate	mDKK	mSEK	mSEK	
1	Track System	1,224	1,801		
2	Aboveground earthworks				
3	Bridges and Construction Works				
5	- Bored tunnel TBM (without M&E)	3,113	4,579	4,579	
6	- M&E	470	692		
7	- C&C portals	1,120	1,647	1,647	
8	- Other auxillary structure				
4	Overhead Electrification	90	133		
5	Power Systems	183	269		
6	ERMTS/ATC (Signalling)	141	208		
7	Communication Equipment	37	54		
8a	Station (DK)	296	436	436	
8b	Station (SE)	370	544	544	
9	Land Acquisition				
10	Landscaping				
11	Miscellaneous				
12	**Total**	**7,045**	**10,363**	**7,206**	
11	WSP Cost Estimate		9,800		95%
12	Amberg Cost estimate (No M&E)			4,500	62%
M SEK/km					
13	Ramboll cost per km tunnel (8.2 km twin tube)	380		558	
14	WSP Cost per km tunnel			558	100%
15	Amberg Cost per km tunnel			385	69%

The Ramboll cost estimate of 10,363 M SEK is 5% higher than that by WSP,and 38% higher than that by Amberg, yet still misses the cost related to the surface tie-in (earthworks), landscaping, and land acquisition costs, and any other auxillary structures required, such as bridges.

The WSP costs seem reasonable, reflected by a similar price per length of tunnelling work.

The Amberg cost is proportionally lower, and if a similar rate for tunnelling was applied, and M&E was included, it would result in a similar total cost by Amberg to Ramboll.

The reason for a lower cost for tunnelling by Amberg could be due to the use of an alternative (and faster) TBM advance rate in the calculations. Although we cant trace the cost of 385,000 SEK/m, this is 31% lower than both Ramboll and WSPs estimate. We can consider what effect this has.

Amberg's m-price of 385,000 SEK/m gives a cost of tunnelling of SEK 3,08m SEK, with 1.42m SEK for non tunnelled works.

This suggests Amberg consider 68% of the costs to relate to tunnelling, compared to Rambolls 64% - this compares well.

However, the overall cost is still significantly lower. If an increase of Ambergs cost of tunnelling was made to account for a similar cost per length to Ramboll (and WSPs) of SEK 558,000 / metre, so tunnelling was 4,579 m SEK (an increase of 1500m SEK) then Ambergs total cost would increase to 6000m SEK – which is 83% of Rambolls estimate.

Given that landside items were not included, it may be that aside from the lower tunnelling cost, that this cost compares reasonably well. Not withstanding this, it may be that more significant factors are at play in the cost difference observed here, beyond just the unit cost of tunnelling.

9.3 Road Comparison

The WSP estimate for the road project was SEK 19,200 included all works with no risk allowance, while the Amberg estimate for the rail project of SEK 16,800 omitted M&E costs, but included 20% risk. We have therefore compared a price by Amberg of SEK 14,00 for all work without M&E and without risk.

Ref.	Section	Total		Civils only	Comparison
		mDKK	mSEK	mSEK	
1	Surface Works (DK)				
2	Portals and Ramps (DK)	2,552	3,754	3,754	
4	Tunnelling	7,177	10,558	10,558	
5	Portals and Ramps (SE)	1,498	2,204	2,204	
6	Surface Works (SE)				
7	M&E	997	1,466		
8	Pavement/Cladding	101	148	148	
9	Toll Plaza	210	309	309	
10	**Sub-total**	**12,536**	**18,440**	**16,974**	
11	WSP Cost Estimate		19,200		104%
12	Amberg Cost estimate (No M&E)			14,000	82%
M SEK/km					
	Ramboll cost per km tunnel (twin tube)	665		978	
	WSP Cost per km tunnel			814	86%
	Amberg Cost per km tunnel			712	75%

It can be observed that the Ramboll total estimate is slightly lower (4%) than the WSP cost calculation but was 18% higher than the Amberg estimate– However it should be noted that Ramboll have not included surface tie-in works.

We have allowed for a cost of a wide surface toll plaza, similar to that used at Storebaelt, featuring a wide multi-lane plaza area, rather than a more narrow, free-flow arrangement. While a free-flow arrangement may be selected, reducing the costs, it is not clear if a customs area would be required. These aspects should be addressed in the future.

It should be noted that the Ramboll tunneling rate per km of 978,000 SEK/m is higher than those by WSP and Amberg, which in our opinion, may appear to (erroneously) overcompensate for the uncosted items

Based on the tunneling rates of 814,000 SEK/m and 712,000 SEK/m by WSP and Amberg, we can see their cost estimates are as follows:

	Tunnelling Price (mSEK)	Civils price (mSEK)	M&E Price (mSEK)
Ramboll	10,558	6,416	1,466
WSP	8,954	10,246	
Amberg	7,832	6,168	Not priced

From this shows that while Rambolls tunnelling costs are higher than WSP and Ambergs, WSP have higher non-tunneling costs – which may be reasonable, given that they will have included surface tie-in works.

Ambergs cost estimate for the tunnelling appears low, but the non-tunnelling parts, while they may seem quite comparable, they would also seem low if they have included all surface tie-in works, which Ramboll did not include.

In conclusion, given the omissions from the Ramboll cost estimate, the estimates by Amberg and WSP would appear to be reasonable in comparison, but generally are underestimates of the expected cost of tunneling.

9.4 Explanations for differences in cost estimation

Therefore, a difference in the selected advance rate used in the cost build up could account for the variation in costs, however this is unlikely to be the sole factor. Given that our estimation does not include the road and rail surface works, we have listed a number of other factors that should be considered to get an improved cost estimation.

Other factors may include:

- Differing labour rates –
  - While specialist tunnelling workforces may be international, local support for portal works will be essential
- Differing costs for large single items – such as TBMs
  - Choice of TBM and source of equipment can affect the cost
- Differing material costs for concrete and steel
  - Costs for these products may vary depending on location and year of the estimate
- Differing add-on costs for design, management, overheads and profits.
  - These are very subjective and are difficult to ascertain for a future project.
- Tunnelling strategy
  - This may allow for potential savings in TBM support equipment, and possible programme not yet considered.
- Cross-passage construction
  - Different techniques available may offer savings.
- Exchange rate fluctuation
  - If an estimate has not been made in the local currency, and has been developed from historical data, then the exchange rate may effect the estimation dramatically if correction has not been applied.

These cost can vary significantly between country and with experience on different projects.

HOVEDAFSNIT 4. SAMMENLIGNING AF ANLÆGSOVERSLAG

10. SAMMENLIGNING AF ANLÆGSOVERSLAG

I dette afsnit gives et kort resume af hver af de løsninger der er undersøgt i nærværende fase, og en sammenligning af anlægsoverslagene.

10.1 WSP Basis løsning

WSP Basis løsningen betragter to linjeføringer; én boret dobbelt-tunnel for jernbanen som føres centralt gennem Helsingør og én boret dobbelt-tunnel for vejforbindelsen som bliver ført syd om Helsingør. Vej- og jernbaneforbindelsen fremgår af Figur 100.1.

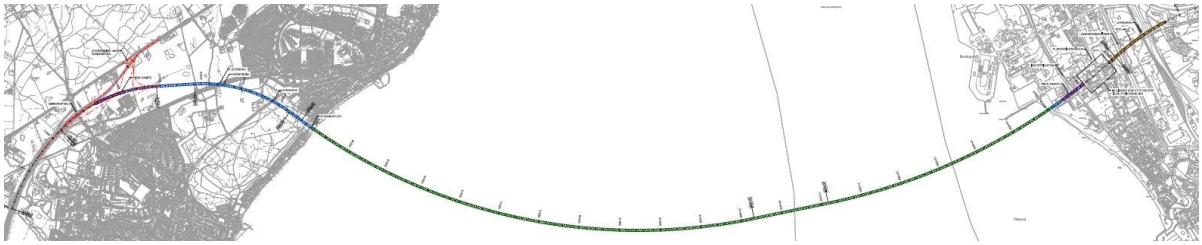
Figur 100.1. Linjeføring, WSP Basis løsning.

Anlægsoverslaget estimerer prisen for jernbaneforbindelsen til 13,2 Mia DKK og 21,7 Mia DKK for vejforbindelsen. I forhold til de anlægsoverslag tidligere leveret i de individuelle rapporter, er priserne justeret, da:
- PTA for jernbaneforbindelsen var før bestemt til 10%. Af sammenligningsgrunde er PTA ændret til 12% for både jernbane og vej.

Den nye pris til sammenligning estimeres således til 13,5 Mia. DKK for jernbaneforbindelsen og 21,7 Mia DKK for vejforbindelsen, i alt ca. 35,2 mia DKK.

10.2 Sænketunnel alternativ som vejforbindelse

Sænketunnel alternativet betragter én vejforbindelse, med tilnærmelsesvis samme linjeføring som vejforbindelsen i WSPs basis løsning. Linjeføringen fremgår af figur 10.2.



Figur 100.2. Linjeføring, sænketunnel alternativ

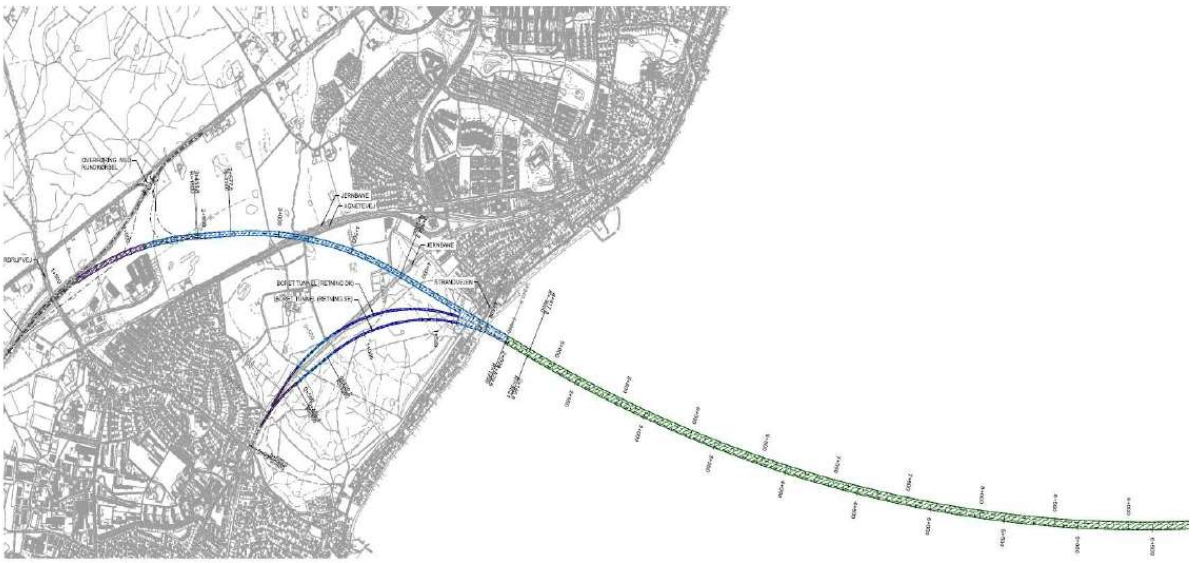
Bygværker indeholdt i denne forbindelse antages udført som præfabrikerede tunnelelementer for sænketunnel delen. På land etableres tilslutningsanlæg som skal føre forbindelsen op til terrænniveau, hvorefter den tilkobles Helsingør- og E4 motorvejen. Tilslutningsanlæg antages udført som cut&cover tunnelkonstruktioner og rampekonstruktioner i beton.

Anlægsoverslaget for denne forbindelse er vurderet til ca. 24,9 Mia. DKK, jf. hovedafsnit 1.

Forsøgsvis er en pris for denne løsning, hvor Tunnelelementfabrikken i Rødbyhavn der anlægges til Femerntunnel projektet, estimeret til 18 Mia DKK. Indeholdt i denne pris er også en mulig optimering af land-delen af forbindelsen, hvor C&C tunnelen forkortes og erstattes med vej i terræn syd for Helsingør. Denne optimering er ikke tidligere indikeret, men vurderes mulig i en senere fase.

10.3 Fælles løsning

Denne løsning har til formål at undersøge vej- og jernbaneforbindelsen lagt i én tunnel under sundet. Linjeføringen er valgt syd for Helsingør da bymiljøet vurderes at få store gener ved at føre vejtrafikken centralt gennem Helsingør. Linjeføringen fremgår af figurerne under.



Figur 10.3. Linjeføring, fælles løsning syd for Helsingør

Figur 10.3. Linjeføring fælles løsning, Helsingborg

Tunnelen under sundet antages udført som en sænketunnel forbindelse. Sænketunnelen ender i to in-situ støbte overgangsbygværker, som er forbundet med borede tunnel strækninger for jernbaneforbindelsen. I Helsingborg ender den borede jernbanetunnel i en stationsboks, og på Helsingørsiden anlægges jernbanetunnelen først i en boret tunnel fra overgangsbygværket, siden i en C&C tunnel strækning som ender ud i en rampekonstruktion der kobles til den eksisterende bane.

På land er bygværker til fællesløsningens vejforbindelse som for sænketunnelalternativet.

Anlægsoverslaget for fællesløsningen estimeres til ca. 42,2 Mia DKK. Dette estimat er justeret i forhold til det der blev etableret i den tidligere leverede rapport for denne løsning.
Disse er nævnt forneden:

- overgangsbygværker var medregnet to gange for både Helsingør og Helsingborg.
- En mindre reduktion af rampelængden ved Helsingborg
- Pris for Stationsboks i Helsingborg ændret fra 2000 Mio DKK til 2000 Mio DKK / km.

11. SAMMENLIGNING OG KONKLUSION

Tabellerne forneden sammenligner løsningerne på tværs af hinanden. Vurderes løsningerne på pris, skønnes WSPs basis løsning som den fortrukne løsning da den både er billigere end fællesløsningen (ca. 35,2 Mia DKK mod ca. 42,2 Mia DKK) og den borede vejtunnel i WSPs løsning er billigere end det tilsvarende sænketunnel alternativ (ca. 21,7 Mia DKK mod ca. 24,9 Mia DKK).

Linjeføring	**Anlægsoverslag i alt [Mia DKK]**
WSP basis løsning, ialt	Ca. 35,2
Fællesløsning	Ca. 42,2
WSP basis løsning, vejtunnelen	Ca. 21,7
Sænketunnel alternativ, vejforbindelse	Ca. 24,9

Som det fremgår af nedenstående tabel, kan der opnås væsentlige besparelser, ca. 5 mia. kr i anlægsoverslaget ved at producere tunnelelementerne til H-H forbindelsen i Femernbælt forbindelsens tunnelelementfabrik i Rødbyhavn. Fabrikken skal således udgøre en bygherreleverance til totalentreprisen.

Tabel 11.1: Anlægsoverslag ved at genbrug af tunnelelementfabrikken i Rødbyhavn

Linjeføring	**Anlægsoverslag i alt [Mia DKK]**
WSP basis løsning, ialt	Ca. 35,2
Fællesløsning	Ca. 37,2
WSP basis løsning, vejtunnelen	Ca. 21,7
Sænketunnel alternativ, vejforbindelse	Ca. 20

Yderligere er det vurderet, at en besparelse på ca. 2 mia. (inkl. tillæg) kan opnås ved at optimere linjeføringen på land, og reducere dybde og længde af C&C tunnel strækningerne.

Tabel 11.2: Anlægsoverslag ved at genbrug af tunnelelementfabrikken i Rødbyhavn samt mulig optimering af anlægget gennem forkortelse af C&C strækningen på Helsingørsiden

Linjeføring	**Anlægsoverslag i alt [Mia DKK]**
WSP basis løsning, ialt	Ca. 35,2
Fællesløsning	Ca. 35,2
WSP basis løsning, vejtunnelen	Ca. 21,7
Sænketunnel alternativ, vejforbindelse	Ca. 18

Det fremgår af ovenstående, at med genbrug af tunnelelement fabrikken i Rødbyhavn, vurderes fællesløsningen prismæssigt at være sammenlignelig med WSPs basis løsning. Derudover er der typisk også en mindre risiko ved at etablere en sænketunnel fremfor en TBM-løsning. At anlægge jernbaneforbindelsen centralt gennem Helsingør synes som en fordel ved WSP basis løsning, og overgangsbygværkerne i fællesløsningen er komplicerede og intrusive.

Sammenlignes vejforbindelserne i WSPs basisløsning og sænketunnelløsningen, kan der ligge en prismæssig fordel i sænketunnelløsningen (i størrelsesorden 2-4 mia. DKK), men kun under forudsætning af at Femerntunnelelens elementfabrik kan genbruges.

Kombineres WSPs løsning for jernbane med sænketunnelalternativet under de førnævnte forudsætninger, vurderes det at de samlede anlægsomkostninger kan reduceres fra ca. 35 mia DKK til ca. 31,5 Mia DKK.

Detaljerede anlægsoverslag fremgår af bilag 5.