

KØBENHAVN



MALMÖ



ANLÆGSOVERSLAG-KYST-KYST
RAMBØLL

ØRESUNDSMETRO »
KØBENHAVN
MALMØ
2013



Til
Udarbejdet for Københavns Kommune & Malmø Stad med støtte fra Interreg IV A

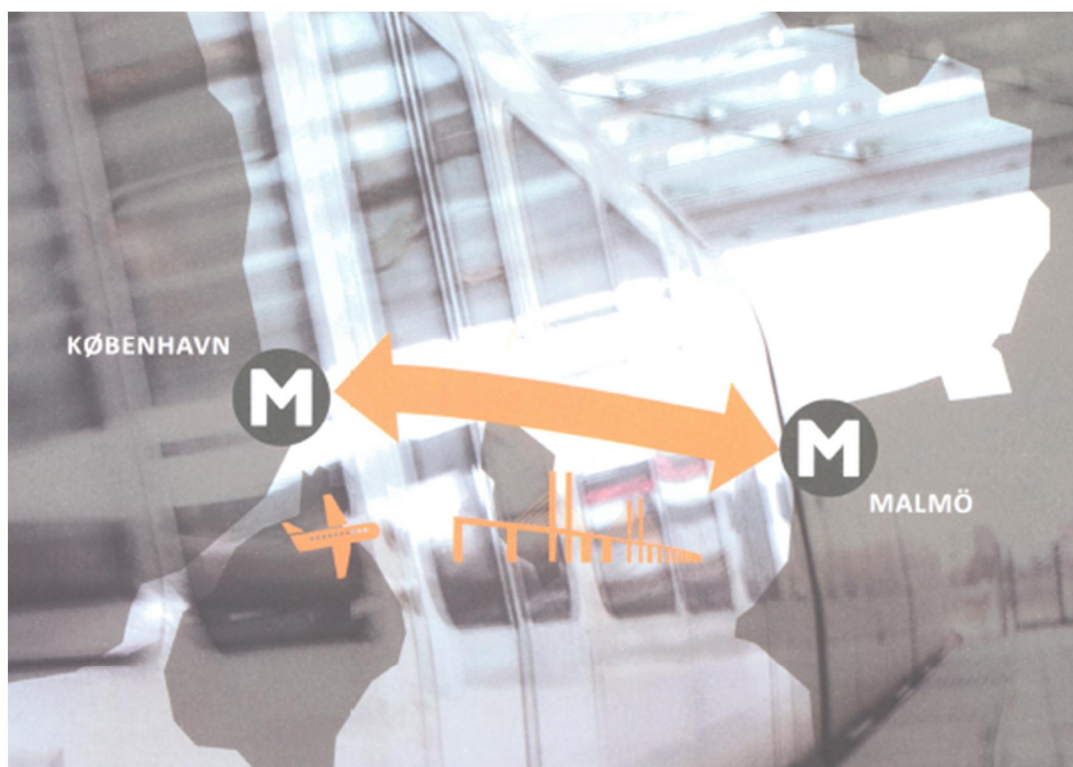
Dokumenttype
Rapport

Dato
August 2013

Vurdering af koncepter, udførelse og anlægsoverslag for boret tunnel, sænketunnel og kombineret sænketunnel/lavbro

ØRESUNDSMETRO

ANLÆGSOVERSLAG–KYST–KYST



ØRESUNDSMETRO

Revision K
Dato 12-08-2013
Udarbejdet af UH /CNO/IGOB
Kontrolleret af UH / SWG
Godkendt af ALNT

Ref. 1100006588-08 Øresund metro - Anlægsoverslag

Rambøll
Hannemanns Allé 53
DK-2300 København S
T +45 5161 1000
F +45 5161 1001
www.ramboll.dk



INDHOLD

0.	Forord	1
1.	Resumé	2
1.1	Afgrænsning af analysen	2
1.2	Linjeføring	2
1.3	Sikkerhedskoncept	3
1.4	Tværsnit	4
1.5	Metode og elementer i anlægsoverslaget	5
1.6	Usikkerhed og risici	5
1.7	Bygbarhed og anlægsoverslag	6
2.	Sammanfattning	7
2.1	Definition av analysen	7
2.2	Linjeföring	7
2.3	Säkerhetskoncept	8
2.4	Tvårsnitt	9
2.5	Metod och element i kostnadsestimatet	10
2.6	Osäkerhet och risker	10
2.7	Byggbarhet och kostnadsestimat	11
3.	Indledning	12
3.1	Anlægsløsninger og trafikkoncepter	12
3.2	Baggrund for de valgte tunnelkoncepter	13
4.	Forudsætninger	14
4.1	Sikkerhed og drift	14
4.2	Konstruktioner inkluderet	14
4.3	Tog og trafikale forudsætninger	15
4.4	Miljømæssige forudsætninger	16
4.5	Geoteknik	17
5.	Linjeføringer	19
5.1	Boret tunnel	19
5.2	Sænketunnel	20
5.3	Sænketunnel-Lavbro	21
6.	Sikkerhedskoncept	22
6.1	Reference tunneler	22
6.2	Sikkerhedskoncept	23
6.2.1	Nødfortove	23
6.2.2	Tværforbindelser / Tværtunneler	23
6.2.3	Redningsstationer	23
6.2.4	Sikkert område	24
6.2.5	Ventilation	25
6.2.5.1	Normal drift	25
6.2.5.2	Nødsituationer	25
6.2.5.3	Ventilationsø	27
6.2.6	Skakte ved kysten	28
6.2.7	Redningstog	30
6.2.8	Redningsvej	30
6.2.9	Installationer	30
6.3	Sikkerhedskoncept for kombineret sænketunnel/bro	31
7.	tværsnit	32

7.1	Boret tunnel, regionaltog, to tunnelrør, Løsning 1	34
7.2	Boret tunnel, metro, et tunnelrør, Løsning 2	35
7.3	Boret tunnel, regionaltog, et tunnelrør, Løsning 3	35
7.4	Sænketunnel, metro, Løsning 4	35
7.5	Sænketunnel, regionaltog, Løsning 5	35
7.6	Sænketunnel-Lavbro, Metro, Løsning 6	36
8.	Anlægsoverslag	37
8.1	Boret tunnel	37
8.1.1	To-rørs boret tunnel til regionaltog (160 km/t) – Løsning 1	37
8.1.2	Et-rørs boret tunnel til Metro (100 km/t) – Løsning 2	37
8.1.3	Et-rørs boret tunnel til regionaltog (160 km/t) – Løsning 3	38
8.1.4	Anlægsoverslag for borede tunnelløsninger	38
8.2	Sænketunnel	39
8.2.1	Sænketunnel for metro (100 km/t) – Løsning 4	39
8.2.2	Sænketunnel for regionaltog (160 km/t) – Løsning 5	39
8.2.3	Anlægsoverslag for sænketunnel	39
8.2.4	Anlægsprincipper	40
8.3	Sænketunnel-Lavbro	40
8.3.1	Kombineret sænketunnel/lavbro for metro (100 km/t) – Løsning 6	40
8.3.2	Anlægsoverslag for Kombineret sænketunnel/lavbro	41
8.3.3	Anlægsprincipper	41
8.4	Vurdering af anlægsoverslag	42
9.	drift og vedligehold	43
9.1	Gennemførelse af service, drift og vedligehold	43
9.2	Trafikale konsekvenser på grund af drift og vedligehold	43
9.3	Drift og vedligeholdsmkostninger, anlæg	44
9.4	Driftsomkostninger, rullende materiel	45
10.	Særlige forhold og risici	46
10.1	Boret tunnel	46
10.1.1	Længde af tunnel	46
10.1.2	Anlægsteknik	46
10.1.3	Miljø	47
10.2	Sænketunnel	47
10.2.1	Længde af tunnel	47
10.2.2	Anlægsteknik	47
10.2.3	Miljø	47
10.3	Kombineret sænketunnel-lavbro	47
10.3.1	Længde af baneforbindelse	47
10.3.2	Anlægsteknik	48
10.3.3	Miljø	48
11.	Referencer	49
12.	Bilag	50

0. FORORD

Som en del af projektet Øresundsmetro har Rambøll for Malmø Stad og Københavns Kommune udarbejdet anlægsoverslag for kyst til kyst strækningen for en ny baneforbindelse for passagertrafik mellem Malmø og København.

Anlægsoverslaget omfatter 6 forskellige anlægstekniske løsninger;

1. Boret tunnel, 2 rør, til regionaltog
2. Boret tunnel, 1 rør, til metro
3. Boret tunnel, 1 rør, til regionaltog
4. Sænketunnel til metro
5. Sænketunnel til regionaltog
6. Kombineret sænketunnel-lavbro til metro

1. RESUMÉ

1.1 Afgrænsning af analysen

Denne rapport beskriver og vurderer en mulig fremtidig supplerende persontrafikforbindelse mellem København og Malmø. Specielt er der lagt vægt på vurderingen af anlægstekniske løsninger og hertil hørende anlægsoverslag. Som udgangspunkt for analyserne er udstukket nogle retningslinjer fra "Øresundsmetroprojektets arbejdsgruppe om anlægsteknik og anlægsoverslag". Retningslinjerne dækker de trafikale forudsætninger samt de geometriske bindinger for undersøgelsen.

Hovedformålet med rapporten er at estimere og sammenligne anlægsprisen for i alt 6 løsninger for en ny kyst til kyst baneforbindelser. Løsningerne omfatter tre forskellige anlægskoncepter;

1. en boret tunnel
2. en sænketunnel
3. en kombineret sænketunnel-lavbro

1 og 2 er vurderet for to trafikkoncepter (metro- og regionalforbindelse), mens 3 kun er vurderet som en metroforbindelse.

Der er ikke taget hensyn til videreførelse af persontrafikforbindelsen til centrum af de to byer, og anlægsoverslagene omfatter udelukkende kyst til kyst delen af forbindelserne.

De vurderede løsninger er sammenfattet i nedenstående tabel.

	Boret tunnel			Sænketunnel		Kombineret sænketunnel-lavbro
	2 rør	1 rør				
Togtype	<i>Regional-tog</i>	<i>Metro</i>	<i>Regional-tog</i>	<i>Metro</i>	<i>Regional-tog</i>	<i>Metro</i>
Hastighed	<i>160 km/t</i>	<i>100 km/t</i>	<i>160 km/t</i>	<i>100 km/t</i>	<i>160 km/t</i>	<i>100 km/t</i>
Max frekvens	<i>12/time</i>	<i>36/time</i>	<i>12/time</i>	<i>36/time</i>	<i>12/time</i>	<i>36/time</i>
Længde kyst-kyst	<i>22 km</i>	<i>22 km</i>	<i>22 km</i>	<i>23 km</i>	<i>23 km</i>	<i>23 km</i>
Dimensioner (indvendig for den borede løsning, udvendig for sænketunnelen)	<i>D_i=8,1m</i>	<i>D_i=12,0m</i>	<i>D_i=14,5m</i>	<i>7,7x14,0m</i>	<i>9,2x19,9m</i>	<i>7,7x14,0m</i>

Tabel 1 Oversigt over anlægskoncepter

Det er forudsat at anlægstiden, hvor dette er rimeligt, skal være ligeværdig for alle koncepterne, hvilket er med til at afgøre eksempelvis det nødvendige antal produktionslinjer for støbning af sænketunnel elementerne, samt antallet af tunnelboremaskiner.

De vigtigste parametre for anlægssomkostningerne for en forbindelse mellem København og Malmø er:

1. Længden af forbindelsen
2. Tværsnitsarealet for tunnel og bro
3. Konceptet for mekaniske og elektriske installationer i tunnelen, dvs. ventilation, strømforsyning, sikkerhedskoncept mv.

Disse forhold er undersøgt for alle løsninger.

1.2 Linjeføring

Af anlægstekniske og miljømæssige grunde, vil den naturlige linjeføring for en sænketunnel og en kombineret sænketunnel-lavbro være forskellig fra en boret tunnel. De foreslåede linjeføringer fremgår af figuren nedenfor.

Af hensyn til miljøet i nærheden af Saltholm er det valgt ikke at placere permanente anlæg nærmere end 1 km fra Saltholm.



Figur 1: Undersøgte linjeføringer for en boret tunnel, sænketunnel og en kombineret sænketunnel-lavbro, kyst til kyst forbindelse

Længden af forbindelsen er ca. 22 km for den borede tunnel, og ca. 23 km for løsningerne der omfatter en sænketunnel. Linjeføringen vil gennem en senere fase kunne optimeres under hensyn til havbund og længde. Fordele/ulemper ved enkelte løsninger i forbindelse med en videreførelse til stationer i København og Malmø er ikke analyseret, men en regionaltogetsforbindelse vil i princippet vil kunne kobles sammen med det eksisterende regionaltogetsnet. Det vil ikke være muligt at anvende forbindelsen til godstrafik.

En metroløsning kan også videreføres i henholdsvis Malmø og København. Togene i metroløsning er forudsat at have dimensioner, der er sammenlignelige med den københavnske metro, men pga. ønsket om bl.a. flere siddepladser og andre sikkerhedskrav pga. den lange tunnel vil togene dog ikke være identiske med de nuværende metrotog.

1.3 Sikkerhedskoncept

I arbejdet med at vurdere mulige tekniske løsninger, har sikkerhedskoncepterne været en af de væsentlige faktorer.

På en række punkter adskiller dette projekt sig fra andre baneforbindelser, hvilket øger behovet for sikkerhedsforanstaltninger i forhold til referencetunneler:

- Høj afgangsfrekvens for togene
- Potentielt stort antal passagerer i tunnelen
- Længden af tunnel under vand, dvs. uden adgang til overfladen
- På metro togene er der ikke nødvendigvis altid personale om bord

Omvendt er der også forhold der trækker i en sikkerhedsmæssig formildende retning, idet forbindelsen kun anvendes til persontrafik. Dette betyder blandt andet at, at den potentielle størrelse af en brand er relativt lille, og at der ikke er risiko for ulykker med farligt gods.

Et af de vigtigste emner er ventilationen, som blandt andet skal være med til at sikre passagerne i tilfælde af en evt. brand.

Derudover kræves redningsfaciliteter, dvs. sikre områder/sikkerhedszoner, hvor passagerne kan søge tilflugt i forbindelse med evakueringen af et tog.

For løsninger med metrotog, med en afgang per 100 sek. vil der kunne være op til 8 tog på hvert spor samtidig. En langsgående røgkanal i tunnelen vil i dette tilfælde være den eneste mulighed for at sikre den nødvendige ventilation.

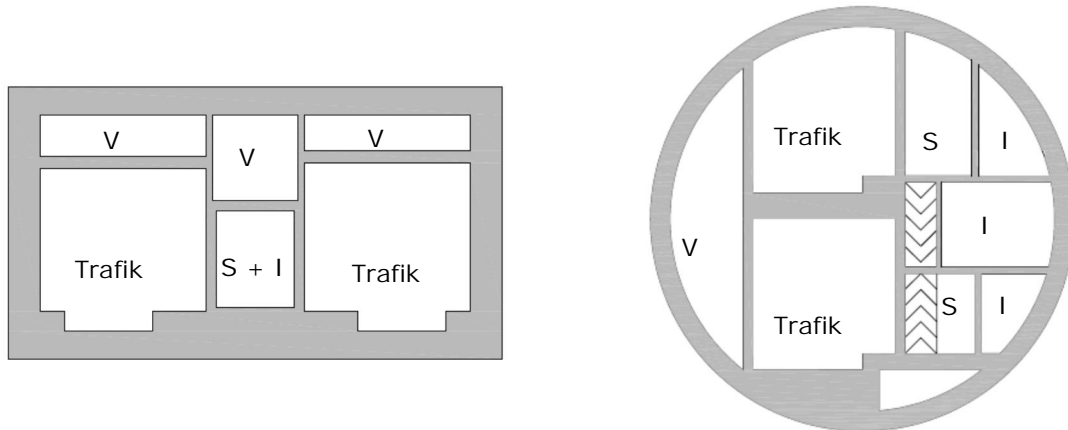
For regionaltogetsløsninger vil den lavere afgangsfrekvens kombineret med højere hastighed medføre, at der kun vil være op til 2 tog på hvert spor ad gangen. I løsningen med sænketunnel og den borede med et enkelt boret rør, er ventilationen sikret med en langsgående røgkanal. I den

borede løsning med 2 rør, er den langsgående røgudsugningskanal erstattet med en ventilations-
ø.

1.4 Tværsnit

For den borede tunnel er det ved en screening af mulige tværsnit fundet, at en løsning med et enkelt stort rør med plads til begge spor og en røgudsugningskanal vil være en økonomisk konkurrencedygtig løsning. Diameteren af tunnelen vil afhænge af togenes størrelse, og for et metrotog vil en borediameter på ca. 13-14 m være tilstrækkelig, mens borediameteren for en regionaltogets løsning vil være ca. 16-17m.

De tilsvarende ydre dimensioner for en sænketunnel er ca. 14x8m hhv. 20x9m.



Figur 2: Indikativt tværsnit for sænketunnel hhv. boret tunnel for metro.

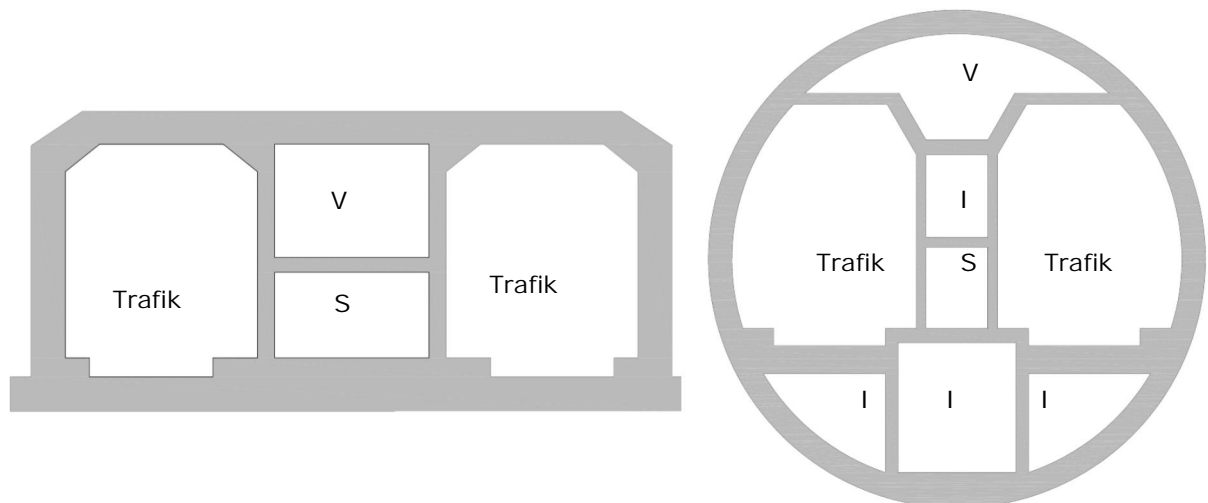
Følgende forkortelser er anvendt:

Trafik = trafikrør

V = Ventilation

I = Område til installationer

S = Sikker område



Figur 3: Indikativt tværsnit for sænketunnel hhv. boret tunnel for regionaltog.

Følgende forkortelser er anvendt:

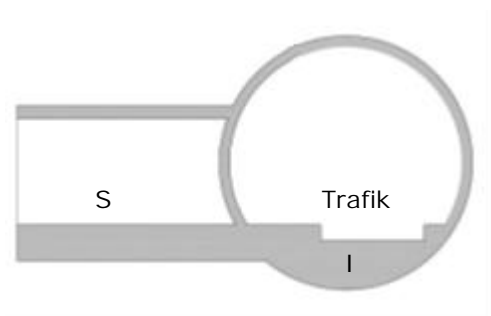
Trafik = trafikrør

V = Ventilation

I = Område til installationer

S = Sikker område

I tillæg er en tunnel med to rør for en regionaltogets løsning undersøgt.



Figur 4: Indikativt tværsnit for boret tunnel med to rør for regionaltog.

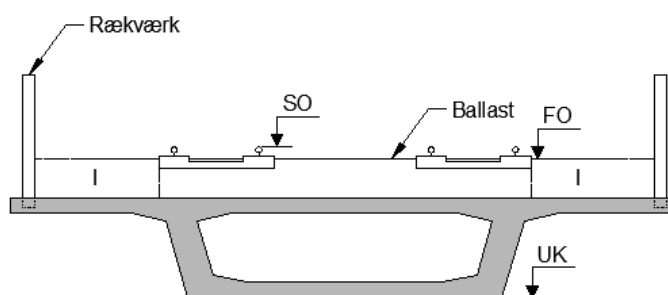
Følgende forkortelser er anvendt:

Trafik = trafikrør

I = Område til installationer

S = Sikker område

I den kombinerede sænketunnel-lavbro løsning, er brokonceptet en bjælkebro med bredden 11 m, højden 2.5 m mellem skinneoverkant (SO) og underkant af konstruktion (UK), og et rækværk der har en minimumshøjde på 1.25 m mellem fortovets overkant (FO) og rækværkets toppunkt.



Figur 5: Indikativt tværsnit af lavbro

Følgende forkortelser er anvendt:

I = Område til installationer

FO = Fortov overkant, benyttes som nødgang

SO = Skinne overkant

UK = Underkant konstruktion

1.5 Metode og elementer i anlægsoverslaget

Ved anlægsoverslag for de nævnte koncepter er der taget udgangspunkt i både offentlig tilgængelig prisinformation, og i prisinformation kendt fra lignende projekter. Priserne er fundet ved simpel mængde gange pris beregning.

Anlægsoverslaget omfatter tunnel under Øresund fra kyst til kyst, en skakt ved kysten i såvel Sverige som i Danmark, og for løsninger hvor det er relevant tillige en ventilationsø, to kunstige øer (inklusive ramper) og en lavbro.

Priserne inkluderer forventede udgifter til projektering og projektstyring forbundet med planlægningen og udførelsen af projektet samt forventede udgifter til mekaniske og elektriske installationer.

Priser til ekspropriation og omlægning af ledninger mm. er ikke inkluderet.

1.6 Usikkerhed og risici

Anlægsoverslagene er i denne tidlige fase behæftet med en vis usikkerhed, og i det totale budgetoverslag er der derfor lagt et korrektionstillæg på 50% oveni anlægsoverslaget (se tabel 2). Det svarer til den danske statslige praksis på området. Usikkerheden skyldes bl.a. dette tidlige stades manglende detaljering af projektet, samt manglende viden om de geologiske forhold. På trods af de geologiske undersøgelser der tidligere er gennemført, knytter der sig usikkerheder til de eksakte geologiske forhold langs med linjeføringen.

De nævnte anlægsoverslag er beskrevet nærmere i rapporten. Priserne tager ikke højde for forskelle i risikoprofiler for de forskellige konstruktioner, og en kvantitativ vurdering af risici vil være et naturligt skridt i den videre bearbejdning af anlægsoverslagene. Der vil være forskellige risici forbundet med hver tunneltype, men de mest signifikante risici forventes at være for den borede

tunnel, herunder geologien som nævnt ovenfor, samt etableringen af tværtunneler for løsninger hvor dette er relevant.

1.7 Bygbarhed og anlægsoverslag

Det er konklusionen, baseret på undersøgelserne foretaget i forbindelse med denne rapport, at det vil være muligt at anlægge en baneforbindelse mellem København og Malmø til persontrafik, enten som forbindelse med førerløse metrotog eller som en regionaltogetsforbindelse.

Forbindelsen kan etableres med kendte teknologier enten som en boret tunnel, en sænketunnel eller en kombineret sænketunnel/lavbro. Forbindelsens længde fordrer nogle tiltag for at sikre et acceptabelt sikkerhedsniveau. Der er ikke detaljeret kendskab til undergrunden på nuværende tidspunkt, men ud fra den tilgængelige information er det rimeligt at antage, at begge typer tunnel samt en eventuel bro vil kunne etableres.

		Anlægsoverslag	Anlægsoverslag, inkl. korrektionstillæg	Anlægstid
1. Boret tunnel for Regionaltog (2 rør)	Længde = 22km 160 km/t	20 mia. dkk.	29 mia dkk.	Ca. 8 år
2. Boret tunnel for Metrotog (1 rør)	Længde = 22km 100 km/t	14 mia. dkk.	21 mia. dkk.	Ca. 6,5 år
3. Boret tunnel for Regionaltog (1 rør)	Længde = 22km 160 km/t	16 mia. dkk.	24 mia dkk.	Ca. 6,5 år
4. Sænketunnel for Metrotog	Længde = 23km 100 km/t	15 mia. dkk.	22 mia dkk.	Ca. 6 år
5. Sænketunnel for Regionaltog	Længde = 23km 160 km/t	17 mia. dkk.	26 mia dkk.	Ca. 6 år
6. Kombineret sænketunnel-lavbro for Metrotog	Længde = 23km 100 km/t	15 mia. dkk.	22 mia dkk.	Ca. 6,5 år

Tabel 2: Hovedresultater af anlægsoverslag Anlægsoverslaget er udført i et prisniveau medio 2012, alle priser er ekskl. Moms. Korrektionstillæget afspejler den usikkerhed der knytter sig til det tidlige projektstade.

Som det fremgår af ovenstående, er en sænketunnelen umiddelbart dyrere end en boret tunnel. Den primære forskel i prisen skal findes i længden af tunnelen, da sænketunnelen er ca. 1 km længere end den borede tunnel (svarende til ca. 5%). Også i forhold til transporttiden samt transportlængden og dermed energiforbruget mv. i driftssituationen, bringer den kortere borede løsning besparelser. Dog er prisen for løsningerne med metro i sænketunnel kun ubetydeligt højere, selvom de er 1 km længere end den borede tunnel.

Som det også fremgår af overslagene, vil en løsning for metrotog have en lavere anlægspris end en tilsvarende for regionaltog, hvilket hovedsagligt skyldes at det krævede tunneltværsnit for en metrotogsløsning er mindre end for en regionaltogetsforbindelse.

For både metro og regionaltogetsforbindelsen er forudsat, at der anskaffes nyt rullende materiel. Der er ikke i de ovenfor nævnte priser inkluderet anskaffelse af det rullende materiel, og der skal forventes forskel i pris såvel som antal togsæt for de forskellige løsninger.

I slutningen af rapporten er der anført overordnede skøn for drift og vedligehold af anlægget samt anskaffelse af rullende materiel og driften heraf.

2. SAMMANFATTNING

2.1 Definition av analysen

Denna rapport beskriver och utvärderar en möjlig framtida kompletterande persontrafikförbindelse mellan Köpenhamn och Malmö. Det har speciellt lagts fokus på utvärdering av de anläggningstekniska lösningarna och tillhörande kostnadsestimat. Som utgångspunkt för analyserna har riktlinjer från "Øresundsmetroprojektets arbetsgrupp om anlægsekunik og anlægsoverslag" tillhandahållits. Riktlinjerna omfattar trafikförhållanden och de geometriska begränsningarna för studien.

Huvudsyftet med rapporten är att uppskatta och jämföra anläggningspriserna för sammanlagt 6 olika kust till kust-järnvägsförbindelser, som omfattar tre konstruktionsmetoder;

1. en borrhad tunnel
2. en sänktunnel
3. en kombinerad sänktunnel - lågbro

1 och 2 är utvärderade för två trafikkoncept (metro- och regionalförbindelse), medan 3 endast är utvärderad som en metroförbindelse.

Det har inte tagits hänsyn till förlängningen av persontrafikförbindelsen till de två städernas centrum och kostnadsestimaten omfattar endast kust till kust-delen av förbindelserna.

De utvärderade lösningkoncepten är sammanfattade i nedanstående tabell.

Anläggnings- teknik	Borrhad tunnel			Sänktunnel		Kombinerad sänktunnel - lågbro
	Lösning	2-rör+1 ö	1-rör			
Tågtyp	Regional- tåg	Metro	Regional- tåg	Metro	Regional- tåg	Metro
Hastighet	160 km/t	100 km/t	160 km/t	100 km/t	160 km/t	100 km/t
Max frekvens	12/timme	36/timme	12/timme	36/timme	12/timme	36/timme
Längd kust till kust	22 km	22 km	22 km	23 km	23 km	23 km
Dimensioner						
Borrhad tunnel invändig	D _i =8,1m	D _i =12,0m	D _i =14,5m	7,7x14,0m	9,2x19,9m	7,7x14,0m
Sänktunnel utvärdig						

Tabell 3 Översikt över belysta lösningar.

Det förutsätts att anläggningstiden, där det är rimligt, ska vara likvärdig för alla undersökta lösningar, vilket exempelvis inverkar på bestämning av antalet nödvändiga produktionslinjer för gjutning av sänktunnelement, samt antalet tunnelborrmaskiner.

De viktigaste parametrarna för priset på en förbindelse mellan Köpenhamn och Malmö är:

1. Längden av förbindelsen
2. Tvärsnittsarean för tunnel och bro
3. Konceptet för mekaniska och elektriska installationer i tunneln, dvs. ventilation, strömförsörjning, säkerhetskoncept, mm.

Dessa förhållanden är undersökta för alla lösningstyper.

2.2 Linjeföring

Av anläggningstekniska och miljömässiga orsaker, kommer den naturliga linjeföringen för en sänktunnel och en kombinerad sänktunnel – lågbro att se annorlunda ut jämfört med den för en borrhad tunnel. De föreslagna linjeföringarna framgår av figuren nedan.

Av hänsyn till miljön i närheten av Saltholm har det valts att inte placera permanenta anläggningar närmare än 1 km från Saltholm.



Figur 6: Undersökta linjeföringar för en borrade tunnel, en sänktunnel och en kombinerad sänktunnel – lågbro, kust till kust-förbindelse.

Förbindelsens längd är cirka 22 km för den borrade tunneln, och cirka 23 km för lösningarna som omfattar en sänktunnel. Linjeföringen kommer vid en senare fas att kunna optimeras med hänsyn till havsbotten och längd. För- och nackdelar med de olika lösningarna förbundna med en förlängning till stationer i Köpenhamn och Malmö har inte analyserats, men en regionalstågsförbindelse kommer i princip att kunna kopplas samman med det befintliga regionalstågsnätet. Det kommer inte att vara möjligt att använda förbindelsen till godstrafik.

En metrolösning kan också förlängas i respektive Malmö och Köpenhamn. Tågen i metrolösningen förutsätts ha dimensioner, som är att jämföra med Köpenhamns metro, men pga. önskemål om bl.a. flera sittplatser och andra säkerhetskrav pga. den långa tunneln kommer tågen dock inte vara identiska med nuvarande metrotåg.

2.3 Säkerhetskoncept

I arbetet med att utvärdera möjliga tekniska lösningar, har säkerhetskoncepten varit en av de väsentliga faktorerna.

Detta projekt skiljer sig på en rad punkter från andra järnvägsförbindelser, vilket ökar behovet för säkerhetsåtgärder i förhållande till referenstunnlar:

- Hög avgångsfrekvens på tågen
- Potentiellt stort antal passagerare i tunneln samtidigt
- Längden av tunneln under vatten, dvs. utan tillgång till markytan
- På metrotågen är det inte nödvändigtvis personal ombord

Omvänt finns det också förhållanden, som bidrar till det motsatta. Förbindelsen används endast till persontrafik, vilket betyder, att den potentiella storleken av en brand är relativt liten, samt att det inte föreligger risker för olyckor med farligt gods.

Ett av de viktigaste ämnena är ventilationen, som bland annat ska bidra till att säkra passagerarna i tillfälle av en eventuell brand.

Därutöver krävs räddningsfaciliteter, dvs. säkra områden/säkerhetszoner, där passagerarna kan söka tillflykt i förbindelse med evakuering av ett tåg.

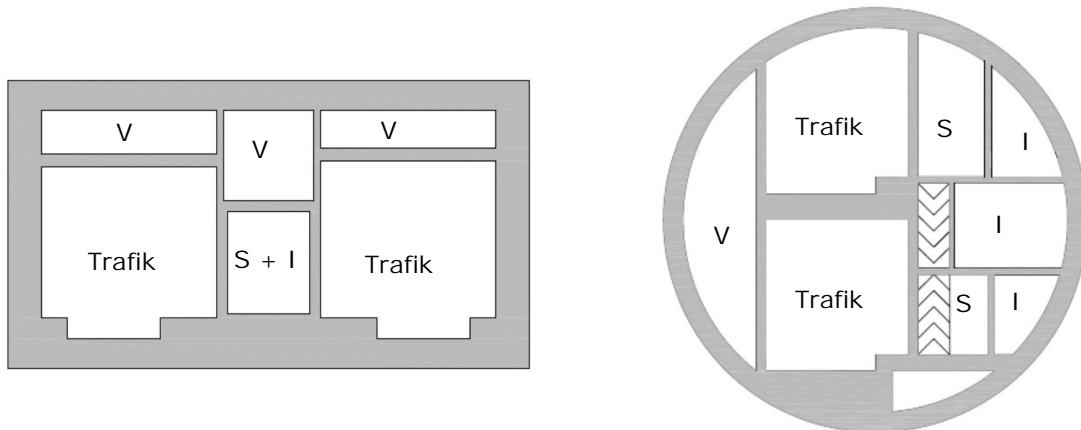
För lösningsförslag med metrotåg, med en avgång per 100 sek. kommer det att vara upp till 8 tåg på varje spår samtidigt. I detta tillfälle är en långsgående rökkanal i tunneln den enda möjligheten att säkra den nödvändiga ventilationen.

För regionaltågslösningen kommer den lägre avgångsfrekvensen kombinerat med högre hastighet medföra att det endast kommer att vara upp till 2 tåg i varje rör samtidigt. I denna lösning är den långsgående rökutsugningskanalen ersatt med en ventilationsö.

2.4 Tvärsnitt

För den borrarade tunneln är det vid en undersökning av möjliga tvärsnitt funnet, att en lösning med ett stort rör med plats till bägge spår samt en rökutsugningskanal kommer att vara den mest konkurrenskraftiga lösningen. Tunnelns diameter kommer att vara beroende av tågens storlek, och för ett metrotåg kommer en borrhål diameter på cirka 13-14m vara tillräcklig, medan borrhål diameter för en regionaltågslösning kommer att vara cirka 16-17m.

De motsvarande yttre dimensionerna för en sänktunnel är cirka 14x8m respektive 20x9m.



Figur 7: Indikativt tvärsnitt för sänktunnel respektive borrarad tunnel för metro.

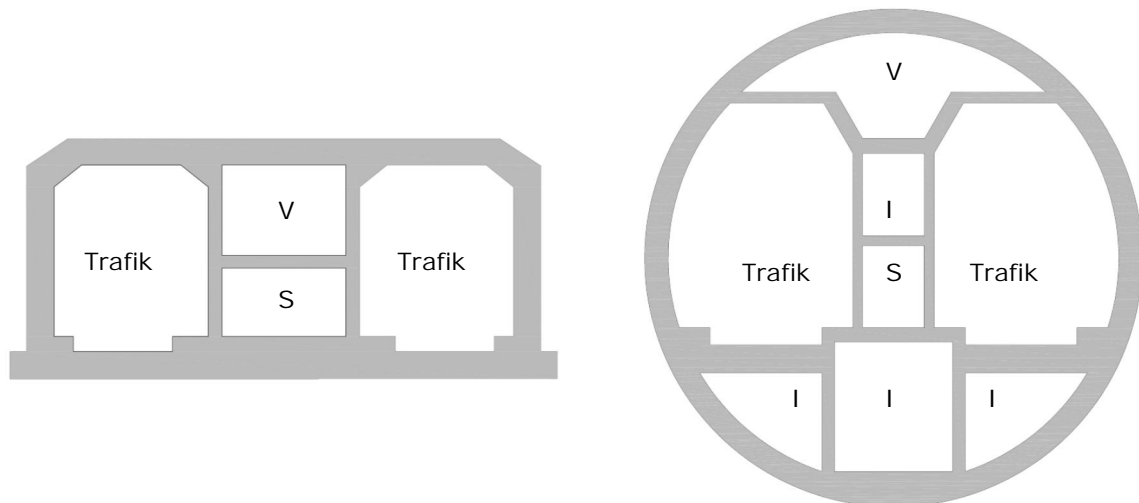
Följande förkortningar används:

Trafik = trafikrör

V = Ventilation

I = Område till installationer

S = Säkert område



Figur 8: Indikativt tvärsnitt för sänktunnel respektive borrarad tunnel for regionaltåg.

Följande förkortningar används:

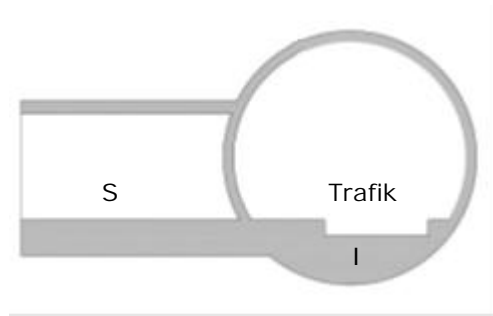
Trafik = trafikrör

V = Ventilation

I = Område till installationer

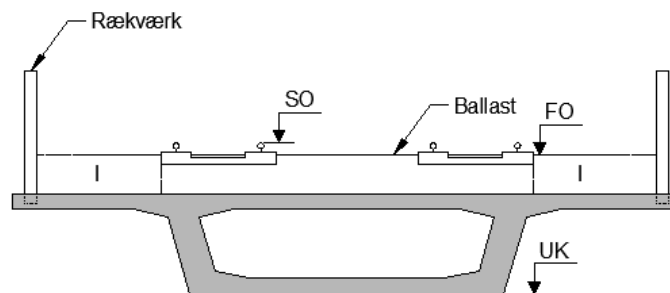
S = Säkert område

Utöver detta är en tunnel med två rör för en regionalstågslösning undersökt.



Figur 9: Indikativt tvärsnitt för borrarad tunnel med två rör för regionalståg.
Följande förkortningar används:
Trafik = trafikrör
I = Område till installationer
S = Säkert område

I lösningen med en kombinerad sänktunnel – lågbro, är brokonceptet en balkbro med längden 11-13m, höjden 2,5m mellan rälsöverkant (SO) och konstruktionens underkant (UK), och ett räcke med minsta höjd 1,25 m mellan gångarens överkant (FO) och räcktets toppunkt.



Figur 10: Indikativt tvärsnitt för lågbro
Följande förkortningar används:
I = Område till installationer
FO = Gångarens överkant, används som nödgång
SO = Rälsöverkant
UK = Underkant konstruktion

2.5 Metod och element i kostnadsestimatet

Vid kostnadsestimeringen för de nämnda lösningarna har det tagits utgångspunkt i både offentligt tillgänglig prisinformation och i prisinformation känd från liknande projekt. Priserna är funna vid en enkel mängd gånger prisberäkning.

Kostnadsestimaten omfattar en tunnel under Öresund från kust till kust, en schakt vid kusten såväl i Sverige som i Danmark, en ventilationsö, två konstgjorda öar (inklusive ramper) och en lågbro.

Priserna inkluderar förväntade utgifter för projektering och projektstyrning förbundna med planeringen och utförandet av projektet samt förväntade utgifter för mekaniska och elektriska installationer.

Priser för expropriering och omläggning av ledningar osv. är inte inkluderade.

2.6 Osäkerhet och risker

Kostnadsestimaten är i detta inledande stadiet för undersökningarna behäftade med en osäkerhet. I budgetöverslagen görs därför ett tillägg på 50% till kostnadsestimaten. Detta motsvarar dansk statlig praxis på området. Osäkerheten beror bl.a. på avsaknad av detaljer i detta tidiga stadiet av projektet, samt bristande kunskap om de geotekniska förhållandena. Trots att det tidigare genomförts geologiska undersökningar, finns det osäkerheter förbundna med de exakta geologiska förhållandena längs med linjeföringen.

De nämnda kostnadsestimaten är beskrivna närmare i rapporten. Priserna tar inte höjd för olikheter i riskprofilerna för de olika konstruktionerna, och en kvantitativ värdering av risken kommer att vara ett naturligt steg i den fortsatta bearbetningen av kostnadsestimaten. Det kommer att vara olika risker förbundna med var tunneltyp, men de mest signifikanta riskerna förväntas

för den borrade tunneln, härunder geologin som nämnt ovan, samt etableringen av tvärtunnlar för de lösningar där detta är relevant.

2.7 Byggbarhet och kostnadsestimat

Slutsatsen, baserad på undersökningarna genomförda i förbindelse med denna rapport, är att det är möjligt att anlägga en järnvägsförbindelse mellan Köpenhamn och Malmö för persontrafik, antingen som en förbindelse med förarlösa metrotåg eller som en regionalstågsförbindelse.

Förbindelsen kan etableras med kända tekniker antingen som en borrade tunnel eller som en sänktunnel. Förbindelsens längd fordrar vissa åtgärder för att säkra en acceptabel säkerhetsnivå. Det finns för närvarande inte detaljerad kunskap om undergrunden, men utifrån den tillgängliga informationen är det rimligt att anta, att bägge tunneltyper samt en eventuell bro kommer att kunna etableras.

		Kostnadsestimat	Kostnadsestimat, inkl. korrektions-tillägg	Anläggningstid
Borrade tunnel för Regionalståg (2 rör)	Längd = 22km 160 km/t	20 mdr. DKK	29 mdr. DKK	Ca. 8 år
Borrade tunnel för Metrotåg (1 rör)	Längd = 22km 100 km/t	14 mdr. DKK	21 mdr. DKK	Ca. 6,5 år
Borrade tunnel för Regionalståg (1 rör)	Längd = 22km 160 km/t	16 mdr. DKK	24 mdr. DKK	Ca. 6,5 år
Sänktunnel för Metrotåg	Längd = 23km 100 km/t	15 mdr. DKK	22 mdr. DKK	Ca. 6 år
Sänktunnel för Regionalståg	Längd = 23km 160 km/t	17 mdr. DKK	26 mdr. DKK	Ca. 6 år
Kombinerade sänktunnel-lågbro för Metrotåg	Längd = 23km 100 km/t	15 mdr. DKK	22 mdr. DKK	Ca. 6,5 år

Tabell 4: Resultat av kostnadsestimat. Kostnadsestimaten är utfört i prisnivå för 2012, alla priser är exklusive moms. De tillagda 50 % i budgetöverslaget avspeglar osäkerheter förbundna med det tidiga projektstadiet.

Som det framgår av ovanstående, är en sänktunnel omedelbart dyrare än en borrade tunnel. Den primära skillnaden i pris beror på längden av tunneln, då sänktunneln är cirka 1 km (motsvarande 5 %) längre än den borrade tunneln. Också transporttiden samt transportlängden och därmed energiförbrukningen osv. i driftssituationen, ger besparingar för den kortare borrade tunneln. Dock är anläggningspriset för metro i sänktunnel obetydligt högre, även om den är 1 km längre än den borrade tunneln.

Som det också framgår av överslagen, kommer en lösning för metrotåg ha ett lägre anläggningspris än en motsvarande lösning för regionalståg, vilket huvudsakligen beror på att tunneltvärsnittet som behövs för en metrotåglösning är mindre än det för en regionalstågslösning.

Både för metro- och regionalstågslösningen är det förutsatt, att det upphandlas nytt rullande materiel. Inköp av det rullande materialet är inte inkluderat i de ovanför nämnda priserna, och det ska förväntas skillnader i såväl pris som antal tågset för de olika lösningarna.

I slutet av rapporten anförs generella uppskattningar för drift och underhåll av anläggningen samt upphandling av rullande materiel och driften av detta.

3. INDLEDNING

Frem mod 2029 forventes det at Øresundsregionen vokser fra ca. 3,7 indbyggere til 4,1 millioner indbyggere. I tillæg forventer Trafikstyrelsen (blandt andet på grund af Femern-tunnelen) et øget antal af godstog i løbet af perioden 2012-2027. På baggrund af dette kan en ny forbindelse være nyttig for Øresundstrafikken. Malmø Stad og Københavns Kommune har bedt Rambøll Danmark A/S om at udarbejde anlægsoverslag en ny baneforbindelse mellem Malmø og København. Anlægsoverslaget omfatter kun kyst til kyst strækningen, og eventuelle tilkoblinger til eksisterende toget ikke er vurderet.

3.1 Anlægsløsninger og trafikkoncepter

Følgende anlægskoncepter er vurderet:

1. En boret tunnel som udføres med tunnelboremaskiner, dvs. et cirkulært tværsnit i kalken under havbunden. Linjeføringen vil være en næsten ret linje mellem København og Malmø, krydsende under Saltholm. Længden vil være ca. 22 km fra kyst til kyst.
2. En sænketunnel placeret i en linjeføring Nord om Saltholm. Tværsnittet vil være rektangulært. Tunnelelementer sejles fra produktionsområdet ud til en gravet rende i havbunden, og nedsænkes. Længden vil være ca. 23 km fra kyst til kyst.
3. En kombineret sænketunnel/lavbro, placeret i samme linjeføring som beskrevet ovenfor i punkt 2. Tværsnittet af sænketunnelen vil ligeledes være som ovenfor, mens lavbroen er tænkt udført som en traditionel bjælkebro. I konceptet anlægges 2 kunstige øer som platform for ramperne der vil udgøre overgang mellem tunnel og bro.

For 1 og 2 er der set på to forskellige trafikkoncepter:

- a. En metroforbindelse. Togene er forudsat at have en størrelse, der minder om den eksisterende metro i København med en maksimal hastighed på 100km/t og op til 36 afgang i timen i hver retning.
- b. En regionaltogetsforbindelse. Der forudsættes tog, der minder om de nuværende Øresundstog med en maksimal hastighed på 160km/t med op til 12 afgang i timen i hver retning.

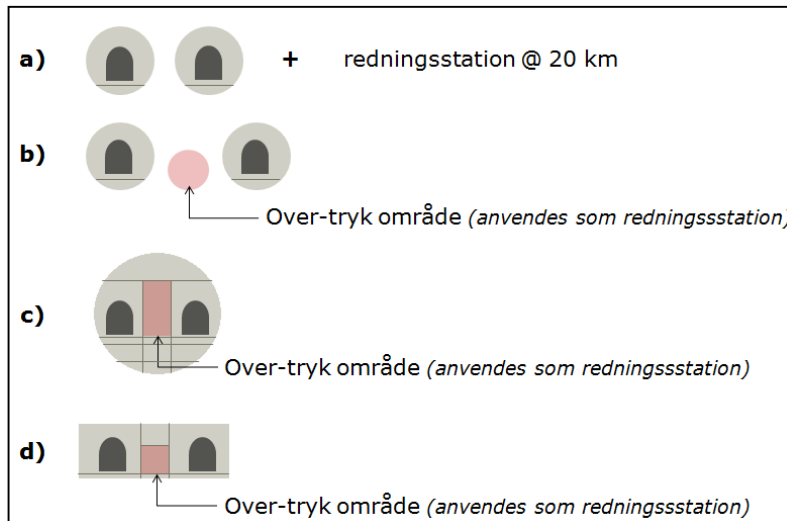
For 3 er kun en metroforbindelse vurderet. Det er for alle løsninger forudsat, at der etableres et spor i hver trafikretning (østgående/vestgående).

Løsning	Anlægskoncept	Trafikkoncept	Kyst – Kyst Strækning	Antal tunnelrør
1	Boret tunnel	Regionaltog	22 km	2
2	Boret tunnel	Metrotog	22 km	1
3	Boret tunnel	Regionaltog	22 km	1
4	Sænketunnel	Metrotog	23 km	1
5	Sænketunnel	Regionaltog	23 km	1
6	Kombineret sænketunnel-lavbro	Metrotog	23 km	1

Tabel 5. Koncepter for en ny baneforbindelse mellem Malmø og København

3.2 Baggrund for de valgte tunnelkoncepter

Som illustreret på figuren herunder, er der principielt set på tre koncepter for en boret tunnel, og et enkelt for en sænketunnel.



Figur 11. Tunnelkoncepter

Det første koncept for en boret tunnel, er en 2-rørs løsning (som *Gotthard Base Tunnel*, se /3/) med tværgående passager, som adgang til sikkert område samt langsgående ventilation. Der etableres redningsstationer med afstand svarende til typen af tog. Mellem redningsstationerne foregår redning til det ikke-berørte tunnelrør.

Det andet koncept for en boret tunnel, er en 3-rørs løsning svarende til *Channel Tunnel*, se /4/) med tværgående passager som adgang til redningsvej samt langsgående ventilation i tilfælde af brand. Både redning og ventilation er lagt i det tredje, mindre rør, mellem de to sporførende rør.

Det tredje koncept for en boret tunnel, har et enkelt rør med stor diameter, der rummer alle spor (enten ved siden af hinanden eller over hinanden). Også i dette design kan funktionaliteten i en redningsstation opfyldes delvist i hele tunnelens længde.

Konceptet for sænketunnelen svarer til Femern tunnelen som er under projektering. Funktionaliteten mht. redningsstationer svarer i princippet til designet med ét boret rør. Ved Femern tunnelen er der dog som ved den eksisterende Øresundsforbindelse en separat redningsvej (vejrøret).

Med de fire forskellige tunnelkoncepter beskrevet ovenfor, er det vurderet at de to mest egnede, og økonomisk fordelagtige, er det tredje koncept for en boret tunnel (altså et enkelt rør) og sænketunnelen. De første to koncepter for den borede tunnel er indebærer etablering af et stort antal bekostelige tværtunneler, men for sammenligningens skyld er det første koncept (altså to separate rør) også undersøgt for en regionaltogetsforbindelse. Konceptet med de 3 borede rør er ikke bearbejdet videre i denne rapport.

4. FORUDSÆTNINGER

4.1 Sikkerhed og drift

TSI SRT bestemmelserne, herunder den aktuelle for sikkerhed i jernbanetunneller, gælder for TEN strækningerne, men forventes efterhånden udbredt til hele jernbanenettet med undtagelse af metroer, bybaner, S-baner og lignende. De gælder således ikke nødvendigvis for en ny Øresundsforbindelse, men TSI SRT vil være et godt startsted til at definere krav, og samme sikkerhedsniveau som i TSI SRT skal tilstræbes.

Metroer bygges efter lokale/nationale bestemmelser som f.eks. BOStrab-komplekset i Tyskland, og regelgrundlaget for Københavns metro er netop BOStrab-komplekset. Omend der findes bestemmelser under BOStrab-komplekset for tunneller, er de beregnet for normalsituationen med tunneler i byer med kort mellem stationerne, og ikke for længere tunneller under vand.

Ydermere indgår NFPA130 og AUGT(IEC 62267) som en del af basis normerne og standarderne for tunnelløsningerne. Disse har indgået som en del af grundlaget for Metro Cityringen i København, da der ikke findes danske standarder på området. De nævnte standarder og deres anvendelse er beskrevet nedenfor.

BoStrab-komplekset er tyske nationale regulativer om opførelse og drift af letbaner. Regulativet dækker også undergrundsjernbaner, herunder metro, hvor der er anført særlige hensyn hertil. Disse hensyn er specielt henvendt til f.eks. evakuerings faciliteter, sikkert område og sikre zoner.

NFPA130 er en amerikansk standard for brand og brandbeskyttelse af transportsystemer, som bruges af passagerer. Standarden er gældende for undergrundsbaner, overflade- og højbaner, samt ydermere for stationer, togveje, brandventilationsanlæg, køretøjer, kommunikation, styresystemer og opbevaringsareal for togvogne.

AUGT (IEC 62267) er en international standard, der er udgivet af International Electrotechnical Commission (IEC). Standarden stiller sikkerhedskrav til transportsystemer i byområder, med førerløst eller uovervåget selvkørende tog kørende på uafhængige strækninger.

Det er, for at de undersøgte alternativer er sammenlignelige, valgt også for metro alternativet at basere sikkerhedskonceptet på TSI SRT bestemmelsen for sikkerhed i jernbanetunneller.

Der kan forventes op til ca. 1700 personer i et tunnelrør ad gangen. Afhængig af om der vælges en metro løsning eller en regionaltogsløsning, kan der være mellem 580 og 1240 personer i et tog, som er fyldt med både siddende og stående passagerer (crush load). Desuden er det fundet, at der vil være ca. 2700m mellem metrotogene i tunnelen og op til 13km mellem regionaltogene, hvilket fastsætter hvor mange tog der findes i tunnelen på samme tid.

I forhold til drift/service i tunnelen, er det en forudsætning, at arbejde i tunnelen foretages i forbindelse med lukning af tunnelen. Dette kan være lukning af hele forbindelsen, eller blot lukning af det ene trafikrør, hvilket vil medføre kraftigt reduceret togdrift. Dette vil for eksempel være muligt i forbindelse med natlukninger.

4.2 Konstruktioner inkluderet

De konstruktioner, der omfattes af anlægsoverslaget er alene konstruktioner som vedrører forbindelsen over Øresund.

Disse konstruktioner er:

1. Skakt ved København (*aktuel for alle løsninger*)
2. Tunnel under Øresund (*aktuel for alle løsninger*)
3. Eventuelt en rednings og ventilations ø i Øresund (*aktuel for løsningen med 2 borede rør*)
4. Skakt ved Malmø (*aktuel for alle løsninger*)
5. 2 kunstige øer henholdsvis nordvest og nordøst for Saltholm (*aktuel for den kombinerede sænketunnel-lavbro løsning*)
6. Rampe på hver ø (*aktuel for den kombinerede sænketunnel-lavbro løsning*)
7. Lavbro nord for Saltholm (*aktuel for den kombinerede sænketunnel-lavbro løsning*)

Skaktene er krævet for at sikre ventilation, plads til installationer samt sikre adgang til tunnelen for rednings og servicepersonel. Kravene til skaktene afhænger af hvilke tog, der skal køre i tunnelen, så de nærmere krav vil beskrives i forbindelse med projektering af skaktene. Endelig skal skaktene i byggeperioden være start eller slutskakt for arbejderne under Øresund og start eller slutskakt for videreførelsen på land.

Med i overslaget tages eventuelle tillægskonstruktioner, der er nødvendige af hensyn til de valgte sikkerheds- og ventilationskoncepter, herunder også pladsbehov for installationer i tunnelen. For sænketunnelen vil dette f.eks. inkludere merudgifter forbundet med specialelementer, hvor der skal etableres store teknikrum for transformatorer, pumper osv.

Da det ikke er fastlagt om tunnelen skal have forbindelse til et eksisterende tognæt, eller om det skal være et lukket system, vil konstruktioner forbundet med depot og værkstedareal ikke være inkluderet. Stationsbygninger og stationsfaciliteter heller ikke er inkluderet.

Øerne som udgør platformen for overgang mellem tunnel og lavbro, er i første omgang formet som vist i Bilag 9. Denne form er valgt ved at betragte strømningsforholdene. Nærmere analyse og overvejelser angående strømningsforhold og sedimenttransport i området omkring Saltholm, kan vise sig at føre til mere fordelagtige udformninger og placering af øerne. I overslaget medtages jordarbejder, stensætninger og en redningsstation.

Ramperne på de kunstige øer etableres med en varierende bredde, idet afstanden mellem skinnerne ikke er ens i tunnelen og på broen. Overslaget omfatter en Cut-and-Cover konstruktion, der svarer til den rampe der på nuværende tidspunkt etableres på Nordhavsvejen.

Lavbroen etableres som en traditionel bjælkebro. Broen er nærmere beskrevet i Bilag 8.

4.3 Tog og trafikale forudsætninger

Den udleverede trafikanalyse danner grundlag for analyserne i denne rapport.

Notat omkring trafikanalysen er vedhæftet som Bilag 1 og de vigtigste data er gengivet nedenfor.

På basis af de enkelte løsningers antal tog/time/retning og mulige togtyper, er der udregnet det nødvendige antal siddepladser per tog. Som udgangspunkt er her udpeget en togtype med en størrelse og kapacitet som metrotoget, men med driftshastighed på 100km/t. Togene forudsættes at have dimensioner, der er sammenlignelige med den københavnske metro, men pga. ønsket om bl.a. flere siddepladser og andre sikkerhedskrav der skal imødekomme den anseelige længde på tunnelen, vil togene dog ikke være identiske med de nuværende metrotog. For regionaltog forudsættes tog med driftshastighed på 160km/t, med dimensioner som svarer til de nuværende øresundstog. De nødvendige togkapaciteter og afgangsfrekvenser fremgår af tabellen nedenfor.

Løsning	Metrotog 4-vogns metrotog (L=50m)	Regionaltog 2 x Øresundstog (L=158m)
Maksimal hastighed	100km/t	160km/t
Tog/time/retning	36 tog	12 tog
Nødvendigt antal siddepladser per tog	102	306
Antal sidepladser pr. tog	120*	474
Crush load	580	1240

*forudsat 2+2 sædeopstilling som i det oprindelige metrotog.

Tabel 6: Krav til siddekapacitet og togstørrelse

I tabellen er angivet crush load, hvilket angiver det maksimale antal passagerer i et tog inklusiv stående passager. Dette kan forekomme ekstraordinært i det første afgående tog efter et længere driftsstop.

Crush load er anvendt ved fastsættelse af det antal passagerer, der skal kunne håndteres i forbindelse med en ulykke, f.eks. en brand i et tog.

Med udgangspunkt i trafikdata som er angivet i [Tabel 6](#) samt længderne af den borede tunnel (22km), sænketunnelen (23km) og den kombinerede sænketunnel-lavbro (23km), kan det beregnes hvor mange tog og hvor mange passagerer, der kan opholde sig i tunnelen samtidigt.

Det antages, at kun det uheldsramte tog vil være et "crush-loaded" tog.

Metro/Regionaltog	Boret tunnel	Sænketunnel	Sænketunnel/Lavbro/sænketunnel
Maksimal afstand mellem tog	2750m/13300m	2750m/13300m	2750m
Minimum antal tog i tunnel per retning	8/2	9/2	2/-/3
Maksimum antal passagerer per retning	1420/1714	1540/1714	1540*

*forudsat 4 tog per retning på lavbroen

[Tabel 7: Antal tog og antal passagerer \(Metrotog/Regionaltog\).](#)

Det antages at der ikke er forskel på kravene til maksimal stigning for et metrotog og for et regionaltog. Dette er ikke korrekt, men forskellene er detaljeringsniveauet i denne undersøgelse taget i betragtning uden betydning for anlægsoverslaget.

Den maksimale tilladelige stigning på sporene er derfor fastsat til 25‰. For den kombinerede løsning er stigningen øget fra 25‰ til 50‰, i overgangen mellem sænketunnel og lavbro.

Des stejle stigning, der kan tillades, des bedre kan linjeføringen (mest aktuelt for en sænketunnel løsning) følge havbunden, og dermed kan anlægskostningerne optimeres. I praksis vil man dog ikke benytte den maksimale stigning over længere strækninger, endelig skal længdeprofilen af komfortmæssige årsager også være jævnt og tilpasset en evt. sænketunnels elementlængder.

Med udgangspunkt i de ovenfor fastsatte krav til hastigheder mv., er det på basis af erfaringer fra andre projekter vurderet hvilken størrelse tunnelrørene skal have.

For metrotog med en hastighed på 100 km/t er det vurderet, at det totale tværsnitsareal for hvert tunnelrør skal være minimum 2 gange frontarealet af toget, jf. Bilag 2. Frontarealet på togene i den Københavnske metro ca. $2,65 \times 3\text{m} = 8\text{m}^2$, hvorfor rørets areal skal være minimum 16m^2 eksklusiv kabelkanaler, nødfortov, sporopbygning og så videre.

For regionaltog med en hastighed på 160 km/t er det vurderet at det totale tværsnitsareal for hvert tunnelrør skal være minimum 3 gange arealet af toget. Størrelsen på regionaltogene (Øresundstog/IC3/IR4) er ca. $3,10 \times 3,85\text{m} = 12\text{m}^2$, dvs. hvert rørs totale størrelse skal være ca. 36m^2 eksklusiv kabelkanaler, sporopbygning og så videre.

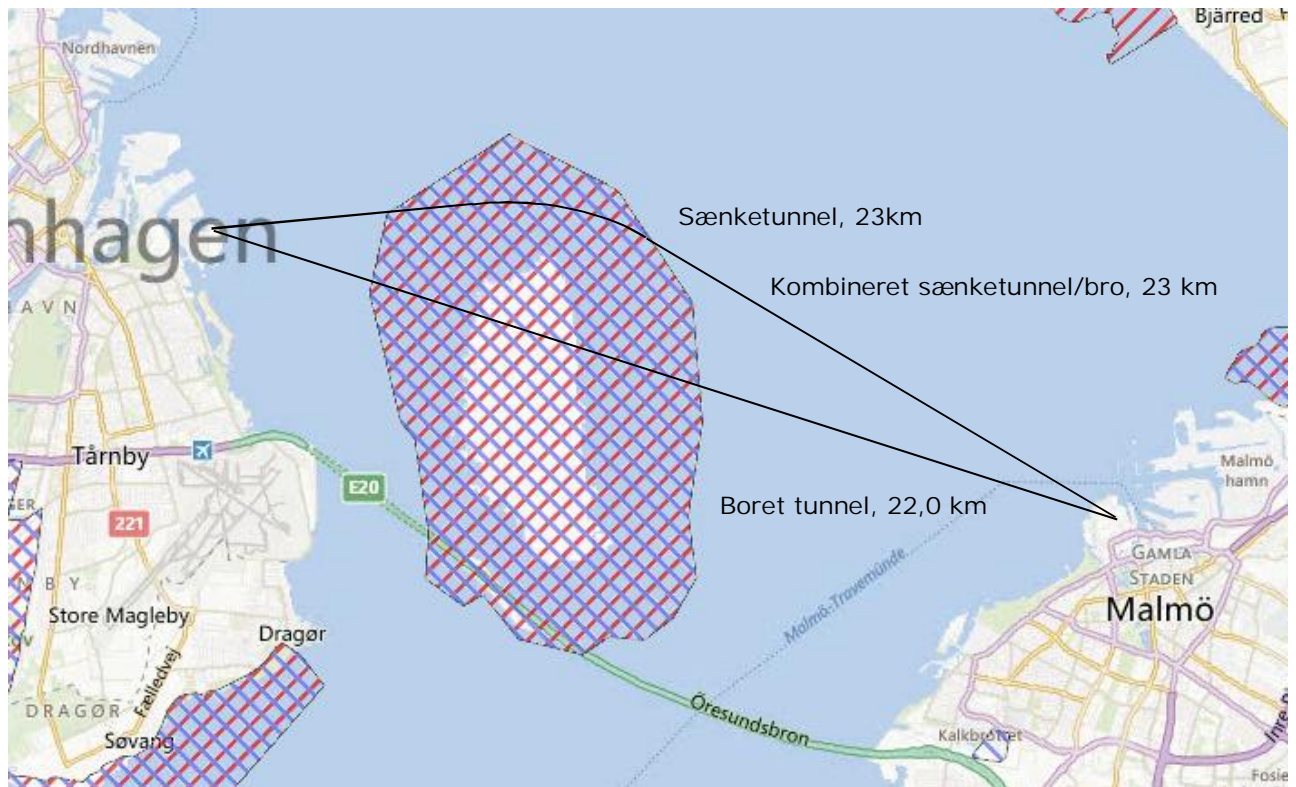
4.4 Miljømæssige forudsætninger

Det miljømæssige grundlag for denne rapport, er alene baseret på eksisterende kendskab til Øresundsregionen, da der ikke foreligger specifikke rapporter om hverken forureninger eller miljømæssige restriktioner.

Ved undersøgelsen baseres miljøkravene således på de forventede krav. De forventede krav er diskuteret med referencegruppen for "Øresundsmetroprojektets arbejdsgruppe om anlægsteknik og anlægsoverslag", og der er aftalt:

1. En 0-løsning for gennemstrømning, dvs. hvis der fyldes op i Øresund (fx en ø), skal gennemstrømningen sikres ved uddybning i andre områder.
2. 1 km respektafstand til Saltholm skal overholdes (lig krav for Øresundsforbindelsen).
3. De nøjere miljømæssige påvirkninger betragtes ikke

Punkt 2 vedrørende respektafstanden medfører, at Sænketunnelen skal placeres minimum 1km nord for Saltholm. Dette er stadig indenfor Natura2000 området, som det fremgår af figuren nedenfor.

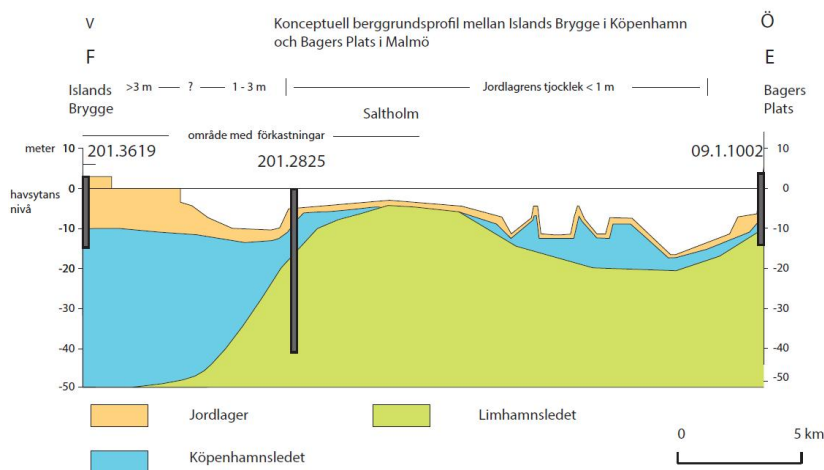


Figur 12: Natura 2000 område i Øresund, kilde natura2000.eea.europa.eu

4.5 Geoteknik

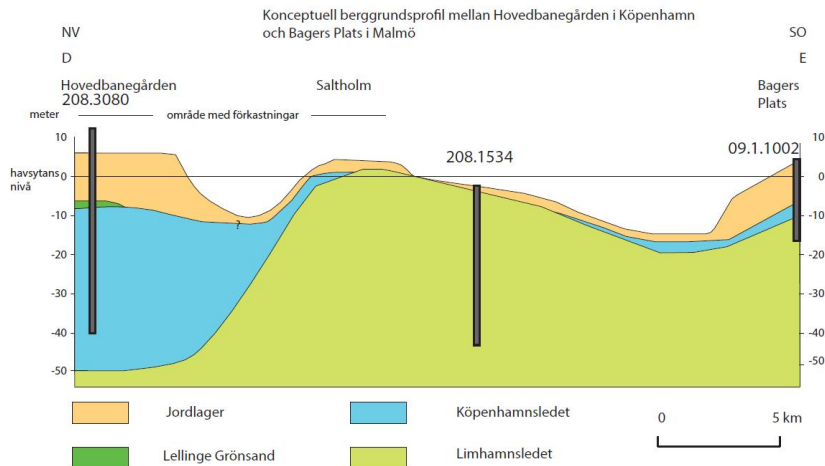
De geotekniske forudsætninger er givet i Bilag 3 "Berggrundens oppbyggnad och egenskaper, koncept 3".

I figurerne nedenfor er angivet nogle grove geotekniske profiler fra det geotekniske grundlag, der i denne fase af projektet kun kan give nogle indikationer af jordbundsforholdene i dette område af Øresund.



Figur 13: Geoteknisk profil for retlinjet linjeføring mellem København H og Malmö - Linjeføring for boret tunnel.

På Figur 13 og Figur 14 er det blå og grønne område henholdsvis Københavnerkalk og Bryozo-kalksten (på figuren kaldet Limhamnsledet), dvs. kalkbjergarter med stedvise flintbænke (hyppigst i Københavnerkalken). I den geotekniske rapport er angivet, at den borede tunnel skal forventes at blive placeret i en dybde der minimum svarer til en diameter af tunnelboremaskinen under oversiden af kalkoverfladen. Det tilstræbes desuden at placere tunnelen med et totalt jorddække på ikke mindre end 1,5 gange tunnelboremaskinens diameter. Da det kvartære dække har en tykkelse på ca. 2-8m, betyder dette i praksis at boremaskinen overalt vil skulle bore i kalk. Tunnelboremaskinerne for metroen og fjernvarmetunnelen i København, demonstrerede at de kunne håndtere hård kalk og flint relativt problemfrit – om end med et stort slid på skæreskiverne. Det samme forventes derfor at blive tilfældet ved en boret tunnel under Øresund.



Figur 14: Geoteknisk profil för linjeföring nord om Saltholm – omtrentlig linjeföring för Sænkettunnel.

Det relativt tynde kvartære dække betyder at en sænkettunnel og/eller en lavbro vil kunne funderes direkte på kalk, dvs. en meget stabil fundering. På grund af kalkens hårdhed og forventede stabilitet, bør det være muligt at grave renden for sænkettunnelen med ret stejle sider, hvilket er gunstigt idet det vil reducere udgravnings- og tilbagefyldsmængder. Det anbefales at man i de tidlige vurderinger generelt regner med anlæg 2:1 på skrån timer i kalk (1m horisontalt og 2m vertikalt), mens man for midlertidige skrån timer i de kvartære lag bør arbejde med anlæg 1:2.

5. LINJEFØRINGER

Ved planlægningen af mulige linjeføringer for hhv. en boret tunnel, en sænketunnel, og en kombineret sænketunnel-lavbro er der en række forhold der skal overvejes.

Baseret på erfaringer fra andre projekter, er de vigtigste forhold vurderet at være:

Komponent	Krav	Konsekvens
Natura 2000 område/ Saltholm	Ingen gravning eller permanente konstruktioner nærmere end 1 km fra Saltholm.	Løsninger med en sænketunnel placeres 1 km nord om Saltholm
Længdeprofil	Maksimum stigning på sporet 25‰ af hensyn til togene. I denne undersøgelse er samme maks. stigning valgt for begge undersøgte togtyper. Maksimum stigning på sporet er øget til 50‰ i overgang, sænketunnel-lavbro.	En sænketunnel skal i områder med stejle skråninger i havbunden evt. graves ekstra ind i skrånningen / ned i havbunden for at begrænse stigningen.
Længdeprofil	Minimum hældning i længderetning skal være 3‰ for at sikre afvanding til en pumpeump (vaskevand, spildvand osv.)	Sænketunnelen skal køre op og ned for at undgå en for dyb placering af tunnelen. Det er valgt, at der skal være minimum 1km mellem pumpe-sumpe. For en boret tunnel er det valgt at tunnelen ikke placeres dybere end ca. 50m under havoverfladen
Længdeprofil	Oversiden af en boret tunnel skal placeres minimum 1 borediameter under terræn/havbund. Dette krav er af hensyn til jordens stabilitet, så denne ikke styrter sammen under boringen af tunnel (før tunnelsegmenterne er installeret)	Dybden af skaktene ved hver kyst afgøres af borediameteren, jo større boremaskine, des dybere (og dyrere) bliver skakten.
Længdeprofil	Overside af sænketunnel skal være under eksisterende havbund, således at der ikke ændres på strømforhold i Øresund.	Det er valgt at overside af sænketunnelen skal være minimum 1,5m under eksisterende havbund, hvorved der kan etableres beskyttelseslag mv. over tunnelen

Tabel 8: Styrende parametre for linjeføring

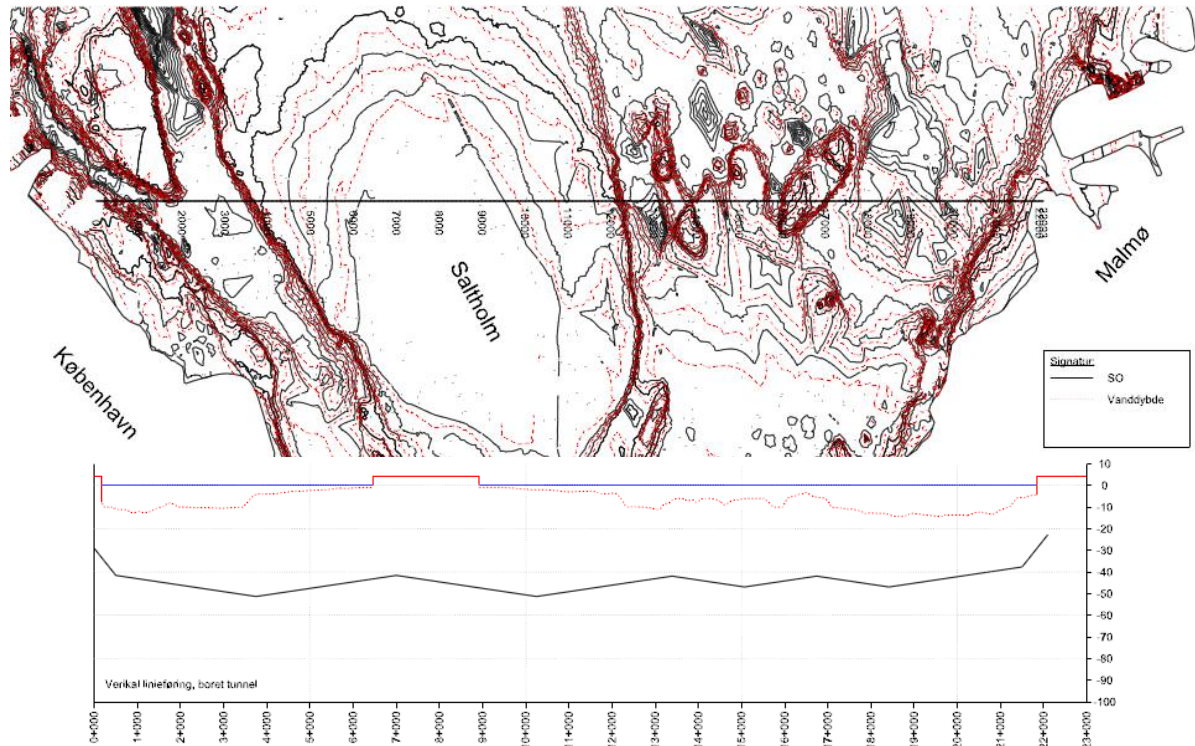
Med udgangspunkt i ovenstående punkter er der udarbejdet nogle forslag til linjeføring for hver type tunnel. Der er ikke skelnet mellem eventuelle forskelle/krav til linjeføring for henholdsvis metro- og regionaltog.

5.1 Boret tunnel

Den borede tunnelforbindelse mellem København og Malmø tænkes etableret langs en ret linje, og for at minimere omkostningerne til skakterne ved kysten, er linjeføringen her placeret så højt i terrænet som muligt.

Den viste linjeføring er for en tunnel med en ydre diameter på ca. 15,5m. Som udgangspunkt skal tunnelens overside skal være placeret minimum én diameter under overfladen af kalklaget. Dette medfører, at undersiden af tunnelrøret kommer til at ligge i en dybde af minimum ca. 31m under kalk overfladen. Det skal understreges at denne dybde tilrettelagt ud fra de tilgængelige geotekniske profiler, og ikke baseret på detaljeret viden om de aktuelle geologiske forhold.

Den viste linjeføring er 22km lang.



Figur 15: Linjeføring for boret tunnel – stiplede linje er havbund, sort linje er linjeføringen (SO = skinneoverkant). Vandet ud til en dybde på 3m er markeret lyseblå. Linjeføringen er vist i Bilag 4 i målestoksforhold 1:75,000

Det fremgår af Figur 15, at linjeføringens hældning er kraftigst inde ved land. Dette skyldes at de største vanddybder (13 - 14m) i Øresund findes relativt tæt på land, samt at det som tidligere beskrevet er ønskværdigt at sikre så små dybder for skaktene på land som muligt. Dette fordrer således en hældning på op til 25‰, hvilket kan anses at være relativt stejle stigninger for en jernbane. For en metroløsning er hældninger op til 60‰ mulige (som eksempel på dette kan nævnes udbygningen af Københavns metro til Nordhavn).

Af den foreslåede linjeføring fremgår desuden, at der etableres 4 dybdepunkter. Antallet af dybdepunkter er ikke kritisk på dette tidspunkt, og skal ikke forveksles med antallet af pumpestatione, da længden af tunnelen kræver flere pumpestationer. Koncepterne for pumpestationerne er ikke behandlet i denne rapport, da disse ikke er kritiske forhold.

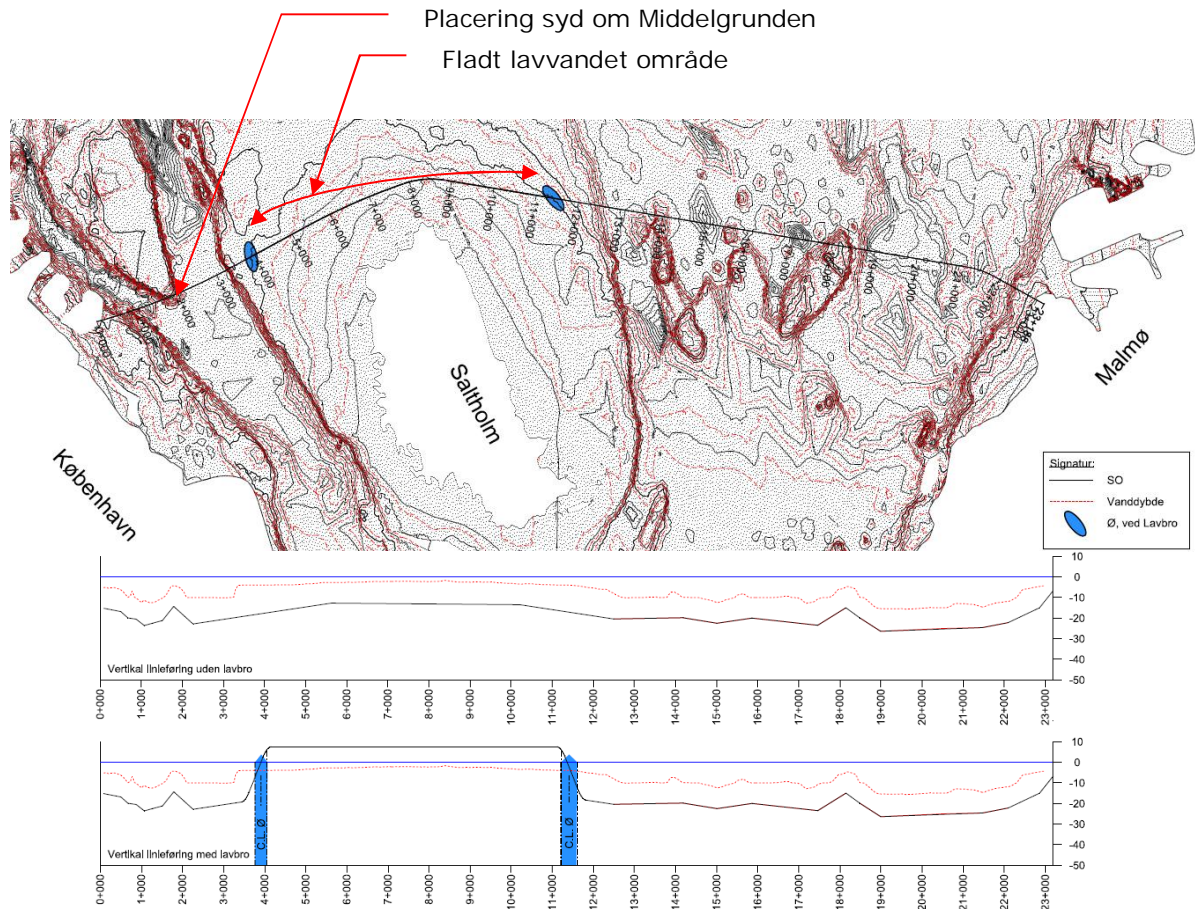
Når der er foreslået 4 dybdepunkter, er det således alene for at undgå alt for dybe placeringer af tunnelen. Med den viste linjeføring er dybeste punkt ca. 50m under havoverfladen. Til sammenligning er dybeste punkt under Storebælt ca. 75m under havoverfladen, den Engelske kanal ca. 115 m under havoverfladen, og på den nye metro cityring er dybeste punkt ca. 33 m under terræn.

5.2 Sænketunnel

Sænketunnelen er ført nord om Salholm, dels pga. praktiske forhold, men ikke mindst af hensyn til miljøet. Salholm og vandet omkring er et beskyttet naturområde (Natura2000). Det beskyttede område fremgår af Figur 12.

Det fremgår også, at den eksisterende Øresundsforbindelse går ind i det beskyttede naturområde. Det er i denne undersøgelse en aftalt forudsætning, at linjeføringen for en sænketunnel skal opfylde samme krav som den eksisterende Øresundsforbindelse, dvs. en respektafstand til Salholm på 1km.

Med denne givne forudsætning, vil en mulig linjeføring være som vist på Figur 16.



Figur 16: Linjeføring for sænketunnel og kombineret sænketunnel-lavbro. Rød linje er havbund, sort linje er linjeføringen (SO = skinneoverkant). Linjeføringen er vist i Bilag 4 i målestoksforhold 1:75.000

Den viste linjeføring er 23 km lang og har samme tilslutningspunkter som den borede tunnel. Bemærk at sænketunnelen i ovenstående er vist som værende ca. 23,2 km lang, grundet en 80 m lang portal/skakt i hver side.

For linjeføringen tæt på København er der taget hensyn til havbundstopografien. Jo flere stejle skråninger en sænketunnel skal passere, des mere udgravning og tilbagefyld skal der forventes, og da netop disse mængder er af betydning for den samlede pris, skal linjeføringen forsøges placeret så mængderne minimeres mest muligt. For at imødekomme dette, er tunnelen placeret syd for Middelgrunden, og i området øst for Saltholm løber den mellem de mange lokale grunde, der er i området. De stejleste topografiske skråninger (ved Middelgrunden og Drogdenrenden) er ca. 50‰ over strækninger på op til 100m. Dette skal ses i sammenhæng med sænketunnelens elementlængder på forventelig ca. 200m. De maksimale vanddybder er op til ca. 10m i Drogdenrenden og lidt mere tæt på Malmø. Med den valgte maksimale stigning på 25‰ er det således muligt at følge havbunden næsten optimalt. Linjeføringen og længdeprofilen skal optimeres i forbindelse med efterfølgende faser.

Af profilet fremgår det, at linjeføringen i høj grad følger havbunden, men også at profilet udformes med et antal dybdepunkter for at sikre afvandingen i tunnelen.

5.3 Sænketunnel-Lavbro

Linjeføringen for den kombinerede løsning er identisk med den for sænketunnel alene. På Figur 16 er længdeprofilet for den kombinerede løsning vist nederst, og placeringen af de kunstige øer er markeret med blå. Stigningen i forbindelse med overgangen fra tunnel til bro, er 50‰.

6. SIKKERHEDSKONCEPT

Opbygningen af sikkerhedskonceptet ved en kommende passagerforbindelse under Øresund er af stor betydning for de anlægstekniske løsninger, da sikkerheden har en afgørende betydning for opbygningen af tunneltværssnittene.

I dette afsnit gives derfor først en kort indføring til de løsninger, der er udgangspunktet i denne rapport, hvorefter der i de følgende afsnit beskrives lidt mere detaljeret om baggrunden og konsekvenserne ved de valgte koncepter

Sikkerhedskonceptet for Øresund Metro vil være baseret på redning og evakuering via tryksatte områder i langsgående gangarealer og evt. tværtunneler til det ikke berørte tunnelrør/trafikerør.

Placeringen af tunnelens start og slut punkt på kysten ved København og Malmø med direkte skakte ned til tunnelen, giver gode vilkår for en hurtig adgang til tunnelen for beredskabet / redningsmandskab. Men på grund af tunnelens længde kan indsatstiden frem til et uheldsramt tog alligevel være relativt lang, hvorfor det er nødvendigt at udføre tunnelen med gode forhold for selvredning.

Til sikring af passagererne under evakueringen i tunnelen, er der forhold omkring sikre områder og flugtveje herunder nødfortove, som skal være opfyldt. Dette gælder fx højder, bredder og arealer. Disse forhold er principielt ens for begge togtyper, lige som det er tilfældet for tværtunneler/tværforbindinger (se senere), som i denne fase antages placeret med maksimalt 300 m afstand.

Redning i tunnelen understøttes ved indbygning af redningsstationer, der skal muliggøre en hurtig selvredning og servicere beredskabet under en redningsaktion. Redningsstationerne er placeret med en afstand, der afhænger af valgte løsning (metro eller regionalto) og den maksimale togfølge. Redningsstationerne fungerer som forudbestemte stoppesteder for togene, som vil køre frem hertil i tilfælde af brand.

Med de krav som opstilles, vil en tunnelloøsning uden et selvstændigt redningsrør være sikkerhedsmæssig forsvarlig.

Krav til rullende materiel er ikke detaljeret beskrevet i denne rapport. Kravet om at et brændende tog skal kunne køre frem til nærmeste redningsstation stiller imidlertid krav til udformning af togene.

Grundlaget for sikkerhedskonceptet er beskrevet under forudsætningerne i afsnit 2, herunder specielt de trafikale forudsætninger.

6.1 Reference tunneler

I udarbejdelsen af sikkerhedskonceptet for Øresund Metro har Storebælts tunnelen, der serviceperson- og godstogs trafik været vurderet. Ydermere har Metro Cityringen i København indgået som en del af udarbejdelsen, da denne alene servicere metrotog med korte kørselsintervaller.

Storebælt tunnelforbindelsen er 8 km lang, og består af to separate tunnelrør, med tværtunneler pr 250 m. Redning og evakuering sker også i denne tunnel via det ikke-berørte tunnelrør ved hjælp af rednings- og evakuerings tog. Redningstoget er placeret ved hver tunnelportal og kræver klargøring inden udrykning. Tiden fra alarmering til ankomst til ulykkesstedet er estimeret til maksimalt 30 minutter sammenlagt.

For Øresundsforbindelsens ca. 4 km lange tunnel under Drogden renden sker redning fra jernbanedelen over i vejdelens tunnelrør. Her er anbragt flugtvejsdøre pr. 88 m.

For den kommende Femernforbindelsens ca. 18 km lange tunnel sker redning fra jernbanedelen ligeledes over i vejdelens tunnelrør. Her er anbragt flugtvejsdøre pr. 108 m.

Københavns metro cityringen er en 15,5 km undergrunds metrolinje, der er under opførelse. Hele linjen vil være i tunnel, hvor der køres med metrotog og kort afstand mellem de kørende tog. I tilfælde af brand i et tog, er togene designet til at køre frem til næste station eller i enkelte tilfælde redningsskakte. Evakuering er planlagt til at foregå via nødfortov, som fører de evakuerede

til et sikkert område. Dette kan være i form af skakte, der fører op til gadeniveau, eller ved stationerne der er udstyret med evakuerings trapper. Hvis toget stranded i tunnelen, er der i begge spor på stationerne placeret redningstrolje, som hurtigt kan gøres klar til aktion.

6.2 Sikkerhedskoncept

Målet med sikkerhedskonceptet er, at skabe de bedst mulige vilkår for en hurtig redning i tilfælde af et uheld i tunnelen. Dette gøres med fokus på passagererne og på beredskabet, som skal rykke ud til ulykken.

Afsnittet behandler hovedsagligt rene tunnelløsninger, sikkerhedskonceptet for sænketunnel-lavbro løsningen er behandlet separat i afsnit 6.3.

6.2.1 Nødfortove

Til benyttelse for passagererne i tunnelen og lavbroen under en evakuering, etableres der et nødfortov i den ene side af sporerne i hvert af trafikrørene.

6.2.2 Tværforbindelser / Tværtunneler

Mellem de to trafikrør/tunnelrør vil der være tværforbindelser med maksimal afstand 300 m, hvilket er gældende for både metro og regional tog. Med tværforbindelser skal i denne forbindelse forstås forbindelser fra det ene trafikrør til det andet, også selv om de evt. måtte ligge over hinanden. Afstanden mellem tværforbindelserne vil være kortere i forbindelse med redningsstationerne.

Tværforbindelsernes funktion er i en evakueringssituation at sikre fri passage for passagererne mellem de tilstødende trafikrør/tunnelrør, via et tryksat område hvorved røgindtrængning i de sikre områder undgås. Dette gør det muligt, at bruge det tilstødende trafikrør/tunnelrør som sikkert område. Tværforbindelserne er placeret i hele tunnelens længde, for at sikre passagererne i en situation hvor et uheldsramt tog evt. ikke når frem til en redningsstation.

6.2.3 Redningsstationer

TSI SRT definerer begrebet "forudbestemte stoppesteder" som et sted et tog vil køre frem til i en brand- og redningssituation. På disse steder vil der være faciliteter til at håndtere et brændende tog. For Øresund Metro tunnelen vil det være nødvendigt at indbygge redningsstationer/"forudbestemte stoppesteder".

Overordnet er redningsstationernes formål at sikre en effektiv evakuering og effektiv håndtering af ulykke.

Faciliteter og krav i forbindelse med redningsstationerne er følgende:

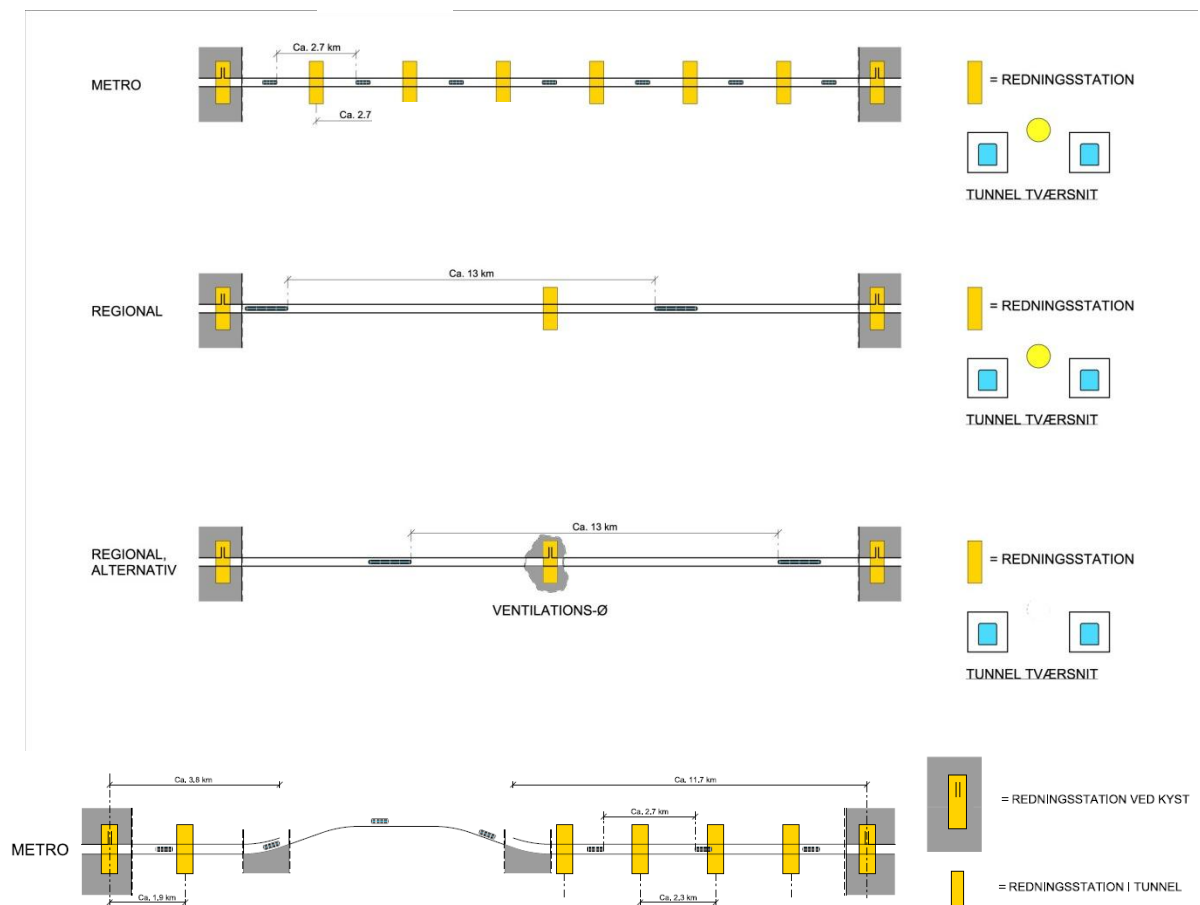
- Afstand mellem redningsstationer på maks. 5km (metrotog) / 20km (regionaltog)
- Design stoppested
- Adgang til sikkert område via egen eller andres hjælp
- Vand til brandslukning (minimum 800 l/min i 2 timer)
- Mulighed for afbrydelse af kørestrømmen
- Adgang for beredskabet via redningsvej
- Mulighed for at tilgå det berørte tog uden gennemgang af sikkert område
- Håndtering og kontrol af røg

I projektet er der planlagt med to typer redningsstationer. Den ene type redningsstation er placeret på den strækning af tunnelen, som er under vand, mens den anden type er beliggende i skaktene ved kysten. På [Figur 17](#) er dette illustreret ved at redningsstationerne under vand er de gule firkanter, mens de landfaste også er markeret med en grå firkant bagved den gule.

Faciliteterne i de to typer redningsstationer adskiller sig fra hinanden. Ved redningsstationerne på strækningen under vand er det ikke mulig, at adskille det sikre område og adgangsvejen for beredskabet på en måde, så det undgås at beredskabet skal gennem det sikre område på vej frem til indsatsstedet.

Redningsstationerne i skaktene på land ved kysten vil kunne supplere de øvrige redningsstationer i tunnelen. For beredskabet betyder dette, at de kan tilgå det forulykkede tog med en separat passage, uden at passere sikkert sted, hvor de evakuerede personer opholder sig. Herved sikres det, at passagerer på vej mod sikkert område, ikke forsinkes beredskabets indsats.

Afstanden mellem redningsstationerne svarer til den mindste afstand mellem de kørende tog i tunnelen. Denne afstand er kortere end de normsatte, for at sikre at togene ikke blokerer adgangen til redningsstationerne for hinanden. De planlagte togafstande er hhv. 2,7 km for metro og 13 km for regionaltog, disse afstande er således også gældende som maksimal afstand mellem redningsstationerne.



Figur 17: Illustration af redningsstationer (gul firkant) i tunnelen for hhv. metro- og regionaltog. Til højre på figuren er vist de to trafikrør og med gult om der er et separat ventilationstværsnit.

Med afsæt i TSI-SRT vil de foreslåede afstande mellem redningsstationer kræve kategori A tog for metroforbindelsen (da afstanden til en redningsstation er mindre end 5 km) og kategori B tog for regionaltog, da afstanden mellem redningsstationerne er i intervallet 5-20 km.

TSI-SRT stiller krav til togenes evne til at fortsætte til et sikkert område efter en brand er opstået. Kategori A tog skal kunne fortsætte i minimum 4 minutter ved 80 km/t efter at en brand er opstået. Et kategori B tog skal på tilsvarende vis kunne fortsætte i 15 minutter.

6.2.4 Sikkert område

Sikkert område har til formål at sikre passagererne mod påvirkninger fra en ulykke, som fx af røg.

Faciliteter og krav i forbindelse med sikkert område er følgende:

- Passagererne skal kunne nå frem til området med eller uden hjælp
- Passagererne skal kunne redde sig selv, om muligt, eller vente på at blive reddet af redningstjenesterne
- Mulighed for kommunikation via mobiltelefon og / eller fastnettelefon

Togpassagererne evakueres med eller uden hjælp forsvarligt og sikkert til et sikkert område i tunnelen. I projektet er der planlagt med to typer af sikkert område, som er knyttet til hver af de to typer redningsstationer.

For redningsstationerne i skaktene ved kysten er der planlagt en løsning, hvor de evakuerede passagerer fordeler sig over to etager. Denne type er ydermere adskilt fra den nærliggende redningsstation, som betyder at passagerer og beredskab ikke blokerer for hinanden, se afsnit 6.2.6 og Figur 24.

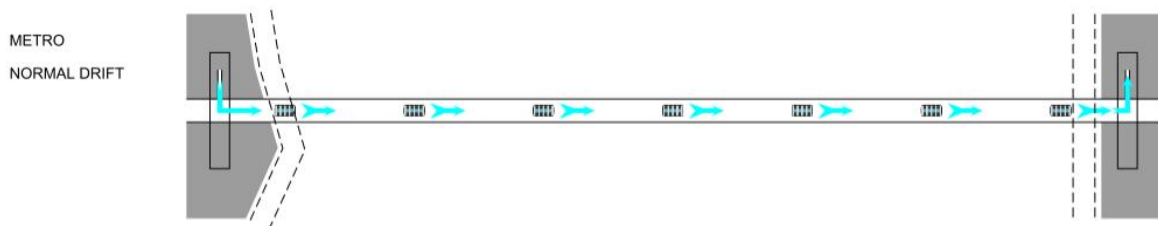
For redningsstationerne i tunnelen, er der planlagt med sikkert område i det modsatte trafikrør/tunnelrør, med flugtvej via tværforbindelser. Som det også er kendt fra Storebælt tunnelforbindelsen.

For begge typer af sikkert område vil der som minimum være 0,5 m² til rådighed per evakuerede person.

6.2.5 Ventilation

6.2.5.1 Normal drift

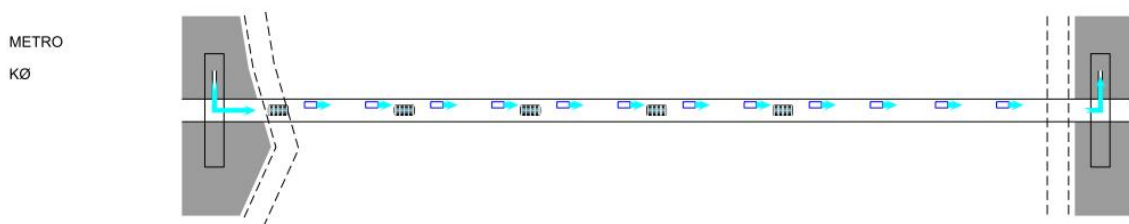
For både metro og regionaltogets løsningerne gælder, at trafikrørene/tunnelrørene i normal situationen ventileres ved hjælp af stempeleffekten fra togene (se Figur 18). Da gradienterne på sporene er små, og da togene normalt ikke har stop undervejs, vil varmeudviklingen fra togene være relativt lille. Det vurderes derfor, at den langsgående ventilation fra stempeleffekten vil kunne holde lufttemperaturen på et tilstrækkeligt lavt niveau.



Figur 18: Ventilation, normal drift

Af hensyn til passagerernes komfort må togdriften organiseres således, at længerevarende stop af tog i tunnelen undgås. Således bør det så vidt muligt sikres, at tog, der allerede befinder sig i tunnelen, når der indtræffer mindre driftsproblemer, kan fortsætte ud af tunnelen og eventuelt først stoppe uden for denne.

I situationer, hvor dette ikke lykkes, må der iværksættes mekanisk længdeventilation for at sikre en tilstrækkelig tilførsel af udeluft til passagererne i de strandede tog. Denne ventilation etableres ved hjælp af impulsventilatorer, der installeres med jævne mellemrum i hvert trafikrør/tunnelrør (se Figur 19).



Figur 19: Ventilation, driftsforstyrrelse

Som vist på figurene tænkes et trafikrør/tunnelrør at udgøre ét ventilationsafsnit, med indtag på skakten på den ene side og afkast på den anden side af Øresund. Indtag og afkast foregår gennem trykaflastningsskakte til det fri. Ved passende placering og dimensionering af skaktene skal det tilstræbes, at ventilationsafsnittet i tunnelen gøres uafhængigt af de tilstødende ventilationsafsnit på hver side.

6.2.5.2 Nødsituationer

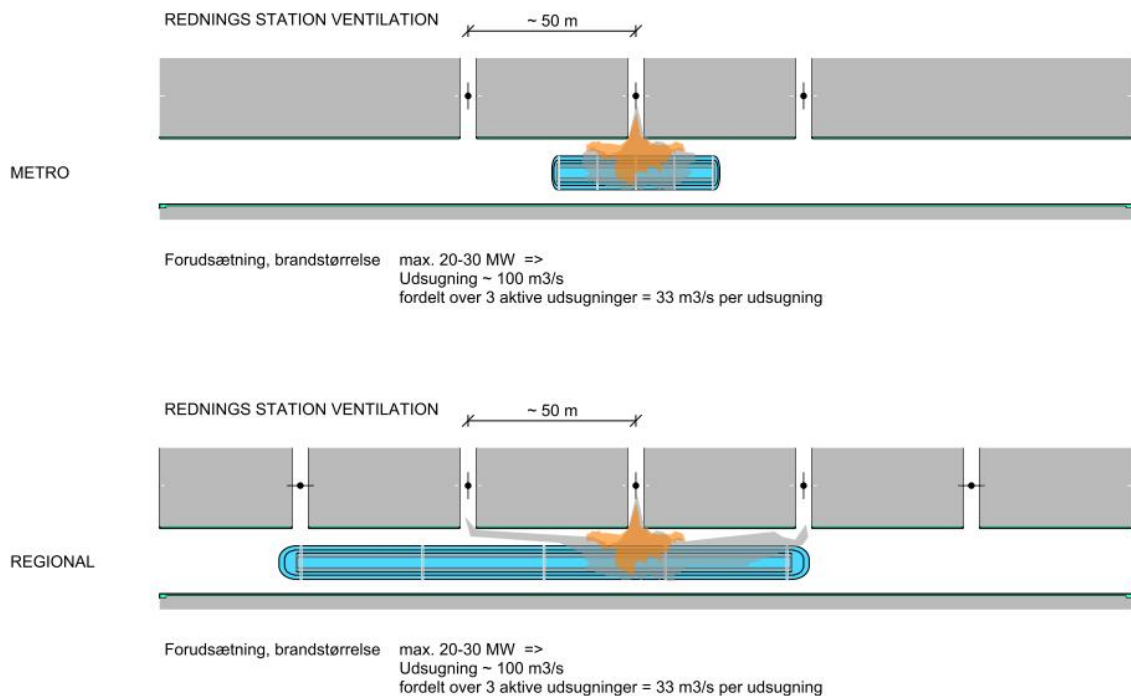
Med hensyn til nødsituationer skelnes mellem "kolde" hændelser (kollision, afsporing) og "varme" hændelser (brand). De grundlæggende forskelle mellem de to typer hændelser er, at kolde hændelser ikke indebærer et særligt tidsmæssigt problem med hensyn til at redde passagererne ud pga. mulige forbrændinger og/eller røgforgiftning, da kolde hændelser ikke medfører produktion af varme og potentielt giftige gasser.

For begge typer hændelser gælder, at ikke-berørte tog i begge tunnelrør forudsættes at forlade tunnelen inden for rimeligt kort tid. For tog, der måtte være fanget bag det uheldsramte tog, må der opstilles effektive procedurer for at få toget ud af tunnelen. Under kolde hændelser vil længdeventilation med impulsventilatorer således kunne give en tilstrækkelig lufttilførsel.

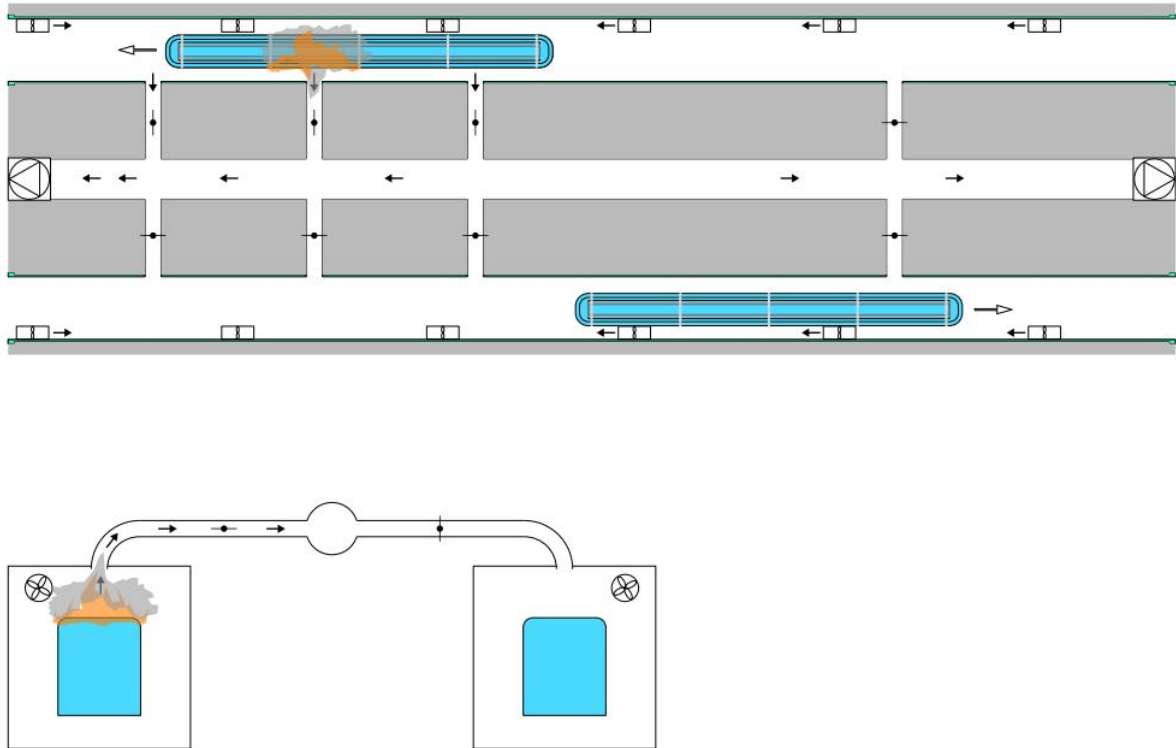
For brandscenarier forudsættes, at de anvendte tog opfylder kravene til enten Kategori A (for metro tog) eller Kategori B (for regionaltog) jf. TSI SRT, således at de normalt er i stand til at tilbagelægge en vis strækning, selv om de er brudt i brand. Som beskrevet i afsnit 6.2.3 placeres der redningsstationer med en afstand, der matcher togenes klassifikation og minimumsafstanden imellem de enkelte tog.

Det skal bemærkes, at såfremt det, på trods af forudsætningerne beskrevet ovenfor, ikke lykkes for et brændende tog at nå frem til en redningsstation, så vil passagererne skulle evakueres direkte til det ikke-berørte rør gennem tværforbindingerne. Den mekaniske længdeventilation skal i denne specielle situation være i stand til at kontrollere røgudbredelsen.

En redningsstation er ventilationsmæssigt karakteriseret ved, at der er installeret et antal udsugningsåbninger over toget (se Figur 20 og Figur 21). Den samlede kapacitet af udsugningen (skønnet til ca. $100 \text{ m}^3/\text{s}$) svarer til røgudviklingen fra den forventede maksimale brandstørrelse i et passagertog (20-30 MW).



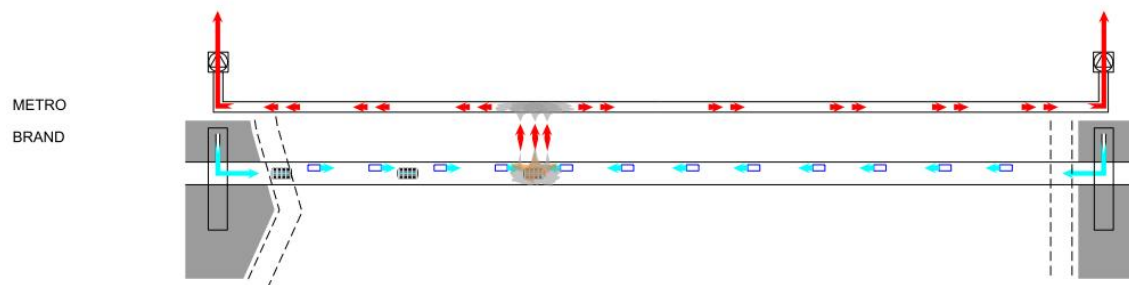
Figur 20: Ventilation i redningsstation



Figur 21: Princip for ventilation i brandscenarie

Når toget når frem til redningsstationen, startes udsugningen op, og samtidigt opstartes impulsventilatorerne i det uheldsramte tunnelrør, således at der tilføres erstatningsluft fra hver side (se Figur 21). Endvidere opstartes impulsventilatorerne i det ikke-berørte rør og sender luft mod ulykkesstedet, således at der opbygges et overtryk i forhold til de uheldsramte rør. Når passagerne flygter til sikkert område, vil de således bevæge sig mod luftretningen, og det sikres, at det sikre område holdes røgfrit.

Afhængigt af togkonceptet og om der udføres en ø eller ej, vil røgudsugningen enten foregå i en langsgående kanal, eller røgen vil blive ledt direkte til overfladen. I tilfældet med en langsgående kanal vil der blive placeret ventilationsrum i skaktene placeret ved kysten, og ventilationsanlæggene på begge sider vil deles om at transportere røgen.



Figur 22: Røgudsugning i langsgående kanal

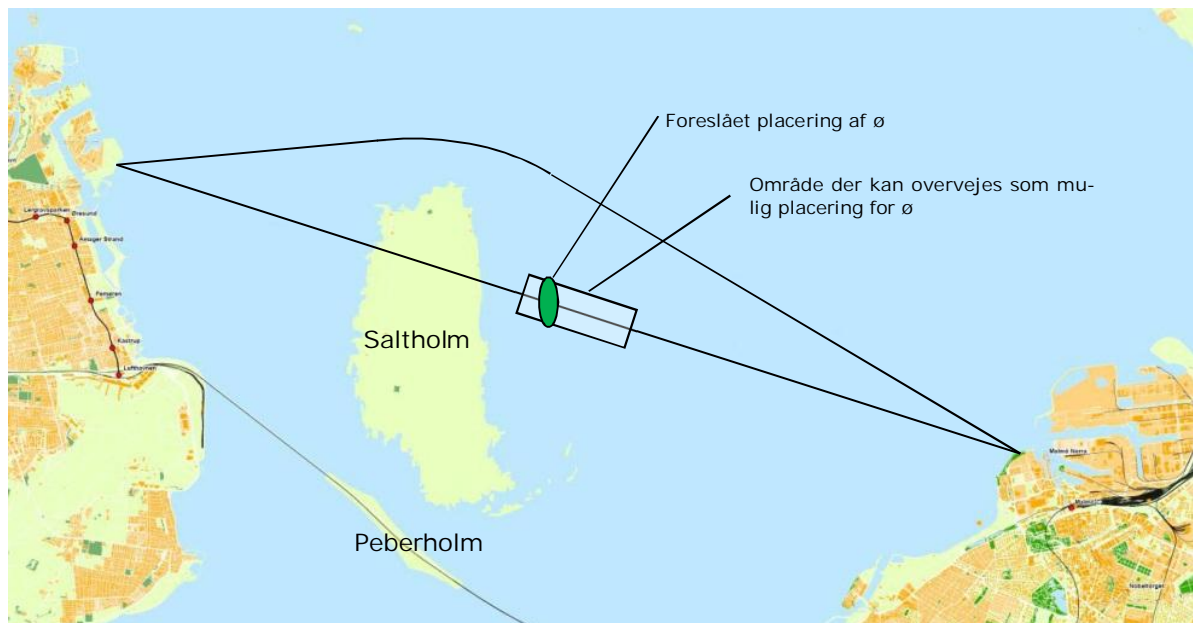
En langsgående kanal vil skulle have et indre tværsnit på ca. 15m², jf. også Bilag 5.

Bilag 5, Nødvendigt ventilationstværsnit

6.2.5.3 Ventilationsø

En ø i forbindelse med en boret regionaltoget løsning er blevet betragtet, og vil udgøre grundlaget for prisestimering af den kunstige ø. Med afsæt i sikkerhedskravene fastlagt i afsnit 6, kan det afgøres, at øen maksimalt kan placeres 13km fra land, svarende til den maksimale mulige afstand mellem 2 regionaltoget under forudsætning af afgang per 5 min og toghastighed på 160km/t.

Det mulige område er på den baggrund indikeret i figuren nedenfor. Området er ca. 4 km langt, og hver ende er placeret 9 km fra kysten.



Figur 23: Placering af kunstig ø i forbindelse med boret tunnel.

Ventilationsøen er nærmere beskrevet i Bilag 7.

6.2.6 Skakte ved kysten

Undersøgelsen omfatter udelukkende en analyse af strækningen fra kyst til kyst. Både i København og i Malmø skal en skakt placeres tæt ved kysten med det formål at fungere som start eller modtageskakt for kyst til kyst tunnelen.

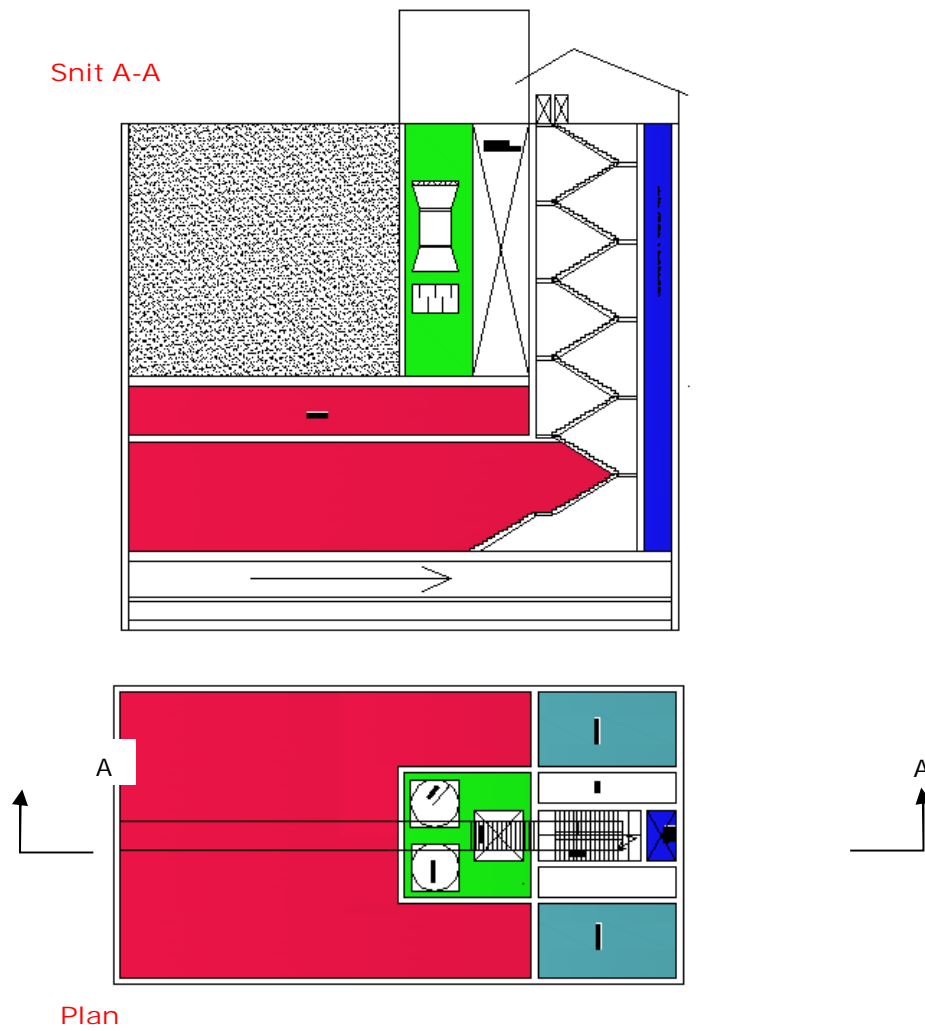
Skaktene vil ikke være egentlige stationer, men vil fungere som redningsstationer. Med udgangspunkt i dette formål sættes krav med hensyn til ventilation, trykafledning, evakuering og redningsveje.

Designet af skaktene baseres således på disse krav. Designet er simpelt og kompakt og det genbruges for de forskellige løsninger.

Det forventes ikke, at kravene i byggeperioden vil stille krav om større skakte.

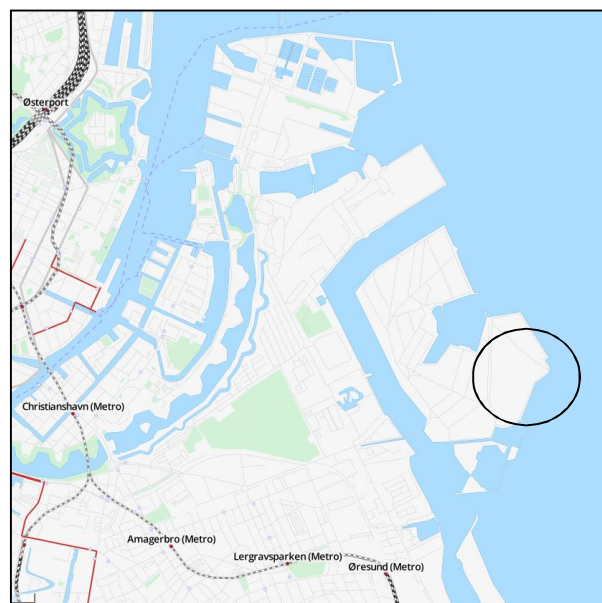
Figur 24 viser en skitse (her vist for en sænketunnel for regionaltoget) der indeholder plads til:

- To ventilatorer samt en elevator til deres vedligeholdelse (*grøn*).
- To store områder, et ovenpå hver jernbane, der bruges til trykafledning (*lyseblå*).
- En trappeskakt som anvendes til nødudgang (*hvid*).
- En elevator til både redningsmandskab og vedligeholdelsesarbejder (*mørk blå*).
- Sikkert område med plads til togpassagererne samt togpersonale (*rød*).



Figur 24: Skitse af skakt for regionaltog i sænketunnel.

Skaktene er placeret ved Prøvestenen ud for Amager på den københavnske side og ved Scaniaparken i Malmø, se nedenstående figurer. Der henvises i øvrigt til Bilag 6.



Figur 25: Skakt ved Prøvestenen, København.



Figur 26: Skakt ved Scaniaparken, Malmö.

6.2.7 Redningstog

Redningstog skal sikre en hurtig og effektiv redning i tunnelen.

På grund af længden af tunnelen vil hastigheden på redningstoget have stor indflydelse på indsatstiden.

I henhold til beredskabsloven skal kommunerne opdele kommunen i "tæt bebyggelse", "spredt bebyggelse" eller "åbent land". Der er til disse tre kategorier knyttet responstider for beredskabet, med den mindste responstid knyttet til kategorien "tæt bebyggelse". Det må forventes at tunnelen og skaktene vil blive placeret i den skrappeste kategori ("tæt bebyggelse"). Dette vil medføre, at beredskabet vil skulle være ved skakten på mindre end 10 minutter. Herfra vil redningsmandskabet så vha. redningstoget skulle rykke frem til uheldsstedet. Der vil således også blive stillet krav til redningstogets udformning og konstruktion, da øget mængde udstyr også kan være aktuelt.

I en redningssituation vil et redningstog til indsats og brandbekæmpelse være det første tog på stedet, så beredskabet kan komme i gang med deres indsats. Efterfølgende vil togene til evakuering blive indsat, så passagererne kan blive bragt i sikkerhed. Proceduren er kendt fra Storebælt tunnelen.

6.2.8 Redningsvej

En redningsvej for tunnelen skal sikre beredskabets vej til det forulykkede område.

I en redningssituation hvor det tilstødende trafikrør benyttes til redning, vil redningsvejen kort efter alarmering tilgås af redningstog fra enten København eller Malmö, afhængig af kørselsretningen i det trafikrør som er redningsvej. Når alle tog er ude af tunnelen, kan redningstog rykke ud fra den modsatte portal. Løsningen er kendt fra Storebælt tunnelen.

6.2.9 Installationer

På grund af tunnelens store længde må der installeres transformere i tunnelen, der transformerer mellemspænding til lavspænding til forsyning af diverse installationer. Endvidere vil også kørestrømsforsyningen til metrotog kræve transformer- / omformerstationer i tunnelen.

I de relevante tunneltværsnit skal der således arrangeres indbygning af teknikum til disse transformer- / omformerstationer samt tilhørende køleanlæg.

Tunnelen påregnes herudover udført med en række installationer, der primært tjener sikkerhedsmæssige formål, som f.eks.:

- Ventilation ved redningsstationer
- Impulsventilatorer

- Nød- og flugtvejsbelysning
- Branddetekteringsanlæg
- Brandvandssystem med tilhørende brandhydranter
- Pumpesumpe og pumper

6.3 Sikkerhedskoncept for kombineret sænketunnel/bro

Principperne for evakuering, redning og ventilation er i hovedtræk identiske med de tilsvarende forhold for den rene tunnelløsning.

Strækningen på broen er ukritisk mht. brandscenarier. Der monteres nødfortove i højde med gulvet i vognene, så passagererne kan stige direkte ud. Nødfortovene afgrænses mod kanten af broen af et 1,2 m højt rækværk.

Herudover påregnes ikke inkluderet særlige foranstaltninger for evakuering og redning på brostrækningen. Det samme gælder øerne, hvor der dog foreslås anlagt eventuelt helikopter landingspladser, en havn eller begge dele.

Evakuering og redning på broen og på øerne påregnes i øvrigt at foregå ved hjælp af de redningstog, som i forvejen er nødvendige på tunnelstrækningerne. Der bør anlægges transversaler på øerne, således at strandede tog, der eventuelt blokerer sporet for redningstog, kan sendes over i det modsatte spor.

Med hensyn til de to tunneler er længderne ganske vist kraftigt reduceret i forhold til den rene tunnelløsning, men dog ikke tilstrækkeligt til, at der kan ændres på det overordnede sikkerhedskoncept.

Togafstanden på 2,7 km er fortsat mindre end tunnellængderne, hvorfor princippet med indbygning af redningsstationer med denne afstand er uændret, se igen [Figur 17](#). Redningsstationerne ved hver kyst er ligeledes uændrede.

Begge tunneler ventileres med impuls ventilatorer efter længdeventilations princippet og har derudover røgudsugning fra redningsstationerne – helt svarende til situationen for den rene tunnelløsning. Røgudsugningsanlæggene har gunstigere forhold, fordi røgen ikke skal transporteres så langt. Kanaltværsnittet kunne derfor i princippet gøres lidt mindre, men det er dog valgt ikke at tage hensyn til dette i anlægsoverslaget.

Tunnelportalerne på de to øer bør udformes således, at kortslutning af luft mellem udkørsels- og indkørselsportalen minimeres. Dette kan f.eks. ske ved at forsætte de to portaler med en afstand på min. 30-50 m.

7. TVÆRSNIT

Inden undersøgelserne af anlægskoncepterne detaljeres, gennemføres en indledende vurdering af mulige tværsnit.

For at kunne finde de mest egnede tværsnitprofiler, er der undersøgt en bred variation af forskellige profiler, der alle lever op til de mest grundlæggende funktionelle krav. En del af disse profiler har en eller flere ulemper, der vil gøre dem uegnet til et projekt som dette. I dette kapitel nævnes kun de profiler, der anses for at være de mest egnede, samt en kort beskrivelse af årsagerne til at andre profiler er fravalgt.

Som udgangspunkt ønskes det at finde et tværsnitsprofil for følgende løsninger:

- Boret tunnel til regionaltog
- Boret tunnel til metro
- Sænketunnel til regionaltog (Øresundstog/IC3 tog er brugt som reference)
- Sænketunnel til metro
- Brotværsnit til metro

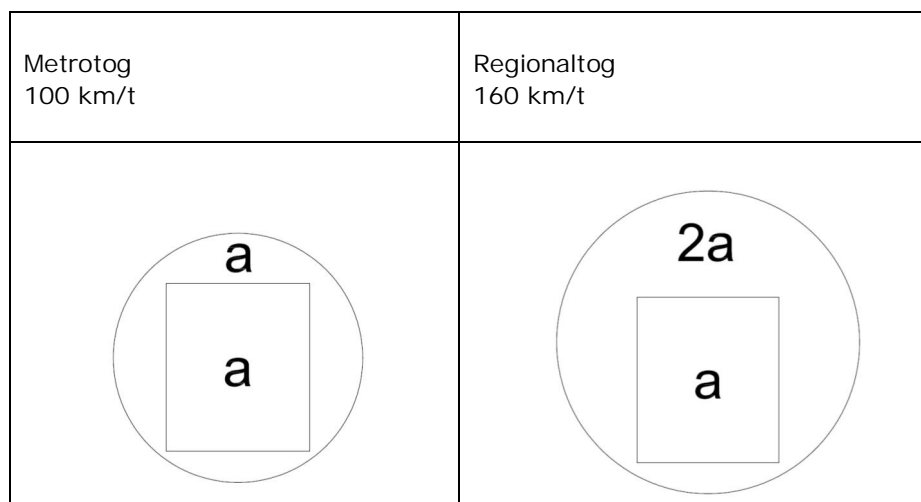
Som det blandt andet er beskrevet i afsnit 6.2 er der nogle funktionelle krav til et tværsnit ud over, at der skal være plads til tog.

Hvis der ses bort fra tunnellængde, ventilation og redningsveje og kun røret, som toget skal være i betragtes, er der generelt tre parametre, der er bestemmende for tunnelrørets størrelse.

- Togets hastighed.
- Togets frirumsprofil
- Togets strømforsyning

For at kunne optimere tunneltværsnittet mest muligt, er det nødvendigt at undersøge hvilke parametre, der er udslagsgivende for de ønskede togtyper. Det gøres ved at kigge på togtypernes indbyrdes tværsnitsprofil. Derudover skal opmærksomheden henledes på togets hastighed, da en øget hastighed vil medføre behov for et større tunneltværsnit, for at undgå gene for passagerne. Generne skyldes det overtryk, der opbygges i røret foran toget, og det undertryk der opbygges bagved toget, når toget passerer tunnelen. Trykket er afhængigt af togets hastighed og forholdet mellem togets areal og det frie areal. Derfor kræves relativt større areal for regionaltoget end for metroen.

Der er gennemført en indledende grov analyse af tunneltværsnittet for Cityringen og frontarealet for de københavnske metrotog. I stedet for Cityringens tunnellængde er i analysen benyttet en tunnellængde som den her aktuelle. Resultatet er at et forhold på $2a/a = 2$ (hvor a er togets tværsnitsareal) ikke vil give problemer. Alle de nedenfor undersøgte tværsnit har et større forhold mellem togtværsnit og tunneltværsnit.



Figur 27: Krævede forhold mellem det frie areal i tunnelrøret og togets profil.

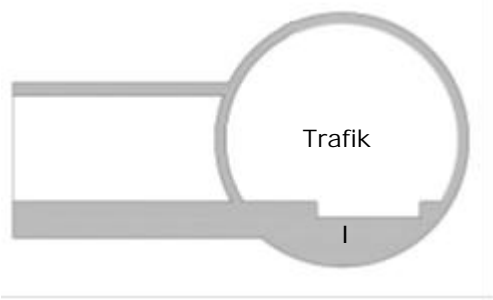
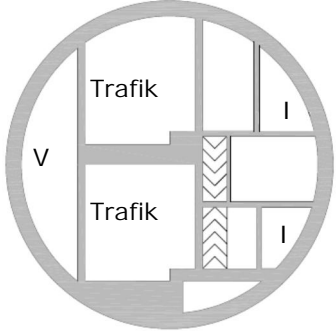
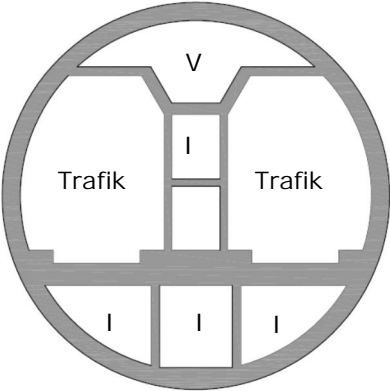
Den sidste faktor, der primært gør sig gældende, er den måde hvorved toget forsynes med strøm. De danske metrotog får deres strømforsyning via det der kaldes for "den 3. skinne". Denne skinne er placeret ved siden af toget og forsyner toget med en jævnstrøm på 750 volt. Regio-

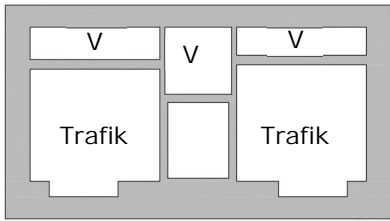
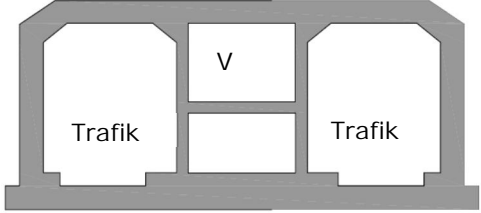
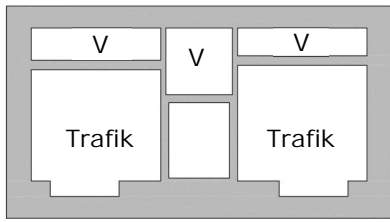
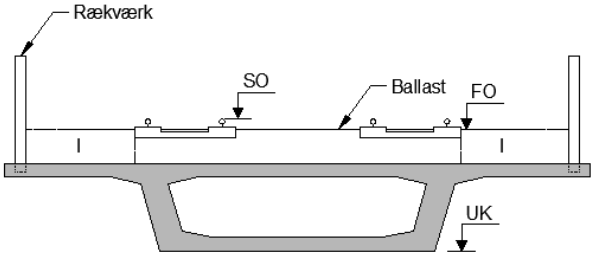
naltog derimod får deres strøm via en pantograf, der optager strømmen fra ophængte køreledninger.

Gældende regler foreskriver, at grænsen for hvornår der må benyttes 3. skinne, er ved grænsen til højspænding, dvs. 1000 volt, og da metrotog benytter 750 volt kan de benytte 3. skinne mens regionaltogenes 25.000 Volt i Danmark og 15.000 Volt i Sverige gør, at de skal benytte pantograf. Dette betyder at metrotogene kræver en tunnelhøjde på ca. 4,5 meter, mens pantografen gør, at regionaltogene kræver en højde på ca. 6,8 meter, forudsat der benyttes et køreledningsanlæg som det pt. af Banedanmark benyttede. Disse forudsætninger er benyttet i nærværende undersøgelse. I senere faser bør det undersøges om der er mulighed for at benytte en strømskinne under loftet som kørestrømsforsyning, på samme måde som S-togene gør mellem Østerport og Københavns Hovedbanegård. På Femerntunnelen arbejdes der med en sådan løsning.

Dette betyder, at tunnelens tværsnitprofiler i høj grad er bestemt ud fra andre krav end togets faktiske størrelse. I tabellen nedenfor er vist typiske tværsnitløsninger for boret tunnel og sænk-tunnel.

Brotværsnittet er valgt som værende en bjælkebrosløsning, da sådan en løsning typisk vil egnet i områder hvor vanddybden er beskeden.

Beskrivelse	Tværsnitprofil	Fordele/ulemper
<p>Boret tunnel, Regionaltog, to tunnelrør Løsning 1:</p> <p>8,1 m id 8,8 m yd 17,7 m³/m beton*</p> <p>To-rørs løsning, med et tog i hvert rør, kræver dog tværtunneler pr. ca. 300 m</p>		<p>Lille tværsnit.</p> <p>Der skal benyttes tværtunnel til redning, installationer mv.</p> <p>Ventilationen er langsgående og det kræver en ventilationsø.</p>
<p>Boret tunnel - Metrotog, et tunnelrør Løsning 2:</p> <p>12,0 m id 13,2 m yd 42,7 m³/m beton</p> <p>Et-rørs løsning med lille tværsnit, hvor togene er placeret oven på hinanden.</p>		<p>Plads til begge tog, redning, ventilation og installationer i samme rør.</p>
<p>Boret tunnel – Regionaltog, et tunnelrør Løsning 3:</p> <p>14,5 m id 15,9 m yd 60,0 m³/m beton</p> <p>Et rørs løsning med stort tværsnit og jernbanerne placeret ved siden af hinanden.</p>		<p>Plads til begge tog, redning, ventilation og installationer i samme rør.</p> <p>Stort tværsnitareal.</p>

<p>Sænketunnel - Metrotog Løsning 4</p> <p>14,0 m bred 7,7 m høj 45,3 m³/m beton</p> <p>Sænketunnel med lille tværsnit til metrotog</p>		<p>Lille tværsnit med ventilation og redning i samme rør. Større installationer er forudsat installeret i specialelementer.</p>
<p>Sænketunnel- Regionalto Løsning 5</p> <p>19,9 m bred 9,2 m høj 64,9 m³/m beton</p> <p>Sænketunnel med stort tværsnit til regionalto</p>		<p>Stort tværsnit med ventilation og redning i samme rør. Større installationer er forudsat installeret i specialelementer.</p>
<p>Kombineret Sænketunnel/bro - Metrotog Løsning 6</p> <p>Sænketunnel: 14,0 m bred 7,7 m høj 45,3 m³/m beton</p> <p>Sænketunnel med lille tværsnit til metrotog</p>		<p>Stort tværsnit med ventilation og redning i samme rør. Større installationer er forudsat installeret i specialelementer.</p>
<p>Bjælkebro: 11,0 m bred 1,65 m høj</p> <p>Lavbro til metrotog</p>		<p>Fortov udgør flugtvej Større installationer forudsættes placeret under fortov</p>
<p>id = indvendig diameter yd = yder diameter * uden tværtunneler V = Ventilation I = Installationer Trafik = Trafikrør SO = Skinne overkant UK = Underkant FO = Fortov overkant</p>		

Tabel 9: Tværsnitsløsninger

7.1 Boret tunnel, regionalto, to tunnelrør, Løsning 1

I løsningsforslag 1 er to separate tunnelrør boret parallelt med hinanden. Hvert rør indeholder et trafikrør med en jernbane. Dette gør, at det er muligt at holde et lille tværsnit, hvilket medfører, at jordmængden, der skal håndteres, er væsentligt mindre end hvis man havde et stort rør. Derudover vil det mindre tværsnit reducere udgiften til tunnelboremaskinen. Dog vil der skulle benyttes 4 stk. i stedet for kun de to, der er nødvendige ved en et-rørs løsning.

4 stk. boremaskiner sikrer omtrent samme anlægstid som en ét-rørs løsning udført med 2 maskiner.

Det er muligt at komme ud af toget på begge sider, og på den ene side er der placeret et sikkerhedsområde i form af en gang placeret parallelt med tunnelrøret. Ved denne løsning vil det dog

være nødvendigt, at have tværtunneler mellem de to rør, som vil blive placeret for hver 300 meter.

Der er placeret et rum til kabelføring umiddelbart over persongangen, men rum til installationer som pumper osv. vil skulle placeres i tværtunnelerne. Dvs. at tværtunnelerne således skal kunne benyttes både ved almindelig vedligeholdelse og i nødsituationer.

Som tidligere beskrevet kræves der ved denne løsning også anlæggelse en ø midt i Øresund, da der i modsætning til de andre løsninger, alene er anlagt længdeventilation og ingen røgkanal.

7.2 Boret tunnel, metro, et tunnelrør, Løsning 2

Løsning 2 er et boret tunnelrør med trafikrørene med jernbanerne liggende ovenover hinanden, dvs. med et betondæk, der spænder på tværs i rørets akse og som bærer det øverste tog. Løsningen med jernbanen placeret over hinanden er ideel for metrotog, da de i modsætning til regionaltog, får leveret deres kørestrøm via en skinne ved siden af toget. Derfor har de ikke en pantograf som regionaltogene. Dette betyder, at de har behov for væsentligt mindre plads i højden. Både på øvre og nedre dæk er der flugtvej pr. 100 meter, dog med kortere afstand i områder defineret som redningsstationer. Flugtvejen fører til et afskærmet siderør, der ligger parallelt med jernbanen. Siderøret etableres i hele tunnelens længde og forbinder de to jernbanerør, men det er dog ikke muligt at have kørende materiel i siderørene. I rørets højre side er der placeret et rum løbende i hele tunnelens længde med plads til samtlige installationer. Under installationsgangen ligger et rum til kabelføringen. I venstre side af røret er der afsat 15 m² til langsgående ventilation.

Afstanden mellem nøddørene er i denne løsning kortere end for løsning 1 alene på grund af den relativt beskedne udgift der er forbundet med etablering af en ekstra forbindelse i denne løsning.

Denne løsning er karakteriseret ved dels en relativ stor tunneldiameter, samt at der skal udføres omfattende konstruktionsarbejder i tunnelen efter at selve tunnelrøret er etableret. Udførelsen af konstruktionerne i tunnelen stiller krav til logistikken til forsyning af tunnelboremaskinerne.

7.3 Boret tunnel, regionaltog, et tunnelrør, Løsning 3

Løsning 3 er en boret tunnel med to trafikrør med jernbanelinjer liggende parallelt med hinanden. Mellem de to jernbaner er placeret et rum, der fungerer som sikkert område, med flugtsvejsdør pr. 100 meter fra hvert af de to rør. I områder defineret som redningsstation vil afstanden dog være væsentlig kortere. Umiddelbart under flugtsvejsgangen er der placeret tre korridorer hvor der er plads til installationer, kabelføring, pumper osv. I det midterste af disse tre rum, vil det evt. være muligt at kunne foretage servicekørsel i små specialbiler. I rørets top er der afsat et område på 15 m² til ventilation. Denne løsning er særligt egnet til regionaltog, hvilket skyldes at regionaltog får sin kørestrøm med pantograf og kræver således stor højde (ca. 7 meter). Det vil derfor ikke være fordelagtigt at placere togene over hinanden, da det alene er pga. togenes højde, inkl. indre dæk, vil være nødvendigt med en indre diameter på op til 15-16 m.

Denne løsning er også karakteriseret ved dels en relativ stor tunneldiameter, samt at der skal udføres omfattende konstruktionsarbejder i tunnelen efter at selve tunnelrøret er etableret. Udførelsen af konstruktionerne i tunnelen stiller krav til logistikken til forsyning af tunnelboremaskinerne.

7.4 Sænketunnel, metro, Løsning 4

Løsning 4 er en sænketunnel for metrotog med de to trafikrør med jernbaner placeret parallelt med hinanden. I midten mellem de to trafikrør er placeret en lang gang, som fungerer som sikkert område i forbindelse med en evt. ulykke. Der er adgang til det sikre område for hver 100 meter i hvert trafikrør. I områder defineret som redningsstation vil afstanden dog være kortere. I toppen af tunneltværsnittet er placeret et rum med et samlet areal på 15 m², som er afsat til ventilation. For hver ca. 2 km er der et specielt sænkeelement, der skal indeholde pumper samt pumpepumpe, transformere osv. Disse specialelementer vil være højere og/eller bredere end tværsnittet vist i denne rapport, hvorved den ekstra plads der er nødvendig af hensyn til installationerne tilføres. Kabler er placeret i en kabelgrav umiddelbart under flugtsvejsgangen og i jernbanerørene.

7.5 Sænketunnel, regionaltog, Løsning 5

Løsning 5 er en sænketunnel for regionaltog med to trafikrør liggende parallelt med hinanden. Mellem de to trafikrør er der placeret en bred flugtvej, hvortil flugtsvejsdøre er placeret for hver

100 meter fra hver af de to trafikrør. Over redningsvejen er der afsat et areal på 15 m² til ventilation. Det vil i tværsnittet være muligt at foretage redning med specialkøretøjer i redningsvejen. Tilsvarende løsning 4, vil der også her skulle etableres specialelementer med plads til de større installationer.

7.6 Sænketunnel-Lavbro, Metro, Løsning 6

Løsning 4 antages at være gældende for sænketunnelen i denne løsningsmodel. I overgangen mellem sænketunnel og bro etableres som tidligere nævnt ramper, startende med minimum samme bredde som tunnelens. Ramperne konstrueres på kunstige øer, nærmere beskrevet i Bilag 9.

Broen udføres som en traditionel bjælkebro mellem de to øer nord om Saltholm. Den etableres i et lavvandet område, med en længde på ca. 7,2 km (eksklusiv ramper) startende og sluttende i kote +3,5 m. Broen er nærmere beskrevet i Bilag 8.

8. ANLÆGSOVERSLAG

Anlægsoverslagene er generelt udarbejdet ved, at der er skønnet mængder for de enkelte løsninger. Disse er så sammenholdt med erfaringsmæssige enhedspriser. På dette tidlige stade vil det i de fleste tilfælde være priser pr. meter tunnel, pr. meter spor etc. Der er så tillagt skønnede omkostninger til dækkende arbejdsplads, projektering og byggeledelse. Endelig er tillagt et generelt korrektionstillæg der tager højde for projektets tidlige stade.

8.1 Boret tunnel

Der er i nærværende rapport udregnet overslag for tre forskellige typer af borede tunnelprofiler. Som udgangspunkt kan det synes fordelagtigt at udføre et anlæg med to små tunnelrør, da dette vil nedsætte mængden af udgravet jord drastisk. Dog bliver denne løsning besværliggjort af det faktum, at to rør vil kræve mange tværtunneler samt en ventilationsø, for at kunne leve op til sikkerhedskonceptet.

Derfor undersøges en løsning med to-rør kun for regionaltogsløsningen, da der ved denne løsning blot vil være brug for en enkelt rednings-/ventilationsø. Dette skyldes at de vurderede anlægsomkostninger til en ø i Øresund, der både vil kunne fungere som ventilations- og redningsø, vil kunne holdes på et niveau, hvor to-rørs løsningen stadig kan konkurrere med en et-rørs løsning.

Ved bestemmelse af tværsnit for en et-rørs løsning, er det nødvendigt at kigge på ovenfor beskrevne parametre. Pantografen er det udslagsgivende element for regionaltogsløsningen med den krævede frihøjde på 6,8 meter. Det vil være uhensigtsmæssigt at placere regionaltog over hinanden, da dette vil øge den krævede tunneldiameter. Ved metroløsningen derimod, er det togenes bredde, der afgør rørets dimension, hvorfor en løsning, hvor togene placeres over hinanden, vil muliggøre en optimering af tunneldiameteren.

8.1.1 To-rørs boret tunnel til regionaltog (160 km/t) – Løsning 1

Såfremt en to-rørs løsning skal kunne leve op til de sikkerhedsmæssige standarder, vil det kræve at der bliver etableret en tværtunnel mellem de to rør, for hver ca. 300 meter. Afstanden mellem de to tunnelrør er forudsat som 1,5 gange tunneldiameteren. Tunnelerne er indregnet som sikkert område, og skal derfor være store nok til at man bekvemt kan færdes i dem ved en evt. ulykke. Hver 5. tværtunnel er specielt indrettet med en sådan størrelse at den kan indeholde installationer, pumper osv. Dette ekstra tunnelarbejde i forbindelse med tværtunnelerne vil medfører at den gennemsnitlige borehastighed for TBM'erne er ca. 7 meter om dagen. Med en tunnel-længde som her er der for at opnå en sikker gennemførelse af projektet og en sammenlignelig udførelsestid forudsat, at der benyttes minimum 4 tunnelboremaskiner (TBM), hvilket giver en boreperiode på ca. 1600 dage dvs. mellem 4 og 4½ år. Hertil kommer tid til inddrivning, baneopbygning og færdiggørelse samt mobilisering/demobilisering mv., og denne periode forventes at være på ca. 3,5 år. Altså er et groft skøn af den totale anlægstid, fra byggekontrakten er underskrevet, til tunnelen åbnes for drift, ca. 8 år.

Fordelene ved de små diametre på tunnelrørene er, at tykkelsen på foringen holdes nede, men som følge af tværtunnelerne, er det stadig en stor andel af den samlede udgift, der går til beton og mørtel. Dernæst er posten til TBM'erne af betydelig størrelse, dette skyldes at selv om tunneltværsnittet er lille, så er der betydelige ekstraomkostninger ved at have 4 mindre TBM'ere frem for 2 store.

Anlægsoverslaget fremgår af Tabel 10, mens flere detaljer fremgår af Bilag 10.

8.1.2 Et-rørs boret tunnel til Metro (100 km/t) – Løsning 2

En et-rørs boret løsning til metrotog kombinerer fordelene ved at en ø ikke er nødvendig, med fordelene ved et moderat tværsnit. Ved denne løsning holdes mængden af beton og mørtel nede, selvom det stadig udgør en anseelig del af det samlede overslag. Derudover betyder det begrænsede tværsnit og det ene rør, at det kun er nødvendigt at benytte to TBM'ere. Da der ikke skal etableres tværtunneler, vil der gennemsnitligt kunne bores ca. 10 meter pr. dag, svarende til en samlet boreperiode på ca. 1.100 dage, eller 3 år. Den totale anlægstid bliver da ca. 6,5 år.

Anlægsoverslaget fremgår af Tabel 10, mens flere detaljer fremgår af Bilag 11.

8.1.3 Et-rørs boret tunnel til regionaltog (160 km/t) – Løsning 3

Som en direkte konsekvens af den større diameter, der er nødvendig for regionaltogene, er omkostningerne til mørtel/beton steget. Dette skyldes til dels den øgede omkreds, samt at tykkelsen på tunnelforingen skal øges ved øget diameter. Omkostningerne til TBM'erne øges ligeledes ved øget diameter. De øvrige anlægsomkostninger er stort set de samme som ved metroløsningen, på nær skakten, som er kortere ved metroløsningen.

Med to TBM'ere forventes en samles boreperiode på ca. 1100 dage, svarende til 3 år, og en total anlægstid på ca. 6,5 år.

Anlægsoverslaget fremgår af Tabel 10, mens flere detaljer fremgår af Bilag 12.

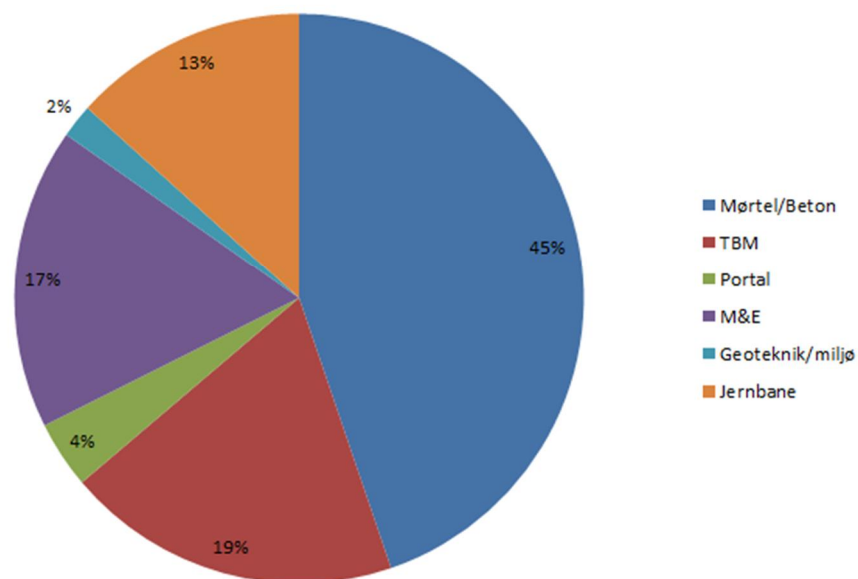
8.1.4 Anlægsoverslag for borede tunnelløsninger

		Boret tunnel		
		Løsning 1 2-rør regionaltog m. Ø	Løsning 2 1-rør metro	Løsning 3 1-rør regional- tog
Mørtel/Beton	[M DKK]	5300	4700	5700
TBM	[M DKK]	3500	2000	2200
Skakte/portaler	[M DKK]	1000	400	900
M&E	[M DKK]	1800	1800	1800
Geoteknik	[M DKK]	200	200	200
Jernbane	[M DKK]	1400	1400	1400
Tværtunneler	[M DKK]	1100		
Ventilationsø	[M DKK]	600		
Delsum		14900	10500	12200
Arbejdsplads	[M DKK]	1200	800	1000
Projektering	[M DKK]	2200	1600	1800
Byggeledelse	[M DKK]	1200	800	1000
Anlægsoverslag	[M DKK]	19500	13700	16000
Korrektionstillæg		9800	6900	8000
Budgetoverslag		29300	20600	24000

Tabel 10: Anlægsoverslag for borede tunnelløsninger

I Figur 28 nedenfor er indikeret en fordeling mellem posterne i anlægsoverslaget. Figuren er for en 2-rørs-løsning for en regionaltogetsforbindelse, men afviger ikke meget for de andre forslag.

2 - TBM metro



Figur 28: Anlægsoverslag - boret tunnel

Af oversigten fremgår, at boremaskinerne og betonkonstruktionerne er de dominerende elementer.

8.2 Sænketunnel

I modsætning til en boret tunnel, er det ikke muligt for en sænketunnel at gå i en ret linje fra København til Malmø, da Saltholm og Saltholms fredede omgivelser ikke tillader det. Dette medfører at sænketunnelen bliver ca. 5 % længere end den borede tunnel. Der er naturligvis betydelige omkostninger ved at skulle udføre de yderligere 1,6 km, som sænketunnelen er længere end den borede. Fordelen ved en sænketunnel er, at den måske er knap så risikobetonet, som en boret tunnel, og er derfor nemmere at styre udførings og planlægningsmæssigt. De små vanddybder nord for Saltholm gør dog placeringen af sænketunnelementerne vanskeligere idet al sejlads skal foregå i den smalle gravede rende.

8.2.1 Sænketunnel for metro (100 km/t) – Løsning 4

Hvis en boret tunnelloøsning sammenlignes med denne sænketunnel, ses det er det omkostningsmæssige udslag er i områderne M&E og jernbane. Disse to områder er direkte forbundet med tunnelens længde, da mængderne per meter er nøjagtig de samme for både boret og sænketunnel i et givent tværsnit.

Der forventes at medgå ca. 1050 dage til produktion og placering af sænketunnelen, svarende til ca. 3 år. Hertil kommer baneopbygning og færdiggørelse samt mobilisering/demobilisering mv, og denne periode forventes at være på ca. 3 år. Altså er er groft skøn af den totale anlægstid, fra byggekontrakten er underskrevet, til tunnelen åbnes for drift, ca. 6 år.

Anlægsoverslaget fremgår af Tabel 11, mens flere detaljer kan findes i Bilag 13.

8.2.2 Sænketunnel for regionaltog (160 km/t) – Løsning 5

Den forøgede længde på 1 km bemærker sig ligeledes her ved at medføre større udgifter til M&E og jernbane end for den tilsvarende borede løsning.

Der forventes at medgå ca. 1050 dage til produktion og placering af sænketunnelen, svarende til ca. 3 år, og en total anlægstid på ca. 6 år

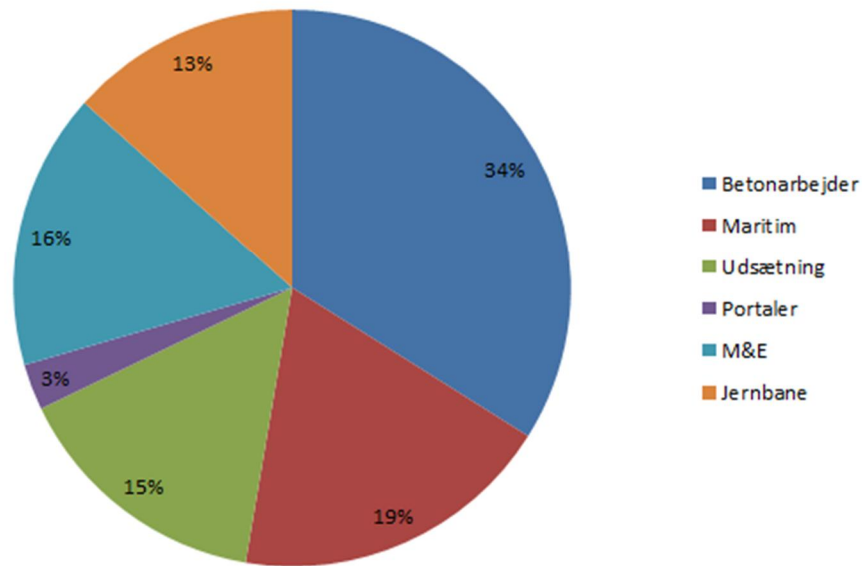
Anlægsoverslaget fremgår af Tabel 11, mens flere detaljer kan finde i Bilag 14.

8.2.3 Anlægsoverslag for sænketunnel

		Sænketunnel (IMT)	
		Løsning 4 (Metro)	Løsning 5 (Regional tog)
Mørtel/Beton	[M DKK]	3800	4800
Maritim	[M DKK]	2100	2700
Udsætning	[M DKK]	1700	1800
Skakte/portaler	[M DKK]	300	500
M&E	[M DKK]	1800	1800
Jernbane	[M DKK]	1500	1500
Delsum		11200	13100
Arbejdsplads	[M DKK]	900	1000
Projektering	[M DKK]	1700	2000
Byggeledelse	[M DKK]	900	1000
Anlægsoverslag	[M DKK]	14700	17100
Korrektionstillæg	[M DKK]	7400	8600
Budgetoverslag	[M DKK]	22100	25700

Tabel 11: Anlægsoverslag for sænketunnelloøsninger

4 - IMT metro



Figur 29: Anlægsoverslag - Sænketunnel

8.2.4 Anlægsprincipper

I de ovenfor omtalte sænketunnelløsninger forudsættes tunnelen etableret på samme måde som ved den kommende Femern tunnel. Der forudsættes således at der med jævne mellemrum benyttes specielle elementer, hvor tekniske installationer kan placeres. Elementerne forudsættes produceret i nærområdet dvs. et sted i Øresund. I overslagene er medtaget udgifter til etablering af et nyt produktionsanlæg. Det kan på et senere tidspunkt overvejes om det kan være hensigtsmæssigt at benytte produktionsanlægget for Femern tunnelen, dette kræver dog at tidsplanerne for de to projekter passer sammen.

8.3 Sænketunnel-Lavbro

Selve grundprincipperne for udførelse af sænketunnelen er uændrede i forhold til løsning 4 og 5, og linjeføringen og den samlede længde af bro og sænketunnel på ca. 23 km er ligeledes uændret.

8.3.1 Kombineret sænketunnel/lavbro for metro (100 km/t) – Løsning 6

Ved denne løsning går kun en mindre del af omkostningerne til udførelse af de to øer inklusiv ramper ved overgang fra sænketunnel til bro, så den lavere pris per løbende meter for broen sammenlignet med sænketunnelen, resulterer i at kombinationen af sænketunnel og bro er økonomisk mere fordelagtig end sænketunnel alene.

Med hensyn til produktionstiden på brodelen, forudsættes det at arbejdet udføres fra begge sider samtidigt, hvilket medfører et forventet tidsforbrug på 2-3 uger for hver 100 meter bro. Det samlede produktionstid for brodelen bliver derved ca. 1260 dage eller ca. 3,5 år. Produktionstiden for sænketunneldelen forbliver nogenlunde den samme som ved de øvrige sænketunneler, ca. 950 dage eller ca. 2 ½ år, hvilket skyldes at der anvendes 6 produktionslinjer i stedet for de 8 produktionslinjer, som er anvendt ved de løsninger hvor der sænketunneler hele vejen.

Baneopbygning og færdiggørelse samt mobilisering/demobilisering mv., forventes at have en varighed på ca. 3 år. Altså er et groft skøn af den totale anlægsperiode ca. 6,5 år.

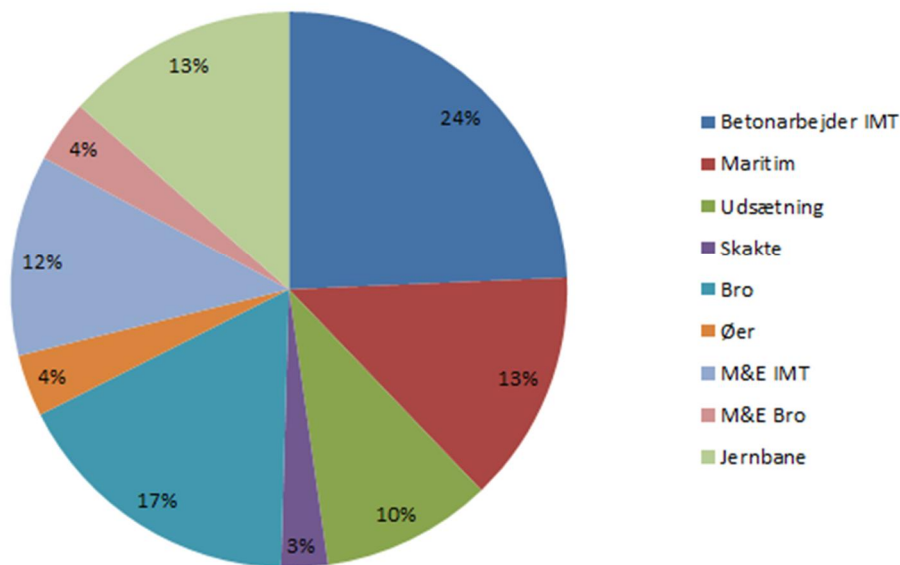
Anlægsoverslaget fremgår af Tabel 11, mens flere detaljer kan findes i Bilag 15.

8.3.2 Anlægsoverslag for Kombineret sænketunnel/lavbro

		Kombineret sænketunnel/lavbro
		Løsning 6 (metro)
Mørtel/Beton	[M DKK]	2700
Maritim	[M DKK]	1500
Udsætning	[M DKK]	1100
Skakte	[M DKK]	300
Bro	[M DKK]	1900
Øer	[M DKK]	400
M&E IMT	[M DKK]	1300
M&E Bro	[M DKK]	400
Jernbane	[M DKK]	1500
Delsum		11100
Arbejdsplads	[M DKK]	900
Projektering	[M DKK]	1700
Byggeledelse	[M DKK]	900
Anlægsoverslag	[M DKK]	14600
Korrektionstillæg		7300
Budgetoverslag		21900

Tabel 12. Anlægsoverslag for kombineret sænketunnel/lavbro

6 - IMT/Bro metro



Figur 30. Anlægsoverslag - kombineret sænketunnel/lavbro

8.3.3 Anlægsprincipper

Anlægsforholdene er kendetegnet ved, at der bygges på åbent vand, men i områder med lave vanddybder. Byggeri på lavt vand kan foregå via interimsbroer udført f.eks. på træpæle. Men med den givne længde vil det i stedet være oplagt at fremstille specialudstyr, som kan fremføres som en kombination af at flyde på de større vanddybder og køre på bunden på de lavere vanddybder.

Vederlag kan bygges på traditionel vis og fundamenter og piller kan etableres i spunsede byggegruber, som tørholdes. Form og armeringsnet kan delvis præfabrikeres og løftes på plads hvorefter fundamenter og piller kan støbes in situ.

Overbygningen vil kunne støbes in situ i det fulde tværsnit eller som en kombination af præfabrikerede bjælker og en in situ støbt plade. Vedligeholdelsesmæssigt er et kompakt tværsnit med så lidt overflade som muligt, der er eksponeret for skumsprøjt, at foretrække.

8.4 Vurdering af anlægsoverslag

Anlægsoverslagene fremkommer som fysikestimer, hvor den samlede pris er fundet på baggrund af de fundne mængder. Dertil er lagt nogle vurderede omkostninger samt en usikkerheds-/korrektionsfaktor svarende til det nuværende projektstade.

Resultatet af overslagene er sammenfattet i tabellen herunder.

Tunnel-løsning	Beskrivelse	Dimensioner	Anlægsoverslag inkl. 50%
Løsning 1	Boret tunnel for Metro-tog (1 rør)	Længde = 22km Ydre diameter = 13,2m	21 mia. DKK.
Løsning 2	Boret tunnel for Regionaltog (1 rør)	Længde = 22km Ydre diameter = 15,9m	24 mia. DKK.
Løsning 3	Boret tunnel for Regionaltog (2 rør)	Længde = 22km Ydre diameter = 8,8m	29 mia. DKK.
Løsning 4	Sænketunnel for Metro-tog	Længde = 23km Ydre dimensioner = 14x7,7m	22 mia. DKK.
Løsning 5	Sænketunnel for Regionaltog	Længde = 23km Ydre dimensioner = 19,9x9,2m	26 mia. DKK.
Løsning 6	Sænketunnel-Lavbro for Metro	Længde = 23 km Ydre dimensioner tunnel = 14x7,7m	22 mia. DKK.

Tabel 13: Resultat af anlægsoverslagene.

Det generelle billede er, at det vil være billigere at anlægge en metroforbindelse end en regional-togsforbindelse, ligesom det også vurderes at være billigere at etablere en boret tunnel fremfor en sænketunnel (se kapitel 9). Forskellen er dog, usikkerheden på dette foreløbige stade taget i betragtning, yderst minimal. Usikkerheden skyldes til dels det relativt lave detaljeringsniveau der arbejdes med på dette tidspunkt, men også usikkerheden om de geologiske forhold.

Det er dog sikkert, at tunnelerne vil placeres på, eller nede i kalken. Ved en boret tunnel bores gennem kalken i hele linjeføringen, og hastigheden for udførelsen samt risikoen forbundet med dette arbejde er derfor i meget høj grad afhængig af, at de geologiske forhold kendes til fulde. Som eksempel på dette kan nævnes det kendte uheld i forbindelse med boringen af tunnelen under Storebælt. Der blev uventet ramt et vandførende lag på en enkelt lokalitet, en hændelse der i sig selv medførte en forsinkelse på ca. 10 måneder. Oprindeligt var den samlede tunnelboring skønnet til at tage 15 måneder, men grundet det nævnte uheld og andre hændelser, blev boringen næsten 4 år forsinket.

9. DRIFT OG VEDLIGEHOOLD

Forhold omkring service, drift og vedligehold er kun behandlet meget overordnet i denne rapport. Dog skal de vigtigste antagelser angives. Det er en forudsætning at service af installationer og vedligehold af konstruktioner udføres fra et trafikrør.

9.1 Gennemførelse af service, drift og vedligehold

Det må forventes, at der i en tunnel af denne længde (uanset valg af løsning) vil skulle foregå service i tunnelen hver nat.

Adgang sikres med andre ord med et skinnebåret servicekøretøj, og selv ved mindre service vil det kræve en trafikal lukning af minimum det ene trafikspor, da det anses for værende urealistisk at gå fra skaktene i enderne af tunnelen. Et alternativ kunne være at etablere ekstra plads nede i tunnelen for adgang for et ekstra køretøj. Denne ekstra plads ville så kunne anvendes af service og eventuelt også redningskøretøjer.

Valget står således mellem at udføre en trafikforbindelse på mindst 22km, som er større end det reelt set er nødvendigt i forbindelse med almindelig drift, kontra at indføre nogle driftsmæssige begrænsninger i forbindelse med mindre serviceoperationer, som ikke nødvendigvis kræver at arbejderne opholder sig inde i trafiksporene.

I tunnelen under Storebælt gennemføres service ved at lukke et tunnelrør af gangen om natten og så vha. et troljetrukket arbejdstog at fordele arbejdshold til de aktuelle opgaver. Der arbejdes typisk nogle nætter i det ene tunnelrør og så på et andet tidspunkt på tilsvarende vis i det andet. Det er aftalt, at det skal forudsættes for undersøgelserne i denne rapport, at der accepteres driftsmæssige begrænsninger i forbindelse med service og vedligehold, og i det følgende vil kort blive redegjort for konsekvenserne af disse begrænsninger.

Ydelse	Med ekstra adgangsvej	Adgang via trafikspor
Inspicere/servicere transformere, pumper osv.	Ingen trafikal forstyrrelse.	Et trafikspor blokeres. Skal være natarbejde.
Service /vedligehold af skinner, installationer og konstruktioner i trafikspor	Et trafikspor blokeres. Skal være natarbejde.	Et trafikspor blokeres. Skal være natarbejde.

Tabel 14: Trafikale forstyrrelser ved tunnelvedligehold.

9.2 Trafikale konsekvenser på grund af drift og vedligehold

Konsekvenserne ved blokering af et trafikspor vil afhænge af om der betragtes en metroløsning eller en regionaltogets løsning. Forskellene i trafikkapacitet er angivet i tabellerne nedenfor.

Da der kan være tale om trafikmæssig blokering af det ene tunnelrør, kan det også være blokeret for redningskøretøjer, hvorfor der kun kan tillades at have et enkelt tog i røret ad gangen, således at det altid vil være muligt for et redningskøretøj at komme frem til toget.

Dette er under antagelse af, at der ikke er etableret transversaler nede i tunnelen, men at der etableres transversaler umiddelbart efter skaktene placeret på kysterne.

Metrotog

	Normal drift	Reduceret drift
Antal tog i tunnelen	8-9	1
Afgangsfrekvens	100 sek	30min
Passagerer kapacitet	36x120=4320 passagerer /time	240 passagerer /time

Tabel 15: Passagerkapacitet i metro ved fuld drift henholdsvis ét-rørs drift.

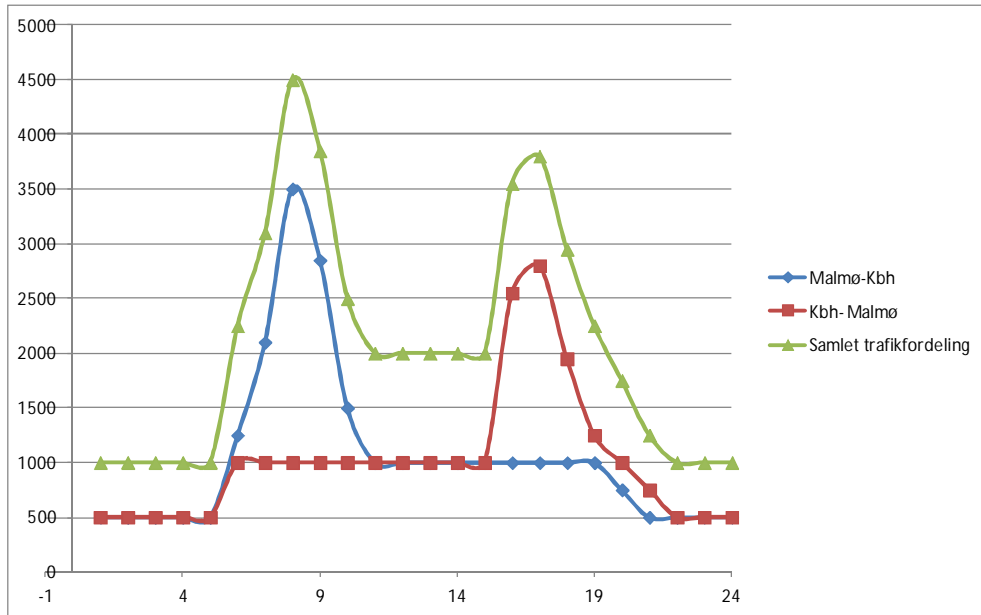
Regionaltog

	Normal drift	Reduceret drift
Antal tog i tunnelen	2	1
Afgangsfrekvens	5 min	20min
Passagerkapacitet	12x474=5688 passagerer /time	1422 passagerer /time

Tabel 16: Passagerkapacitet i regionaltogetsforbindelse ved fuld drift henholdsvis ét-rørs drift

Den reducerede kapacitet kan holdes op mod den forventede fordeling af passagerer over døgnet. Fordelingen er antaget at være identisk med den eksisterende togforbindelse over Øresund,

og jf. notat i bilag 1, skal en ny forbindelse dimensioneres til en middeldøgnbelastning på 50.000 passager. Fordelingen af passagerer er skitseret i figuren nedenfor.



Figur 31: Vurderet døgntrafikfordeling med 50000 passager (7% maks. trafik mod København om morgenen og 5,9% Maks trafik mod Malmø om eftermiddagen)

For metrotog vil drift i et enkelt spor kunne opretholde tilstrækkelig timetrafik (dog med betydeligt længere ventetider for passagerne end i normalsituationen) når trafikken mod både København og Malmø er mindre end 240 passager per time, mens det tilsvarende tal for regionaltoget er 1422 passager. Med natlig enkeltsporsdrift vil det således kun være muligt at opretholde tilstrækkelig kapacitet på en metroforbindelse ved at acceptere et antal stående passagerer. For regionaltoget vil det derimod være muligt at opretholde tilstrækkelig natlig kapacitet.

Det skal understreges, at der er tale om vurderede tal, og afvigelser vil kunne forekomme ved nøjere undersøgelser. Men vurderingen indikerer, at det vil være muligt at servicere tunnelkonstruktionen og installationerne om natten, uden alvorlige kapacitetsmæssige gener for trafikken.

Adgang med servicetog antages at ske fra et værkstedsområde.

9.3 Drift og vedligeholdelseskostninger, anlæg

De samlede årlige drift og vedligeholdelseskostninger til konstruktionerne angives ofte som en procent af de samlede anlægssomkostninger.

På samme måde som anlægsoverslaget på et så tidligt stade er forbundet med stor usikkerhed, vil et skøn over drift og vedligeholdelseskostningerne også være det.

Tabel 17 viser årlige drift- og vedligeholdelseskostninger for større anlægsprojekter.

Projekt	Anlægstype	Drift og vedligeholdelsesperiode efter etablering [år]	Drift/vedligeholdelse [% af anlægssum]
Busan-Geoje Fixed Link	Tilslutningsbroer	1-40	0,5
Farøbroerne	Bjælkebro og Skråstagsbro	1-25	0,4
Ny lillebæltsbro	Hængebro	1-40	0,7
Vejlefjord broen	Bjælkebrugerbro	1-30	0,4
Øresundsforbindelse	4 km sænketunnel	10-20	1,3
Guldborgsundtunnel	Sænketunnel, vej	1-22	1,4
Limerick Tunnel (PPP)	Sænketunnel, Cut and cover, vej	1-26	0,8

Tabel 17. Drift og vedligeholdelseskostninger af anlægssummen for bro- og sænketunnel anlæg.

Det anslåes således at de samlede drift- og vedligeholdelseskostninger vil svare til ca. 1% af anlægssummen for tunnel og lidt mindre for broen. Dette giver årlige drift og vedligeholdelseskostninger på ca. 150-300 mio. kr. afhængig af løsning.

9.4 Driftsomkostninger, rullende materiel

For at kunne skønne driftsomkostningerne for det rullende materiel er det nødvendigt også overordnet at skønne omfanget af forbindelsen i sin helhed.

Det er i den forbindelse antaget, at det samlede anlæg har en længde på 30 til 35 km (kyst – kyst delen samt 5 – 10 km på land). Det er forudsat at forbindelsen er i drift 20 timer i døgnet (fx fra kl. 05 til 01).

Med disse forudsætninger fås følgende investeringer i materiel.

	Metro	Regionaltog
Materielbehov, antal tog	40	10
Pris materiel pr. tog ¹⁾	45	130
Materiel, anslået investering	1800	1300
Depot og værksted, anslået investering	120	30
Samlet investering	2000	1500

¹⁾ Pris pr. tog i drift. For metro 1 togsæt og for regionaltog 2 togsæt

[Tabel 18: Investering i materiel, depoter og værksted, beløb anført i mio. dkk](#)

På tilsvarende vis skønnes de årlige driftsomkostninger. Der er medtaget personale så alle tog kan være bemandede.

	Metro	Regionaltog
Kørende personale, førere, ca. 550 kr/togtime	140	35
Kørende personale, togpersonale ca. 120kr/togtime	30	7
Energi til drift af materiel, ca. 4 kr/togsætkm	75	50
Vedligeholdelse inkl klargøring og rengøring, årligt, ca. 10 kr/togsætkm	185	125
Årlige driftsomkostninger	430	220

[Tabel 19: Årlige driftsomkostninger, rullende materiel, beløb anført i i mio. dkk](#)

10. SÆRLIGE FORHOLD OG RISICI

I dette afsnit sammenfattes nogle af de emner, der er nævnt under beskrivelsen af anlægspri-ncipperne for de forskellige løsninger. Formålet er at skabe et samlet billede af mulige usikkerheder, hindringer, udfordringer og risici for henholdsvis en boret tunnel og en sænketunnel. Risici og eventuelle afværgeforanstaltninger er ikke prissat i denne rapport, men forudsættes be-handlet nærmere i eventuelle fremtidige analyser.

Udgangspunktet vil være de løsninger, der ser ud til at være de mest økonomisk fordelagtige og dermed sandsynlige. For en boret tunnel vil udgangspunktet i dette afsnit således være en løs-ning baseret på et enkelt boret rør.

For en sænketunnel vil udgangspunktet være den viste linjeføring nord om Saltholm med et længdeprofil som angivet i Figur 16.

Den kombinerede sænketunnel-lavbro vil have nogle ekstra tilføjelser i forhold til en ren sænke-tunnel løsning, da den indeholder en lavbro og to kunstige øer.

10.1 Boret tunnel

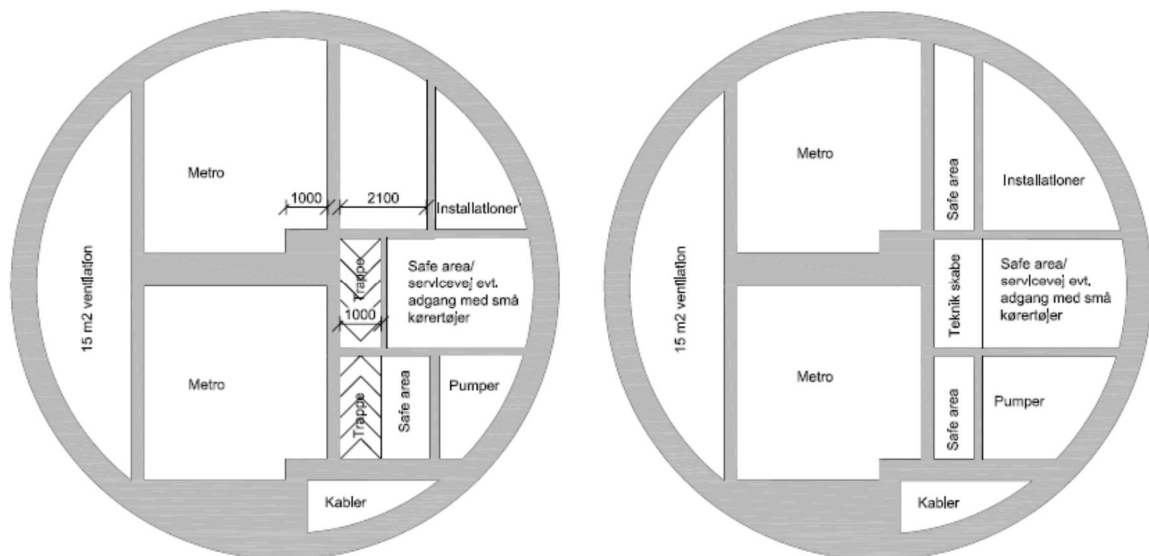
10.1.1 Længde af tunnel

Selve længden af tunnelen er ikke nødvendigvis et risikomoment, men med udgangspunkt i at der skal bores med 2 tunnelboremaskiner, bliver responstid iforhold til en ulykke der indtræffer nær borefronten nødvendigvis lang. Særligt i de senere faser, hvor den borede strækning er fremskreden. Der ligger også delvist en risiko i den omstændighed, at tunnelen placeres under åbent vand. Højpermeable zoner i kalken kan blive en udfordring, og føre til reduceret drift i luk- ket modus i tilfælde af at der bores med EPB maskine (som eksempelvis ved anlæggelse af den eksisterende metro i København, fjernvarmetunnelen i København, samt Malmø Citytunnel).

Hvis der går noget galt under boringen, vil der ikke være adgang til boremaskinen fra terræen, og der kan derfor heller ikke sænkes en ny boremaskine ned i en ny skakt. Omvendt er vanddybden lille, og der er ingen anlæg (bygninger mm) i vejen for at tørlægge et område og nå tunnelen fra oven ved skaktgravning.

10.1.2 Anlægsteknik

Tværsnittet for den borede tunnel kræver, hvilket fremgår af figuren nedenfor, at der først bores og etableres en ydre tunnelforing, hvorefter alle indre konstruktioner skal etableres.



Figur 32: Ydre og indre konstruktioner i boret tunnel, til venstre tværsnit ved trapper, til højre tværsnit mellem trapper

De indre konstruktioner giver en del udfordringer tidsmæssigt og logistikmæssigt. Det drejer sig om blandt andet transportbånd for jord, ventilationskanaler for friskluftforsyning, strømforsyning, transport af betonelementer til tunnelforingen osv.

10.1.3 Miljø

Den primære faktor for miljøet vurderes at være den store mængde materiale fra boringen af tunnelen, som skal deponeres et sted. Det er sandsynligt at der vil anvendes en EPB type tunnel-boremaskine til borearbejdet, så det udgravede materiale vil kunne deponeres ubehandlet.

10.2 Sænketunnel

10.2.1 Længde af tunnel

Anlægsteknisk forventes ikke store udfordringer alene pga. længden af tunnelen, da det for en sænketunnel blot er et spørgsmål om at producere flere tunnelementer. Det må dog forventes, at der skal etableres et større antal specialelementer med plads til installationer som pumper og transformatorer mv. ligesom det er set på den kommende Femern forbindelse.

10.2.2 Anlægsteknik

Det vil være muligt at udføre tunnelbyggeriet fra både Sverige og Danmark, og at samle tunnelen ca. halvvejs, dvs. i området nordøst for Saltholm. Det relativt lavvandede område vil være ganske velegnet til udførelsen af samlingen mellem de to tunnelstrækninger, da dybden kan nås af dykkere, f.eks. for etablering af undervandsvejsning og andre nødvendige arbejder. En samling her vil dog også medføre ekstra udgravning, så tunnelementerne kan passere hinanden frem til samlingen. Det vil desuden være en udfordring for bugserbåde og andre fartøjer at skulle navigere i den smalle gravede rende omgivet af store områder med vanddybder mindre end 3 m nord for Saltholm.

De fleste indre konstruktionsdele er allerede i tunnelen, når den sejles ud, og anlægstekniske arbejder vil derfor være noget mere begrænsede i en sænketunnel end i den borede tunnel beskrevet ovenfor.

Anlægsteknisk vil etableringen af tunnelen således kunne gennemføres, men generne for omgivelserne er endnu ikke belyst, herunder generne for skibstrafikken ved krydsningen af sejlrenderne. Øresund er et meget trafikeret farvand, og der må derfor forudses nogle udfordringer ved planlægningen af udførelsestakten og heraf mulige krævede begrænsninger for entreprenøren for at tilgodese alle interessenter mest muligt.

10.2.3 Miljø

Et af argumenterne for at etablere en boret tunnel under Storebælt var de midlertidige miljømæssige konsekvenser en sænketunnel har for miljøet. De samme argumenter vil gøre sig gældende for en forbindelse under Øresund, ikke mindst da der endnu engang skal indhentes tilladelse til at arbejde i Natura2000 området ved Saltholm. De miljømæssige påvirkninger er i overordnede træk:

1. Lokal (midlertidig) ødelæggelse af havbunden pga. opgravet rende i havbunden.
2. Midlertidig forringelse af vandkvaliteten pga. opslæmmede materiale i vandet relateret til gravearbejdet i havbunden
3. Midlertidig forringelse af vandkvaliteten pga. opslæmmede materiale i vandet relateret til arbejde i forbindelse med tilfyldning omkring tunnelen
4. Forstyrrelse af dyrelivet i anlægsperioden, dvs. støj, vibrationer, lys mv.

Vurderingen er, at der vil kunne opnås tilladelse til at etablere endnu en sænketunnel under Øresund, men der må forudses nogle miljømæssige udfordringer.

10.3 Kombineret sænketunnel-lavbro

10.3.1 Længde af baneforbindelse

Den længste sammenhængende sænketunnel strækning vil i den kombinerede løsning være 11,6 km lang.

Anlægsteknisk set forventes der ikke store udfordringer relateret til denne længde. Det forventes, at der skal etableres et større antal specialelementer med plads til installationer som pumper og transformatorer mv. ligesom det er set på den kommende Femern forbindelse.

De kunstige øer nordvest og sydvest for Saltholm forventes at blive ændret både i form og i længde når yderligere analyser af strømning betragtes.

Det forventes at der på lavbroen også vil være specialelementer med plads til installationer som pumper og transformatorer mv.

10.3.2 Anlægsteknik

Det må forventes at tunnelbyggeriet udføres fra både Danmark og Sverige og at de kunstige øer etableres løbende af det materiale som kommer fra tunneludgravningen. Efter øerne er etableret kan tunnelbyggeriet udføres fra fire ender hvor tunnelen samles i en samlingsfuge. Udføringstakten kan give en logistisk frihed, forbundet med etablering af de kunstige øer.

De kunstige øer danner base for etablering af lavbroen.

Øerne danner overgangen mellem sænketunnel og lavbro, de er placeret ved grænsen til det lavvandede område. Sejlrende og midlertidig havn skal etableres, så materiale kan fragtes frem til byggepladsen.

Anlægsteknisk vil etableringen af tunnelen og lavbroen således kunne gennemføres, men generne for omgivelserne er endnu ikke belyst.

10.3.3 Miljø

Miljømæssige aspekter for den kombinerede løsning er belyst i rapporten "Översiktlig utredning av miljömässiga och juridiska aspekter" udfærdiget af SWECO i 2012.

Den overordnede vurdering er, at der vil kunne opnås tilladelse til at etablere en kombineret sænketunnel-lavbro forbindelse under Øresund, hvis der foretages nogle nærmere analyser af:

1. Undersøgelse af højvandssituationer, ved klimaforandringer
2. Nærmere analyse af hydrauliske påvirkninger i Øresund på baggrund af bestemte udførte øer
3. Detaljeret analyse af effekter på Natura 2000 Saltholm og omkringliggende område

11. REFERENCER

- /1/ Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln – RABT. Bonn. 2006.
- /2/ Subsystems infrastructure, energy and rolling stock TSI "Safety in railway tunnels". IU-SRT_TSI. European Railway Agency. Preliminary draft.version 2.0. 2012.
- /3/ The New Gotthard Rail Link. AlpTransit Gotthard Ltd. Switzerland.
- /4/ Engineering The Channel Tunnel. Colin J. Kirkband. Eurotunnel. 1995.
- /5/ Sikkerhedskoncept anbefaling rev0.docx

12. BILAG

Bilag 1, Kapacitetsanalyse

Bilag 2, Tværsnitsanalyse

Bilag 3, Geologi

Bilag 4, Linjeføringer

Bilag 5, Nødvendigt ventilationstværsnit

Bilag 6, Skakte ved kysten

Bilag 7, Ventilationsø

Bilag 8, Lavbro

Bilag 9, Kunstige øer

Bilag 10, Anlægsoverslag, Løsning 1. Boret tunnel, regionaltog, to rør

Bilag 11, Anlægsoverslag, Løsning 2. Boret tunnel, metro, et rør

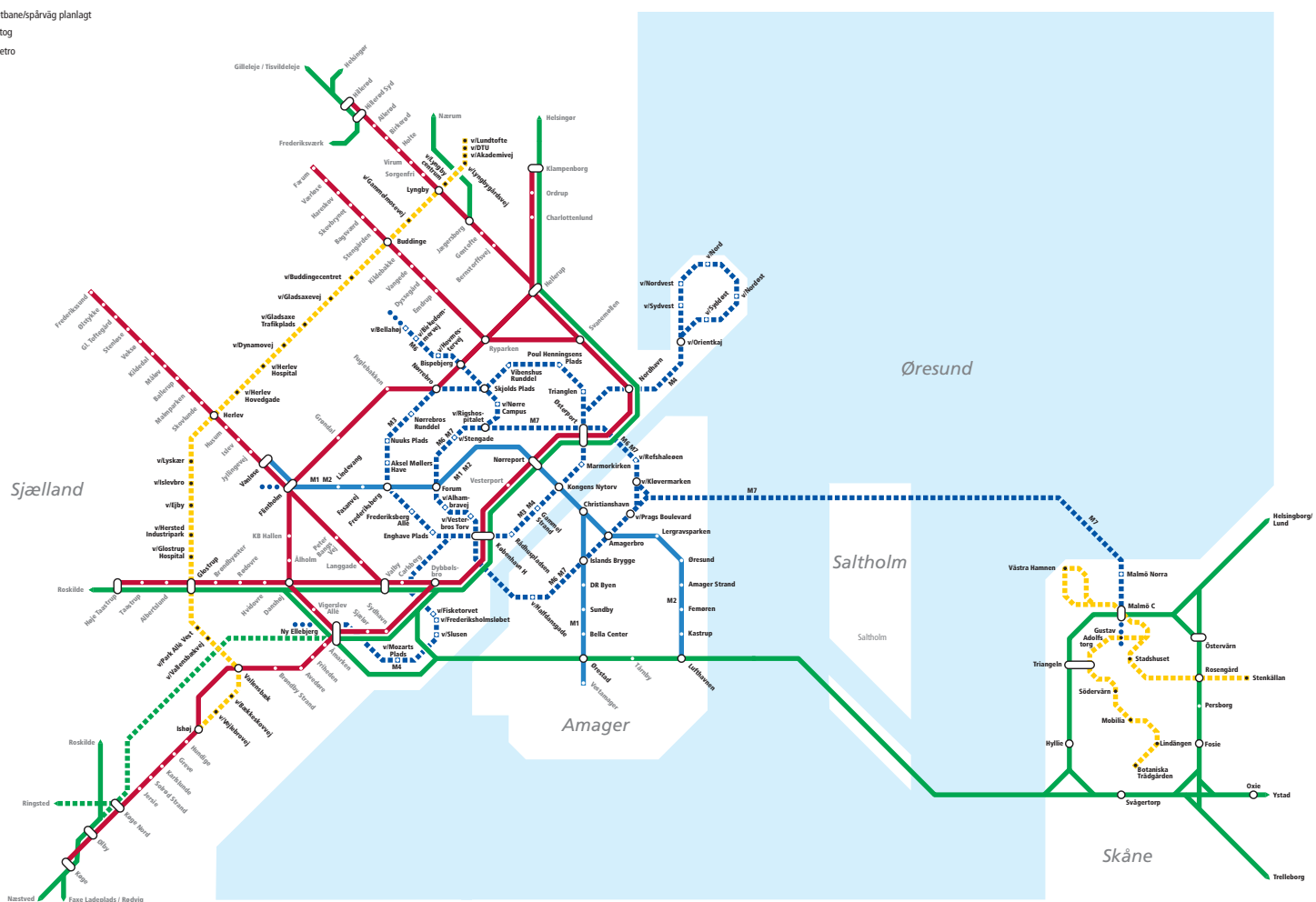
Bilag 12, Anlægsoverslag, Løsning 3. Boret tunnel, regionaltog, et rør

Bilag 13, Anlægsoverslag, Løsning 4. Sænketunnel, metro

Bilag 14, Anlægsoverslag, Løsning 5. Sænketunnel, regionaltog

Bilag 15, Anlægsoverslag, Løsning 6. Kombineret sænketunnel-lavbro

- Letbane/spårvæg planlagt
- S-tog
- Metro



LÆS MERE OM ØRESUNDSMETROEN

Se alle præsentationer og delrapporter på nettet:

www.malmo.se/oresundsmetro

www.kk.dk/oresundsmetro

KONTAKT OS

oresundsmetro@okf.kk.dk

oresundsmetro@malmo.se

