

SBF IN A10106 - Åpen

RAPPORT

Trondheimsfjorden Kryssing med fjelltunnel og rørbru/flytebru

Amund Bruland, Eivind Grøv og Bjørn Nilsen

SINTEF Byggforsk

Geologi og bergteknikk

Juni 2010

**SINTEF****SINTEF RAPPORT****SINTEF Byggforsk**
Geologi og bergteknikk

Postadresse: 7465 Trondheim

Besøk: Rich Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 31 76
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

TITTEL

Trondheimsfjorden
Kryssing med fjelltunnel og rørbru/flytebru

FORFATTER(E)

Amund Bruland, Eivind Grøv og Bjørn Nilsen

OPPDRAGSGIVER(E)

Rissa Utvikling

RAPPORTNR. SBF IN A10106	GRADERING Åpen	OPPDRAGSGIVERS REF. Torbjørn Dahle	
GRADER. DENNE SIDE Åpen	ISBN 978-82-536-1152-5	PROSJEKTNR. 3C0627	ANTALL SIDER OG BILAG 11/1
ELEKTRONISK ARKIVKODE		PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Eivind Grøv <i>Eivind Grøv</i>	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.)
ARKIVKODE	DATO 2010-06-17	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Eivind Grøv, forskningsleder <i>Eivind Grøv</i>	

SAMMENDRAG

Foreliggende rapporten er utarbeidet for Rissa Utvikling KF av SINTEF og NTNU. Rapportens hensikt er å belyse ulike forhold knyttet til bygging av en kryssing av Trondheimsfjorden mellom Trondheim og området ved Rørvik/Vanvikan. Foreliggende rapport vurderer i hovedsak en undersjøisk tunnelkryssing, men i tillegg er det gjort vurderinger for kryssing av Trondheimsfjorden med rørbru eller flytebru.

Den delen av rapporten som omhandler undersjøisk tunnel er utarbeidet av professor Bjørn Nilsen, professor Eivind Grøv og professor Amund Bruland. I tillegg har gruppen samarbeidet med siv.ing. Håvard Østlid (eget firma) når det gjelder kryssing med rørbru eller flytebru. Notat fra Håvard Østlid finnes som eget vedlegg til denne rapporten.

Fra Rissa Utvikling har vi mottatt kopi av notat utarbeidet av SWECO i Trondheim vedrørende det samme temaet. Notatet er datert 19.1.2010.

Rapporten er inkludert forslag til traseer med kostnads- og tidsestimat.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Geologi og bergteknikk	Rock Engineering
GRUPPE 2	Tunnel	Tunnel
EGENVALGTE	Undersjøiske	Sub Sea

INNHOOLD

1	Innledning.....	3
2	Bunnforhold og geologi	3
3	Forventet kjøretøybelastning og valg av tunnelklasse	5
4	Tunneltraséer.....	7
4.1	Vestre linje Flakk – Rørvik	8
4.2	Midtre linje Lade – Vanvikan	9
4.3	Østre linje Lade – Frosta – Aksnes	9
4.4	Østlig linje Lade – Aksnes	9
4.5	Kombinasjon av midtre og østlige linje: Lade - Vanvikan	9
4.6	Oppsummering tunnellengder og – dybder.....	10
5	Byggetid	10
6	Byggekostnader	10
7	Tunnelmasser	11
8	avslutning	11
9	Alternativene Flytebru og Rørbru	11

1 INNLEDNING

Denne rapporten er utarbeidet etter avtale med Torbjørn Dahle i Rissa Utvikling KF av SINTEF og NTNU gjennom Geminisenter for undergrunnsteknologi. Rapportens hensikt er å belyse ulike forhold knyttet til bygging av en kryssing av Trondheimsfjorden mellom Trondheim og området ved Rørvik/Vanvikan. Foreliggende rapport vurderer i hovedsak en undersjøisk tunnelkryssing, men i tillegg er det gjort vurderinger for kryssing av Trondheimsfjorden med rørbru eller flytebru.

Den delen av rapporten som omhandler undersjøisk tunnel er utarbeidet av professor Bjørn Nilsen, professor Eivind Grøv og professor Amund Bruland. I tillegg har gruppen samarbeidet med siv.ing. Håvard Østlid (eget firma) når det gjelder kryssing med rørbru eller flytebru. Notat fra Håvard Østlid finnes som eget vedlegg til denne rapporten.

Fra Rissa Utvikling har vi mottatt kopi av notat utarbeidet av SWECO i Trondheim vedrørende det samme temaet. Notatet er datert 19.1.2010.

2 BUNNFORHOLD OG GEOLOGI

Det er utført ganske omfattende refleksjonsseismikk i den aktuelle delen av Trondheimsfjorden, spesielt i perioden 1999-2002 i forbindelse med vurdering av mulige gassrørledningstraseer gjennomført av Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) i samarbeid med Norges Geotekniske Institutt (NGI). I tillegg til "vanlige sjøbunnsundersøkelser" med boomer og sparker er det utført omfattende seismikk i regi av Oljedirektoratet og boringer fra skip (Bucentaur). Resultatene fra disse undersøkelsene er beskrevet i artikler i Norsk Geologisk Tidsskrift (NGT 2003, s. 3-22 og 2006, s. 415-434).

Undersøkelsene nevnt ovenfor er konsentrert om løsmassene på sjøbunnen. Ingen av borhullene når ned til bergoverflaten. På grunnlag av anslått seismisk hastighet for løsmassene på sjøbunnen (1700 m/s) er det imidlertid foretatt beregninger av løsmassemektigheter og dybden til berg under løsmassene. Disse beregningene indikerer at det i de fleste deler av området er flere hundre meter morene, sand/grus og leire/silt på sjøbunnen. Unntaksvis, for eksempel ved Midtfjordsgrunnen finnes berg uten løsmasseoverdekning. Beregnede dybder til "fast fjell" fremgår av figur 1. Dybden er her angitt som "ms twt" (millisekund two-way travel time). Basert på NGT-2006-artikkelen kan det overslagsmessig anslås at for eksempel 400 ms twt tilsvarende 325 m til berg og at 500 ms tilsvarende 405 m.

Det fremgår at dybdekonturene i figur 1 er en del forskjellig fra det som er angitt på figurer i Sweco-notatet om samme sak fra januar 2010. Største forskjell er at mot Fosen er det på figur 1 en markert, sammenhengende dypkløft/svakhetszone som må krysses av en eventuell tunnel. For trasé-alternativ Lade – Frosta – Aksnes må tunnelen dermed under en kløft med dybde på minimum 550 ms twt (ca. 450 m dybde) nær Fosen, og tilsvarende dybde må krysses under også utenfor Lade. Langs sentrale deler av traséen ligger bergoverflaten på <300 ms twt (<245 m).

For alternativ Lade – Vanvikan ligger største dyp til fjell på ca. 650 ms twt (tilsvarende ca. 530 m).

Usikkerheten i beregning av dybde til berg for denne typen refleksjonsseismikk regnes vanligvis å ligge på $\pm 10 - 15$ %. Med de omfattende undersøkelser som her er utført vurderes usikkerheten å ligge på nær 10 %. Maksimal dybde til berg for de to alternativene vurderes dermed rundt regnet å

være henholdsvis ca. 490 m og ca. 580 m. Med minimum bergoverdekning på 50 m vil dermed taket i dypeste del av tunnelen for de to alternativene ligge på henholdsvis ca. 540 m og ca. 630 m.

Tunneltrasé lenger vest (Flakk – Rørvik) vil måtte gå betydelig dypere, og vil også kunne risikere å komme i berøring med krysning mellom flere markerte svakhetssoner, og frarådes.



Figur 1. Dybder (i ms twt) til bergoverflaten i Trondheimsfjorden. Største dybde (i bassenget vest for Trondheim mot Agdenes) er 1600 ms twt, tilsvarende ca. 1300 m under havets overflate. Fra NGT-2006.

Det understrekes at det er usikkerheter knyttet til overslagene av dybde til bergoverflaten under fjorden. Beregningene er basert på antatte hastigheter i løsmassene, og det er også kjent fra andre prosjekter at meget faste løsmasser, for eksempel bunnmorene, kan gi feiltolkninger. Sikrere bestemmelse av dybden til fjell krever tilleggsundersøkelser i form av refraksjonsseismikk og/eller boring til fjell. Så vidt vi kjenner til er ingen slike undersøkelser utført i dette området.

Det må påregnes at det på bunnen av Trondheimsfjorden finnes markerte svakhetssoner som må krysses ved eventuell tunneldriving. Slike soner har en imidlertid også krysset med andre undersjøiske tunneler i Trøndelag (Hitra og Frøya). Det kan heller ikke utelukkes at det kan finnes bassenger med unge sedimentære bergarter som kan skape problemer (et slikt basseng er kjent fra Beistadfjorden). Sikre data om dette kan en bare få ved eventuelle tilleggsundersøkelser som nevnt ovenfor.

3 FORVENTET KJØRETØYBELASTNING OG VALG AV TUNNELKLASSE

Som en viktig inngangsparameter til vurderingen av framtidig fjordkryssing med anvendelse av fjelltunnel benyttes forventet kjøretøybelastning. Denne uttrykkes som ÅDT, eller gjennomsnittlig daglig antall kjøretøy gjennom året. Når vegtunneler skal dimensjoneres, benyttes ÅDT forventet i det 20. året etter åpning i henhold til retningslinjer gitt av Statens vegvesen Vegdirektoratet.

For den gitte kryssingen av Trondheimsfjorden har vi ikke tall for dagens kjøretøybelastning, men vi kan støtte oss til eksisterende fergestatistikk mellom Flakk og Rørvik, og der finner vi at denne har en trafikk som tilsvarer en ÅDT på snaut 3000 kjøretøy.

Det finnes erfaringstall for utvikling av trafikken over tid etter at slike tunnelprosjekter er åpnet. I sin alminnelighet kan man legge til grunn en empirisk engangsvekst på 20 – 40 %. Det vil si at trafikken gjør ett byks i veksten på 20 – 40 % i det en fjordkryssing som dette åpnes. Det er naturligvis en rekke faktorer som spiller inn og påvirker den endelige størrelsen av engangsveksten, noe som vi ikke har grunnlag for å detaljere på nåværende stadium i prosessen. Bruker man forsiktig en engangsvekst på 20 %, vil dette utgjøre en ÅDT på ca. 3600 kjøretøy, mens det med 40 % økning kan gi 4200 kjøretøy.

Så kan man legge til grunn en årlig vekst som følge av utviklingen av næring og bosetting som empirisk ligger på 2 – 4 %. Det er også for denne veksten ulike forhold som kan ha betydning og som vi i dag ikke har oversikt over for dette prosjektet. Erfaringsgrunnlaget kan dog brukes til å anslå hvordan trafikken kan utvikle seg. Bruker vi her en forsiktig vekst på 2 %, gir det en ÅDT tilsvarende 5400 kjøretøy, mens 4 % vekst basert på den største engangvekstraten gir totalt en ÅDT på snaut 12000 kjøretøyer. En forventet trafikkbelastning uttrykt ved ÅDT kan derfor anslås grovt til å være i området 5000 til 12000 kjøretøy. Til sammenligning har nye E39 mellom Orkanger og Øysand rundt 10000 kjøretøy i ÅDT, mens E6 nordover fra Trondheim mot Stjørdal ligger rundt 15000 kjøretøy.

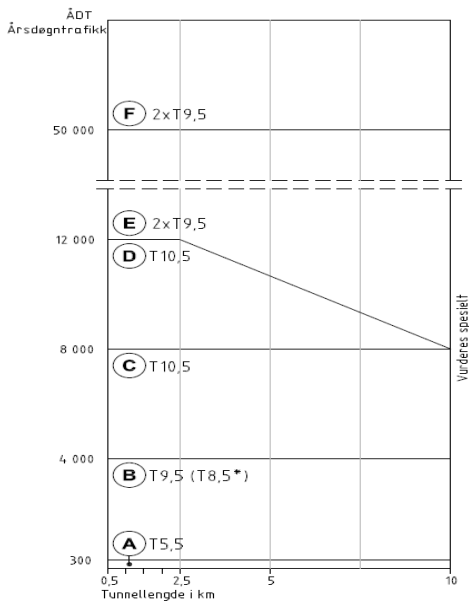
Dette er grove beregninger og mer tatt med her for å sette kommaet på rett plass enn å få frem desimalene. Basert på dette kan man gjøre noen valg som har betydning for tunnelprosjektet og i den forbindelse har vi kopiert inn en tabell fra SVV sin Håndbok 021. Tunnelen som skal krysse Trondheimsfjorden får en lengde som overskrider det som er gitt i figuren. Valg av tunnelklasse og tunnelhelning er de to mest betydningsfulle parameterne for videre vurderinger knyttet til byggetid og -kostnad samt forslag til tunneltrasé.

På grunnlag av estimatene ovenfor har vi valgt å basere oss på at prosjektet vil måtte prosjekteres og bygges etter tunnelklasse E med to parallelle løp, hvor hvert av løpene har et tunnelverrsnitt T9,5.

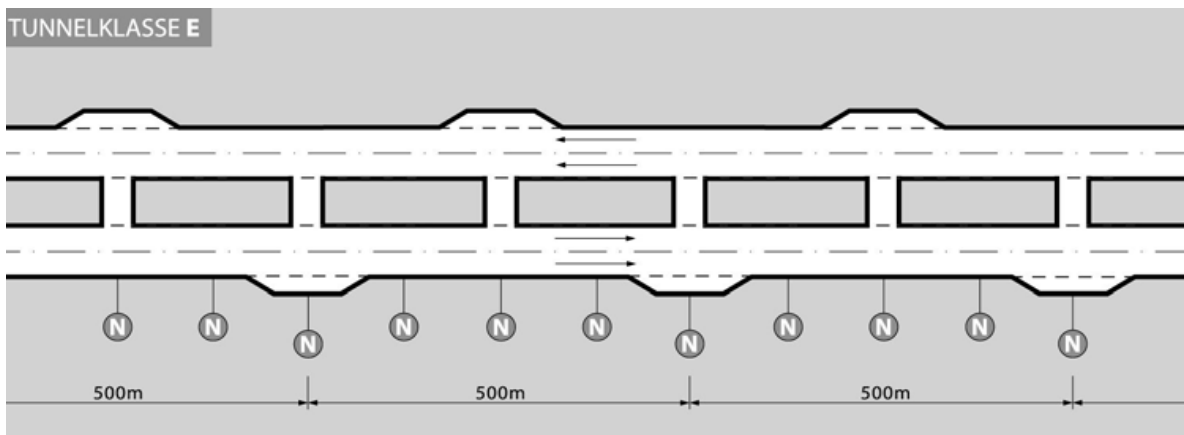
Basert på ovennevnte tunnelklasse og grove anslag på trafikkbelastningen kan det også fastslås en maksimal tillatt helning på tunnelen. Ut i fra retningslinjene i Håndbok 021 vil dette gi en 7 % helning.

Det vil også være behov for å etablere tverrforbindelser og ulike typer nisjer i de to parallelle tunnellopene. Også her legges anbefalingene fra Håndbok 021 til grunn. For tunnelklasse E vil dette bli som følger:

- Tverrforbindelser for hver 250 m
- Havarisnisjer for hver 500 m i hvert løp.

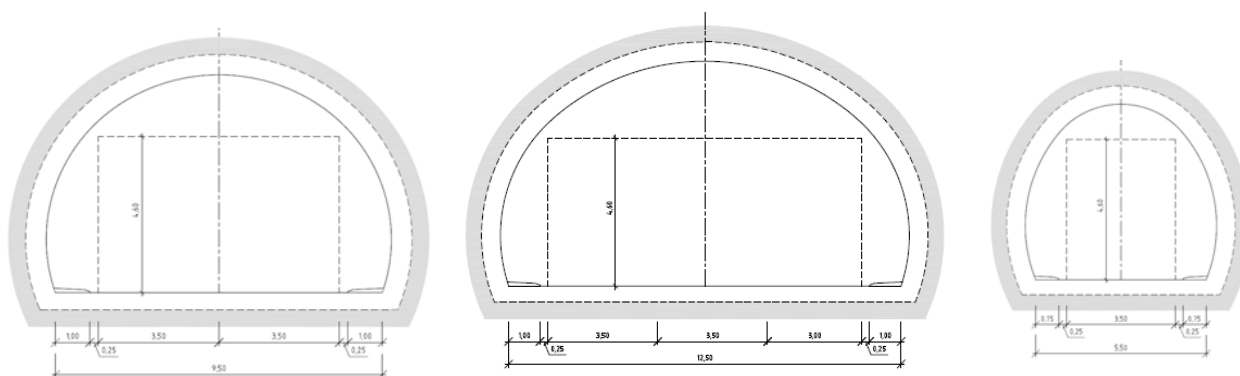


Figur 2. Diagram for valg av tunnelklasse basert på tunnallengde og forventet kjøretøybelastning



Figur 3. Konfigurasjon av havarisisjer og tverrforbindelser

I figur 4 er inkludert de ulike tverrsnittene som kan bli aktuelle for en slik tunnel, både knyttet til de to gjennomgående tunnellopene, nødvendige tverrsnittsutvidelser for havarisisjer samt tverrforbindelsene mellom de to løpene.



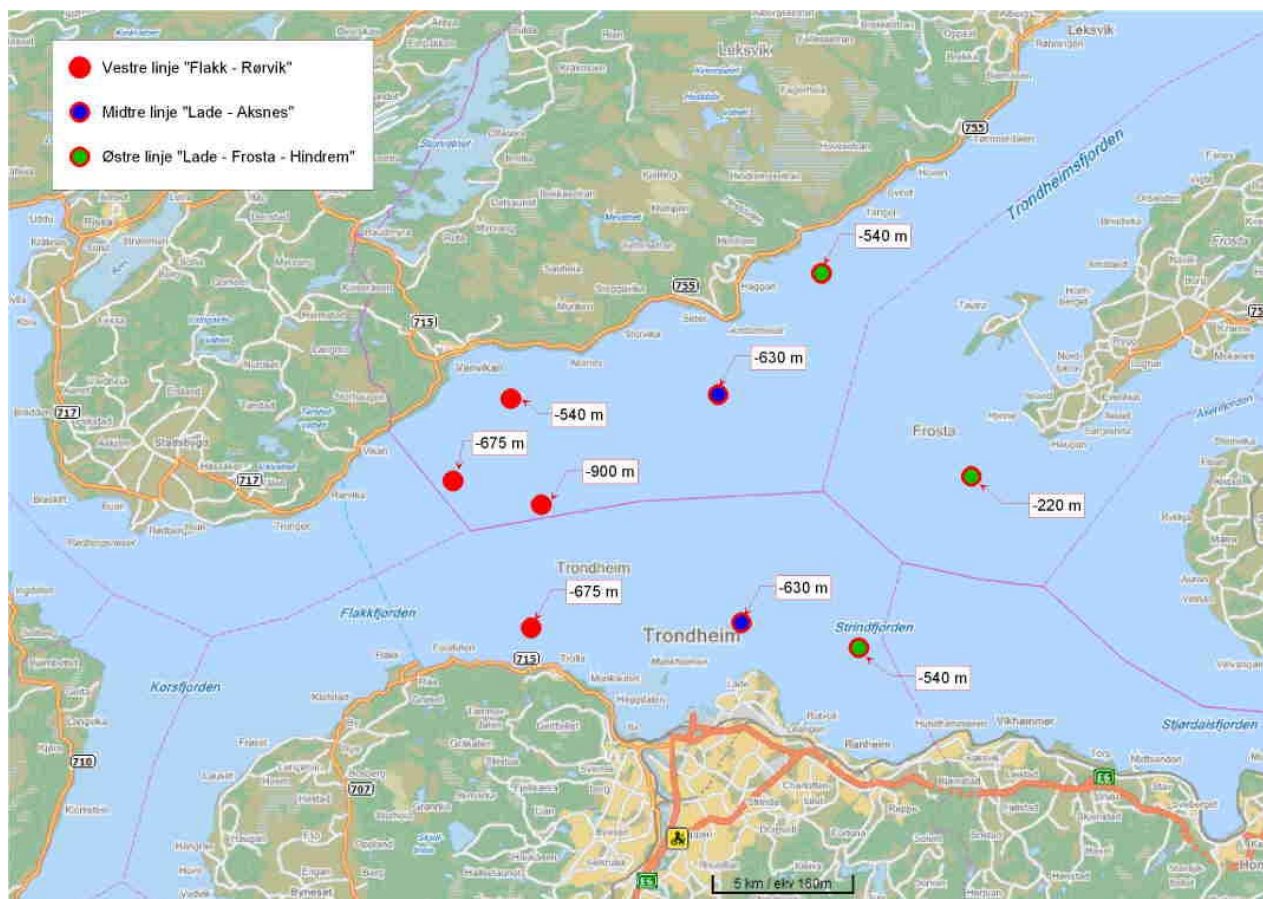
Figur 4. Ulike tunnelverrsnitt, gjennomgående T9,5 til venstre, havarinisje T12,5 i midten og tverrforbindelse T5,5 til høyre

4 TUNNELTRASÉER

På bakgrunn av det som er omtalt i kapittel 1 og 2, har vi sett på tre traséalternativ som i utgangspunktet tilsvarer de to alternativene i SWECO's notat fra januar 2010 samt et alternativ som tilsvarer dagens ferjestrekning Flakk – Rørvik.

For å få et grunnlag for beregning av hvor dypt tunnelen må gå, og dermed tunnallengde for de ulike alternativene, har vi identifisert "kritiske punkter" langs traséene. De kritiske punktene er plassert på bakgrunn av gangtidskartet i figur 1. Det må understrekes at plassering og dybde for disse punktene og dermed resulterende dybde og lengde for tunnelene er noe usikre.

Siden vi har antatt et generelt krav til fjelloverdekning mellom tunnelen og bunnen av løsmassene på 50 m, angir figur 5 dybde til tunneltaket. For å finne tunnallengden har vi antatt at tunnelen er 10 m høy og at den starter 5m over havnivå. Det kommer derfor et tillegg på 15 m til de dybdene som er angitt i figur 5 når tunnallengden skal beregnes. Med stigning på 7 % og antatt bunnpunkt på for eksempel 645 m, vil det kreve 9,2 km tunnel for å komme ned dit.



Figur 5. Dybder til tunneltaket basert på figur 1.

Det generelle bildet er at tunnelene må gå svært dypt (540 m til 900 m under havnivå). Det er også markerte dyprekker nær Fosenlandet og nær sørsiden av fjorden, noe som gir ekstra tunnallengde i tillegg til bredden av fjorden.

4.1 VESTRE LINJE FLAKK – RØRVIK

Her har vi skissert to underalternativer som begge kan starte vest for Trondheim sentrum, og for eksempel knyttes til Nordre avlastningsvei i Ila-området. På Fosen-siden kan en gå vestover og opp mot Stadsbygd eller nordover og opp mot Vanvikan. Med ca. 900 m dybde til tunnelhengen midtfjords, samt ca. 675 m til tunnelhengen nær land ved Trolle, vil begge alternativene få en tunnallengde på ca 27,5 km. Fra Fosensiden vil tunnelen gå med jevnt fall på 7 % over en strekning på 13,1 km ned til en dybde på 900 m. Fra Trondheimssiden vil den gå med fall på 7 % over en strekning på 9,85 km ned til 675 m dyp og videre i 4,45 km med fall på 5 % ned til bunnpunktet på 900 m dyp.

Det er to viktige innvendinger mot dette traséalternativet, den første og alvorligste er at det med stor sannsynlighet kan forventes flere markerte svakhetssoner enn mer østlige alternativer. Den andre innvendingen er det store dypet trafikken må overvinne, noe som ikke er gunstig mht. CO2-utslipp og transportkostnader.

4.2 MIDTRE LINJE LADE – VANVIKAN

For denne traséen vil dyprennene på begge sider av fjorden være bestemmende for tunnallengden. Vi har valgt å legge traséen slik at tunnelhengen vil være ca. 630 m under havnivå ved kryssing av dyprennene. Dette betyr at tunnelen vil få like lange stigninger på begge sider (9,2 km) og et horisontalt parti under fjorden på 8,1 km, til sammen ca. 26,5 km. På nordsiden vil det være mest fornuftig å la stigningen gå vestover og opp mot Vanvikan hvor tunnelen kan komme opp like øst for Vanvikan sentrum. På Trondheimssiden kan tunnelen i prinsippet komme opp på valgfritt sted mellom Ila og Hundhammaren, men det er vel Lade/Rotvoll og Ila som synes som mest fornuftige valg.

Dette er det alternativet som gir kortest tunnallengde.

4.3 ØSTRE LINJE LADE – FROSTA – AKSNES

Denne traséen er tilpasset muligheten for å koble Frosta på tunnelen med en tverrforbindelse fra omtrent midt på tunnelen. For denne traséen vil også dyprennene på begge sider av fjorden være delvis bestemmende for tunnallengden. Vi har valgt å legge traséen slik at tunneltaket vil være ca. 540 m under havnivå. Dette betyr at tunnelen vil få like lange stigninger på begge sider (7,9 km). De ”flatte” strekningene mellom dyprennene og påkoblingspunktet utenfor Frosta er 7,3 km mellom Lade og Frosta og 9 km mellom Frosta og Aksnes.

Påkoblingspunktet utenfor Frosta har vi lagt med tunnelhengen 270 m under havnivå. Dette er ikke mer begrunnet enn at 270 m er halvparten av 540 m, siden det etter all sannsynlighet er mulig å løfte påkoblingspunktet så høyt. Hvorvidt dette er økonomisk optimalt med hensyn til samlet tunnallengde, byggekostnad og drifts- og transportkostnader er ikke vurdert. Tverrforbindelsen opp til Frosta vil bli 4,2 km. Samlet tunnallengde for dette alternativet blir da 36,4 km, mellom Lade og Frosta blir tunnallengden 19,4 km og mellom Aksnes og Frosta blir den 21,2 km.

På Trondheimssiden av fjorden kan tunnelen i prinsippet komme opp på valgfritt sted mellom Midtbyen og Vikhammer, men det er vel Lade/Rotvoll og kanskje Strindheimtunnelen som synes som mest fornuftige valg.

Dette alternativet har to fordeler, de korteste tunnelstrekningene mellom ”friluft”, samt påkoblingen mot Frosta. De to klareste ulempene er samlet tunnallengde og samlet stigning (860 m) som må overvinnes.

4.4 ØSTLIG LINJE LADE – AKSNES

Denne traséen går direkte mellom de samme lavbrekkene under dyprennene som traséen Lade – Frosta - Aksnes, dvs. at tunnelen vil få en horisontal strekning på 14,9 km mellom lavbrekkene. Samlet tunnallengde vil være 30,8 km.

Dette alternativet har minst høydeforskjell som må overvinnes (555 m).

4.5 KOMBINASJON AV MIDTRE OG ØSTLIGE LINJE: LADE - VANVIKAN

Denne traséen går fra Lade ned til 540 m under havet, krysser fjorden mellom dette lavbrekket og lavbrekket for midtre linje på 630 m under havet på Fosen-siden for så å gå opp til like øst for Vanvikan. Traséen vil få stigninger på henholdsvis 7,9 km på Trondheims-siden og 9,6 km på

Fosen-siden av fjorden. Den tilnærmet horisontale strekningen under fjorden vil bli 10,3 km og stige med ca. 1 % fra Fosen-siden. Samlet tunnallengde blir 27,5 km.

4.6 OPPSUMMERING TUNNELLENGDER OG – DYBDER

Trasé	Største dybde, m	Samlet lengde, km	Lengde i stigning > 5 %, km	Lengste avstand til "friluft", km
Flakk – Rørvik	900	27,5	27,5	13,8
Lade – Vanvikan (midtre)	630	26,5	18,4	13,3
Lade – Frosta – Aksnes (østre)	540	36,4	20,0	10,6
Lade – Aksnes (østre)	540	30,8	15,8	15,4
Lade – Vanvikan (østre/midtre)	630	27,5	17,1	13,2

Tabell 1. Karakteristiske data for vurderte tunneltraséer.

Grundigere undersøkelser vil kunne endre beliggenheten av punktene for lavbrekk, og grundigere analyser vil kunne komme fram til gunstigere kombinasjoner av dybde og beliggenhet for lavbrekkene enn det vi har forutsatt, noe som kan endre konklusjonen fra tabellen over.

Etter våre beregninger står det igjen to alternativ som har ulike fordeler:

- Lade – Vanvikan etter midtre trasé, 26,5 km
- Lade – Frosta – Aksnes, 36,4 km

5 BYGGETID

Byggetiden vil være avhengig av lengste avstand til "friluft". Med dagens standardutstyr og arbeidstid for tunneldriving, kan vi forvente omkring 60 m/uke i framdrift dersom de geologiske forholdene kan karakteriseres som "ordinære norske forhold". For det lengste alternativet Lade – Frosta – Aksnes betyr dette en byggetid på i størrelsesorden 5 år, inkludert 1 år til installasjoner og kjørebane. For alternativet Lade – Vanvikan vil tilsvarende byggetid bli i størrelsesorden 6 år.

6 BYGGEKOSTNADER

Vi har ikke gjort beregninger av byggekostnader for de ulike alternativene, og slike beregninger vil være svært usikre med de nåværende grunnlagsdataene for geometrisk utforming, geologi og tunnelklasse. Et grovt anslag basert på erfaringstall kan være 175000 kr/m for toløps tunnel. For det lengste alternativet Lade – Frosta – Aksnes betyr dette en byggekostnad på snaut 7 milliarder 2010-kroner. Det korteste alternativet (Lade – Vanvikan) vil etter samme antakelser koste snaut 5 milliarder 2010-kroner.

Vi gjør oppmerksom på at dette er grove kostnadstall. De gir en indikasjon på størrelsesorden som kan forventes for et slikt prosjekt, heller enn å gi et nøyaktig kostnadsoverslag.

7 TUNNELMASSER

Lade – Frosta – Aksnes vil innebære uttak av anslagsvis 7 millioner faste m³ stein, hvorav halvparten vil måtte tas ut mot Frosta og en fjerdedel hver mot henholdsvis Aksnes og Lade.

Lade – Vanvikan vil innebære anslagsvis 5 millioner faste m³ stein, hvorav halvparten tas ut mot Vanvikan og halvparten mot Lade. Volumet øker ved plassering i tipp eller fylling, og at man derfor for Lade – Frosta – Aksnes vil kunne ha omlag 10 mill løse m³ steinmasser til deponi eller tilgjengelig, mens et noe mindre volum vil måtte håndteres for traséen Lade – Vanvikan, i størrelsesorden 7-8 mill løse m³ stein.

Slike masser vil kunne ha en betydelig verdi om det finnes avtakere av disse massene, spesielt om slike finnes i den umiddelbare nærhet av prosjektet.

8 AVSLUTNING

Foreliggende rapport er utarbeidet på et relativt grovt grunnlag, det er så betydelige mangler i grunnlagsmaterialet at man ikke kan komme med mer detaljerte tids- og kostnadsestimat. Det bør også foreligge et fyldigere grunnlagsmateriale knyttet til dybder og løsmassetykkelser i fjorden før man kan stadfeste mer nøyaktig tunnelens plassering og etablere et lengdesnitt. Dette forbeholdet gjelder også for en detaljering av den horisontale linjeføringen av tunnelen.

Typisk vil slike undersøkelser på et tidlig stadium i utviklingen av et prosjekt være knyttet til seismiske undersøkelser, både akustikk (refleksjonsseismikk) og refraksjonsseismikk vil være nødvendig for å kunne etablere et bedre grunnlag for å utvikle prosjektet videre. På et tidspunkt vil sannsynligvis boringer være nødvendig også, men slike undersøkelser er først nødvendig senere og etter de første seismiske undersøkelsene.

9 ALTERNATIVENE FLYTEBRU OG RØRBRU

Det etterfølgende vedlegget er et notat utarbeidet av siv.ing. Håvard Østlid, eget firma, i samarbeid med NTNU/SINTEF Geminisenter for undergrunnsteknologi.

KRYSSING AV TRONDHEIMSFJORDEN

Et notat om kryssing med rørbru og flytebru

Håvard Østlid

Sydoverveien 36
1900 Fetsund

05.05.2010

VEDLEGG 1 - Notat fra Håvard Østlid

KRYSSING AV TRONDHEIMSFJORDEN

Et notat om kryssing med rørbru og flytebru

Trondheimsfjorden er ca. 6700 m bred på det aktuelle kryssingspunktet og største dybde til bunnen antas å være i området 500 m med en stor løsmassedybde på kanskje 100 m eller mer i tillegg.

Kryssing med flytebru:

Flytebru kan tenkes krysset med enten høybro mot land for skipspassering eller ett eller annet arrangement for passering av skip et annet sted langs kryssningen.

Alternativ a: Flytebru med høybro mot landsiden

Nordhordlandsbrua



Statens vegvesen

Generell informasjon

Nordhordlandsbrua ble åpnet i 1994 og er 1614 meter lang med en skråkabelbro som er 346 meter lang med en seilingshøyde på 32 meter. Dette er verdens lengste flytebru uten sideforankring.

Flytebroer er kjente konstruksjoner fra mange steder i verden, i Norge finnes det to flytebroer, Nordhordlandsbrua som vist på bildet og Bergsøysundbrua som er 931 meter lang og ble åpnet i 1992.

Avstanden mellom pontongene på Nordhordlandsbrua er 113,25 meter, og størrelsen er 42 x 20 meter.

VEDLEGG 1 - Notat fra Håvard Østlid

Kryssing av Trondheimsfjorden med flytebro

Med tanke på fremtidige spennvidder kan det antas å bli i området 200 til 250 meter , og dette er i samsvar med vanlige bredder på seilingsløp.

Da dette er et prosjekt som ligger en del år frem i tiden bør det muligens benyttes seilingshøyde på 70 til 90 m under broen, men dette må avgjøres i hvert enkelt tilfelle.

Flytebro med høybro:

Dette betinger en fundamentering av en høybro med spennvidde på 250 m , og nevnte seilingshøyde og som må ha et fundament i sjøen enten til fast grunn eller ved at det lages en tilstrekkelig stor pontong som flyter.

Hvis fundamenteringsdybden er mindre enn 100-150 meter kan det tenkes at det kan bygges opp en konstruksjon fra bunnen som kan gi tilstrekkelig stabilitet for et brotårn.

Dette vil være en helt uvanlig fundamenteringsdybde og vil derfor ha uvanlige kostnader, et kostnadsnivå som er helt ukjent i dag.

Selv om dette er svært store dyp er det neppe noe stort teknisk problem å gjennomføre et slikt prosjekt

Flytebro med brotårn fundamentert på pontong

Om det antas at dybden til fast grunn for fundamentering er større enn 100-150 meter kan en flytende pontong være en mulighet.

En slik pontong måtte forankres til bunnen og skaffer bæreevne til et brotårn ved oppdrift.

Bevegelsene av en slik pontong må ligge innfor ganske små toleranser og med store dybder til forankringspunkter er dette en stor og kostbar operasjon.

Det er heller ikke kjent at en slik konstruksjon som dette er utført tidligere noe sted og det vil bety at det skal både forskning og utvikling til før dette kan gjennomføres i praksis.

I et forsøk på å anslå en tidshorisont for et slikt prosjekt skal kunne realiseres kan det dreie seg om 10-20 år om alternativet ligger innefor en realistisk økonomisk ramme.

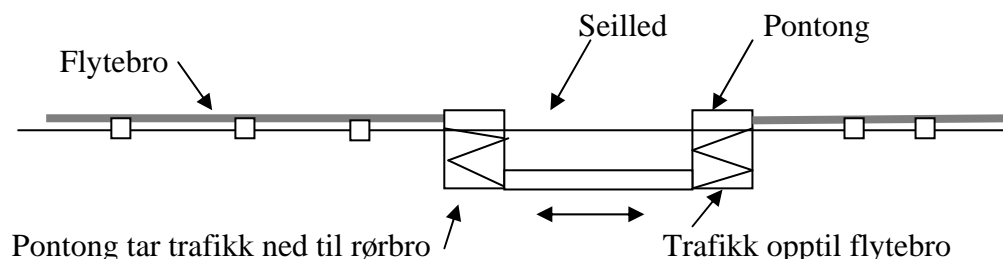
Flytebro med storpontong og rørbru

En flytebro som som går inn i en storpontong som tar trafikken ned på et lavere nivå og fortsetter i rørbru enten til en ny storpontong eller til land koblet til tunnel som går videre.

Trafikken tas ned gjennom pontongene i form av en spiral ned/oppkjøring, det går også an ta vare på gang-sykeltrafikk om dette er ønskelig.

VEDLEGG 1 - Notat fra Håvard Østlid

Et arrangement kan også tenkes ved at det midtfjords plasseres to storpontonger med avstand for eksempel 250 m og en rørbro går ut i bunnen av pontongene



Slike storpontonger kan ha en diameter fra 100 til 200 m basert på hvilken kapasitet som ønskes for trafikken.

Pontongen kan sikres mot vannfylling ved bruk av oppdriftsmaterialer og vannette skott.

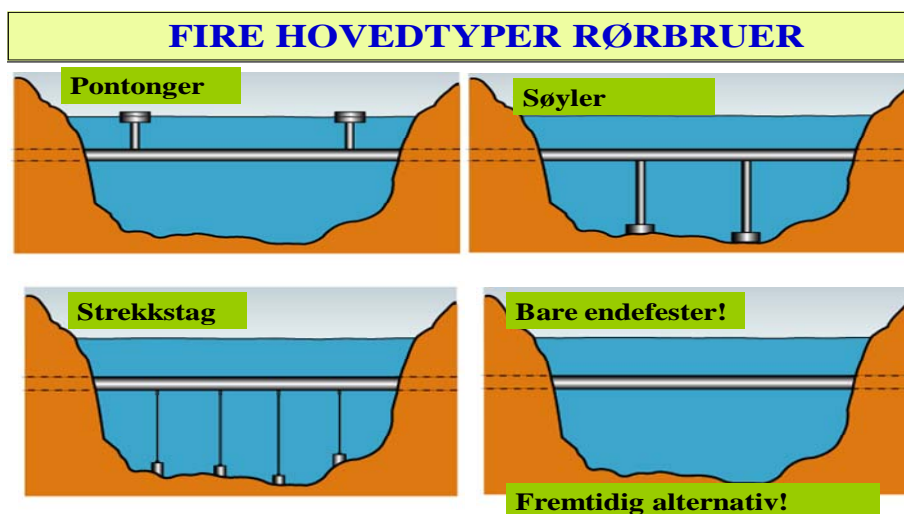
Materialer i pontongen kan være beton eller stål eller begge deler.

Forankring av slike pontonger er som tidligere nevnt store og kostbare operasjoner og kostnadene vil være sterkt avhengige av dyder og bunnforhold.

Forankringer med liner som er vektløse i vann kan være et interessant alternativ til stålkabel eller stålrør.

Ett annet alternativ som kan tenkes er flytebro på pontonger som gradvis øker søylehøyden til midtfjords, høy og bred nok for skipspassering.

Kryssing med rørbro:



VEDLEGG 1 - Notat fra Håvard Østlid

Som vist på skissen over er det i prinsippet fire hovedtyper rørbro, men det er også muligheter for å kombinere disse alternativene.

Kombinasjon mellom strekkstag og pontonger kan være aktuelt om det ønskes størst mulig vertikal stivhet i konstruksjonen, et krav som vil være aktuelt ved jernbane i rørbrua.

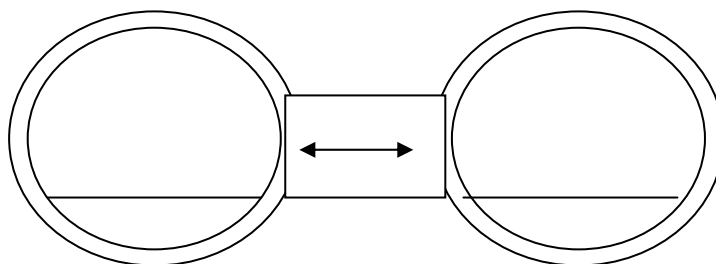
For vegtrafikk vil krav om rømningsvei i tunnelen vil gi en rørdiameter på 14-15 m eller så med to kjørebane og adskilt gang-sykkelveg, som vil fungere som rømningsveg.

Med tunnallengder det her er snakk om kan det muligens bli aktuelt med enda større diameter.

Havarinisjer og eventuelle snunisjer vil ytterligere skape behov for større plass, dvs. spesielle utvidelser av røret.

Det kan også tenkes arrangement med to parallelle tunneler forbundet med hverandre med f.eks avstander som kreves mellom havarinisjer.

Disse forbindelsene mellom rørene vil da også kunne fungere som rømningsveier og muligens også som snunisjer om dette kreves.



To rør med en-vegs trafikk eller ett rør for biler med to kjørebane og det andre røret for gang og sykkelveg.

Forbindelsen mellom rørene er rømningsveg, eller snunisje.

Et slikt alternativ kan gå i en stor bue over fjorden for å øke stabiliteten.

Det er neppe gode grunner til at tunnelen må være sirkulær, andre geometriske former kan også være aktuelle, for eksempel rektangulære eller manglekantet om dette skulle være fordelaktig.

Et spesielt problem oppstår om rørbroen vannfylles, dette vil føre til totalhavari ved de vanlige rørbroalternativene.

Å forhindre dette vil føre til store konstruksjonsmessige endringer og også meget store tilleggskostnader, men det kan nok løses rent teknisk.

En mulighet kan være å konstruere røret eller rørene så robuste at kravet om at rørbroen skal holde seg flytende etter vannfylling frafalles mot at det gjøres spesielle tiltak og eller utforminger av konstruksjonen.

VEDLEGG 1 - Notat fra Håvard Østlid

Rørbro med pontonger til overflaten

Rørbro neddykket med tilstrekkelig seilingsdybde, for eksempel 30 m, kan holdes på plass ved pontonger på overflaten med forbindelse ned til rørbroen. Se skissen som vist av de fire alternativene.

Dette betyr frie seilingsleder over hele fjorden, men begrenset av avstandene mellom pontongene, en avstand på 250 m ville antagelig være tilstrekkelig. Hele systemet må dimensjoneres for skader eller tap av pontong uten at dette betyr havari av rørbroen.

Slike skader kan forårsakes av for eksempel påkjøring fra skip.

For alle forslag med rørbro med pontonger til overflaten gjelder det at på en eller måte må konstruksjonen forankres.

I prinsippet kan dette gjøres vertikalt til bunnen eller horisontalt til land eller en kombinasjon av dette.

En annen mulighet er at hele rørbroen kan legges i en bue over fjorden og på den måten oppfylle kravene til posisjonering, men selv med bue kan det bli aktuelt med forankringer av ett eller annet slag.

Rørbro forankret til bunnen med strekkstag.

Et slikt arrangement vil gi en usynlig kryssing av Trondheimsfjorden og vil sette store krav til forankringer da det er store vanddyp med store løsmassedybder på bunnen.

Løsmasseavsetninger vil bety setninger av bunnforankringene over kanskje lang tid, noe som igjen vil bety at strekkstagene må ha justeringsmuligheter for kanskje mange år fremover.

Med så lang rørbro må strekkstagene være skråstilte for å skaffe horisontal stabilitet noe som også betyr mange og store forankringspunkter på bunnen.

Generelle kommentarer om rørbroer

En lang rekke forhold må utredes ved rørbroalternativer, nedenfor er det gitt noen i stikkordsform:

- Brann i rørbru er en spesiell situasjon, faren for trafikantene, rømningsveier, brannbekjempelse og i tillegg til dette, fare for omfattende skader på selve rørbrukonstruksjonen.
Et slikt scenario er langt alvorligere i en rørbro enn i en fjelltunnel og også i en senketunnel hvor det er fyllmasser rundt hele tunnelen.
- Eksplosjon, terrorisme
- Kollisjoner inne i tunnelen, påkjøring av vegger eller lignende
- Håndtering av farlige kjemikalier som har lekket ut
- Skipstrafikk og fiske, interessekonflikter, påkjørseler, skader.

VEDLEGG 1 - Notat fra Håvard Østlid

- Fallende ankre, ankre eller trål som heker i rørbroen eller forankringer
- Synkende skip på rør eller forankringer

Rørbroer som beskrevet i dette notatet er ikke bygget noe sted ennå, men det er en klart økende interesse for denne konstruksjonen og de fordelene den kan ha. Allerede til høsten skal det avholdes et internasjonalt symposium i Kina som bare behandler rørbroer og det er stor deltagelse fra Norge i dette symposiet.

Kina har i gang et prosjekt som starter med en modell som er 100 m lang og ca. 3.5 m innvendig, deretter er intensjonen å bygge en full skala rørbro på 3,3 km.

Et slikt vellykket prosjekt vil bety et stort skritt fremover og vil nok aktualisere flere rørbroprosjekter rundt om i verden.

Tidshorisont på hva som er teknisk mulig og også etter hvert kostnader ved rørbroprosjekter vil i stor grad bli utredet ved et igangværende utviklingsprosjekt i regi av Statens vegvesen, region vest.

Her blir i første rekke kryssing av Sognefjorden utredet ved aktuelle alternativer hvor flytebroer og rørbroer inngår som noen av alternativene. Foreløpige rapporter om dette arbeidet foreligger fortløpende og første fase avsluttes med en sluttrapport i inneværende år.

Tegningene som vist i SWECO`s rapport skriver seg fra dette prosjektet i sin helhet

I prinsippet vil en rørbro kryssing se ut som vist på tegningen i slutten av dette notatet.



En rørbroforbindelse med strekkstag er usynlig, kan forbinde underjordiske parkeringsanlegg eller serviceanlegg.

Dette kan være viktige egenskaper i områder som ønskes bevart som de ser ut i dag.

VEDLEGG 1 - Notat fra Håvard Østlid



Rørbro med pontonger i overflaten , pontongene vil være synlige men kan kanskje utnyttes til forskjellige formål og være med i et eventuelt felles finansieringsopplegg.

Oppsummering:

Med en tidshorisont på 10-20 år kan det antas å være mulig å bygge en flytebro eller rørbro forbindelse over Trondheimsfjorden.

Forutsetningen for dette er at den type utviklingprosjekter som nå er i gang i Statens vegvesen, region vest, blir videreført og om nødvendig utvidet mot å løse de spesielle problemene disse brualternativene har.

Det gjelder spesielt disse konstruksjoners dynamiske oppførsel og egenskaper i det marine miljø vi har i våre fjorder og innsjøer.