



Statens prosjektmodell
Rapportnummer E025b

KS2 av Fellesprosjektet Ringeriksbanen og E16

Delrapport
Referansesjekk



MOREFORSKING

MARSTRAND

Rapport	KS2 av Fellesprosjektet Ringeriksbanen og E16 Delrapport: Referansesjekk
Fra	Marstrand AS og Møreforsking AS
Klassifisering	Åpen
Revisjonsnummer	1.0
Dato:	17.01.2021
Oppdragsgiver	Samferdselsdepartementet og Finansdepartementet
Oppdragsansvarlig	Paul Torgersen
Ansvarlig for delrapporten	Håvard Skaldebø
Øvrige forfattere	Erik Smith
Kvalitetssikret av	Svein Olaussen



Sammendrag

Oppdraget

Marstrand og Møreforskning (heretter omtalt som EKS) har fått i oppdrag å gjennomføre ekstern kvalitetssikring (KS2) av prosjektet «Fellesprosjektet Ringeriksbanen og E16» (FRE16), på oppdrag fra Finansdepartementet og Samferdselsdepartementet. FRE16 består av dobbeltspor på strekningen Hønefoss – Sandvika og ny firefelts veg på strekningen E16 Høgstet – Hønefoss.

Denne delrapporten presenterer resultater fra utførte referansesjekker, dvs. erfaringer fra andre prosjekter som er benyttet som underlag for kvalitetssikringen. I tillegg dokumenterer delrapporten vurderingen av konsept for Krogskogtunnelen.

Om læring fra andres erfaring

Et prosjekt bør være fundert på læring fra andre prosjekter. Dette er ett av de fundamentale prinsippene for beste praksis prosjektledelse¹. Løsningsvalg, kostnadsnivå, fremdriftsplaner, organisering og styring, prosjektstrategier bør være basert på en systematisk erfaringsinnhenting fra andre prosjekter.

Prosjektunderlaget og intervjuer med prosjektledelsen viser at FRE16-prosjektet har lagt vekt på å høste av andres erfaring. Dette gjelder på valg strategi og løsninger, samt verifikasjons av kostnader.

Vurderte tema og anbefaling

Kapittel 2 tar for seg utfordringer knyttet til megaprojekter generelt. Kapittel 3 omhandler korridorvalget og overordnede design-parametere, mens kapittel 4 vurderer om et fellesprosjekt kan være mer fordyrende enn en besparelse. Kapittel 5 omhandler konsept for Krogskogtunnelen, mens kapittel 6 omtaler referansedata for kostnader som har vært underlag for kostnadsanalysen.

Denne rapporten er i hovedsak et underlag for vurderingene i de øvrige KS2-rapportene, men inneholder også en rekke detaljerte erfaringer og anbefalinger. Det anbefales derfor at prosjektledelsen gjennomgår delrapporten og vurderer om det er læringspunkter som man bør ta med seg. Dette gjelder spesielt med hensyn til å optimalisere konseptet for Krogskogtunnelen.

¹ Jf. eksempelvis de sju fundamentale prinsippene i «Managing Successful Projects with PRINCE2®»

Innhold

1	Innledning	1
2	FRE16 – et «megaprojekt»	1
3	Korridorvalg og overordnede design-parametere	2
4	Fellesprosjekt – er det fordyrende?	4
5	Krokskogtunnelen	5
6	Erfaringsdata - kostnader	19
	Vedlegg 1 Intervjuer og referansepersoner som har levert skriftlig materiale	26
	Vedlegg 2 Overordnede oppsummerende betraktninger, presentert 13.11.2020	27

1 Innledning

Oppdraget

Marstrand og Møreforsking (heretter omtalt som EKS) har fått i oppdrag å gjennomføre ekstern kvalitetssikring (KS2) av prosjektet «Fellesprosjektet Ringeriksbanen og E16» (FRE16), på oppdrag fra Finansdepartementet og Samferdselsdepartementet. FRE16 består av dobbeltspor på strekningen Hønefoss – Sandvika og ny firefelts veg på strekningen E16 Høgstet – Hønefoss.

Denne delrapporten presenterer resultater fra utførte referansesjekker, dvs. erfaringer fra andre prosjekter som er benyttet som underlag for kvalitetssikringen. I tillegg dokumenterer delrapporten vurderingen av konsept for Krogskogtunnelen.

Kapittel 2 tar for seg utfordringer knyttet til megaprojekter generelt. Kapittel 3 omhandler korridorvalget og overordnede design-parametere, mens kapittel 4 vurderer om et fellesprosjekt kan være mer fordyrende enn en besparelse. Kapittel 5 omhandler konsept for Krogskogtunnelen, mens kapittel 6 omtaler referansedata for kostnader som har vært underlag for kostnadsanalysen.

Om læring fra andres erfaring

Et prosjekt bør være fundert på læring fra andre prosjekter. Dette er ett av de fundamentale prinsippene for beste praksis prosjektledelse². Løsningsvalg, kostnadsnivå, fremdriftsplaner, organisering og styring, prosjektstrategier bør være basert på en systematisk erfaringsinnhenting fra andre prosjekter.

Prosjektunderlaget og intervjuer med prosjektledelsen viser at FRE16-prosjektet har lagt vekt på å høste av andres erfaring. Dette gjelder på valg strategi og løsninger, samt verifikasjons av kostnader.

Kilder

Kildene til referansesjekken har vært intervjuer med ressurspersoner i Bane NOR, Statens Vegvesen og eksterne ressurspersoner. Noen av de eksterne ressurspersonene har levert skriftlige notater som underlag for kvalitetssikringsrapporten. Vedlegg 1 viser en oversikt over personer som har vært intervjuet, samt personer som har gitt skriftlige bidrag til kvalitetssikringen. Andre dokumentasjonskilder er referert til direkte i rapporten.

2 FRE16 – et «megaprojekt»

FRE16 prosjektet med en investering på mer enn 35 milliarder NOK er det hittil største samferdselsprosjekt i Norge målt i kroner og kvalifiserer til betegnelsen «megaprojekt», også i internasjonal sammenheng.

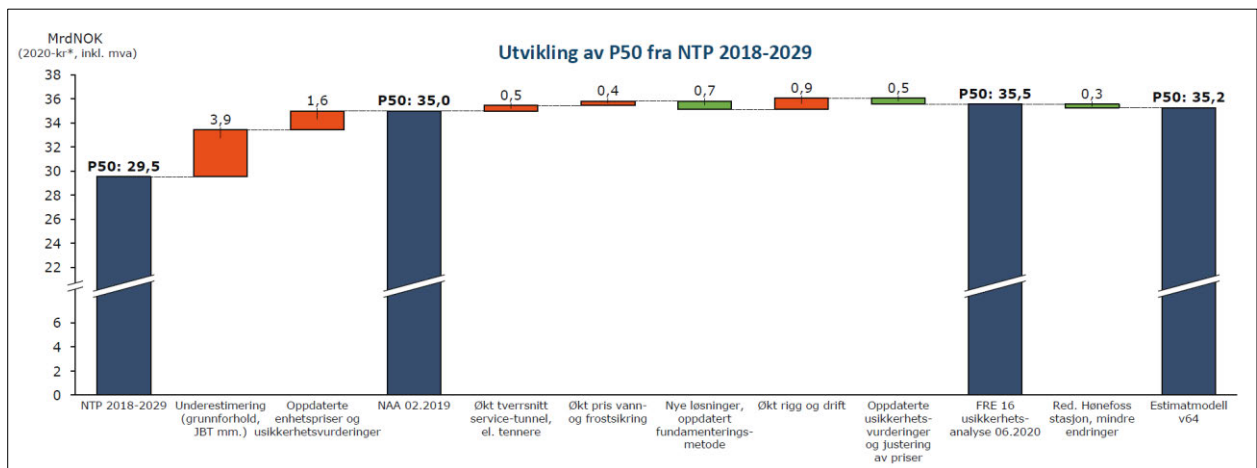
«Megaprojekter» har sin egen dynamikk som er beskrevet i tallrike forskningsrapporter. Den mest kjente blant «megaprojekt-forskere» er professor Bent Flyvbjerg, Oxford University's Saïd Business School.

² Jf. eksempelvis de sju fundamentale prinsippene i «Managing Successful Projects with PRINCE2®»

I sin artikkel “Five Things You Should Know about Cost Overrun”, Transportation Research Part A: Policy and Practice, vol. 118, December 2018, sidene 174-190, listes god praksis som:

- Konsistent definisjon og måling av kostnadsoverskridelser.
- Innsamling av pålitelige data.
- Anerkjennelse at kostnadsoverskridelse er systematisk større enn antatt.
- Erkjennelse om at hovedårsaken til kostnadsoverskridelse er optimisme i estimeringen.
- Gjøre kostnadsoverslag mindre optimistiske.

Figuren nedenfor viser utviklingen av kostnadsoverslagene i FRE16 siden Nasjonal transport 2018-2029 (NTP) og illustrerer professor Flyvbjerg sine momenter.



Figur 1 Utviklingen av kostnadsoverslagene i FRE16 siden NTP. Kilde: FRE16.

I sin bok «Industrial Megaprojects³» gir Edward W. Merrow råd om hvordan megaprojekter må håndteres for å lykkes. Merrow er grunnlegger og president i «Independent Project Analysis (IPA)». IPA har siden 1987 gjennomgått over 21 000 prosjekter og bygget opp en database som benyttes for å støtte beslutningstakerne hos sine kunder som typisk er Fortune 500 selskaper.

“Remember, front-end loading is still the world’s best capital investment” skriver han i sin bok.

I konteksten KS2 for FRE16 så må fokus være på modenheten i beslutningsgrunnlaget.

Spørsmålet EKS har stilt seg: Er beslutningsgrunnlaget i FRE16 modent nok for start av et megaprojekt, eller er det så umodent at det kan bli omkamper og større endringer?

3 Korridorvalg og overordnede design-parametere

3.1 Problemstilling

Korridoren som FRE16 har valgt, tar utgangspunkt i krav til linjeføring for en bane for en hastighet på 250 km/t. Dette medfører en stiv linjeføring med 3400 meter kurveradius som normalkrav. Korridoren er lagt i tunnel i nærhet av bebyggelsen i Sundvollen/Vik området, et meget fordyrende

³ ISBN 978-0-470-93882-9

valg. Tilsvarende er linjen over våtmarksområdene inn mot Hønefoss, også en meget kostbar løsning.

Spørsmålet EKS har stilt seg: Kan det aksepteres at den kostnadsdrivende linjeføringen som er valgt blir stående, eller kan det bli omkamper og større endringer?

3.2 Referanser

Det er utarbeidet tre delrapporter, datert 13. juni 2014, 31. oktober 2014 og 30. januar 2015. Delrapportene ble sendt på høring til berørte kommuner, fylkeskommuner og fylkesmenn.

Den første delrapporten, datert 13.06.2014, inneholder blant annet en drøfting av ulike planprosesser og framdriftsplaner. Den viktigste konklusjonen i den første delrapporten er at de to prosjektene kan og bør planlegges samordnet.

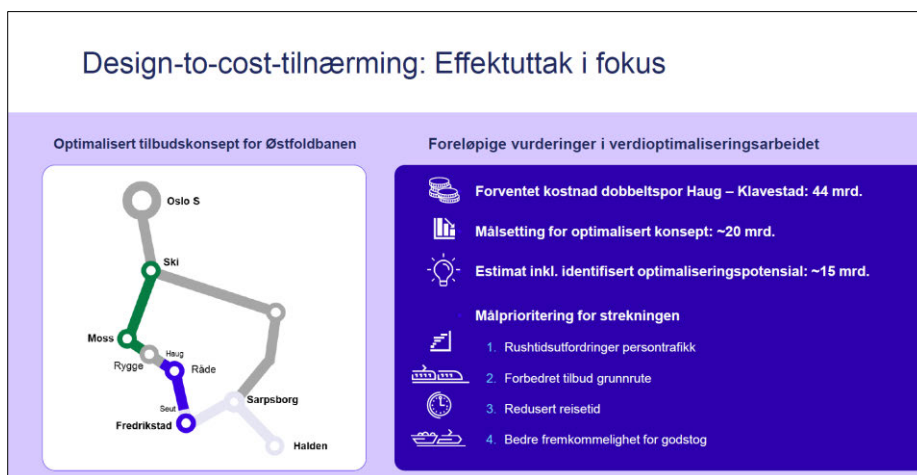
Den andre delrapporten, datert 31.10.2014, har korridorvalg som hovedtema. Her anbefaler Jernbaneverket og Statens vegvesen å forkaste løsningen med jernbane om Åsa. Rapporten inneholder også blant annet informasjon om kostnader og samfunnsøkonomi, samt en vurdering av OPS (Offentlig Privat Samarbeid), som etatene ikke anbefaler for dette prosjektet. Videre følger rapporten opp første delrapport med en revidert tidsplan som viser raskest mulige framdrift.

Den tredje delrapporten, datert 30.01.2015, er en silingsrapport som inneholder Jernbaneverkets og Statens vegvesens anbefaling av hvilken løsning for Ringeriksbanen og E16 Skaret – Hønefoss som bør legges til grunn for videre planlegging, og det faglige grunnlaget for denne anbefalingen. Investeringskostnadene var beregnet til 26 milliarder NOK (P50, 2015) med Netto Nytte (NN) på – 22 milliarder NOK. I den oppdaterte samfunnsøkonomiske analysen fra Jernbanedirektoratet (2020) så er NN på – 21,7 milliarder NOK, investeringskostnadene er økt til ca. 35 milliarder NOK.

3.3 EKS' kommentar

Det er overraskende at det er bevilget så store beløp til planlegging av FRE16 prosjektet over flere år når man fra starten av visste at korridoren som er valgt med Inter City (IC)-kravene som teknisk designbasis, vil gi et prosjekt med stor negativ netto nytte.

Bane NOR har nylig utviklet en modell for «*Design-to-cost-tilnærming: Effektuttak i fokus*», jf. nedenstående figur som er et eksempel fra Østfoldbanene. EKS anbefaler at denne metodikken legges til grunn for det videre arbeid med FRE16.



Figur 2 Illustrasjon av «Design-to-cost»-tilnærming med eksempel fra Østfoldbanene. Kilde: Jernbanedirektoratet.

4 Fellesprosjekt – er det fordyrende?

4.1 Problemstilling

FRE16-prosjektet følger korridoren som tilfredsstillende jernbanen med 3400 meter kurveradius som normalkrav. Krav til kurveradius for 110-km/t 4 felts veg er 800 meter. En 110-km/t-veg bygget etter SVV sine normer kan ferdigstilles vesentlig raskere enn jernbanen, trolig også billigere da en kan unngå den mest kostnadsdrivende del av traséen.

Spørsmålet EKS har stilt seg: Er det risiko for at forutsetningen om fellesprosjekt vil endre seg senere i prosjektet?

4.2 Referanser innhentet, interne - Trafikkavvikling i anleggsfasen

FRE16-prosjektet har gjort et forbilledlig arbeid med å kartlegge hvordan trafikkavviklingen i anleggsfasen kan skje på en mest mulig sikker måte for naboer og trafikanter, samt hvilke tiltak som vil bli iverksatt. Dette er dokumentert blant annet i *FRE-50-A-25160 01A Ringeriksbanen Styggdalen – Hønefoss, detaljplan/teknisk plan. Fagrapport anleggsgjennomføring, strekning 5* og i *FRE-50-A-25300 02A Styggdalen – Hønefoss, detaljplan og teknisk plan, strekning 5*, som viser til grundige faseplaner for omlegging av veg underveis i prosjektet.

EKS har ingen kommentarer til størrelsesorden på de kostnadene som er avsatt i kostnadsoverslaget for tiltakene.

4.3 Referanser innhentet, eksterne - Kulturbygging

Det er viktig å etablere en kultur som ser prosjektet som ett og fokuserer på «best for prosjektet», ikke på «oss» og «de».

På Fellesprosjektet E6 – Dovrebanen møttes to ulike byggherreorganisasjoner, med hver sin kultur. I prosjektet ble etablering av prosjektkultur og felles team viktig. Dette lyktes partene med. Bane NOR (Jernbaneverket) hadde mest eierskap til banen, og Statens vegvesen mest eierskap til veien. Likevel fremstod aktørene som én samlet byggherreorganisasjon. Beslutningsprosessen gikk fint. Byggherren hadde en prosjekteringsleder som tok beslutninger for begge parter. Oppgitte læringspunkter:

- Svært viktig at man utad agerer som en organisasjon og ett prosjekt.
- Samarbeidsavtaler er viktig.
- Uenigheter hos byggherren må tas på bakrommet. Uenighet må ikke synliggjøres foran entreprenørene.
- Skal man lykkes i et så stort prosjekt, må man skape en prosjektkultur som fungerer. En må gjøre ekstra grep som går på tillit, trivsel og teambygging, og unngå to leirer.
- Viktig med ledelse som evner å bygge mer enn betong og kubikk. Man må også ha relasjonsbyggingskompetanse, etc.

I prosjektet Politiets nasjonale beredskapssenter (formålsbygg 2,5 milliarder kroner, ferdigstilt høsten 2020) har man gjennomført prosjektet i et samspill mellom byggherrens prosjektledelse, prosjekteringsgruppe, totalentreprenøren og politiet. Prosjektet ble levert iht. plan og 100 millioner under tildelt budsjett. Kulturbygging for å sikre fokus på prosjektmålene «meste beredskap for pengene», samt å skape samarbeid og tillit på tvers, har vært avgjørende. Følgende er prosjektsjefens konkrete tips til hvordan en positiv kultur skapes (jf. veilederen: «Verdistyrt prosjektutvikling» versjon 2, som kommer i 2021). Prosjektledelsen bør:

- *formidle prosjektmålene* ved enhver anledning
- *frem snakke positiv adferd*, dvs. skryte av folk generelt, og ikke minst på tvers av organisasjonene, når det utføres godt arbeid.
- *utfordre krav*. Krav dukker opp over alt og er dyrt. Krav bør derfor alltid utfordres; 1) er det reelt? og 2) hvordan kan det best innfris?
- sørge for at man *løser utfordringer sammen* på tvers av organisasjonene. Kreativitet skapes best i tverrfaglige grupper.
- *ta folk på alvor* hvis noe tas opp. Ikke skyv ting under teppet.
- sørge for at partene får *eierskap til planer* gjennom involvering.
- bidra til full *åpenhet og transparens* om informasjon.
- *vise respekt* for de andre partene ved å forsøke å forstå den andre partens syn.
- *være rettferdig*. Det vil alltid være gråsoner; det er derfor viktig å gi og ta over tid.
- *skape engasjement*. Ha det gøy på jobb, skryt av folk og prosjektet, sats på humor, bryt opp hverdagen, feir små og store seire.

4.4 Veikostnader med et fellesprosjekt versus et veiprojekt alene

Krav til kurvatur for vei og bane er vesentlig forskjellig. Det er sannsynligvis betydelige kostnadmessige og miljømessige gevinster ved å velge annen vei-trasé hvis man ønsker å realisere kun vei. Tabellen nedenfor viser total kostnad og kostnad pr. kilometer for vei-delen av FRE16 (E16 Høggkastet - Hønefoss, som fellesprosjektet) sammenlignet med veiprojektene E16 Skaret – Høggkastet og E16 Bjørum – Skaret. Som man ser, gir fellesprosjektet en meget kostbar vei.

Med en optimalisert rute inkludert mer bruk av eksisterende trasé for E16 kunne man forvente å redusere kostnadene betydelig, jf. E16 Høggkastet – Hønefoss, alternativ rute. Med en enhetspris på 450.000 kroner pr. kilometer vil total kostnadene for vei reduseres med i størrelsesorden 2,4 milliarder kroner.

Kostnadsoverslaget i tabellen nedenfor for E16 Høggkastet – Hønefoss med alternativ rute (dvs. ikke som et fellesprosjekt med jernbane) er basert på Statens vegvesens estimater.

Strekning	Lengde (km)	Kostnad (MNOK) (P50, inkl. MVA)	Enhetspris (NOK) (inkl. MVA)
E16 Skaret - Høggkastet:	8,7	2.951	339.195
E16 Høggkastet - Hønefoss:	15,0	9.112	607.467
E16 Høggkastet - Hønefoss, alternativ rute:	15,0	6.750	450.000
Benchmark fra SVV			
E 16 Bjørum - Skaret	8,4		534.247

Tabell 1 Total kostnad og kostnad pr. kilometer for vei-delen av FRE16 sammenlignet alternativ rute og E16 Bjørum - Skaret

5 Krokskogtunnelen

5.1 Problemstilling

Det har vært nødvendig for EKS å forstå FRE16 sin begrunnelse for valg av tunnelkonsept, samt innhente eksterne referanser fra tilsvarende tunneler i EU samt problemstillinger som driving av

tunneler i tilsvarende krevende geologi som driving av Krokskogtunnelen vil stå ovenfor og hvordan det er løst. Med hensyn til den interne begrunnelsen så gjennomførte EKS referanseintervjuer med sentrale personer både i FRE16-prosjektet og i Bane NOR. De eksterne referanser har utarbeidet notater som besvarer problemstillinger som EKS har funnet sentrale for å ta et rett valg, både med hensyn til tunnelkonsept og drivemetode, - boring og sprenging (B&S) sammenlignet med tunnelboremaskin (TBM).

Moderne høyhastighetstunneler i EU bygges som enkeltsporetunneler. Eksempelvis:

- Sveits: Gotthard basetunnel, Lötschberg basetunnel, Ceneri basetunnel
- Østerrike: Brenner basetunnel, Semmering basetunnel, Koralmtunnel
- Tyskland: Katzenberg tunnel, Stuttgart 21 – Fildertunnel, Bosslertunnel
- Italia Frankrike: Lyon – Turin tunnel
- Sverige: Hallandsås tunnel
- Norge: Blixtunnelen (Follobanen)

Også i Spania er alle de siste lange tunnelene enkeltsporetunneler. Avstander mellom tverrforbindelser varierer mellom 350 – 500 meter. Utslagsgivende for valg av enkeltsporetunneler i EU er sikkerhet i driftsfasen da en må forutsette selv-evakuering. FRE16 har valgt et konsept med dobbeltsporetunnel og servicetunnel som følgelig bryter med den sikkerhetsfilosofien som har gitt og gir enkeltsporetunneler i EU.

Spørsmålet EKS har stilt seg: Hvorfor velger man et annet tunnelkonseptet for Krokskogentunnelen?

5.2 Overordnede oppsummerende betraktninger

Vedlegg 2 presenterer en del overordnede oppsummerende betraktninger, presentert for oppdragsgiverne 13.11.2020:

1. Krokskogtunnelen – Geologisk risiko: Utgangspunktet er krevende uansett konsept og drivemetode
2. Valgt konsept
3. Alternativt tunnelkonsept og drivemetode (eksempelvis)
4. Optimalisert tunnelkonsept for Krokskogtunnelen – Sammenligning oppsummert
5. Konklusjon og anbefalinger

Optimalisering tunnelkonsept utdypinger:

6. Krokskogtunnelen – Størrelsen på hvelv og risiko
7. Drivemetoder og ukontrollert utfall
8. Risiko for vanninnbrudd og forsinkelser er noe en må leve med
9. Sondérboring, forinjeksjon og erfarne mannskaper sikrer mot vanninntrenging og forsinkelser. De samme tiltak gjelder for begge drivemetoder.
10. Driftsfasen: Moderne, lange tunneler i EU bygges som enkeltsporede tunneler (twin tube)
11. HMS: Krokskogtunnelen - Personellsikkerhet og arbeidsmiljø
12. HMS: Er det en helsegevinst med TBM som drivemetode?
13. TBM-masser er egnet

5.3 Interne referanser

De interne referanser dekker Bane NOR utbyggingsdivisjonen, pågående prosjekter som Follobaneprosjektet (tidsplan inkludert jernbaneteknikk) og Drammen-Kobbervikdalen (løsmassetunnel), teknisk regelverk, jernbaneteknikk og infrastruktur.

Nedenfor er EKS sine utvalgte momenter fra intervjuene, samt på noen få punkter, komplementær informasjon innhentet av EKS for å få tilleggsperspektiver på enkelte vurderinger fra informantene.

Utbyggingsdivisjonen

Markedet synes å mene at Statens vegvesen og Bane NOR kunne være mer forutsigbare. Det må jobbes med forutsigbarhet for å skape trygghet i leverandørkjeden. Herunder menes forutsigbarhet på gjennomføring av prosjektene. Entreprenørene og leverandørene jobber flere år i forkant av at oppdrag skal gjennomføres. Ved en eventuell utsettelse eller forsinkelse av prosjektet kan dette føre til omprioriteringer hos leverandører og entreprenører. Prosjektet kan bli nedprioritert og slite med å få kvalifiserte og konkurransedyktige tilbydere.

Rådgivermarkedet synes å fungere godt, inkludert overgangen til rådgiver sin rolle i totalkontrakter. Det er også god erfaring med utenlandske rådgivere, spesielt hvor de bringer med seg kompetanse for løsninger som ikke ennå er vanlige i Norge, eksempelvis løsmassetunneler og TBM. En må sikre at rådgivere som har vært benyttet på FRE16 kan være tilgjengelige for totalkontraktene når den tid kommer. FRE16 må også sikre rådgivere til å styrke egen organisasjon underveis i prosjektet ved behov, tilsvarende som dette er løst i Follobaneprosjektet med en egen rammeavtale.

Det er viktig å utnytte et marked som varierer over tid, noe som krever fleksibilitet i kontraktstrategien. Det har vist seg at kontraktstørrelser på 2 – 4 milliarder NOK kan forventes å gi god konkurranse fra norske entreprenører. Grep som samspill/konkurranspreget dialog må være med i vurderingen der hvor det kan gi god uttelling for prosjektet gjennom reduserte risikopåslag fra entreprenørs side og få frem løsninger som kanskje ikke er så godt kjente i Norge, slik som løsningen til Condotte på kulvert inn mot Oslo S (bygges ovenfra) og løsningen som ble benyttet på Farriseidet – Porsgrunn (rørparaply for å unngå inngrep i terrenget over løsmassetunnel).

Øvrige besparelser som vurdering av nye tekniske løsninger, bl.a. for vann- og frostsikring i tunneler må gjennom grundige teknisk evaluering. Tunnelen skal designes for mer enn 100 års brukstid hvor trafikkmengde vil øke og følsomhet for stengning grunnet vedlikehold vil føre til store forstyrrelser i togtilbudet på berørte strekninger.

Teknologi

FRE16 har krav om å følge IC-designbasis slik at det blir enhetlige løsninger på Inter City-strekningene. Dette bidrar til standardisering, ivaretagelse av kvalitet, sikkerhet og levetidsperspektiv, sikrer kostnadseffektive løsninger, sikrer valg av riktige løsninger i forhold til ønsket funksjonalitet og effektiviserer framdrift av prosjektene på IC-strekningene. Gjennom dette oppnås en felles teknologisk plattform som sikrer at prosjektene tar sine beslutninger på samme grunnlag, og med lik vektning av relevante parametere, før endelig teknologisk løsning velges. TSI'er er ivarettatt i Teknisk regelverk. Bane NOR er godt orientert om den løpende utviklingen av TSI'er og deltar i enkelte komitéer.

For en brukstid på mer enn 100 år kreves kontaktstøp dersom en skal unngå langvarige perioder med stengning av driften. Det pågår teknisk utvikling på området, blant annet med spraybar

membran i frostfrie områder. Boltetikret fjell vil ikke tilfredsstillere krav om brukstid på mer enn 100 år alene. I den fire kilometer lange Gevingåstunnelen (skiltet hastighet 130 km/t) er cirka to kilometer dekket med sprøytebetong og sprøytemembran (2010).

EKS har innhentet følgende komplementær informasjon om forsøket i Gevingåstunnelen:

PhD/forskningsprosjektet: Vanntett permanent tunnelkledning med sprøytebetong og sprøytemembran. Virkning, egenskaper og testmetoder, v/Karl Gunnar Holter, Institutt for Geologi og Bergteknikk, NTNU beskriver erfaringer så langt (oktober 2013). Et par sitater: Strekkbelastning: Dynamiske laster, sug/trykkrefter i trafikkrommet kan gi variasjoner i strekkspenning i tunnelkledning opp til ca 0.01 MPa, svært mange belastningsrepetisjoner, rissdannelse i sprøytebetong, tøyning av membran over riss, tøyning av membran opp til ca 200% over riss som følge av termisk industert lengdeutvidelse av sprøytebetongmaterialet. Forskningsprosjektet ved SINTEF (2019 – 2023), SUPERCON (Sprayed sustainable permanent robotized concrete tunnel lining) har til hensikt å komme lengre med kvalifikasjon av sprøytebetong og sprøytemembran, men resultater fra forskningen vil først konkluderes i 2023.

Raset i Hanekleivtunnelen var forårsaket av svelleire som ikke ble tatt nok hensyn til i byggefasen, menneskelig svikt på oppfølging.

Boltene som en hadde kvalitetsproblemer med i Vestfoldprosjektet var grunnet mangler ved kvaliteten på pulverlakeringslaget. Det finnes svartstålbolter for bergsikring som har stått i 50 år + uten at de har mistet sin funksjon som bergsikring.

Lite steinras i bergtunneler, mens det er hyppige ras i forskjæringer.

Levetid 100 år betyr ikke det samme som vedlikeholdsfritt i 100 år. En god pekepinn om vedlikeholdsbehovet, er å innhente data fra dagens vedlikeholdsbehov i de lange tunnelene på Bergensbanen. Med innføring av såkalt «smart vedlikehold» med automatisert innhenting av tilstandsdata, vil vedlikeholdet bli bedre koordinert og effektivt.

Generelt er tunnelbygging en erfaringsbasert kompetanse og det er litt «religion» i spørsmålene om drivemetode, vann og frostsikring. De strenge tettekravene synes å være en «arv» etter Romerikstunnelen og begrunnet i miljøhensyn og risiko for setningsskader på bebyggelse (drenering av grunnen), og ikke i jernbanens behov for tett tunnel, som kan løses på andre måter, for eksempel punktdrenering. I den nye jernbanetunnelen under Helsinki-Vantaa Airport er dette prinsippet tatt i bruk.

Da prosjektet er kostnadsdrevet bør det velges kostnadsoptimale løsninger og forenklinger. Tunnelprofil og lining er viktige områder å fokusere på. Structor AS har utarbeidet en verdianalyse for Ringeriksbanen hvor potensielle forenklinger/besparelser er identifisert,

Dokumentene utarbeidet av FRE16 prosjektet er som regel kvalitetssikret av teknisk avdeling. Viktig med tverrfaglig kapasitet i kvalitetssikring av jernbaneteknikk for ivaretagelse av systemaspektet. Kapasitet i Bane NOR på jernbaneteknisk side er som følger (ca. antall personer innen ulike fagområder): signal 200, tele 40 – 50, ellers ca. 20 i de fleste avdelinger.

Infrastruktur

Bane NOR Infrastrukturdivisjonen, har vært rådført ved valg av tunnelkonsept for FRE16, med RAMS analysen som det sentrale beslutningsdokumentet.

Ringeriksbanens konsept med å plassere jernbaneteknisk utstyr i en service tunnel ansees bedre enn Follobanens løsning med utstyr i tverrforbindelsene, med hensyn til vedlikehold, men begge løsninger er akseptable.

En må samkjøre utviklingen av tunnelen og utvikling av vedlikeholdskonseptet slik at en unngår vedlikeholdskrevende løsninger for driftsfasen. Mulig at driftsbasen på Hønefoss kan utvides for å dekke Ringeriksbanens lange tunnel.

Ved å kreve 99,6% oppetid til teknisk løsning vil systemet bli overspesifisert, komplekst og unødig kostbart, både som investering og for driftsfasen. En bør starte med krav til punktlighet, deretter tillatte hvite tider og driftens krav til oppetid (99,1%), for så til slutt finne den tekniske løsning som tilfredsstillende disse kravene. Tenk «keep it simple», - unngå alarmer som ingen vil se på.

Erfaringsvis krever sporvekslere mye vedlikehold. Antall sporvekslere påvirker omfang av vedlikehold og driftstid/oppetid på strekning. EKS har forstått at antall sporvekslere og plassering på FRE16 er slik at en både ivaretar sikkerhet og vedlikehold/oppetid på en god måte.

Det jobbes med bruk av ny teknologi som f.eks. droner i tunneler for å skaffe seg god oversikt over tilstanden før vedlikeholdet utføres, noe som vil øke vedlikeholdseffektiviteten. Det er ventet at fastspor, som er valgt både for Follobanetunnelen og er forutsatt for Ringeriksbanen, vil redusere behovet for skinnevedlikehold sammenlignet med en ballastsporløsning.

I Oslotunnelen er det benyttet skinner (Furrer + Frey) istedenfor kontaktledning. Dette er det svært gode erfaringer med drifts- og vedlikeholdsmessig.

Brannpotensialet i nyere tog, som vil bli benyttet for persontransport i Ringeriksbanen, er lite og stort sett kun avhengig av bagasjen til passasjerene (nylig rapport fra Rice).

Fukt og våte tunneler er det som skaper mest behov for vedlikehold av skinner og øvrig teknisk utstyr.

Follobanen, TBM

Mer tydelig på krav i konkurransegrunnlaget:

- Spesifisere backfill kvalitet (peagravel). To-komponentløsning har vist seg være mindre motstandsdyktig mot utvasking. Lekkasjevann pga. utvasking bak betongelementene var sterkt alkalisk og kan ha opp til pH 12-13, - veldig korrosivt og har gitt etseskader (H1 skader) på personell.
- Kreve forinjeksjon (omforent prosedyre)
- Kriterier for hva som er tillatt vannintrenging (watertight) må spesifiseres presist for å unngå diskusjon
- Mechanical Completion (MC) er tatt for lett på vedr. jernbaneteknikk hittil, tross veldig tidlig introduksjon av konseptet i Follobaneprosjektet og som krav i kontraktene.
- TBM fyllingen på Stensrud/Gjersrud egner seg godt som byggegrunn for fremtidig byutvikling. Ved å benytte elektrisk drift av TBM'er, samt transportbånd for håndtering av TBM masser, har en redusert utslipp av CO₂ fra tunneldrift med 27 000 tonn og unngått å belaste veisystemet med 360 000 lastebillass.
- Pyrotittinnhold i masseuttaket fra TBM tunnelene var uforutsigbart og kunne følgelig ikke benyttes i betongproduksjonen. Derfor var det nødvendig å benytte eksternt kvalitetsmasse i betongproduksjonen. I fremtidige grunnundersøkelser så må sammensetningen av berget screenes for bestanddeler på et større spekter på forhånd, som eksempelvis etter pyrotitt, og dermed kan tas med som en forutsetning i konkurransegrunnlaget. I rombeporfyren på RB er det ikke pyrotitt.

- Konkurransesituasjonen er slik at en må benytte engelsk som kontraktspråk for å få reell og nødvendig konkurranse om tunnelarbeider og jernbaneteknikk.
- Rådgiverkompetanse på TBM må hentes fra utlandet. I Follobanen kom denne fra Amberg Engineering (CH).
- Sørg for god kartlegging av influensområder (hvor det er risiko for drenering) og sprekkemønster under kartlegging av geologiske grenser.
- Viktig at entreprenøren er godt kjent med området han skal utføre arbeidet i.
- Det er viktig å kunne beherske både D&B og TBM. AGJV og AF utfylte hverandre i så måte godt med kompetanse og erfaring på hvert sitt område i gjennomføringen.

Jernbaneteknikk, Follobanen

Erfaring med underbygging og jernbaneteknikk i samme kontrakt har så langt vært positiv. En unngår de grensesnittdiskusjoner mellom underbygging og jernbaneteknikk som en ellers får. Disse kan være både veldig dyre og tidkrevende for byggherren. Et eksempel er de pågående grensesnittdiskusjoner mot Ski, selv om det her kun er i ett geografisk grensesnitt. Punkter av mer allmenngyldig karakter er som følger:

1. Mer tydelig på krav i konkurransegrunnlaget:
 - Krav til at utenlandske entreprenører knytter til seg norsk ekspertise (tekniske «loser») som kjenner norske lover, regler og forskrifter godt. For eksempel innen elektro gjelder NEK 400 som er tuftet på EU regelverk, men norsk praksis er ikke helt den samme som i f.eks. Tyskland. Det samme gjelder kontakt mot ulike norske aktører som Hafslund, Telenor, Telia, o.l. Ved spenningssetting er det krav til dokumentasjon som en må kunne, ellers kan det bli betydelige forsinkelser av formell art.
 - Krav til at team som skal foreta «serieproduksjon» skal trene på forhånd. F.eks. «mock up» for installasjoner i tverrforbindelser, samt forhåndstrening på hvert team som skal støpe/legge fastspor. Uten fokus på dette, tar det for lang tid til å komme opp i tilstrekkelig produksjonstakt og kvalitet. I Ulrikentunnelen viste et samkjørt team på ca. 14 personer at de kunne holde både høy produksjon og høy kvalitet på støping av fastspor.
 - Krav til at u-entrepriser inngås i god tid, samt at IP fra ulike tilbydere ikke utnyttes av hovedentreprenøren i konkurransen for å presse pris.
 - Krav til at entreprenøren setter opp tverrfaglige teams som klarerer mangler («punch»), samt et krav om at manglene skal være få før byggherren inviteres til befaring. Bøter, om dette ikke skjer.
2. MIT (mobiltelefon i tog) 24/7 har blitt et «folkekrav» (ikke fra myndigheter/lover/forskrifter) som koster mye penger og krever mye utstyr i tunneler. I Follobanen er det MIT utstyr for opp mot 0,4 milliarder kroner. Telenor og Telia bidrar med 50 MNOK hver, Bane NOR dekker resten. Det monteres rammer hver 1,8 meter på begge sider gjennom tunnelene – to strålekabler henges opp på hver ramme.
3. For å sikre at entreprenør ikke tar snarveier, f.eks. benytter substandard betongelementer, så må en vurdere mer «vanntette» prosedyrer. (En mulighet er at alle godkjente betongelementer utstyres med RFID som ikke kan tukles med. Det finnes eksempler på dette).
4. Generelt har de internasjonale kravene til tunneler medført at utstyrmengden i tunneler har «eksplodert». Eksempelvis har traseen Oslo S – Eidsvoll på 63 km (Flytoglinjen) 24 tekniske rom, mens Follobanetunnelen har 30 stk på bare 20 km. Dette må tas omsyn til når en legger opp ruteplan og vedlikeholdsprogrammer.

5. Det har vist seg at dryppvannet fra tunnelen har høy pH. Dette har ført til at aluminium i strømførende ledning og jording som har vært eksponert, har fått så store korrosjonsskader at de må skiftes ut til et mer material (kobber) som er motstandsdyktig mot høy pH.
6. GSMR kan kreve utstyr i tunnelen for hver 500 meter.
7. De vertikale grensesnittene har vært en stor utfordring.

5.4 Eksterne referanser, intervjuer

Ny vannforsyning Oslo prosjektet (NVO)

Både Ringeriksbanen og NVO tunnelene skal gå gjennom vulkansk berg. NVO tunnelen krysser ca. 50 meter under Krokskogtunneltraseen, Opprinnelig konsept for NVO tunnel var boring og sprenging (B&S). Dette ble endret til TBM da risikoen med B&S i den konkrete vulkanske bergart under Krokskogen ble vurdert som for stor, både kostnads- og fremdriftsmessig.

Lekkasjekrav ned på 1 l/100 m/sek er veldig dyrt da det krever store mengder injeksjon som igjen er tids- og mannskapskrevende. Dessuten er alle injeksjonsarbeider forbundet med personrisiko da det brukes høye trykk. Vanlige krav til lekkasje (i Oslo) er 4 l/100 m/sek. I grigrendte strøk er kravene vanligvis 10 – 15 l/100 m/sek.

På Follobanen ble det gjennomført analyser av egnetheten fra TBM tunnelmasse for andre formål. Konkusjonen fra rapporten fra NGI var at TBM tunnelmasse tilfredsstillte «damforskriften», de strengeste krav som stilles. Med hensyn til robusthet mot tele/frost, så må det legges et lag med kvalitetsmasse på toppen av TBM tunnelmassen.

Leveringstid på TBM maskiner er ca. 12-13 mnd.

Follobanen oppnådde i snitt 15 m/dag fremdrift, ca. 5 km/år pr. TBM maskin. Det er anslått at Follobanens TBM maskiner kunne ha fullført arbeidet på ca. 3 mnd. kortere tid, dersom tidsplanen hadde krevd dette.

Oppgradert injeksjonsrigg påmontert TBM etter erfaringer fra Follobanen er også nødvendig for Krokskogtunnelen. TBM må spesifiseres av byggherren slik som på Follobanen.

Med hensyn til B&S alternativet som i dag ligger til grunn for FRE16 så synes både byggetid og kostnader å være betydelig underestimert (urealistisk fremdrift for B&S). Med lengre tid kan en ikke benytte %-påslag for rigg og drift, da blir estimatet for lavt. Skal en forsere så krever dette gjerne dobbelt mannskap og dobbelt utstyr som gir vesentlig høyere rigg og driftskostnader.

Tverrsnitt på 130 m² er meget krevende stabilitetsmessig. Det er trolig urealistisk med 123 m² tverrsnitt i praksis. Det starter gjerne ut som 123 m² tverrsnitt, men ender opp med 130 m² tverrsnitt. Sjekk tunnelene Lysaker – Asker.

Det er vesentlig bedre konkurransesituasjon på TBM sammenlignet med B&S, noe som NVO prosjektet erfarer i disse dager.

Levetid på hvelv (som ikke er fullt utstøpt) er i praksis mye lavere enn 70 år som de er dimensjonerte for. Ref. tunnelene på E18 i Vestfold.

Teknisk utrustning har mye lavere levetid enn 100 år.

Ved tyngre oppgradering må en stenge en toløpstunnel. Statens vegvesens stenger tunneler i opptil ett år ved tyngre vedlikehold/ oppgradering.

En B&S-tunnel vil alltid være drenert, dvs. at en TBM tunnel kan også være drenert. Tekniske data fra Transalp prosjektet viser at deres fjelloverdekning er 2 450 m. Ringeriksbanen har ca. 350 m. Det vil være fullt mulig å benytte TBM i samme trase som er valgt for B&S for Krokskogtunnelen. Prisformatet for NVO TBM-kontrakten vil ta inn erfaringer fra drivingen av Follobanen. Blant annet boretimer/cutter.

Tunnelektspert

Sitat:

Ny vannforsyning Oslo prosjektets tunnel til Holsfjorden krysser ca. 50 meter under lang tunnel FRE16 prosjektet og går i samme geologiske forhold. Hvorfor har dere konkludert med å benytte TBM og ikke B&S?

Grunnforholdene er krevende, og en må påregne soner med veldig dårlig fjell og større soner med vanninnngress. Dette må en være godt forberedt på å håndtere underveis i drivingen. De krevende grunnforholdene vil påvirke sikkerhet, sikringsmengde, tidsforbruk og kostnader negativt. Driving med TBM reduserer i betydelig grad ovennevnte risikoer sammenlignet med driving med B&S. Dessuten vil det være svært krevende å finne egnede tverrslag for vanntunnelens trase i tilfelle driving med B&S. Et mulig tverrslag på 2,5 km er lokalisert ved Franzefoss sitt anlegg v/Kolsåsbakken i Bærum. Vi konkluderte med at driving med B&S var lite egnet for vanntunnelen til Holsfjorden.

Tunnelkontrakten er av en størrelse som vil tiltrekke seg internasjonal konkurranse. Forinjeksjon med høye trykk er mindre benyttet i utlandet enn i Norge. Dette må adresseres allerede i pre-kvalifikasjonen.

Noen tiltak:

- Sette byggherrens krav til utstyr og kompetanse på forinjeksjon allerede i prekvalifikasjonsdokumentene (referanseprosjekter). I selve konkurransen må en gå ned på enkeltpersoner (CV).*
- Etablere en liste over mulige negative hendelser med aksjonsliste for sikker og effektiv håndtering dersom det inntreffer.*

For B&S må en påregne full utstøping i hele tunnelens lengde. I henhold til erfaringer fra Fellesprosjektet Dovrebanen – E6 så er det sikkerhetsmessig ikke forsvarlig å satse på samtidig tunneldrift og utstøping. Erfaring fra Fellesprosjektet Dovrebanen-E6 viste også at det gikk med mye mer betong enn beregnet til full utstøping, grunnet bla. blokkutfall og at den sprengte tunnelkonturen var mindre nøyaktig enn forutsatt.

Flere større tunnelprosjekter i Norge på beddingen, bla. Rogfast, Oslo vannforsyning, Fornebubanen og Nye veier sine prosjekter. For store B&S tunneljobber er det 4-5 norske kontraktører som kan ta slike jobber. Det er naturligvis mange utenlandske B&S kontraktører, men de er lite kjent med norske kompliserte grunnforhold. Forinjeksjon, som er påkrevd i norske tunneler, er de lite kjent med. AGJV kontrakten var den største uttaker av tunnelmasse i Norge i to år i henhold til NFF's tunnelstatistikk, nr.2 var Skanska.

Inndrift på ca. 90 m/uke +/- pr. TBM kan trolig påregnes med TBM og mannskap som har god erfaring fra høytrykks forinjeksjon, forutsatt tunneltverrsnitt som Follobanen.

Ekspert grunnforhold

Sitat:

Oppdeling av arbeidet på strekningen i flere totalkontrakter kan medføre ulike måter å løse grunnproblematikken på. Det anbefales å styre designen sentralt fra byggherre slik som FRE16 har planlagt. Det må også kontrolleres at gjennomføringen skjer i henhold til kravene. Det anbefales å kvalitetssikre designkravene med internasjonal spisskompetanse på komplekse grunnforhold.

De ulike måter å pæle på har veldig ulike kostnader og egenskaper:

- Jet-pæler: ca. 2000 NOK/lm (ingen drenvirkning, ikke robust mot skjærkrefter).
- Gruspæler: ca. 350 NOK/lm (har drenvirkning, og robust mot skjærkrefter).

En må gjøre en grundig sjekk om teknisk regelverk sine krav til innsynking på strekningen med ballastspor er adekvate og ikke for konservative og dermed kostnadsdrivende. Synkroniser tunnelarbeidene med massebehovet for underbygging slik at forbelastning og innsynkingsprosess fullføres i god tid.

5.5 Øvrige eksterne referanser, notater

For å sikre at EKS gir godt kvalifiserte råd og vurderinger, har EKS innhentet råd fra eksterne referanser som representerer noen av de mest anerkjente tunneleksperterne både internasjonalt og i Norge, se vedlegg. EKS har nedenfor listet opp noen hovedbudskap fra disse ekspertene:

Konseptuelle aspekter – ved valg av dobbeltspor/enkeltspor (twin-tube) tunnel i EU-området:

Drift og sikkerhet (drifts- og sikkerhetsårsaker er hoveddriveren for enkeltsporløsningen (twin-tube):

1. Ingen sporvekslere i tunnelen (hovedkilde til avsporing)
2. Vedlikehold er lettere å håndtere og mye tryggere i en enkeltspørtunnel enn i dobbeltspørtunnel (ingen vedlikeholdsarbeid – maskiner, personer osv. - nær spor i drift).
3. I nødstilfeller:
 - Lettere å overvåke operasjonelle aspekter i enkeltspørtunneler, lettere å betjene.
 - Nødsituasjon kan bety å evakuere > 1000 personer.
 - Evakueringsavstandene er lange, - folk kan ikke bare gå ut (eldre, funksjonshemmede, barn), de trenger transport.
 - Bare redningstog kan gi en slik kapasitet: de er tryggere i en parallell tunnel enn i en dobbeltspørtunnel.
 - Sikkerhetstunneler er generelt for små for effektiv redning (for lav transportkapasitet).

HMS-aspekter i anleggsfasen, som følge av bergmassens beskaffenhet

Slik Fagrapport ingeniørgeologi beskriver og tolker bergmassen, vil Krokskogtunnelen først og fremst være et injeksjonsprosjekt, og det må gjenspeiles i byggherrens kvalifikasjonskrav, tildelingskriterier og ikke minst byggherrens oppfølging under driving av tunnelen, uavhengig av valgt drivemetode.

I Fagrapport om ingeniørgeologi Strekning 1, kapittel 6, sies det at for Krokskogtunnelen «..., er både geologi og grunnvannsforhold mer kompliserte og utfordrende enn for de aller fleste andre tunnelanlegg som er bygget i Norge.» Det er etablert kunnskap at når tunnelbredden eller

spennvidden økes, er økningen i sikringsbehov overproporsjonal i forhold til økningen i spennvidde.

Det mest åpenbare risikoreducerende tiltaket i forhold til valgt tunnelkonsept, er å bygge tunnelen med to ensfors løp med teoretisk tverrsnitt 2 x 85 m² for B&S (evt. ned mot 2 x 75 m² ved optimalisering i forhold til aerodynamikk og plass til nødvendige installasjoner), eller 2 x 10 meter diameter (~ 79 m²) for TBM.

HMS-aspekter i anleggsfasen ved ulike drivemetoder

I en B&S drevet tunnel skjer vanligvis opplasting av masse og transport med dieseldrevne maskiner. Påkjøring av personer og stein som faller ned fra lastebiler er eksempler på hvor skader kan oppstå. I tillegg utvikles gasser fra selve sprengningen. Det vil alltid være en viss risiko med håndtering av sprengstoff, for eksempel påboring av gammelt sprengstoff. Sprengstoff benyttes ikke ved driving med TBM, hvor også massetransporten går via transportbånd og ikke kjøretøyer. Dette fører til lavere risiko for ulykker ved TBM drift enn ved B&S.

Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI) gjennomført en omfattende undersøkelse av arbeidsmiljøet under TBM boringen på Follobanen. De foreløpige resultater fra undersøkelsen er som følger:

«Det er også gjort prøvetaking av i hvilken grad arbeidstakerne er eksponert for eksos (dieselpartikler) og/eller oljetåke og der viser analysene av prøvene så langt, at eksponeringen er veldig lav ved driving med TBM sett opp imot hvilken eksponering tunnelarbeiderne blir eksponert for ved konvensjonell driving.»

EKS konkluderer med at HMS forholdene i en TBM drevet tunnel er bedre enn i en B&S drevet tunnel.

Anbefaling om drivemetode

Det anbefales at Krokskogtunnelen drives med 4 stk. enkeltskjold TBMer fra Avtjerna, som må være designet for å møte grunnforholdene langs tunnelen på en effektiv og sikker måte. Videre anbefales det kontinuerlig sonderboring langs hele tunnelen og forinjeksjon i områder med høyt grunnvannstrykk (f.eks. høyere enn 17 bar) eller når sonderboringen avdekker potensial for signifikante lekkasjer med lavere vanntrykk.

TBM spesifikasjon, viktige aspekter

Bane NOR må utvikle kravene til TBM spesifikasjonene. Noen viktige momenter er listet nedenfor, men langt fra uttømmende:

- Høy vekt på borhodet (mye stål) for å kunne motstå høye dynamiske laster og tilhørende vibrasjonsnivå.
- Stor diameter på hovedlageret som bærer det roterende borhodet.
- Stor kutterdiameter for å tåle høye og dynamiske kutterlaster.
- Høyt antall kuttere (dvs. relativt lav gjennomsnittlig avstand mellom kuttersporene).
- Stort variasjonsområde for borhodets rpm for å kunne bore effektivt også i sterkt oppsprukket bergmasse og i svakhetssoner i tillegg til «hard rock conditions».

Spesifikasjoner på øvrig utstyr

Enkeltskjold TBM kan designes for å motstå høye vanntrykk. Eksempelvis på Delaware Viaduct-prosjektet ble TBM designet for statiske trykk på opptil 30 bar (teoretisk vanntrykk på 20 bar x 1,5 (sikkerhetsmargin)). I tillegg til forseglingseffekten av å lukke TBM, kan vann pumpes inn i

skjærehodekammeret og danne et effektivt mottrykk for mer effektiv trykkfuging og dermed redusere strømmen innkommende vann. Dette har blitt brukt med suksess på f.eks. Hallandsås-prosjekt i Sverige.

Avgjørende her er utstyr for sonderboring og forinjeksjon. Her må det minimum være to separate boremaskiner med høy kapasitet. Disse må plasseres så langt frem mot stuff som mulig. Pumping av injeksjonsmasse må skje via minst 4 separate linjer for å opprettholde god kapasitet. Så må transportbånd for uttransport av bormasse ha høy kapasitet da en på strekninger i tunnelen kan forvente høy inndrift. Alt utstyr for logistikk må tilpasses slik at høy TBM inndrift og utnyttelse kan opprettholdes. Maskinleverandørene viser nå til design for plassering av borutstyr og boreporter slik at sonder- og injeksjonshull kan starte like bak stuff.

EKS' vurdering

EKS stiller seg tvilende til om Holm – Nykirke tunnelen på 12,3 km er egnet som modell for Krokskogtunnelen på 23 km. EKS stiller seg også tvilende til om 250 km/t hastighet er det rette dimensjoneringskriteriet for Krokskogtunnelen da høye krav til hastighet er en vesentlig kostnadsdriver.

5.6 Holm – Nykirke – tunnelen som referanse for Krokskogtunnelen

Modell for tunnelkonseptet for FRE16 har vært Holm – Nykirke tunnelen (250 km/t) på Vestfoldbanen er 12,3 km lang og har 133 m² utsprengt tunnelprofil, med 13 rømningstunneler, inkludert stasjonsinngangene. Det er benyttet betongelementer og ikke kontaktstøp som vann- og frostsikring, ca 10 % er sprøytebetong. Fjellsikring med bolter.

Erfaringer fra flere land med jernbanetunneler i drift og under bygging, viser at en generell trend er at lange tunneler > 15 km bygges som toløpstunneler, mens kortere tunneler < 8 km bygges som ettløpstunneler.

5.7 Kostnadsestimater for Krokskogtunnelen

5.7.1 Estimert merkostnad for dobbeltsporet tunnel med servicetunnel

FRE16 prosjektet har søkt om godkjenning for reduserte tverrsnitt av både hovedløp og servicetunnel, til henholdsvis 114 m² og 44 m². Basert på tidligere erfaring fra tunnelene mellom Lysaker og Sandvika, samt Fellesprosjektet E6 – Dovrebanen er EKS tvilende til at denne reduksjonen av tverrsnitt vil stå seg, men kommenterer ikke dette videre her.

I nedenstående tabell har EKS beregnet forskjellen i berguttak mellom dobbeltløp med redusert tverrsnitt og enkeltsporetunneler med redusert tverrsnitt. Meruttaket for dobbeltløp er på 1.208.381 m³ (fast), en merkostnad på ca. 0,6 milliarder NOK.

TBM redusert tverrsnitt				B&S - dobbeltløp - redusert tverrsnitt			
<i>Inndata</i>				<i>Inndata</i>			
Tunnellengde		23.000	m	Tunnellengde hovedløp		23.000	m
Antall løp		2	stk	Tunnellengde service		23.000	m
Tverrsnitt hovedtunnel	9,1	65,0	m ²	Tverrsnitt hovedtunnel		104,0	m ²
Tverrforbindelser		46	stk	Tverrsnitt servicetunnel		44,0	m ²
Tverrforbindelser lengde		20	m	Tverrslag lengde		6500	m
Tverrforbindelser tverrsnitt		25	m ²	Tverrslag tverrsnitt		60	m ²
Tverrslag lengde		2000	m				
Tverrslag tverrsnitt		60	m ²				
Bergvolum				Bergvolum			
TBM tunnel		2.990.269	m ³ fast	Hovedtunnel		2.392.000	m ³ fast
Tverrforbindelser		23.000	m ³ fast	Servicetunnel		1.012.000	m ³ fast
Tverrslag		120.000	m ³ fast	Tverrslag		390.000	m ³ fast
Overfjell sprengt	0,15	21.450	m ³ fast	Sum teoretisk		3.794.000	m³ fast
Sum berguttak		3.154.719	m³ fast	Overfjell	0,15	569.100	m ³ fast
				Sum berguttak		4.363.100	m³ fast

Tabell 2. Beregnet forskjell i berguttak mellom dobbeltløp med redusert tverrsnitt og enkeltsporetunneler med redusert tverrsnitt for Krogskogtunnelen. Kilde: EKS.

EKS har også beregnet forskjellen i betongmengder.

Konvensjonell drift - redusert tverrsnitt								
				Sprøytebetong		Plasstøpt		
		Lengde	Tverrsnitt	Buelengde	Tykkelse	Volum, m ³	Bet. Areal	Volum, m ³
Hovedtunnel	Kontur	23000	104	26,0	0,2	119.600	25,60	588.800
	Sporfundament	23000					1,35	31.050
Servicetunnel	Kontur	23000	44	17,5	0,12	48.300		
Tverrslag	Kontur	6500	60	25	0,12	19.500		
Sum						187.400		619.850
Sum sprøytebetong og plasstøpt, m³								807.250

Tabell 3. Beregnet betongmengde for Krogskogtunnelen med konvensjonell drift (redusert tverrsnitt). Kilde: EKS.

TBM - redusert tverrsnitt								
		Lengde	Tverrsnitt	Tverrsnitt betong	Sprøytebetong		Betongelement	
Betongkledning		46000	65	10,55				485.300
Bunnelement		46000		1				46.000
				Buelengde			Plasstøpt	
Tverrforbindelser		920		15	0,12	1.656	0,65	8.970
Tverrslag		2000	60	25	0,12	6.000		
Sum						7.656		540.270
Sum sprøytebetong og plasstøpt, m³								547.926

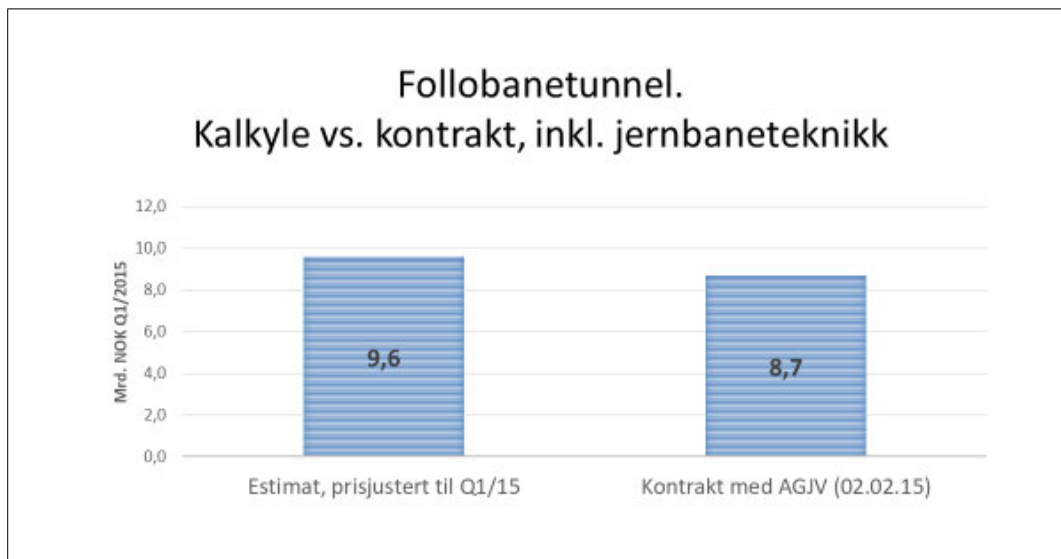
Tabell 4. Beregnet betongmengde for Krogskogtunnelen med TBM (redusert tverrsnitt). Kilde: EKS.

Forskjellen i betongmengder er på 260.000 m³, tilsvarende en merkostnad på minst 0,6 milliarder NOK for dobbeltsporet tunnel med servicetunnel med reduserte tverrsnitt. EKS mener det er god grunn til å anta at enkeltsporet tunnel drevet med fire TBM fra Avtjerna vil bli minst 1 milliarder NOK billigere enn dobbeltsporet tunnel med separat servicetunnel.

5.7.2 Benchmarking mellom drivemetoder, eksempel Follobanen

Ved valg av drivemethode for Follobanen ble det utarbeidet detaljerte kostnadsestimater både for TBM og for B&S. Kostnadsestimatene viste en marginal forskjell til fordel for D&B, men det ble ansett for å være innen estimeringsnøyaktigheten, altså ingen signifikant forskjell.

Figuren nedenfor viser situasjonen ved inngåelse av kontrakten med AGJV den 2. februar 2015. Kontrakten ble inngått på et beløp ca. 0,9 milliarder NOK lavere enn kostnadene som prosjektet hadde estimert.



Figur 3 Sammenligning av kalkyle vs. kontrakt for Follobanetunnelen. Kilde: Bane NOR.

Estimatet var basert på D&S. EKS mener at dette verifiserer at TBM ga lavere kostnad enn D&B for Follobanen, og mener at denne konklusjonen også er gyldig for Krokskogtunnelen.

Det er mulig å utvikle konkurransegrunnlag for både driving med TBM og driving med B&S. Dette ble vurdert på Follobanen, men industrien mente at dette ville føre til store merkostnader i forbindelse med konkurransen slik at de anbefalte at Jernbaneverket som byggherre skulle ta beslutning om drivemetode. Denne anbefalingen fulgte Jernbaneverket.

5.8 Tidsplan for Krokskogtunnelen

Den skjematisk fremdriften med fire enkelt skjold TBM fra Avtjerna er vist i nedenstående figur. Inkludert TBM montasje og demontasje er varigheten estimert til 40 kalendermåneder. Det er forutsatt å bore til sammen 19 300 m, de resterende ca. 3 800 meter vil drives med boring og sprenging fra henholdsvis syd og nord. Som nevnt i figuren nedenfor har en fleksibilitet tidsmessige ved å bore og sprengte mer enn ca. 3 800 m.

Krokskogtunnelen																																														
Skjematisk fremdrift																																														
	Driving med 4 TBM fra Avtjerna																																	Demontasje												
Total tid, kal. Mnd.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40						
TBM 1	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40			
TBM 2		1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
TBM 3			1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	1	2	3																	
TBM 4				1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	1	2	3																
TBM 1 & 2	Borer nordover 11 000 m, gjennomsnitt 77 m/uke => Totalt 33 måneder boring																																													
TBM 3 & 4	Borer sydover 8 200 m, gjennomsnitt 90 m/uke => Totalt 21 uker boring																																													
NB:	Ved å sprengre ca 1 000 m fra Sundvollen mot Avtjerna kan tiden reduseres med ca. 3 mnd.																																													
Merk 1	Avtjerna - Sundvollen har stor overdekning og derav mye injeksjon. FB med mye injeksjon drev ca 60 - 70 m/uke Her er borbarheten noe bedre; derfor 77 m/uke																																													
Merk 2	Deler av strekningen fra Avtjerna og sydover har overdekning under 170 m. Derfor mindre injeksjon. Har i tidligere faser regnet ca. 90 m/uke																																													
Merk 3	Regner med at det minst drives 24/6																																													

Figur 4 Skjematisk fremdriftsplan for Krokskogtunnelen med fire enkeltskjold TBM fra Avtjerna. Kilde: EKS

Tidsplanen ovenfor er basert på detaljerte beregninger som vist her med henholdsvis 50 % injeksjon og 100 % injeksjon. Som en vil se, er varigheten på 40 måneder på den konservative siden i forhold til de detaljerte beregningene og parameterne vist i tabellen nedenfor.

Effektiv lengde injeksjonsskjerm	25 m	Effektiv lengde injeksjonsskjerm	25 m
Netto inndrift	2,8 m/h	Netto inndrift	2,8 m/h
Maskinutnyttelse eks injeksjon	45 %	Maskinutnyttelse eks injeksjon	50 %
Tid for en komplett skjerm	24 h	Tid for en komplett skjerm	24 h
Andel av tunnallengde som injiseres	50 %	Andel av tunnallengde som injiseres	100 %
Ukentlig arbeidstid	144 h	Ukentlig arbeidstid	144 h
Tid for en 25 m seksjon		Tid for en 25 m seksjon	
Boring	8,9 h	Boring	8,9 h
Annet	10,9 h	Annet	8,9 h
Injeksjon	12 h	Injeksjon	24 h
Sum	31,8 h	Sum	41,9 h
Seksjoner pr uke	4,5	Seksjoner pr uke	3,4
Ukeinndrift	113,1 m/uke	Ukeinndrift	86,0 m/uke

Tabell 5 Detaljerte beregninger og parameterne bak fremdriftsplanen for Krokskogtunnelen. Kilde: EKS.

Follobanens kontrakt inneholder underbygning, overbygging samt jernbaneteknikk, hovedmilepælene er vist i nedenstående tabell.

Benchmark Follobanen (FB), aktivitet	Måned fra kontrakt dato, 2. februar 2015	Mnd.	År	Merknad
TBM 2 Start drilling	21			
TBM 1 Start drilling	22			
Breakthrough TBM 1	46	25		Varighet av boring 10 km
Walkway and invert, completed	54			
Permanent rail, completed	63			
Completed	76		6,3	30. april 2021
Varighet jernbaneteknikk		30		

Tabell 6 Fremdriftsplanen for Follobanen til sammenligning. Kilde: Bane NOR.

Da de jernbanetekniske installasjoner i Krokskogtunnelen vil være tilsvarende som i Follobanetunnelen, vil varighet av boring og installasjon av jernbaneteknikk bli 40 mnd. + 30 mnd. = 70 mnd. I tillegg kommer kontrahering og levering av 4 TBM ca. 20 mnd. Til sammen ca. 90 mnd., eller 7,5 år. Adkomsttunnel drives i parallell med kontrahering og levering av TBM.

6

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted text block]

[Redacted line]

[Redacted line]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted line]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

- [Redacted]

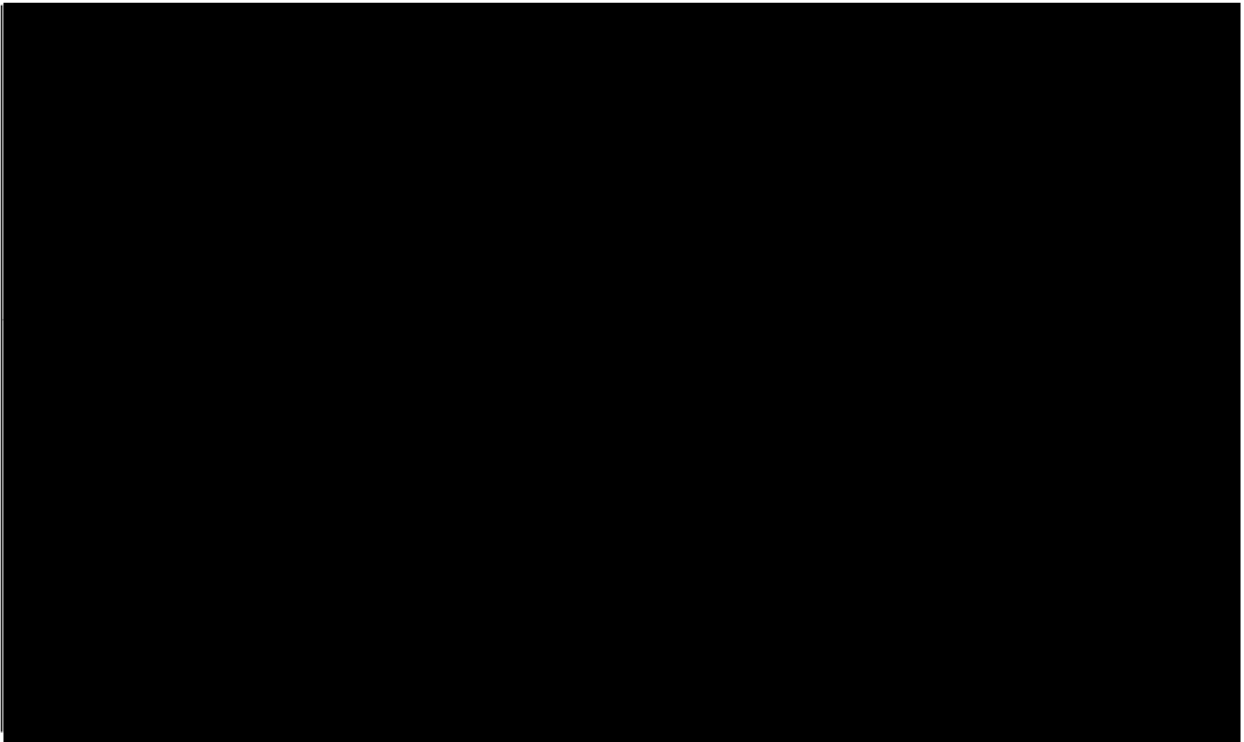
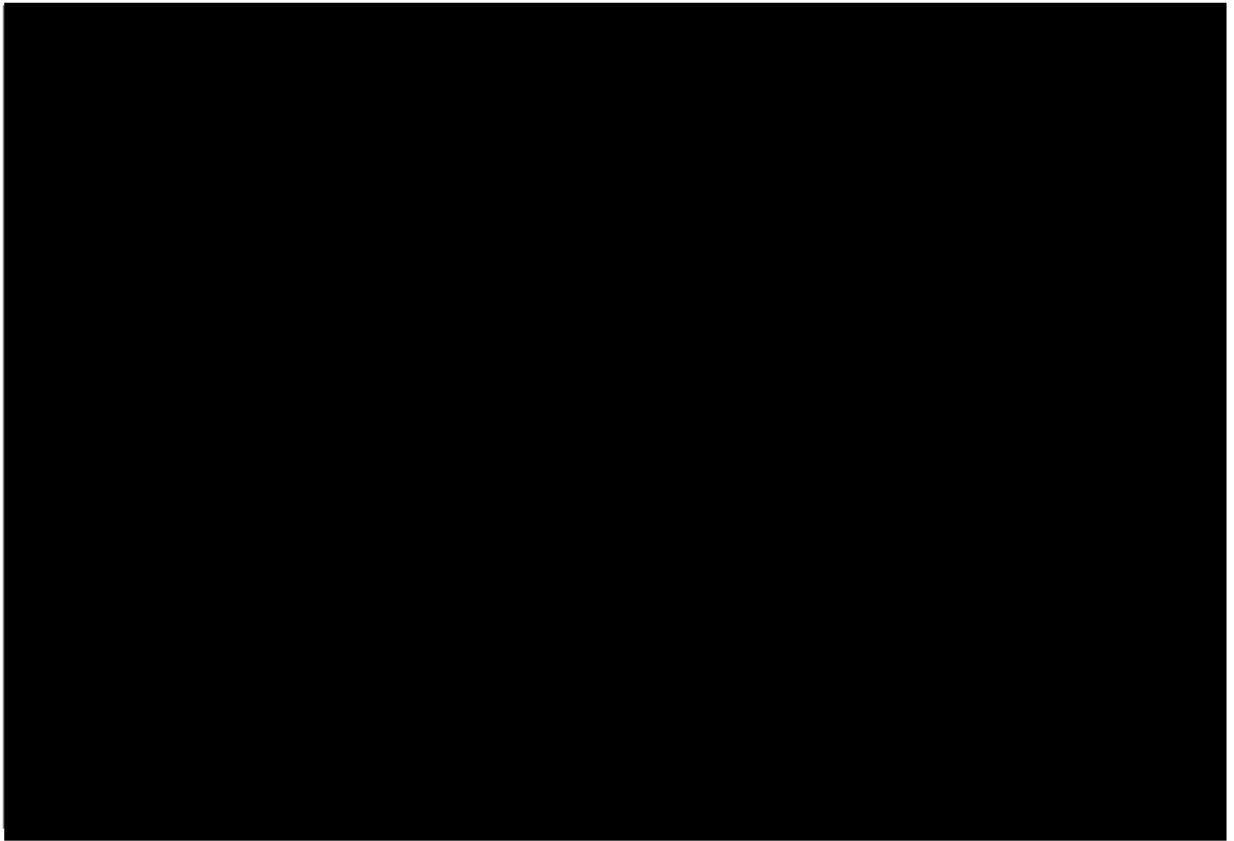
- [Redacted]

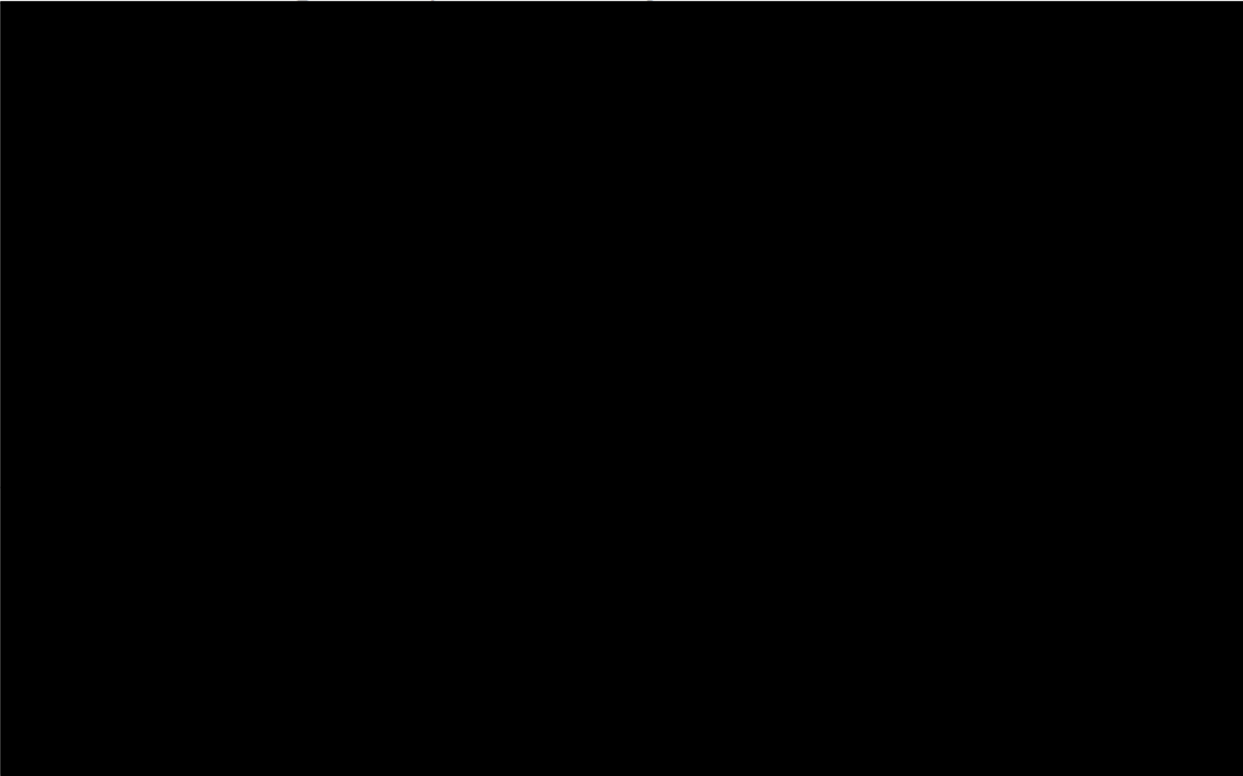
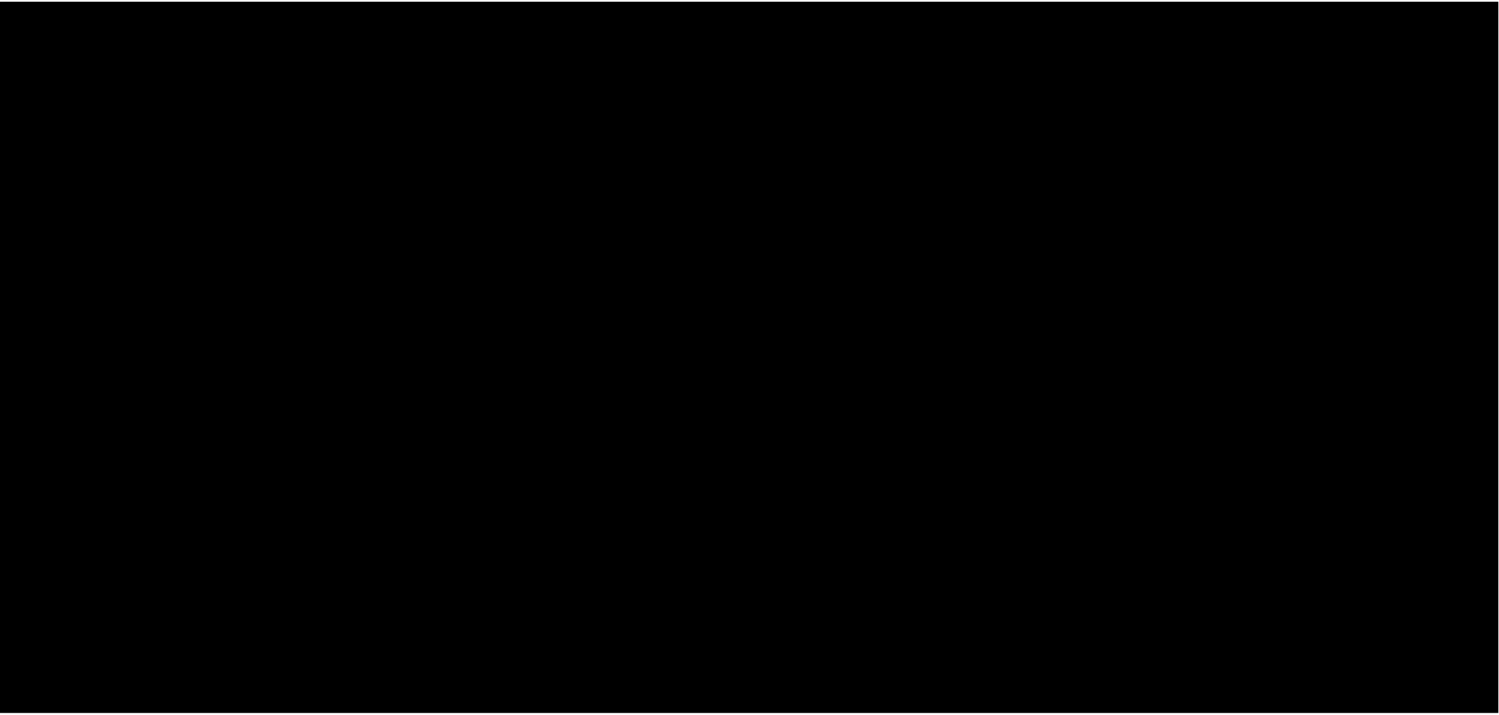
[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]







Vedlegg 1 Intervjuer og referansepersoner som har levert skriftlig materiale

Dato	Navn og organisasjon
24.06.2020	Trude Anke*, Bane NOR
24.06.2020	Anne Kathrine Kalager, Bane NOR
30.06.2020	Vibeke Aarnes*, Bane NOR
30.06.2020	Stine Undrum, Bane NOR
30.06.2020	Lise Backer, Bane NOR
08.07.2020	Brede Nerموen, Bane NOR
20.08.2020	Tore Myhrvold*, Bane NOR
Flere møter	Statens Vegvesen, flere møter med nøkkelpersoner i prosjektledelsen i porteføljen E16 Sandvika–Skaret–Høgkastet
28.08.2020	Møte med Nye Veier v/Bjørn Børseth, Erfaringsoverføring
01.09.2020	Åge Vold*, Bane NOR
19.06.2020	Steinar Johannessen*, Ny vannforsyning Oslo
25.06.2020	Robert Thumer*, Keller Group plc
26.06.2020	Thor Skjeggedal, Skjeggedal Construction Services AS, tunnelektspert
09.09.2020	Knut Garshol, K. Garshol - Rock Engineering Ltd, tunnelektspert
11.09.2020	Erik Frogner, AF Gruppen AS, prosjektdirektør, erfaringsoverføring
28.09.2020	Eirik Harding, Bane NOR, Assisterende prosjektsjef, erfaringsoverføring
08.10.2020	Tore Gulli, Prosjektdirektør i Bærum kommune ressursbank (steinmasser)

Tabell 7. Referansepersoner som er intervjuet. (*: Flere deltakere i møtet).

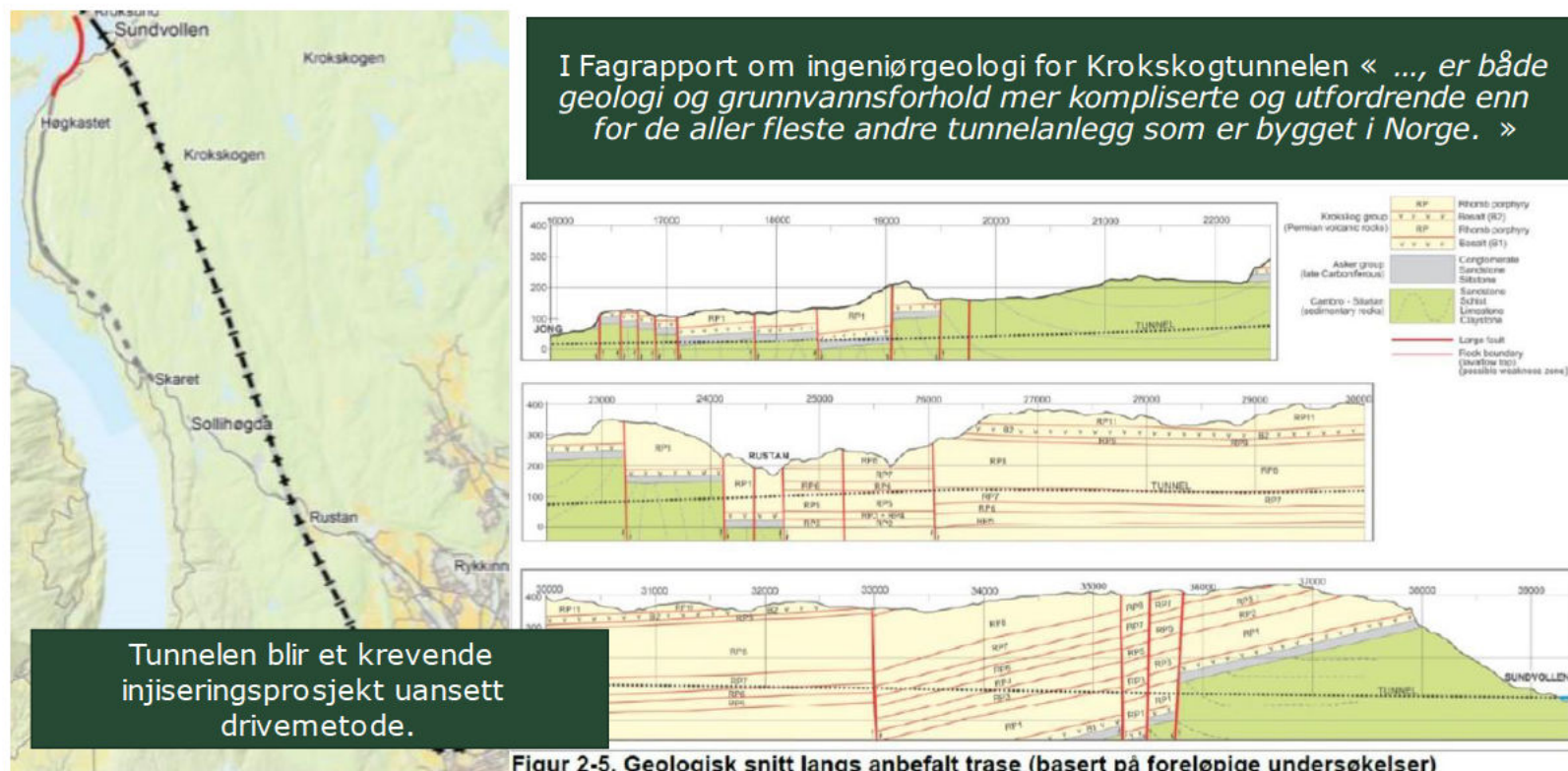
Navn	Organisasjon
Felix Amberg, M.Sc., tunnelektspert,	Amberg Engineering, CH
Amund Bruland, Ph.D, professor i anleggsteknikk	Institutt for bygg- og miljøteknikk, NTNU
Thor Skjeggedal, M.Sc., tunnelektspert	Skjeggedal Construction Services AS
Arnulf Hansen, M.Sc., tunnelektspert	AMH Consult AS
Sindre Log, M.Sc., tunnelektspert	The Robbins Company, ledende TBM leverandør

Tabell 8. Referansepersoner som har levert skriftlig materiale

Vedlegg 2 Overordnede oppsummerende betraktninger, presentert 13.11.2020

Følgende plansjer er et utdrag av presentasjonen for oppdragsgiverne 13.11.2020.

Krokskogtunnelen – Geologisk risiko: Utgangspunktet er krevende uansett konsept og drivemetode



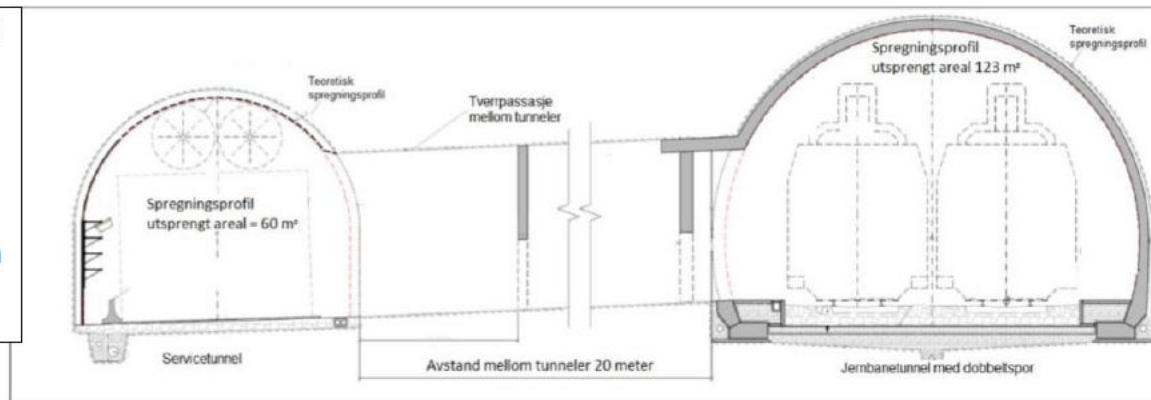
Valgt konsept

Tunnelkonsept og drivemetode

- 23 km jernbanetunnel med dobbeltspor og parallell rømnings- og servicetunnel fra Jong til Sundvollen.
- Avgreining fra Askerbanen skjer i berg inne i Tanumtunnelen og synlige tiltak i dagen er i forbindelse med atkomsttunneler, riggområder og massehåndtering.
- All drift og vedlikehold utføres fra servicetunnelen uten behov for sportilgang, bortsett fra spor og kontaktledning
- Mulighet til bærekraftig etterbruk av stein har influert på valg av drivemetode

Prosjektet har søkt om å redusere tverrsnittene fra 123 + 60 kvm til 104 + 44 kvm

Det er usikkert om dette er mulig uten å redusere på hastigheten.



Figur 4-2 Normalprofil for jernbanetunnelene mellom Jong og Sundvollen.

Alternativt tunnelkonsept og drivemetode (eksempelvis)

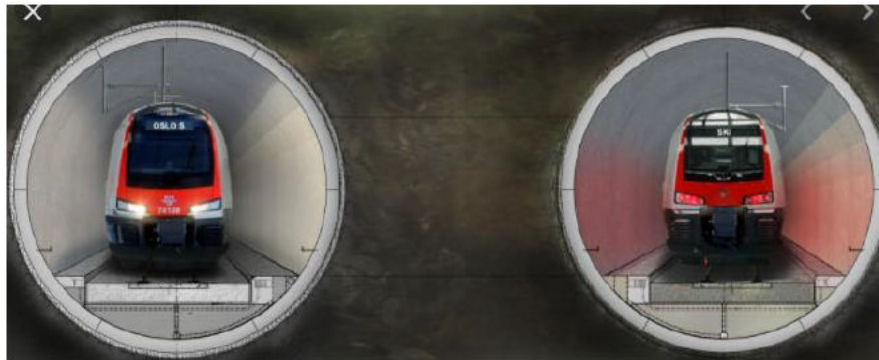
Steg 1

- To like tunneler: 2 x 65 -79 kvm
- Det legges til grunn at man også her søker å optimalisere tverrsnitt.

NB! Det er prosjektet som evt. må utrede et alternativt tunnelkonsept og drivemetode. EKS benytter dette alternativet som underlag for sammenligning.

Steg 2

- Industriell 1) drivemetode (TBM), 2) betongsikring og 3) transport av masser (transportbånd)
- 4 tunnelboremaskiner (type enkeltskjold) fra Avtjema
- Ikke tverrslag på Skui og transport av masser på vei
- Drift og vedlikehold som for Follobanen
- 17,2 km av tunnelmassene tas ut fra Avtjema. Medfører at kortere D&B -tunnel fra Sundvollen (ca. 2 km).



Optimalisert tunnelkonsept for Krokskogtunnelen – Sammenligning oppsummert

Funksjonelle krav (designbasis):

En bør vurdere å redusere krav til hastighet fra 250 km/t til 200 km/t, samt benytte strømskinne istedenfor kontaktledning. Dette vil redusere tunnelvernsnitt og byggekostnader

Helse, miljø og sikkerhet:

- To enkeltsportunnelegir bedre HMS (pri 1-målet) både i anleggsfasen og i driftsfasen enn nåværende konsept med dobbeltsportunnel og servicetunnel.
- To enkeltsportunneledrevet med tunnelboremaski(TBM) gir bedre HMS (pri 1-målet) enn tunneler drevet med boring og sprengning (B&S) i anleggsfasen.

Kostnad: Besparelser minst 1 mrd. NOK.

Fremdrift: En kostnadsoptimal gjennomføring med 4 enkeltskjold TBM fra Avtjernær på 7,5 år inkludert kontrahering. Med stortingsbeslutning i 2023 kan Ringeriksbanen settes i drift i 2030.

Prioritet	Resultatmål		Dobbeltspor-tunnel+service. Boring og sprengning
1	HMS	Kvalitet for natur- og nærmiljøet (sluttproduktet)	Tverrslag
1	HMS	Personellsikkerhet i anleggsperioden	stort velv, boring og prengning, langt flere folk eksponert, biltransport
1	HMS	Miljøbelastning i anleggsperioden	Mer masser, dieseltransport på vei og i tunnel, støy/støv fra transport, sprengningsmasser, økt energiforbruk, Betongbehov
1	HMS	Trafikkavvikling i anleggsperioden	2-300.000 tunge lastebiler på allerede trafikk-belastede veier i mange år (Bærum og Hole). Tildels saktegående pga. stor stigning. Meget lang varighet.

Konklusjon og anbefalinger

- Det er etter EKS sin vurdering ikke utført en helhetlig og objektiv sammenlignende utredning og analyse av hvilket tunnelkonsept og drivemetode som er mest egnet for Krogskogtunnelen sett i forhold til prosjektets målsettinger. Det er tid til å realisere det identifiserte besparingspotensialet.
- Man bør utrede og definere de to beste alternative konseptene (mht. tverrsnitt, lengder, teknologi, massebehov m.m.). Det bør deretter gjøres sammenlignbare analyser og beregninger på:
 - Massevolum
 - Massebehov
 - Gjenbruk av masser
 - Transportplaner
 - Eksponert personell
 - Arbeidsmiljø
 - Betongbehov og produksjon
 - Klimaregnskap
 - Fremdrift
 - Og basert på dette kostnader og risiko
- Tilrettelegging av konkurransegrunnlaget for alternative tilbud boring/sprenging (B&S) og tunnelboremaskin (TBM) bør vurderes.

For øvrig:

- Tunnelen blir et krevende injiseringsprosjekt uansett drivemetode og vil være beheftet med fremdriftsrisiko.
- Begge drivemetodene er egnet.
- Stort velv/dobbeltportunnel frarådes pga. sikkerhet/risiko (jf. også ALARP-prinsippet)
- Valgt konsept synes å tape på nær alle prioritert resultatmål.
- Det er pt. utfordrende å beregne kostnader godt fordi 1) tunneltverrsnittet på valgt løsning er uavklart og 2) samt at tunneltverrsnitt for to enkeltporttunneler ikke er utredet.
- Optimalisering av tverrsnitt og hastighet er uansett særs viktig for begge alternativene.

MARSTRAND.

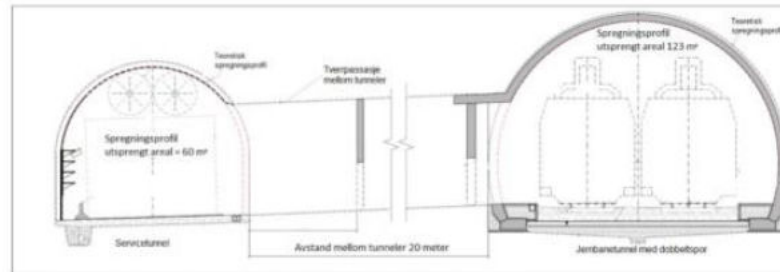


OPTIMALISERT TUNNELKONSEPT UTDYPING



Krokskogtunnelen – Størrelsen på velv og risiko

- Jf. «...geologi og grunnvannsforhold mer kompliserte og utfordrende enn for de aller fleste andre tunnelanlegg som er bygget i Norge»
- Det er etablert kunnskap at når tunnelbredden eller spennvidden økes er økningen i sikringsbehov overproportjonal i forhold til økningen i spennvidde (Dette framgår tydelig av systemet som brukes for å dimensjonere stabilitetssikringen i så å si alle tunneler som bygges i Norge).
- Personellrisiko øketilsvarende.
- En dobbeltsporet jernbanetunnel med utsprengt teoretisk tverrsnitt på 123 m² (som tilsvarer et utsprengt tverrsnitt på 135 m² eller mer når det tas hensyn til overmasse).
- ALARP (jf. BaneNORs Teknisk regelverk): Er en systematisk og dokumentert prosess for ytterligere forbedring av HMS. ALARP-prinsippet er at restrisikoen skal reduseres så langt det er praktisk mulig.
- **Det mest åpenbare risikoreducerende tiltaket i forhold til valgt tunnelkonsept, er å bygge tunnelen med toensporløp med teoretisk tverrsnitt 2 x 79 m² (evt. ned mot 2 x 65 m² ved optimalisering i forhold til hastighet og aerodynamikk).**

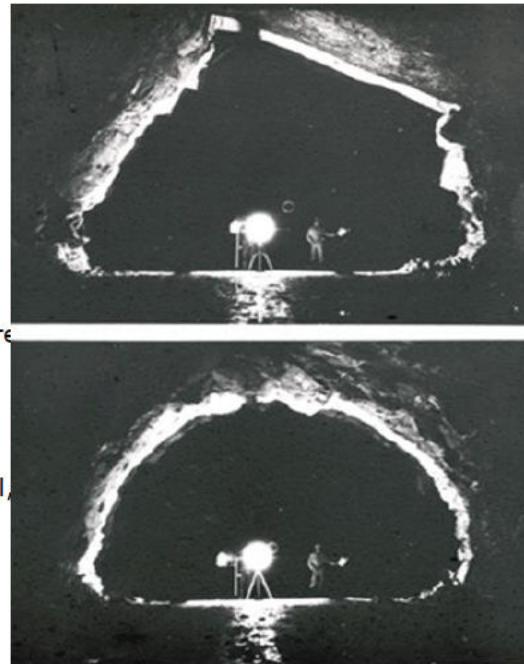


Drivemetoder og ukontrollert utfall

- **Geologisk fagrapport trekker fram subhorisontale og subvertikale svakhetssoner som en krevende geologisk utfordring.**
- Bildene viser mulig virkning av subhorisontale slepper/mindre svakhetssoner i en B&S-tunnel. Bildene er hentet fra Holmestrandtunnelen som ble drevet i 1981/82 (vegtunnel med et teoretisk tverrsnitt på ca. 63 m²).
- Øverste bilde: Utfallets mektighet er opp mot 3,5 m og tunnelbredden er ca. 9 m. Utfallet skjedde delvis samtidig med salvesprengningen og delvis ved rensk. Utfallet gjentok seg for flere etterfølgende salver.
- Et tverrsnitt på 123 m² i Krokskogtunnelen vil ha større spenn og trolig møte kraftigere svakhetssoner enn det som er årsaken til utfallet som vist på bildene. Begge deler øker risikoen for ukontrollert nedfall av betydelige volumer over planlagt tunnelprofil, og sannsynligvis over betydelig tunnellengde. Slike utfall vil være teknisk krevende å renske, stabilitetssikre og ferdigstille med vannrett membran og plasstøpt betongutføring.
- **Driving av tunnelen med TBM-skjoldmaskin og betongutføring vil i stor grad fjerne denne risikofaktoren.**

Holmestrandtunnelen

Utfall av bergmasse inn mot en subhorisontal (i tunnelens lengderetning) sleppe



Sprengningsresultatet i normalt god bergmasse

Risiko for vanninnbrudd og forsinkelser er noe en må leve med

Følgende prosjekter er kjent i bransjen for utfordringer med vanninntrengning:

- Saudefaldene i Sauda
- Problemsonene i Romeriksporten
- Problemsonen i Atlanterhavstunnelen
- Frysesonen i Oslofjordtunnelen
- Blokkeringsraset på Vinstra kraftverk
- Granfosstunnelen
- Festningstunnelen
- Sentrumstunnelen
- Vendesløyfa

Februar 2020

Varsler at Bybane -byggingen blir forsinket med nesten et halvt år.

Vannlekkasjene i tunnelen gjennom Løvestakken forsinker arbeidet med Bybanen.

<https://www.nrk.no/vestland/varsler-bybanebyggingen-blir-forsinket-med-nesten-et-halvt-ar-1.14894786>

April 2017

Krevende vannmengder med ekstremt trykk inni fjellet har gitt mannskapet ekstra utfordringer under byggingen av den nesten én mil lange Mælefjelltunnelen på E 134 i Telemark.

Rundt sju måneder etter oppsatt plan, og etter betydelig ekstra innsats for å stagge vannmassene.

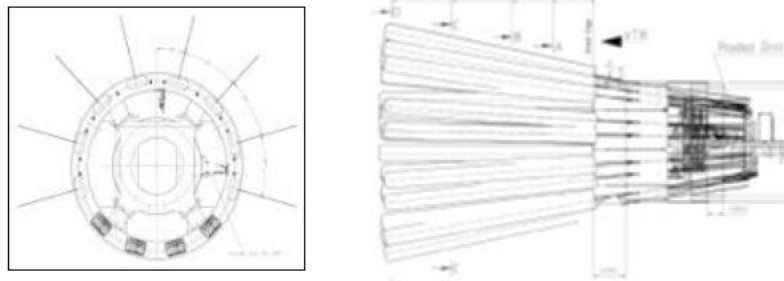
<http://www.bygg.no/article/1311063>

- Sondérboring, forinjeksjon og erfarne mannskaper sikrer mot vanninntrenging og forsinkelser. De samme tiltak gjelder for begge drivemetoder.

Tiltak

- Ekstra kartlegging og sondérboring
- Forinjeksjon
- Spesialtilpasset pumpeutstyr med pakkere (pakninger) for høye vanntrykk.
- Erfarne mannskaper på høytrykks injeksjon.

Tunnelbormaskin (TBM)



En moderne TBM kan spesifiseres for å ta utfordringene den vil møte, også i Krokskogtunnelen. Tallrike eksempler.

Venstre figur viser mulig boltemønster. I dette tilfellet kan hullene vinkles 45 grader ut fra tunnelaksen, 40 – 50 stk. for 10 m dia TBM. Høyre figur viser mulig injeksjonsskjerm.

Enkeltskjold TBM kan lukkes mot vanntrykket mens man borer sonder - og injeksjonshull gjennom såkalte BOP -ventiler (Blow -Out Preventer).

Driftsfasen: Moderne, lange tunneler i EU bygges som enkeltsporede tunneler (twin tube)

Argumentene som benyttes i EU for å velge enkeltsporetunneler vist til høyre (ALARP).

Det er mange rapporter som underbygger dette.

Disse argumentene ble også benyttet i Follobaneprosjektet

FRE16 Project - Sandvika to Hønefoss

Some Consideration on Tunnel Aspects

Conceptual Aspects – Double / Single Track Tunnel

- Operation and safety (operational and safety reasons are main driver for the twin tube solution)
 - Maintenance is easier to handle and much safer in a twin tube scheme than in double track tunnel (no maintenance work – machinery, people etc - close to tracks in operation)
 - In case of emergency:
 - Double track tunnel with lateral safety tunnel means that passengers to evacuate may have to cross tracks under operation -> high risk, not feasible for elderly, handicapped persons
 - 'Safety area' = cross passages in twin tube scheme can be reached by passengers without crossing tracks under traffic, emergency ways can be designed that elderly and handicapped persons can use them
 - Safety areas = cross passages allow an easier communication and 'management' of persons to be rescued
 - In case of fire:
 - Clear air flow situation (smoke etc) allows controlled intervention
 - Passengers are lesser exposed to smoke risk in a twin tube scheme
 - Rescue train does not enter a tunnel with a fire (= safer evacuation conditions)

 AMBERG
ENGINEERING

5

HMS: Krokskogtunnelen - Personellsikkerhet og arbeidsmiljø

Drivere

Antall personer eksponert x eksponering pr. person x varighet på eksponering

Boring og sprenging (B&S)

- Totalebemanning i tunnel for opp til 12 stuffer: 90 -130 /skift.
- Risiko for nedfall før full utstøping
- Sprenging m/ røkgasser
- Massetransport med dieseltrucker
- Lastebiltransport av tunnelmasser fra tverrslag på offentlig veg til Avtjerna
- Støvproblematikk

Tunnelbormaskin (TBM)

- Bemanning i tunnel ved 4 TBM: 40 - 56 /skift (4 stuffer)
- Betongelementer beskytter løpende mot nedfall
- Elektrisk drift på både TBM og massetransportbånd
- Ingen sprenging
- Ingen transport av tunnelmasser på offentlig veg
- Støvproblematikk

HMS: Er det en helsegevinst med TBM som drivemetode?

Det er også gjort prøvetaking av i hvilken grad arbeidstakerne er eksponert for eksos (dieselpartikler) og/eller oljetåke og der viser analysene av prøvene så langt, **at eksponeringen er veldig lav ved driving med TBM sett opp imot hvilken eksponering tunnelarbeiderne blir eksponert for ved konvensjonell driving.**

Denne lave eksponeringen vil kunne forklares med at TBMe er elektrisk drevet og transport av steinmassene foregår ved hjelp av transportbånd fra Me og ut i dagen. Ved konvensjonell driving tas steinmassene ut etter sprengning ved hjelp av dieseldrevne hjullastere og dumpere som skaper en betydelig mengde eksos, og i tillegg fører denne konvensjonelle hjulbaserte massetransporten til at det i hele tunnelen virvles opp steinstøv påstuff og langs transportveiene gjennom tunnelanlegget og helt ut til massedeponiet.

Denne støveksponeringen utsettes alle som jobber i tunnelen for og dermed er det et større antall personer som eksponeres for støv, ikke bare de som jobber på stoff.

Jf. innlegg ved Geir Elvemopå Fjellsprengningskonferanse 2019



TBM-masser er egnet

En kvalifisert beskrivelse av TBM -masser finnes i disse rapportene:



Etter NGIs vurdering er utlegging av TBM-masser på Gjørsrud – Stensrud utført etter de angitte prosedyrer som det er vist til i reguleringsplanen og underlaget for den, og kvaliteten er lik eller bedre enn kravene i gjeldene regelverk.

Jf. UFB-31-A-70105 00B Deponiområdet Gjørsrud – Stensrud. Vurdering av kvalitet av utført fylling ved Gjørsrud - Stensrud , 17.07.2020