


NYTT DOBBELTSPOR OSLO - SKI

VURDERING AV DRIVEMETODE FOR TUNNELENE PÅ FOLLOBANEN

RAPPORT PÅ UTREDNINGSNIVÅ

01A	Endelig rapport	01.09.2008	Flere	SvS	AKK	
00	Foreløpig versjon til høring i drivemetodegruppen	25.06.2008	Flere	SvS	AKK	
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av	
Follobanen km. 1,45 - 19,42 Vurdering av drivemetode for tunnelene på Follobanen Rapport på utredningsnivå		Ant. sider				
		59				
		Produsent	Jernbaneverket Utbygging			
		Prod. dok. nr.				
		Erstatning for				
Prosjekt: Oslo S - Ski st. Parsell: Oslo S - Ski st.		Erstattet av				
		Dokument nr.	UOS-00-A-90005		Rev. 01A	
 Jernbaneverket			Dokument nr.	Rev.		

Forord

Som en del av forarbeidene med å starte prosjekteringen av dobbeltsporprosjektet Oslo - Ski (Follobanen) har Jernbaneverket igangsatt arbeid med å vurdere alternative drivemetoder for de lange tunnelene på Follobanen. Arbeidet er utført på utredningsnivå, dvs. fasen før hovedplan.

Hensikten med rapporten er å vurdere ulike aspekter knyttet til valg av drivemetode, samt å understøtte valg av alternative trasékorridorer dersom det blir vedtatt å utarbeide ny hovedplan for Follobanen.

Jernbaneverket har nedsatt en gruppe uavhengige rådgivere til å vurdere alternative traséer og på bakgrunn av disse vurdere den mest optimale / hensiktsmessige drivemetode, gitt en del forutsetninger. Jernbaneverket har vært representert med to personer i gruppen i tillegg til at arbeidet er fulgt opp av prosjektsjef Anne Kathrine Kalager. Arbeidsgruppen har bestått av:

Siv. ing. Svein Sørheim, eget firma (leder av gruppen)
Siv. ing. Per Bollingmo, Multiconsult AS
Dr. ing. Bjørn Buen, eget firma
Siv. ing. Erik Dahl Johansen, eget firma
Siv. ing. Arnulf Martin Hansen, eget firma
Siv. ing. Thor Skjeggedal, eget firma

Siv. ing. Frank Kobbhaug, Jernbaneverket
Siv. ing. Bjørnar Gammelsæter, Jernbaneverket

Parallelt drivemetodevurderingene er det arbeidet med å finne ut om det i dag er riktig å legge til grunn at Follobanen skal gå innom Kolbotn og Vevelstad slik den godkjente hovedplanen fra 1995 forutsetter. Siden 1995 har det dessuten skjedd endringer i Teknisk regelverk noe som bl.a. angir nye krav til lange jernbanetunneler. En egen rådgivergruppe har sett på nye krav til rømming / evakuering og gitt input til foreliggende rapport. Denne rådgivergruppen har dessuten bistått med vurderinger av naturforhold, løsmasseforhold og hydrogeologiske vurderinger. Ytterligere er drivemetodevurderingene koordinert mot arbeidet som pågår vedrørende innføringen av Follobanen til Oslo S samt arbeidet med å finne de beste traséalternativene inn mot Ski stasjon. Det er ikke utført detaljerte konsekvensvurderinger for traséalternativene i forbindelse med drivemetodevurderingene.

Oslo 1. september 2008

Anne Kathrine Kalager
Prosjektsjef

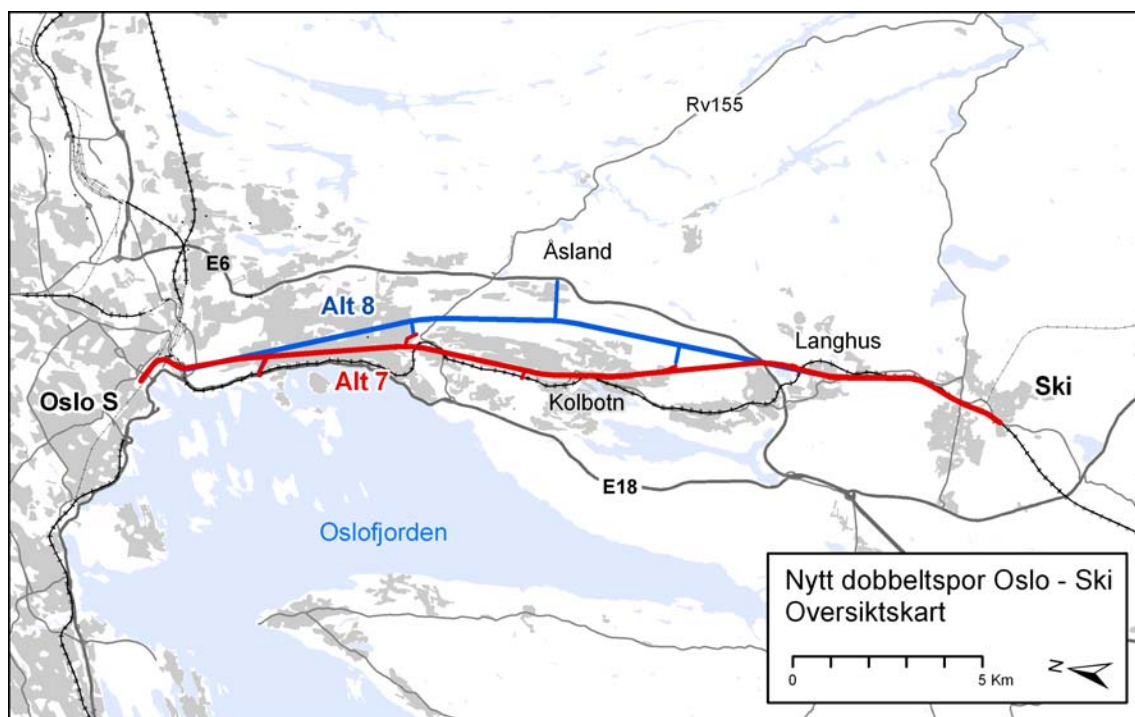
INNHOLDSFORTEGNELSE	Side
1 SAMMENDRAG	3
2 BAKGRUNN OG FORUTSETNINGER	3
2.1 GENERELT	3
2.2 FORUTSETNINGER FOR PROSJEKTET	3
2.3 FORUTSETNINGER FOR TUNNELDRIFTEN	3
2.4 YTRE MILJØ FORHOLD	3
2.5 JERNBANETEKNIKK / SPORPLANER	3
3 BESKRIVELSE AV TUNNELTRASÉENE OG TUNNELKONSEPTENE	3
3.1 GENERELT	3
3.2 TRASÉ VIA KOLBOTN (ALTERNATIV 7).....	3
3.3 TRASÉ UTENOM KOLBOTN (ALTERNATIV 8)	3
3.4 VURDERTE TUNNELKONSEPTER	3
4 GEOLOGI.....	3
4.1 BERGGRUNNSGEOLOGI	3
4.2 BERGARTSFORDELING LANGS TRASÉENE	3
4.3 BERGARTSEGENSKAPER	3
4.4 BERGMASSEKVALITET	3
4.5 BERGMASSEKLASSIFISERING	3
4.6 SIKRINGSMENGDER FOR SPRENGT TUNNEL.....	3
5 TOPOGRAFI OG LØSMASSEFORHOLD	3
5.1 TOPOGRAFI OG LØSMASSER.....	3
5.2 LØSMASSETYPER OG SETNINGSPOTENSIAL	3
6 HYDROGEOLOGI OG NATUR	3
6.1 GENERELT	3
6.2 HYDROLOGI.....	3
6.3 GRUNNVANNSFORHOLD	3
6.4 NATURFORHOLD.....	3
6.5 TETTESTRATEGI OG TETTEKRAV	3
7 TUNNELDRIFT MED KONVENSJONELL DRIVEMETODE	3
7.1 GENERELT	3
7.2 TVERRSLAG OG RIGGOMRÅDER.....	3
7.3 TUNNELDRIVING OG STABILITETSSIKRING	3
7.4 TETTING AV TUNNELENE	3
7.5 UNDERBYGNING, VANN- OG FROSTSIKRING, JERNBANETEKNISKE INSTALLASJONER, MV	3
7.6 YTRE MILJØ FORHOLD	3
8 TUNNELDRIFT MED TBM	3
8.1 GENERELT	3
8.2 TUNNELER, TUNNELKONSEPTER, MV	3
8.3 TBM-MASKINER, TYPER, DIAMETRE, MV	3
8.4 TRASÉALTERNATIVENE	3
8.5 INNDRIFTER, ARBEIDSTID, MV	3
8.6 ANLEGGSTEKNISKE FORHOLD	3
8.7 KONTRAKTSMESSIGE FORHOLD	3
9 KOSTNADER OG BYGGETID.....	3
9.1 KONVENSJONELL TUNNELDRIVING	3
9.2 TUNNELDRIVING MED TBM.....	3
9.3 OPPSUMMERING TID OG KOSTNADER	3

10	KONKLUSJON OG ANBEFALING	3
11	REFERANSER.....	3
12	VEDLEGG.....	3
12.1	BERGMASSEKLASSIFISERING.....	3
12.2	ENHETSSIKRING.....	3
12.3	OVERSIKT TUNNELLENGDER, TVERRSLAGSLENGDER, STUFFLENGDER, MV	3
12.4	KOSTNADSOVERSLAG.....	3
12.5	REFERANSEPROSJEKTER I HARDE BERGARTER MED DOBBELTSKJOLD TBM	3
12.6	TEGNINGER OG FREMDRIFTSPLANER.....	3

1 SAMMENDRAG

Generelt

For bygging av nytt dobbeltspor mellom Oslo S og Ski st. har drivemetodegruppen foreslått to alternative tunneltraséer; én trasé for tilknytning til Kolbotn stasjon (alternativ 7) og én trasé dersom Follobanen ikke skal ha stasjonstilknytning mellom Oslo og Ski (alternativ 8). I begge tilfellene er tunnelen sammenhengende fra Loenga/Gamlebyen til Langhus. Tunnelen er ca. 18 km lang i begge alternativene; henholdsvis 17,85 km for alternativ 7 og 17,97 km for alternativ 8.



Figur 1.1: Kartillustrasjoner som viser de to foreslåtte traséalternativene for Follobanen.

Det er vurdert to ulike drivemetoder for tunnelen; med konvensjonell drivemetode (boring og sprengning), og driving ved hjelp av tunnelboremaskiner (TBM). Rapporten beskriver disse to alternativene og sammenligner de ut fra de spesifikke kriteriene som Jernbaneverket har lagt til grunn for prosjektet; anleggsgjennomføring / drivemetode og kostnader. Jernbaneverkets suksesskriterier mht. tid, kvalitet, kostnader og sikkerhet ligger til grunn for vurderingene, samt at det ytre miljø i anleggsfasen er forsøkt hensyntatt på en tilfredsstillende måte.

Hvert av tunnelalternativene med konvensjonell drivemetode er vurdert i forhold til 3 tunnelkonsepter; tunnelkonsept 0, 1 og 2. Tunnelkonsept 0 (alt. 7.0 og alt. 8.0) er en dobbeltsporet tunnel med tverrslag / rømmingsveier for hver 1000 m. Tunnelkonsept 1 (alt. 7.1 og alt. 8.1) er en dobbeltsporet tunnel med servicetunnel og rømmingsmulighet for hver 1000 m, mens tunnelkonsept 2 (alt. 7.2 og alt. 8.2) er to enkeltsporete tunneler med rømmingsmulighet for hver 500 m.

For TBM er de samme tre tunnelkonseptene vurdert, men kun tunnelkonsept 2 er detaljert beskrevet i rapporten. Årsaken er at det kun er dette konseptet som er vurdert konkurransedyktig mht. tid og kostnader.

Traséalternativene

Flere ulike traséalternativer er vurdert, både i horisontalplanet og vertikalt. Trasévurderingene konkluderer med én sammenhengende tunnel fra Loenga/Gamlebyen og forbi bebyggelsen på Langhus. I vurdering av drivemetode for tunnelen har vi i denne rapporten forutsatt at tunnelen starter ved km 1,450 ved Loenga/Gamlebyen. En egen rapport omhandler innføringen til Oslo S.

Begge traséalternativene ligger på et lavt nivå under Ekebergåsen siden traséen må ligge under Loelva før innføringen til Oslo S. Det bemerkes at begge traséalternativene må undersøkes og bearbeides videre vis-a-vis tunnelene som Oslo vann- og avløpsvesen, samt andre etater har i området. Traseéne ligger på 3 ‰ stigning sørover slik at en kan krysse Ljanselva i berg med brukbar overdekning.

For alternativ 7 som går via Kolbotn, ligger tunnelen under Storeåsen og Rikeåsen, mens alternativ 8 går lenger øst og under Bjørndal, Pinnåsen og Grønliåsen. Mens alternativ 7 må stige opp mot Kolbotn, ligger alternativ 8 dypt i berg frem til Tussetjern. Her forenes traséalternativene i en felles trasé og er tilnærmet like i horisontalplanet og vertikallplanet like sør for Tussetjern, under bebyggelsen på Langhus og videre mot Ski stasjon.

Hovedforskjellen på traséene ligger i at traséen under Pinnåsen/Grønliåsen ligger dypere og har vesentlig større lengde under ubebygde naturområder. Dette har betydning for byggetid og kostnad for sprengt løsning ved at injeksjonsomfanget kan reduseres. Dog er det forutsatt systematisk injeksjon også under disse områdene.

En trasé som kommer ut på vestsiden av Østfoldbanen ved Langhus er foreslått siden dette gir en enklere og mer fleksibel løsning for traséen videre sørover mot Ski st. Tunnelpåhugget sør for Langhusveien er henholdsvis på km 19,300 for alternativ 7 og km 19,420 for alternativ 8. Alternativ 8 er altså 120 m lengre enn alternativ 7. En egen rapport omhandler dagstrekningen mot Ski.

Grunnforhold

Det høyeste terrengpunktet over traséen via Kolbotn er på 172 moh, mens tilsvarende punkt for den østre traséen er 227 moh. Den marine grense i Osloområdet er på ca. 220 moh, noe som betyr at praktisk talt hele prosjektområdet ligger under den marine grense. Dermed vil man kunne ha marine avsetninger (silt og leire) langs begge traséer, noe som har betydning for vurdering av setningsfaren. Store deler av prosjektområdet har berg i dagen eller tynne, usammenhengende løsmassedekker, men det finnes også områder med mektige marine avsetninger og områder med organisk materiale (torv/myr).

Grunnvannsforholdene er stort sett knyttet til berggrunnen i prosjektområdet. Nord for Ekebergskrånningen, i Gamlebyen, samt i jordbruksområdene mellom Vevelstad og Ski, kan det forventes grunnvann i løsmasser nær overflaten. Også i andre områder med mektige løsmasseavsetninger, for eksempel i Hauketoområdet, kan det antas høy grunnvannsstand. På Ekeberg-/Nordstrandsplataet, er grunnvannet i stor grad begrenset til sprekker i berget. Over den største delen av dette området, ligger grunnvannet dypt, særlig i de høyere områdene et stykke fra sjøen. Det er ikke forventet store mengder grunnvann i løsmassene i dette området. Likevel kan det være noen begrensede områder med grunnvann i løsmasser.

Vest og nord for Ekebergskrånningen, som følger hovedforkastningen i Oslofeltet, består berggrunnen av sedimentær leirskifer og kalkstein. For øvrig består berggrunnen i prosjektområdet i hovedsak av metamorfe granitt- og gneisbergarter.

Inspeksjon av eksisterende bergrom og tunneler, borer og registreringer i overflaten viser at bergartene er moderat oppsprukne, friske og sterke utenom der de er påvirket av elementer som svekker, så som gjennomsettende sprekker, slepper, svake bergartslag og rene svakhetssoner. Det er ikke indikasjoner på at verken høye, lave eller anisotrope spenninger vil være noe problem. Prosjektet er spesielt i den forstand at det dreier seg om store tunneler som er planlagt drevet parallelt eller med liten vinkel til bergartens struktur og en hovedsvakhetsretning.

Tunneldriving med konvensjonell drivemetode (boring og sprengning)

En konvensjonell drevet tunnel må ha flere angrepspunkter (tverrslag) for å få en akseptabel byggetid. Foruten at endepunktene for tunnelen kan være angrepspunkter må det drives tverrslagstunneler inn til hovedløpet. Fra tverrslagene drives så tunnelen i to retninger.

Den ca. 18 km lange tunnelen vil for begge traséalternativene kunne drives hensiktsmessig ved hjelp av 6 tverrslag samt tunneldrift fra Gamlebyen. Tverrslagene er foreslått lokalisert ved Bekkelaget, Furubråtveien, Hauketo, Rosenholm, Sofiemyr og Tussetjern for traséen via Kolbotn. For det andre traséalternativet benyttes de samme tverrslagene med unntak av Rosenholm som byttes ut med et tverrslag like ved E6, ved avkjøringen til Åsland pukkverk.

Tunnelene på Follobanen forutsettes drevet med vekt på å tilfredsstille krav til det ytre miljø. Dette innebærer bl.a. omfattende tetttiltak slik at setningsskader på overliggende bebyggelse eller natur unngås. For øvrig bygges tunnelen etter moderne prinsipper for høytrafikkerte jernbanetunneler.

Tunneldriving med tunnelboremaskiner (TBM)

Tunneldriving med tunnelboremaskiner har klare fordeler for lange tunneler. Det meste av tunnelene på Follobanen kan drives fra ett tverrslag og det kan under gunstige bergforhold oppnås gode inndrifter og relativt lave kostnader. TBM-drift vil også ha fordeler for det ytre miljø vis-à-vis konvensjonell tunnelsprengning.

Det er valgt å anbefale og kostnadsberegne en TBM av type dobbeltskjoldmaskin. Dette er en maskintype som etterlater seg en fullt utforet og tett tunnel, jfr. figur 1.2 nedenfor. Denne metoden gir en tunnelløsning som er gunstig med tanke på drift og vedlikehold av jernbanetunnelene.



Figur 1.2: Fullprofilboret tunnel med diameter 14,2 m, utforet med betongsegmenter.

Dette er den eneste maskintypen som er vurdert gjennomførbart / konkurransedyktig mot sprengt løsning under de rådende forholdene på strekningen Oslo - Ski. Med det driftsopplegget som er valgt, driving uten systematisk forinjisering, er det avgjørende at det formonteres tilstrekkelig antall vanninfiltrasjonsbrønner på strekningen slik at grunnvannsstanden / poretrykket kan opprettholdes under boringen.

I de senere årene har det ikke vært gjennomført TBM prosjekter i Norge. Erfaringer med TBM for vei og jernbane er også svært begrenset i Norge. Utviklingen internasjonalt er imidlertid at de fleste lange samferdselstunneler drives med TBM-boring, og det er en rekke sammenlignbare prosjekter å hente erfaringer fra.

Ytre miljø i anleggsfasen

De miljømessige forholdene i anleggsfasen er ikke utredet i detalj for de to alternative drivemetodene. Generelt kan det imidlertid sies at alternativet som går utenom Kolbotn er gunstigst mht. det ytre miljø i anleggsfasen ved at færre boliger ligger over / ved siden av traséen. Likeledes kan det generelt sies at TBM-driften gir færrest ulemper for nærmiljøene ved tverrslagene ved at det benyttes færre tverrslag. Naturinteressene skal uansett ivaretas på en god måte.

Det er forutsatt for TBM-alternativene at alle tunnelmasser kan plasseres ved Åsland pukkverk. For alternativ 8 er det fra tverrslaget kort vei til steinbruddet og dette gir klare fordeler sammenlignet med sprengt løsning som har massetransport fra 6 tverrslag dels med trafikk forbi boligområder. For alternativ 7 er det imidlertid nødvendig å kjøre massene fra Rosenholm til Åsland pukkverk på lastebil.

Hovedkonklusjonen er likevel at TBM-drift er bedre for det ytre miljø i anleggsfasen totalt sett. Ved vurderingene er det massetransport fra anlegget samt nærmiljøforholdene, inkludert strukturstøy og vibrasjoner, som er tillagt størst vekt.

Kostnader og byggetid

Drivemetodegruppen har utarbeidet en grunnkalkyle for tunnelalternativene. Kostnader til overvåkingsprogrammet (mht. grunnvannsovervåking, rystelsesmålinger, bygningsbesiktigelse, etc.) er ikke med i grunnkalkylen.

Det tunnelkonseptet som gir de laveste investeringskostnadene ved konvensjonell tunneldrift er tunnelkonsept 0, deretter følger konsept 1 og konsept 2. Kostnader og byggetid for de forskjellige alternativene med konvensjonell drift og TBM-drift er som angitt i tabell 1.1 nedenfor. Det presiseres at kostnadene for alternativ 7 gjelder en gjennomgående tunnel under/forbi Kolbotn sentrum. Kostnader for ny stasjon mv. ved Kolbotn er altså ikke med.

Tabell 1.1: Oversikt tid og kostnader for tunnelene på Follobanen.

Drivemetode / tunnelkonsept	Alternativ	Kostnad mrd. kr	Byggetid år og mnd.
Sprengt dobbeltspors tunnel og rømning for hver 1000 m. Tunnelkonsept 0.	Alt. 7.0	3,447	5 år 7 mnd.
	Alt. 8.0	3,569	5 år 4 mnd.
Sprengt dobbeltspors tunnel med servicetunnel. Tunnelkonsept 1.	Alt. 7.1	4,450	5 år 6 mnd.
	Alt. 8.1	4,285	5 år 3 mnd.
Sprengt to enkeltspors tunneler. Tunnelkonsept 2.	Alt. 7.2	5,162	4 år 10 mnd.
	Alt. 8.2	5,111	4 år 11 mnd.
To enkeltspors tunneler drevet med TBM. Tunnelkonsept 2.	Alt.7.TBM	4,749	5 år 11 mnd.
	Alt.8.TBM	4,818	5 år 9 mnd.

Kostnadsforskjellen mellom traséalternativene 7 og 8 er liten for de konvensjonelle alternativene; alternativ 8 er 0-300 mill. kr. rimeligere avhengig av tunnelkonsept og at en tar hensyn til kostnadene for overvåkingsprogrammet. For TBM er det også liten forskjell. Her er alternativ 8 rimeligst (ca. 100 mill.kr.) når en tar hensyn til kostnadene for overvåkingsprogrammet og vanninfiltrasjonsopplegget.

For beregning av kostnader og byggetider er det for konvensjonell drift regnet med en ukentlig arbeidstid på 101 timer og 46 arbeidsuker per år. Det oppnås en hensiktsmessig / optimal fremdrift ved bruk av 6 tverrslag. Ved å øke antall tverrslag kan Follobanen eventuelt bygges enda noe raskere uten at kostnaden øker vesentlig.

For beregning av byggetid er det for TBM-drivingen regnet med 144 timer pr uke og 50 uker per år. 144 timer pr uke er foreslått fordi det ved internasjonale TBM-prosjekter er vanlig å benytte en slik arbeidstidsordning. Det er imidlertid usikkerhet knyttet til en arbeidstidsordning på 144 timer pr. uke på Follobanen og det vil bli økninger i kostnadsoverslaget og tidsregnskapet dersom en ikke får utnyttet tunnelboremaskinen slik som forutsatt.

Konklusjon og anbefaling

Drivemetodegruppens vurdering er at TBM-boring av tunnelene på Follobanen er konkurransedyktig sammenlignet med sprengt løsning for tunnelkonsept 2. TBM-tunnelene er dessuten gunstig med tanke på drift og vedlikehold fordi de er fullt utført med betongsegmenter. Velges tunnelkonsept 0 eller 1 er konvensjonell tunneldrift å anbefale.

Det er liten kostnads- og fremdriftsforskjell mellom alternativ 7 og 8 med hensyn til valg av drivemetode. Dog er alternativ 8 enklere og mer rasjonell for bruk av TBM ettersom en stasjonsløsning ved Kolbotn kompliserer anleggsgjennomføringen noe.

Vedrørende valg av drivemetode er det nødvendig å avvente dette til tunnelkonsept og tunnelalternativ er bestemt. Dette betyr at drivemetodevurderinger eventuelt også må utføres i neste planfase; i arbeidet med ny hovedplan.

Dersom TBM-alternativet er med i videre planfaser, er det viktig at det i reguleringsplanfasen settes av rigg- og anleggsarealer til begge alternativene slik at det gis en reell mulighet for konkurranse mellom drivemetodene.

Vedrørende TBM-drift bør det utføres en optimalisering av tunneldiameteren for TBM, særlig med tanke på de jernbanetekniske installasjonene, da dette kan ha stor betydning for kostnader og tidsforbruk. Det bør arbeides videre med å optimalisere tidsforbruket for de jernbanetekniske arbeidene etter at tunnelboringen er ferdig. Det bør også undersøkes nærmere om 144 timer pr uke for TBM-drift er en akseptabel arbeidstidsordning.

Bergartenes mekaniske egenskaper er viktige parametere for beregning av tunnelproduksjonen, spesielt for drift med tunnelboremaskin. Det anbefales at det gjennomføres et omfattende program for kartlegging, prøvetaking og testing av bergmassene i prosjektområdet i neste planfase. Det er også viktig å undersøke løsmassenes egenskaper, deres mektighet og utbredelse samt grunnvannsforhold.

2 BAKGRUNN OG FORUTSETNINGER

2.1 Generelt

For nytt dobbeltspor mellom Oslo S og Ski st. foreligger godkjent hovedplan fra oktober 1995. Hovedplanen forutsetter en linje via stasjonene Hauketo, Kolbotn og Vevelstad og med tilknytning til disse stasjonene. Linjen er senere endret og optimalisert, bl.a. ved at linjen ved Hauketo er frikoblet fra stasjonen og planlagt i tunnel under Sloreåsen etter vedtak i Oslo kommune.

Siden 1995 har det kommet mange nye krav i teknisk regelverk vedrørende jernbanetunneler, bl.a. nye krav til rømming / evakuering fra lange tunneler. Bl.a. stilles det nå krav til rømmingsmulighet minst for hver 1000 m for tunneler med dobbeltspor, og tverrforbindelser med maksimal avstand 500 m for tunneler med to parallelle løp. Kravene medfører vesentlige endringer i forhold til hovedplanens tunnelkonsept. Videre er det slik at jernbanetunneler i dag generelt har krav om bedre standard enn tunneler som ble bygget for 10 -15 år tilbake. Typisk standardforbedringer er økt tunnelvernsnitt, økt størrelse på kabelkanaler, økt tykkelse på ballastpukken, økt tunnelbredde pga. rømming, strengere krav til drypp/lekkasjer i tunnelene, ønske om inspeksjonsmulighet bak hvelv, mv.

Kravene for å ivareta det ytre miljø er også skjerpet, både ved myndighetskrav og krav fra omgivelsene. Bl.a. er støykravene skjerpet (i T-1442) og det viser seg stadig vanskeligere å få aksept for å bygge tverrslagstunneler i tettbebygde strøk. Alle disse forholdene har innvirkning på valg av drivemetode samt på byggetid og kostnader.

2.2 Forutsetninger for prosjektet

Forutsetningene for prosjektet er at prosjektering og bygging skal skje i henhold til godkjente planer, teknisk regelverk samt lover og forskrifter. Det er videre forutsatt at Jernbaneverkets suksesskriterier mht. omdømme, tid, kvalitet, kostnader og sikkerhet ligger til grunn samt at det ytre miljø i anleggsfasen hensyntas på en god måte.

For Follobanen stilles det også strenge krav til stigningsforhold, kurvatur, mv. Det forutsettes at maksimal stigning er 12,5 ‰ og at minste kurveradius i horisontalplanet er 2400 m for strekningshastighet 200 km/t. Inn mot Oslo og Ski er det reduserte krav pga. hastighetsbegrensinger. Dersom en linje utenom Kolbotn velges økes minste kurveradius til 3000 m for å kunne kjøre tog i 250 km/t. Alle øvrige krav til sporgeometri forutsettes tilfredsstillt.

Prosjektet forutsetter å imøtekomme krav til støy iht. T-1442 "Støy i arealplanlegging", både i anleggsperioden og i permanent situasjon. Videre forutsettes at prosjektet imøtekommer krav om maksimal strukturstøy på 32dBA i permanent situasjon. I anleggsperioden forutsettes det at prosjektet utarbeider et miljøoppfølgingsprogram i samarbeid med de berørte kommuner. Krav i forhold til det ytre miljø vil her bli beskrevet og det forutsettes at alle relevante og rimelige krav imøtekommes.

2.3 Forutsetninger for tunneldriften

En dobbeltsporet sprengt tunnel vil ha et teoretisk sprengningstvernsnitt på ca. 118 m², mens en enkeltsporet tunnel tilsvarende er ca. 70 m². En boret enkeltsporet tunnel vil også være ca. 70 m².

En viktig forutsetning for tunneldriften er krav til maksimal innlekkasje av grunnvann / maksimal poretrykkssenking for at det ikke skal skje skade på overliggende naturområder, bygninger, infrastruktur eller lignende. Drivemetodegruppen har vurdert dette ut fra tilgjengelige data og erfaring fra tilsvarende prosjekter og foreslått strekningsvise tettekra. Det vises til kap. 6 for disse vurderingene.

Når det gjelder oppstart av prosjektet er dette usikkert, men det er forutsatt oppstart i 2012. Gruppen har hatt som forutsetning at det for hvert traséalternativ skal forutsettes en hensiktsmessig byggetid ut fra en kostnadsoptimal anleggsgjennomføring. Dette er vurdert til å være ca. 5 år slik at ferdigstillelsen blir i 2017.

For de ulike drivemetodene er det forutsatt at arbeidstiden er som ved tilsvarende anlegg. Det er mest vanlig å forutsette en 3-skiftsordning på større tunnelanlegg slik at arbeidstiden blir 101 timer pr. arbeidsuke og 46 arbeidsuker pr. år for konvensjonell drivemetode. For TBM-drift var det i Norge tidligere vanlig med 110 timer pr. uke ved at det ble benyttet noen ekstra timer til service på boremaskinen. For TBM-drift i utlandet er det normalt å benytte ytterligere et skift (4-skiftsordning) slik at arbeidstiden blir 144 timer pr. uke og 50 arbeidsuker pr. år.

I denne rapporten er det benyttet 144 timer pr. uke ved beregning av tid og kostnader for TBM. Begrunnelsen for å kalkulere med denne forskjellen i arbeidstid er både at det sannsynligvis vil være utenlandske entreprenører (i samarbeid med norske) og at tunnelene på lange strekninger ligger så lavt at strukturstøy, mv. neppe er sjenerende for overliggende bebyggelse. Både ved Åsland og Rosenholm kan uttransport av masser foregå på støyisolerte transportbånd.

2.4 Ytre miljø forhold

Ved trasévurderingene er det forsøkt å ta hensyn til bebyggelse, naturområder, mv. på den måten at de foreslåtte traséene ligger dypt i berggrunnen og at traséene i seg selv ikke berører bebyggelse eller naturområder direkte. For valg av tverrslagssted er det i så stor grad som mulig tatt hensyn til de ytre miljøforholdene. Ved valg av tverrslag er det bl.a. lagt til grunn at det skal være lite bebyggelse i nærheten samt at det er kort avstand til nærmeste hovedvei.

Tilsvarende strenge krav til støy, strukturlyd, rystelser, setninger, mv. som ved Skøyen - Asker-prosjektet er lagt til grunn.

2.5 Jernbaneteknikk / sporplaner

For denne rapporten er det forutsatt kun å beskrive løsninger, kostnader og byggetid for tunnelen mellom Loenga/Gamlebyen og Langhus. Stasjonstilknytning / stasjonsløsning ved Kolbotn samt sporplanene ved innføring av dobbeltsporet til Oslo S er ikke vurdert spesielt i rapporten. Heller ikke er drifts- og vedlikeholds- samt levetidskostnader med hensyn til tunnelkonsept og drivemetode vurdert.

For sprengt løsning er de jernbanetekniske anleggene forutsatt som i Skøyen - Asker-prosjektet. I Norge er det ikke utarbeidet detaljerte planer for jernbanetekniske anlegg i tunneler med sirkulært (boret) tverrsnitt. Forutsetningene for minste indre tunneldiameter er diskutert med hovedkontoret i Jernbaneverket og implementert i vurderingene.

Når en skal sammenstille og sammenligne de komplette traséalternativene mellom Oslo S og Ski stasjon, må stasjonsløsninger og andre forhold medtas / hensyntas.

3 BESKRIVELSE AV TUNNELTRASÉENE OG TUNNELKONSEPTENE

3.1 Generelt

Forutsetningen for trasévurderingene har vært å finne den mest optimale tunneltraséen basert på hovedplansalternativet samt den mest optimale traséen dersom linjen ikke skal innom Kolbotn.

Flere ulike traséalternativer er vurdert, både i horisontalplanet og vertikalt. Drivemetodegruppen har kommet frem til at det er gunstig å ligge dypt i berggrunnen med tunneltraséene slik at en i størst mulig grad unngår å måtte krysse svakhetssoner med liten overdekning eller drive gjennom områder med løsmasser. Videre er det gunstig anleggsmessig å ligge dypt med hensyn til muligheten for å kunne drive tunneldrift (boring, etc, dog ikke sprengning) om natten.

Det har vært et mål å finne traséer som gir kortest mulig tunnallengde totalt sett, samtidig som en unngår dagstrekninger forbi eller gjennom tettbebygde områder. Det har også vært en målsetning å finne en god måte å krysse Østfoldbanen på før Ski stasjon. De to traséene er vist oversiktsmessig på figur 1.1 samt i detalj på tegningene UOS-00-Y-0007 og Y-0008.

3.2 Trasé via Kolbotn (alternativ 7)

For alternativet som går via Kolbotn ligger tunnelen under Ekebergåsen, Sloreåsen og Rikeåsen. Traséen ligger nærmere Bunnefjorden enn hovedplanslinjen både for at linjen skal bli kortere og for at tversslagene skal bli kortest mulig. Fra Kolbotn går linjen under Sofiemyr og golfbanen ved Oppedgård og krysser under E6 ved Tussetjern. Videre går tunnelen under bebyggelsen ved Vevelstad - Langhus og kommer ut i dagen like nord for Langhusvegen. Herfra følger traséen hovedplanens trasékorridor frem til Ski.

Vertikalt ligger traséen på et lavt nivå under Ekebergåsen siden traséen må ligge under Loelva og sporene på Loenga før innføring til Oslo S. Traséen ligger på svak stigning sørover og under Norstrandplatået slik at en kan krysse Ljanselva i berg. Etter Hauketo stiger traséen opp mot Kolbotn til et nivå der en eventuelt kan bygge tunnelene og stasjonen i berg. Drivemetodegruppen har foreslått en tunneltrasé i berg under Kolbotn sentrum og ikke vurdert alternative stasjonsløsninger i Kolbotn. Eventuelt kan traséen legges høyere for en cut & cover-løsning. Ved Kolbotn er stigningen 5 ‰, noe som er maksimal helning for stasjoner i henhold til regelverket.

Fra Kolbotn og frem til Tussetjern er det svakt fall. Dette er nødvendig for å ha størst mulig bergoverdekning og for å kunne ligge under de nye E6 - tunnelene (Nøstvedttunnelen), samt dagens E6. Videre forbi Tussetjern, under bebyggelsen på Vevelstad - Langhus og mot Ski, ligger traséen på maksimalt tillatt stigning.

Under bebyggelsen ved Langhus er det liten overdekning og det kreves nøye kartlegging av bergoverdekningen, og grunnforholdene for øvrig, på denne strekningen i senere planfaser.

En trasé som kommer ut på vestsiden av Østfoldbanen ved Langhus er foreslått siden dette gir en enklere og mer fleksibel løsning videre sørover mot Ski st.

3.3 Trasé utenom Kolbotn (alternativ 8)

Også for dette tunnelalternativet ligger linjen på et lavt nivå under Ekebergåsen og Norstrandplatået siden traséen må ligge under Loelva før innføring til Oslo S. Linjen ligger på svak stigning sørover og krysser Ljanselva lengre øst enn for det andre alternativet.

For alternativet som går utenom Kolbotn ligger tunnelen under Bjørndal, Pinnåsen og Grønliåsen før traséene forenes i horisontalplanet og vertikallplanet ved Tussetjern, og er tilnærmet like frem til Ski.

Dette traséalternativet ligger dypere fra Ljanselva til Tussetjern enn alternativet via Kolbotn og har vesentlig større lengde under ubebygde naturområder. Dette er gunstig i forhold til det ytre miljø.

3.4 Vurderte tunnelkonsepter

Det er vurdert 3 ulike tunnelkonsepter. Dette er:

Tunnelkonsept 0: En dobbeltsporet tunnel med maksimalt 1000 m mellom evakueringsmulighetene.

Det vises til tegning UOS-00-F-0001 for dette tunnelkonseptet.

Jernbanetunnelen er 118 m² og rommer to spor. Jernbanetunnelen drives via 6 tverrslag. I tillegg drives det 13-14 stk rømningstunneler innenfra jernbanetunnelen. Rømningstunnelene drives med tverrsnitt ca. 25 m². Dette er for øvrig det tunnelkonseptet som benyttes for tunnelen mellom Lysaker og Sandvika.

Tunnelkonsept 1: En dobbeltsporet tunnel med langsgående service- / rømningstunnel og maksimalt 1000 m mellom evakueringsmulighetene.

Det vises til tegning UOS-00-F-0002 for dette tunnelkonseptet.

Jernbanetunnelen er 118 m². I tillegg drives en ca. 25 m² tunnel parallelt jernbanetunnelen. Denne tunnelen benyttes til rømning samt servicetiltak. Tunnelen kan eksempelvis benyttes til å plassere jernbanetekniske installasjoner. Dermed vil drift- og vedlikehold av dette utstyret kunne bli enklere å utføre. Dette tunnelkonseptet er kjent bl.a. fra Sverige. Tunnelene drives som over via 6 tverrslag og det sprenges tverrforbindelser mellom tunnelene minst for hver 1000 m.

Tunnelkonsept 2: To enkeltsporete tunneler med maksimalt 500 m mellom evakueringsmulighetene.

Det vises til tegning UOS-00-F-0003 og F-0004 for dette tunnelkonseptet.

De to enkeltsporete jernbanetunnelene er ca. 70 m² hver. For den konvensjonelt sprengte løsningen drives tunnelene via 6 tverrslag. For TBM-alternativet drives TBM-tunnelene fra ett tverrslag og suppleres med konvensjonell tunnelsprengning mellom Tussetjern og Langhus. Det sprenges tverrforbindelser mellom tunnelene minst for hver 500 m. Jernbanetekniske installasjoner kan eventuelt plasseres i tverrforbindelsene.

4 GEOLOGI

4.1 Berggrunnsgeologi

Geologiske forhold langs korridoren for planlagte jernbanetraséer på strekningen Oslo til Ski er gjennomgått og rapportert av Norges geologiske undersøkelse, NGU, (ref. 1). Rapporten gir en sammenfatning og oppgradering av geologisk- og geofysisk grunnlagsmateriale som var tilgjengelig per medio 2007. Rapporten verifiserer og dokumenterer bergartsfordelingen ved hjelp av 5 kartblad i målestokk 1:5000. Det er gjort sprekkekartlegging på utvalgte lokaliteter og dokumentasjon foreligger som 35 stereonett med gruppevis beskrivelse. Det er benyttet digital høydemodell for strukturanalyse og dyppforvitring er forsøkt analysert ved magnetometri. Resultatene er dokumentert på kart vedlagt rapporten.

Etter at arbeidsgruppen for vurdering av alternativer for fremføring av traséer ble etablert på senhøsten 2007 har geologer fra Jernbaneverket og gruppens medlemmer gjort supplerende registreringer og evalueringer i området. Det er også utført refraksjonsseismiske undersøkelser og det er gjort boring i antatt kritiske lokaliteter. Grunnundersøkelser og registrering i eksisterende bergrom og tunneler er dokumentert i rapport fra Aas-Jakobsen, (ref. 2).

Kort summert består bergartene på strekningen overveiende av prekambriske gneisbergarter. Det opptrer et betydelig antall intrusivganger fra permtiden, de fleste gangene i metertykkelse, et fåtall mektigere enn 10 m. Sedimentære skifrige bergarter opptrer på en meget kort strekning i nord inn mot Oslo S. Det vises for øvrig til vedlagte tegning, berggrunn og løsmassemektighet, tegning nr. OUS-00-X-0001 som gir en oversikt over berggrunnen og løsmasseforholdene langsetter de to traséalternativene drivemetodegruppen har foreslått.

De prekambriske gneisene er foldet i skarpe isoklinalfolder og de er tydelig folierte. Den dominerende bergartsstruktur i prosjektområdet stryker N-S til NV-SØ. Lengst i syd mot Ski dreier strukturen over mot Ø-V. Lag i gneisen med lavere erosjonsmotstand på grunn av mineralsammensetning (høyt glimmer eller amfibolinnhold), ofte trolig kombinert med forskyvninger, har gitt lange markerte rygger og dalsøkk. Flere grupper av markerte svakhetssoner stryker på tvers av gneisens struktur.

Dannelsesmessig og tektonisk har bergartene i prosjektområdet en lang historie. Viktig for dagens situasjon er dannelsen av Oslo graben med stor innsynking like vest for og i nordre begrensnings av prosjektområdet. Magmatisk virksomhet i denne perioden har injisert et større antall ganger av varierende tykkelse og lengde. Gangene løper både parallelt gneisenes foliasjon og de påtreffes også i forbindelse med svakhetssoner som krysser gneisstrukturen.

Innsynkingen i Oslofeltet førte til brudd av typen normalforkastning med strøk i N-S sektoren. Det er sannsynlig at en del av svakhetene som følger gneisens struktur og samtidig ligger nær strøket til hovedforkastningen langs Oslofjorden også har karakter av normalforkastninger. Innsynkingen som avgrenser Ekebergplatået mot nord har også karakter av normalforkastning og det gjenfinnes flere bruddsoner sydover mot Ski med samme retning (i Ø-V sektoren). Ved normalforkastning er spenningen tvers på forkastningsplanet lav, noe som letter sirkulasjon og kan føre til omdanning av materiale i sone og tilgrensende berg. Det er ikke nødvendigvis slik at dagens spennings situasjon reflekterer tilstanden på dannelses tidspunktet, men tektonisk forhistorie bidrar til tolking av karakteren til svakhetssonene i prosjektområdet.

De prekambriske gneisbergartene som opptrer i prosjektområdet er delt i 3 hovedgrupper. På det geologiske kart til NGU-rapporten er det skilt mellom:

- Tonalittisk til granittisk gneis
- Kvarts-feltspatik gneis
- Biotittrik øyegneis

Gneistypene er beskrevet i NGU publikasjon 398 av O. Graversen (ref. 3). Mineralogisk sammensetning gjengitt under er hentet fra denne publikasjonen. Tonalittisk til granittisk gneis er betegnelsen på en gruppe der forskjell i sammensetning av feltspattyper er grunnen til differensiering i betegnelse.

Tonalitt blir beskrevet med ca 30 % kvarts, 40 % feltspat, 20 % biotitt diverse aksessoriske mineraler deriblant kloritt og muskovitt. Granittisk gneis er beskrevet med 30 % kvarts, 65 % feltspat, 5 % biotitt pluss aksessoriske mineraler. Tonalittisk gneis fremstår som mørk mens granittisk gneis er lysere grå. Årsaken ligger i forskjell i innhold av mørk glimmer.

Kvarts-feltspat gneis er betegnet suprakrustal gneis fordi det gjenfinnes relikte sedimentære strukturer. Bergarten oppgis typisk å føre 40 % kvarts, 50 % feltspat av forskjellige typer, mørk glimmer (biotitt) er dominerende mørkt mineral men en rekke andre typer forekommer aksessorisk.

Biotitt rik øyegneis oppgis å føre 25 % kvarts, 60 % feltspat av forskjellige typer, 10 % biotitt pluss granat. Bergarten beskrives som homogen grå med 2-4 cm lange øyne av feltspat og stedvis med cm store granater. Foliajonen er velutviklet.

Detaljregistreringer i bergrom og i overflaten viser at i mindre skala så har de forskjellige hovedgruppene et ganske heterogent preg. Det skyldes lokal omdanning mot migmatitt, eldre omdannede intrusjoner og trolig også lokal innfolding av en hovedgruppe i en av de andre.

I tillegg til hovedgruppene av bergarter opptrer flere generasjoner med intrusjoner. En del av de eldre intrusjonene har ennå karakter av diabas mens andre er omvandlet mot amfibolitt og innfoldet i gneisene. De yngste permiske intrusjonene er gjennomskjærende og finnes som nevnt foran også som ganger langs foliasjonssvakheter og langs tversgående svakhetssoner. En spesiell intrusjon er en 20 – 30 m tykk steil rombeporfyr gang som kan følges fra Ekeberg mot syd over en strekning på ca 15 km.

4.2 Bergartsfordeling langs traséene

Alternativ 7 via Kolbotn

Fra nord vil traseen ligge 100 til 200 m i skifrige sedimenter som er betydelig påvirket av Ekebergforkastningen. Omfanget av tektoniseringen varierer betydelig, men kan være opp mot 50 m. Fra ca km 1.5 til 7.5 går tunnelen i tonalittisk til granittisk gneis. Kartlegging i Ekeberg tunnelen, registreringer i Bekkelaget renseanlegg og logging av kjerneborhull, viser en bergart som i hovedsak er moderat oppsprukket. Fra kartleggingen av Ekeberg tunnelen fremgår at amfibolitt med forløp parallelt foliasjonen til gneisen forekommer ganske ofte. Videre opptrer et antall eruptiv ganger med strøk parallelt foliasjonen. Disse gangene viser høyere oppsprekingsgrad og ledsages som regel av vannlekkasjer.

Observasjoner i bergrom indikerer at gjennomsettende sprekker, amfibolittlinser og intrusiver parallelt foliasjonen opptrer med innbyrdes avstand i området 10-50 m. Dette trekkes frem som moment fordi tunnelen planlegges med akseretning som dels er parallell dels har spiss vinkel med foliasjonens strøk. Fordi tunnelens tverrmål er i størrelsesorden 10 m (8-13,5 m) er det klart at svake elementer i foliasjonsplanet vil opptre hyppig i tunnelen og influere denne over betydelige strekninger.

I området ved km 7.5 krysser tunnelen et par større forkastninger og vil fra ca km 7.5 til 8.5 ligge i kvarts-feltspat gneis. Fra ca km 8.5 til 9.5 vil tunnelen krysse biotitt rik øyegneis før den igjen løper inn i kvarts-feltspat gneis frem til ca km 12.5 øst for Kolbotnvannet. I dette området krysses også den store rombeporfyr gangen under spiss vinkel. Informasjon fra dette partiet er foreløpig begrenset, men det postuleres at eldre og yngre intrusiver også berører dette området og at frekvensen ikke avviker vesentlig fra områdene i nord og syd.

Fra ca km 12.5 til km ca 18.5 ligger tunnelen igjen i tonalittisk og granittisk gneis før den går inn i en ca 0.5 km lang strekning med kvarts-feltspat gneis. Borhullene 2, 3 og 6 er boret i dette området, primært for å undersøke svakhetssoner. Borhullene er siktet inn på svakhetssoner, men boreretning tvers på gneisens struktur gir informasjon om berget mellom sonene og frekvensen av elementer som har innflytelse på tunnelstabilitet. Det er verd å notere at det i borhullene stedvis opptrer kvarts-feltspat gneis, at det forekommer amfibolittpartier og diabas som trolig tilhører de yngste intrusivene. Karakteren synes ikke å være vesensforskjellig fra partiet under Ekeberg.

Strukturen i gneisen er endret de siste ca. 2 km frem mot portal ved km 19.3. Strøket er her Ø-V til NØ-SV med midlere nordlig fall. Forløpet er stabilitetsmessig gunstig også med tanke på at tunnelen har begrenset overdekning på deler av denne strekningen.

Alternativ 8 utenom Kolbotn

Alternativet er likt alternativ 7 ut fra Oslo, men følger en mer østlig trasé før det igjen løper sammen med alternativ 7 rundt km 17.5 og derfra følger samme korridor inn mot Ski. Dette betyr at traséen fra ca. km 1.5 til ca. km 18.5 ligger i tonalittisk og granittisk gneis før den går gjennom et ca. 0.5 km langt parti av kvarts-feltspatrik gneis og så avsluttes i tonalittisk og granittisk gneis.

Bergartsgruppen tonalittisk og granittisk gneis dekkes av beskrivelsen gitt under alternativ 7 bortsett fra at den store rombeorfyrgangen krysses lenger mot nord ved ca km 7.5. Forskjell mellom alternativ 7 og det østlige alternativ 8 er at dette ligger med gjennomgående større overdekning. Hvorvidt den større overdekningen i alternativ 8 er fordelaktig med hensyn på eventuell dypforvitring og bredde av svakhetssoner gir ikke undersøkelser utført til nå noe svar på.

4.3 Bergartsegenskaper

Det er foreløpig ikke tilgjengelig data for styrke og anisotropi som er spesifikke for bergartsgruppene som krysses av traséene i prosjektet. Dette betyr at det er generelle egenskaper for bergartstypene som må legges til grunn.

For trykkstyrke regnes at denne vil ligge i området 100 til 200 MPa og at bergartene vil vise en markert styrkeanisotropi på grunn av foliasjonen. Styrkeanisotropi målt som punktlastindeks forventes å være i størrelsesorden 2. Foliasjon og anisotropi og det faktum at det drives i spiss vinkel til foliasjonen gjør at det må forventes noe tungsprengt berg og at borenøyaktigheten kan bli negativt påvirket.

Katalog over borbarhetsindekser, NTH-rapport nr. 13 B-98 (ref. 4) har noen data fra prosjektområdet. Verken bergartsnavn eller lokalitet er beskrevet presist nok til at prøvene med sikkerhet kan tilordnes noen av de 3 hovedgruppene i prosjektet. Tabell 4.1 viser oversikt over nærliggende lokaliteter hentet fra NTH-publikasjonen.

Tabell 4.1: Borbarhetsindekser fra NTH-rapport 13 B-98.

Journal-nummer	Bergart	Kvartsinnhold %	DRI	BWI	CLI
76096	Gneis	34	60	29	-
76096	Gneis	33	62	28	-
85121	Gneis (Vinterbro)	30	41	51	6
85121	-"-	27	28	58	11
8420061	Granittisk gneis (Gjersjøen)	41	30	73	-
84116	-"-	30	43	51	6
84116	-"-	31	35	65	7
85042	Granittisk gneis(Vinterbro)	24	48	41	8
85121	-"-	26	47	41	8

Det er utført testing på utborede kjerner fra undersøkelsene i 2008. Resultatene er dokumentert i rapport fra SINTEF (ref. 5). Resultatene er vist i tabell. 4.2.

Tabell 4.2: Borbarhetsindekser fra SINTEF-rapport 080131G.

Bergart	Trykkfasthet (UCS), MPa	Borbarhetsindeks (DRI)	Kutterlivsindeks (CLI)
Tonalittisk gneis	207	37	6
Kvarts-feltspatrik gneis	110	27	14,5
Biotittrik gneis	155	-	-
Granittisk gneis	237	-	-
Amfibolitt	271	28	30,7

Trykkfastheten UCS er nødvendigvis målt i kjerneretningen som går med stump vinkel til strukturen. Kjernene er målt i sin "sterkeste" retning uten hensyn til anisotropi. Styrken målt i strukturplanet vil være betydelig lavere.

Som veiledende verdier antas verdier for DRI (drill rate index) å ville være rundt 40. For slitasje antas BWI (bit wear index) å ligge rundt 50 mens indeksen for levetid for rullemeisler CLI antas å ville ligge rundt 7-8. Oppsprekingsgraden vurderes å tilsvare sprekkeklasse I-II i en vurdering av borbarhet for en tunnelbormaskin. Verdien antas å være typisk for et sprekketall på $J = 5$ for berget utenom svake partier. Svake partier i strukturplanet til gneisbergartene forventes å opptre forholdsvis hyppig.

Mekaniske egenskaper er viktige parametre for beregning av produksjon, spesielt for drift med tunnelbormaskin. Det anbefales at det gjennomføres et omfattende program for prøvetaking og testing av bergarter i prosjektområdet.

4.4 Bergmassekvalitet

Inspeksjon av eksisterende bergrom og tunneler, boringer og registreringer i overflaten viser at bergartene er moderat oppsprukne, friske og sterke utenom der de er påvirket av elementer som svekker, så som gjennomsettende sprekker, slepper, svake bergartslag og rene svakhetssoner. Det er ikke indikasjoner på at høye eller anisotrope spenninger vil være noe problem. Det er heller ikke indikasjoner på at lave spenninger og dårlig innspenning vil være noe generelt problem. Her er det naturlig å gjøre en reservasjon for strekninger med marginal overdekning.

Prosjektet er spesielt i den forstand at det dreier seg om store tunneler som er planlagt drevet parallelt eller med liten vinkel til bergartens struktur og en hovedsvakhetsretning. I den forbindelse er tunnelstørrelse i forhold til frekvensen av svakheter en viktig parameter. Den sprengte dobbeltspor tunnel er planlagt med en effektiv spennvidde på ca 13.5 m og høyde ca 10.8 m. Alternativet med boret tunnel og betongsegmentutføring krever 2 tunneler med diameter ca 10.2 m og pilartykkelse 10 m.

Frekvensen av fenomener parallelt strukturen og som vil ha innflytelse på tunnelstabilitet ligger, vurdert fra eksisterende bergrom å være fra 10 m og opp til 50 m. (Borehullene gir imidlertid en høyere frekvens fordi disse er spesielt innrettet på å kartlegge svakheter). For å illustrere problematikken, vil en sleppe som skjærer dobbeltspørtunnelen med vinkel 10g til akselen berøre tunnelen over en strekning på nærmere 90 meter. Hvis det er tale om en sone med bredde 5 m, for eksempel en tett oppsprukket intrusivgang, vil den berøre tunnelen over en lengde på ca 120 m. Ved skjæringsvinkel 30g reduseres lengdene til henholdsvis ca 30 og 40 m. Uansett skjæringsvinkel så vil en avstand på mindre enn ca 15 m mellom svakheter langs strukturen føre til en reduksjon i bergmassekvalitet for dobbeltspørtunnelen, selv om bergmassen mellom svakheter er av god kvalitet. Forholdet favoriserer tunneler med mindre spennvidde fordi andel av strekning der tunnelen blir liggende uten innvirkning av langsgående svakheter øker.

Tolkingen av lineamenter utført av NGU, tradisjonell flyfototolking og verifikasjon i felt bekrefter at traséene vil krysses av en rekke betydelige svakhetssoner som ikke følger gneisens struktur. Strøkrætningen til flertallet av disse sonene faller i sektoren Ø-V og SØ-NV. Disse svakhetssonene har steilt fall. Det er ikke avdekket flattliggende svakhetssoner, men det antas at partier med foliasjon med flatt forløp kan ha slik karakter.

En del av de steile svakhetssonene i sektorene Ø-V og SØ-NV har betydelig mektighet. Selv om de representerer partier med svært dårlig bergmassekvalitet så er kryssingsvinkelen med traséene gunstig. Det er ikke mulig å regulere traséene slik at kryssing med disse sonene unngås, men linjeføringen er forsøkt valgt slik at kryssingen skjer der mektigheten vurderes å være mindre.

De mektige sonene langs strukturen er så vidt mulig forsøkt styrt utenom eller gitt så kort skjæring som mulig. Det er disse svakhetene som vil ha størst betydning på det totale bergmassekvalitetsbildet. Det betyr at virkningen på sikringsomfanget vil være betydelig og at nytten av detaljerte grunnundersøkelser for å optimalisere linjeføringen vil kunne være god. Den stive linjeføringen gjør imidlertid at en bør ha en realistisk forventning til muligheten til helt å unngå problemer.

Vannlekkasje har normalt en negativ virkning på bergmassekvalitet og størst er denne der bergmassen på forhånd er dårligst. I prosjektet ligger det som en forutsetning at det benyttes vanninfiltrasjon fra dagen i områder der det er fare for setningsskader og at det for øvrig injiseres etter behov for alternativet med TBM. I alternativet med boring og sprengning forutsettes det systematisk forinjisering. Dette betyr at den negative virkningen av vannlekkasje kan forutsettes sterkt redusert. En vesentlig, men vanskelig kvantifiserbar positiv virkning av systematisk forinjeksjon er konsolidering og stabilisering av berget i dårlige soner.

4.5 Bergmasseklassifisering

Ved klassifisering av bergmassekvalitet er effekten av grunnundersøkelser for videre optimalisering av linjeføring i detaljfasen forsøkt diskontert. Likedann er det forsøkt tatt hensyn til virkning av injeksjon både for begrensning av vannlekkasje og for konsolidering av svakt og dårlig berg.

Inndelingen av bergmassekvalitet er gjort i 5 klasser slik disse er orienterende beskrevet i vedlegg 12.1. Klassifiseringen er gjort separat for alternativ 7 via Kolbotn og alternativ 8 utenom Kolbotn. Det er videre gjort et skille mellom sprengt dobbelsporet tunnel og TBM-tunnel da det noe mindre TBM-tverrsnittet er fordelaktig som omtalt over.

Alternativ 7 sprengt tunnel, D = 13.5 m (dobbeltspor)

Strekning km	Q1 m	Q2 m	Q3 m	Q4 m	Q5 m
1.5 - 5.0	200	800	1500	1000	0
5.0 - 10.0	300	1000	2000	1650	50
10.0 - 15.0	300	1000	1500	2100	100
15.0 - 19.5	100	900	1500	1900	100
Sum	900	3700	6500	6650	250

Alternativ 7 sprengt tunnel, D = 8.5 m (enkeltspor)

Strekning km	Q1 m	Q2 m	Q3 m	Q4 m	Q5 m
1.5 - 5.0	200	1100	1200	1000	0
5.0 - 10.0	300	1300	1700	1650	50
10.0 - 15.0	300	1300	1200	2100	100
15.0 - 19.5	100	1200	1200	1900	100
Sum	900	4900	5300	6650	250

Alternativ 7 sprengt tunnel, D = 5 m (servicetunnel)

Strekning km	Q1 m	Q2 m	Q3 m	Q4 m	Q5 m
1.5 - 5.0	200	1200	1100	1000	0
5.0 - 10.0	300	1400	1600	1650	50
10.0 - 15.0	300	1400	1100	2100	100
15.0 - 19.5	100	1300	1100	1900	100
Sum	900	5300	4900	6650	250

Alternativ 7 boret tunnel, Ø = 10.2 m

Strekning km	Q1 m	Q2 m	Q3 m	Q4 m	Q5 m
1.5 - 5.0	200	1000	1300	1000	0
5.0 - 10.0	300	1200	1800	1650	50
10.0 - 15.0	300	1200	1300	2100	100
15.0 - 19.5	100	1100	1300	1900	100
Sum	900	4500	5700	6650	250

Alternativ 8 sprengt tunnel, D = 13.5 m (dobbeltsportunnel)

Strekning km	Q1 m	Q2 m	Q3 m	Q4 m	Q5 m
1.5 - 5.0	200	800	1500	1000	0
5.0 - 10.0	300	1100	2100	1450	50
10.0 - 15.0	300	1300	2200	1150	50
15.0 - 19.5	100	900	1500	1900	100
Sum	900	4100	7300	5500	200

Alternativ 8 sprengt tunnel, D = 8.5 m (enkeltportunnel)

Strekning km	Q1 m	Q2 m	Q3 m	Q4 m	Q5 m
1.5 - 5.0	200	1100	1200	1000	0
5.0 - 10.0	300	1400	1800	1450	50
10.0 - 15.0	300	1600	1900	1150	50
15.0 - 19.5	100	1200	1200	1900	100
Sum	900	5300	6100	5500	200

Alternativ 8 sprengt tunnel D, = 5 m (servicetunnel)

Strekning km	Q1 m	Q2 m	Q3 m	Q4 m	Q5 m
1.5 - 5.0	200	1200	1100	1000	0
5.0 - 10.0	300	1500	1700	1450	50
10.0 - 15.0	300	1700	1800	1150	50
15.0 - 19.5	100	1300	1100	1900	100
Sum	900	5700	5700	5500	200

Alternativ 8 boret tunnel, Ø = 10.2 m

Strekning km	Q1 m	Q2 m	Q3 m	Q4 m	Q5 m
1.5 - 5.0	200	1000	1300	1000	0
5.0 - 10.0	300	1300	1900	1450	50
10.0 -15.0	300	1500	2000	1150	50
15.0 - 19.5	100	1100	1300	1900	100
Sum	900	4900	6500	5500	200

4.6 Sikringsmengder for sprengt tunnel

Ved fastsettelse av enhetsmengder for sikring er det for den sprengte tunnelen tatt hensyn til arbeidssikkerhet i byggeperioden samt sikkerhet mot nedfall i permanent driftssituasjon. Med den dimensjon som tunnelen har, med bredde ca 13.5 m og høyde ca 10.8 m, er det regnet med en gjennomgående overflatesikring som et minimum. Det betyr at det i de 2 beste kvalitetsklassene vil denne overflatesikringen styre sikringsomfanget. Denne overflatesikringen er forutsatt å bestå av 6 cm fiberarmert sprøytebetong samt systematisk bolting av heng og vederlag med 1 bolt per 6.25 m².

Enhetssikring for sprengt dobbelsportunnel, sprengt enkeltportunnel og servicetunnel er angitt i vedlegg 12.2. For tverrslag antas 4 bolter, 1.6 m³ fiberbetong, 0.2 forbolter og 0.01 ribber per tunnelmeter. I kostnadsoverslaget er det lagt til 10 % til dekning av diverse sikringselementer.

For TBM-tunnel er det regnet at denne sikres kontinuerlig med betongsegmenter. Klassifiseringen i kapittel 4.5 tjener som en indikasjon på driveforholdene. Tverrslag er beregnet som for sprengte tunneler. Montasjehaller er beregnet etter enhetspriser for sprengte tunneler.

5 TOPOGRAFI OG LØSMASSEFORHOLD

5.1 Topografi og løsmasser

Generelt

Det høyeste terrengpunktet over traséen gjennom Kolbotn er på 172 moh, mens tilsvarende for den østre traséen er 227 moh. Den marine grense i Osloområdet er på ca. 220 moh, noe som betyr at praktisk talt hele prosjektområdet ligger under den marine grense. Dermed vil man kunne ha marine avsetninger (silt og leire) langs begge traséer, noe som har betydning for vurdering av setningsfaren. Det vises til tegningen OUS-00-X-0001 som angir berggrunn og løsmassemektheten langs traséene.

Den første delen av prosjektområdet fra Loenga over Ekeberg/Nordstrandsplatået til Ljanselva (km 1,5-7,7) er grovt sett felles for de to trasékorridorene, og det preges av et jevnt profil hvor terrenget ligger på ca. 120-140 moh. På denne strekningen er det et parti med marine avsetninger mellom ca. km 2,0 - 3,5, og fra km 4,8 - 6,8. For øvrig er det mye berg i dagen eller tynt løsmassedekke. Den største delen av strekningen fra Loenga/Gamlebyen til Ljanselva er tett bebygget med småhusbebyggelse.

Alternativ 7 via Kolbotn

I Ljanselva/Hauketoområdet er det marine avsetninger, og mer usammenhengende avsetninger videre sørover langs eksisterende Østfoldbane og i Prinsdalsområdet. Traséen via Kolbotn følger fjellryggene Øvre Ljanskollen, Asperudåsen, Toppåsen og Rikeåsen frem mot Kolbotn (km 7,7-12,0). Her er det stort sett berg i dagen, og med tett småhusbebyggelse.

Videre sørover er topografien mer kupert med terrengoverflaten på ca. 120-170 moh. Fra Kolbotn til Sofiemyr (km 12,0-14,0) er det stort sett berg i dagen, og med tett småhusbebyggelse. Ved idrettsanleggene og industriområdet på Sofiemyr er det områder med marine avsetninger, samt et torv/myrområde.

Videre sørover frem til Assurdalen (km 14,0-17,7) går traséen under skogsterreng som stort sett er ubebygget. På denne strekningen er det både tynne marine avsetninger og torv/myrområder.

Fra Assurdalen, forbi Tussetjern og Vevelstad (km 17,7-19,2) er det lite løsmasser, kun tynne dekker med marine avsetninger. Området ved Vevelstad - Langhus (km 18,0 -19,0) er tett bebygget med småhus, for øvrig er det lite bebyggelse.

Resten av strekningen inn til Ski stasjon (km 19,0 – 22,0) er i hovedsak landbruksområder med stort sett marine løsmasseavsetninger.

Alternativ 8 utenom Kolbotn

Fra Ljanselvområdet, hvor denne traséen skiller lag med trasé 7 går traséen under naturområdene Grønliåsen, Flatåsen og Pinnåsen frem til Assurdalen/Tussetjern (km 7,7-17,5). Terrenget stiger opp til 227 moh (Grønliåsen), men ligger for øvrig rundt ca. 120-150 moh. Det er svært lite bebyggelse på denne strekningen, og mye berg i dagen. I områdene Prinsdal og Fløysbonn er det større områder med marine avsetninger, vesentlig tynne og usammenhengende. Enkelte mindre områder har torv/myravsetninger.

Videre frem mot Ski stasjon er denne traséen tilnærmet lik trasé 7.

5.2 Løsmassetyper og setningspotensial

De løsmassetypene som finnes i prosjektområdet er i stor grad marine avsetninger. Normalt er det også noen morenemasser helt ned mot bergoverflaten. I tillegg finnes enkelte begrensede områder med organiske masser (torv/myr). I prinsippet er marine- og organiske avsetninger setningsømfintlige. Om det vil komme setninger som følge av en eventuell grunnvannssenkning (poretrykksreduksjon) avhenger av flere forhold, særlig løsmassenes mektighet og grunnvannsnivået.

Ved løsmassemektigheter < ca. 5 m er det svært begrenset setningspotensial. Store deler av de områdene som har løsmassedekke er kartlagt som tynne og usammenhengende, og kan derfor bli vurdert som lite setningsømfintlige. Erfaringsmessig kan det i slike områder være lommer med større dyp, og som dermed har et setningspotensial. Dette er kjent bl.a. fra Hellerudområdet i forbindelse med byggingen av Romeriksporten.

Setningspotensialet er også avhengig av grunnvannstanden. Hvis grunnvannet står i eller ned mot bergoverflaten vil det ikke være nevneverdig setningsfare. Likeledes er det slik også hvis det ved tidligere anledninger har vært lav grunnvannsstand og at setningene således er ferdige.

I prosjektområdet er det særlig ved Loenga/Gamlebyen, mindre områder på Ekebergsletta, ved Ljanselva/Hauketo, i Prinsdalsområdet, ved Fløysbonn, samt området Vevelstad - Ski som har områder med størst setningspotensial. Av disse områdene er det Ekeberg/Nordstrand og Vevelstad - Ski som har størst skadepotensial for bebyggelse. Avhengig av hvor dypt traséen for alternativ 7 blir liggende vil det også være fare for grunnvannssenkning langs Prinsdalen og Rosenholm - Kolbotn.

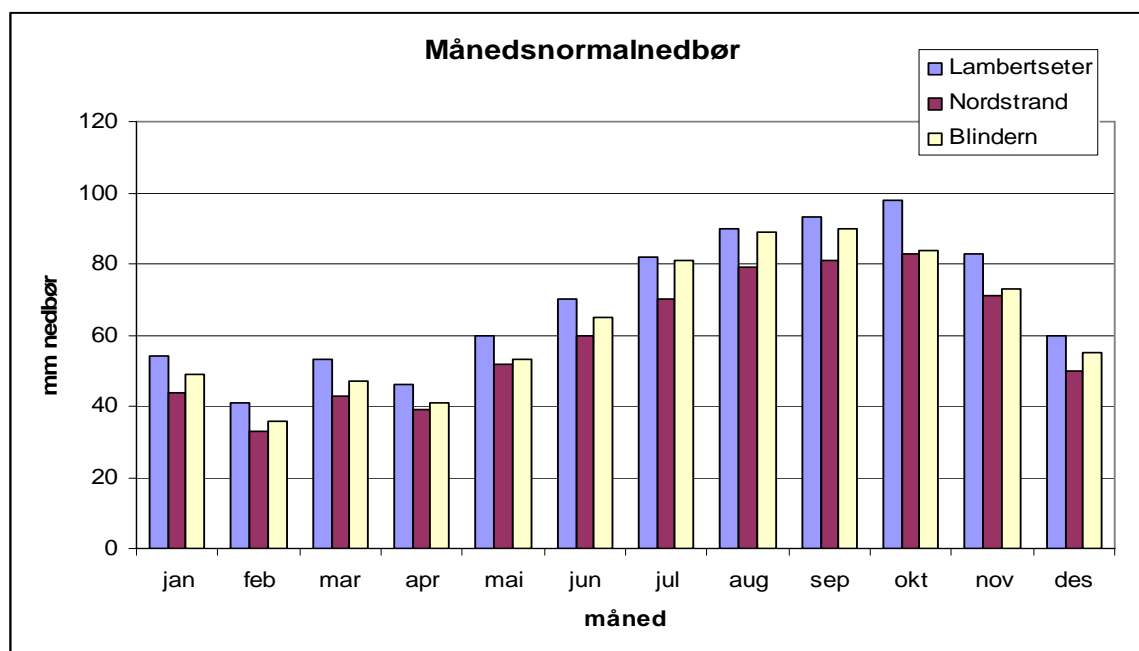
6 HYDROGEOLOGI OG NATUR

6.1 Generelt

Det er innsamlet en stor mengde data vedrørende løsmasser, bergarter, hydrologi, hydrogeologi og naturforhold. Dette er behandlet mer detaljert, og med tilhørende dokumentasjon, på kart i rapport (ref. 2) fra Aas-Jacobsen som arbeider med utredning om Follobanens tunnelstrekninger.

6.2 Hydrologi

Prosjektområdet ligger på østkanten av Oslofjorden, med flere nedbørfelt og vassdrag som drenerer ut til Bunnefjorden (del av Oslofjorden). Området har en årsmiddelnedbør på 705 mm (Nordstrand) til 830 mm (Lambertseter) i året. Nedbøren fordeler seg over året som vist i figur 6.1.



Figur 6.1: Månedsnormalnedbør for utvalgte, relevante stasjoner

På strekningen Oslo - Ski, passerer prosjektområdet fem nedbørfelt. Disse samt de viktigste vassdragene er vist i tabell 6.1 under.

Tabell 6.1: Nedbørsfelter i prosjektområdet

Nordmarksvassdraget Totalt areal ca 238 km ²	Den nordlige delen av prosjektområdet fra Oslo Sentralstasjon sørover mot Gamlebyen ligger innenfor Akerselvas nedbørfelt som er en del av Nordmarksvassdragene. Området ligger nær til Akerselvas utløp i sjøen og elva er lagt i kulvert i dette området.
Alna Totalt areal ca 70 km ²	En kort strekning like nord for Ekebergskråningen, ligger innen Alna nedbørfelt. Alnaelva krysser området i en tunnel under den gamle Sjømannskolen. En del av Alna nedbørfelt ligger langs østsiden av prosjektområdet og omfatter Simensbråten, Ryen og Bogerud samt Østensjøvannet.
Nedbørfelt med direkte avrenning til sjøen	En omtrent 4 – 5 km strekning fra Ekebergskråningen og sørover ligger i et nedbørfelt uten markerte bekker eller elver med avrenning rett til sjøen. I dette området er det flere dammer, bl.a. Svartedammen, Lindbackdammen, Andersendammen og Postdammen.
Ljanselva Totalt areal ca 39 km ²	Sør for Nordstrand, ligger prosjektområdet i Ljanselvas nedbørfelt (i en strekning på ca 3 – 5 km). Dette nedbørfeltet drenerer et område ca 40 km ² og omfatter deler av Østmarka med Nøklevannet og Lutvannet som de største vannene. Nedbørfeltet omfatter de to hovedvassdragene; Ljanselva (fra den nordlige delen) og Gjersrudbekken (fra den sørlige delen). Disse vassdragene er vernet iht Verneplan for vassdrag. I tillegg er det en rekke mindre bekker (tilløp). Langs Ljanselva er det noen naturtyper som er påvirket av hydrologiske forhold, de omfatter flere områder av gråor- heggeskog. I de høyere delene av nedbørfeltet, bl.a. i Prinsdalområdet, er det igjen noen naturtyper avhengig av hydrologiske forhold, for eksempel rik sumpskog ved Grønliåsen.
Gjersjøelva Totalt areal ca 86 km ²	Sør for Ljanselva, går prosjektområdet gjennom Gjersjøelvas nedbørfelt. Dette nedbørfeltet strekker seg til Ski. Gjersjøelva nedbørfelt dekker et område på omtrent 85 km ² og omfatter Nærevannet og Midsjøvannet i sørlige del, langs Gjersjøelva til Gjersjøen, og har utløp i sjøen ved Hvervenbukta. Det er flere bekkestrekninger som krysser prosjektområdet på tvers, bl.a. Tussebekken, samt noen tilløp fra Assurdalen, Gryteåsen / Pinnåsen og Vevelstad. Tussebekken er registrert som en naturtype (viktig bekke­drag). Kværnerbekken / Årås­bekken fra de vernede innsjøene Nærevannet, Midsjøvannet og Rullestad­jernet, er registrerte naturtyper (viktig bekke­drag). I tillegg er det flere innsjøer i denne delen av prosjektområdet, f.eks Kolbotnvannet, Snipetjernet, Grytetjernet, Tussetjern og Fosstjern. Noen av disse innsjøene, samt områder rundt dem, er registrerte naturtyper som er avhengig av hydrologiske forhold, bl.a. intakte lavlandsmyrer og rik sumpskog.

6.3 Grunnvannsforhold

Grunnvannsforholdene er stort sett knyttet til berggrunnen i prosjektområdet. Nord for Ekebergskråningen, ved Loenga/ Gamlebyen, kan det forventes grunnvann i løsmasser nær overflaten. I Ekeberg-/ Nordstrandsområdet er grunnvannet i

stor grad begrenset til sprekker i berget. Over den største delen av dette området, ligger grunnvannet dypt, særlig i de høyere områdene et stykke fra sjøen. Det er ikke forventet store mengder grunnvann i løsmassene i dette området. Likevel kan det være noen begrensede områder med grunnvann i løsmasser.

NGUs kart over grunnvannspotensialet viser at prosjektområdet ligger hovedsakelig i et område uten grunnvannspotensiale i løsmasser. Et unntak er områdene mellom Oslo S og Ekebergskråningen. Grunnvannsressurskartet fra NGU viser at hele prosjektområdet er klassifisert som viktig for grunnvannsforsyning.

Det er ca 250 brønner registrert i NGUs brønndatabase langs prosjektområdet. Av disse, er ca 50 % registrert som energibrønner og ca 45 % med ukjent bruk. Til sammen er bare 11 brønner registrert som vannforsyningsbrønner. Samtlige av disse er lokalisert sør for Kolbotn.

6.4 Naturforhold

Generelt

Nordlige deler av planområdet består hovedsakelig av boligområder og bebyggelse. Sør for Kolbotn (i alt. 7) og sør for Hauketo (i alt. 8) er det en del landbruksarealer og rester av naturlig vegetasjon.

Det er samlet informasjon over viktige og sårbare naturområder innenfor influensområdet til de to alternative traséene. Influensområdet omfatter vanligvis en sone på ca. 500 m fra hver trasé, men sårbare områder vurderes også i forhold til topografi, nedbørfelt osv. På grunn av omfattende kartleggingsarbeid av biologisk mangfold i Oslo, Ski og Oppegård kommune, foreligger det god og nøyaktig informasjon i Naturbase (Direktoratet for Naturforvaltning). Informasjon om sjeldne naturtyper og vernede områder er derfor hentet fra denne databasen. I tillegg er det foretatt en feltbefaring til de fleste av lokalitetene (sårbare naturtyper).

I ref. 2 er naturtypene beskrevet med navn, karakter og verdi. Verdi er satt med bakgrunn i lokalitetens sjeldenhetsgrad, omfang, velutviklehet, rødlistearter, kontinuitetspreg og avstand til tekniske inngrep i nærheten. Lokalitetene er inndelt i tre kategorier: A-verdi med nasjonal verdi (svært viktig), B-verdi med regional verdi (viktig) og C-verdi med lokal verdi (lokalt viktig). Totalt er det avgrenset 26 naturområder som er karakterisert som sårbare i forhold til drenering og arealbeslag i tilknytning til mulige dagsoner. Totalt innen alle naturområdene finnes det 32 naturtyperlokalteter, hvorav 10 er av A-verdi, 11 av B-verdi og 11 av C-verdi.

Det er kun to sårbare områder innenfor influensområdet som er vernet, Ljanselva som er regulert av Oslo kommune, og Rullestad naturreservat (våtmark) i Ski kommune.

Sårbare områder

Med sårbare områder menes områder hvor det kan oppstå skader på natur eller bygninger. I prosjektområdet er det både natur- / friluftsområder samt en rekke bebygde områder, både industriområder, blokkbebyggelse og rekkehus / eneboliger. Deler av prosjektområdet ligger innenfor markagrensen, jfr. figur 6.2 nedenfor.

Grunnvannsenkning fører ikke nødvendigvis til skader. Konsekvensen av en grunnvannsenkning avhenger av hvor den skjer. Punktene under indikerer når en skal være spesielt observant med hensyn på faren for skader som følge av grunnvannsenkning:

- Topografi / nedbørfelt; små nedbørfelt, rask avrenning
- Setningsutsatte masser; bløte leirmasser
- Bygninger og konstruksjoner fundamentert på områder med forskjeller i løsmassemektilighet (dyprenner i berg fylt med setningsømfientlige løsmasser)
- Høy hydraulisk ledningsevne - sand, grus og oppsprukket berg
- Høyt grunnvannsnivå; myrer og kildeframsprang (våtmarksområder)
- Grunnvannsmagasin: Små magasin, liten lagerkapasitet



Figur 6.2: Markagrensen

Alle punktene over er i varierende grad relevante for tunnelstrekningene på de to vurderte traséene på Follobanen. De sårbare områdene er først og fremst knyttet til løsmasseområdene (dyprennene). Også områder med brønner og eventuelle kildefremspring kan bli påvirket ifbm. en grunnvannsenking, men dyprennene vil i dette prosjektet være styrende for hvilke tiltak som iverksettes.

Berggrunnen i området er gjennomgått av sprekkesoner, forkastninger og intrusivganger som kan være vannførende. De fleste løsmasseområdene langs traséen består, med få unntak, av bløte leirmasser med setningspotensiale. Enkelte av områdene er trange dyprenner, mens andre er større basseng. Selv om løsmassene er vannmettet, er det drenerbare volumet begrenset, da det meste er leire med svært lav hydraulisk ledningsevne. I praksis er det kun evt. grovere masser mot bergoverflaten som i første omgang vil bli drenert ved lekkasjer i tunnelen.

Soner med oppsprukket berg vil kunne føre til noe av de samme effektene som gruslag på berg. Sonene vil grunnet høyere hydraulisk ledningsevne enn bergmassen generelt kunne drenerer vann hurtig (dersom de kommuniserer med tunnelen), men de har en relativt begrenset porøsitet, og er derfor ubetydelige som grunnvannsmagasin.

Deler av området er tettbygde boligområder, primært villabebyggelse. Som vist over, er det mange faktorer som er avgjørende når en skal vurdere hvorvidt et område er sårbart. Basert på disse faktorene er det identifisert områder over og til siden for tunnelen, som er sårbare. Store variasjoner av løsmassemektlighet over korte avstander gir stor sårbarhet. Stor løsmassemektlighet gir også stor sårbarhet.

Alle områdene er ikke like sårbare, og områdene er ikke rangert, da ulike faktorer trekker i forskjellig retning: Større løsmassebasseng har ofte et større infiltrasjonsområde enn mindre løsmassebasseng, men løsmasser som kan bli påvirket, er større (ufordelaktig). Små løsmassefylte, dyprenner har begrensede infiltrasjonsområder (ufordelaktig), små / ingen magasin (ufordelaktig), færre boliger fundamentert på løsmasser (fordelaktig). En større andel av boligene er fundamentert både på løsmasser og på berg med fare for skjevsetninger (ufordelaktig).

6.5 Tettestrategi og tettekrav

Hensikten med tetting av tunneler er firedelt:

- Unngå uakseptable skader på natur
- Unngå uakseptable skader på bebyggelse og annen infrastruktur
- Tilfredsstill tunnelens funksjonskrav som byggverk
- Redusere pumpekostnader

Så lenge det ikke er tale om innlekkasje av store vannmengder, er de to siste punktene kun et spørsmål om utforming og dimensjonering av vann-, frostsikring og dreneringsløsning. Tunnelens funksjonskrav som jernbanetunnel samt pumpekostnader er, som oftest, tilfredsstillt dersom to de første punktene er innfridd.

Foreløpig er det ikke delt inn i mange områder og mer enn to klasser, men disse forslagene til krav vil bli nærmere differensiert og vurdert når en får en enda bedre oversikt over naturmiljølokalitetene (bl.a. Grønliåsen og Pinnåsen) og grunnforholdene i de bebygde områdene. Området over tunnelen fram til Ljanselva er foreløpig antatt å være sårbart, da det er usikkert hvorvidt en finner områder eller dalganger med setningsømfintlige mindre områder her.

Tettestrategien for sprengte tunneler er basert på forinjeksjon, og med erfaringer særlig fra Sandvika - Asker og Lysaker - Sandvika vil det være riktig å satse på injeksjonsskjermer med et stort antall hull, høyt injeksjonstrykk og lave v/c-tall. Hensikten vil være å legge et stort arbeid i første injeksjonsskjerm for derved å unngå at det blir nødvendig med flere skjermer.

Hvis forinjeksjonen ikke er vellykket vil det være aktuelt å utføre etterinjeksjon, og i kritiske tilfeller også vanntett utstøpning. I spesielt utsatte områder vil det kunne bli nødvendig å forberede vanninfiltrasjon i grunnen, enten fra dagen med forhånds etablerte brønner, eller at det injiseres vann fra tunnelen. Derved vil man få tid til å utføre nødvendig tetting, selv om dette skulle ta noe tid.

Ved en tunnel med to løp, enten i form av to enkeltspors tunneler, eller en dobbeltsporstunnel og parallell servicetunnel, vil man måtte administrere tettingen på en slik måte at den samlede lekkasjemengden til begge løp ikke overskrider den oppsatte grensen for innlekkasje. Det vil derfor være problematisk med ett enkelt lekkasjekrav, både med tanke på tettearbeidet, men også for registreringen av virkelig innlekkasjemengde. Det er derfor valgt å angi tettekravene som et område hvor laveste verdi angir det man forsøker å oppnå, men at man kan akseptere den høyeste verdien. Uansett er det slik at kravet må tilpasses forholdene på den enkelte delstrekning, og det vil derfor kunne bli lokale variasjoner i kravene.

Både setningsutsatt bebyggelse og naturområder er vurdert, og det er gitt følgende tettekrav til de forskjellige delstrekningene, jfr. tabell 6.3:

Tabell 6.3: Oversikt tettekrav for tunnelene

Område	Tettekrav i l/min/100 m
Ekeberg-Nordstrandsplatået	4 - 8
Hauketo – Sofiemyr (alt. 7). Områder med bebyggelse	4 - 8
Langhusområdet	4 - 8
Grønliåsen - Pinnåsen	10 -20

Selv om det er satt tettekrav som man benytter som målsetting vil det være overvåkingen av omgivelsene i form av grunnvannstandsmålinger, poretrykkmålinger og setningsmålinger som er den endelige fasit for om tettingen har vært vellykket. Selv om man oppnår det oppsatte tettekravet vil man kunne få uønskede poretryksreduksjoner, noe som vil kreve lokale tiltak. Det forutsettes at et omfattende overvåkingsprogram ivaretar disse forholdene.

Tettestrategien i forbindelse med TBM-driften vil være å installere vanntette betongsegmenter umiddelbart bak borehodet samtidig som man lokalt opprettholder grunnvannsstanden / poretrykket ved å infiltrere vann fra terrenget over tunnelene. Ved denne metoden vil behovet for forinjeksjon bli redusert til et minimum i det man antar / forutsetter at noe innlekkasjer i tunnelen kan aksepteres i den korte tiden det tar fra lekkasjen påtreffes til betongsegmentene er montert og i funksjon.

For å unngå evt. poretrykk- og grunnvannssenkning i tidsrommet fra boring til utforingen blir komplett, vil det bli etablert tilstrekkelig antall vanninfiltrasjonsbrønner langs tunnelene for infiltrasjon i berggrunnen. Disse tas i bruk når tunnelboremaskinene kommer inn i de områdene som krever slike tiltak. Omfanget av slik vanninfiltrasjon fra dagen er usikkert og må vurderes nærmere i senere planfaser. I boremaskinene vil det dessuten være injeksjonsutstyr som kan tette foran stoff ved behov, eksempelvis ved store vanninnbrudd, stans i fremdriften eller ved lave inndrifter i tilknytning til områder med mye vannlekkasjer.

7 TUNNELDRIFT MED KONVENSJONELL DRIVEMETODE

7.1 Generelt

Konvensjonell tunnelsprengning utpreger seg ved stor fleksibilitet ved varierende bergforhold og spesielt i situasjoner der det må tettes godt mot vannlekkasjer. Det er god erfaring med tunneldrift som kan takle de forholdene som en vil få på Follobanen, jfr. Skøyen - Asker, Nøstvedttunnelen, Romeriksporten, mv.

Tunnelkonseptene er redegjort for i kapittel 3. Det vises også til de vedlagte tegningene OUS-00-F- 0001 til -0004. Det er spesielt tunnelkonsept 0 med to spor i en tunnel som det er utstrakt erfaring med i Norge på jernbanesiden. I veisammenheng er det tilsvarende erfaring med to-løpstunneler i forhold til tunnelkonsept 2.

7.2 Tverrslag og riggområder

Én av de viktigste forholdene med hensyn på anleggsgjennomføringen av lange tunneler drevet på konvensjonell måte, er tilgangen på egnede tverrslagssteder med tilhørende riggområder. Dette er som regel mangelvare i tettbebygde strøk fordi anleggsdriften er støyende og massetransport på villaveier ikke er ønskelig. På strekningen Loenga/Gamlebyen - Langhus er det vurdert ulike tverrslagsløsninger og kombinasjoner av tverrslag. Det er forsøkt tatt hensyn til nærmiljøforhold og det ytre miljø ved plasseringen av tverrslagene. Nærhet til det overordnede veisystemet har vært en viktig premis.

Den ca. 18 km lange tunnelen vil kunne drives hensiktsmessig ved hjelp av 6 tverrslag samt noe tunneldrift fra Loenga/Gamlebyen. Tverrslagene er foreslått lokalisert ved Bekkelaget, Furubråtveien, Hauketo, Rosenholm, Sofiemyr og Tussetjern for traséen via Kolbotn. For det andre traséalternativet benyttes de samme tverrslagene med unntak av Rosenholm som byttes ut med et tverrslag ved E6 nær Åsland pukkverk.

Hvert enkelt tverrslag er tegnet ut i målestokk 1:2000, jfr. tegningene OUS-00-Y-0071 til -77 for tunnelalternativ 7 og OUS-00-Y-0081 til -87 for alternativ 8. Tverrslagene for alternativ 7 er til sammen 1590 m, mens lengden for alternativ 8 er 3370 m. Det er spesielt det 1020 m lange tverrslaget fra Åsland som utgjør forskjellen mellom alternativene. Dessuten ligger alternativ 8 lenger inn under Nordstrandplatået og dypere enn alternativ 7 ved passering forbi Kolbotn.

7.3 Tunneldriving og stabilitetssikring

Geologien og vurderingen av sikringen i tunnelene er redegjort for i kapittel 4. Det er som det fremgår her forutsatt ordinære sikringstiltak, som bolter, sprøytebetong, etc. I kostnadsoverslaget er det i tillegg lagt inn noen hundre meter med full utstøping. Likeledes er det i kostnadsberegningen lagt inn cut & cover-løsninger ved Tussetjern og ved Langhus med til sammen 120 m for alternativ 7 og 140 m for alternativ 8.

Tunneldrivingen og stabilitetssikringen for de to tunnelalternativene 7 og 8 er vurdert ikke å være særlig forskjellig. Begge tunnelene har god overdekning langs størstedelen av strekningen og grunnforholdene er gjennomgående gode til brukbare utenom svakhetssoner, etc. Dog vil langsgående soner og sprekker medføre ekstra sikring. Det er antatt noe bedre grunnforhold langsetter alternativ 8 enn for alternativ 7. På strekningen fra Tussetjern til Langhus er geometrien og dermed grunnforholdene for tunnelene like.

Det er antatt at tunneldrift via 6 tverrslag er mest hensiktsmessig for tunnelen mellom Loenga/Gamlebyen og Langhus. Dette er ut fra en vurdering av at lengste stofflengde ikke bør overstige ca. 1500 - 2000 m siden injiseringsomfanget i tunnelene er stort. Tverrslagslengder og stofflengder er vist i vedlegg 12.3.

Det er forutsatt en 3-skifts-ordning for tunneldriften, dvs. ca. 101 timers arbeidsuke og 46 arbeidsuker pr. år. Det er forutsatt at det ikke kan sprenges om natten av hensyn til nærliggende / overliggende bebyggelse. Massene antas å bli

lastet om i en omlastestasjon i berg og transportert ut på dagtid / kveldstid. Massene antas å bli transportert til nærmeste steinbrudd siden det ikke er gjort noe arbeid knyttet til å finne egnede permanente deponier.

7.4 Tetting av tunnelene

Tetting av tunnelene er et omfattende og viktig arbeid. Ca en tredjedel av arbeidet og halvparten av drivetiden i tunnelen vil være tetting ved hjelp av systematisk forinjisering. Tettestrategien er redegjort for i kapittel 6. Som det fremgår av beskrivelsen, forutsettes tunnelene å bli tettet i hele tunnelens lengde. Tetteresultatet oppnås ved bruk av tilstrekkelig antall injeksjonshull og ved bruk av moderne injeksjonsmetoder og -utstyr. Tetteomfanget er generelt stort under bebyggelsen og noe mindre under friområdene. Minst injiseringsomfang er antatt for alternativ 8 fordi deler av denne tunnelen går under friområder og hvor det til dels er lite løsmasser.

Når det gjelder tunnelkonsept 0 er det antatt et noe mindre behov for tetting for den ene tunnelen sammenlignet med tettebehovet i de to tunnelene for tunnelkonsept 1 og 2. To tunneler som drenerer ut samme bergvolum som en tunnel, antas hver for seg å måtte injiseres noe mer sammenlignet med kun én tunnel. I kostnadsoverslaget og tidsregnskapet er dette hensyntatt.

7.5 Underbygning, vann- og frostsikring, jernbanetekniske installasjoner, mv

I jernbanetunneler drevet på konvensjonelt vis er det vanlig å renske ut tunnelmassene i sålen og bygge opp underbygningen med frostsikringslag, forsterkningslag og ballastspor. Dette er også forutsatt for tunnelene på Follobanen ved sprengt løsning.

I tunnelene er det til tross for omfattende tetting, behov for å installere vann- og frostsikringstiltak. Det er i teknisk regelverk krav om 100 % dekking i tunnelene. Det kan imidlertid stilles spørsmålstejn ved om det er behov for full dekking siden erfaringen tilsier at det i tilsvarende tunneler er lange partier som knapt har drypplekkasjer. I kostnadsoverslaget er det lagt inn heldekkende vann- og frostsikring.

Kostnadene til vann- og frostsikring er for øvrig meget store. Det er potensial til å kunne spare betydelige kostnader ved ikke å ha heldekkende tunnelflater. I den lange tunnelen vil det dessuten være lange strekninger uten frost. Også her burde det være mulig å finne løsninger hvor en unngår heldekkning. Kostnadene til vann- og frostsikring er beregnet ut fra en PE-skum-løsning som er dekket med sprøytebetong.

De jernbanetekniske løsningene er forutsatt som i tilsvarende tunneler. Bl.a. skal det sprenges nisjer og andre utvidelser for plassering av jernbaneteknisk utstyr.

7.6 Ytre miljø forhold

Ved trasévurderingene er det forsøkt å ta hensyn til bebyggelse, naturområder, mv. på den måten at de foreslåtte traséene ligger dypt i berggrunnen og at traséene i seg selv ikke berører bebyggelse eller naturområder direkte. For valg av tverrslagssted er det i så stor grad som mulig tatt hensyn til de ytre miljøforholdene. Ved valg av tverrslag er det bl.a. lagt til grunn at det skal være lite bebyggelse i nærheten samt at det er kort avstand til nærmeste hovedvei.

Tilsvarende strenge krav til støy, strukturlyd, rystelser, setninger, mv. som ved Skøyen - Asker prosjektet er lagt til grunn.

8 TUNNELDRIFT MED TBM

8.1 Generelt

Tunnelboremaskiner kan i dag brukes for tunneler for de fleste formål og under de fleste bergforhold. Open Hard Rock TBM (Åpen TBM) er egnet for hardere bergarter der det forventes lite sikring og relativt stabile bergmasser. Forskjellige typer skjoldmaskiner, Single Shield (Enkeltskjold), Double Shield (Dobbelt skjold), Mix Shield, EPB - Earth Pressure Balanced og Slurry Shield kan tilpasses for boring i alt fra rene løsmasser til hardt berg eller en kombinasjon av dette. Det bores i dag tunneler med diameter fra 2-3 m og opp til vel 15 m.

I forhold til konvensjonell drift forutsetter TBM-metoden mer omfattende og grundigere geologisk kartlegging i forkant for å klarlegge borbaretsforhold og for valg av riktig type maskin for prosjektet. Planlegging/vurdering av TBM som metode må inn i en tidlig fase av prosjektet dersom en vil utnytte de fordeler som ligger i metoden bl.a. mht. trasevalg og driving fra færre tverrslag enn ved konvensjonell drift.

For tunneler i urbane strøk er tetting av vannlekkasjer en stadig mer omfattende og tidkrevende del av tunneldriften. Poretrykk- og grunnvannssenkning med påfølgende setninger bør unngås. Mens det ved konvensjonell drift er god tilgang til stoffen for hullboring og injisering er det ved fullprofilboring trangere og vanskeligere å komme til. Dersom dette planlegges fra starten av er det imidlertid fullt mulig å få til et tilfredsstillende opplegg for sonder- og injeksjonsboring på stoff.

Jo større TBM-diameteren er, dess mer tverrsnittsareal har man til disposisjon for plassering av boreutstyret. Imidlertid vil TBM-boring normalt ikke være lønnsomt dersom hovedjobben består i injeksjon slik at fordelene med stor inndrift ved TBM ikke kan utnyttes. Selv om man kan utstyre en TBM for injeksjon, vil opplegget for boring av injeksjonshull og injeksjon aldri kunne bli like effektiv som ved konvensjonell drift.

Er innlekkasjekravene strenge, kan derfor skjoldmaskindrift med vanntette betongsegmenter være et alternativ. Segmentene er i seg selv kostbare, men når det taes i betraktning at disse erstatter sonderboring og injeksjon, arbeidssikring, permanent sikring, vann- og frostsikring samt gir vesentlig gunstigere forhold og lavere kostnader for fremtidig vedlikehold, så vil en slik løsning kunne konkurrere med tradisjonelle norske løsninger. Dette gjelder særlig for trafikk tunneler der kravet til vannsikring er stort og der kostnader knyttet til vedlikehold er betydelig.

Den første skjoldmaskin i verden ble bygd i 1972 og siden har det foregått en rivende utvikling på design av maskinene. Det har blitt produsert maskiner med diameter fra 1,6 m til 15,4 m. Norge var ledende på TBM-boring i harde bergarter i 1980-90 årene og det finnes mange referanser på vellykkede TBM prosjekter i Norge. Alle er imidlertid med "Åpen maskin" TBM og i stor grad for vannkraftprosjekter.

I de senere år har det ikke vært drevet tunneler med TBM-boring i Norge, og vi har ingen erfaring i Norge med bruk av skjoldmaskiner. Internasjonalt er imidlertid trenden at de fleste tunneler drives med TBM og det er mange referanser på tunnelprosjekter der skjoldmaskiner med samme diameter som for Follobanen har vært anvendt, ref. vedlegg 12.5.

8.2 Tunneler, tunnelkonsepter, mv

Tunnelkonsepter

Følgende tunnelkonsepter har blitt vurdert for TBM:

- To enkeltsporstunneler med tverrforbindelser for hver 500 m for evakuering.
- En dobbeltsporstunnel + service-/redningstunnel og tverrforbindelse for rømning.

Tunneldiametre

Krav til innvendige diametre på tunnelene mht. jernbanetekniske installasjoner; spor, kjøreledning, evakueringsgangveier etc. er avtalt med Jernbaneverkets jernbanetekniske ekspertise. De angitte målene er følgende:

- Enkeltsporstunnel
- innvendig diameter etter sikring: 9,1 m
- Dobbeltsporstunnel
- innvendig diameter etter sikring: 13,0 m
- Redningstunnel
- innvendig diameter etter sikring: 5,7 m

Basert på vurderinger av tidsforbruk, kostnader og andre forhold har man valgt å gå inn for to parallelle enkeltsporstunneler (boret med fire maskiner) framfor en dobbeltsporstunnel med en parallell service tunnel av følgende grunner:

- Tidsforbruk og kostnader - Beregning viser at for borealternativene er to parallelle enkeltsporstunneler gunstigst med hensyn på tid og kostnader. På grunn av lavt omdreiningstall vil en Ø13 m maskin få lav inndrift og et stort tverrsnitt som må vannettes. Derfor vil dette tunnelalternativet bli uforholdsmessig dyrt og ta svært lang tid. Av den grunn er dette ikke detaljberegnet på samme måten som for to enkeltsporede tunneler.
- Sikkerhet - Et toguhell/-ulykke påvirker kun ett løp. Det andre løpet tjener som evakueringstunnel.
- Ventilasjon - Bedre ventilasjonsforhold i tunnelen ved at togene går i samme retning. Enklere ventilasjonsopplegg samt styring av brannventilasjonen.
- Vedlikehold - Det ene løpet kan stenges for vedlikehold mens trafikken opprettholdes i det andre løpet.

Rømningsveier

I følge nye EU-regulativ skal samferdselstunneler ha rømningsveier. Kravet til rømningsmuligheter i trafikk-tunneler med to parallelle løp er at det minimum skal etableres evakuerings-/redningstunnel for hver 500 m tunnel. Disse tverrforbindelsene bygges som sluser med port i hver ende. Tverrforbindelsene kan eventuelt utrustes med ventilasjon for å skape overtrykk. Jernbanetekniske installasjoner som trafoer, koblingsskap for signalanlegg etc. kan eventuelt også plasseres i tverrforbindelsene.

Tverrforbindelsene mellom TBM-tunneler med betongforing i hardere bergarter kan drives med forsiktig sprengning eller alternativt med wiresaging. Wiresaging er en skånsom metode og er å foretrekke ut fra plasshensyn og arbeidsmiljø.

De fleste tverrtunnelene kan drives mens TBM-driften pågår. Dette gjøres ved at man først injiserer berget i området. Det kan også være aktuelt å lage et ekstra "tetteskott" bak betongelementene for å forhindre utløp for eventuell langsgående lekkasje. Deretter boltes segmenter fast slik at segmentene i endene av tverrtunnelen kan fjernes. Tverrtunnelene sikres og eventuelt støpes ut etter behov.

Avstanden mellom de parallelle tunnellopene for tunneler med TBM-diameter på 10 m vil ligge på ca. 20-25 m center-center, dvs. en pilartykkelse på 10-15 m. Det vises til tegning OUS-00-F-0004.

8.3 TBM-maskiner, typer, diametre, mv

Generelt

Følgende tunnelboremaskintyper har blitt vurdert ut ifra de geologiske forholdene langs tunneltraséen:

Åpen maskin - Injeksjon, bergsikring og vann og frostsikring utføres som ved konvensjonell driving.

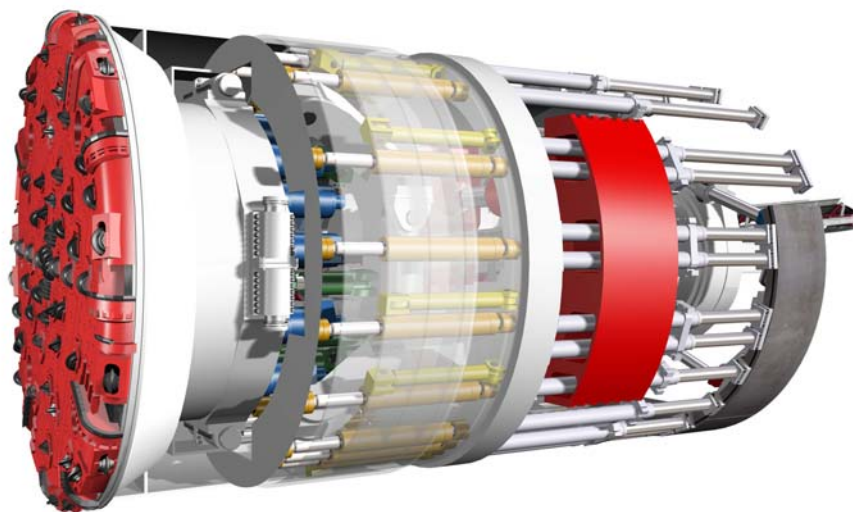
Dobbeltkjold maskin - Det meste av tunnelen drives uten forinjeksjon. Det installeres en vanntett betongforing ca. 13 m bak stuff. Betongforingen erstatter bergsikringen, injeksjonen samt vann- og frostsikringen.

Valg av TBM type - åpen TBM eller dobbeltkjold TBM

Drivingen av tunnelene mellom Oslo S og Ski vil bli underlagt strenge krav mht. innlekkasjer av grunnvann. Dette vil medføre omfattende arbeid med vanntetting av tunnelene ved boring av injeksjonshull og injeksjon av sement og mikrosegment. Ved å benytte en åpen TBM vil det meste av tiden gå med til vanntetting mens selve tunneldrivingen bare vil utgjøre en mindre del. Med et slikt omfang av injeksjon er bruk av åpen TBM ugunstig med tanke på byggetid og kostnader idet TBM'ens potensial for stor inndrift ikke kan utnyttes.

Det er derfor valgt å anbefale bruk av dobbeltkjoldmaskiner med vanntette betongsegmenter for driving av tunnelene mellom Loenga/Gamlebyen og Tussetjern.

TBM-maskiner som det her er snakk om vil bli spesialtilpasset for de krav som stilles av prosjektet. Leveringstid for nye maskiner vil være ca et år. Nærmere beskrivelse av dobbeltkjold TBM er gitt nedenfor. Figur 8.1 viser en illustrasjon av en slik maskin.



Figur 8.1: Illustrasjon av dobbeltkjoldmaskin.

Dobbeltskjold TBM - konstruksjon og virkemåte

Dobbeltskjoldmaskiner benyttes på prosjekter med vanskelige bergforhold som krever omfattende sikring og hvor man har behov for inndriftskapasiteten til en åpen TBM. Oppsprukket berg eller lignende kan være uoverkommelige hindringer dersom man velger feil maskintype.

Med skjoldmaskiner generelt, ivaretar man størst mulig sikkerhet for mannskapene i tunnelen og for dobbeltskjold TBM spesielt, har man i tillegg tilnærmet samme inndriftskapasitet som en åpen TBM med mindre installasjon av en full ring med betongsegmenter tar lengre tid enn det tar å bore et mateslag (som tilsvarer betongringens lengde, 1,6-1,8m).

Dobbeltskjoldmaskiner er i motsetning til åpne maskiner omgitt av et skjoldsystem av teleskopisk design og består av følgende hovedkomponenter:

- Et roterende borehode og borehodestøtten som er festet til det teleskopiske skjoldet
- Et teleskopisk skjold (med mindre diameter som sklir inne i det ytre skjold)
- Fastspenningsskjoldet
- Det bakre skjold ("tail shield")

Ovennevnte hovedkomponenter inkluderer elektriske motorer med girskasser, tannkrans og hovedlager for rotasjon av borehodet, skoper for å fjerne boremassen fra borehodet over på transportbåndet og mange tilkoblede komponenter for å operere maskinen og kontrollere støvet.

Under normal drift ("dobbeltskjold modus") er fastspenningsskoene som stikker ut gjennom åpninger i fastspenningssesksjonen/skjoldet aktivert og trykker mot bergveggene for å skaffe reaksjonskraft for mating under boringen. Matesylindrene presser det roterende borehodet og borehodestøtten fremover og det teleskopiske skjoldet skyves jevnt ut etter hvert som maskinen avanserer. Skjoldet dekker maskinen hele tiden.

Fastspenningsskjoldet ("gripper shield") forblir stasjonært under boring. En monteringsutrustning for segmenter som muliggjør montering av ferdigstøpte betongsegmenter mens maskinen borer, er festet til fastspenningsskjoldet. Betongsegmentene monteres under sikre forhold inne i det bakre skjoldet og berget er derfor aldri eksponert. Det at man kan montere betongsegmentene samtidig med at maskinen borer, gjør at dobbeltskjold TBM kan oppnå høye inndrifter.

Hvis berget blir for svakt til å gi feste for fastspenningsskoene, kan man likevel skaffe reaksjonskraft for fremmatingen ved å operere maskinen i enkeltskjoldsmodus. Hjelpe-/matesylindere som er plassert rundt periferien inne i fastspenningsskjoldet overfører da skyvekraft fra fastspenningsskjoldet til betongelementforingen. Under boring i enkeltskjoldsmodus er det derfor ikke mulig å montere betongsegmenter samtidig med at boringen foregår.

Uansett hvilken modus man borer i, forblir tunnelmannskapene beskyttet av maskinens skjold. Kutterne på borhodet byttes fra innsiden av borhodet og mannskapene er derfor ikke utsatt for blokkfall på stoff.

En dobbeltskjoldmaskin borer tilnærmet like raskt som en åpen maskin. Ved å montere vanntette betongsegmenter sammen til en ring i bakre del av skjoldet, etter hvert som man avanserer stoffen, blir tetting, permanent sikring samt vann- og frostsikring utført i én og samme operasjon.

En dobbeltskjoldmaskin er i seg selv ikke vanntett som en enkeltskjoldmaskin. En dobbeltskjold TBM har imidlertid større inndrift enn en enkeltskjold -TBM siden betongsegmentene kan monteres mens maskinen borer. På en enkeltskjoldmaskin må boringen stoppes under montering av betongsegmentene. En enkeltskjoldmaskin trykker alltid mot betongelementene for fremmating.

TBM-diameter

Tunnelen må bores så stor at det i tillegg til togene er plass til betongsegmenter og nødvendig gap mellom segmenter og berg, inkludert toleranser for slitasje av kuttere og for unøyaktighet i styring av maskinen. For en enkeltsporstunnel er tunneldiameteren vurdert som følger:

Innvendig tunneldiameter:	9100 mm
Betongsegment tykkelse, 2 x 400 mm:	800 mm
Gap mellom tunnelvegg og segmenter, (tykkelse av "tailskin" + "wire brush" + TBM-skjoldets konisitet + over-boring): 2 x 165 mm:	330 mm
Boret diameter:	10230 mm

Marginalkostnadene for økning/reduksjon av tunneldiameteren er større ved TBM-boring enn ved konvensjonell drift. For tunnelene på Follobanen er det et potensial i ytterligere optimalisering av tunnelvernsnitt og TBM-diameter.

Betongutføring i tunnelene

Betongsegmentene monteres inne i den bakre del av det bakerste skjoldet på dobbeltskjoldmaskinen. Lengden (langs tunnelen) på segmentene er vanligvis fra 1600 mm - 1800 mm. For Follobanen er det regnet med 1600 mm lengde og tykkelsen er antatt til 400 mm. Hver ring vil bestå av 6 stk segmenter samt et nøkkelsegment.

Tykkelsen på segmentene dimensjoneres ut fra geologiske forhold (overdekning og bergtrykk), vanntrykk og maskintekniske forhold. For Follobanen vil trolig vanntrykket være den dimensjonerende faktoren. Den endelige dimensjoneringen og optimaliseringen av betongsegmentene m/ armering bør foretas av konsulenter som har spesialisert seg på dette.

Segmentene har pakninger for vanntetting i alle skjøter og de forbindes med hverandre og mot den forrige segmentringen med bolter. Etter hvert som maskinen avanserer pumpes det en sementmørtel inn gjennom åpninger i skjoldet og bakover mellom betongsegmentene og tunnelveggen. Når sementmørtelen har herdnnet og stabiliteten på betongsegmentene er oppnådd, skrur man ut boltene mellom segmentene og mellom de enkelte betongsegmentringene.

Sementmørtelen som pumpes inn i åpningen mellom betongsegmentene og berget har først og fremst som oppgave å stabilisere og låse av segmentene, men den virker også til en viss grad som vanntetting for å forhindre langsgående drenering på utsiden av segmentene. Vannlekkasjer fra tunnelveggen utenfor betongsegmentene vil kunne vaske ut sementmørtelen mellom segmentene og tunnelen og føre den fremover langs yttersiden av maskinens skjold. Slike lekkasjer kan bli stoppet ved å lage en "barriere" i bakkant av skjoldet ved å injisere sementmørtel tilsatt akselerator (for eksempel Meyco SA) eller "vannglass" gjennom åpninger i betongsegmentene.

Internasjonalt dimensjoneres betongsegmenter og pakninger i de fleste tilfeller for en levetid på 120 år. Det benyttes høyfast betong til produksjon av segmentene og det stilles høye krav til kvalitet. Støpetoleransene for segmentene er små, vanligvis +/- 0,3 mm for montasjeflatene, +/- 1,0 mm på innvendig og +/- 2,0 mm på utvendig flate. Betongsegmentene må lagres og herdes i 28 døgn fra de er støpt til de kan monteres i tunnelen.

Produksjon og transport av betongsegmenter er en vesentlig faktor ved TBM-boring av slike tunneler. Fremdriften på en TBM kan komme opp i mer enn 100 m/uke. Med fire TBM'er i drift vil forbruket av betongsegmenter kunne bli 2000-3000 stk per uke. Betongsegmentene transporteres inn i tunnelen med spesialkjøretøyer som tar med en komplett ring på 7 segmenter i hvert lass.

Bruk av betongsegmenter gir en vanntett tunnelføring når det fokuseres på kvalitet i produksjonen og korrekt håndtering og installasjon av segmentene i tunnelen.

Vanntetting under boring med dobbeltskjold TBM

Ved boring med dobbeltskjold TBM og montering av vanntette betongsegmenter bak TBM vil det være et område på ca 13-15 m fra stuff der det kan/vil være lekkasje under drivingen. TBM'en vil i gjennomsnitt avansere ca 10-15 m om

dagen slik at lekkasjepunktene vil være eksponert vel et døgn før det innhentes av de vanntette betongsegmentene. For noen områder vil dette kunne aksepteres, spesielt på strekninger langs traséalternativ 8 under friområder. For andre tunnelstrekninger er ikke dette akseptabelt og det må treffes tiltak.

Som tiltak for å hindre grunnvanns- og poretrykksenkning forutsettes det benyttet vanninfiltrasjonsbrønner fra dagen. Det er forutsatt at det etableres tilstrekkelig antall vanninfiltrasjonsbrønner langs tunnelstrekningene, slik at grunnvanns- og poretrykksenkning unngås. Brønnene bores og installeres forut for tunnelboringen og tas aktivt i bruk i de områdene hvor det er behov og hvor boringen pågår.

I enkelte områder, som er særlig setningsutsatt, og hvor eksempelvis tunneldriften går sakte eller stopper opp, må det utføres ekstratiltak fra stuff. I slike tilfeller kan det være nødvendig å injisere på stuff eller det kan være aktuelt å infiltrere vann gjennom infiltrasjonsbrønner som etableres fra stuff. Det kan også oppstå situasjoner, både planlagt og uforutsett som medfører lengre stans i boringen. I slike tilfeller er det også aktuelt å injisere eller etablere ekstra vanninfiltrasjon for å unngå uønsket grunnvanns- eller poretrykksenkning.

Ved vurdering av tidsforbruk og kostnader er det tatt høyde for etablering av nok vanninfiltrasjonsbrønner samt et visst omfang av vanninfiltrasjon og injeksjon på stuff. Totalkostnaden for vanninfiltrasjon er liten i den totale sammenhengen og en nødvendig forsikring i forhold til det ytre miljø.

8.4 Traséalternativene

Muligheten for å drive lange tunneler fra hvert tverrslag har ligget til grunn ved vurdering av de forskjellige tunnelalternativene. Man har søkt å finne angrepspunkter som ligger slik til at påvirkningen på omgivelsene fra anleggsdriften skal bli minst mulig. Tverrslagene vil bli drevet med konvensjonell drivemetode. For montasje av maskinene vil det bli sprengt montasjehaller der tverrslaget kommer inn på hovedløpet.

Følgende traséalternativer er vurdert:

Alternativ 7 - Tunnel via Kolbotn

- Tverrslag ved Rosenholm, L = 240 m
- Tunneler mot Oslo, L = 2 x 9420 m
- Tunneler mot Tussetjern, L = 2 x 6730 m

Samlet lengde som skal bores er 16,15 km for hver tunnel, totalt 32,3 km. Mot Oslo bores tunnelene frem til portal ved Loenga/Gamlebyen. Det er denne stoffen som er fremdriftsbestemmende. I tidsplanen og kalkylen er det lagt inn tid og kostnader for passering av Kolbotn stasjon. Det forutsettes at stasjonsområdet er klargjort før TBM-maskinene kommer frem slik at de kan spaseres gjennom stasjonsområdet.

For alternativ 7 vil det være aktuelt å bygge 4 stk trykkutjamningssjakter i nærheten av Kolbotn stasjon, 2 stk for hvert av tunneløpene (ett på nordsiden og ett på sørsiden av stasjonen) for å redusere lufttrykket foran toget ved innkjøring i stasjonen. Sjektene med diameter 3-3,5m utføres fra dagen med raise-boring (pilothull + opprømning) for å gi minimale forstyrrelser for omgivelsene.

Mot Langhus bores tunnelene frem til cut & cover-seksjonen ved Tussetjern. Tunnelen videre mot Langhusveien, ca. 2 x 1,5 km er forutsatt drevet med konvensjonell sprengning med angrepspunkt fra Tussetjern. Alternativt kan det vurderes å bore helt frem til Langhusveien dersom kulvertseksjonen kan ferdigstilles før TBM'ene kommer frem til Tussetjernområdet. Maskinene vil da bli spassert gjennom kulverten (som ved Kolbotn) og boringen vil fortsette i andre enden av kulverten. Dette alternativet bør eventuelt utredes nærmere i hovedplanfasen da det muligens kan ligge en kostnadsbesparelse i denne anleggsgjennomføringen.

Alternativ 8 - Tunnel utenom Kolbotn

- Tverrslag ved Åsland pukkverk, L = 1020 m
- Tunneler mot Oslo, L = 2 x 9920 m
- Tunneler mot Tussetjern, L = 2 x 6350 m

Samlet lengde som skal bores er 16,27 km for hver tunnel, totalt 32,54 km. Mot Oslo bores tunnelene frem til portal ved Loenga/Gamlebyen. Mot Langhus bores tunnelene frem til kulvert ("Cut & Cover")-seksjonen ved Tussetjern.

Tunneldriften mellom kulvert ved Tussetjern og Langhusveien er som for alternativ 7 og med samme mulige kostnadsbesparelse som nevnt over.

I begge alternativene 7 og 8 er det regnet med 4 stk dobbeltskjold TBM. Bygging av alt. 7 og alt. 8 med 2 maskiner som først borer mot nord fra respektive tverrslag og deretter tunnelstrekningen mot syd, er også vurdert men denne løsningen får vesentlig lenger byggetid og høyere kostnader.

8.5 Inndrifter, arbeidstid, mv

Inndrifter for TBM-maskinen

Bergforholdene har vesentlig større innflytelse på fremdrift og kostnader ved TBM-boring enn ved konvensjonell drift. Vurderinger av inndrifter for TBM-boring er basert på geologiske vurderinger som angitt i Project Report 1B-98 Hard Rock Tunnel Boring (ref. 6) / prognosemodell fra NTNU samt generelle og spesielle erfaringer med TBM-boring i Norge og i utlandet. Inndrifter er basert på dagens design av TBM-maskiner. Det foregår en kontinuerlig utvikling mot kraftigere maskiner med kapasitet for høyere inndrifter. Denne utviklingen er ikke diskontert i kostnadsberegningene.

Inndriften ved TBM-boring er omvendt proporsjonal med diameteren på TBM-maskinen. En TBM for boring av en dobbeltsportunnel vil ha en diameter på ca. 14,2 m. Denne vil ha ca. 70 % inndrift sammenlignet med en TBM på 10,2 m diameter for boring av enkeltstportunnel. Nettoinndriften, dvs. inndriften når maskinen borer, vil ligge i området 1,5-2,0 m/time ved de bergforhold som er på strekningen for Follobanen. Ved så lave inndrifter vil det være selve boringen og ikke montering av betongsegmenter som er fremdriftsbestemmende.

Arbeidstid

Det er i prognosene regnet med 50 effektive uker pr år og en ukentlig arbeidstid på 144 timer ved TBM-boring. Ved konvensjonell drift regnes det tilsvarende 46 effektive uker pr. år og 101 timer pr uke. Grunnen til at det er regnet lenger arbeidstid ved TBM-boring er:

- TBM-boring er mer å sammenligne med en industriell virksomhet.
- Arbeidsstedet, særlig ved Åsland pukkverk, ligger slik til at det ikke er bebyggelse i nærheten som forstyrres av anleggsvirksomheten.
- Det utføres ikke sprengningsarbeider, unntatt for tverrslag og montasjehaller.
- Tunnelene ligger dypt i berggrunnen, overdekningen under bebygd område er gjennomgående så stor at boring kan pågå uten restriksjoner på drivetiden. I områder med mindre overdekning er det imidlertid lagt inn restriksjoner på drivetiden, dette gjelder for trasé via Kolbotn der 7 km av tunnelen er belagt med restriksjoner.

En skiftplan med 144 timer per uke vil kreve 4 arbeidslag som for eksempel arbeider i 12 dager og har 16 dager fri. Arbeidet vil pågå 7 dager i uken. Skiftplanen vil kreve godkjenning av arbeidstakerorganisasjon og av myndighetene. Dersom slik godkjenning ikke innvilges kan det være aktuelt å redusere skiftplanen til 130 timer pr. uke. Dette vil eventuelt medføre en øket byggetid på ca. 2 måneder og merkostnader på ca. 120 mill. kr. for alternativ 7 og ca. 114 mill. kr. for alternativ 8. Ytterligere reduksjon i arbeidstiden til 101 timer pr. uke vil slå kraftig ut på kostnadene og tidsforbruket.

8.6 Anleggstekniske forhold

Atkomst til tunnelene og riggområdene

Ved fullprofilboring av tunnelene på Follobanen er det tilstrekkelig med ett tverrslag mellom Gamlebyen/Loenga og Tussetjern. Fra dette tverrslaget vil det foregå omfattende TBM-boring og andre anleggsarbeider. Det betyr at man er nødt til, og har muligheten til, å legge betydelige ressurser i tilrigging og tilrettelegging for tunneldriften og for å ivareta det ytre miljøet. Figur 8.2 viser eksempel på en slik tilrigging.



Figur 8.2: Eksempel på dobbeltskjoldmaskin med tilhørende bakrigg. Bildet viser også en del av tilriggingen samt lager for betongsegmenter.

Alternativ 7

Riggområdet etableres ved Rosenholm industriområde, like sør for Rosenholm stasjon. Selve riggområdet plasseres på parkeringsplassen, mens påhugget for tverrslaget kommer i åsen øst for eksisterende jernbane med atkomst via eksisterende bro over jernbanen umiddelbart sør for stasjonen. Tverrslaget blir ca 240 m langt og går på synk 12,5 %.

Ved Rosenholm er det ikke tilstrekkelig plass for all nødvendig tilrigging, slik at betongblanderier, betongsegmentfabrikk, brakkerigg m.m. må legges andre steder. Tunnelmassen vil bli transportert ut av tunnelen med transportbånd. Det vil bli etablert et midlertidig deponi for tunnelmasser utenfor tunnelen. Herfra vil massene bli kjørt med lastebil til permanent deponi.

Alternativ 8

For i minst mulig grad å forstyrre det ytre miljø har man valgt å etablere riggområde og atkomst tunnel for TBM-drivingen fra et område ved siden av E6 ved Åsland Pukkverk. Dette området ansees som meget godt egnet for etablering av riggplass. Her er det allerede en industrivirksomhet og det er ingen boligbebyggelse i umiddelbar nærhet. Her er også god plass for lagring av utstyr og for midlertidig eller permanent deponering av tunnelmasser.

Det foreslås å drive atkomsttunnelen fra vestsiden av E6. Tverrslaget vil bli 1020 m langt med synk 11 %. Betongblander, betongsegmentfabrikk, verksteder, kontorer, brakkerigg osv er tenkt plassert i pukkverket og/eller i nærheten på østsiden av E6.

Anleggstrafikken kan krysse E6 planfritt ved å benytte den allerede eksisterende veiundergangen som i dag benyttes for trafikk til og fra pukkverket.

Tverrslag og monteringshaller for TBM

Tverrsnittet på atkomsttunnelen er ca. 60 m² for å gi plass til uttransport av boremasser og inntransport av TBM-utstyret, betongsegmenter og annet materiell til tunneldriften.

TBM-maskinene veier ca 1300 tonn hver. Etter at maskinene er ferdig bygget og testet på fabrikk blir de demontert og sendt til anlegget i komponenter som lar seg transportere på veg og jernbane.

I kryssområdet mellom tverrslaget og jernbanetunnelene etableres det monteringshaller for montering av TBM-utstyret. Det etableres fire haller, en for hver av TBM'ene. Hver hall er ca. 200 m lang med tverrsnitt fra 120 m² til ca. 200 m²

Demontering av TBM-utstyret vil skje ved enden av TBM-tunnelene, dvs. ved Loenga/Gamlebyen og ved betongkulverten ved Tussetjern.

Uttransport av boremasser

Det er forutsatt bruk av transportbånd for uttransport av boremasser fra TBM. Transportbåndene har stor kapasitet og tilpasses inndriftstoppene til TBM'ene. Drivstasjonen og båndmagasinet monteres i montasjehallene for hver av de fire maskinene. Transportørens endestasjon er montert på bakriggeren til tunnelboremaskinen og etter hvert som maskinen avanserer blir transportbåndet forlenget ved at transportbånd trekkes ut av et båndmagasin plassert i montasjehallen. Braketter for oppheng av transportøren monteres i festepunkter som er støpt inn i betongelementene. For hver ca. 200 tunnelmeter blir nytt transportbånd skjøtet inn og plassert i båndmagasinet.

I kryssområdet mellom jernbanetunnelene og tverrslaget etableres en omlastestasjon til et nytt transportbånd som bringer massen opp tverrslaget og videre horisontalt ca. 300 m over E6 til midlertidig (eller permanent) deponi i Åsland pukkverk. Den delen av transportøren som går i dagen vil bli montert på bukker av stålkonstruksjon og kledd inn slik at den blir støy- og vinterisolert, samt støvtett. På enden av transportøren vil det bli montert en bevegelig spreder for plassering av boremassen over et noe større område.

For alternativet med tverrslag og riggområde på Rosenholm vil det bli en tilsvarende løsning med et midlertidig deponi i tilknytning til riggområdet. Herfra vil massene bli transportert til permanent deponi med lastebiler.

Transport i tunnelen

Transport av materiell og mannskap i tunnelen i anleggsperioden vil foregå med gummihjulsdrift. Spesialkjøretøyer blir brukt for transport av betongsegmenter, mørtel for fylling bak betongsegmenter osv. Disse kjøretøyene har styrekabin i hver ende slik at de ikke trenger å snu i tunnelen.

Kjørebanelen etableres ved utstøping opp til formasjonsplan i bakrigger-området. Dette gjøres samtidig med TBM-boringen.

Møteplasser kan etableres ved oppbygging av kjørebane ved hjelp av stålramper eller lignende slik at man får nødvendig bredde til å kunne møtes. Slikt arrangement vil også bli brukt der tverrforbindelser skal bygges slik at trafikken kan passere mens driving av tverrforbindelser pågår. Pickuper og småbusser kan benytte slike områder for å snu.

Gangbaner, kabelkanaler m. mer

Gangbaner med kabelkanaler og trekkekummer bygges av prefabrikkerte elementer som monteres etter at tunneldriften er ferdig.

Bruk av boremassene

Boremassene fra TBM-drift er vesentlig mer finkornet enn sprengstein fra konvensjonell drift. Massene inneholder mye finstoff og har en flisig kornform.

Anvendelsesområder for boremassen kan være oppfylling av havneområder (eks Malmö City Tunnelen), planering av industritomter, veifyllinger, gjenfylling av kabelgrøfter, tilslag i betong etter sikting/sortering etc. Det kan også nevnes at boremasse har vært brukt til jordforbedring i landbruksammenheng.

8.7 Kontraktsmessige forhold

Investering i- og eierskap til TBM-utstyret

Påstander om at byggherrer bør anskaffe TBM selv fremmes fra tid til annen. Det er imidlertid en risiko for at det kan oppstå uoverensstemmelser og konflikter under prosjektets gang ved at eier og bruker av utstyret er forskjellige. Prinsipielt er det entreprenøren som bør velge "våpen" og eie dette. Noe annet vil skape et uklart risikobilde og kan raskt resultere i store ekstraregninger fra entreprenøren. Dette har også å gjøre med en vedlikeholdsmessig side, spesielt mot slutten av prosjektet.

Investering i TBM-utstyret er en viktig post i prosjektets kostnads-kalkyle og i ett tilfelle her i Norge har byggherren kjøpt utstyret og overlatt dette til vinneren av anbudet som så overtok utstyret etter ferdigboret prosjekt. Leveringstiden på TBM'ene var den samme som den ville ha blitt om entreprenøren hadde bestilt maskinene, med mindre det var finansielle problemer på det aktuelle tidspunkt.

Byggherren bør heller skaffe seg kompetanse til å kunne stille spørsmål til entreprenørene som er "short listed" og vurdere om de har basert seg på egnet utstyr for å kunne løse oppgaven.

For større prosjekter er ikke investeringene i TBM-utstyret avgjørende. Aktuelle løsninger må vurderes ut fra totalpris der også kvaliteten på tunnelene og levetidskostningene samt andre samfunnsøkonomiske faktorer spiller inn.

Internasjonalt anbud

Etter at den store vannkraftepoken i Norge, med omfattende fullprofilboring av tunneler var over i 1992, opprettholdt et par av entreprenørene med TBM-erfaring sin kompetanse på fullprofilboring utover i 90-årene og frem til 2004 gjennom å påta seg oppdrag i utlandet enten som underentreprenører eller som partnere i arbeidsfelleskap. Fra å være verdensledende på TBM-boring i harde bergarter er TBM-kompetansen hos norske entreprenører smuldret opp og nesten helt fraværende.

Ved større fremtidige TBM-prosjekter her i Norge vil det være fordelaktig for norske entreprenører å gå i arbeidsfelleskap med større utenlandske entreprenører med TBM-erfaring for å kunne gi anbud. For TBM-prosjekter i sensitive urbane områder hvor bruk av vannrette betongsegmenter er aktuelt, vil det være nødvendig å ha med seg erfarne entreprenører i et arbeidsfelleskap.

Tunnelene på Follobanen er så interessante at de vil tiltrekke seg de største og dyktigste utenlandske entreprenørene som besitter erfaringer med TBM i forbindelse med samferdselstunneler. TBM som drivemetode for tunnelene på Follobanen bør tas inn i anbudsdokumentene som et likeverdig alternativ til konvensjonell sprengning dersom tunnelkonsept 2 føres videre. Anbudsdokumentene bør i tilfelle utarbeides på engelsk slik at man unngår eventuelle misforståelser ved en oversettelse og mulig tidstap i en hektisk anbudsfasen.

9 KOSTNADER OG BYGGETID

9.1 Konvensjonell tunneldriving

Kostnads- og fremdriftsberegningene for konvensjonell sprengning er gjort med referanse til tilsvarende anlegg. Det er først og fremst fremdrifts- og kostnadstall fra Lysaker - Sandvika som er benyttet for sprengt løsning. Det er tatt hensyn til kostnadsutviklingen i markedet og det er gjort sammenligninger mot kostnadstall fra andre større- og tilsvarende tunnelentrepriser. I kostnadssammenheng er det antatt at entreprisene er av moderat størrelse slik de er ved Lysaker - Sandvika prosjektet. Typisk her er at det er én underbygningsentreprise for hvert tverrslag.

Kostnadsoverslaget er vist i vedlegg 12.4. Kostnadene dekker alle entreprisekostnadene. Det er lagt til 10 % for uspesifiserte arbeider/kostnader. Byggherrekostnader og usikkerhetsavsetninger kommer i tillegg.

Detaljerte fremdriftsplaner for alternativene ligger i vedlegg 12.6.

9.2 Tunneldriving med TBM

Kostnadene for TBM som drivemetode i alternativene 7 og 8 er fremkommet basert på en resurskalkyle med input av ressurser og tid (tidsplan). For inndrifter i de aktuelle bergartstyper har man basert seg på en prognosemodell som er utviklet ved NTH (NTNU) for TBM-boring i harde bergarter samt lagt til grunn erfaringer fra en rekke norske og internasjonale prosjekter.

Gjeldende budsjettpriser på hovedutstyret som tunnelboremaskiner, bakrigg-systemer, båndtransportører etc. er innhentet fra ledende produsenter av TBM-utstyr. Restverdien på utstyret er satt til 15 % for utstyret som er tenkt benyttet for driving mot nord og 20 % for utstyret for driving mot sør (lengdeavhengig).

Dobbeltskjoldmaskiner er en utprøvd TBM-type som har gjennomgått en kontinuerlig utvikling siden den første maskinen ble tatt i bruk i 1972. Med dagens utstyr og internasjonal erfaring ser man ikke noen spesiell risiko med dobbeltskjold-TBM som drivemetode for tunnelene på Follobanen. Internasjonale entreprenører besitter TBM-kompetanse som bør brukes for å sikre en vellykket gjennomføring av tunnelboringen på Follobanen.

Det er ikke lagt inn noen form for byggherrekostnader i TBM-kalkylene. Kostnadene til byggherren ved rigg og drift fra kun ett atkomsttverrslag med TBM vil bli lavere enn for konvensjonell sprengning hvor man har flere tverrslag. Totalt arealbehov for de enkelte riggområder er ikke vurdert opp mot tilgjengelig areal ved Åsland pukkverk eller ved Rosenholm. Det er ikke tatt med eventuelle kostnader for kjøp/leie av grunn for rigg.

Byggetiden er beregnet fra dato for kontrakt for de bygningstekniske arbeidene. I byggetiden inngår leveringstid for TBM-utstyr, tilrigging og etablering av tverrslag, monteringshaller, produksjonsanlegg for betongsegmenter m.m., samt all tunneldriving med tilhørende aktiviteter. En detaljert tidsplan ligger i vedlegg 12.6.

For begge alternativene er det tunneldriften fra tverrslaget mot Loenga/Gamlebyen som er tidsbestemmende. Det er antatt at etablering av kulvert ved Tussetjern og driving av tunnel mellom Tussetjern og Langhusveien eventuelt kan utføres innenfor denne byggetiden.

Ett år og 6 måneder er avsatt for hvert av alternativene til sporlegging, installasjon av kjøreledning, montering/bygging av signalanlegg samt øvrige jernbanetekniske installasjoner.

Det er tatt hensyn til kostnader for eventuelle stopp i drivingen. Det er lagt inn 15 uker for heft for hver av maskinene i forbindelse med innkjøringsfasen, stillstand for vanskelige geologiske forhold samt uforutsette maskintekniske forhold.

For alternativ 7 er det tatt høyde for mulige spesielle restriksjoner på grunn av strukturlyd under boringen. Det er regnet med kortere arbeidstid over en strekning på 7000 m i området fra Ljanselva til Sofiemyr. For alt. 7 er det videre lagt inn 9 ukers stopp i boringen pga. anleggstekniske forhold i forbindelse med passering av Kolbotn stasjon.

9.3 Oppsummering tid og kostnader

Tabell 9.1 viser kostnad og tidsforbruk for de ulike tunnelalternativene og tunnelkonseptene. Kostnadene er entreprisekostnad for underbygningsentreprisene mens tidsforbruket inkluderer de jernbanetekniske arbeidene. Kostnader for Kolbotn stasjon er ikke inkludert i kalkylen.

Tabell 9.1: Oversikt over byggetid og kostnader ved anleggsgjennomføring med hhv konvensjonell tunnelsprengning og TBM-drift

Traséalternativer og tunnelkonsepter	Konvensjonell tunneldriving		Bygging med TBM	
	Kostnad, mrd. kr	Byggetid	Kostnad, mrd. kr	Byggetid
Alternativ 7 (via Kolbotn) Tunnelkonsept 0 (dobbeltsporet tunnel)	3,447	5 år og 7 måneder		
Alternativ 7 (via Kolbotn) Tunnelkonsept 1 (dobbeltsporet tunnel og servicetnl.)	4,450	5 år og 6 måneder		
Alternativ 7 (via Kolbotn) Tunnelkonsept 2 med sprengt løsn. (2 enkeltsporete tunneler)	5,162	4 år og 10 måneder		
Alternativ 7 (via Kolbotn) Tunnelkonsept 2 med TBM (2 enkeltsporete tunneler)			4,749	5 år og 11 måneder
Alternativ 8 (utenom Kolbotn) Tunnelkonsept 0 (dobbeltsporet tunnel)	3,569	5 år og 4 måneder		
Alternativ 8 (utenom Kolbotn) Tunnelkonsept 1 (dobbeltsporet tunnel og servicetnl.)	4,285	5 år og 3 måneder		
Alternativ 8 (utenom Kolbotn) Tunnelkonsept 2 med sprengt løsn. (2 enkeltsporete tunneler)	5,111	4 år og 11 måneder		
Alternativ 8 (utenom Kolbotn) Tunnelkonsept 2 med TBM (2 enkeltsporete tunneler)			4,818	5 år og 9 måneder

10 KONKLUSJON OG ANBEFALING

Drivemetodegruppens vurdering er at TBM-boring av tunnelene på Follobanen er konkurransedyktig sammenlignet med sprengt løsning for tunnelkonsept 2. TBM-tunnelene er dessuten gunstig med tanke på drift og vedlikehold fordi de er fullt utført med betongsegmenter. Velges tunnelkonsept 0 eller 1 er konvensjonell tunneldrift å anbefale.

Det er liten kostnads- og fremdriftsforskjell mellom alternativ 7 og 8 med hensyn til valg av drivemetode. Dog er alternativ 8 enklere og mer rasjonell for bruk av TBM ettersom en stasjonsløsning ved Kolbotn kompliserer anleggsgjennomføringen noe.

Vedrørende valg av drivemetode er det nødvendig å avvente dette til tunnelkonsept og tunnelalternativ er bestemt. Dette betyr at drivemetodevurderinger eventuelt også må utføres i neste planfase; i arbeidet med ny hovedplan.

Dersom TBM-alternativet er med i videre planfaser, er det viktig at det i reguleringsplanfasen settes av rigg- og anleggsarealer til begge alternativene slik at det gis en reell mulighet for konkurranse mellom drivemetodene.

Vedrørende TBM-drift bør det utføres en optimalisering av tunneldiameteren for TBM, særlig med tanke på de jernbanetekniske installasjonene, da dette kan ha stor betydning for kostnader og tidsforbruk. Det bør arbeides videre med å optimalisere tidsforbruket for de jernbanetekniske arbeidene etter at tunnelboringen er ferdig. Det bør også undersøkes nærmere om 144 timer pr uke for TBM-drift er en akseptabel arbeidstidsordning.

Bergartenes mekaniske egenskaper er viktige parametere for beregning av tunnelproduksjonen, spesielt for drift med tunnelboremaskin. Det anbefales at det gjennomføres et omfattende program for kartlegging, prøvetaking og testing av bergmassene i prosjektområdet i neste planfase. Det er også viktig å undersøke løsmassenes egenskaper, deres mektighet og utbredelse samt grunnvannsforhold.

11 REFERANSER

- Ref. 1 NGU: Geologiske forhold langs planlagt jernbanetrasé Oslo - Ski. Rapport nr. 2007.048, datert 30.11.2007.
- Ref. 2 AAS-JAKOBSEN: Sammenstilling av geologiske-, hydrogeologiske- og naturforhold. Rapport nr. UOS-00-A-10022, datert 27.06.2008.
- Ref. 3 NGU: Bulletin 398. O. Graversen. Geology and Structural Evolution of the Precambrian Rocks of the Oslofjord-Øyeren Area, Southeast Norway.
- Ref. 4 NTH: Institutt for anleggsdrift. Katalog over borbarhetsindekser. Rapport 13 B-98.
- Ref. 5 SINTEF: Rapport nr. 080131G.
- Ref. 6 NTH: Institutt for anleggsdrift. Hard Rock Tunnel Boring. Rapport 1 B-98.

12 VEDLEGG

12.1 Bergmasseklassifisering

KVALITET

KARAKTERISTIKK

Q 1 MEGET GOD

Massivt berg, $J_v < 5$, ru sprekker uten belegg og ingen forvitring.

Q 2 GOD

Friskt berg, $5 < J_v < 10$, plane og ru sprekker, enkelte av disse med belegg og enkelte med spor av forvitring.

Q 3 BRUKBAR

Småfallent friskt berg, $10 < J_v < 20$, plane tynne sprekker med glatt belegg eller sprekker med markert dagfjellsforvitring. Moderat til middels intensitet av spenningsbetenget avskalling (sprakefjell) i klasse Q 1 og Q 2.

Q 4 DÅRLIG

Småfallent delvis forvitret berg, $J_v > 20$, bergmasse med markerte leirslepper og leire på sprekkeflater generelt. Intens spenningsbetenget avskalling (sprakefjell) i klasse Q 1 og Q 2.

Q 5 MEGET DÅRLIG

Oppknust, omvandlet og leirførende bergmasse. Lav deformasjonsmotstand, elastoplastisk oppførsel ved lavt spenningsnivå.

12.2 Enhetssikring

I enhetssikringen listet under hører sikringsklasse RS 1 til bergmassekvalitet Q 1 osv.

ENHETSSIKRING I TUNNEL MED SPENNVIDDE 13.5 M (DOBBELSPORTUNNEL)

- RS 1** Rensk og systematisk bolting i heng og vederlag, 3 bolter og 1.6 m3 fiberarmert
- RS 2** sprøytebetong per meter.
- RS 3** Rensk og systematisk bolting i heng, vederlag og vegger, 5 bolter og 2.5 m3 Fiberarmert sprøytebetong per meter.
- RS 4** Systematisk bolting og fiberarmert sprøytebetong i hele tunnelverrsnittet. Korte salver, forbolting og armerte sprøytebetongribber utføres på 10 % av tunnallengden. 7 bolter, 1 forbolt, 0.05 ribber og 6 m3 fiberarmert sprøytebetong per tunnelmeter.
- RS 5** Systematisk bolting, forbolting, fiberarmert sprøytebetong, armerte ribber og utstøpt såle. 7 bolter, 10 forbolter, 0.4 ribber, 9 m3 fiberarmert sprøytebetong og 7 m3 sålestøp per tunnelmeter.

ENHETSSIKRING I TUNNEL MED SPENNVIDDE 8.5 M (ENKELSPORTUNNEL)

- RS 1** Rensk og systematisk bolting i heng og vederlag, 2.5 bolter og 1.2 m3 fiberarmert
- RS 2** sprøytebetong per tunnelmeter
- RS 3** Rensk og systematisk bolting i heng, vederlag og vegger, fiberarmert sprøytebetong i heng og vederlag. 4 bolter og 2 m3 fiberarmert sprøytebetong per tunnelmeter.
- RS 4** Systematisk bolting og fiberarmert sprøytebetong i hele tunnelverrsnittet. Korte salver, forbolting og armerte sprøytebetongribber utføres på 10 % av tunnallengden. 6 bolter, 1 forbolt, 0.05 ribber og 5 m3 fiberarmert sprøytebetong per tunnelmeter.
- RS 5** Systematisk bolting, forbolting, fiberarmert sprøytebetong, armerte ribber og utstøpt såle. 6 bolter, 8 forbolter, 0.4 ribber, 8 m3 fiberarmert sprøytebetong og 4 m3 sålestøp per tunnelmeter.

ENHETSSIKRING I TUNNEL MED SPENNVIDDE 5 M (SERVICETUNNEL)

- RS 1** Rensk og systematisk bolting i heng og vederlag, 1.5 bolter og 0.9 m3 fiberarmert
- RS 2** sprøytebetong per tunnelmeter
- RS 3** Rensk og systematisk bolting i heng, vederlag og vegger, 3 bolter og 1.5 m3 fiberarmert sprøytebetong per tunnelmeter.
- RS 4** Systematisk bolting og fiberarmert sprøytebetong i hele tunnelverrsnittet. Korte salver, Forbolting og armerte sprøytebetongribber utføres på 10 % av lengden. 5 bolter, 1 forbolt, 0.05 ribber og 3.5 m3 sprøytebetong per tunnelmeter.
- RS 5** Systematisk bolting, forbolting, fiberarmert sprøytebetong, armerte ribber og utstøpt såle. Korte salver. 6 bolter, 6 forbolter, 0,4 ribber, 6 m3 sprøytebetong og 3 m3 sålestøp per tunnelmeter.

12.3 Oversikt tunnallengder, tverrslagslengder, stofflengder, mv

Alternativ 7: (Alternativet for stasjonstilknytning ved Kolbotn)

Oversikt tunnallengder, tverrslag, etc ved konvensjonell driving:

	profilnr.	lengde
Tunnelpåhugg i Gamlebyen	1450	
Stuff mot sør		650 m
Avstand fra påhugg til tverrslag (m)	1800	
Stuff mot nord		1150 m
Tverrslag ved Bekkelaget (lengde = 300 m)	3250	
Stuff mot sør		950 m
Avstand mellom tverrslag (m)	2100	
Stuff mot nord		1150 m
Tverrslag ved Furubrátveien (lengde = 230 m)	5350	
Stuff mot sør		1400 m
Avstand mellom tverrslag (m)	2750	
Stuff mot nord		1350 m
Tverrslag ved Hauketo (lengde = 290 m)	8100	
Stuff mot sør		1360 m
Avstand mellom tverrslag (m)	2770	
Stuff mot nord		1410 m
Tverrslag ved Rosenholm (lengde = 240 m)	10870	
Stuff mot sør		1690 m
Avstand mellom tverrslag (m)	3200	
Stuff mot nord		1510 m
Tverrslag ved Sofiemyr (lengde = 420 m)	14070	
Stuff mot sør		1660 m
Avstand mellom tverrslag (m)	3680	
Stuff mot nord		2020 m
Tverrslag ved Tussetjern (lengde = 110 m)	17750	
Stuff mot sør		1550 m
Avstand fra tverrslag til påhugg (m)	1550	
Tunnelpåhugg ved Langhusveien	19300	
	Lengde fjelltunnel	17850
	Lengde tverrslag = 1590 m	

Oversikt tunnallengder, tverrslag, etc ved bruk av TBM:

Tunnelpåhugg i Gamlebyen	1450		
Avstand fra tverrslag til påhugg (m)	9420		
Stuff mot nord		9420 m	
Tverrslag ved Rosenholm (lengde = 240 m)	10870		TBM
Stuff mot sør		6730	16150
Gjennomslag ved Tussetjern profil	17600		
Stuff mot nord		150 m	
Tverrslag ved Tussetjern (lengde = 110 m)	17750		Sprengt
Stuff mot sør		1550	1700
Avstand fra tverrslag til påhugg (m)	1550		
Tunnelpåhugg ved Langhusveien	19300		
	Lengde fjelltunnel	17850	17850

Alternativ 8: (Alternativ utenom Kolbotn)

Oversikt tunnallengder, tverrslag, etc ved konvensjonell driving:

	profilnr.	lengde
Tunnelpåhugg i Gamlebyen	1450	
Stuff mot sør		750 m
Avstand fra påhugg til tverrslag (m)	1810	
Stuff mot nord		1060 m
Tverrslag ved Bekkelaget (lengde = 380 m)	3260	
Stuff mot sør		940 m
Avstand mellom tverrslag (m)	2140	
Stuff mot nord		1200 m
Tverrslag ved Furubråtveien (lengde = 570 m)	5400	
Stuff mot sør		1900 m
Avstand mellom tverrslag (m)	3000	
Stuff mot nord		1100 m
Tverrslag ved Hauketo (lengde = 620 m)	8400	
Stuff mot sør		1510 m
Avstand mellom tverrslag (m)	2970	
Stuff mot nord		1460 m
Tverrslag ved Åsland (lengde = 1020 m)	11370	
Stuff mot sør		1430 m
Avstand mellom tverrslag (m)	3230	
Stuff mot nord		1800 m
Tverrslag ved Sofiemyr (lengde = 640 m)	14600	
Stuff mot sør		1370 m
Avstand mellom tverrslag (m)	3270	
Stuff mot nord		1900 m
Tverrslag ved Tussetjern (lengde = 140 m)	17870	
Stuff mot sør		1550 m
Avstand fra tverrslag til påhugg (m)	1550	
Tunnelpåhugg ved Langhusveien	19420	
	Lengde fjelltunnel	17970
	Lengde tverrslag = 3370 m	17970 m

Oversikt tunnallengder, tverrslag, etc ved bruk av TBM:

Tunnelpåhugg i Gamlebyen	1450		
Avstand fra tverrslag til påhugg (m)	9920		
Stuff mot nord		9920 m	
Tverrslag ved Åsland (lengde = 1020 m)	11370		TBM
Stuff mot sør		6350	16270
Gjennomslag ved Tussetjern profil	17720		
Stuff mot nord		150 m	
Tverrslag ved Tussetjern (lengde = 140 m)	17870		Sprengt
Stuff mot sør		1550	1700
Avstand fra tverrslag til påhugg (m)	1550		
Tunnelpåhugg ved Langhusveien	19420		
	Lengde fjelltunnel	17970	17970
		17970	17970

Alt. 8 er 120 m lengre enn alt. 7

12.4 Kostnadsoverslag

12.41 Kostnader for tunnelkonsept 0, for tunnelalternativ 7 via Kolbotn:

Nytt dobbeltspor Oslo - Ski			
2	TUNN		
7	Tunnel via Kolbotn	Lengde, løper	17 850 m
0	Dobbeltportunnel med rømming	Løpemeterto	193140 kr/m
		Ber. dato:	27.05.2008
		Ber. av:	TUNN
		Prisnivå:	2008 (medio)

Kostkode	Kostkode tekst	anse/m	Enhet	Mengde	Enh.pris	Delsum	Sum total
8.1.5	Tunneler						
8.1.5.0	Ufordelt tunneler		RS			0	
8.1.5.1	Rigg for tunnel	33 %	%			792 043 560	
8.1.5.2	Sikkerhetsmann og entr.		RS			0	
8.1.5.3	Tunnelsprenging/tunnelboring		m	17 730	18 400	326 232 000	
8.1.5.4	Stabilitetssikring		m	17 730	21 800	386 514 000	
8.1.5.5	Injisering		m	17 730	24 700	437 931 000	
8.1.5.6	Full utstøping og vanntett utstøping		m			30 000 000	
8.1.5.7	Vann- og frostsikring		m	17 730	30 200	535 446 000	
8.1.5.8	Cut & cover tunnel		m	120	500 000	60 000 000	
8.1.5.9	Massetransport		m3	2 092 000	74	154 808 000	
8.1.5.10	Etterarbeider i tunnel		m	17 850	7 000	124 950 000	
8.1.5.11	Hjelpearbeider		RS			38 600 000	
8.1.5.12	Kompletterende		m	17 850	2 900	51 765 000	
8.1.5.13	Tverrslagstunnel (50m2 komplett)		m	1 480	78 200	115 736 000	
8.1.5.14	Arbeider utenfor tverrslaget		RS			25 000 000	
8.1.5.15	Rømmingstunnel (25 m2 komplett)		m	3 650	31 000	113 150 000	
8.1.5.16	Tverrforbindelser		m			0	
8.1.5.17	Ledig					0	
8.1.5.99	Uspesifisert	I % av alle ovenstående	%	3 192 175 560	8,0 %	255 374 045	
8.1.5	Tunneler samendrag						3 447 549 605

12.42 Kostnader for tunnelkonsept 1, for tunnelalternativ 7 via Kolbotn:

Nytt dobbeltspor Oslo - Ski					
2	TUNN			Ber.dato:	27.05.2008
7	Tunnel via Kolbotn	Lengde, løper	17 850 m	Ber. av:	TUNN
1	Dobbeltspørtunnel med servicetu	Løpemeteko	249311 kr/m	Prisnivå:	2008 (medio)

Kostkode	Kostkode tekst	anse/m	Enhet	Mengde	Enh.pris	Delsum	Sum total
8.1.5	Tunneler						
8.1.5.0	Ufordelt tunneler		RS			0	
8.1.5.1	Rigg for tunnel	33 %	%			1 022 395 110	
8.1.5.2	Sikkerhetsmann og entr.		RS			0	
8.1.5.3	Tunnelsprenging/tunnelboring		m	17 730	18 400	326 232 000	
8.1.5.4	Stabilitetssikring		m	17 730	21 800	386 514 000	
8.1.5.5	Injisering		m	17 730	30 900	547 857 000	
8.1.5.6	Full utstøping og vanntett utstøping		m			30 000 000	
8.1.5.7	Vann- og frostsikring		m	17 730	30 200	535 446 000	
8.1.5.8	Cut & cover tunnel		m	120	600 000	72 000 000	
8.1.5.9	Massetransport		m3	2 092 000	74	154 808 000	
8.1.5.10	Etterarbeider i tunnel		m	17 850	7 000	124 950 000	
8.1.5.11	Hjelpearbeider		RS			38 600 000	
8.1.5.12	Kompletterende		m	17 850	2 900	51 765 000	
8.1.5.13	Tverrslagstunnel (50m2 komplett)		m	1 480	78 200	115 736 000	
8.1.5.14	Arbeider utenfor tverrslaget		RS			25 000 000	
8.1.5.15	Rømmings-/servicetnl. (25 m2		m	17 730	38 300	679 059 000	
8.1.5.16	Tverrforbindelser		m	170	60 000	10 200 000	
8.1.5.17	Ledig					0	
8.1.5.99	Uspesifisert	1 % av alle ovenstående	%	4 120 562 110	8,0 %	329 644 969	
8.1.5	Tunneler samendrag						4 450 207 079

12.43 Kostnader for tunnelkonsept 2, for tunnelalternativ 7 via Kolbotn:

Nytt dobbeltspor Oslo - Ski					
2	TUNN			Ber.dato:	27.05.2008
7	Tunnel via Kolbotn	Lengde, løper	17 850 m	Ber. av:	TUNN
2	2 enkeltspørtunneler	Løpemeteko	289219 kr/m	Prisnivå:	2008 (medio)

Kostkode	Kostkode tekst	Enh./m	Enhet	Mengde	Enh.pris	Delsum	Sum total
8.1.5	Tunneler						
8.1.5.0	Ufordelt tunneler		RS			0	
8.1.5.1	Rigg for tunnel	33 %	%			1 186 051 680	
8.1.5.2	Sikkerhetsmann og entr.		RS			0	
8.1.5.3	Tunnelsprenging/tunnelboring		m	17 730	22 900	406 017 000	
8.1.5.4	Stabilitetssikring		m	17 730	37 100	657 783 000	
8.1.5.5	Injisering		m	17 730	48 600	861 678 000	
8.1.5.6	Full utstøping og vanntett utstøping		m			40 400 000	
8.1.5.7	Vann- og frostsikring		m	17 730	51 300	909 549 000	
8.1.5.8	Cut & cover tunnel		m	120	700 000	84 000 000	
8.1.5.9	Massetransport		m3	2 482 000	79	196 078 000	
8.1.5.10	Etterarbeider i tunnel		m	17 850	8 600	153 510 000	
8.1.5.11	Hjelpearbeider		RS			57 900 000	
8.1.5.12	Kompletterende		m	17 850	3 700	66 045 000	
8.1.5.13	Tverrslagstunnel (50m2 komplett)		m	1 480	78 200	115 736 000	
8.1.5.14	Arbeider utenfor tverrslaget		RS			25 000 000	
8.1.5.15	Rømmings-/servicetnl. (25 m2		m			0	
8.1.5.16	Tverrforbindelser		m	340	60 000	20 400 000	
8.1.5.17	Ledig					0	
8.1.5.99	Uspesifisert	1 % av alle ovenstående	%	4 780 147 680	8,0 %	382 411 814	
8.1.5	Tunneler samendrag						5 162 559 494

12.44 Kostnader for tunnelkonsept 2 for TBM, for tunnelalternativ 7 via Kolbotn:

Nytt dobbeltspor Oslo - Ski					
2	TUNN			Ber.dato:	27.05.2008
7	Tunnel via Kolbotn	Lengde, løper	17 850 m	Ber. av:	TUNN
TBM	2 enkeltspørtunneler	Løpemeteko	266054 kr/m	Prisnivå:	2008 (medio)

Kostkode	Kostkode tekst	Enh./m	Enhet	Mengde	Enh.pris	Delsum	Sum total
8.1.5	Tunneler						
8.1.5.0	Ufordelt tunneler		RS			0	
8.1.5.1	Rigg for tunnel		%			765 121 734	
8.1.5.2	Sikkerhetsmann og entr.		RS			0	
8.1.5.3	Tunnelsprenging/tunnelboring		m	15 750	107 588	1 694 511 000	
8.1.5.4	Stabilitetssikring		m	15 750	158	2 488 500	
8.1.5.5	Injisering		m	15 750	292	4 599 000	
8.1.5.6	Full utstøping		m	15 750	73 772	1 161 909 000	
8.1.5.7	Vann- og frostsikring		m	15 750	1 536	24 192 000	
8.1.5.8	Cut & cover tunnel		m	120	700 000	84 000 000	
8.1.5.9	Massetransport		m3		30	26 692 000	
8.1.5.10	Etterarbeider i tunnel		m	15 750	4 792	75 474 000	
8.1.5.11	Hjelpearbeider		RS			57 900 000	
8.1.5.12	Kompletterende		m	17 850	1 000	17 850 000	
8.1.5.13	Tverrslagstunnel (50m2 komplett)		m	1 040	95 200	99 008 000	
8.1.5.14	Arbeider utenfor tverrslaget		RS			16 000 000	
8.1.5.15	Rømmings-/servisetnl. (25 m2		m			0	
8.1.5.16	Tverrforbindelser		m	290	63 278	18 350 620	
8.1.5.17	Sprengt tunnel Tussetjern - Langhus		m	1 580	221 000	349 180 000	
8.1.5.99	Uspesifisert	I % av alle ovenstående	%	4 397 275 854	8,0 %	351 782 068	
8.1.5	Tunneler samendrag						4 749 057 922

12.45 Kostnader for tunnelkonsept 0, for tunnelalternativ 8 utenom Kolbotn:

Nytt dobbeltspor Oslo - Ski			
2	TUNN		
8	Tunnel utenom Kolbotn	Lengde, løpe	17 970 m
0	Dobbeltspørtunnel med rømming	Løpemeterto	198630 kr/m
		Ber.dato:	27.05.2008
		Ber. av:	TUNN
		Prisnivå:	2008 (medio)

Kostkode	Kostkode tekst	Ense/m	Enhet	Mengde	Enh.pris	Delsum	Sum total
8.1.5	Tunneler						
8.1.5.0	Ufordelt tunneler		RS			0	
8.1.5.1	Rigg for tunnel	33 %	%			820 031 190	
8.1.5.2	Sikkerhetsmann og entr.		RS			0	
8.1.5.3	Tunnelsprenging/tunnelboring		m	17 830	18 400	328 072 000	
8.1.5.4	Stabilitetssikring		m	17 830	21 800	388 694 000	
8.1.5.5	Injisering		m	17 830	20 600	367 298 000	
8.1.5.6	Full utstøping og vanntett utstøping		m			30 000 000	
8.1.5.7	Vann- og frostsikring		m	17 830	30 200	538 466 000	
8.1.5.8	Cut & cover tunnel		m	140	550 000	77 000 000	
8.1.5.9	Massetransport		m ³	2 104 000	74	155 696 000	
8.1.5.10	Etterarbeider i tunnel		m	17 970	7 000	125 790 000	
8.1.5.11	Hjelpearbeider		RS			38 600 000	
8.1.5.12	Kompletterende		m	17 970	2 900	52 113 000	
8.1.5.13	Tverrslagstunnel (50m ² komplett)		m	2 810	64 400	180 964 000	
8.1.5.14	Arbeider utenfor tverrslaget		RS			24 000 000	
8.1.5.15	Rømmingstunnel (25 m ² komplett)		m	5 750	31 000	178 250 000	
8.1.5.16	Tverrforbindelser		m			0	
8.1.5.17	Ledig					0	
8.1.5.99	Uspesifisert	I % av alle ovenstående	%	3 304 974 190	8,0 %	264 397 935	
8.1.5	Tunneler samendrag						3 569 372 125

12.46 Kostnader for tunnelkonsept 1, for tunnelalternativ 8 utenom Kolbotn:

Nytt dobbeltspor Oslo - Ski			
2	TUNN		
8	Tunnel utenom Kolbotn	Lengde, løpe	17 970 m
1	Dobbeltspørtunnel med servicetu	Løpemeterto	238468 kr/m
			Ber.dato: 27.05.2008
			Ber. av: TUNN
			Prisnivå: 2008 (medio)

Kostkode	Kostkode tekst	Enh./m	Enhet	Mengde	Enh.pris	Delsum	Sum total
8.1.5	Tunneler						
8.1.5.0	Ufordelt tunneler		RS			0	
8.1.5.1	Rigg for tunnel	33 %	%			984 501 870	
8.1.5.2	Sikkerhetsmann og entr.		RS			0	
8.1.5.3	Tunnelsprenging/tunnelboring		m	17 830	18 400	328 072 000	
8.1.5.4	Stabilitetssikring		m	17 830	21 800	388 694 000	
8.1.5.5	Injisering		m	17 830	25 800	460 014 000	
8.1.5.6	Full utstøping og vanntett utstøping		m			30 000 000	
8.1.5.7	Vann- og frostsikring		m	17 830	30 200	538 466 000	
8.1.5.8	Cut & cover tunnel		m	140	700 000	98 000 000	
8.1.5.9	Massetransport		m ³	2 104 000	74	155 696 000	
8.1.5.10	Etterarbeider i tunnel		m	17 970	7 000	125 790 000	
8.1.5.11	Hjelpearbeider		RS			38 600 000	
8.1.5.12	Kompletterende		m	17 970	2 900	52 113 000	
8.1.5.13	Tverrslagstunnel (50m ² komplett)		m	2 810	64 400	180 964 000	
8.1.5.14	Arbeider utenfor tverrslaget		RS			24 000 000	
8.1.5.15	Rømmings-/servicetnl. (25 m ²)		m	17 830	31 000	552 730 000	
8.1.5.16	Tverrforbindelser		m	170	60 000	10 200 000	
8.1.5.17	Ledig					0	
8.1.5.99	Uspesifisert	I % av alle ovenstående	%	3 967 840 870	8,0 %	317 427 270	
8.1.5	Tunneler samendrag						4 285 268 140

12.47 Kostnader for tunnelkonsept 2, for tunnelalternativ 8 utenom Kolbotn:

Nytt dobbeltspor Oslo - Ski				
2	TUNN			Ber.dato: 27.05.2008
8	Tunnel utenom Kolbotn	Lengde, løpe	17 970 m	Ber. av: TUNN
2	2 enkeltspørtunneler	Løpemeterto	284458 kr/m	Prisnivå: 2008 (medio)

Kostkode	Kostkode tekst	anse/m	Enhet	Mengde	Enh.pris	Delsum	Sum total
8.1.5	Tunneler						
8.1.5.0	Ufordelt tunneler		RS			0	
8.1.5.1	Rigg for tunnel	33 %	%			1 174 367 700	
8.1.5.2	Sikkerhetsmann og entr.		RS			0	
8.1.5.3	Tunnelsprenging/tunnelboring		m	17 830	22 900	408 307 000	
8.1.5.4	Stabilitetssikring		m	17 830	37 100	661 493 000	
8.1.5.5	Injisering		m	17 830	40 400	720 332 000	
8.1.5.6	Full utstøping og vanntett utstøping		m			40 400 000	
8.1.5.7	Vann- og frostsikring		m	17 830	51 300	914 679 000	
8.1.5.8	Cut & cover tunnel		m	140	800 000	112 000 000	
8.1.5.9	Massetransport		m3	2 496 000	79	197 184 000	
8.1.5.10	Etterarbeider i tunnel		m	17 970	8 600	154 542 000	
8.1.5.11	Hjelpearbeider		RS			57 900 000	
8.1.5.12	Kompletterende		m	17 970	3 700	66 489 000	
8.1.5.13	Tverrslagstunnel (50m2 komplett)		m	2 810	64 400	180 964 000	
8.1.5.14	Arbeider utenfor tverrslaget		RS			24 000 000	
8.1.5.15	Rømmings-/servicetnl. (25 m2		m			0	
8.1.5.16	Tverrforbindelser		m	340	60 000	20 400 000	
8.1.5.17	Ledig					0	
8.1.5.99	Uspesifisert	I % av alle ovenstående	%	4 733 057 700	8,0 %	378 644 616	
8.1.5	Tunneler samendrag						5 111 702 316

12.48 Kostnader for tunnelkonsept 2 for TBM, for tunnelalternativ 8 utenom Kolbotn:

Nytt dobbeltspor Oslo - Ski			
2	TUNN		
8	Tunnel utenom Kolbotn	Lengde, løper	17 970 m
TBM	2 enkeltspørtunneler	Løpemeteterko	268157 kr/m
		Ber. dato:	27.05.2008
		Ber. av:	TUNN
		Prisnivå:	2008 (medio)

Kostkode	Kostkode tekst	Enh./m	Enhet	Mengde	Enh.pris	Delsum	Sum total
8.1.5	Tunneler						
8.1.5.0	Ufordelt tunneler		RS			0	
8.1.5.1	Rigg for tunnel		%			750 964 114	
8.1.5.2	Sikkerhetsmann og entr.		RS			0	
8.1.5.3	Tunnelsprenging/tunnelboring		m	15 850	108 990	1 727 491 500	
8.1.5.4	Stabilitetssikring		m	15 850	170	2 694 500	
8.1.5.5	Injisering		m	15 850	302	4 786 700	
8.1.5.6	Full utstøping		m	15 850	73 532	1 165 482 200	
8.1.5.7	Vann- og frostsikring		m	15 850	1 518	24 060 300	
8.1.5.8	Cut & cover tunnel		m	140	800 000	112 000 000	
8.1.5.9	Massetransport		m3		20	26 869 545	
8.1.5.10	Etterarbeider i tunnel		m	15 850	4 782	75 794 700	
8.1.5.11	Hjelpearbeider		RS			57 900 000	
8.1.5.12	Kompletterende		m	17 970	1 000	17 970 000	
8.1.5.13	Tverrslagstunnel (50m2 komplett)		m	1 800	62 869	113 164 200	
8.1.5.14	Arbeider utenfor tverrslaget		RS			15 000 000	
8.1.5.15	Rømmings-/servicetln. (25 m2		m				
8.1.5.16	Tverrforbindelser		m	290	63 699	18 472 710	
8.1.5.17	Sprengt tunnel Tussetjern - Langhus		m	1 580	221 000	349 180 000	
8.1.5.99	Uspesifisert	I % av alle ovenstående	%	4 461 830 469	8,0 %	356 946 438	
8.1.5	Tunneler samendrag						4 818 776 907

12.5 Referanseprosjekter i harde bergarter med dobbeltskjold TBM

Vedlagt er et utvalg referanser fra Robbins og Herrenknechts referanselister.

Robbins TBM Project List

Printed: 4/16/2008

Page 1

MODEL NO.	BORING PERIOD	PROJECT NAME LOCATION	TYPE	ROCK DESCRIPTION		TUNNEL LENGTH m (ft)	MACHINE DIAMETER m (ft-in)
				STRENGTH MPa (ksi)			
DS325-322	2009	Veligonda Andhra Pradesh, India	Quartzite, shale, phyllite	90 - 225 (13 - 32.63)		19,200 (62,992)	10.00 (32-10)
DS98-321	2008	Northern Sewer Project 2 Melbourne, Australia	Basalt	60 - 270 (8.7 - 39.16)		3,197 (10,489)	3.00 (9-10)
DS77-320	2008	Rental Fleet				5,000	2.24 (7 - 4)
DS325-318	2008 2011	AMR India	Porphyritic Granite	160 - 190 (23 - 28)		17,000 (55,800)	10.00 (32-10)
DS325-317	2008 2011	AMR India	Quartzite, Granite, Siltstone, Shale	90 - 310 (13 - 45)		26,500 (87,000)	10.00 (32-10)
DS324-306	2003	Abdalajis 2 Spain	Sandstone, Limestone, Mylonite, Dolomite, Breccia, Chalk & Clay	30 - 120 (4 - 17)		4,201 (13,783)	10.00 (32-10)
DS324-305	2003	Abdalajis 1 Spain	Sandstone, Limestone, Mylonite, Dolomite, Breccia, Chalk & Clay	30 - 120 (4 - 17)		4,201 (13,783)	10.00 (32-10)

REFERENCE LIST FOR LARGE DIAMETER PROJECTS Double Shield TBMs for Railway Tunnels



No.	Project name	Location	Joint Venture Partners	Machine description	Shield diameter [mm]	Tunnel length [m]	Geology	Cutterhead power [kW]	Total thrust [kN]	Cutterhead torque [kNm]	Employment	Contract	Delivery
S-414	Vigo mas Maceiras	ES	ACCIONA FCC	Double Shield Hard Rock TBM	9,510	5,000	Granite	4,200	64,000	20,000	Railway		Jul 08
S-373	Cabrera	ES	FCC Construcción, S.A. Construcciones Sánchez Domínguez Sando, S.A.	Double Shield Hard Rock TBM	9,690	2 x 6,000	Limestone	4,900	85,000	23,000	Railway	Jun 06	May 07
S-296	Le Perthus	FR / ES	Túnel del Perthus, A.E.I.E. Dragados Eiffage	Double Shield Hard Rock TBM	9,900	8,230	Granite Granodiorit Gneiss Slate	4,900	64,000	20,000	Railway	Sep 04	May 05
S-286	Le Perthus	FR / ES	Túnel del Perthus, A.E.I.E. Dragados Eiffage	Double Shield Hard Rock TBM	9,900	8,230	Granite Granodiorit Gneiss Slate	4,900	64,000	20,000	Railway	Jun 04	Mar 05
S-281	Pajares Los 2	ES	Dragados ACS	Double Shield Hard Rock TBM	10,160	10,700 + 3,700	Sand stones Slate	5,600	100,000	23,000	Railway	Apr 04	Feb 05
S-202	Guadarrama South Portal	ES	Comas Dragados Otraz y Proyeodos, S.A. Raciona Infraestructuras S.A. Cetracion Harte Lai, S.A. (OHL, Sacyr	Double Shield Hard Rock TBM	9,510	14,500	Granite	4,200	64,000	20,000	Railway	2001	2002
S-201	Guadarrama North Portal	ES	ACS FCC Ferrovial	Double Shield Hard Rock TBM	9,510	14,292	Granite	4,200	64,000	20,000	Railway	2001	2002

12.6 Tegninger og fremdriftsplaner

OUS-00-F-0001 Normalprofil tunnelkonsept 0
OUS-00-F-0002 Normalprofil tunnelkonsept 1
OUS-00-F-0003 Normalprofil tunnelkonsept 2
OUS-00-F-0004 Normalprofil tunnelkonsept 2 TBM

OUS-00-X-0001 Berggrunn og løsmassemektighet

OUS-00-Y-0007 Sporplan alternativ 7
OUS-00-Y-0008 Sporplan alternativ 8

OUS-00-Y-0071 Tverrslag km 3.25 - Bekkelaget
OUS-00-Y-0076 Tverrslag km 5.35 - Furubråtveien
OUS-00-Y-0077 Tverrslag km 8.10 - Hauketo
OUS-00-Y-0073 Tverrslag km 10.87 - Rosenholm
OUS-00-Y-0074 Tverrslag km 14.07 - Sofiemyr
OUS-00-Y-0075 Tverrslag km 17.75 - Tussetjern

OUS-00-Y-0081 Tverrslag km 3.26 - Bekkelaget
OUS-00-Y-0086 Tverrslag km 5.40 - Furubråtveien
OUS-00-Y-0087 Tverrslag km 8.40 - Hauketo
OUS-00-Y-0083 Tverrslag km 11.37 - Åsland
OUS-00-Y-0084 Tverrslag km 14.60 - Sofiemyr
OUS-00-Y-0085 Tverrslag km 17.87 - Tussetjern

Fremdriftsplan for alternativ 7.0
Fremdriftsplan for alternativ 7.1
Fremdriftsplan for alternativ 7.2
Fremdriftsplan for alternativ 7.2 TBM

Fremdriftsplan for alternativ 8.0
Fremdriftsplan for alternativ 8.1
Fremdriftsplan for alternativ 8.2
Fremdriftsplan for alternativ 8.2 TBM