

Thomas Seljordslia

Vurdering av tunnelkonsept for ny Lieråsen tunnel.

Rapport på utredningsnivå.

Masteroppgave i veg og jernbane

Veileder: Pål Drevland Jakobsen

Mars 2020

Thomas Seljordslia

Vurdering av tunnelkonsept for ny Lieråsen tunnel.

Rapport på utredningsnivå.

Masteroppgave i veg og jernbane
Veileder: Pål Drevland Jakobsen
Mars 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Lieråsen tunnel er en dobbeltsporet tunnel og er en av de mest trafikkerte på det norske jernbanenettet. Fra sommeren 2018 til sommeren 2021 rehabiliteres Lieråsen tunnel. Formålet med prosjektet er å forbedre påliteligheten til togtrafikken. Forventet levetid på tunnelen etter fullført prosjekt er 30 år. Det har de siste 20 årene flere ganger vært ulike prosjekter i tunnelen. Dette medfører at tunnelen må stenges og påfører samfunnet store utfordringer og kostnader knyttet til avvikling av togtrafikken. For å redusere stengeperioder vil det kunne være aktuelt å bygge en parallell tunnel. Det vil i denne rapporten undersøkes på et utredningsnivå 2 ulike tunnelkonsepter med 2 ulike drivemetoder. Det legges spesielt vekt på forhold som byggetid, kostnader og påvirkning på det ytre miljøet.

Data knyttet til erfaringer fra driving av eksisterende Lieråsen tunnel tyder på at det er sannsynlig at en ny tunnel kan drives både med konvensjonell metode og TBM maskin. Det er i midlertidig knyttet større risiko knyttet til driving med TBM grunnet områder med svakhetssoner. Videre geologiske forundersøkelser vil kunne gi et bedre utgangspunkt for å forutse og håndtere uønskede hendelser og dermed redusere risikoen. En av de store fordelene ved å benytte TBM til driving av tunnelen er mindre påvirkning på det ytre miljøet enn ved konvensjonell driving. Videre vil TBM ha kortere byggetid på grunn av høyere inndrift under forutsetning av at uønskede hendelser ikke oppstår. For byggekostnader kommer konvensjonell driving best ut med betydelig lavere kostnader enn for TBM.

Det er på bakgrunn av vurderingene konkludert med at TBM vil være det gunstigste valget.

Abstract

Lieråsen tunnel is a double track tunnel and is one of the busiest on the Norwegian rail network. From summer 2018 to summer 2021, the Lieråsen tunnel will be rehabilitated. The purpose of the project is to improve the reliability of the train traffic. The expected life of the tunnel after completion of the project is 30 years. There have been several projects in the tunnel over the last 20 years. This means that the tunnel must be closed and impose great challenges and costs on society in connection with the shutdown of train traffic. In order to reduce closing periods, it may be appropriate to build a parallel tunnel. In this report, two different tunnel concepts with 2 different driving methods will be investigated at an investigation level. Particular emphasis is placed on conditions such as construction time, costs and impact on the external environment.

Data related to experience from driving an existing Lieråsen tunnel indicate that it is likely that a new tunnel can be operated using both conventional method and TBM machine. However, there is greater risk associated with driving with TBM due to areas with weakness zones. Further geological surveys could provide a better starting point for predicting and managing adverse events and thus reducing the risk. One of the major advantages of using TBM for driving the tunnel is less impact on the external environment than conventional driving. Furthermore, TBM will have shorter build time due to higher propulsion provided that undesirable events do not occur. For construction costs, conventional driving comes out best with significantly lower costs than TBM.

On the basis of the assessments, it is concluded that TBM will be the most favorable choice.

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet høsten 2019 og våren 2020 som en del av den erfaringsbaserte mastergraden i Veg og jernbane.

Hovedveileder for oppgaven har vært Pål Drevland Jakobsen. Tusen takk for god veiledning gjennom arbeidet med oppgaven.

Oslo 02.03.2020

Thomas Seljordslia

Innhold

Figurer	ix
Tabeller	x
Forkortelser	xi
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven	1
1.2 Oppgavebeskrivelse og problemstilling	3
1.3 Avgrensninger og forutsetninger for oppgaven	4
1.4 Rapportens oppbygning	5
2 Teoretisk rammeverk	6
2.1 Presentasjon av teori og bakgrunnsstoff	6
3 Metode og kilder	21
3.1 Litteraturstudium og grunnlagsdata	21
3.2 Verktøy og dataprogram	21
3.3 Befaringer	21
4 Krav til løsning	22
4.1 Generell krav og forventninger fra samfunnet	22
4.2 Tekniske krav	23
5 Erfaringer fra driving og rehabilitering av tunnelen	26
5.1 Erfaringer fra driving av tunnelen	26
5.2 Erfaringer fra rehabiliteringsarbeider av tunnelen	31
6 Alternative løsninger for tunnelbygging	32
6.1 Felles forutsetninger for alternativ 1 og 2	32
6.2 Alternativ 1: Bygge ny enkeltsporstunnel med TBM og bygge om eksisterende tunnel til enkeltsporstunnel	33
6.3 Alternativ 2: Bygge ny dobbeltsporstunnel og gjøre om eksisterende tunnel til servicetunnel	45
7 Vurdering av alternativene	63
8 Konklusjon	71
8.1 Konklusjon	71
8.2 Anbefalinger for videre arbeid	71
Referanser	73

Figurer

Figur 1-1: Figur Lieråsen tunnel. (NGU kart 2019). Sort stiplet linje viser tunneltraseen .	2
Figur 2-1: Geologiske forundersøkelser etter N500 Vegtunneler (2016).....	7
Figur 2-2: Åpen TBM (gripper TBM) (Herrenknecht, 2019).....	11
Figur 2-3: Dobbelskjold TMB (Herrenknecht, 2019)	12
Figur 2-4: Bergbrytningsprinsipp (Bane NOR E, u.d.)	13
Figur 2-5: Gjennomsnittlig ukesproduksjon for TBM og boring og sprengning (D&B) ved ulike Q-verdier. (Barton, 2000) som vist i (Jakobsen & Arntsen, 2014)	14
Figur 2-6: Nøkkeltallstruktur på overordnet nivå (Bane NOR F, 2017)	14
Figur 2-7: Inputs og Outputs for hver delprosess (Dahlstrøm, et al., 2014)	16
Figur 2-8: Miljøpåvirkninger for tunnel (Dahlstrøm, et al., 2014)	17
Figur 2-9: Tiltakshierarkiet (SVV, 2017)	18
Figur 4-1: Prinsipielle løsninger for tunnelkonseptet (Bane NOR N, 2019)	24
Figur 5-1: Tunnelprofil (NSB, 1973).....	26
Figur 5-2: Oversikt geologiske forhold. (Huseby, 1968).....	27
Figur 5-3: Tynn diabasgang i Drammensgranitt (Keiding & Libach, 2016).	28
Figur 5-4: Bergartenes fordeling på pel 3216 fra Lier (NSB, 1973).....	30
Figur 5-5: Eksponert armering betongelementer (Befaring 2005, u.d.).....	31
Figur 6-1: Enkeltsporstunnel TBM (Bane NOR N, 2019)	34
Figur 6-2: Enkeltsporstunnel (Bane NOR N, 2019)	35
Figur 6-3: Dobbeltsporstunnel med servicetunnel	45
Figur 6-4 :Tunneltverrsnitt dobbeltspor (Bane NOR H, 2017)	46
Figur 6-5: Normalprofil servicetunnel	47
Figur 6-6: Asker – Solberg (Skjermdump norgeskart.no).....	49
Figur 6-7: Tverrslag Solberg (Skjermdump google maps)	49
Figur 6-8: Solberg - Dikemark (Skjermdump norgeskart.no).....	50
Figur 6-9: Påhuggsområde tverrslag Dikemark (foto: Thomas Seljordslia)	50
Figur 6-10: Antatt fjell i dagen ved tverrslag Dikemark (foto: Thomas Seljordslia).....	51
Figur 6-11: Dikemark - Kjosmyra (Skjermdump norgeskart.no)	51
Figur 6-12: Påhuggsområde tverrslag Kjosmyra (foto: Thomas Seljordslia)	52
Figur 6-13: Riggområde tverrslag Kjosmyra (foto: Thomas Seljordslia)	52
Figur 6-14: Kjosmyra - Lier holdeplass	52
Figur 6-15: Skråplan konvensjonell driving	55
Figur 6-16: Støynivå på dagtid (NFF, 2014)	61

Tabeller

Tabell 1: Byggetid enkeltsporstunnel med TBM	38
Tabell 2: Byggetid ombygging av eksisterende tunnel	38
Tabell 3: TBM enkeltspor, medium bergforhold	40
Tabell 4: TBM enkeltspor, dårlige bergforhold	41
Tabell 5: Basiskalkyle for A og B.....	41
Tabell 6: Riving og fjerning av eksisterende jernbaneteknikk. Priser (Norconsult, 2019)	41
Tabell 7: Bygging av ny enkeltsporet jernbanetunnel	42
Tabell 8: Basiskalkyle enkeltsporet jernbanetunnel	42
Tabell 9: Tverrslag	48
Tabell 10: C2 Kostnader tunnel dobbeltspor, middels byggeforhold	57
Tabell 11: C3 Kostnader tunnel dobbeltspor, middels byggeforhold	57
Tabell 12: Basiskalkyle for C2 og C3	57
Tabell 13: C2 Kostnader tunnel dobbeltspor, middels byggeforhold uten jernbaneteknikk og signal	58
Tabell 14: C3 Tunnel dobbeltspor, vanskelige byggeforhold uten jernbaneteknikk og signal.....	58
Tabell 15: Basiskalkyle for C2 og C3 uten jernbaneteknikk og signal	59
Tabell 16: Riving og fjerning av eksisterende jernbaneteknikk. Priser (Norconsult, 2019)	59
Tabell 17: Bygging av ny servicetunnel. Priser (Norconsult, 2019)	59
Tabell 18: Basiskalkyle ny servicetunnel	60
Tabell 19: Forklaring til verdiene som er brukt i vurderingen for viktige forhold	63
Tabell 20: Viktige forhold for valg av drivemetode	63

Forkortelser

Bolt	Stålstag som benyttes til å sikre og stabilisere berget
Drive	Å drive en tunnel sier hvordan tunnelen bygges gjennom berget. Det finnes flere metoder for å få bergmassen ut fra fjellet slik at en tunnel eller bergrom etableres
Grunnvannsnivå	Kotehøyde som markerer nivået hvor løsmasser er helt eller delvis mettet av vann
Heng	Taket i tunnelen
Hvite tider	Tid på natten da det ikke går tog. På InterCity strekningene er dette ofte 2 timer
Hydrostatisk trykk	Trykket i en stillestående væske
IC-designbasis	Teknisk designbasis for InterCity-strekningene
Injeksjon	Tetting av sprekkesystemer i berget ved injeksjon av av sementbaserte eller kjemiske stoffer
Inndrift	Lengde bergrom som blir drevet. Ofte målt i løpemeter pr uke
Lm	Løpemeter
Kontur	Tunnelprofil
Konvensjonell driving	Driving med boring og sprengning
Påhugg	Sprengt vertikal bergflate som markerer starten på tunnelen
Pilottunnel	Mindre tunneltverrsnitt som sprenges før tverrsnittet utvides til full størrelse
RAM(S)	Reliability, availability, maintainability and safety (pålitelighet, tilgjengelighet, vedlikeholdstilpasning og sikkerhet)
Rensk	Fjerning av løse steiner og blokker fra heng og vegger etter salve
Salve	Sprengning av et vist volum tunnel, vanligvis ca 5 meter
Sonderboring	Boring for å undersøke berget foran stuff. Benyttes ofte ved antatte svakehetssoner
Sikring	Stabilisering av berget for å hindre nedfall av steiner eller blokker
Spilingbolter	Bergbolter som bores inn for å forsterke tunnelheng
Spøytebetong	Betong som sprøytes på bergoverflaten for å stabilisere berget

Strossing	Utvidelse av tunnelverrsnittet ved sprengning eller mekanisk brytning med pigg
Stuff	Endeveggen ved tunnelfronten under driving av tunnelen
Såle/traubunn	Gulvet i tunnelen
TBM	Tunnel Bore Maskin
TSI	Technical specification for interoperability relating to safety in railway tunnels
Tverrslag	Atkomsttunnel som fører ned til hovedtunnel
TRV	Bane NOR sitt Tekniske regelverk
Vederlag	Overgang mellom vegg og heng i tunnelhvelvet

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

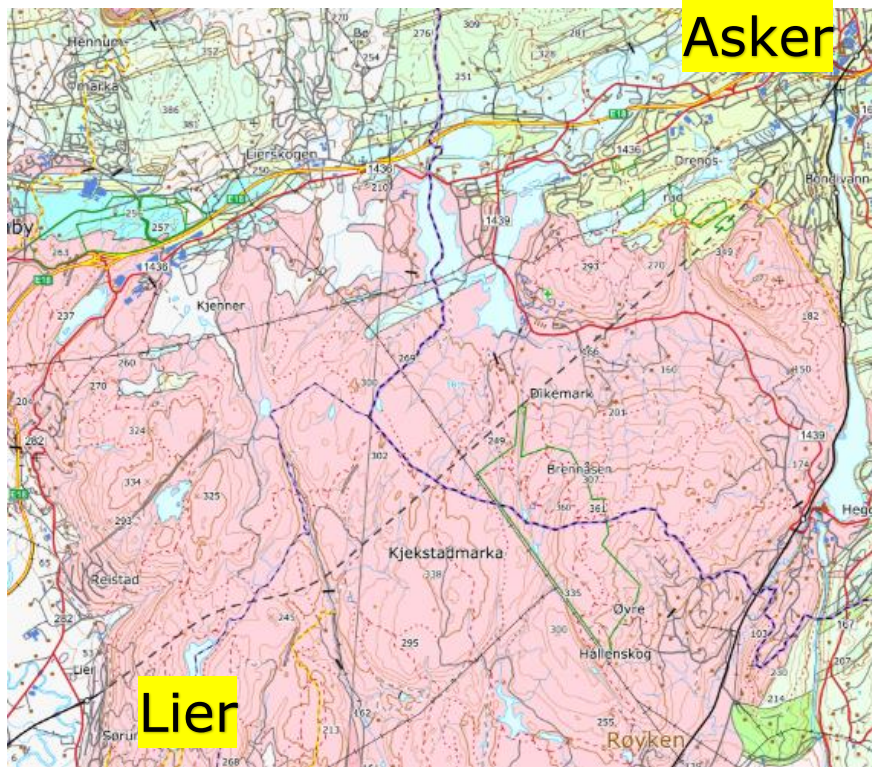
Lieråsen tunnel er 10,7 kilometer lang og går fra Asker til Lier. Tunnelarbeidene påbegynte i 1963 og det tok 8 år å drive tunnelen som hovedsakelig går i Drammensgranitt med svært mye dårlig fjell (Beitnes, 2000).

Tunnelen ble drevet konvensjonelt med boring og sprengning. Tverrsnittet i Lieråsen tunnel har en bredde på 9,5 meter og et teoretisk profil på 58 m² (NSB, 1973).

Etterarbeidene som omfatter bygging og montering av jernbaneteknisk utstyr som spor, kontaktledning, signal og tele tok ytterligere 2 år og tunnelen ble åpnet for trafikk i 1973 (Skjøllås, 2005).

Lieråsen tunnel er en dobbeltsporet tunnel og er en av de mest trafikkerte på det norske jernbanenettet. Hver dag kjører over 400 tog igjennom tunnelen (Svingheim, 2017). Dette omfatter persontransport fra Vestfoldbanen, Sørlandsbanen, Bergensbanen og flytoget samt godstrafikk. Det finnes ingen omkjøringsmuligheter mellom Asker og Drammen. Godstog og Bergensbanens tog kan i avvikssituasjoner kjøre over Roa til Hønefoss (Bane NOR I, 2018).

Tunnelen fikk en sikkerhetsmessig rehabilitering tidlig på 2000-tallet med blant annet nødlis, kommunikasjon og etablering av et tverrslag som rømningsvei. Sommeren og høsten 2005 ble det gjennomført et omfattende rehabiliteringsarbeid av fjellsikringen i tunnelen. Det aller meste av de jernbanetekniske anleggene i tunnelen er fortsatt de samme som ved tunnelens åpning (Bane NOR I, 2018).



Figur 1-1: Figur Lieråsen tunnel. (NGU kart 2019). Sort stiplet linje viser tunneltraseen

I 2014 ble det gjennomført et omfattende arbeid med kartlegging av tilstanden til tunnelen. Rapporten beskriver at tunnelen blant annet består av plasstøpte betongvegger og hvelv, prefabrikkerte betongelementer i tak. Det er skader på disse konstruksjonene som har behov for å utbedres (Bane NOR I, 2018).

Fra sommeren 2018 til sommeren 2021 rehabiliteres Lieråsen tunnel. Formålet med prosjektet er å forbedre påliteligheten til togene. Arbeidene vil blant annet omfatte betongrehabilitering, strekvis ny bergsikring, fornyelse av banelegeme (ballast, sviller og skinner), fornyelse av KL-anlegg og lavspenningsanlegg. Forventet levetid på tunnelen etter fullført prosjekt er 30 år. Det har frem til idag vært omfattende vedlikeholdssykluser og etter rehabilitering skal det bli mer normale vedlikeholdssykluser. Prosjektet skal opprettholde linjehastigheten på 130 km/t og det er ingen kapasitetsøkende tiltak. Rehabiliteringsprosjektet innebærer ingen endringer av tunnelens opprinnelige design med hensyn til størrelse, linjeføring, tverrslag/rømningsvei o.l. Det vil fortsatt være kun en rømningstunnel etter at rehabiliteringen er gjennomført (Bane NOR I, 2018).

Gjennom arbeidet med rehabilitering av Lieråsen tunnel er det ofte litt sagt "Hvorfor ikke bare bygge en ny tunnel?". Beitnes (2000) skriver også om utbedringsstrategi og vurderinger for ny tunnel. Jeg har derfor ønsket å se nærmere på noen mulige alternativ som finnes for dette spørsmålet.

1.2 Oppgavebeskrivelse og problemstilling

Oppgaven tar for seg en vurdering av 2 ulike alternativ for bygging av ny Lieråsen tunnel. De 2 alternativene tar for seg ulike tunnelløsninger og drivemetoder. Oppgavens problemstilling er 'Vurdering av tunnelkonsept for ny Lieråsen tunnel'. Rapporten er på 'utredningsnivå'.

Målet for oppgaven er å vurdere de 2 ulike alternativene for Lieråsen tunnel og komme frem til en anbefaling og videre arbeid. Hensikten er å få frem at det kan være flere måter å løse bygging av fremtidens Lieråsen tunnel.

1.3 Avgrensninger og forutsetninger for oppgaven

Masteroppgaven har flere begrensninger.

Denne oppgaven er på utredningsnivå. En fullverdig vurdering for valg av tunnelkonsept og drivemetode krever mer arbeid enn hva en masteroppgave har anledning til å ta for seg. Til følgende vurderinger er det ikke utført noen form for detaljprosjektering.

Det finnes en god oversikt over geologien for eksisterende tunnellop. Det er i denne oppgaven ikke utført noen ingeniørgeologiske vurderinger, og betraktninger som gjøres baserer seg på tidligere data.

Profilering for ny Lieråsen tunnel i denne oppgaven tar utgangspunkt i km 0 ved Asker portal. Dette for å lettere å holde oversikten i oppgaven da det er totallengden og interne lengder mellom tverrslag som er av interesse i oppgaven. I henhold til Bane NOR sin profilering av jernbanenettet, som tar utgangspunkt med Oslo i kilometer 0, ligger portal Asker på km 24 500 (Bane NOR I, 2018).

I henhold til Plan- og bygningsloven skal forhold knyttet til risiko, sårbarhet og samfunnssikkerhet vurderes ved bygging av en ny tunnel. Dette er ikke vurdert i oppgaven.

Bygging av en ny Lieråsen tunnel vil også skape et masseoverskudd. Håndtering og plassering av disse massene er ikke vurdert i oppgaven.

Det er i oppgavens teorigapittel 2.1.5 skrevet om miljøbudsjett. Dette er et veldig viktig punkt for vurderinger knyttet til valg av løsninger i fremtidens prosjekter. For metoden med konvensjonell sprengning er det lett tilgjengelige data, men for TBM skulle det vise seg å være vanskelig å oppdrive data. Dette arbeidet ble derfor for omfattende for denne oppgaven, men teorigapittelet er behold for å vise prinsippet for miljøbudsjett.

1.4 Rapportens oppbygning

I kapittel 2 presenteres teori om de to ulike metodene for driving og bygging av tunneler som er TBM og konvensjonell driving. Videre handler kapittelet om teori knyttet til kostnader, miljøbudsjett, ytre miljø og RAMS. I kapittel 3 blir metodene som er brukt i oppgaven kort forklart. Kapittel 4 beskriver krav og rammer for nye tunneler som er en del av InterCity. Det neste kapittelet, kapittel 5, beskriver erfaringer fra bygging av eksisterende Lieråsen tunnel. Dette omfatter geologiske beskrivelser og anleggstekniske utfordringer. Kapittel 6 drøfter de to ulike tunnelkonseptene grundig med fokus på konsept, byggetid, kostnader, miljø og RAMS før det i kapittel 7 og 8 gjøres en oppsummering, konklusjon og videre anbefaling.

2 Teoretisk rammeverk

2.1 Presentasjon av teori og bakgrunnsstoff

2.1.1 Geologisk grunnlag og ingeniørgeologiske vurderinger

Å bygge en tunnel er å betrakte som en negativ byggeprosess. I husbygging tilføres materialer og disse føyes sammen mens i tunnelbygging består arbeidet av å fjerne materiale. Utfordringen med ved driving av tunneler er at vi arbeider med et materiale der egenskapene varierer mye. Bergmassen varierer i egenskapen i ulike retninger (anisotropt), det består av ulike bergmaterialer (inhomogent) og består av flere elementer (diskontinuiteter) (Grøv, 2006).

Jordskorpen er bygd opp av bergarter. Bergartene består av krystalliserte mineraler (Fossen, 2018). Et mineral er enten et grunnstoff eller en kjemisk forbindelse i jordskorpa. Bergarter deles ofte inn i 3 hovedgrupper; størkningsbergarter, sedimentære bergarter og omdannede bergarter. Egenskapene til bergartene varierer fra å være så svake til at de kan brytes med hendene til å være så sterke at de vanskelig kan deles med slegge. Egenskapene til bergartene har innvirkning på hvordan berget kan benyttes som byggemateriale til tunnel (Nilsen, 2017)

Materiale vi skal bygge tunnel i er gitt når strekningen for jernbanen er bestemt. Det er da viktig å skaffe informasjon om kvaliteten på bergmassen som tunnelen skal bygges i. Det har blitt bygd mange tunnelanlegg i Norge med store kostnadsoverslag og forsinket åpning på grunn av for lite kunnskap om bergets kvalitet. Formålet med å kartlegge grunnen er å etablere overslag på forventet byggetid, forventet byggekostnad og minimalisering av miljømessige konsekvenser (Grøv, 2006).

Forundersøkelser er kostbart og tidskrevende samt at det er ulike utfordringer knyttet til metodene. Det er anbefalt å vurdere omfanget ut fra type anlegg og hvor vanskelig det er å få utført forundersøkelser (Palmstrøm, et al., 2003).

Det stilles spesielle krav til geologiske undersøkelser for samferdselstunneler. Bakgrunnen for dette er å avklare alternative løsninger og estimere total kostnader for prosjektet. Andre viktige faktorer er å vurdere sikkerhetsmessige, samfunnsmessige og miljømessige forhold knyttet til det planlagte prosjektet. Omfanget av forundersøkelser må tilpasses plannivået tunnelprosjektet og omfatter geologiske og ingeniørgeologiske kartlegginger som ofte suppleres med geotekniske, hydrogeologiske og geofysiske undersøkelser (Iversen, 2011).

Planfase	Forundersøkelser i tidlig planfase	Forundersøkelser i hovedplan	Detaljplan og byggeplan	Byggefasen
Formål	Lokalisering av egnede tunnelstrekninger Kartlegge områder som kan være kritiske for kostnader og sikkerhet. Gjennomførbarhet av alternative tunnelstrekninger	Forundersøkelsene skal danne det geologiske grunnlaget for valg av jernbanelinje. Forundersøkelsene skal basere seg på forundersøkelser fra tidligere planfase. Grunnundersøkelsene skal verifisere at de tekniske løsningene er gjennomførbare og danne grunnlag for mengdeanslag.	Hensikten på dette plannivået er først og fremst å vurdere tunnelens innvirkning på influens-området. Utarbeide geologisk rapport som skal inneholde en faktadel og en tolkningsdel. Geologisk rapport er en del av byggeplan	Dokumentasjon (geologisk sluttrapport) fra byggefasen er slik at Bane NOR har oversikt over geologien og bergsikringen i sine tunneler. Denne dokumentasjonen brukes under driftsfasen av tunnelen, ved akutte hendelser og ved rehabilitering og oppgradering av tunneler. Data fra byggefasen benyttes til forskning og utvikling (FoU).
Type undersøkelser	Innsamling og vurdering av eksisterende informasjon (kart, flyfoto o.l) Geologisk informasjon fra nærliggende anlegg Vurdering av kritiske faktorer som f.eks bergoverdekning, grunnvanns-senkning og utslipp til miljø.	Flyfotostudier Felt- og grunnundersøkelser som f. eks ingeniørgeologisk kartlegging, kjerneboring og seismiske undersøkelser Påhuggsmuligheter og forskjæringer Måleprogram for grunnvannsstand og poretrykk	Vurdere supplerende grunnundersøkelser	Kartlegging og beskrivelse av bergforholdene etter hver salve Utført sikring Inspeksjonsrutiner Eventuelle avvik i utførte sikringsmengder og sikringsmetoder i forhold til det som var forutsatt i konkurrasengrunnlaget Sonderboring MWD - measure while drilling

Figur 2-1: Geologiske forundersøkelser etter N500 Vegtunneler (2016)



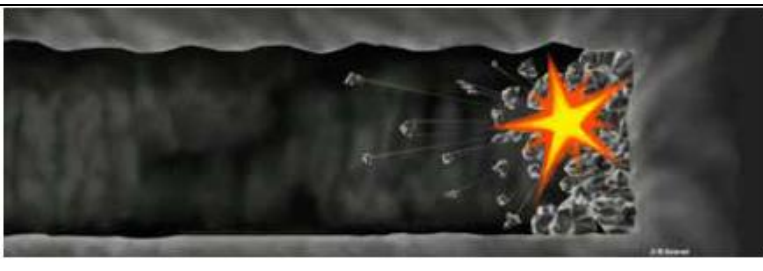

Det er i prinsippet to ulike metoder for driving av tunnel. Det er konvensjonell driving med boring og sprengning og mekanisk brytning av berg der bruk av tunnelboremaskin (TBM) er vanlig. De to metodene har ulike behov for ingeniørgeologisk grunnlag (Grøv, 2006). Det er normalt at det utføres et større omfang av grunnundersøkelser og kartlegging for TBM-tunneler enn for vanlig konvensjonell tunneldrift. Det er viktig å få mest mulig kunnskap om de geologiske forholdene og de geologiske risikoene som kan forventes langs tunnelstrekningen. Dårlige geologiske forhold har stor innvirkning på fremdriften til en TBM-maskin. Når en TBM maskin først har kjørt seg fast kan det være utfordrende å få maskinene i gang igjen (Ongstad, u.d.). For borede tunneler med TBM skal steinmaterialets brukbarhet vurderes ved hjelp av en abrasjonstest (Teknisk regelverk, 2019). En abrasjonstest er en standardisert undersøkelsesmetode for måling av steinmaterialers ripe- og slitestand (NAOB, 2019).

2.1.2 Konvensjonell driving

2.1.2.1 Overordnet

Konvensjonell driving med boring og sprengning har vært den mest brukte metoden for bygging av samferdeselstunneler i Norge. Lengden av hver salve er normalt 5 meter. For å hindre innlekkasje er det vanlig å benytte forinjeksjon for å tette berget. Deretter bores det konturhull for å markere ytterkanten av tunnelverrsnittet sammen med andre hull for ladning av sprengstoff. Det er vanlig at boltemønsteret i stoffen varierer grunnet ulike bergforhold. Så lades salven og en utløser selve sprengningen. Etter at salven er skutt foregår det rensking av tunnelheng for løse blokker før utlasting av stein kan begynne. Avslutningsvis sikres tunnelen med sprøytebetong og bergbolter. Forinjeksjonen utføres normalt for hver 3 til 5 salve (Grendal, et al., 2014)

Under følger en typisk drivesyklus:

<p>1. Forinjeksjon. Normalt bores ca 20 m lange hull rundt tunnelverrsnittet. I disse hullene pumpes så sementmasse inn under høyt trykk. Formålet med denne operasjonen er å tette sprekke i berget slik at grunnvannet ikke renner inn i tunnelen</p>	
<p>2. Boring og lading Det er vanlig å bore 5 meters lange hull. Disse hullene bores i et mønster som er gunstig for bergets beskaffenhet. Hullene lades med sprengstoff.</p>	
<p>3. Sprengning Hver salve deles opp i en serie av sprengninger som fyres av i rask rekkefølge. Dette for å redusere rystelsene på overflaten.</p>	
<p>4. Utlasting Bergmassene lastes på dumpere eller lastebiler. I noen prosjekter lagres massene på anleggsområdet utenfor tunnelen og andre ganger transporteres de til godkjente masselagre. I det siste tilfellet er det vanlig å laste bergmassene rett på lastebil.</p>	

5. Rensk og sikring

Etter at bergmassene er fjernet benyttes det en pigg for å fjerne løse steiner og blokker. Deretter sikres tunnelheng og vegger med bolter og sprøytebetong. Er det dårlig bergmasser kan det være aktuelt å benytte sprøytebetongbuer og utstøpning. Etter hver salve kontrolleres berget av en geolog som anbefaler omfanget av og type sikring.



(Bane NOR D, u.d.)

Metoden med boring og sprengning er en fleksibel tunnelbyggemetode som kan benyttes ved alle typer bergforhold. I områder med svakhetssoner og dårlig bergkvalitet finnes det flere metodikker som kan brukes til forsterkning. Dette kan for eksempel være tykkere sprøytebetong, tettere boltemønstre, spilingbolter i hengen og sprøytebetongbuer. Ved uforutsette hindringer som for eksempel tap av bergoverdekning eller lignende kan det drives en tunnel forbi hindringen slik at fremdriften hindres minimalt mens hindringen forseres med spesielle metoder og forsterkninger (Grendal, et al., 2014).

2.1.2.2 Injeksjon

Formålet med injeksjon er å tette berget slik at minst mulig vann renner inn i tunnelen. Det vanligste materiale å benytte som injeksjonsmasse er sement. Det er tre kriterier som styrer injeksjonen:

- grunnvannsstanden må opprettholdes slik at omgivelsene i dagen påvirkes minst mulig
- redusere innlekkasje av vann i tunnelen
- bergmassene er ustabile

Injeksjonshullene bores som en skjerm rundt tunnelen med en vinkel på tunnel på 5-15 grader på tunnelen. Avstand mellom hullene i tverrsnittet er fra 1 til 3 meter og lengden på hullene er fra 18 til 24 meter. Skjermene bores med en overlapp på 6 til 10 meter.

Injeksjonsprosedyrene tilpasses stedlige forhold og bør justeres og optimaliseres gjennom hele prosjektet. Parametre som inngår i en injeksjonsprosedyre:

- vann/sement forhold (v/c-tall)
- ulike typer av resepter som skal benyttes
- i hvilken rekkefølge reseptene skal benyttes
- ved hvilket trykk injeksjonen skal endres eller avsluttes.

Erfaring viser at det er gunstig å ha færrest mulig resepter å forholde seg til (Backer, et al., 2011).

Tunneler for vei og bane har innlekkasjekrav som ligger i størrelsesorden fra 5 til 20 liter/min/100 m. Det er viktig å sette riktige krav til innlekkasje med tanke på ytre miljø samt drift og vedlikehold. Kostnadene for injeksjon øker betraktelig når kravene er under 10 liter/min/100 (Backer, et al., 2011).

2.1.2.3 Stabilitetssikring

Den norske måten å bygge tunneler på baserer seg på at berget benyttes som et selvstendig byggemateriale. Forutsetningen for å få til dette er naturligvis at bergmassekvaliteten er tilstrekkelig god. Dette krever at berget stabilitetssikres med sikringsmidler av forskjellige typer basert på de ulike geologiske forholdene. Det er forskjellige måter å utføre stabilitetssikring av berget på:

- rensk
- bolter
- fiberarmert sprøytebetong

Hvis dette ikke er tilstrekkelig kan det være aktuelt å benytte armerte sprøytebetongbuer eller betongutstøping.

Det er viktig at arbeidet med geologisk kartlegging av tunnelen i byggefasen prioriteres ved å sette av tilstrekkelig tid. Bergart, strukturer, sprekkegeometri, bruddsoners orientering og bredde og eventuell leire skal registreres og dokumenteres sammen med vannlekkasjer og injeksjon (Bane NOR N, 2019)

For å kunne bestemme omfang og type av stabilitetssikring er det utviklet en metode som heter Q-systemet. Dette er en type bergmasseklassifisering som angir bergmasseklasser og tilhørende stabilitetssikring for de ulike bergmasseklassene (Borge, et al., 2010)

2.1.2.4 Vann- og frostsikring

For en jernbanetunnel er tilstedeværelse av vann den faktoren som reduserer levetiden for sikringsmidler, konstruksjoner og installasjoner mest. Vannlekkasjer inn i tunnelen kan føre til korrosjon og brudd på skinner, problemer med elektriske anlegg, dannelse av vaskesviller, isdannelse i profilet og frostsprengning av steiner og blokker. En vann- og frostsikringskonstruksjon for en jernbanetunnel må blant annet dimensjoneres for trykk- og suglaster, nedfall av bergblokk, frostmengde, ulykkeslaster og brannmostand. Funksjonen til en vann- og frostsikringskonstruksjon skal primært ivareta to forhold:

- hindre at vann og is kommer i berøring med tekniske installasjoner og banelegeme
- hindre isskjøving

(Bane NOR E, u.d.)

I dagens gjeldende tekniske regelverk er det 3 godkjente vann- og frostsikringsløsninger for bygging av nye tunneler og 1 godkjent løsning for vedlikehold av eksisterende tunneler. De 4 løsningene er:

- kontaktstøpt betonghvelv med membran
- sprøytebetongkledning vanntettet med sprøytbar membran (kun vannsikring)
- betongsegmenter for TBM
- PE-skum brannsikret med sprøytebetong (kun vedlikehold av eksisterende tunneler)

(Teknisk regelverk, 2019)

For TBM drevne tunneler kan alle 4 metodene benyttes mens for konvensjonelt drevet tunneler er det ikke aktuelt med betongsegmenter (Bane NOR G, u.d.).

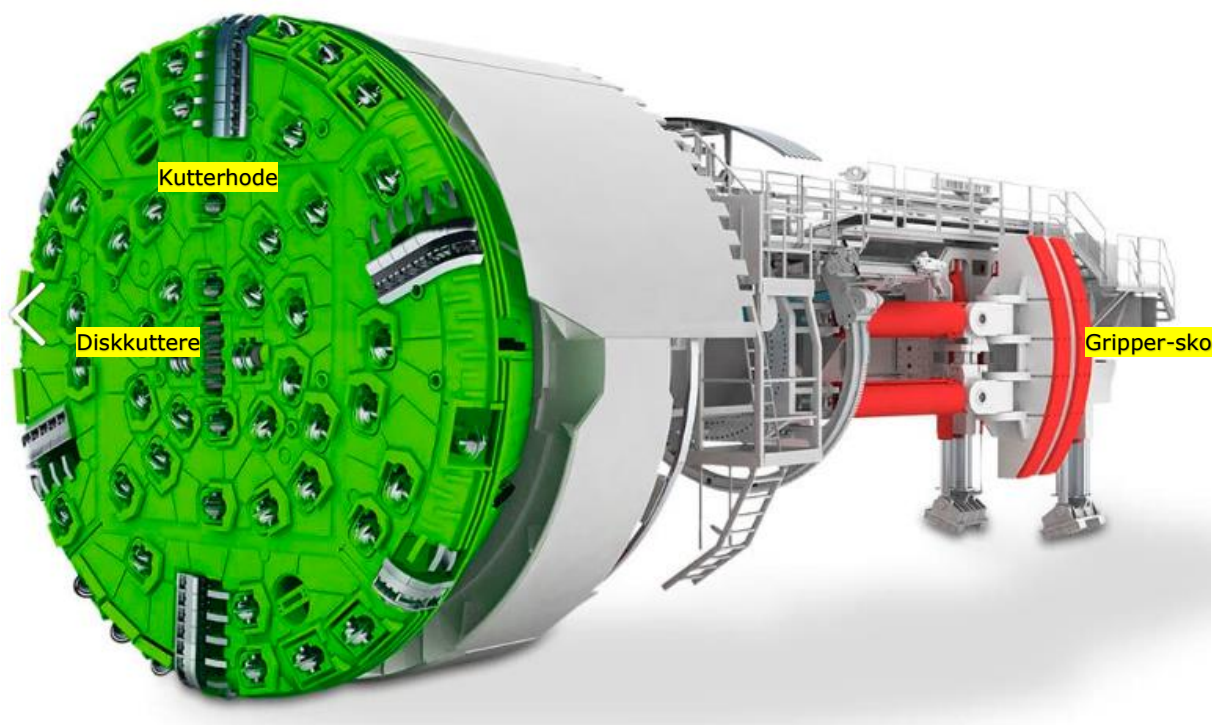
2.1.3 TBM

2.1.3.1 Overordnet

Tidlig på 1800-tallet startet utviklingen av TBM-teknologi (Jakobsen, et al., 2015). Det er i Norge drevet cirka 250 kilometer med TBM. De fleste av disse tunnelene er vannkraftstunneler som ble drevet på 80-tallet (Bane NOR E, u.d.). Det har vært 2 tiår uten TBM prosjekter i Norge, men nå er TBM en aktuell metode igjen. Flere store prosjekter har de siste årene vært drevet med TBM. Dette er Røssåga vannkraftprosjekt, ny Ulriken jernbanetunnel og Follobanen (Brekkehus, 2019).

2.1.3.2 TBM-teknologi

Gripper-TBM: I Norge frem til i dag har alle tunneler vært drevet med gripper TBM, også kjent som åpen TBM. Prinsippet er at TBMen ligger åpen i bergmassen uten skjold. Denne typen TBM krevet relativt gode bergforhold. Åpne TBM har ingen kontinuerlig stabilisering av stoff og berget kan kun stabilitetssikres på samme måte som ved konvensjonell driving. Forinjeksjon av berget er mulig med denne typen TBM.

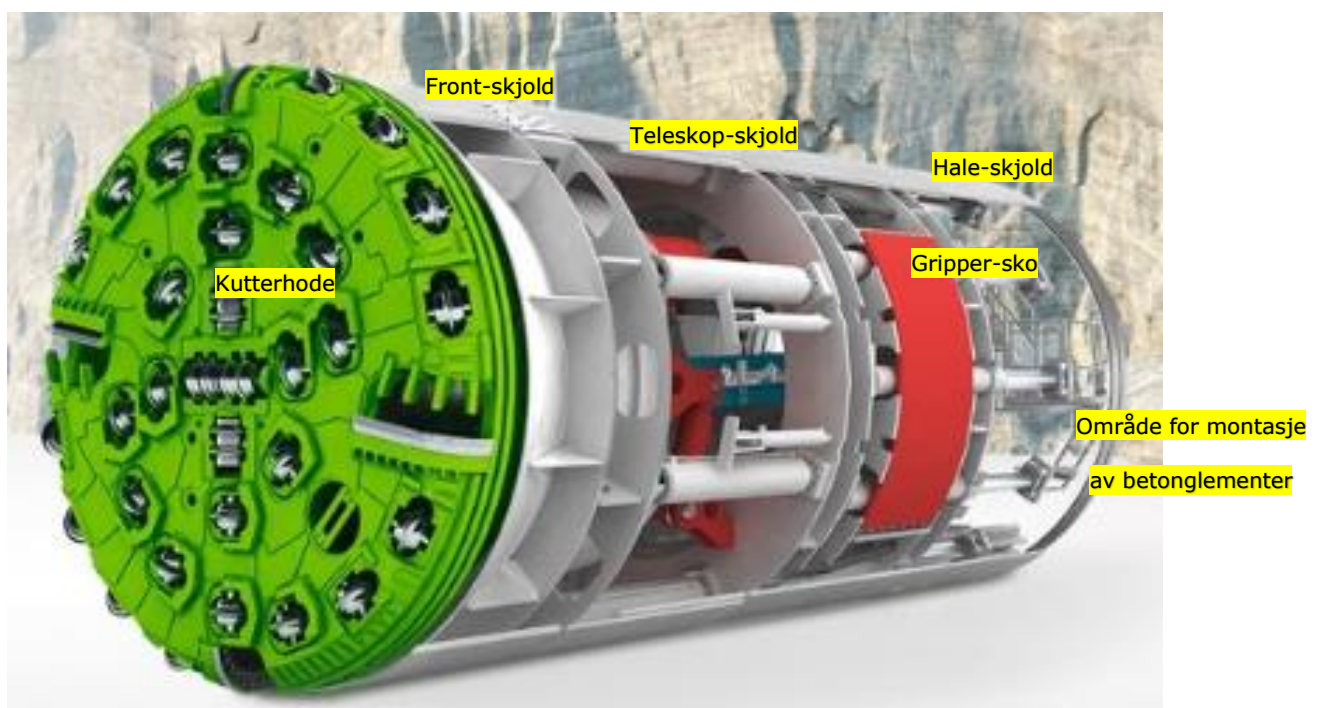


Figur 2-2: Åpen TBM (gripper TBM) (Herrenknecht, 2019)

Enkelt- og dobbeltskjold TBM: I motsetning til en åpen TBM har enkelt- og dobbeltskjold TBMer et forlenget skjold over frontpartiet på maskinen. Skjoldets funksjon er å sørge for at bergmassene ikke kollapser, beskytte personellet som arbeider og dermed sørge for sikker oppføring av tunnelelementene. Det er to typer av skjold TBMer for hardt berg; enkelt skjold og dobbeltskjold TBMer (Chapman, et al., 2010).

Enkeltskjold TBM for hardt berg brukes hovedsakelig når det er ustabile masser og det er risiko for at tunnelen kan kollapse. En av fordelene med en enkeltskjolds TBM er at den kan gå på en lukket modus gjennom områder med grunnvann (Chapman, et al., 2010). Enkeltskjolds TBM har en redusert fremdriftspotensiale i forhold til en dobbelskjoldet TBM siden maskinen er avhengig av at full betongelementring er ferdig montert. (Jakobsen, et al., 2015).

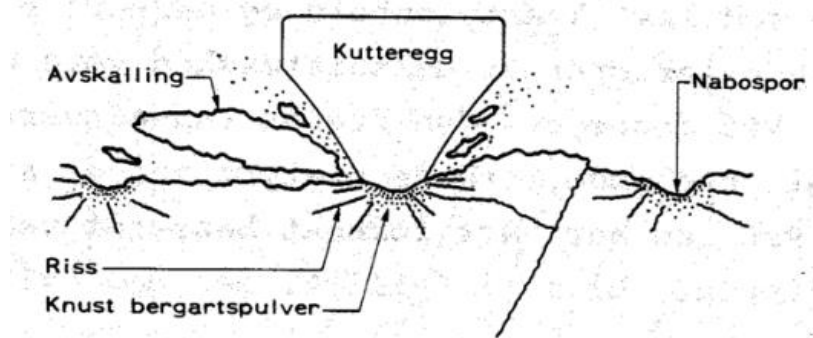
Dobbelskjold TBMer, også kalt teleskop skjold, kombinerer egenskaper fra åpen og enkeltskjolds TBM, noe som gjør at maskinen kan gå igjennom varierende grunnforhold. Maskinen har et skjold i fronten, en seksjon med gripper-sko, et hale-skjold og en ekstra skyver. Den vanlige arbeidsprosedyren er at gripper-skoene presser mot tunnelveggen under drivingen mens betongelementene monteres lenger bak på maskinen. Maskinen har mulighet til å fungere som en enkeltskjolds-TBM ved at den kan skape reaksjonskraft for fremmating ved å trykke på betongelementene (Chapman, et al., 2010).



Figur 2-3: Dobbelskjold TBM (Herrenknecht, 2019)

Andre typer TBMer: Det finnes andre typer TBM som benyttes ved svakt berg og ved løsmasser. For svakere berg benyttes enkelt- og dobbelt skjold TBM og for løsmasser benyttes EPB TBM, Slurry shield TBM og Multi-mode TBM (Chapman, et al., 2010).

Generelle observasjoner for TBMer for hardt berg: TBMen bryter seg gjennom berget ved hjelp av diskcuttere som er montert på kutterhode til maskinen. Diskcuttere presses mot stoffen slik at det oppstår en knusningsone. Bergmassen som er knust blir samlet opp i borhodet og transporteres videre på et transportbelte gjennom maskinen (Bane NOR E, u.d.). Det er en kombinasjon av strekk – og trykkrefter som føre til svikt i bergmassen. Denne måten å bryte berget på er mer skånsom måte å drive på sammenliknet med konvensjonell driving. (Chapman, et al., 2010).



Figur 2-4: Bergbrytningsprinsipp (Bane NOR E, u.d.)

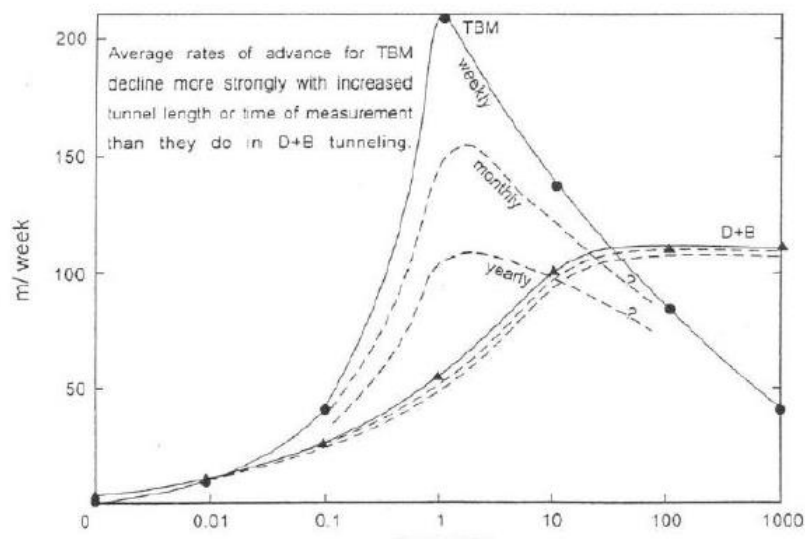
2.1.3.3 Injeksjon

Formålet med injeksjon er det samme her som for konvensjonell driving av tunnel, å sikre at minst mulig vann renner inn i tunnelen. En åpen TBM kan ha borhammere montert nær borhodet slik at forinjeksjon av berget er mulig. På en dobbelskjolds TBM er borhammerne montert lenger bak på maskinen noe som fører til at borhullene blir 6-8 meter lenger. Det vil være behov for lengre pakkerstenger i forbindelse med forinjeksjon fra en TBM enn hva som er behovet ved konvensjonell driving. Borhullene for forinjeksjon vil komme noe bak stuff og for å hindre at injeksjonsmasse skal trenge inn i tunnelen er det viktig at pakkeren er installert 1 til 2 meter foran stuff (Jakobsen, et al., 2015).

2.1.3.4 Stabilitetssikring

Q-verdi modellen ivaretar ikke geologiske parametere som har betydning for inndriften til TBM slik som bergets borbarhet (penetrasjonshastighet) og sliteevne (kutterlevetid). Barton(1999) har utviklet en metode Q(TBM) som ivaretar disse parameterne samt hensyntar sprekke sine orientering. Dette er faktorer som påvirker fremdriften til TBM mens for konvensjonell driving er ikke like avgjørende.

Det viser seg at TBM-er har best fremdrift, og har minst slitasje, når Q-verdien er middels. I ustabile bergmasser (lav Q-verdi) vil TBM få utfordringer med vanskelig bergsikring og vann, noe som kan påvirke fremdrift og økonomi negativt. Det vil for harde bergmasser (høy Q-verdi) være dårligere brytningsforhold og høy materialslitasje på kutterhode noe som også kan påvirke fremdrift og økonomi negativt (Jakobsen & Arntsen, 2014).



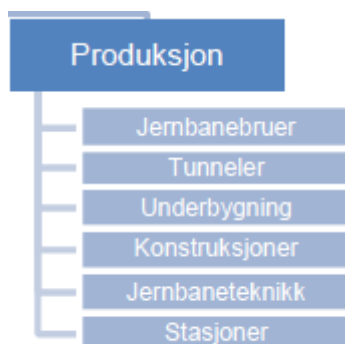
Figur 2-5: Gjennomsnittlig ukesproduksjon for TBM og boring og sprengning (D&B) ved ulike Q-verdier. (Barton, 2000) som vist i (Jakobsen & Arntsen, 2014)

2.1.3.5 Vann- og frostsikring

For TBM drevne tunneler kan alle 4 metodene benyttes mens for konvensjonelt drevet tunneler er det ikke aktuelt med betongsegmenter. (Bane NOR G, u.d.)

2.1.4 Kostnader

I en utredningsfase er hensikten med estimatet å angi kostnadene for de ulike alternativene på et overordnet nivå. Bane NOR har delt inn estimeringsmetodikk i klasser fra 0 til 2. For utredninger er det klasse 0 der nøkkeltall og mengder på er på et overordnet nivå. Typisk vil et slikt estimat ligge på +/- 40 % nøyaktighet. For klasse 0 estimerer kan det velges å gjøre en snittbetraktning for alle typer objekter eller om hvert objekt klassifiseres for seg selv. Et objekt vil typisk være en tunnel eller en bru (Bane NOR F, 2017).



Figur 2-6: Nøkkeltallstruktur på overordnet nivå (Bane NOR F, 2017)

For klasse 0 estimerer kan det benyttes både analog og parametrisk estimering. En analog estimering gjøres ved å benytte de virkelige kostnadene fra et tidligere prosjekt

for å estimere kostnaden for det aktuelle prosjektet. For eksempel kan dette gjøres ut fra størrelsen på objektet (nytt objekt/erfart objekt * kostnaden for erfart objekt).

En parameterestimering benytter relasjonen mellom historiske data og andre variable. Dette vil typisk kunne være kostnader pr løpemeter tunnel eller jernbane (Bane NOR F, 2017).

Et kostnadsestimat skal bygges opp etter følgende struktur. Følgende beregnes:

Produksjonskostnader (entreprisekostnad)

+ Prosjektering

+ Byggherrekostnader

= Basiskalkyle (grunnkalkyle inkl. uspesifisert)

+/- Forventet tillegg

= Styringsramme (forventet kostnad)

+/- Usikkerhetsavsetning

= Kostnadsramme (P85)

Produksjonskostnader er den sannsynlige summen for alle elementene som kalkuleres. På denne prisen er det vanlig med prosentvise påslag for entreprenørens rigg og drift (25%) og byggherrekostnad inklusive prosjektering (27%). På denne prisen legges 10 % uspesifiserte kostnader. Dette er kostnader som erfaringsmessig dukker opp. Påslagene må vurderes av hvert enkelt prosjekt. Videre følger usikkerhetsanalyser for å komme frem til en kostnadsramme. En vurdering knyttet til usikkerhetsanalyse vurderes ikke i denne oppgaven.

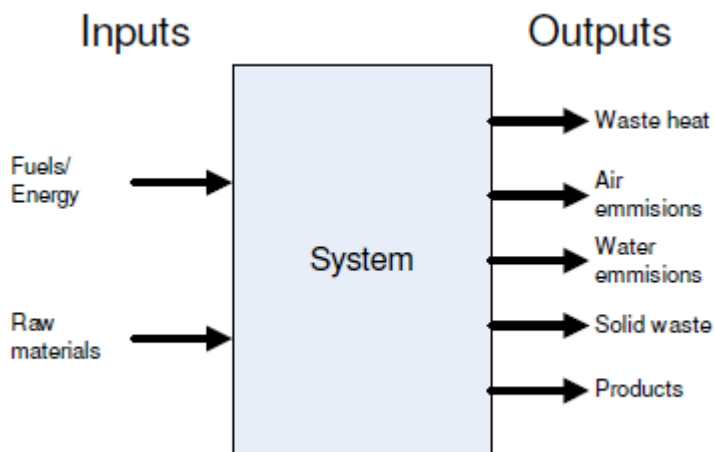
2.1.5 Miljøbudsjett

Samferdselssektoren er en stor bidragsyter til utslipp av klimagasser i Norge (Søyland, et al., 2017). Norge har forpliktet seg til å redusere klimagassutslippene med 40 prosent innen 2030. I denne forbindelse har Statens vegvesen, Bane NOR, Kystverket og Avinor foreslått at de skal redusere utslippene i forbindelse med bygging av ny infrastruktur

med 40 prosent. Utslippene i forbindelse med drift og vedlikehold skal ned 50 prosent. Tiltakene for å oppnå målsetningene er å ta i bruk nullutslippsteknologi, alternative drivstoff og utnytte materialene på en mer gunstig måte (NTP, 2017).

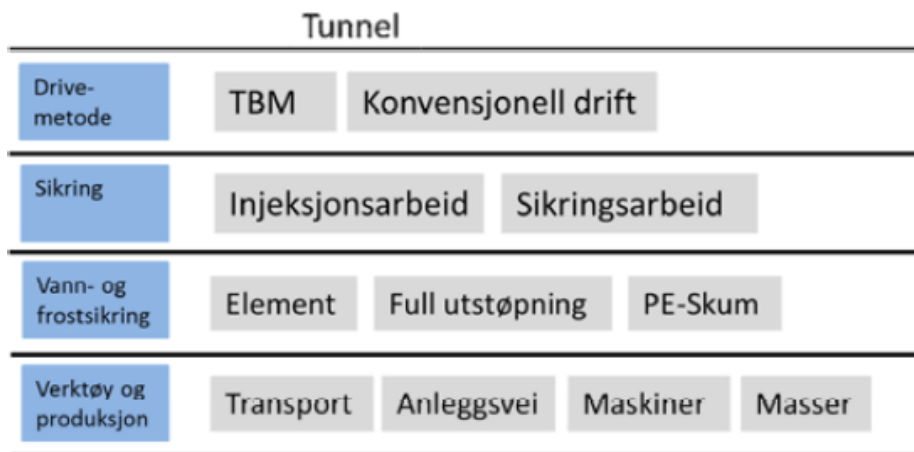
I nye infrastrukturprosjekter skal det beregnes klimagassutslipp. Dette skal omfatte globale og lokale utslipp knyttet til selve investeringen og drift/vedlikehold. En slik beregning vil gi et grunnlag for å kunne prioritere mellom ulike tiltak i nye prosjekter og kan benyttes i alle planfaser (Dahlstrøm, et al., 2012).

Et miljøbudsjett er en sammenstilling av alle medgåtte mengder multiplisert med en faktor slik at en kan regne ut et utslipp av klimagasser. Miljøbudsjett utarbeides i tidligfase med en vurdering av mengder og generiske faktorer. I senere planfaser når mengdeestimatene blir mer nøyaktige kan det utarbeides et miljøregnskap basert på miljødeklarasjon (EPD) for de aktuelle produktene. For å kunne tallfeste klimapåvirkningen er det valgt CO₂-ekvivalenter. Figur 2-7: Inputs og Outputs for hver delprosess viser hvordan de estimerte mengdene multipliseres med utslippsfaktorer og samles i effektkategorier. Det er i denne sammenheng viktig å sette en systemgrense. Det er et sett av kriterier som angir hvilke hva som omfattes og hva som ikke omfattes av beregningen (Dahlstrøm, et al., 2014).



Figur 2-7: Inputs og Outputs for hver delprosess (Dahlstrøm, et al., 2014)

Figur 2-8: Miljøpåvirkninger for tunnel viser de største miljøpåvirkningene for tunnel. Det er delt inn etter oppbygging om metode for tunneldriving. Det er i tillegg vurdert fire ulike metoder for verktøy og produksjon som ha stor påvirkning på utslippet.



Figur 2-8: Miljøpåvirkninger for tunnel (Dahlstrøm, et al., 2014)

Det finnes i dag flere verktøy for å beregne miljøbudsjett og miljøregnskap for samferdselsprosjekter. Bane NOR har utviklet en tidligfasekalkulator for et miljøbudsjett for planlagte tiltak på utredningsnivå og dette verktøyet viser også miljøpåvirkning fra drift/vedlikeholdsfasen. Statens vegvesen har utviklet et verktøy basert på prosesskoden noe som gir en mer nøyaktig beregning (klimaregnskap). Dette verktøyet egner seg derfor best når prosjektet er i fasen fra detaljplan til byggeplan (Søyland, et al., 2017).

2.1.6 Ytre miljø

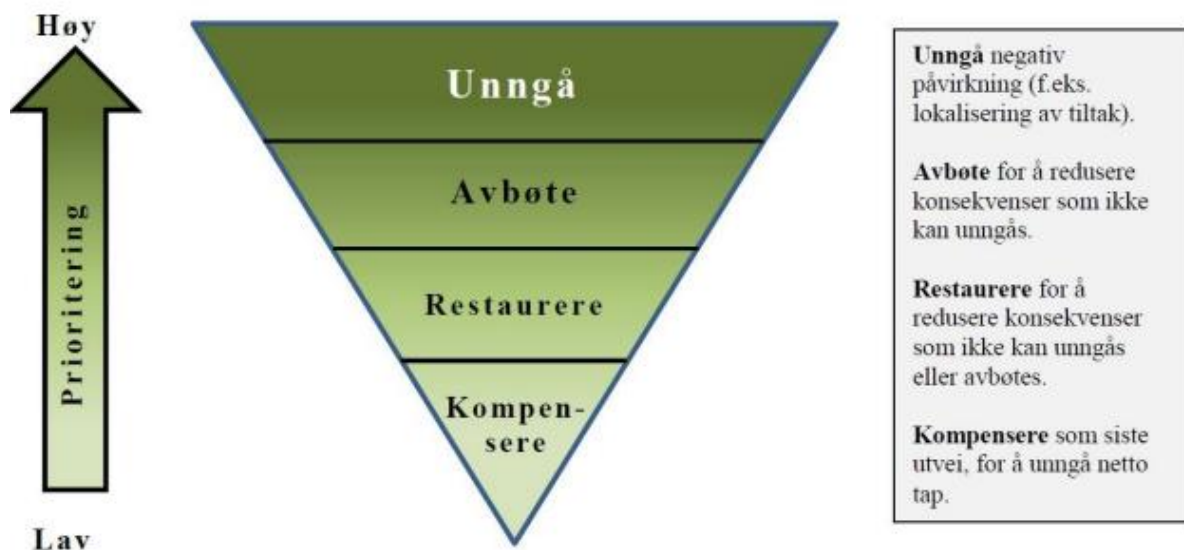
Forskrift om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeider i virksomheter (internkontrollforskriften) setter krav til vern av ytre miljø mot forurensning og for behandling av avfall. Forskriften gjelder for flere virksomheter deriblant bygge- og anleggsarbeider (Arbeidstilsynet, 2014).

Det settes krav til anleggsarbeider for å redusere ulempene inngripen har på omgivelsene. Myndighetene ved kommune, fylkesmann og Norges vassdrags- og energiverk (NVE) setter krav gjennom reguleringsbestemmelser, utslippstillatelser og innlekkasjekrav. Ofte samles slike krav i en miljøoppfølgingsplan (MOP) for prosjektet slik at planlegging og prosjektering ivaretar miljøet i henhold til kravene som er satt (Backer, et al., 2011)

Bane NOR beskriver gjennom 'Håndbok i miljøstyring' hvordan de svarer ut interne og eksterne krav vedrørende ytre miljø. Denne håndboken gir ikke konkrete og operative miljøkrav, men sier at kravene skal stilles som instruksjoner og veiledninger (Bane NOR O, 2013). Videre har Bane NOR en prosjekteringsveileder for 'Ytre miljø' der det er anbefalinger for krav og leveranser på de ulike planfasene (Bane NOR G, u.d.).

For å unngå negativ påvirkning på naturmiljø, landskap, kulturminner, nærmiljø, friluftsliv og landbruksjord ved utbyggingsprosjekter har Bane NOR valgt å følge tiltakshierarkiet som vist i Figur 2-9: Tiltakshierarkiet. Med tiltakshierarkiet menes det at negativ påvirkning ideelt sett skal unngås. Hvis dette ikke er mulig skal det foretas avbøtende og restaurerende tiltak. For å unngå et inngrep i et område som vurderes som verdifullt vil det i de fleste tilfellene bety å flytte traseen. Et eksempel på avbøtende tiltak kan være gjøre sideskråningene brattere for unngå tap av areal. Ved å legge på matjord i sideterrenget det kunne betegnes som et restaurerende tiltak.

Et kompensierende tiltak vil kunne være å gjøre jordforbedrende tiltak som bidrar til å øke arealet produktivitet.



Figur 2-9: Tiltakshierarkiet (SVV, 2017)

Videre i dette kapitlet følger miljøtema beskrevet i korte trekk som angitt i Bane NOR sin prosjekteringsveileder for 'Ytre miljø':

Landskapsbilde: Et landskapsbilde brukes om helhetsinntrykk av et landskap basert på opplevelsen av kvalitetene landskapet gir. Langsiktige konsekvenser for landskapsbilde skal analyseres. For et tunnelprosjekt vil dette hovedsakelig omfatte utforming og lokalisering av forskjæringer og portaler slik at disse elementene bidrar til å bevare det opprinnelige inntrykket så mye som mulig (Bane NOR G, u.d.).

Friluftsliv/by- og bygdeliv: I prosjektet skal det kartlegges potensielle konflikter mellom tiltaket som skal utføres og områder som brukes til friluftsliv, by- og bygdeliv (Bane NOR G, u.d.).

Naturmangfold: Det skal her gjøres beregninger for tap av naturmangfold knyttet til direkte inngrep i naturreservat, landskapsvernområde, nasjonalpark og biotopvernområde (Bane NOR G, u.d.).

Kulturarv: Direkte påvirkning på kulturminner, kulturmiljø og kulturhistorisk landskap skal analyseres og vurderes (Bane NOR G, u.d.).

Naturressurser: Direkte påvirkning på naturressurser herunder inngrep i dyrket jord (Bane NOR G, u.d.).

Støy og vibrasjoner: Støy er et miljøproblem og bidrar til en forverring av folks helsetilstand (Regjeringen A, 2016). Det er mange kilder til støy i området i og rundt et tunnelanlegg. Ofte der det store dagsnearbeider i forbindelse med en tunnel. For moderne tunneldrift benyttes det store ventilasjonsanlegg for å ventilere ut avgasser fra dieselmaskiner, støv og sprenggasser. For å kunne trekke inn frisk luft inn til stoff i tunnelen er viftene plassert i tunnelåpningen noe som skaper støy i påhuggsområdet.

Dersom påhugget er plassert nær bebyggelse vil dette kunne være en av de store støykildene til tunneldriften (Grendal, et al., 2014).

Andre støykilder fra tunnelarbeider kan være boring, sprengning og massehåndtering. Disse arbeidsoperasjonene kan føre til strukturoverført støy. Strukturoverført støy skyldes vibrasjoner som forplanter seg i berg og kommer inn i bygninger via fundamenter og avstråles inne bygget (Engen, et al., 2014).

Ved sprenging av en tunnel oppstår rystelser. For å redusere rystelser på overflaten deles en sprengning opp i flere små salver. Det stilles krav til rystelser, og salvene blir tilpasset til omgivelsene og kvaliteten på fjellet (Grendal, et al., 2014).

Forurensning (luft/vann/jord): Norske tunneler bygges hovedsakelig som drenerte tunneler. Det vil føre til at vannfylte sprekker i berget avskjæres og poretrykket vil reduseres lokalt. Reduksjon i poretrykket vil via kryssende sprekkesystem kunne føre til et redusert poretrykk i overliggende løsmasser og dermed setninger. For å motvirke dette er det vanlig å utføre tetting av berget i forkant av tunneldrivningen. Dette foregår ved injeksjon av mikrosementbasert masse i sprekkesystemet. Injeksjonsmassen trenger inn og tetter de små sprekkeene slik at grunnvannsstrømmen til tunnelen stoppes eller begrenses kraftig (Grendal, et al., 2014).

Tunneldrift krevet tilførsel av store vannmengder. Sammen med innlekkasjevannet fra omliggende berg må dette vannet føres ut av tunnelen i anleggsperioden. Dette vannet inneholder mye finstoff og kan være forurenset med olje fra anleggsmaskiner. Det er derfor viktig at det blir etablert et vannrenseanlegg hvor vannet føres igjennom ulike prosesser før det slippes ut i naturen. På denne måten skilles olje, finstoff, justering av pH, eventuelle tungmetaller ut før vannet føres tilbake til naturen (Backer, et al., 2011).

Avfallshåndtering: For øvrig er det viktig med informasjon til omgivelsene rundt anlegget. Omgivelsene må forstå hvorfor anlegget skal bygges og hvilke tiltak som er planlagt utført for at ulempene skal bli minst mulig for de berørte (Backer, et al., 2011).

2.1.7 RAMS

RAMS er en forkortelse og står for reliability (pålitelighet), availability (tilgjengelighet), maintainability (vedlikeholdbarhet) og safety (sikkerhet). Statens jernbanetilsyn stiller krav til at RAMS prosesser skal følges ved prosjektering og bygging av ny jernbaneinfrastruktur. Bane NOR har sin egen RAMS-håndbok for å ivareta RAMS i planlegging, prosjektering og bygging. Prosessen med RAMS skal være en integrert del av prosjektgjennomføringen og skal tilpasses det enkelte prosjekt (Bane NOR B, 2017).

3 Metode og kilder

3.1 Litteraturstudium og grunnlagsdata

Oppgaven er basert på litteraturstudie og innhenting av upublisert informasjon.

Det er innhentet informasjon fra vitenskapelige artikler, tekniske rapporter, masteravhandlinger, ulike håndbøker fra blant annet Statens vegvesen og nettsider. Mye av informasjonen er funnet ved litteratursøk ved NTNU sin søkemotor ORIA, Google scholar og Google. Det er også benyttet kompendium fra ulike fag fra NTNU. Kartdata er hentet fra Norgeskart og kartdatabasen til NGU.

Det er også benyttet noe data fra arbeidet med Detaljplan for rehabilitering Lieråsen tunnel.

Mye av det teoretiske grunnlaget for oppgaven er hentet fra kompendium på NTNU, kilder fra anerkjente foreninger i Norge og dokumenter utarbeidet av statlige byggherrer. Dette har jeg vurdert til å være gode og sikre kilder.

3.2 Verktøy og dataprogram

Det er benyttet Autodesk sitt program AutoCAD til å lage tegninger og figurer i oppgaven. For å vurdere kostnader er Bane NOR sin kostnadsmodell for InterCity strekningene lagt til grunn.

3.3 Befaringer

Det er gjennomført et feltstudie langs tunneltraseen i dagsonen for å lokalisere aktuelle tverrslagsområder og riggområder den 3. november 2019. Områdene som ble befart var ved Haugergårdene på Solberg, ved Dikemark/Eriksrud og ved Kjosmyra i Spikkestad. Formålet med befaringen var å verifisere at lokasjonene, som ut fra kartdata ble vurdert som aktuelle, også var det i virkeligheten. Resultater og bilder fra befaring er omtalt i kapittel 6.3.1.

4 Krav til løsning

4.1 Generell krav og forventninger fra samfunnet

I Vedtekter for Bane NOR SF står det i § 2 at foretakets mål er å gjøre tilgjengelig jernbaneinfrastruktur både effektiv og tilgjengelig for både persontransport og godstrafikk. Dette skal gjøres på en sikker, effektiv og miljøvennlig måte og sikre at tilgjengeligheten er god for alle som benytter tilbudet (Bane NOR A, 2017)

Bane NOR setter i sin Håndbok for RAMS krav til punktlighet, regularitet og oppetid. Punktlighet er i Bane NOR sitt system definert som antall tog i rute til endestasjon innen 3 minutter og 59 sekunder. Regularitet er den delen av togsettene som ikke blir innstilt i henhold til ruteplanen. Oppetid defineres ut fra forsinkelsestimer i forhold til planlagte togtimer (Bane NOR B, 2017).

Samfunnet har store krav til at toget går som planlagt. Det har den siste tiden vært mange medieoppslag om tog avviklingen på Østlandet. Senest sommeren 2019 hadde Aftenposten fulgt arbeidene på toglinjen i forbindelse med "buss-for-tog" og konkludert med at for lite arbeid ble utført. Det er en stor belastning for pendlere og en stor kostnad for samfunnet at toget ikke går som planlagt (Bentzrød, 2019).

Regjeringen ønsker og vil legge til rette for at mer godstrafikk skal føres over til jernbane der det er hensiktsmessig. Dette vil blant annet være strekningene fra Oslo til Bergen og Oslo til Stavanger (Regjeringen B, 2019). Begge disse toglinjene benytter Lieråsen tunnel.

Finansdepartementet setter krav gjennom KS-ordningen krav til at store offentlige prosjekter skal ha etablerte mål. De skal defineres i tidligfasen og skal være et verktøy for planlegging og styring av prosjektet. Det felles begrepsapparat er samfunns mål, effektmål og resultatmål. Samfunns mål uttrykker verdiskapningen prosjektet tilfører samfunnet, effektmålet sier noe om virkningen av tiltaket mens resultatmålet er konkrete måltall som skal være oppnådd ved prosjektets ferdigstilling (Finansdepartementet, 2010).

Her følger noen av målene som ble satt for prosjektet Rehabilitering av Lieråsen tunnel. Jeg har tatt ut målene som er direkte knyttet til rehabiliteringsprosjektet men beholdt de målene som kan være aktuelle for en ny tunnel:

- Samfunns målet er å bidra til at passasjerer og tog sikres punktlighet og regularitet i henhold til Bane NOR sine målsetninger.
- Effektmålet er å bidra til færre forsinkelsestimer og økt oppetid.
- Resultatmålene knyttes til sikkerhet i anleggsfasen (det vil si ingen skader med fravær av personell), sikre at prosjektet leverer et produkt med riktig kvalitet, ingen utslipp av miljøskadelige stoffer og sikre et effektivt drifts- og vedlikeholdssopplegg for tunnelen (Bane NOR I, 2018).

4.2 Tekniske krav




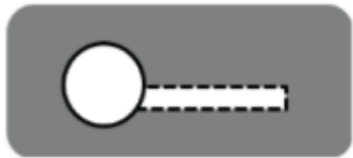
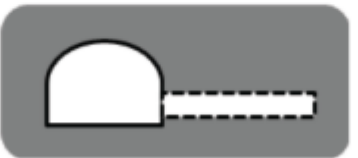
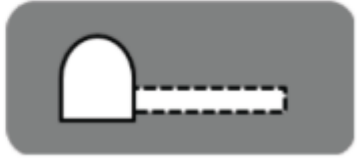
De tekniske rammene for de alternative løsningene i denne oppgaven baserer seg på Bane NOR sitt Tekniske regelverk (TRV) og Teknisk designbasis for InterCity (IC-designbasis). Strekningen Lieråsen tunnel ligger på er en del av InterCity nettverket på Østlandet. For utbygging av InterCity prosjekter stilles det krav til at hver tunnel skal prosjekteres i henhold til Technical specification for interoperability relating to safety in railway tunnels (TSI). TRV er harmonisert med TSI og ved å følge TRV vil krav fra TSI ivaretas (Bane NOR N, 2019)

En tunnel er et omfattende prosjekt og skal bygges for en levetid på mer enn 100 år. Det stilles derfor strenge krav til materialer og tekniske løsninger. De tekniske løsningene skal utformes slik at vedlikehold og fornyelse kan utføres enkelt og innvirke minimalt på trafikken noe som gjenspeiler seg i at oppetidskravet på 99,6% (Bane NOR N, 2019).

I følge IC-designbasis viser erfaringer fra andre land at det er en generell trend at jernbanetunneler med lengde mindre enn 8 kilometer bygges som ettløpstunneler og at lange tunneler over 15 kilometer bygges som toløpstunneler.

IC-designbasis og prosjekteringsveilederen til Bane NOR anbefaler følgende tunnelprinsipp for dobbeltsporet jernbane (Bane NOR N, 2019):

- Et stort dobbeltsporet løp med rømningsvei til det fri eller annet sikkert sted for minimum hver 1000 meter.
- Ett stort dobbeltsporet løp med parallell service-/rømningstunnel med tverrforbindelse for rømning for hver 1000 meter.
- To separate enkeltsporede løp med tverrforbindelse mellom disse for hver 500 meter.
- To separate enkeltsporede løp med servicetunnel forbundet med rømningsveier mellom tunnelene.

TBM	Konvensjonell driving	Konvensjonell driving
		
To løp – enkeltsporet	Ett løp – dobbeltsporet tunnel m/service-/rømningstunnel	To løp – enkeltsporet tunneler
		
Ett løp – enkeltsporet m/rømning til det fri	Ett løp – dobbeltsporet tunnel m/rømning til det fri	Ett løp – enkeltsporet tunnel m/rømning til det fri

Figur 4-1: Prinsipielle løsninger for tunnelkonsepter (Bane NOR N, 2019)

For valg av tunnelkonsept anbefaler IC-designbasis og prosjekteringsveilederen til Bane NOR at det gjøres en RAM vurdering slik at konseptet som velges er mest mulig optimalt med tanke på tekniske løsninger som er vedlikeholdbare og lette å drifte. Valget av løsninger gjøres basert på følgende kriterier:

Sikkerhet: I Norge gjelder selvredningsprinsippet og det skal i den forbindelse legges til rette for rømningsveier. For dobbeltsporstunneler kreves det en utgang til sikkert sted for hver 1000 meter, mens for parallelle enkeltsporstunneler hvor det rømmes over i det andre løpet er kravet 500 meter.

Geologiske forhold: For valg av tunnelkonsept vil vanligvis ikke geologiske forhold være av betydning. Det er ofte godt berg og så lenge det er tilstrekkelig overdekning vil de geologiske forholdene normal ikke være avgjørende. I noen tilfeller kan geologiske forhold være med på å bestemme drivemetode som igjen kan påvirke tunnelkonseptet.

Anleggsteknikk: Det er flere faktorer som spiller inn for valg av tunnelkonsept når det kommer til anleggsteknikk:

- topografiske forhold
- mulige angrepspunkter
- hardhet på berget
- behov for overkjøringsspor
- tilgjengelig plass ved portalområdene
- hensyn til 3.part slik som naboer og bedrifter

Drift og vedlikehold: Det er dimensjonerende trafikkmengde som angir tilgjengelighetskravet i tunnelen. Kapasiteten må opprettholdes slik at vedlikehold må utføres i hvite tider på natten. Konseptet med to løp åpner for muligheten til å stenge det ene løpet for vedlikehold mens trafikken får i det andre løpet. Det er mulig å benytte et vedlikeholdstog for en dobbeltsporstunnel slik at arbeid kan utføres i det ene sporet mens trafikken går i det andre. En løsning med to løp medfører høyere kostnader for vedlikehold da det er mer utstyr i to løp enn i et løp. I tillegg er det større belastning på de installerte objektene i en et løps tunnel på grunn av mindre tverrsnitt og dermed større trykk- og sugkrefter.

Kostnader: På generelt grunnlag er en dobbeltsporet tunnel billigere enn to enkeltsporstunneler. En annen faktor knyttet til kostnader er lengden på rømningstunneler som påløper ved en dobbeltsporstunnel siden det ikke er mulig å rømme mellom løp.

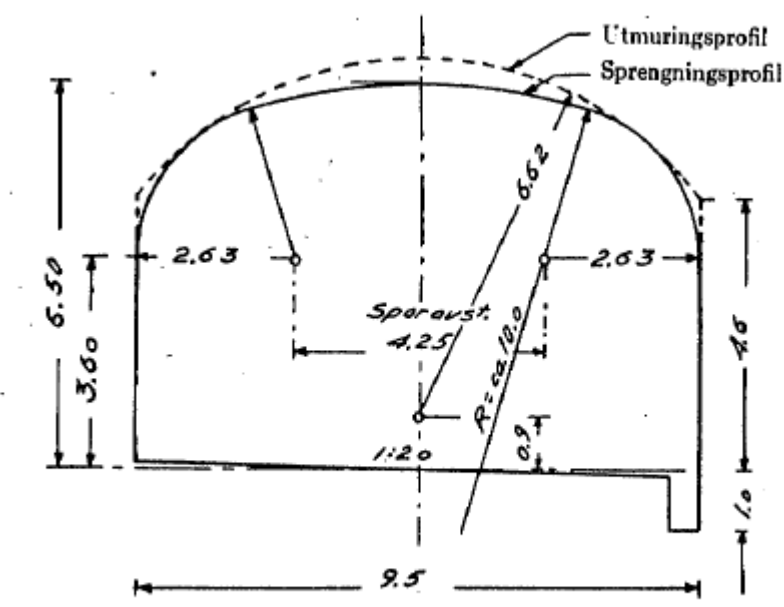
5 Erfaringer fra driving og rehabilitering av tunnelen

5.1 Erfaringer fra driving av tunnelen

Lieråsen tunnel går igjennom et geologisk område som har fått navnet Oslo-feltet. Geologisk sett er dette et av verdens mest interessante områder da en innenfor et avgrenset felt finner mange egenartede bergarter, sjeldene mineraler, fossiler og rester av gamle vulkaner (Huseby, 1968). Området preges av stor geologisk aktivitet med kraftige horisontalspenninger, forkastninger, nedsynkning, vulkanisme, kalderadannelser og smale instrusjoner (diabas- og syenittganger) og inntrengning av store magmamasser som er størknet på dypet (SVV, 2016).

Fjellmassivet har to markerte knusningssoner som følger forkastningene. Terrengoverflaten er kupert og med markerte daler i forkastningssonene. Maksimal fjelloverdekning i tunnelen er 180 m og inntreffer under Fuglemyr i Kjekstadmarka (Heltzen, et al., 1969).

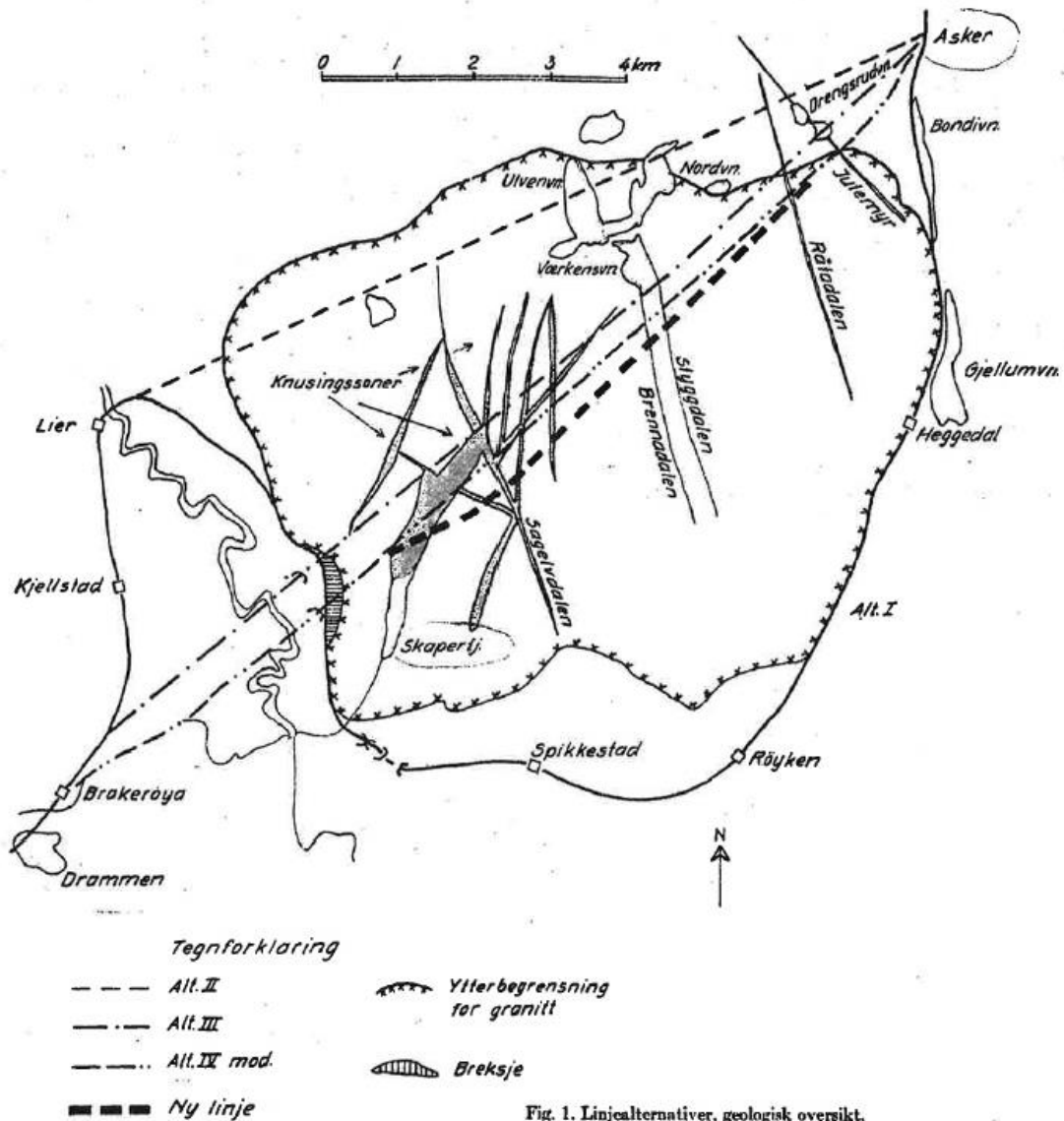
Tverrsnittet i Lieråsen har en bredde på 9,5 meter og et teoretisk profil på 58 m². For å få plass til utstøpning eller annen bergsikring ble det sprengt ut et areal på ca 65 m².



Figur 5-1: Tunnelprofil (NSB, 1973)

Planen for tunneldrivingen var å drive ca 8 km fra vest og 2,7 km fra øst. Ved tunneldriften støtte man på meget vanskelige forhold og slik det utviklet seg måtte man også drive på «fallet» fra øst. Beregnet drivetid var 4 år, det tok nesten 9 år før

gjennomslaget fant sted. Når tunnelen sto ferdig drevet i 1971 var det drevet 5 185 meter fra øst og 5 496 meter fra vest (NSB, 1973).



Figur 5-2: Oversikt geologiske forhold. (Huseby, 1968).

Stedsnavn som Råtadalen og Styggedalen tilsa at det var sannsynlig å treffe på områder som ville være utfordrende for tunneldriften. Dette hadde man selvfølgelig kunnskap om på forhånd. Det som overrasket var utstrekningen av de dårlige partiene og de faktorer som i ukjent kombinasjon bestemte vanskelighetsgraden.

Fra øst mot vest får tunnelen gjennom følgende bergarter:

- kalksilikater og hornfelter 920 m
- granitt ca 9540 m
- vulkansk breksje 200 m

(NSB, 1973).

Granitten: Granitten (Drammens-granitt) danner et sammenhengende massiv mellom Asker og Lierdalen. Den er lyserød og kan være grov- middels- og finkornig.

Granittmineralene er hovedsakelig kvarts, mørk glimmer og feltspat. Feltspat er som regel bløt og sammen med dårlig kornbinding mellom mineralene er dette årsaken til Drammensgranittens sprøhet og liten fasthet ovenfor slag- og slitasjepåkjenning.

Innsamlingen av data har fokusert på lekkasjer, slepper og deres størrelse, retning, sleppemateriale, svelleleire og diabasganger (NSB, 1973).

Svelleleire: Den største og mest utfordrende overraskelsen under tunneldrivingen var omfanget av svelleleire. Svelleleire er et forvittringsprodukt av feltspat som ofte opptrer som hvite tynne riss og finnes gjerne i knusningssoner og nær diabasganger. Svelleleiren kan være vanskelig å oppdage, men den kan oppta mye vann ved tilførsel av fuktighet og vil utløse et kraftig trykk som igjen kan utløse ras. De spesielt vanskelige partiene var Jutemyr, Styggedalen og Skapertjernområdet (NSB, 1973). Tester av svelleleira i Lieråsen viser en økning på ca 125% noe som tilsvarer en middels aktiv svelleleire. Dette tilsvarer et aktivt trykk på ca 35 tonn/m², men trykket vil kunne reduseres til ca 3,5 tonn/m² ved å tiltate en volumutvidelse på ca 5% (Heltzen, et al., 1969).

Sprakefjell: En annen problemstilling tunnelarbeiderne fikk under driving var sprakefjell. Sprakefjell oppstår som følge av sprengningens forstyrrelse av fjellets likevekt og spenninger utløses. Dette ble først merket som små støvdryss, men senere utløste dette voldsomme smell og store flak løsnet. Hovedsakelig oppsto dette fenomenet i tett og lite oppsprukket fjell i spenn mellom vertikale bruddlinjer (NSB, 1973). Det var ikke forventet sprakefjell siden overdekningen er relativt liten. Det ble utført bergspenningsmålinger som viste lave spenninger i berget og geologene konkluderte med at det måtte være kombinasjonen av den største hovedspenningen og andre spenninger som til sammen gav en høy tangentiell spenning (Heltzen, et al., 1969).

Diabasganger: Diabas er en mørk, hard og finkornet bergart og finnes ofte i sprekker i fjellet. Der har de trengt frem og størket. Bredden på diabasgangene varierte langs tunneltraseen fra noen cm og til 2 meter. For tunneldriften skapte de utfordringer på steder der diabasganger var langs tunnelaksen. Der var faren for nedfall av blokker stor. Hovedbergarten var også sterkt forvitret og ble gjennomskåret av svermer med diabasganger med 7-11 meters mellomrom (NSB, 1973).



Figur 5-3: Tynn diabasgang i Drammensgranitt (Keiding & Libach, 2016).

Vulkanske breksje: Breksje er en type konglomerat der partiklene har skarpe kanter. Smeltemasser som trengte seg opp fra grunnen rev med seg sidebergarter slik at skarpkantete granittbiter er blandet sammen med en finkornet masse.

Dette medførte utfordrende forhold for tunneldriverne da fjellet var dårlig med slepper med svelleleire (NSB, 1973).

Sprekkesystemene: Større bruddlinjedaler finnes i retningene N-S og NØ-SV. Her finnes det kraftig oppsprekking på grunn av skyvebevegelser både horisontalt og vertikalt. Det er disse sprekkesystemene som har ført til at grunnvannet har funnet veien inn i tunnelen (NSB, 1973).

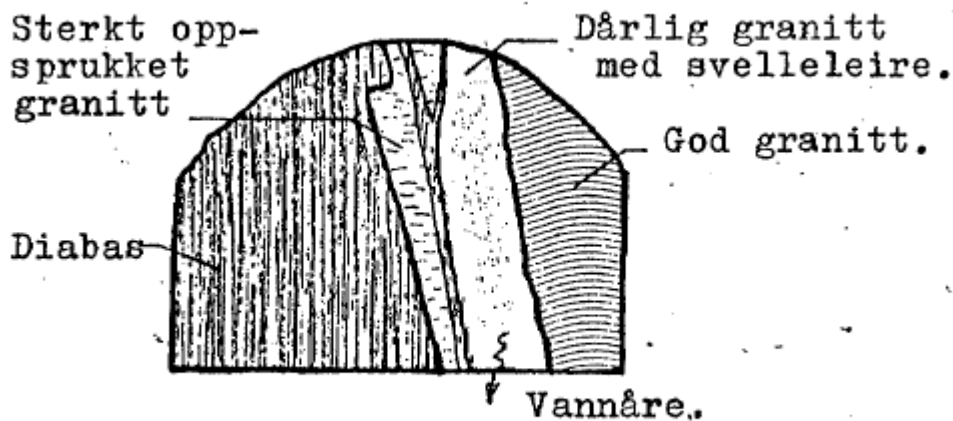
Grunnvannsforhold: I området med kalksilikat- og horfels- lag på Askersiden er det smale og vertikale grunnvannsmagasiner. Disse er isolerte og følger sprekke langs lagflatene. Disse ble tappet ned under tunneldriften, men det er fortsatt lekkasjer som varierer med årstid og nedbør. I drammensgranitten er det hovedsakelig både vertikale og horisontale sprekker. Disse er store og danner ofte større sammenhengende grunnvannsmagasiner. Det ble i sluttrapporten konkludert med at selv om det er store innlekkasjer i tunnelen, så er det en balanse mellom tilførsel (nedbør) og avrenning. Det er flere innsjøer over og langs tunneltraseen. Det ble utført gjennomført dybdemålinger og sonderinger i frykt for mulige lekkasjer ned i tunnelen. I Drengsrund- og Verkensvannene var det tykkebunnmasser som for det meste besto av organiske materiale. Det ble ikke gjennomført vanngjennomsmålinger, men det ble konkludert med at massene var lite vanngjennomtrengelige og at selv kraftige lekkasjer inn i tunnelen ikke ville påvirke vannstanden. Lekkasjene inn i tunnelen kom fra grunnvannsmagasiner langs traseen.

De store vannlekkasjene som skapte utfordringer på Asker siden gjorde at mye av terrenget over tunnelen ble drenert. På den tiden hadde man en nøktern holdning til slikt og mange av disse vannlekkasjene ble det aldri gjort noe med. Dette er til dels noe av det som skaper utfordringer i tunnelen i dag (Beitnes, 2000).

I 1973, to år etter gjennomslag, ble innlekkasjemengden målt til 4 mill/l pr døgn (NSB, 1973). Vannmålinger utført ved portal Lier i 2017 viser at total vannføring er ca 1,7 mill/l pr døgn (Bane NOR C, 2017)

Erfaringer fra Askersiden: Fra Asker var det i starten forholdsvis bra tunnelfjell bestående av sedimentbergarter som kalksilikater og hornfels. Det var noen partier med kraftige innbrudd av vann. Etter ca 1200 meter kom den såkalte Jutemyrforkastningen som besto av 3 markerte råtasoner på til sammen 80 meter. Her var bergartene dypforvitret, kraftig oppsprukket, spalter og riss med svelleleire, kalkspattganger og klorittslepper. Etter denne forkastningssonen ble fjellet fastere, men det ble utfordringer med sprakefjell og diabasganger. På de ca 5 000 metere trengte det inn ca 1 million liter vann i døgnet (NSB, 1973).

Erfaringer fra Liersiden: Det var vanskelig og farlig fjell på starten av tunnelen ved Liersiden. Etter ca 1 kilometer ble det meget godt fjell i ca 2 kilometer. Området videre innover var preget av slepper fylt med svelleleire (NSB, 1973).



Figur 5-4: Bergartenes fordeling på pel 3216 fra Lier (NSB, 1973)

Sikringsarbeider: Det ble benyttet 4 prinsipielle metoder for sikring av dårlig fjell i tunnelen:

1. Betongutstøpning med vegger utført som kontaktstøp. Hvelvet ble utført med prefabrikkerte elementer/lameller. Over noen elementer ble overstøpt helt eller delvis.
2. Helstøpt uarmert kontaktstøp
3. Sprøytebetong med tykkelse 10-12cm og armeringsnett $\varnothing 7$ mm med maskevidde 15 cm. Systematisk bolting med forspente ekspansjonsbolter.
4. Sprøytebetong med tykkelse 3-5 cm og tilfeldig bolting.

(NSB, 1973).

For punkt 3 og 4 over som sammenlagt strekker seg over ca 5 100 m av tunnelen er det benyttet ca 13 000 bolter (Håland, 1970). Dette var en relativt ny og uprøvd metode med lite erfaring over så store spenn som i Lieråsen. Det manglet også langtidserfaring med denne metoden (Heltzen, et al., 1969).

Omfanget er ca 1/3 del med utstøpning og resten er sikret med sprøytebetong. Av delen med utstøpning er det 1/2 med elementer/lameller og 1/2 med helstøp kontaktstøp. Omfanget av sikringsarbeider i Lieråsen tunnel er svært omfattende og det er god grunn til å tro at dette ble vurdert som helt nødvendig. På den tiden ble det ikke sikret i utrensmål, det var ingen økonomiske forhold som drev opp sikringsbehovet siden tunnelen ble drevet i «egenregi» og fagfolkene som kom fra NSB hadde sannsynligvis like god kompetanse som andre på samme tid. Konklusjonen på dette er at Lieråsen tunnel går igjennom svært vanskelige bergforhold (Beitnes, 2000).

5.2 Erfaringer fra rehabiliteringsarbeider av tunnelen

Det har vært flere prosjekter knyttet til rehabilitering og oppgradering av Lieråsen tunnel (Bane NOR C, 2017). Bakgrunnen for dette er det ufravikelige kravet til å opprettholde trafikantenes sikkerhet. Et viktig moment i forbindelse med oppgradering av tunnelen er at strekningen er en svært viktig banestrekning (Beitnes, 2000).

Flere uavhengige undersøkelser i tunnelen fra midten 90-tallet og frem til tidlig 2000-tallet viste at det var behov for å iverksette ulike rehabiliteringstiltak i tunnelen. I 2005 ble det utført rehabiliteringsarbeider. Et av tiltakene var blant annet å bergsikre for en levetid på 25 års, flere ulike lavspenstarbeider samt etablering av et 390 meter langt tverrslag fra Solberg. Dette er Lieråsen tunnel sitt eneste tverrslag.

Som Figur 5-5: Eksponert armering betongelementer viser at flere av de prefabrikkerte betongelementene var i svært dårlig forfatning. I områder med sprøytebetong ble det registrert partier med avskalling, og stedvis dårlig stabilitet på grunn av manglende sikring eller på grunn av at den gamle sikringen hadde mistet sin funksjon (Bane NOR R, 2006).



Figur 5-5: Eksponert armering betongelementer (Befaring 2005, u.d.)

Fra sommeren 2017 til sommeren 2021 skal det utføres rehabiliteringsarbeider i Lieråsen tunnel. Tunnelen har behov for opprustning og tyngre vedlikehold. Lieråsen tunnel er den banestrekningen med flest skinnebrudd utenom Ofotbanen. Arbeidene som skal utføres omfatter blant annet vannmeisling av betongelementene for å fjerne svake og ødelagte punkter for så å rehabilitere de med ny betong. Det skal også utføres nye bergsikring i områder med behov. For de jernbanetekniske fagene skal pukkk, sviller og skinner byttes på hele strekningen, nytt kontaktledningsanlegg, ny nødbelysning og nye kabelføringsveier. Det er estimert at totalsummen kan komme opp i 769 millioner kroner for denne rehabiliteringsjobben (Bane NOR R, 2006).

6 Alternative løsninger for tunnelbygging

6.1 Felles forutsetninger for alternativ 1 og 2

Denne oppgaven er på utredningsnivå. En fullverdig vurdering for valg av tunnelkonsept og drivemetode krever mer arbeid enn hva en masteroppgave har anledning til å ta for seg. Til følgende vurderinger er det ikke utført noen form for detaljprosjektering.

Bakgrunn for konseptvalg: Bakgrunnen for at det velges to løsninger med rømning inn i en parallell tunnel er at en dobbeltsporet tunnel med rømningstunnel ut i dagen for hver 1000 m krever for det aktuelle prosjektet et stort antall rømningstunneler. Lengden av hver enkelt rømningstunnel blir også svært lang på grunn av topografiske forhold. I noen tilfeller vil det også være vanskelig i det hele tatt å finne løsninger som tilfredsstillere dette kravet. Løsning basert på konseptet med rømning ut i dagen anses således å ikke være aktuell for strekningen Asker til Lier.

Dimensjonerende hastighet: Ny Lieråsen tunnel vil prosjekteres etter standardkrav for fartsgrense på 250km/h der dette ikke innebærer vesentlige merkostnader sammenlignet med 200 km/h (Bane NOR N, 2019).

Linjeføring: Eksisterende Lieråsen tunnel går i en $R=8000$ kurve mot høyre i ca 4 kilometer før banen går over i en rettlinjje i ca 3,5 kilometer. Banen går så over i en $R=1500$ m mot høyre etterfulgt av en kort rettlinjje før banen svinger mot venstre i en $R=1500$ m kurve. Begge kurvene har en utstrekning på ca 1 kilometer. Etter kurvene er det ca 1,2 kilometer med rettlinjje frem til portal Lier. De første 500 m stiger med 3‰ frem til høybrekket for deretter å falle med 9‰ frem til portal Lier (Bane NOR I, 2018). I oppgaven forutsettes det at en ny parallell tunnel vil prosjekteres med tilsvarende linjeføring både horisontalt og vertikalt.

Hydrogeologiske vurderinger: Det er ikke utført vurderinger knyttet til hydrogeologiske og geologiske forhold utover det som er beskrevet i kapittel 5.1.

6.2 Alternativ 1: Bygge ny enkeltsporstunnel med TBM og bygge om eksisterende tunnel til enkeltsporstunnel

6.2.1 Beskrivelse av konsept

Konsept: Som tunnelkonsept for alternativ 1 legges en løsning med to enkeltsporstunneler til grunn. Her vil eksisterende Lieråsen tunnel gjøres om til en enkeltsporstunnel etter at ny enkeltsporstunnel er ferdig bygd. Mellom tunnelene etableres det tverrpassasjer for hver 500 m. Bakgrunnen for at kravet til rømning er strengere for to enkeltsporstunneler er at det tar kortere tid til en kritisk tilstand oppstår med tanke på røykutvikling i en enkeltsporstunnel enn i en dobbeltsporstunnel grunnet mindre volum. Denne løsningen medfører at jernbaneteknisk utstyr hovedsakelig må plasseres i tverrpassasjene. Drift og vedlikehold kan utføres i en tunnel, og i tverrpassasjen, mens togtrafikken opprettholdes i det andre løpet.

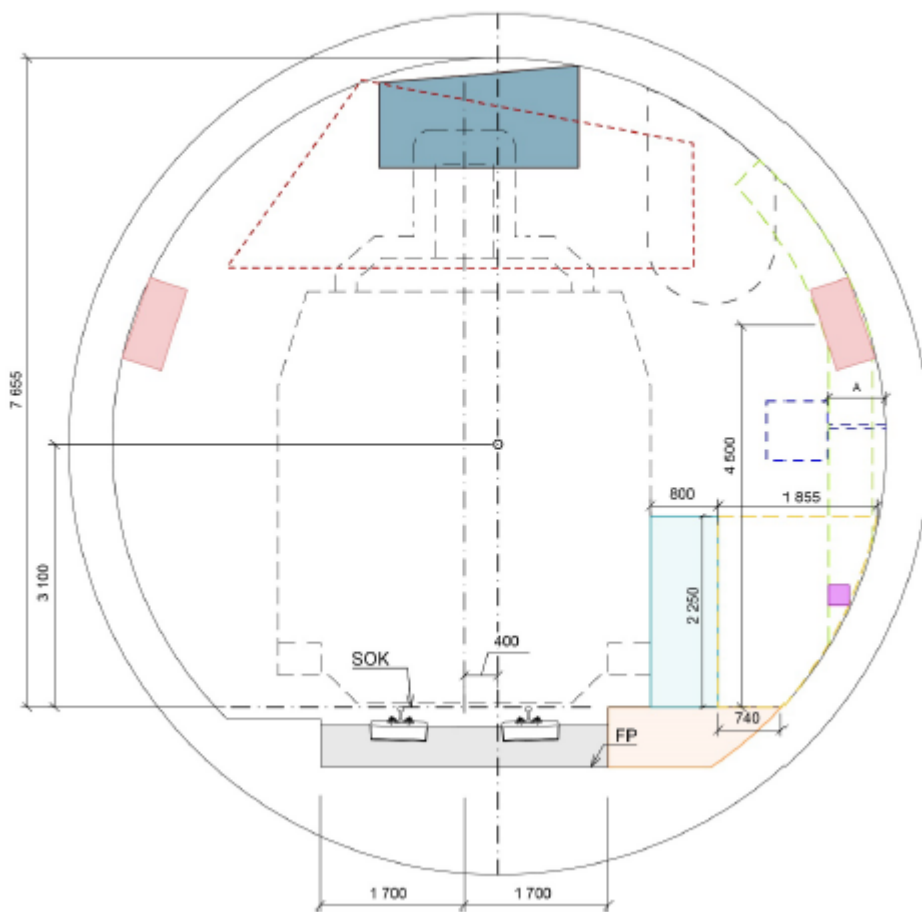
Alt berguttak er tenkt utført ved bruk av TBM bortsett fra for tverrpassasjene som er tenkt utført med boring og sprengning.

Det er vanlig ved berguttak at det forinjiseres i henhold til tettekraft basert på hydrologiske vurderinger for det aktuelle området. Permanent bergsikring bestemmes underveis i drivefasen og før bergflater dekkes til av bergsikring og vann- og frostsikring.

En TBM av denne størrelsen vil ha plass til montering av boreutstyr for injeksjon. Det vil i midlertidig kunne redusere fremdriften betydelig og fordelene med inndrift ved TBM kan ikke utnyttes. For en dobbeltskjoldmaskin, som er tenkt brukt i dette prosjektet, vil det meste av tunnelen kunne drives uten forinjeksjon da det ca 13 meter bak stoff installeres en vanntett betongforing. Dette vil erstatte bergsikring, injeksjon og vann- og frostsikring. De kostbare betongelementene er således konkurrerbare med tradisjonelle norske løsninger. Vanntette betongforinger er også gunstig med tanke på drift og vedlikehold (Bane NOR S, 2008).

Som beskrevet i kapittel 5.1 er største overdekning ca 180 meter. Hvis det i dette området er fullt hydrostatisk trykk vil det kunne bli for stort vanntrykk på de vanntette betongforingene. I følge Multiconsult og KGRE (2018) kan de vanntette betongforingene maksimalt 17 bar vanntrykk. Forinjeksjon kan derfor være et tiltak dette området for for å redusere trykket på de vanntette betongforingene.

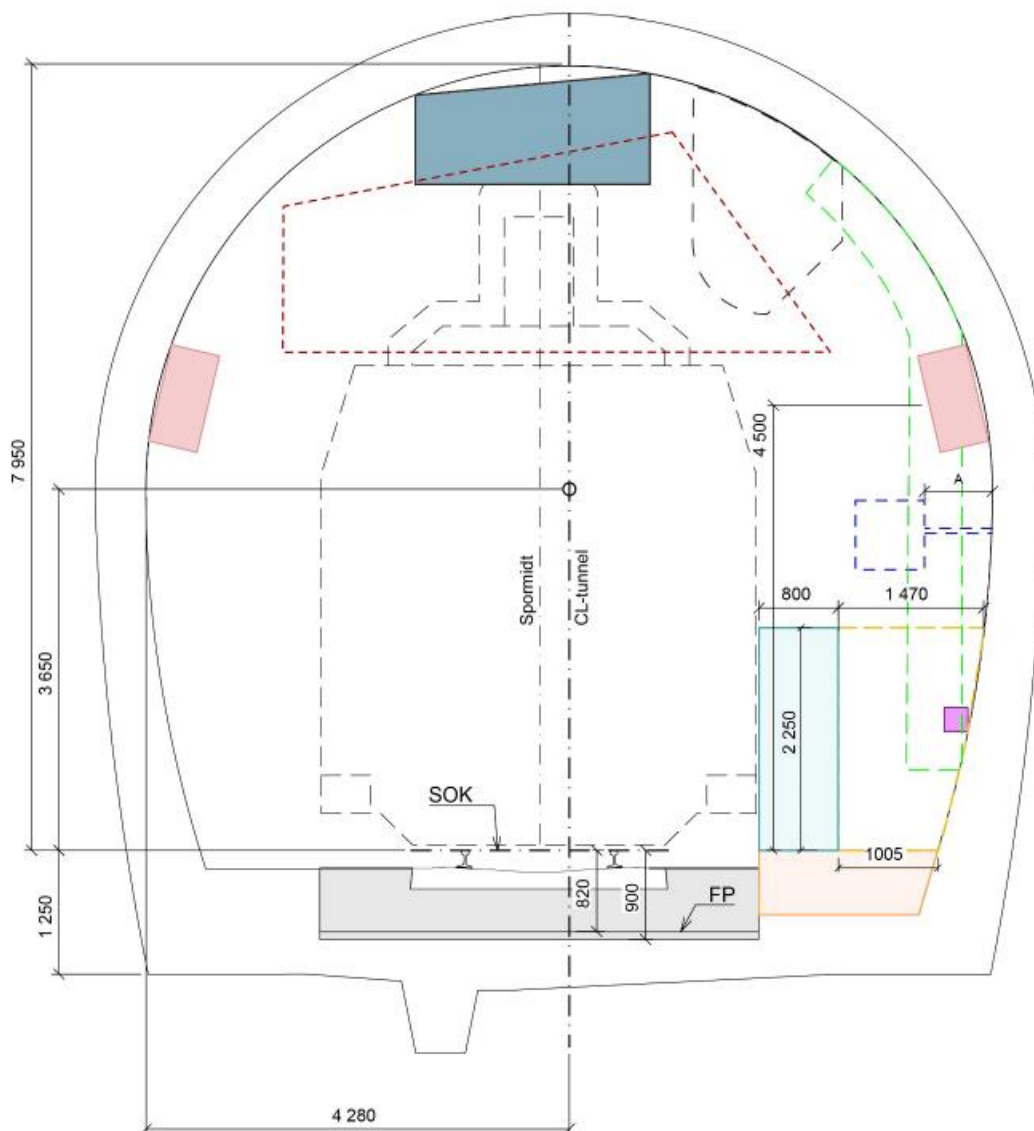
Normalprofil ny enkeltsporstunnel (TBM): Tunnelprofilen for ny enkeltsporstunnel utformes i henhold til anbefaling gitt i Teknisk designbasis for InterCity. Tverrsnittet har en diameter på 10,1 meter, borprofilen er 81 m² og det er satt av 500 mm til vanntette betongforinger (betongelementer). Luftarealet innenfor normalprofilen er 65 m² (Bane NOR N, 2019).



Figur 6-1: Enkeltsporstunnel TBM (Bane NOR N, 2019)

Tunnelen vil ha midtstilt KL-mast, loddavspenning, to AT-ledere, skilt, håndløper med integrert belysning og strålekabel for mobildekning. Gangbanen vil være 800 mm og fungere som rømningsvei ved en eventuell evakuering.

Normalprofil for eksisterende enkeltsporstunnel: Anbefalt normalprofil for enkeltsporstunnel gitt i Teknisk designbasis for InterCity er vist på Figur 6-2: Enkeltsporstunnel .



Figur 6-2: Enkeltsporstunnel (Bane NOR N, 2019)

Sprengingstverrsnittet er på 80 m^2 og det er her satt av plass til 100 mm bergsikring og 300 mm kontaktstøp. Luftarealet innenfor normalprofilen er på 59 m^2 . Eksisterende teoretisk profil for Lieråsen tunnel har et utsprengt areal på 58 m^2 , som vist på Figur 5-1: Tunnelprofil. Dette er noe mindre enn foreslått normalprofil for enkeltsporstunnel gitt i Teknisk designbasis for InterCity. Bredden på de to profilene i størrelsesorden 9,5 m slik at en utvidelse av eksisterende tunnel kan skje ved å strosse i sålen for å tilfredstille plass til ballasthøyde og fundamenter for kontaktstøp. Ved å strosse 2,0 m vil det bli ca 20 m^2 noe som er differansen i teoretisk sprengningsareal mellom de to profilene. Det antas å kunne søke dispensasjon fra regelverket slik at dette ikke vil bli nødvendig. En ny vann- og frostsikring vil redusere tunnelens luftareal, men det er i dag et dobbeltspor i tunnelen og det er stor sannsynlighet for at det er plass til et enkeltspor med dispensasjon fra Bane NOR sitt Teknisk regelverk. Tunnelen vil installeres med det samme jernbanetekniske utstyret som i tunnelen drevet med TBM.

Tekniske rom, tverrpassasjer og føringsveier: En av erfaringene fra Fellesprosjektet langs Mjøsa var at etablering av nisjer for jernbaneteknisk utstyr var tidkrevende arbeid. Nisjene må hovedsakelig armeres og dette hindrer fremdriften (Knudsmoen, 2015). Det vil i tillegg kreve ekstra tid for å etablere nisjer i eksisterende Lieråsen tunnel og for TBM-tunnelen vil det ikke være aktuelt på grunn av bruk av vanntette betongføringer. Ved å utnytte tverrpassasjene for hver 500 m som arealer for tekniske bygg, skap og føringsveier vil det ikke bli behov for nisjer i de to enkeltløpstunnelene. Tekniske bygg plasseres i tverrpassasjene med en maksimal avstand på 1 500 meter (Bane NOR H, 2017). Tekniske bygg vil ha høyspent-, lavspent-, tele-, signal- og ventilasjonsrom. Byggene er ca 100 m².

Adkomsttunneler/tverrslag: Det antas at det ikke vil bli behov for etablering av adkomsttunneler/tverrslag for dette alternativet med TBM. Etablering av tverrpassasjer vil skje med boring og sprenging.

Dreneringssystem: Det vil med denne løsningen ikke være behov for noe dreneringssystem da tunnelen er vanntett.

6.2.2 Forutsetninger byggetid

Forutsetninger som er lagt til grunn for vurderinger knyttet til anleggsgjennomføring og byggetid:

Ny Lieråsen tunnel drevet med TBM:

- All tunneldriving i ny enkeltsporstunnel utføres med en TBM-maskin. Tunnelen bores fra Lier til Asker.
- Utvidelse, ved strossing av sålen, i eksisterende Lieråsen tunnel samt etablering av tverrpassasjer utføres med konvensjonell boring og sprengning.
- I byggetiden inngår leveringstid for TBM-utstyr, tilrigging, etablering av påhugg, produksjonsanlegg for vanntette betongføringer og all tunneldriving med tilhørende aktiviteter.
- Montering av vanntette betongføringer skjer fortløpende.
- Oppbygning av underbygning med drens-system samt en betongplate hvor fastspor kan monteres forutsettes bygd parallelt med selve boroperasjonen.
- Jernbaneteknikk:
 - Sporbygging skjer fra en side.
 - Øvrig jernbaneteknikk skjer fra portal Asker og portal Lier.
- Antatt 144t/uke og 50 arbeidsuker per år for TBM.

Ombygging av eksisterende Lieråsen tunnel:

- Ombygging av eksisterende Lieråsen tunnel skjer etter at ny enkeltsporstunnel er satt i drift. Arbeidene med ombygging av eksisterende Lieråsen tunnel omfatter:
 - Fjerning av all eksisterende jernbaneteknikk (spor og ballast, KL-anlegg, lavspent, tele og signal-anlegg).
 - Bygging av kontaktstøp som ny vann- og frostsikring.
 - Etablering av underbygning (bunnrensk, VA-kummer og rør og ballast opp til formasjonsplan).
 - Etablering av kabelkanaler og føringsveier.
 - Sporbygging.

- Øvrig jernbaneteknikk.
- Antatt 101t/uke og 46 arbeidsuker per år for øvrige arbeider

6.2.3 Byggetid

For å bestemme milepæler for et byggeprosjekt estimerer byggherren den totale byggetiden.

Generelt er fremdrift for en tunnel drevet med TBM mer avhengig av geologien enn ved konvensjonell tunneldrift. Det medfører at det er anbefalt å utføre flere geologiske forundersøkelser ved valg av TBM enn ved konvensjonell driving. Byggetiden vil for selve drivingen være avhengig av oppstartstid, arbeidstid til maskinene og netto inndrift (Jakobsen, et al., 2015).

Oppstartstid for en TBM vil være betydelig lenger enn for konvensjonell driving. Det er ikke uvanlig å anta 16-20 måneder før TBM kan starte opp og begynne boringen. De ulike arbeidsprosessene er:

- forbedrende arbeider før start
- produksjon av TBM og bakrigg
- frakt og montasje av TBM og bakrigg
- oppstart og innkjøring av TBM og bakrigg

I etterkant av arbeidene må det settes av tid til demontering og nedrigging av TBM og bakrigg (Statnett, 2018).

Det er vanlig å anta forskjellig arbeidstid for TBM og konvensjonell driving. For TBM regnes det ofte med 50 uker og 144 timer pr uke, mens for konvensjonell driving regnes det 46 uker og 101 timer pr uke. En TBM har høyere arbeidstid pr uke da drivingen er å antas som en industriell prosess hvor målet er å oppnå høy maskinytelse (Bane NOR S, 2008).

For en TBM vil inndriften blant annet være avhengig av borbarheten til bergmassen. Borbarhet sier noe om hvor vanskelig det er å bore i berget. Borbarheten er avhengig av bergets styrke, oppsprekking og retningen på sprekke. I granitt kan det forventes en inndrift på 1-3 m/t hvis TBM har en diameter på 8 meter (Jakobsen, et al., 2015). En TBM borer kun 30-50 % av tilgjengelig tid (utnyttelsesgrad) (Jakobsen & Arntsen, 2014).

Tverrsnittet for TBM for InterCity har en diameter på 10,1 meter. Det er sannsynlig at inndriften vil være mindre enn angitt for en TBM på 8 meter. Inndriften reduseres ved større tverrsnitt. For denne oppgaven antar jeg en gjennomsnittlig inndrift på 1,5 m/t og med en utnyttelsesgrad på 40 %. Antagelsene for selve byggetiden forutsetter at en ikke møter på uforutsette hendelser under drivingen.

Basert på en arbeidstid på 144 timer pr uke vil den gjennomsnittlige inndriften bli:

$$1,5 \text{ m/t} \times 0,4 \times 144 \text{ t/uke} = 87 \text{ m/uke}$$

Antatt lengde på ny tunnel er 10 700 meter og med 50 effektive uker vil estimert byggetid bli:

$$10\ 700\ m / 87\ m/uke = 123\ uker$$

$$123\ uker / 50\ uker/år = 2\ år\ og\ 6\ måneder$$

For montering av jernbanetekniske fag KL, spor, tele, signal og lavspent legges 120m/uke til grunn. Det antas at jernbaneteknikk kan begynne 1 måned etter at støpning av vann- og frostsikring er ferdig. Det er for utfordrende å ha både underbygningsarbeider og jernbanetekniske arbeider samtidig i tunnelen. Dette er sannsynlig at dette er to ulike entreprenøren og disse bør ikke jobbe i tunnelen samtidig av hensyn til SHA. Antar at det kan bygges fra både Asker og Lier

$$10\ 700\ m / 120\ m/uke = 90\ uker$$

Med bygging fra 2 sider blir det totalt $90/2=45$ uker for bygging av jernbaneteknikk.

Fra disse betraktningene settes følgende opp for byggetid:

Tabell 1: Byggetid enkeltsporstunnel med TBM

Arbeidsoperasjon	Kalendermåneder
Produksjon av TBM og bakrigg inkl forberedende arbeider	12
Montasje av TBM og bakrigg inkl frakt	3
Oppstart og innkjøring	1
Boring av 10,7 km tunnel	30
Demontasje og nedrigg	3
Montering av jernbaneteknikk	11
Totalt	60

Etter at arbeidene er fullført for den nye tunnelen må arbeidene med ombygging av eksisterende tunnel til nytt enkeltspor påbegynnes.

Som omtalt over i dette kapittelet består hovedarbeidene her av:

Tabell 2: Byggetid ombygging av eksisterende tunnel

Arbeidsoperasjon	Kalendermåneder
Riving av eksisterende jernbaneteknikk	6
Bygging av ny vann-og frostsikring Antar 4 støpeformer. 50 m/uke. (10 700 m / 4) / 50 m/uke	13
Montering av jernbaneteknikk. Antar bygging fra 2 sider. 120 m/uke	11
Totalt	30

Estimert totalt byggetid for ny TBM tunnel og ombygging av eksisterende tunnel til ny enkeltsporstunnel blir da:

$$60 \text{ måneder} + 30 \text{ måneder} = 90 \text{ måneder} = 7 \text{ år og } 5 \text{ måneder}$$

6.2.4 Forutsetninger kostnader

En TBM krever betydelig mer ressurser knyttet til transport og rigg enn det utstyr for konvensjonell driving krever. De tyngste delen av en TBM og dens utstyr kan veie opp mellom 50-100 tonn og kan medføre at vegger og bruer krever forsterkning i forbindelse med transport (Holen, 1998).

For en TBM er byggekostnaden av selve TBM og kaptialkostnaden som kreves høyere enn for konvensjonell driving. Selve marginalkostnaden ved driving er derimot mindre. Drivekostnaden påvirkes av netto inndrift og slitasje på kutterhodet (Holen, 1998).

Behovet for bergsikring er normal betydelig mindre ved bruk av TBM og under normale omstendigheter redusert med 30-50 %. Bakgrunnen er at bergspenninger knyttet til sprengning er eliminert (Holen, 1998).

Følgende forutsetninger som er lagt til grunn for vurderinger knyttet til kostnader:

- tiltransport og montasje av TBMer og bakrigg
- opparbeidelse av riggområde
- forskjæringer
- avskrivning av TBMer og bakrigg
- boring av 10 700 m tunnel med Ø10,1 m
- forbruk slik som cuttere, reservedeler, elektrisk strøm, etc
- nødvendig bemanning for å operere TBMer og installere betongelementer
- produksjon, transport og installasjon av betongsegmenter med tykkelse 500 mm, inklusive gummipakninger for å gjøre disse vanntette
- noe sikring i form av injeksjon foran maskinen i enkelte soner
- demontasje av TBMer og bakrigg
- borttransport av bormasse
- borttransport av TBMer og bakrigg innen Europa
- tverrforbindelser, inkl. betongarbeider (21 stk. totalt)
- ballast i tunnelen (under betongplate)
- drengssystem
- betongplate for fastspor
- kabelkanal

- Entreprenørens administrasjon, fortjeneste og andre tidsavhengige kostnader på prosjektet.

6.2.5 Kostnader

Zare et.al (2016) har laget en oversikt over drivekostnad per løpemeter tunnel for TBM. Drivekostnaden er kategoriserer 3 ulike kategorier basert på bergmassekvalitet. Det er:

- godt berg
- medium berg
- dårlig berg

Erfaringer fra drivingen, som omtalt i kapittel, 5.1 av eksisterende Lieråsen tunnel, viser at det er sannsynlig å treffe på utfordrende driveforhold. Velger å beregne for medium berg og dårlig berg i henhold til kategoriseringen som omtalt over.

Kostnadene ved et større tverrsnitt for TBM øker betraktelig mer enn for konvensjonell driving. Ved å øke tunnallengden reduseres kostnadene per løpemeter ved bruk av TBM. Figurene i Zare et al. (2016) har ikke verdier for tverrsnittet som er lagt til grunn i denne oppgaven. Det samme gjelder tunnallengden. Ved å ekstrapolere verdiene oppgitt får vi for et tverrsnitt på 80 m²:

- medium berg ca 40 000
- dårlig berg ca 100 000

Prisene i Zare et.al (2016) er opprinnelig fra 2015 derfor er prisene indeksjustert til 2018 priser. Det er ikke tilgjengelig data for 2019 pr dags dato. I henhold til Statistisk sentralbyrå, SSB, sin statistikkbank for byggekostnadsindeks for veganlegg er prisveksten for 2015 på 2,7%, 2016 på 2,7 %, 2017 på 2,9% og 2018 på 4,5% (SSB, 2019). Følgende beregninger for å indeksregulere er utført for priser:

$$\text{Pris}_{2018} = \text{pris}_{2015} \times (1 + r_{2015}/100) \times (1 + r_{2016}/100) \times (1 + r_{2017}/100) \times (1 + r_{2018}/100)$$

Tabell 3: TBM enkeltspor, medium bergforhold

A	TBM enkeltspor, medium bergforhold		Kr
	Grunnarbeider tunnel (80 m2) medium bergforhold	lm	46 000
	Betongelementer med pakninger	lm	50 000
	Rømningstunneler, tverrslag, tverrpassasjer	lm	27 000
	Jernbaneteknikk unntatt signalanlegg	lm	45 000
	Signalanlegg	lm	9 000
	Sum entreprisekostnad, ekskludert 10 % uspesifisert samt rigg og drift og byggherrekostnad	lm	177 000

Tabell 4: TBM enkeltspor, dårlige bergforhold

B	TBM enkeltspor, dårlige bergforhold		Kr
	Grunnarbeider tunnel (80 m2) medium bergforhold	lm	113 000
	Betongelementer med pakninger	lm	50 000
	Rømningstunneler, tverrslag, tverrpassasjer	lm	29 000
	Jernbaneteknikk unntatt signalanlegg	lm	45 000
	Signalanlegg	lm	9 000
	Sum entreprisekostnad, ekskludert 10 % uspesifisert samt rigg og drift og byggherrekostnad	lm	246 000

Det er vanlig med prosentvise påslag for uspesifisert (10%), entreprenørens rigg og drift (25%) og byggherrekostnad inkl prosjektering (27%).

Tabell 5: Basiskalkyle for A og B

<i>Kostnadsmodell</i>	<i>Påslag (%)</i>	<i>A (kr/lm)</i>	<i>B (kr/lm)</i>
<i>Kostnad</i>			
Entreprisekostnad		177 000	246 000
+ Rigg og drift	25	177 000 x 0,25	246 000 x 0,25
+ Byggherrekostnad	27	177 000 x 0,27	246 000 x 0,27
= Totalt		269 400	373 920
+ Uspesifisert	10	269 400 x 0,1	547 200 x 0,1
= Basiskalkyle		295 940	411 310

Dagens Lieråsen tunnel er 10 700 meter og estimert pris basert på kostnadsmodell for InterCity for enkeltsporet TBM blir:

Estimert basiskalkyle_A = 10 700 lm x 295 940 kr/lm = 3,16 milliarder kr

Estimert basiskalkyle_B = 10 700 lm x 411 310 kr/lm = 4,40 milliarder kr

Basert på erfaringer fra driving av eksisterende Lieråsen tunnel er det sannsynlig at det vil bli dårlige og utfordrende bergforhold. Legger derfor Estimert basiskalkyle_B til grunn for videre beregninger.

Omgjøring av eksisterende jernbanetunnel til servicetunnel:

Tabell 6: Riving og fjerning av eksisterende jernbaneteknikk. Priser (Norconsult, 2019)

<i>Objekt</i>	<i>Pris pr lm</i>	<i>Antall meter</i>	<i>Pris</i>
Kontaktledningsanlegg	150	10 700	1 600 600
Spor (skinner og sviller)	500	10 700	5 350 000
Signal og teleanlegg	150	10 700	1 600 000
Sum			8 550 000

Tabell 7: Bygging av ny enkeltsporet jernbanetunnel

C2	Tunnel enkeltspor		Kr
	Kompletteringsarbeider tunnel 1 løp (v/f med kontaktstøp, underbygning)	lm	50 000
	Rømningstunneler, tverrslag, tverrpassasjer	lm	27 000
	Jernbaneteknikk unntatt signalanlegg	lm	45 000
	Signalanlegg	lm	9 000
	Sum entreprisekostnad, ekskludert 10 % uspesifisert samt rigg og drift og byggherrekostnad	lm	131 000

Totalt pris for riving og fjerning og bygging av ny enkeltsporet tunnel blir:

Entreprisekostnad = 8 550 000 + (10 700 x 131 000) = 1,42 milliarder

Tabell 8: Basiskalkyle enkeltsporet jernbanetunnel

<i>Kostnad</i>	<i>Påslag (%)</i>	<i>Pris</i>
Entreprisekostnad		1,42 milliarder
+ Rigg og drift	25	1,42 x 0,25
+ Byggherrekostnad	27	1,42 x 0,27
= Totalt		2,16 milliarder
+ Uspesifisert	10	2,16 x 0,1
= Basiskalkyle		2,37 milliarder

For alternativ 1 blir:

Basiskalkyle_{total} = Estimert basiskalkyle_B + Estimert basiskalkyle_{ny enkeltsporet jernbanetunnel}

= 4,40 milliarder kr + 2,37 milliarder = 6,77 milliarder kroner.

I henhold til kapittel 2.1.4 skal et estimat på utredningsnivå ligge på +/- 40 % nøyaktighet.

6.2.6 Miljø

Ved anleggsprosjekter må det ytre miljøet ivaretas på best mulig måte i hele tiltakets levetid. Dette ansvaret er det i henhold til Plan- og bygningsloven § 23-2 byggherren som må følge opp. Følgende miljøtema må ivaretas:

Landskapsbilde: En ny Lieråsen tunnel vil medføre inngrep i landskapet både på Asker- og Liersiden av tunnelen. På Askersiden er det i dag et stort område knyttet til jernbane og jernbanedrift og slikt sett endrer ikke dette prosjektet området med tanke på landskapsbilde. På Liersiden er det en holdeplass og et ny tunnel vil medføre at området må utvides. Det største inngrepet vil sannsynligvis bli utenfor tunnel og videre mot Drammen. Dette vil omfatte tiltak som veger, bruer, massedeponering og annen infrastruktur. Området er i dag hovedsakelig jordbruk.

For en løsning med TBM vil det ikke bli aktuelt med ytterligere tverrslag og det vil derfor bli mindre endringer for landskapsbilde enn ved konvensjonell driving.

Friluftsliv/by- og bygdeliv: Anleggsarbeidene vil medføre økt belastning på nærmiljøet i form av støy, støv og trafikk. Dette vil for TBM hovedsakelig være ved portal Lier og portal Asker.

Naturmangfold: Anleggsarbeid i og i nærheten av naturområder som betegnes som viktige kan få konsekvenser både for det aktuelle området og for området langt unna. Det er viktig å påse at fremmede arter ikke spres i områder hvor det utføres tiltak verken til massehåndteringsområder eller jordbruksarealer. I anleggsperioden er det spesielt viktig å ta hensyn til Lierelva som er en av Norges beste sjørrerret elver samt at det finnes mye laks der (Lierelva fiskeforening, 2019). Det er ifølge miljødirektoratets naturbase registrert elvemusling, musvåk, laks, stær og nattergal i tiltaksområdet (Miljødirektoratet, 2019). Det antas at tiltaket ikke er i konflikt med fuglebestanden.

Kulturarv: I følge miljødirektoratets naturbase er det ikke registrert noen kulturminner i tiltaksområdene (Miljødirektoratet, 2019).

Naturressurser: En løsning med TBM vil beslaglegge dyrka mark ved portal Lier.

Støy og vibrasjoner: Støy og vibrasjoner omfatter lokal støyforurensning og vibrasjoner innenfor tiltakets influensområde. Det er sannsynlig at det blir mindre støy fra en TBM enn ved konvensjonell driving. Det er mindre støy og rystelser fordi det ikke er sprengning og pigging. Det er heller ikke nødvendig med tverrslag som ellers er nødvendig ved sprengning av lange tunneler. Det er ved bruk av TBM en svak til middels during i motsetning til knatring og smell som kommer fra sprengning. Støyen vil variere med avstanden til tunnelen, fjellforhold og om fundamenteringen av husene står på løsmasser eller rett på fjell (Bane NOR T, u.d.)

Tunnelstrekningen går hovedsakelig gjennom områder som er ubebygde og med stor overdekning. Problemer knyttet til støy og vibrasjoner ved bruk av TBM anses som liten.

Det vil ved portal Asker og portal Lier være støy fra riggområder og anleggstrafikk. Dette er særlig knyttet til massetransport.

Forurensning(luft/vann/jord): Det vil i anleggsfasen være arbeider med massehåndtering og massetransport som vil kunne medføre støvplager for omgivelsene.

Det er flere forhold som kan føre til forurensning av jord og vann i anleggsfasen. Det må vurderes tiltak for følgende forhold:

- partikkelforurensning fra tunneldriving og knusing av masser
- olje- og kjemikaliespill fra maskiner
- høy pH som følge av stort sementforbruk
- avrenning fra injisering og bergsikring
- utslipp fra riggområder

Driftsvannet som benyttes for å kjøle ned TBM vil kunne ha et høyt innhold av partikler, eventuelt olje og høy pH fra betong (Weideborg, et al., 2009).

Avfallshåndtering: I forbindelse med anleggsfasen vil det produseres ulike typer avfall. Det vil blant annet være produksjonsavfall fra riggområdene og slam fra renseanleggene for vann.

6.2.7 RAMS

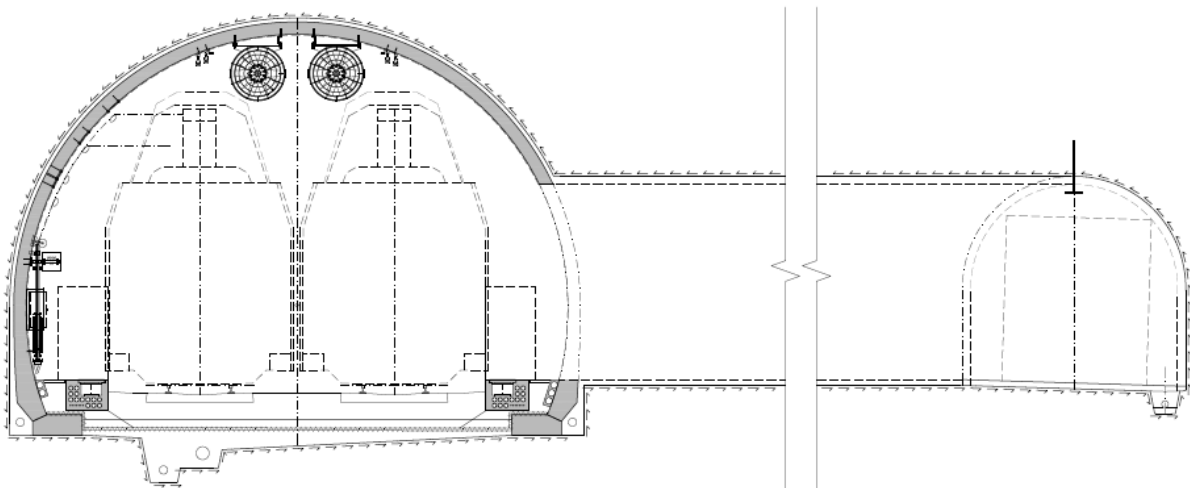
RAM: Ved å ha to parallelle tunneler har en muligheten til å stenge et løp mens trafikken avvikles i det andre løpet. Det vil da være mulighet til å kjøre trafikken begge veier, men med redusert kapasitet. Ulempen med to løp vil være at det er mer utstyr som skal vedlikeholdes. Det er i tillegg større belastning på utstyret i en ettløpstunnel på grunn av mindre tverrsnitt noe som medføre større trykk- og sugkrefter. Det vil være et større behov for å plassere utstyr i selve tunnelen enn ved en løsning med servicetunnel. Det må i midlertidig tilstrebes at det meste av utstyret plasseres i rømingstunnelene/tverrpassasjene mellom løpene (Bane NOR N, 2019).

Sikkerhet: Sikkerhetsmessig tilfredsstillende to parallelle enkeltsporstunneler dagens krav til sikkerhet ved rømning. I denne løsningen med to parallelle tunneler er det krav til rømningstunneler/tverrpassasjer for hver 500 meter, dette i motsetning til for hver 1000 meter i en dobbeltsporstunnel. Bakgrunnen for dette er at det tar kortere tid fra en brann oppstår til den blir kritisk på grunn av mindre volum for røyken i en enkeltsporstunnel (Bane NOR N, 2019).

6.3 Alternativ 2: Bygge ny dobbeltsporstunnel og gjøre om eksisterende tunnel til servicetunnel

6.3.1 Beskrivelse av konsept

Konsept: Som tunnelkonsept for alternativ 2 legges en løsning med dobbeltspor med parallell service-/rømningstunnel, heretter kalt servicetunnel, til grunn. Her vil eksisterende Lieråsen tunnel gjøres om til servicetunnel etter at ny dobbeltsporet tunnel er ferdig bygd. Mellom tunnelene etableres det tverrpassasjer for hver 1000 meter (Bane NOR M, 2019). Denne løsningen gjør at jernbaneteknisk utstyr hovedsakelig kan plasseres i servicetunnelen noe som gjør at drift og vedlikehold kan utføres uten at togtrafikken påvirkes.



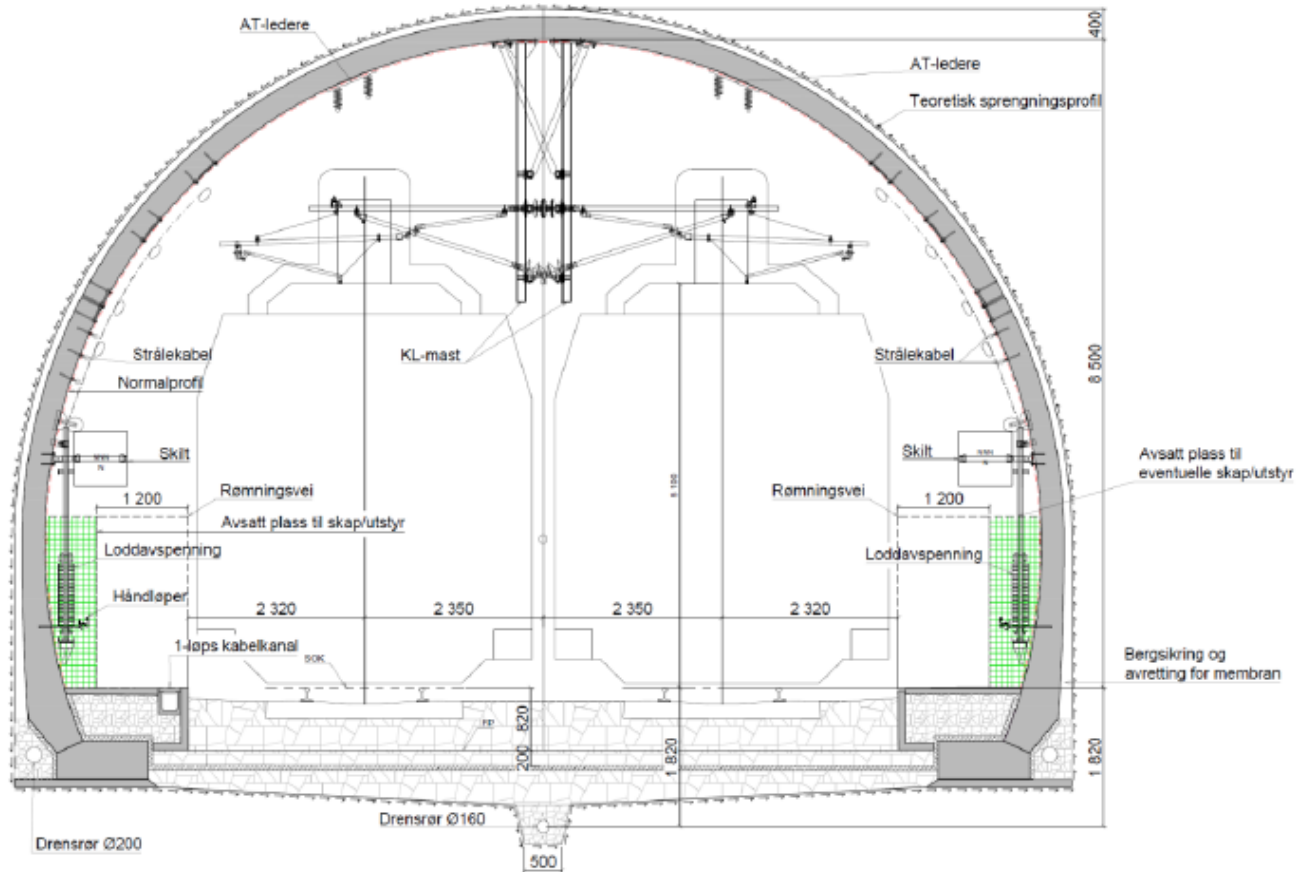
Figur 6-3: Dobbeltsporstunnel med servicetunnel

Alt berguttak er tenkt utført ved boring og sprengning og eventuelt noe pigging. Det er vanlig ved berguttak at det forinjiseres i henhold til tettestrekk bestemt basert på hydrogeologiske vurderinger for det aktuelle området. Permanent bergsikring bestemmes underveis i drivefasen og før bergflater dekkes til av bergsikring og vann- og frostsikring.

Det vil være gunstig med tanke på lengde for tverrpassasjer mellom løpene at den nye traseen legges med tilnærmet lik horisontal- og vertikal-kurvatur som eksisterende tunnel. I henhold til TRV er kravet for minste horisontalkurveradius $R=3400$ meter for en hastighet på 250 km/h. Linjen for den nye traseen må derfor tilpasses slik at det blir en kurve mot høyre med minimum horisontalradius $R=3400$ meter etter ca 7,5 kilometer. Dette vurderes som sannsynlig at dette lar seg løse i detaljprosjekteringen av ny linjeføring.

Normalprofil dobbeltsporstunnel: Tunnelprofilet for dobbeltsporet tunnel utformes i henhold til anbefaling gitt i Teknisk designbasis for InterCity. Sprengningstverrsnittet er på 123 m² og det er her satt av plass til 100 mm bergsikring og 300 mm kontaktstøp. Bergsikringen antas utført med bolter og sprøytebetong, men tyngre sikringsmidler benyttes ved behov. Kontaktstøpen utføres med drenert membran og en uarmert utstøpning. I områder med dårlig berg kan utstøpningen armeres for å bidra til å ta opp berglast. Luftarealet innenfor normalprofilet er på 93 m² (Bane NOR N, 2019):

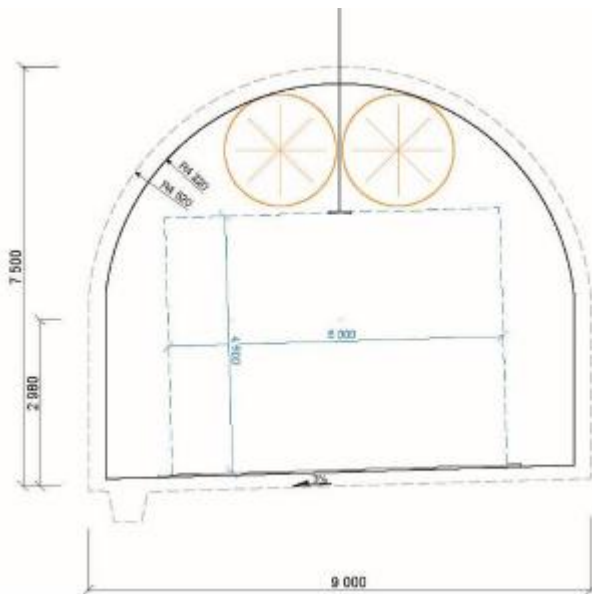
Tunnelen vil ha midtstilte KL-master, loddavspenning, to AT-ledere, skilt, håndløper med integrert belysning og strålekabel for mobildekning. Gangbane er 1500 mm brede og fungerer som rømningsvei ved en eventuell evakuering.



Figur 6-4 :Tunneltvverrsnitt dobbeltspor (Bane NOR H, 2017)

Normalprofil servicetunnel og tverrslag: Foreslått normalprofil for servicetunnelen og tverrslag baserer seg på normalprofilen som er vist i Teknisk designbasis for InterCity, som vist på Figur 6-5: Normalprofil servicetunnel. Tverrsnittet har et utsprengt areal på 60 m². Dette tilsvarer teoretisk profil for Lieråsen tunnel som hadde et utsprengt areal på 58 m², se Figur 5-1: Tunnelprofil. Fra det driftshensyn er det tilstrekkelig med et areal innenfor normalprofilen på 25 m² (Bane NOR H, 2017).

Eksisterende bergsikring er vurdert som tilfredsstillende etter tiltak som nylig er utført. Vannsikring monteres ved behov og det er utført registreringer som viser at ca 30 % av tunnelen bør vannsikres (Bane NOR I, 2018). Det vil være plass til å montere vannsikring i eksisterende tverrsnitt på Lieråsen tunnel selv om det medfører at tverrsnittet blir noe mindre enn forslaget til tverrsnitt gitt i InterCity designbasis. Tverrsnittet vil i midlertidig være betydelig større enn kravet til driftshensyn. Nytt tunneltverrsnitt for servicetunnelen er vist i Figur 6-5: Normalprofil servicetunnel.



Figur 6-5: Normalprofil servicetunnel

Vegbanen asfalteres med en bredde på 6,0 meter. Det er tverrfall mot venstre i eksisterende Lieråsen med et drensssystem som tar den store vannføringen i tunnelen.

Det er vurdert at dette tverrsnittet er stort nok til ventilasjonsduker i hengen under anleggsperioden.

Ballastpukken beholdes som underbygning og det bygges kjørebane på underbygningen. Drenssystemet vurderes som tilfredstillende og det er ikke behov for å gjøre tiltak på dette. Det kan vurderes TV-inspeksjon for å verifisere at VA-anleggets funksjon er ivaretatt.

Det vil monteres porter i hver ende av servicetunnelen noe som gjør at det ikke vil være frostutsatt. Dette medfører at det kan vannsikres etter behov med en tunnelduk.

Tekniske rom, tverrpassasjer og føringsveier: Ved å utnytte servicetunnelen og tverrpassasjer som arealer for tekniske bygg, skap og føringsveier vil det ikke bli behov for nisjer i dobbeltsporstunnelen. Tekniske bygg plasseres i servicetunnelen med en maksimal avstand på 1500 meter (Bane NOR H, 2017). Dette er maksimal avstand med tanke på forskyning av lavspent fra trafoer inne i de tekniske byggene. Da det er maksimalt 1000 meter mellom tverrpassasjene medfører dette at 4 tekniske bygg må etableres der det ikke er tverrpassasje. Føringsveier for forskyning av strøm til dobbeltsporstunnelen etableres derfor i disse områdene med borhull.

Tekniske bygg vil ha høyspent-, lavspent-, tele-, signal- og ventilasjonsrom. Byggene er ca 100 m².

Adkomsttunneler/tverrslag: For denne løsningen for ny Lieråsen tunnel er det forutsatt til sammen 3 tverrslag, hvorav to er nye og et er eksisterende. Dette antallet er nødvendig for at det skal være realistisk å oppnå en byggetid som ikke er for lang. Alle tverrslagene vil få direkte tilknytning til den nye dobbeltsporstunnelen. Det mest optimale ville vært å knytte tverrslagene til servicetunnelen med tanke på drift- og vedlikehold og rømning i driftsfasen. Det tas ikke stilling til hvordan dette skal løses i denne oppgaven.

Det vil for tverrslagene legges til grunn samme tverrsnitt som for servicetunnelen, som vist på Figur 6-5: Normalprofil servicetunnel. Det er i dette tverrsnittet muligheter for 2-veistrafikk og ventilasjonsduker i hengen.

Tverrslagene er valgt ut ifra vurderinger knyttet til adkomst til området fra offentlig vei, plassering og avstand i forhold til hovedtunnel og mulige arealer som egner seg til midlertidige riggområder.

Mellom Dikemark/Eriksrud og Kjosmyra samt mellom Kjosmyra og Lier holdeplass er det få tilgjengelige veier inn til tunnelaksen og hovedsakelig kupert skogsterreng i dagen. Det vil kreve omfattende inngrep i naturen for å få på plass flere tverrslag på disse strekningene og vurderes som lite aktuelt.

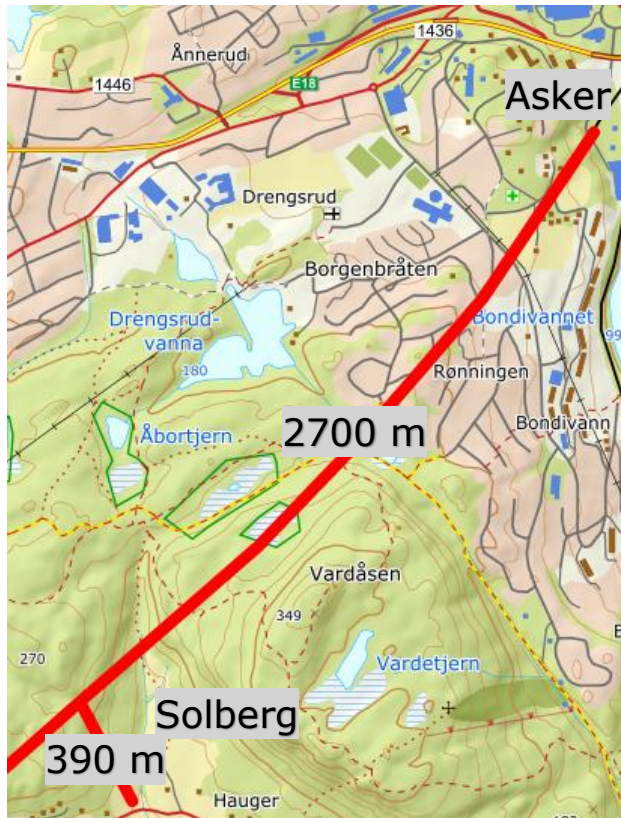
De ulike tverrslagene er listet opp i Tabell 9: Tverrslag:

Tabell 9: Tverrslag

Tverrslag	Lengde	Profil	Type tverrslag
Solberg (eksisterende)	390 m	2 700	Anleggs- og permanent adkomst/rømningsvei
Dikemark/Eriksrud	270 m	4 550	Anleggs- og permanent adkomst/rømningsvei
Kjosmyra	240 m	7 950	Anleggs- og permanent adkomst/rømningsvei

Det er ikke utført vurderinger knyttet til lengdefall ned til jernbanetunnelen. Det er vanlig å anta maks stigning/fall på 12,5 % (Bane NOR H, 2017). Det antas at dette er løsbart og skulle det vise seg at helningen på vegbanen blir for stor kan dette eventuelt løses ved å legg tverrslaget i en kurve for å oppnå en lenger tunnel. Dette vil redusere helningen på tunnelen siden det da blir en lenger vei å fordele høydemeterene på.

Figur 6-6 er et kartutsnitt som viser strekningen mellom Asker og Solberg og Figur 6-7 viser portalen til eksisterende tverrslag Solberg.

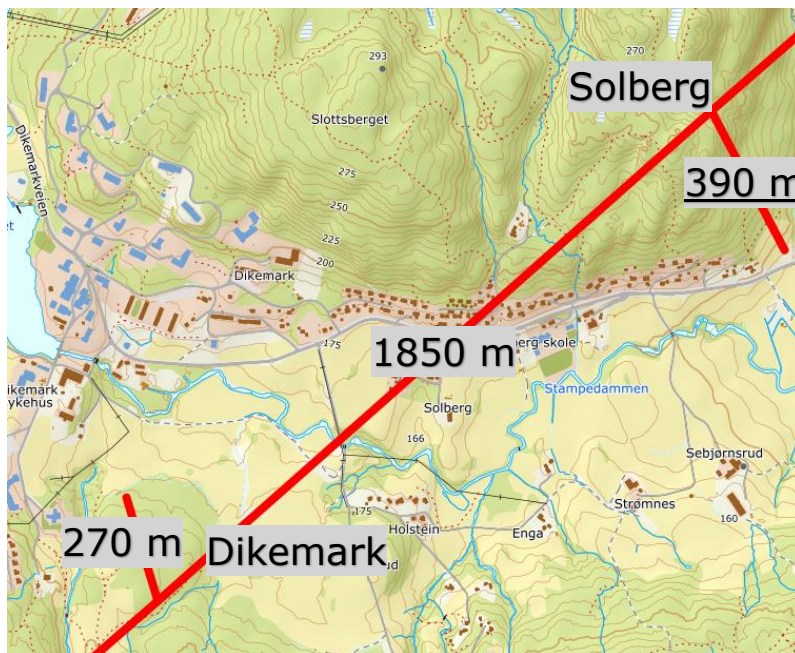


Figur 6-6: Asker – Solberg (Skjermdump norgeskart.no)



Figur 6-7: Tverrslag Solberg (Skjermdump google maps)

Figur 6-8 viser strekningen mellom Solberg og Dikemark med Figur 6-9 som viser en mulig tverrslagsplassinger for ny Lieråsen tunnel. Figur 6-10 viser antatt fjell i dagen like bortenfor foreslått tverrslag. Dette viser at det sannsynligvis ikke er langt ned til fjell i dette området og at etablering av et tverrslag er mulig.



Figur 6-8: Solberg - Dikemark (Skjermdump norgeskart.no)

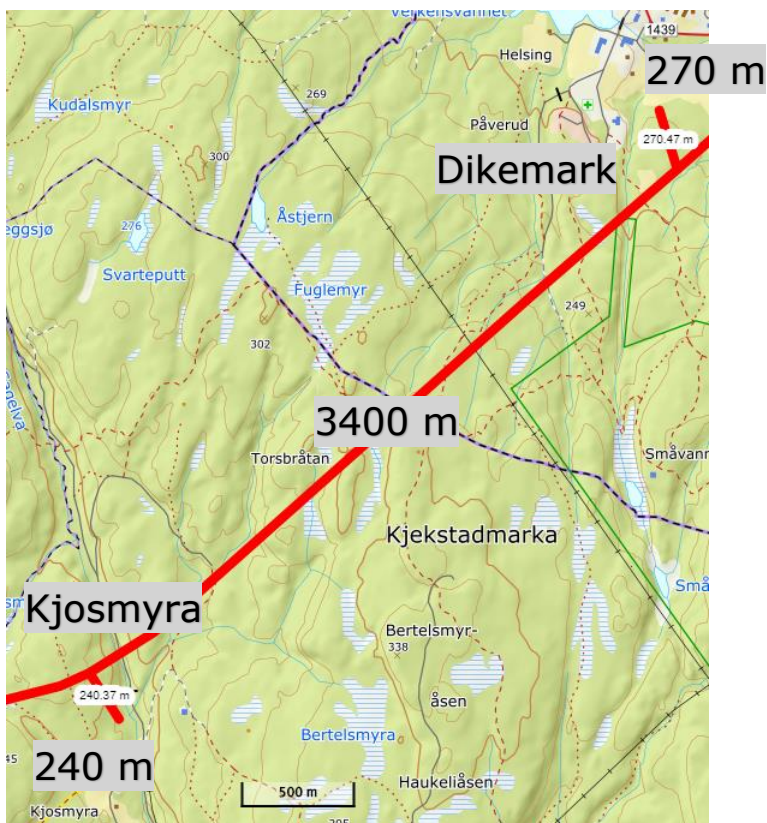


Figur 6-9: Påhuggsområde tverrslag Dikemark (foto: Thomas Seljordslia)



Figur 6-10: Antatt fjell i dagen ved tverrslag Dikemark (foto: Thomas Seljordslia)

Figur 6-11 viser strekningen mellom Dikemark og Kjosmyra. Figur 6-12 og Figur 6-13 viser henholdsvis mulig påhugg for tverrslag på Kjosmyra og et allerede opparbeidet mulig riggområde.



Figur 6-11: Dikemark - Kjosmyra (Skjermdump norgeskart.no)

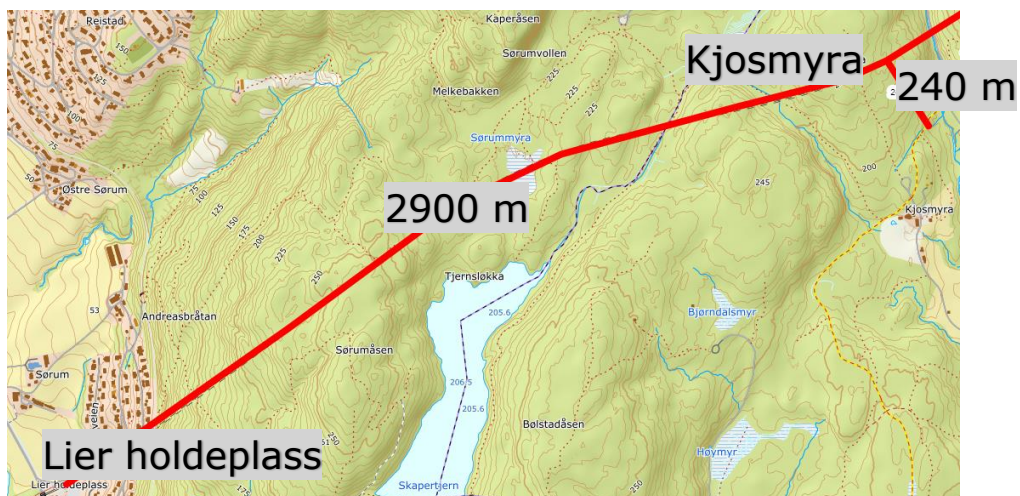


Figur 6-12: Påhuggsområde tverrslag Kjosmyra (foto: Thomas Seljordslia)



Figur 6-13: Riggområde tverrslag Kjosmyra (foto: Thomas Seljordslia)

Figur 6-14 viser siste delen av tunnelen som er strekningen mellom Kjosmyra og eksisterende Lier holdeplass.



Figur 6-14: Kjosmyra - Lier holdeplass

Dreneringssystem: Dreneringssystemet utføres i henhold til Teknisk designbasis for InterCity (Bane NOR N, 2019). Ny Lieråsen tunnel bygges med tilsvarende vertikalkurvatur som dagens løsning. Det medfører et høybrekk ca 500 meter inn i tunnelen. Tverrslagene dreneres inn i hovedtunnelen med tiltak i dagsonen slik at det ikke vil renne dagsonenvann inn i hovedtunnelen. Det vil være hensiktsmessig å føre vann fra den nye hovedtunnelen ut i servicetunnelen for hver 1000 meter. Dette kan bli utfordrende å få til med tanke på anleggsgjennomføring da ny tunnel må stå ferdig før den gamle tunnelen kan gjøres om til en servicetunnel. Det planlegges for sandfang for hver 160 m med spylekummer mellom sandfangene. For en jernbanetunnel vil drensvannet være rent i driftsfasen og drensvannet fra tunnelen kan føres ut i Lierelva. For drensvannet på Asker siden kan dette føres ut i Askerelva.

Det er utført frostmålinger for eksisterende Lieråsen tunnel. Målingene baserer seg på en trafikkmengde på ca 400 tog pr døgn og en hastighet på 130 km/h. Målingene viser at frosten trenger 2,5 kilometer inn fra portal Lier og 500 meter inn fra portal Asker (Bane NOR I, 2018). Det vil for ny Lieråsen tunnel være andre forutsetninger med tanke på tverrsnitt, trafikkmengde og dimensjonerende hastighet. Målingene fra eksisterende Lieråsen tunnel viser i midlertidig at frosten trenger lenger inn fra Liersiden, noe som kan forklares ved skorsteinseffekten. Dette har ikke innvirkning på vann- og frostsikringen, men påvirker frostisolering av drencsystemet i sålen.

6.3.2 Forutsetninger byggetid

Forutsetninger som er lagt til grunn for vurderinger knyttet til anleggsgjennomføring og byggetid:

- All boring og sprengning utføres ved konvensjonell boring og sprengning.
- Byggetiden er beregnet fra oppstart tilrigging inklusive etablering av forskjæringer til tunnelen (generelt 4 måneder).
- Etablering av tverrslag.
- Hovedtunnelen drives fra hvert tverrslag til to stuffer møtes. Dette inkluderer driving fra portal Asker og Lier.
- Støping av vann- og frostsikring følger etter drivingen med en avstand på minst 500 m og utføres fra to angrepspunkter (tverrslag eller Lier/Asker) til de møtes.
- Underbygning (bunnrensk, VA-kummer og rør samt ballast opp til formasjonsplan) skjer etter at all støping av vann- og frostsikring er utført.
- Jernbaneteknikk:
 - Sporbygging skjer fra en side.
 - Øvrig jernbaneteknikk skjer fra alle tilkomster.
- Bygging av servicetunnel skjer etter at dobbeltsporstunnelen er satt i drift. Arbeidene i servicetunnelen inkluderer
 - Fjerning av all eksisterende jernbaneteknikk (spor og ballast, KL-anlegg, lavspent, tele og signal-anlegg).
 - Vannsikring ved behov (antatt 50 %).
 - Etablering av kabelkanaler og føringsveier.
 - Oppbygning av vegbane.
- Antatt 101t/uke og 46 arbeidsuker per år

6.3.3 Byggetid

For å kunne beregne byggetid for konvensjonell driving er det ikke uvanlig å benytte ekvivalenttidsprinsippet. Ekvivalenttidsprinsippet går ut på at byggetiden kan justeres i forhold til usikkerhet knyttet til mengdene i kontrakten. De ulike partene i kontrakten enes om tidsbruk for ulike arbeidsoperasjoner og dermed kan fremdriften endres i forhold til dette. For arbeider i undergrunnen er dette et verktøy som hjelper til for å håndtere usikkerhet knyttet til grunnforhold og bergkvalitet (Nilsen , et al., 2012).

Denne oppgaven er på utredningsnivå og det er ikke utført vurderinger knyttet til hydrogeologi og geologi. Det er derfor ikke aktuelt å benytte ekvivalenttidsprinsippet i denne oppgaven. Følgende erfaringer legges til grunn for vurdering av tunneldrift (sprengning, sikring og injeksjon):

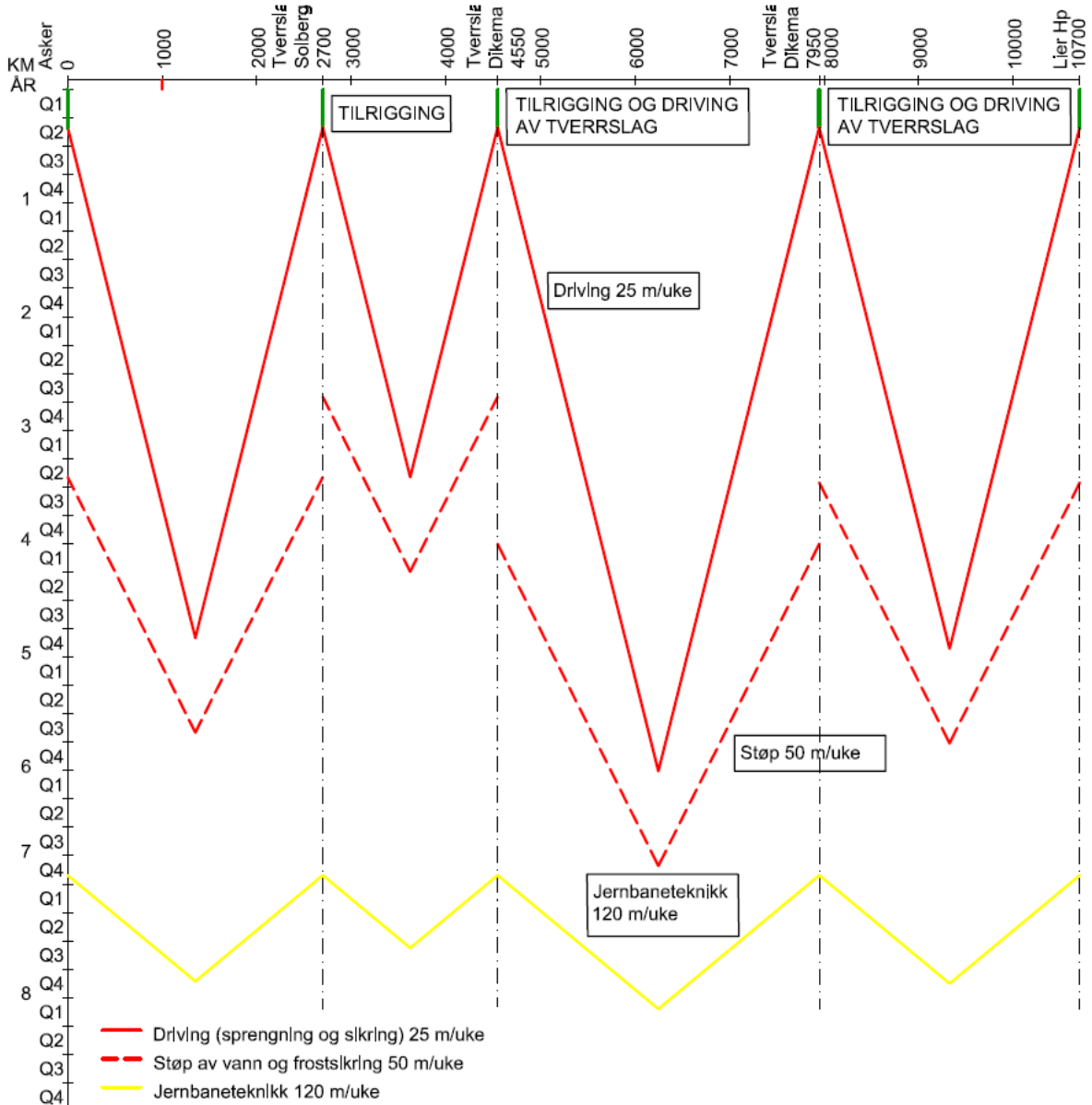
- Gjennomsnittlig tunneldrift Holmestrand ca 18 meter per uke. Dette er en tunnel med tilsvarende størrelse som InterCity-tverrsnittet som er tenkt benyttet i ny Lieråsen tunnel. Det var i Holmestrand betydelige mengder med forinjeksjon og stabilitetssikring (Bane NOR J, 2018)
- For den lange tunnelen mellom Jong og Sundvollen planlegges det for en tunneldrift fra 18-33 meter per uke. Det er på denne tunnelen omfattende sikringsbehov og strenge krav til innlekkasje (mye forinjeksjon). Her er det planlagt med InterCity-tverrsnitt.
- Fellesprosjektet langs Mjøsa planla for en tunneldrift på 25 meter pr uke. Her var det planlagt for lite injeksjon og tverrsnittet var tilsvarende InterCity-tverrsnittet.

Basert på disse erfaringene, samt kunnskap omtalt i kapittel 5.1 som viser at det er sannsynlig å møte utfordrende hydrogeologiske og geologiske forhold, antar jeg 25 meter per uke som gjennomsnittlig tunneldrift for ny dobbeltsporet Lieråsen tunnel.

For tverrslagene på 60 m² legges det til grunn en tunneldrift på 40 meter per uke.

En fordel med konvensjonell driving er at den kan starte opp relativt raskt etter at rigg området er etablert og forskjæringen er tatt ut. Fremdriften vil i stor grad avhenge av omfanget forinjeksjon og bergsikring samt eventuelle restriksjoner knyttet til rystelser og sprengningstider. Konvensjonell driving kan greie seg med relativt små riggområder. Riggområdet må ha plass til verkstedstelt, ventilasjonsvifter, vannrenseanlegg, sprøytebetongsiloer, noen lagercontainere og spise- og skiftebrakker. Selve hovedkontoret og hovedlageret kan ligge noe vekk fra selve anleggsområdet. Det er også mulig å tenke seg at bergrommet benyttes til noe av dette etter at det er etablert (Grendal et.al, 2014. KVVU Oslo navet).

For montering av jernbanetekniske fag som KL, spor, tele, signal og lavspent legges 120m/uke til grunn. Det antas at jernbaneteknikk kan begynne 1 måned etter at støping av vann- og frostsikring er ferdig. Det er utfordrende å ha både underbygningsarbeider og jernbanetekniske arbeider samtidig. Dette er sannsynlig at dette er to ulike entreprenøren og disse bør ikke jobbe i tunnelen samtidig av hensyn til SHA.



Figur 6-15: Skråplan konvensjonell driving

Estimert byggetid for omgjøring av eksisterende Lieråsen tunnel til servicetunnel er 18 måneder. Dette inkluderer 6 måneder til rivning av eksisterende jernbaneteknikk og 12 måneder til bygging av ny behovsprøvd vannsikring, elektro, drenering og veibane.

Estimert totalt byggetid for ny dobbeltsporet tunnel og ombygging av eksisterende tunnel til ny servicetunnel blir da:

$$96 \text{ måneder} + 18 \text{ måneder} = 114 \text{ måneder} = 9 \text{ år og } 6 \text{ måneder}$$

6.3.4 Forutsetninger kostnader

Forutsetninger som er lagt til grunn for vurderinger knyttet til kostnader:

- Kostnadene er entreprisekostnader (4. kvartal 2018).
- Kostnadene inkluderer arbeider knyttet til:
 - forinjiseringen av berget
 - tunneldrivingen
 - sikringen av berget
 - vann- og frostsikringen av tunnelen
 - installasjoner i grunnen
 - føringsveier
 - kummer
 - oppfylling til formasjonsplan
 - tekniske bygg og slusevegger
 - samt alle arbeider opp til formasjonsplanet
 - jernbaneteknikk (KL, lavspent og tele)
 - signal
- Som grunnlag for kostnadsestimatet er det benyttet Bane NORs kostnadsmodell for KVVU.

6.3.5 Kostnader

Dobbeltsporet jernbanetunnel: Bane NOR har utviklet en kostnadsmodell for InterCity strekningene (Bane NOR L, 2015). Kostandsarket kategoriserer 3 ulike modeller for tunnel dobbeltspor. Det er:

- C1 Tunnel dobbeltspor, enkle byggeforhold
- C2 Tunnel dobbeltspor, middels byggeforhold
- C3 Tunnel dobbeltspor, vanskelige byggeforhold

Store deler av tunnelen går ute i marka og trenger blant annet ikke ta hensyn til naboer med hensyn på sprengningsarbeider og rystelser. Erfaringer fra drivingen av eksisterende Lieråsen tunnel viser i midlertidig at det er sannsynlig å treffe på utfordrende driveforhold. Velger å beregne kategori C2 Tunnel dobbeltspor, middels byggeforhold, og C3 Tunnel dobbeltspor, vanskelige byggeforhold for ny Lieråsen tunnel.

Prisene i kostandsmodellene er opprinnelig fra 2015, men i beregningen er det indeksjustert til 2018 priser. Det er ikke tilgjengelig data for 2019 pr dags dato. I henhold til Statistisk sentralbyrå, SSB, sin statistikkbank for bygge-kostnadsindeks for veganlegg er prisveksten for 2015 på 2,7%, 2016 på 2,7 %, 2017 på 2,9% og 2018 på 4,5% (SSB, 2019). Følgende beregninger for å indeksregulere er utført for priser:

$$\text{Pris}_{2018} = \text{pris}_{2015} \times (1 + r_{2015}/100) \times (1 + r_{2016}/100) \times (1 + r_{2017}/100) \times (1 + r_{2018}/100)$$

Tabell 10: C2 Kostnader tunnel dobbeltspor, middels byggeforhold

C2	Tunnel dobbeltspor, middels byggeforhold		Kr
	Grunnarbeider tunnel (123 m ²) inkl. portaler, enkle grunnforhold /driveforhold	lm	110 000
	Kompletteringsarbeider tunnel 1 løp (v/f med kontaktstøp, underbygning)	lm	76 000
	Rømningstunneler, tverrslag, tverrpassasjer	lm	27 000
	Jernbaneteknikk unntatt signalanlegg	lm	45 000
	Signalanlegg	lm	9 000
	Sum entreprisekostnad, ekskludert 10 % uspesifisert samt rigg og drift og byggherrekostnad	lm	270 000

Tabell 11: C3 Kostnader tunnel dobbeltspor, middels byggeforhold

C3	Tunnel dobbeltspor, vanskelige byggeforhold		Kr
	Grunnarbeider tunnel (123 m ²) inkl. portaler, enkle grunnforhold /driveforhold	lm	195 000
	Kompletteringsarbeider tunnel 1 løp (v/f med kontaktstøp, underbygning)	lm	82 000
	Rømningstunneler, tverrslag, tverrpassasjer	lm	29 000
	Jernbaneteknikk unntatt signalanlegg	lm	45 000
	Signalanlegg	lm	9 000
	Sum entreprisekostnad, ekskludert 10 % uspesifisert samt rigg og drift og byggherrekostnad	lm	360 000

Det er vanlig med prosentvise påslag for uspesifisert (10%), entreprenørens rigg og drift (25%) og byggherrekostnad inkl prosjektering (27%).

Tabell 12: Basiskalkyle for C2 og C3

<i>Kostnadsmodell</i>	<i>Påslag (%)</i>	<i>C2 (kr/lm)</i>	<i>C3 (kr/lm)</i>
<i>Kostnad</i>			
Entreprisekostnad		270 000	360 000
+ Rigg og drift	25	270 000 x 0,25	360 000 x 0,25
+ Byggherrekostnad	27	270 000 x 0,27	360 000 x 0,27
= Totalt		410 400	547 200
+ Uspesifisert	10	410 400 x 0,1	547 200 x 0,1
= Basiskalkyle		451 440	601 920

Dagens Lieråsen tunnel er 10 700 meter og estimert pris basert på kostnadsmodell for InterCity blir:

Estimert basiskalkyle_{C2} = 10 700 lm x 451 400 kr/lm = 4,83 milliarder kr

Estimert basiskalkyle_{C3} = 10 700 lm x 601 920 kr/lm = 6,44 milliarder kr

Det har den siste tiden kommet inn nye tilbudspriser på InterCity prosjektet Drammen-Kobbervikdalen. Det informeres om at prosjektet omfatter 6 kilometer dobbeltsporet og 3 tverrslag tunnel til en kontraktsverdi av 1,96 milliarder kroner (NTB, 2019). Dette inkluderer ikke jernbaneteknikk men byggherre og prosjekteringskostnader. Kostnad pr løpemeter tunnel blir da:

1 960 000 kr/6000 m = 327 000kr/lm

Disse kostnadene ikke inkluderer jernbaneteknikk og signal. Følgende beregning for kostnadsmodell C2 og C3 uten kostnader for jernbaneteknikk og signal gir:

Tabell 13: C2 Kostnader tunnel dobbeltspor, middels byggeforhold uten jernbaneteknikk og signal

C2	Tunnel dobbeltspor, middels byggeforhold		Kr
	Grunnarbeider tunnel (123 m ²) inkl. portaler, enkle grunnforhold /driveforhold	lm	110 000
	Kompletteringsarbeider tunnel 1 løp (v/f med kontaktstøp, underbygning)	lm	76 000
	Rømningstunneler, tverrslag, tverrpassasjer	lm	27 000
	Sum entreprisekostnad uten jernbaneteknikk og signal, ekskludert 10 % uspesifisert samt rigg og drift og byggherrekostnad	lm	213 000

Tabell 14: C3 Tunnel dobbeltspor, vanskelige byggeforhold uten jernbaneteknikk og signal

C3	Tunnel dobbeltspor, vanskelige byggeforhold		Kr
	Grunnarbeider tunnel (123 m ²) inkl. portaler, enkle grunnforhold /driveforhold	lm	195 000
	Kompletteringsarbeider tunnel 1 løp (v/f med kontaktstøp, underbygning)	lm	82 000
	Rømningstunneler, tverrslag, tverrpassasjer	lm	29 000
	Sum entreprisekostnad, ekskludert 10 % uspesifisert samt rigg og drift og byggherrekostnad	lm	306 000

Tabell 15: Basiskalkyle for C2 og C3 uten jernbaneteknikk og signal

<i>Kostnadsmodell</i>	<i>Påslag (%)</i>	<i>C2 (kr/lm)</i>	<i>C3 (kr/lm)</i>
<i>Kostnad</i>			
Entreprisekostnad		213 000	306 000
+ Rigg og drift	25	213 000 x 0,25	306 000 x 0,25
+ Byggherrekostnad	27	213 000 x 0,27	306 000 x 0,27
= Totalt		323 760	465 120
+ Uspesifisert	10	323 760 x 0,1	465 120 x 0,1
= Basiskalkyle		356 000	511 000

Vi ser at kostnadsmodellen C2 uten jernbaneteknikk og signal gir en løpemeter pris på 356 000 kr. Sammenlignet med InterCity prosjektet Drammen-Kobbervikdalen er det sannsynlig at kostnadsmodell C2 kan legges til grunn for dette alternativet. InterCity prosjektet Drammen-Kobbervikdalen er et mer bynært prosjekt enn ny Lieråsen tunnel noe som kan føre til restriksjoner med tanke på sprengningsarbeider og rystelser, men en ny Lieråsen tunnel har større utfordringer med tanke på ingeniørgeologiske og hydrogeologiske forhold.

Omgjøring av eksisterende jernbanetunnel til servicetunnel:

Tabell 16: Riving og fjerning av eksisterende jernbaneteknikk. Priser (Norconsult, 2019)

<i>Objekt</i>	<i>Pris pr lm</i>	<i>Antall meter</i>	<i>Pris</i>
Kontaktledningsanlegg	150	10 700	1 600 600
Spor (skinner og sviller)	500	10 700	5 350 000
Signal og teleanlegg	150	10 700	1 600 000
Sum			8 550 000

Tabell 17: Bygging av ny servicetunnel. Priser (Norconsult, 2019)

<i>Objekt</i>	<i>Pris pr lm</i>	<i>Antall meter</i>	<i>Pris</i>
Vannsikring (duk)	15 000	10 700 x 0,3	48 150 000
Vegoppbygging (forsterkningslag, bærelag og asfalt)	2600	10 700	27 800 000
Kabelstige og lys	700	10 700	7 500 000
Sum			83 450 000

Totalt pris for riving og fjerning og bygging av ny servicetunnel blir

Entreprisekostnad = 8 550 000 + 83 450 000 = 92 000 000

Tabell 18: Basiskalkyle ny servicetunnel

<i>Kostnad</i>	<i>Påslag (%)</i>	<i>Pris</i>
Entreprisekostnad		92 000 000
+ Rigg og drift	25	92 000 000 x 0,25
+ Byggherrekostnad	27	92 000 000 x 0,27
= Totalt		139 840 000
+ Uspesifisert	10	139 840 000 x 0,1
= Basiskalkyle		153 824 000

For alternativ 2 blir:

Basiskalkyle_{total} = Estimert basiskalkyle_{C2} + Estimert basiskalkyle_{ny servicetunnel}

= 4,83 milliarder kr + 0,154 milliarder = 4,98 milliarder kroner.

I henhold til kapittel 2.1.4 skal et estimat på utredningsnivå ligge på +/- 40 % nøyaktighet.

6.3.6 Miljø

Landskapsbilde: En ny Lieråsen tunnel vil medføre inngrep i landskapet både på Asker- og Liersiden av tunnelen. På Askersiden er det i dag et stort område knyttet til jernbane og jernbanedrift og slikt sett endrer ikke dette prosjektet området med tanke på landskapsbilde. På Liersiden er det en holdeplass og en ny tunnel vil medføre at området må utvides. Det største inngrepet vil sannsynligvis bli utenfor tunnel og videre mot Drammen. Dette vil omfatte tiltak som veger, bruer, massedeponering og annen infrastruktur. Området er i dag hovedsakelig jordbruk. Dette drøftes ikke i denne da oppgaven kun omfatter tunnelen.

I områdene for tverrslag/rømningsveier vil det måtte etableres en portal og bedredskapsplass. Dette vil gi en lokal endring av landskapsbilde og her er det viktig at hensynet til estetikk sees i sammenheng med interesser knyttet til landbruksdrift, naturmangfold, nærmiljø og friluftsliv.

Friluftsliv/by- og bygdsliv: Anleggsarbeidene vil medføre økt belastning på nærmiljøet i form av støy, støv og trafikk. Ved tverrslagsområdene, spesielt Kjosmyra, er det mye turstier og skiløyper som vil kunne bli stengt eller som må legges om under anleggsdriften. Det er en barnehage ved tverrslag Dikemark som må hensyntas og det må legges til rette for at barna kan komme seg ut i skogen.

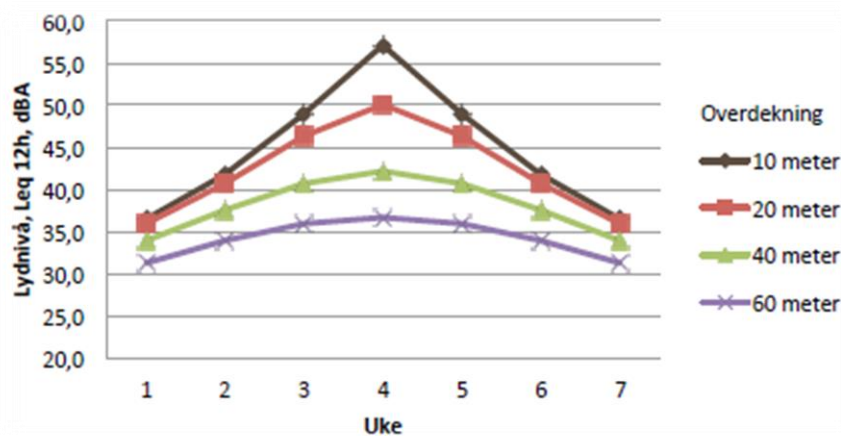
Naturmangfold: Anleggsarbeid i og i nærheten av naturområder som betegnes som viktige kan få konsekvenser både for det aktuelle området og for området langt unna. Det er viktig å påse at fremmede arter ikke spres i områder hvor det utføres tiltak verken til massehåndteringsområder eller jordbruksarealer. I anleggsperioden er det spesielt viktig å ta hensyn til Lierelva som er en av Norges beste sjørrerret elver samt at det finnes mye laks der (Lierelva fiskeforening, 2019). Det er ifølge miljødirektoratets naturbase registrert elvemusling, musvåk, laks, stær og nattergal i tiltaksområdet (Miljødirektoratet, 2019). Det antas at tiltaket ikke er i konflikt med fuglebestanden.

Kulturarv: I følge miljødirektoratets naturbase er det ikke registrert noen kulturminner i tiltaksområdene (Miljødirektoratet, 2019).

Naturressurser: En løsning med konvensjonell driving vil beslaglegge dyrka mark ved portal Lier og Dikemark. Ved Kjos vil riggområdet og plasseringen av tverrslaget kunne påvirke skogsdriften.

Støy og vibrasjoner: Det kan forventes at det vil være støyeksposering mot bebyggelse ved portal Asker og Lier. For arbeid på dagtid (0700-1900) er støykravet 65 dB for boliger, på kveldstid (1900-2300) er det 60 dB og på natt (2300-0700) er kravet maks 45 dB. Hvis der er støy over en lenger tidsperiode skjerpes støykravene (NFF, 2014).

Støy og vibrasjoner fra sprengning vil etter hvert avta ettersom drivingen kommer inn i berget. På Lier siden er det noe bebyggelse de første 100 meterene av tunneldrivingen. På Asker siden er det ca 1300 med driving før bebyggelsen over tunnelen blir borte. Det er i midlertidig slik at i starten av tunnelen er det hovedsakelig jorder over tunnelstrekningen. Ved etablering av påhugg vil det være støyende arbeider. Etter ca 300 meter inndrift når vi en overdekning på 40 meter. Fra Figur 6-16: Støynivå på dagtid får vi verdier på på under 45 dB. Da kan det antas at det ikke lenger er noe utfordring knyttet til støy fra boring og sprengning.



Figur 6-16: Støynivå på dagtid (NFF, 2014)

Det som vil skape støy gjennom hele byggeperioden er støy fra anleggeventilasjonen, arbeid knyttet til drift av riggområdet i dagen og massehåndtering herunder transport ut og inn av tunnelen. For de tre tverrslagene er det langt til nærmeste bebyggelse og det antas at det ikke er utfordringer knyttet til støy og vibrasjoner fra boring og sprengning. Tunnelstrekningen for øvrig går igjennom områder som er ubebygde og med stor overdekning.

Forurensning(luft/vann/jord): Det vil i anleggsfasen være arbeider med massehåndtering og massetransport som vil kunne medføre støvplager for omgivelsene. Dette gjelder hovedsakelig alle angrepspunktene, men det vil for Asker være flere som blir berørt. Det går store mengder vann i forbindelse med tunneldrift og dette vannet inneholder suspendert stoff, nitrogenforbindelser, oljeforbindelser og høy pH. Dette vannet skal i utgangspunktet alltid renses før det slippes ut til resipient. Overvann fra riggområder og masselager vil kunne by på store utfordringer, spesielt i perioder med mye regn.

Avfallshåndtering: I forbindelse med anleggsfasen vil det produseres ulike typer avfall. Det vil blant annet være produksjonsavfall fra riggområdene og slam fra renseanleggene for vann. Det er sannsynlig at det vil en del hogstavfall knyttet til etablering av tverrslag og riggområder.

6.3.7 RAMS

RAM: En parallell servicetunnel medfører at drift og vedlikehold får tilgang til mange komponenter som blant annet tekniske hus og teleutstyr uten å måtte kreve sportilgang. Forebyggende vedlikehold og akutt feilretting av strømforsyning, tele og signal kan skje fra servicetunnelen uavhengig av togtrafikken. På de fleste av dagens tunneler i InterCity foregår vedlikeholdet på hvite tider og øvrig sportilgang er meget begrenset. For en lang tunnel som Lieråsen vil en parallell servicetunnel også åpne for mulighet til å posisjonere seg på aktuelt sted ved en tverrpassasje i området hvor arbeidet skal utføres. Dette medfører at drift og vedlikeholdspersonell får utnyttet tilgjengelig tid til effektivt arbeid (Bane NOR H, 2017)

Det kan være aktuelt å benytte et vedlikeholdstog. Et slikt tog kan også rykke ut til akutte reparasjoner. Et vedlikeholdstog er å betrakte som et rullende sporverksted og gjør at togtrafikken kan passere uhindret på nabosporet (Hamnes, 2013).

Sikkerhet: Det er hovedsakelig en vurdering av selvevakueringsprinsippet og redningsfasen ved en brann som er aktuelt å se på i forbindelse med sikkerhet. Dette ivaretas ved å legge til rette for rømning ut av hovedtunnel for hver 1000 m, gangbane og håndløper med ledelys. På veggen monteres det rømingsskilter for hver 50 meter for å sikre at de som rømmer vet hvor langt det er til neste nødutgang. Det rømmes da til et sikkert område, servicetunnelen, som skilles fra hovedtunnelen med en sluse i tverrpassasjen. Det vil også monteres ulike kommunikasjonsmidler i tunnelen slik som GSM-R og TETRA samt vanlig kommersiell kommunikasjon GSM.

Ved en brann og/eller røykutvikling er erfaringen fra eksisterende Lieråsen tunnel at naturlig trekk går fra Lier mot Asker. Denne trekken kan forsterkes ved å montere ventilatorer som hjelper til å skyve luften i samme retning. Det vurderes som lite aktuelt å benytte styrt ventilasjon siden det allerede er en pipeeffekt i tunnelen som kan være vanskelig å motvirke. Innsats fra brann- og redningsetater bør derfor komme gjennom servicetunnelen og komme inn gjennom tverrpassasjer nedstrøms kilden til røyk. Det kan være aktuelt å montere en brannvannsledning eller en vanntank i tunnelen. Det er ikke vurdert her og det antas at brannvesenet selv bringer med seg vann på bilene siden de kan kjøre i servicetunnel.

For sammenstøt tog-tog er det ikke større sannsynlighet for dette i en dobbeltsporet tunnel med servicetunnel enn i hvilken som helt annen tunnel. Det som i midlertidig har noe forhøyet sannsynlighet er tog-objekt sammenstøt. Bevegelige deler fra kan komme seg fra servicetunnelen gjennom tverrpassasjen og ut i hovedsporet.

7 Vurdering av alternativene

Macias og Bruland (2014), som sitert i Jakobsen, et al. (2015), har identifisert 12 grupper med parametre som er med på å bestemme tunneldrivingsvalg. Jeg har i tillegg lagt til en gruppe 13 som vurderer RAMS.

For å kunne vurdere hvilket tunnelkonsept som egner seg best som løsning for ny Lieråsen tunnel er de 13 gruppene gitt en verdi fra 1 til 5. De gitte verdiene er en subjektiv vurdering utført av forfatteren av oppgaven basert på teori og diskusjon i denne oppgaven. Det vises til de foregående kapitlene for utfyllende informasjon om de ulike forholdene.

Tabell 19: Forklaring til verdiene som er brukt i vurderingen for viktige forhold

Verdi	Forklaring
5	Meget godt egnet
4	Godt egnet
3	Egnet
2	Lite egnet
1	Svært lite egnet

Tabell 20: Viktige forhold for valg av drivemetode

Nr	Viktige forhold for valg av drivemetode	Konvensjon ell driving	TBM	Begrunnelse
1	Prosjektdesign-kriterier			
1.1	Geometri og kurvatur	5	5	Linjeføringen for ny Lieråsen tunnel vil være tilnærmet lik dagens tunnel, det vil si store deler med rettstrekning og noe kurvatur. Begge drivemetodene vil aktuelle.
1.2	Tverrsnitt/tunnelstørrelse	5	3	Drivemetoden er tilpasset det aktuelle tunnelkonseptet. For dobbelt-sporet tunnel er konvensjonell driving best siden TBM med så stort tverrsnitt ikke er gunstig. For enkeltsporet tunnel kan begge metodene fungere,

				muligens et litt mindre tverrsnitt for TBM.
1.3	Tunnellengde	2	4	Konvensjonell driving av en så lang tunnel krever mange tverrslag. Området tunnelen går i har begrenset med tilkomster. For driving med TBM er lengden gunstig, muligens litt lang.
1.4	Mobilisering og riggtid	4	2	Konvensjonell driving krever kort tid for mobilisering. For en TBM er det det lang mobiliseringstid.
2	Bruk av tunnelen			
2.1	Kan sirkulært tverrsnitt benyttes	2	5	Sirkulært tverrsnitt kan benyttes for enkeltsporstunnelen. Det er sannsynligvis teknisk mulig å bygge en TBM med stor nok diameter til å tilfredsstille krav til dobbeltspor, men dette ansees som lite aktuelt på grunn av kostnader og fremdrift.
3	Helse, miljø og sikkerhet			
3.1	Lagring og håndtering av eksplosiver	2	4	Ved bruk av TBM unngår en seriøse ulykker knyttet til lagring og håndtering av eksplosiver. Det vil i midlertidig sannsynligvis være behov for noe bruk av eksplosiver ved TBM.
3.2	Bergsikring og sikkerhet under installering av dette	2	4	Et sirkulært tverrsnitt er det beste med tanke på stabilitet. En TBM

				påfører også berget mindre ødeleggelser enn konvensjonell sprengning.
3.3	Arbeidsmiljø (luft, støv)	3	3	Ved bruk av TBM unngår man sprenggasser som nitrogenoksid og dannelse av ammoniakk. Det er også vanlig å benytte transportbånd i motsetning til konvensjonell driving der det som oftest benyttes kjøretøy. Dette fører til mindre dieselgasser i tunnelen ved bruk av TBM. Begge metodene fører til luftforurensning i form av finpartikler som har en negativ innvirkning på tunnelarbeidernes helse.
4	Inndrift	2	4	Beregningen av inndrift tidligere i oppgaven viser at TBM gir best resultat. Det er i midlertidig mulig å bygge flere tverrslag for å øke antall stuffer for konvensjonell driving, men dette vil føre til store inngrep i Kjekstadmarka.
5	Fleksibilitet			
5.1	Fleksibilitet ved driving gjennom svakt berg	4	2	En TBM er nesten ikke fleksibel. Diameter blir bestemt i prosjekteringsfasen

				og kan ikke endres underveis. Konvensjonell driving kommer seg lettere igjennom soner med dårlig og varierende berg.
5.2	Fleksibilitet med endring av kurvatur og geometri	4	3	En TBM har i liten grad mulighet til å styre unngå dårlig soner. Dette er i midlertidig en jernbanetunnel og det er i utgangspunktet ikke noen mulighet for endringer av kurvatur og geometri utover det som er prosjektert.
6	Geologisk risiko og endring i bergmasse	5	3	Risiko for fastklemming stopp i drivingen er størst for en TBM. Ved stopp i drivingen er kostnaden større for en TBM. For bruk av TBM kreves det flere og grundigere geologiske undersøkelser og testing i planleggingsfasen. I områder med varierende bergmasser er konvensjonell driving det beste alternativet.
7	Stabilitet			
7.1	Massestabilitet under driving	4	5	Under normale forhold er et sirkulært profil det beste med tanke på stabilitet.
7.2	Vannlekkasjehåndtering	5	3	I områder med mye vann, og der vann under trykk, er konvensjonell

				driving det beste. Dette fordi denne metoden har fleksibilitet til å benytte seg av ulike metoder for å tette og sikre berget.
7.3	Bergspenninger og stabilitet	5	3	I områder med høyt bergtrykk kan en TBM få utfordringer med fremdrift.
7.4	Omfang av nødvendig bergsikring	2	4	Sprengning under konvensjonell driving fører til skader i berget rundt profilet. Dette medfører at det må betydelig mer sikring til for denne metoden sammenlignet med TBM.
8	«Arbeidskraft» og tilgjengelighet	3	5	Ved bruk av TBM er arbeidsmetodikken tilnærmet en industriell prosess.
9	Kostnader			
9.1	Design og prosjekteringskostnad	5	3	TBM krever flere og grundigere geologiske undersøkelser og testing i planleggingsfasen.
9.2	Investering i utstyr	5	2	En TBM krever store investeringer i starten av prosjektet. For en TBM er byggekostanden av selve TBMen og kapitalkostanden som kreves, høyere enn for konvensjonell driving.
9.3	Atkomstkostnader	2	5	Konvensjonell driving krever tilganger fra flere stuffer. En TBM

				krever ikke tverrslag.
9.4	Drivekostnader	3	4	Kostnaden ved konvensjonell driving ligger i selve drivingen.
10	Overmasse og støping med betong	2	5	En TBM etterlater en overflate uten noe overmasse. Ved konvensjonell driving kan det antas at profilet som etterlates er ujevnt. Dette medfører et større betongforbruk ved konvensjonell driving.
10.1	Konturkvalitet	2	5	En TBM etterlater en jevnt overflate der teoretisk og praktisk profil sammenfaller. Det er ikke tilfelle for konvensjonell driving.
10.2	Betongmengder for liningstøp eller tykkelse på elementer	2	5	Det er sannsynlig at betongmengdene er betydelig større ved konvensjonell driving enn ved bruk av TBM. Dette på grunn av overflaten de to ulike metodene etterlater seg.
11	Miljøpåkjenninger			
11.1	Støy og vibrasjoner	2	4	En TBM påfører omgivelsene mindre støy og vibrasjoner.
11.2	Miljøpåkjennning (CO2 ekvivalenter eller tilsvarende)	3	4	
11.3	Sprenggasser	2	5	
12	Adkomst til anlegg (veiløst, anleggsvei o.l.)	2	5	Ved bruk av TBM vil det ikke være behov for anleggsveier bortsett fra ved angrepspunktet og

				sluttpunktet. For konvensjonell driving vil behovet for tilkomster og anleggsveier være stort.
13	RAMS (eget punkt)	5	5	Når tunnelen er ferdig vil begge de to aktuelle konseptene etterlate seg et anlegg som både tilfredsstillende kravet til drift og vedlikehold og sikkerhet.
SUM		94/29=3,5	114/29=4	

Her er alle forholdene vektet likt. Det er sannsynlig at kostnader og fremdrift vil være avgjørende faktorer og de burde slikt sett vært vektet med en større viktighet enn mange av de andre punktene. Ut fra gjennomsnittsverdien i Tabell 20 kommer TBM ut som 'Godt egnet' og konvensjonell driving ut som 'Egnet'. På bakgrunn av de gitte verdiene er bruk av TBM den beste metoden for driving av ny Lieråsen tunnel. Det er ikke stor forskjell mellom den gjennomsnittlige verdien på de to metodene/konseptene og begge metodene/konseptene vil sannsynligvis være aktuelle.

Basert på erfaringene fra driving av eksisterende Lieråsen tunnel vet vi at traseen til ny Lieråsen tunnel må gå igjennom to markerte knusningssoner. Tunnelen vil gå igjennom noe varierende bergarter men hovedsakelig er det granitt. Det er igjennom traseen sannsynlig å treffe på til tider store mengder vann og svelleleire. Det er derfor knyttet stor risiko til bruk av TBM. Erfaringene og beskrivelsene av de geologiske forholdene er utført tilbake på 1960 og 1970 tallet. Det har vært store teknologiske fremskritt og Norge har i den perioden opparbeidet seg betydelig kunnskap om tunneldrift. Dette har hovedsakelig vært knyttet til konvensjonell driving, men den siste tiden har det vært store kraft- og samferdselsprosjekter som har benyttet TBM. Det har ikke i denne oppgaven vært utført noen testing av bergartsegenskaper. Det vil for videre planlegging være nødvendig med grundige undersøkelser for videre kunne komme frem til en anbefalt metode.

TBM vil for dette prosjektet totalt sett være bedre med tanke på ytre miljø på grunn av tunneltraseen beliggenhet under Kjekstadmarka. Ved bruk av TBM vil byggetiden ha kortere byggetid en konvensjonell driving basert de på de forutsetningene som er gjort med angrepspunkter i oppgaven. Dette forutsetter at det ikke oppstår uønskede hendelser.

Kostnader, er sammen med fremdrift, to av de viktigste faktorene som vil være avgjørende for valg av drivemetode. Estimeringen tidligere i denne oppgaven viser at TBM vil være 1,8 milliarder dyrere enn konvensjonell driving. Dette betyr at TBM vil være ca 35 % dyrere enn konvensjonell driving. Det vil ved bruk at TBM være sannsynlig at kostnadsforskjellen kan bli større på grunn av lavere fleksibilitet og høyere risiko.

Videre geologiske undersøkelser kan redusere denne risikoen og gjøre TBM mer attraktiv. Risiko har stor innvirkning på byggetid og kostander, derfor bør dette være forhold som vektlegges høy ved valg av drivemetode.

Det er ved begge tunnelkonseptene tenkt at eksisterende Lieråsen tunnel skal benyttes. Begge konseptene tilfredsstillter kravene gitt i InterCity-designbasis og krav til sikkerhet. Det er derfor ikke selve konseptet som blir avgjørende for valget, men heller selve drivemetoden.

Med den kunnskapen som er tilgjengelig i dag er det vanskelig å komme til en klar konklusjon for valg av drivemetode for ny Lieråsen tunnel. Gitt at videre undersøkelser viser at TBM er en metode som lar seg gjennomføre vil det sannsynligvis være den beste metoden. Behovet for en ny Lieråsen tunnel vil trolig komme snart og med betydelig kortere byggetid fremstår TBM som et gunstig valg. Det er også avgjørende at TBM vil kunne benyttes uten å gjøre store inngrep i Kjekstadmarka. Det er lite sannsynlig å benytte løsningen med antall tverrslag som er foreslått i denne oppgaven da byggetiden blir så nesten 10 år. Den eneste metoden å få ned denne byggetiden på er å etablere flere angrepspunkt/tverrslag.

Videre bør det vurderes å be om tilbud for begge de aktuelle metodene TBM og konvensjonell driving slik at en kan velge det mest gunstige tilbudet uavhengig av drivemetode.

8 Konklusjon

8.1 Konklusjon

Det har i denne masteroppgaven blitt diskutert tunnelkonsept og drivemetode for ny Lieråsen tunnel. Begge tunnelkonseptene tilfredsstiller kravene som blir gitt i InterCity designbasis og vurderingene knyttet til RAMS. Når det gjelder drivemetode er det blitt vurdert at TBM sannsynligvis er den mest aktuelle drivemetoden. Det virker som både TBM og konvensjonell metode er aktuelle basert på den kunnskapen vi har i dag. Det er diskutert fordeler og begrensninger utfra blant annet geologiske forhold, ytre miljø, byggetid, kostnader og RAMS. De viktigste funnene er:

- *Geologiske forhold:* Data og erfaringer fra driving av eksisterende Lieråsen tunnel tyder på at begge metoder kan benyttes. Det knytter seg større risiko til bruk av TBM siden det er en lite fleksibel metode ved uønskede hendelser. Sannsynligheten for fastklemming er vesentlig større for enn for konvensjonell driving. Et driftsstopp for TBM har betydelig større kostnader enn for konvensjonell driving på grunn av den høye innkjøpsprisen. Det vil i midlertidig kreve betydelige forundersøkelser. Dette vil også gi et bedre utgangspunkt for å kunne forutse og håndtere uønskede hendelser og dermed redusere risikoen. Dette må utføres før en endelig konklusjon kan besluttes.
- *Miljø:* Driving med TBM vil påvirke det ytre miljøet i mindre grad enn ved konvensjonell driving. Den største årsaken til det er at behovet for tverrslag ikke er tilstede slik som ved konvensjonell driving. Vanligvis viser miljøregnskap at CO₂-utslippet er noe lavere for TBM sammenlignet med konvensjonell driving. Ved bruk av TBM er det lite utslipp knyttet til sprengning og anleggsmaskiner. Det er benyttes også mindre materialer til sikring ved bruk av TBM.
- *Byggetid:* Estimaten for inndrift og byggetid i oppgaven viser at TBM har betydelig kortere byggetid enn konvensjonell driving. Det er estimert 9 år og 6 måneder for konvensjonell driving og 7 år og 5 måneder for TBM.
- *Kostnader:* For konvensjonell driving viser kostnadsestimatet 4,98 milliarder NOK mens for TBM er estimatet 6,77 milliarder NOK.

Basert på diskusjonen i denne masteroppgaven er tunnelkonseptet med 2 enkeltsporstunneler hvorav den ene er drevet med TBM den anbefalte metoden, det vil si alternativ 1.

8.2 Anbefalinger for videre arbeid

Videre undersøkelser og ytterligere vurderinger anbefales utført for å kunne være mer sikker på valg av tunnelkonsept og drivemetode. Det er i denne oppgaven gjort vurderinger på utredningsnivå og det vil på flere områder være aktuelt å utføre grundigere detaljprosjektering før en endelig anbefaling kan besluttes.

Det bør blant annet utføres flere forundersøkelser for geologi som blant annet:

- Grunnvannstand.
- Bergartenes borsynk- og slitasjeegenskaper samt oppsprekkingsgrad. Det bør tas prøver fra området og med tilgangen som finnes gjennom eksisterende tunnel bør det være mulig å få gode data.
- Videre kartlegging av svakhetssoner.
- Kartlegging og testing av svelleleire.

- Oppsprekking (avstander mellom sprekker/stikk og orientering)

Det vil i forbindelse med drivingen bli store mengder av overskuddsmasse. For de to drivemetodene vil en få to ulike fraksjoner, men for TBM vil det være mer finstoff. Det antas at noe av overskuddsmassene kan benyttes som tilslag i betongen. Videre geologiske undersøkelser vil vise om dette er sannsynlig. Videre håndtering og plassering av overskuddsmasser vil kreve god planlegging. Det vil være positivt å kunne bruke materiale til formål i nærmiljøet.

Det anbefales også arbeid med forhold knyttet til risiko, sårbarhet og samfunnssikkerhet. Dette i henhold til krav i plan- og bygningsloven.

Det vil også i de videre arbeidene være nødvendig å gjøre vurderinger knyttet til miljøbudsjett. Resultatene fra disse analysene vil være viktig som beslutningsgrunnlag for valg av tunnelkonsept og drivemetode.

Referanser

- Arbeidstilsynet, 2014. *Forskrift om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter*. Oslo: Arbeidstilsynet.
- Backer, L., Vikane, K. & Woldmo, O., 2011. *Injeksjon og hensyn til omgivelsene*, Trondheim: NTNU.
- Bane NOR A, 2017. *Vedtekter for Bane NOR*. s.l.:Bane NOR.
- Bane NOR B, 2017. *Håndbok for RAMS*. s.l.:Bane NOR.
- Bane NOR C, 2017. *Fagrapport ingeniørgeologi*, s.l.: Bane NOR.
- Bane NOR D, u.d. *Slik bygges jernbanetunneler*. s.l.:Bane NOR.
- Bane NOR E, u.d. *Jernbanekompetanse*. [Internett]
Available at: <https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Forside>
[Funnet 20 September 2019].
- Bane NOR F, 2017. *Håndbok for estimering av kostnader for investeringstiltak*. s.l.:Bane NOR.
- Bane NOR G, u.d. *Bane NOR prosjekteringsveileder*. [Internett]
Available at: <https://proing.opm.jbv.no/wiki/start>
[Funnet 15 September 2019].
- Bane NOR H, 2017. *Ringeriksbanen. Fagrapport tunnel. Strekning 1*, s.l.: Bane NOR.
- Bane NOR I, 2018. *Rehabilitering Lieråsen tunnel. Detaljplan*, s.l.: Bane NOR.
- Bane NOR J, 2018. *Fellesprosjektet Ringeriksbanen og E16. Vurdering av drivemetoder*, s.l.: Bane NOR.
- Bane NOR K, 2018. *Fellesprosjektet Ringeriksbanen og E16. Fagrapport anleggsgjennomføring og drivemethode*, s.l.: Bane NOR.
- Bane NOR L, 2015. *Kostnadsmodell for InterCity*. s.l.:Bane NOR.
- Bane NOR M, 2019. *Tekniske regelverk*. [Internett]
Available at: <trv.jbv.no/wiki/Forside>
[Funnet 30 Oktober 2019].
- Bane NOR N, 2019. *Teknisk designbasis for InterCity-strekningene*. s.l.:Bane NOR.
- Bane NOR O, 2013. *Håndbok i miljøstyring*. Oslo: Bane NOR.
- Bane NOR P, 2016. *banenor.no*. [Internett]
Available at: www.banenor.no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2016/lierasen-tunnel-skal-fornyes/
[Funnet 30 November 2019].
- Bane NOR Q, 2019. *STY-603204. Tidligfaseverktøy klima v.2.0 rev 003. Beregning av klimapåvirkning og andre utslipp fra utbygging og vedlikehold av jernbaneinfrastruktur*. s.l.:Bane NOR.

- Bane NOR R, 2006. *Rehabilitering av fjellsikring i Lieråsen tunnel, byggeplan*, s.l.: Bane NOR.
- Bane NOR S, 2008. *Vurdering av drivemetode for tunnelen på Follobanen*, s.l.: Bane NOR.
- Bane NOR T, u.d. *banenor.no*. [Internett]
Available at: <https://www.banenor.no/contentassets/9eac907f17454cbb9dacff4abf2df461/slik-bygges-jernbanetunneler---jbv.pdf>
[Funnet 15 Januar 2020].
- Barton, N., 1999. TBM performance estimation in rock using QTBM. *Tunnels&Tunneling International*, September, p. 4.
- Barton, N., 2000. *Rock mass classification for choosing between TBM and drill-and-blast or a hybrid solution*, s.l.: www.nickbarton.com.
- Befaring 2005, u.d. *Norconsult arkiv*, s.l.: s.n.
- Beitnes, A., 2000. Oppgradering av Lieråsen tunnel. *Fjellsprengningsteknikk*.
- Bentzrød, S. B., 2019. *Aftenposten*. [Internett]
Available at: www.aftenposten.no/norge/i/WbxOd2/Bane-Nor-Det-kunne-vart-gjort-mer-arbeid
[Funnet 2 Oktober 2019].
- Borge, K., Kompen, R. & Kveen, A., 2010. *Arbeider foran stuff og stabilitetssikring i vegtunneler*, Oslo: Statens vegvesen.
- Brekkehus, A., 2019. *bygg.no*. [Internett]
Available at: www.bygg.no/article/1408644
[Funnet 30 September 2019].
- Chapman, D., Metje, N. & Stärk, A., 2010. *Tunnel construction*. Første utgave red. London: Spon Press.
- Dahlstrøm, O. et al., 2014. *Teknisk rapport 16. anbefalte retningslinjer for utarbeidelse av miljøregnskap for tunneler*, Oslo: Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk.
- Dahlstrøm, O., Korsmo, A.-R. & Graarud, E., 2012. *Veileder for utarbeidelse av Miljøbudsjett for jernbaneinfrastruktur*, Oslo: Bane NOR.
- Engen, O. A., Tveiten, V., Andreassen, F. & Høsøien, C. O., 2014. *Støy fra bygge- og anleggsvirksomhet*, s.l.: Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk.
- Finansdepartementet, 2010. *Målstruktur og målformulering. Veileder nr. 10*. s.l.:Finansdepartementet.
- Fossen, H., 2018. *Store norske leksikon*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/bergarter>
[Funnet 12 Oktober 2019].
- Grendal, A., Johansen, T. & Boge, K., 2014. *Konvensjonelle drivemetoder*, s.l.: s.n.
- Grøv, E., 2006. *Ingeniørgeologiske undersøkelser*, Trondheim: NTNU.

- Hamnes, L., 2013. *Teknisk ukeblad*. [Internett]
Available at: www.tu.no/artikler/her-er-jernbane-norges-nye-stolthet/234284
[Funnet 7 November 2019].
- Heltzen, A. M., Moxon, S. & Schach, R., 1969. *Stabilitetsundersøkelser for sikringsarbeider i Lieråsen tunnel*, Oslo: Kontor for Fjellsprengningsteknikk.
- Herrenknecht, 2019. *herrenknecht.com*. [Internett]
Available at: www.herrenknecht.com/en/products/productdetail/gripper-tbm/
[Funnet 13 Oktober 2019].
- Holen, H., 1998. *TBM vs Drill & blast tunneling*, s. 95-98, s.l.: Norsk forening for fjellsprengningsteknikk.
- Huseby, F. C. A., 1968. *Lieråsen tunnel, del II: Geofysiske og videre geologiske undersøkelser*, s.l.: NSB.
- Håland, G., 1970. *Erfaringer fra sikringsarbeider i Lieråsen tunnel*, s.l.: Norges statsbaner.
- Iversen, E., 2011. *Geologiske forundersøkelser for tunnel*, Oslo: NTNU.
- Jakobsen, P. D. & Arntsen, M. L., 2014. *Bruk av TBM til driving av vegtunneler i Norge*, s.l.: Statens vegvesen.
- Jakobsen, P. D. et al., 2015. *Kort innføring i bruk av TBM*, s.l.: NFF.
- Keiding, K. J. & Libach, R. L., 2016. *Undersøkelser av pukk i Røyken kommune*, s.l.: Norges geologiske undersøkelser.
- Knudsmoen, M., 2015. *Erfaringer med kontaktstøp med membran som V/F sikring*, s.l.: Norconsult AS.
- Lierelva fiskeforening, 2019. *www.lierelva.com*. [Internett]
Available at: <http://www.lierelva.com/info.php>
[Funnet 23 November 2019].
- Miljødirektoratet, 2019. *www.miljodirektoratet.no/*. [Internett]
Available at: kart.naturbase.no/
[Funnet 23 November 2019].
- Multiconsult og KGRE, 2018. *Notat. Ringeriksbanen, tunnelkonsept og drivemetode*, s.l.: Multiconsult og KGRE.
- N500 Vegtunneler, 2016. s.l.: Statens vegvesen.
- NAOB, 2019. *Det Norske akademis ordbok*. [Internett]
Available at: <https://www.naob.no/ordbok/abrasjonstest>
[Funnet 12 Oktober 2019].
- NFF, 2014. *Støy fra bygge- og anleggsvirksomhet. Tekniske rapport 15*, s.l.: Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk.
- Nilsen, F., Haug, G. R. & Grøv, E., 2012. *Contracts in Norwegian tunneling. Publication No.21*, s.l.: Norsk forening for Fjellsprengningsteknikk.

Nilsen, B., 2017. *Norges berggrunnsgeologi, bergartsegenskaper, svelleleire*, Trondheim: NTNU.

Norconsult, 2019. *Prisbank*. s.l.:s.n.

NSB, 1973. *Sluttrapport for Drammensbanen*, Oslo: NSB.

NTB, 2019. *Aftenposten*. [Internett]

Available at: www.aftenposten.no/okonomi/i/QoKjrJ/milliardkontrakt-paa-vestfoldbanen-tildelt-veidekke

[Funnet 11 November 2019].

NTP, 2017. *Meld.St.33. Nasjonal transportplan 2018-2029*, OSlo: Det Kongelige Samferdselsdepartement.

Ongstad, A., u.d. *TBM for dummies*. s.l.:Norconsult.

Palmstrøm, A., Nilsen, B., Pedersen, K. B. & Grundt, L., 2003. *Riktig omfang av undersøkelser for berganlegg*, s.l.: Vegdirektoratet.

Regjeringen A, 2016. *Retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging (T-1442/2016)*. Oslo: Regjeringen.

Regjeringen B, 2019. *Regjeringen.no*. [Internett]

Available at: https://www.regjeringen.no/no/tema/transport-og-kommunikasjon/jernbane_og_jernbanetransport/gods-pa-bane/id2344802/

[Funnet 2 Oktober] 2019].

Skjøelås, P. K., 2005. Rehabilitering av Lieråsen tunnel-10 års erfaringer. *Fjellsprenningsteknikk*.

SSB, 2019. *SSB*. [Internett]

Available at: www.ssb.no/statbank/table/08658/

[Funnet November 12 2019].

Statnett, 2018. *Nettplan Stor-Oslo. Kabelforbindelse Sogn-Ulven*, s.l.: Statnett/Norconsult.

Svingheim, N., 2017. *jernbanedirektoratet.no*. [Internett]

Available at: www.jernbanedirektoratet.no/no/aktualiteter/2018/2017/lierasen-tunnel-oppgrades

[Funnet 01 Oktober 2019].

SVV, 2016. *Planbeskrivelse rv. 23 Dagslett-Linnes*, s.l.: Statens vegvesen.

SVV, 2017. *Statens vegvesen. Evaluering av pilotprosjekter-innen økologisk kompensasjon. Rapport nr. 474*, s.l.: Statens vegvesen.

Søyland, K. et al., 2017. *Bærekraftige konstruksjoner. Rapport 428*, Sandvika: Statens vegvesen, Vegdirektoratet.

Teknisk regelverk, 2019. *Teknisk regelverk*. s.l.:Bane NOR.

Weideborg, M. et al., 2009. *Teknisk rapport 09. Behandling av utslipp av driftsvann fra tunnelanlegg*, s.l.: Norsk Forening for Fjellsprenningsteknikk.

Zare, S., Bruland, A. & Rostami, J., 2016. *Evaluating D&B and TBM tunneling using NTNU prediction models*, s.l.: Tunneling and underground.

