

Eidangertunnelen

Valg av drivemetode ved forsering av kritisk sone

Michael Einarson

Bygg- og miljøteknikk (2-årig)

Innlevert: juni 2014

Hovedveileder: Amund Bruland, BAT

Medveileder: Pål Drevland Jakobsen, BAT
Ketil Myklebost, Implenia Norge AS

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport



| | | | |
|--|--|---|------------------------|
| Oppgavens tittel: Eidangertunnelen Valg av drivemetode ved forsering av kritisk sone | Dato: 06.06.2014 | | |
| | Antall sider (inkl. bilag): 147 | | |
| | Masteroppgave | x | Prosjektoppgave |
| Navn: Michael Einarson | | | |
| Faglærer/veileder: Professor Amund Bruland ved Institutt for bygg, anlegg og transport | | | |
| Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Assisterende prosjektleder Ketil Myklebost, Implenia Norge AS | | | |

| |
|--|
| Ekstrakt: <p>Masteroppgaven er skrevet i forbindelse med jernbaneprosjektet UFP-08 Eidanger. UFP-08 Eidanger er en av fire grunnentrepriser i parsellen Farriseidet-Porsgrunn. Det er Implenia Norge AS som er den utførende part i prosjektet. Hovedutfordringen er den kritiske sonen ved Tveitanlia. Lengden på den kritiske sonen vil variere i forhold til valg av drivemetode og den vil ha en lengde på 30-50 m. Minste masseoverdekning over tunnelhenget vil ligge på ca. 8,0 m. Den komplekse forseringen av den kritiske sonen og typen prosjekt er i tråd med at Implenia Norge AS ønsker å bli ledende innen komplekse infrastrukturprosjekter.</p> <p>Den kritiske sonen er en av mange utfordringer en anleggsentreprenør har å jobbe med. Det er derfor viktig å være løsningsorientert under slike situasjoner. Min oppgave er å vurdere seks ulike drivemetoder i forbindelse med den kritiske sonen. I en bransje som er opptatt av god økonomistyring og et godt HMS-arbeid vil drivemetodene i utgangspunktet vurderes innen disse hovedkriteriene.</p> |
|--|

Stikkord:

| |
|-----------------|
| 1. Kriterier |
| 2. Drivemetoder |
| 3. Ressursbruk |
| 4. Risiko |

(sign.)

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet av Michael Einarson ved Institutt for bygg, anlegg og transport ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim våren 2014. Omfanget av oppgaven er 30 studiepoeng og oppgaven er en avsluttende del av mastergraden. Rapporten er utarbeidet som et selvstendig studie med faglig veiledning fra Professor Amund Bruland. Oppgaven er skrevet i samarbeid med anleggsentreprenøren Implenia Norge AS hvor Ketil Myklebost er min faglige kontaktperson.

Tunnelbygging i områder med lav fjelloverdekning byr på mange utfordringer. En av hovedutfordringene er å velge riktig metode til å forsere den kritiske sonen. Implenia Norge AS har vurdert alternative metoder og i oppgaveperioden tok de sitt valg av metode. I min oppgave vil jeg redegjøre for metodene og hvilke kriterier som er av betydning relatert til kritisk sone ved Tveitanlia.

Jeg ønsker å takke assisterende prosjektleder Ketil Myklebost og teknisk direktør Anton Brandtzæg i Implenia Norge AS for faglig innspill og tilrettelegging av oppgaven. Ønsker også å rette en takk til Professor Amund Bruland for faglig veiledning.

Trondheim, 06.juni 2014

Michael Einarson

Sammendrag

Entreprisen UFP-08 Eidanger er et komplekst jernbaneprosjekt som er en av fire grunnentrepriser i parsell nr. 12 mellom Farriseidet-Porsgrunn. Eidangertunnelen er hoveddelen i entreprisen UFP-08 Eidanger. Den største utfordringen for prosjektet er den kritiske sonen ved Tveitanlia.

Den kritiske sonen består av lav fjelloverdekning med en minste masseoverdekning på 8,0 m. I forbindelse med kartlegging av terrenget har det blitt gjennomført gode forundersøkelser i prosjektet. Det å få kartlagt den kritiske sonen i god tid før utførelsen har åpnet flere valgmuligheter med å forsere den kritiske sonen. Denne oppgaven skal vurdere seks ulike drivemetoder i forbindelse med den kritiske sonen. Det er lagt vekt på å vurdere metodene med hensyn på kriteriene: teknikk, ressursbruk/framdrift, miljø og risiko. TBM driften ble tidlig eliminert av den enkle grunn at tunnallengden er for kort til at den kan være konkurransedyktig på pris i forhold til konvensjonell drift. Drivemetodene jetpel og frysing ble også tidlig eliminert i forhold til kriteriene.

En viktig del av oppgaven vil være å tilegne seg kompetanse innen de ulike drivemetodene. Den tilegnede kompetansen vil senere i oppgaven brukes til å bearbeide de andre kriteriene. For hver drivemethode vil det komme et forslag på hvordan en kan løse forseringen ved Tveitanlia.

Arbeidet med å beregne hvor lang tid det vil ta å forsere den kritiske sonen har en utarbeidet gjennom tallmateriale fra Implenia Norge AS. I beregningene er tunnelverrsnittet på $152,2\text{m}^2$ likt for alle drivemetodene. Lengden på den kritiske sonen varierer med valget av drivemethode.

Med drivemetoden "cut and cover" inngår det store mengder med graving og sprengning av den kritiske sonen fra dagen. Her må store mengder med masser mellomlagres på anlegget. En slik løsning vil gi en betydelig høyere risiko for at en uønsket hendelse skal finne sted. Med drivemetodene rørparaply og Ischebeck spilingbolter reduseres risikoen grunnet arbeid i fra tunnelen.

Resultatene fra de vurderingene som har blitt gjort i oppgaven viser at metoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter er det beste valget til å forsere den kritiske sonen. De fire hovedkriteriene i at denne metoden velges fremfor de andre er: Helheten av den tekniske løsningen (teknikk), ferdigstillestiden (ressursbruk/framdrift), risikoanalysen (risiko) og at arbeidet gjøres i fra stuff (miljø).

Summary

The contract UFP-08 Eidanger is a complex railway project and it's one of four basic contracts in parcel no. 12 between Farriseidet-Porsgrunn. The Eidanger tunnel is the main part of the contract UFP-08 Eidanger. The main challenge of the project is the critical zone at Tveitanlia.

The critical zone consists of low mountain coverage with a minimum mass covering of 8,0 m. As part of the survey of the terrain good feasibility studies of the project has been carried out. To map the critical zone in advance of the execution has opened several opportunities to force the critical zone. This study will consider six different drive methods associated with the critical zone. Emphasis has been placed on evaluating the methods with respect to the criteria: Technology, resources usage/progress speed, environmental effects and risk. TBM operations were eliminated early in the process for the reason that the tunnel length is too short for it to be competitive on price compared to conventional operation. The drive methods jet grouting and freezing were eliminated early in the process due to the criteria.

An important task will be to acquire expertise in the various drive methods. The acquired skills will later in the task be used to evaluate the other criteria. For each drive method, there will be a proposal on how to solve the critical zone at Tveitanlia.

The task of calculating the time it will take to complete the critical zone is developed through numerical data from Implenia Norge AS. The calculations are based on a tunnel cross section of 152,2 m², and is equally for all drive methods. The length of the critical zone varies with the choice of drive method.

The drive method "cut and cover" includes large amounts of excavation and blasting of the critical zone from the terrain. Large amounts of soil must be temporarily stored at the facility. This solution will provide a significantly higher risk of an undesirable event to occur. The drive methods pipe umbrella (rørparaply) and Ischebeck spiling bolts (spilingbolter) with Pantex lattice arches (gitterbuer) reduces this risk due to work in the tunnel.

The results of the evaluations presented in the thesis show that the method Pantex lattice arches (gitterbuer) and Ischebeck spiling bolts (spilingbolter) is the best choices to push through the critical zone. The four of the main criteria advocating this method over the other drive methods are: The totality of the technical solution (technology), the reduced time to complete (resources usage/progress speed), the overall results from the risk analysis (risk) and the fact that the work is done from the tunnel face (environmental effects).

Innholdsfortegnelse

| | |
|---|------------|
| Forord | III |
| Sammendrag | V |
| Summary | VII |
| Innholdsfortegnelse | IX |
| Figurliste | XI |
| Tabelliste | XII |
| 1. Innledning | 1 |
| 1.1 Bakgrunn for oppgaven | 1 |
| 1.2 Motivasjon og formål | 2 |
| 1.3 Omfang og avgrensninger | 2 |
| 1.4 Arbeidsprosessen | 3 |
| 2. Orientering om prosjektet Farriseidet-Porsgrunn 2012-2018 | 5 |
| 2.1 Prosjektbeskrivelse Farriseidet-Porsgrunn 2012-2018 | 5 |
| 2.2 UFP-08 Eidanger | 7 |
| 2.3 Entreprensegrensene | 8 |
| 2.4 Eidangertunnelen | 8 |
| 3. Geologi i Porsgrunnsområde | 9 |
| 3.1 Reguleringsplan og grunnundersøkelser | 9 |
| 3.2 Regionalgeologi | 9 |
| 3.3 Fjellartene i område rundt Eidangertunnelen | 11 |
| 3.4 Grunnundersøkelser med fokus på kritisk sone ved Tveitanlia..... | 11 |
| 4. Kriterier for valg av drivemetoder | 17 |
| 4.2 Konvensjonell tunneldrift vs. fullprofilboring (TBM) | 17 |
| 4.3 Valg av drivemetode for UFP-08 Eidanger | 19 |
| 4.4 Kriterier for valg av drivemetode gjennom kritisk sone..... | 21 |
| 4.5 Entreprenørens valg av drivemetode i kritisk sone | 23 |
| 5. Drivemetoder med tekniske løsninger ved Tveitanlia | 25 |
| 5.1 "Cut and Cover" | 25 |
| 5.2 Rørparaply | 28 |
| 5.3 Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter..... | 49 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 5.4 | Jetpel..... | 59 |
| 5.5 | Frysing | 67 |
| 6. | Ressursbruk og framdrift..... | 75 |
| 6.1 | "Cut and Cover" | 75 |
| 6.2 | Rørparaply | 80 |
| 6.3 | Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter..... | 87 |
| 6.4 | Jetpel..... | 91 |
| 6.5 | Sammenligning av ressursbruken og framdriften..... | 92 |
| 7. | Miljøaspektet | 95 |
| 7.1 | Støy og vibrasjoner | 95 |
| 7.2 | Trafikk, massetransport og deponier | 103 |
| 7.3 | Utslipp til luft, vann og grunn | 104 |
| 8. | Risikovurdering..... | 107 |
| 8.1 | Risikovurdering "cut and cover" | 110 |
| 8.2 | Risikovurdering rørparaply..... | 110 |
| 8.3 | Risikovurdering Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter..... | 111 |
| 9. | Diskusjon | 113 |
| 10. | Konklusjon..... | 119 |
| 11. | Videre arbeid | 121 |
| 12. | Referanser..... | 123 |
| 13. | Vedleggsliste | 127 |

Figurliste

| | |
|--|-----|
| Figur 2-1: Vestfoldbanen er en strekning mellom Drammen og Porsgrunn. (JBV, 2013c)..... | 5 |
| Figur 2-2: Strekningsoversikt Farriseidet-Porsgrunn 2012-2018. Utsnitt av Google maps. | 6 |
| Figur 3-1: Løsmassekart som viser løsmassene i området rundt Eidanger. (NGU, 2014) | 10 |
| Figur 3-2: Lengdeprofil av tunnelen i kritisk sone. | 13 |
| Figur 3-3: 3D-modell. Modellen viser kritisk sone i lengderetning. (Myklebost, 2014b) | 15 |
| Figur 3-4: 3D-modell. Modellen viser kritisk sone sett i driveretningen. (Myklebost, 2014b)..... | 15 |
| Figur 5-1: Lengdeprofil av metoden "cut and cover". (JBV, 2013a) | 27 |
| Figur 5-2: 3D-modell av rørparaplymetoden i tunnel. (Boiger, 2011) | 29 |
| Figur 5-3: Installering av 114 mm perforerte stålrør i stuff. (Frogner et al., 2013) | 30 |
| Figur 5-4: Spesialisert tunnelmaskin. (Volkman and Schubert, 2008)..... | 31 |
| Figur 5-5: Installering av et 3,0 m langt stålrør. (Boiger, 2011) | 32 |
| Figur 5-6: Eksempler på borekroner til føringsrørboring teknikken. (Boiger, 2011)..... | 33 |
| Figur 5-7: Forholdet mellom last og nedbøyning. (Dywidag-Systems, 2013)..... | 34 |
| Figur 5-8: Standard gjenget rørforbindelse. (Dywidag-Systems, 2013)..... | 35 |
| Figur 5-9: AT- Pipe Umbrella Automation Unit. (Dywidag-Systems, 2013) | 36 |
| Figur 5-10: AT- Pipe Umbrella Automation Unit er markert. (Dywidag-Systems, 2013)..... | 36 |
| Figur 5-11: Gjenget rør-ende forbindelse. (Dywidag-Systems, 2013)..... | 37 |
| Figur 5-12: Tunnelrigg AMV 21SGBC-CC. (Myklebost, 2014a) | 38 |
| Figur 5-13: Dobbelpakker med lengde 1,0 m. (Boiger, 2011) | 39 |
| Figur 5-14: Forankring av injeksjonshullene. (Seehusen, 2013)..... | 40 |
| Figur 5-15: Perforerte stålrør pr. 1,0 m rørlengde med gummiventiler. (Boiger, 2011) | 41 |
| Figur 5-16: En avansert injeksjonsrigg AMV 200. (NFF, 2011) | 42 |
| Figur 5-17: Tenkt løsning av metoden rørparaply langs kritisk sone. | 45 |
| Figur 5-18: Utsprengningsplan: Toppskive 1 og stross 2..... | 47 |
| Figur 5-19: Utstrossing av de resterende massene på 3-4 m høyde. (Frogner et al., 2013) | 47 |
| Figur 5-20: Avgrenset del av en gitterbue. (HWE, 2014) | 50 |
| Figur 5-21: Pantex gitterbuer T-baneringen del II, Oslo. (HWE, 2014) | 51 |
| Figur 5-22: Pantex gitterbue sett inn mot stuff. (HWE, 2014) | 51 |
| Figur 5-23: Ischebeck titan spilingbolt prinsippskisse. (HWE, 2014)..... | 52 |
| Figur 5-24: Prosjektert løsning av metoden gitterbue og Ischebeck langs kritisk sone. | 54 |
| Figur 5-25: Utsnitt av spilingskjerm. (Borchardt, 2014) | 55 |
| Figur 5-26: Utsprengningsplan: Pilot 1 og stross 2. | 57 |
| Figur 5-27: Jetpeler benyttet ved refundamentering av eksisterende bygg. (Jetgrunn, 2014)..... | 59 |
| Figur 5-28: En monitor med to dyser og borekrone. (Jetgrunn, 2014)..... | 60 |
| Figur 5-29: To konsentriske rør. (Jetgrunn, 2014) | 61 |
| Figur 5-30: J2-teknikken. (Jetgrunn, 2014)..... | 63 |
| Figur 5-31: EC1-teknikken. (Jetgrunn, 2014) | 64 |
| Figur 5-32: Dieseldrevet borerigg. (Jetgrunn, 2014)..... | 65 |
| Figur 5-33: Fryseprosessen i prinsipp | 68 |
| Figur 5-34: Tre ulike omfang av frysestabilisering i tunnel. (Jessberger, 1980)..... | 69 |
| Figur 5-35: Boring og horisontal installasjon av fryserør. (Jessberger, 1980) | 69 |
| Figur 5-36: Boring og vertikal installasjon av fryserør. (Jessberger, 1980)..... | 70 |
| Figur 5-37: Hurum sonen. (Wallis, 1999) | 71 |
| Figur 6-1: Grafen viser medgått boretid av et T9,5 profil med ulike salvelengder. | 81 |
| Figur 7-1: Toppverdi av frekvensveid svingehastighet eller lufttrykkstøt. (Standard-Norge, 2013a) .. | 98 |
| Figur 8-1: Inndelte faser i en ROS-analyse. (Suhrke, 2011) | 108 |

Tabelliste

| | |
|--|-----|
| Tabell 2-1: Oversikt over de fire grunnentreprisene. | 7 |
| Tabell 2-2: Byggherrens rådgivere for entreprisen UFP-08 Eidanger..... | 7 |
| Tabell 3-1: Anbefaling av sikring foran stuff som resultat av Q-verdi (NFF, 2008). | 13 |
| Tabell 4-1: Fordeler og ulemper med konvensjonell- og TBM drift. (Hansen, 2014) | 19 |
| Tabell 5-1: Rørspesifikasjoner for 3,0 m lange stålrør. (Dywidag-Systems, 2013) | 32 |
| Tabell 5-2: Spesifikasjoner til tunnelrigg AMV 21SGBC-CC. (Myklebost, 2014a) | 38 |
| Tabell 5-3: Arbeidsoppgaver for metoden rørparaply | 48 |
| Tabell 5-4: Antall totale timeverk til en salve på 2,0 m. (Myklebost, 2014a)..... | 56 |
| Tabell 5-5: Arbeidsoppgaver for metoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter. | 58 |
| Tabell 5-6: Trykkfasthet på geobetongen med ulike tilslag. (Jetgrunn, 2014)..... | 62 |
| Tabell 6-1: Framdrift for metoden "cut and cover"..... | 78 |
| Tabell 6-2: Volum/mengder som antas størst innvirkning på ressursbruken. | 79 |
| Tabell 6-3: Medgått tid for T9,5 Profil 5,0 m salve. (Myklebost, 2014a) | 81 |
| Tabell 6-4: Medgått tid for T9,5 Profil 2,5 m salve. (Myklebost, 2014a) | 81 |
| Tabell 6-5: Timeverket for enkelte prosesser for 1,0 m, 2,0 m og 3,0 m salver. Tabell 5-4/6-3/6-4 ... | 82 |
| Tabell 6-6: Totale timeverk (h) for 1,0 m, 2,0 m og 3,0 m salver. Tabell 6-5 | 82 |
| Tabell 6-7: Framdrift for metoden rørparaply. | 85 |
| Tabell 6-8: Volum/mengder som antas størst innvirkning på ressursbruken. | 86 |
| Tabell 6-9: Antall totale timeverk til en salve på 2,0 m. (Myklebost, 2014a)..... | 88 |
| Tabell 6-10: Totale timeverk (h) for 2,0 m salve. | 88 |
| Tabell 6-11: Framdrift for metoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter. | 90 |
| Tabell 6-12: Volum/mengder som antas størst innvirkning på ressursbruken. | 91 |
| Tabell 6-13: Sammenligne ressursbruken og framdriften til de ulike drivemetodene. | 92 |
| Tabell 7-1: Anbefalte basis støygrenser (ekvivalentnivå). (Miljødepartementet, 2012) | 96 |
| Tabell 7-2 Korleksjon for anleggsperiodens eller driftfasens lengde. (Miljødepartementet, 2012)..... | 96 |
| Tabell 7-3: Støygrensene etter korleksjonen for anleggsperiodens eller driftfasens lengde. | 96 |
| Tabell 7-4: Byggverksfaktor F_b for ulike klasser av byggverk. (Standard-Norge, 2013a)..... | 99 |
| Tabell 7-5: Byggmaterialfaktor F_m for hovedmaterialer i byggverk. (Standard-Norge, 2013a)..... | 99 |
| Tabell 7-6: Byggtilstandsfaktor F_t for byggverk. (Standard-Norge, 2013a)..... | 99 |
| Tabell 7-7: Varighetsfaktor F_v for forskjellige sprengningsaktiviteter. (Standard-Norge, 2013a) | 99 |
| Tabell 7-8: Grenseverdier for frekvensveid svingehastighet. (Standard-Norge, 2013a)..... | 101 |
| Tabell 7-9: Kildefaktor F_k . (Standard-Norge, 2013b) | 102 |
| Tabell 8-1: Sannsynlighetskategorier. (Myklebost, 2014b) | 107 |
| Tabell 8-2: Konsekvenskategorier. (Myklebost, 2014b) | 107 |
| Tabell 8-3: Risikomatrikse innen sannsynligheter og konsekvenser. (Myklebost, 2014b)..... | 109 |
| Tabell 8-4: Risikovurdering "cut and cover"..... | 110 |
| Tabell 8-5: Risikovurdering rørparaply..... | 110 |
| Tabell 8-6: Risikovurdering Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter. | 111 |
| Tabell 9-1: Ressursbruken til de ulike metodene | 113 |

1. Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Jeg har under min studieperiode hatt relevante sommerjobber innen bygging av leiligheter, kjøpesenter og infrastruktur (jernbane/bro). I løpet av disse sommerjobbene har jeg jobbet med flere ulike prosjekter med ulike utfordringer. Sommeren 2013 jobbet jeg hos anleggsentreprenøren Implenia Norge AS. Etter endt sommerjobb kontaktet jeg selskapet angående samarbeid om masteroppgaven. Mitt ønske var å skrive en masteroppgave innen emne tunnel. I et samarbeid med Implenia Norge AS høsten 2013 ble det bestemt å skrive en oppgave innen tunnelbygging tilknyttet entreprisen UFP-08 Eidanger.

Jernbaneprosjektet UFP-08 Eidanger har en total lengde på 3,0 km. I prosjektet inngår bygging av en jernbanetunnel med dobbeltspor i ett løp på ca. 1,5 km. Hovedutfordringen for denne tunnelen er valg av drivemetode gjennom den kritiske sonen ved Tveitanlia, med liten eller ingen fjelloverdekning i tunnelhenget. Dette er en spennende og utfordrende problemstilling.

Min oppgave er å beskrive hvordan en skal løse den tekniske utfordringen i tunnel med lav fjelloverdekning. Oppgaven vil gi en teoretisk gjennomgang over seks ulike drivemetoder i kritisk sone:

- Fullprofilboring (TBM)
- "Cut and cover"
- Rørparaply
- Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter
- Jetpel
- Frysing

Det er lagt vekt på å vurdere metodene med hensyn på kriteriene: teknikk, ressursbruk/framdrift, miljø og risiko. Noen av metodene blir tidlig eliminert grunnet kriteriene.

1.2 **Motivasjon og formål**

I en bransje med mange utfordringer og muligheter er det viktig med en effektiv drift og kvalitet i leveransen. Motivasjonen min er å kunne utvikle meg selv innen anleggsteknikk og ta de utfordringene som kommer. Det er viktig med klare retningslinjer for ønsket resultat og ta de riktige valgene under arbeidsprosessen. Arbeidsprosessen har gjort meg mer bevisst over de spennende utfordringene en anleggsentreprenør har å jobbe med.

Formålet med oppgavene er å tilegne seg informasjon om metodene og beskrive de på en god måte. Videre vil det være viktig å bruke den tilegnede informasjonen til å gå dypere inn i problemstillingen og tilslutt gjøre seg opp en mening på hvilken metode som skal velges.

1.3 **Omfang og avgrensninger**

Omfanget av oppgaven er 30 studiepoeng og den gjennomføres i løpet av 20 uker fra onsdag 15.01.2014 til fredag 10.06.2014. Innenfor den tildelte tiden som har vært til disposisjon har det vært nødvendig å begrense oppgaven.

Det er bestemt å gjøre en teoretisk gjennomgang over seks ulike drivemetoder i kritisk sone. Det hadde vært interessant å vurdere flere metoder, men på grunn av den disponible tiden har det begrenset valget for antall metoder. Jeg har valgt å beskrive metoden rørparaply mer detaljert fordi den er lite brukt i Norge.

For oppgavens del ville det vært til fordel at tunneldrivingen av den kritiske sonen ble utført under oppgaveskrivingen. Det kunne gitt et bedre vurderingsgrunnlag for valg av metode i forhold til tallmateriale. Det ville også vært fint med noen illustrasjoner i fra tunneldrivingen av den kritiske sonen.

1.4 Arbeidsprosessen

Arbeidet med masteroppgaven er gjennomført som et selvstendig studie med hjelp fra fagpersoner fra Implenia Norge AS. Utgangspunktet for oppgaven har vært å belyse hvordan en kritisk sone kan forseres. I begynnelsen av arbeidsprosessen gikk det mye tid til å finne informasjon til oppgaven. Det ble utarbeidet et litteratursøk tidlig i prosessen, for å skaffe en oversikt over hvilke referanser som er av god kvalitet. Ordet kvalitet baserer seg på troverdighet og relevans. Her kommer noen punkter som skal underbygge troverdigheten og relevansen til informasjonen:

- Har forfatteren den faglige tyngden for temaet
- Er informasjonen relevant for mitt vedkommende
- Er publiseringen fra en anerkjent internettside eller fra en anerkjent publikasjon
- Målet forfatteren har med teksten
- Innholdet i informasjonen består av andre referanser
- Viktig å vurdere informasjonen i forhold til det arbeidet som er utført. Er det lagt ned mye arbeid, kan troverdigheten godkjennes

Har etter beste evne prøvd å følge disse punktene i forbindelse med litteratursøket og har kontrollert informasjonen opp til flere ganger.

Søkeverktøyene som ble benyttet for litteratursøket er blant annet:

- Google scholar
- Wiley Online Library
- Jernbaneverkets hjemmeside (JBV)
- Norsk forening for fjellsprennings hjemmeside (NFF)
- Statens vegvesens hjemmeside (SVV)
- Miljødepartementet
- Norsk standard
- Andre referanser

Omfanget av informasjonen på internettet var god, men begrenset. For å kunne supplere den informasjonen som allerede lå på internettet, ble det besluttet å reise ned til prosjektet UFP-08 Eidanger. Det ble under oppgaveskrivingen gjennomført fem reiser med en total tidsperiode på en måned. Under oppholdet bodde jeg i en boligrigg, ikke langt i fra anleggsplassen.

Det første besøket til prosjektet UFP-08 Eidanger ble gjennomført i begynnelsen av januar måned. Under oppholdet fikk jeg en innføring i prosjektet av assisterende prosjektleder Ketil Myklebost. Innføringen gjorde meg mer bevisst på de utfordringer som lå foran meg, det ble også gjennomført en befarings i forbindelse med besøket.

Den 14. januar 2014 ble det avholdt et møte i byen Sarpsborg tilknyttet metoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter, med representanter fra Implenia Norge AS og representanter fra leverandøren av stålelementene, Huth & Wien Engineering (HWE) AS. Hensikten med møtet var at HWE AS skulle fremlegge en detaljert løsningen for anleggsentreprenøren.

Den 20. januar 2014 ble det avholdt et byggemøte på arbeidsriggen tilknyttet prosjektet UFP-08 Eidanger. Representanter fra Implenia Norge AS og Jernbaneverket AS deltok i møtet. HMS arbeidet på anleggsplassen ble diskutert og vurdert. I forbindelse med valg av alternative metoder ble "cut and cover" sonen også tatt opp i møtet.

Den 30. januar 2014 ble det avholdt et møte på arbeidsriggen, hvor HWE AS fremla sin prosjektering ovenfor byggherren og anleggsentreprenøren.

Dette er tre av flere møter jeg har deltatt på i forbindelse med arbeidet på oppgaven.

Det har også blitt utført flere uformelle samtaler med fagpersoner. Dette gjelder først og fremst personer i Implenia Norge AS. Ingen av samtalene har blitt overført til oppgaveteksten.

Informasjonen er for det meste hentet fra e-poster, artikler i fra internett og publikasjoner.

Har valgt å ikke foreta noen spørreundersøkelser i forbindelse med oppgaven. Det er bestemt i forhold til at oppgavene er mer praktisk rettet enn et forskningsarbeid. En anser derfor møter og samtaler med de som er tilknyttet til prosjektet, som de viktigste referansene.

På et tidligere tidspunkt ble det bestemt under samhandling mellom byggherren og anleggsentreprenøren om å forsere den kritiske sonen ved Tveitanlia med drivemetoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter.

Har under arbeidsprosessen lært mye om anleggsfaget og de utfordringer en anleggsentreprenør har å jobbe med. Det har både vært en lærerik- og en spennende prosess å skrive en slik oppgave. Det har i mange sammenhenger vært utfordrende å få strukturert arbeidet på en god måte.

2. Orientering om prosjektet Farriseidet-Porsgrunn 2012-2018

Kapitlet utdyper informasjon om prosjektet Farriseidet-Porsgrunn med entreprisen UFP-08 Eidanger i hovedfokus.

2.1 Prosjektbeskrivelse Farriseidet-Porsgrunn 2012-2018

Helt siden 1990-tallet har Jernbaneverket (JBV) jobbet med en parsellvis modernisering av Vestfoldbanen.



Figur 2-1: Vestfoldbanen er en strekning mellom Drammen og Porsgrunn. (JBV, 2013c)

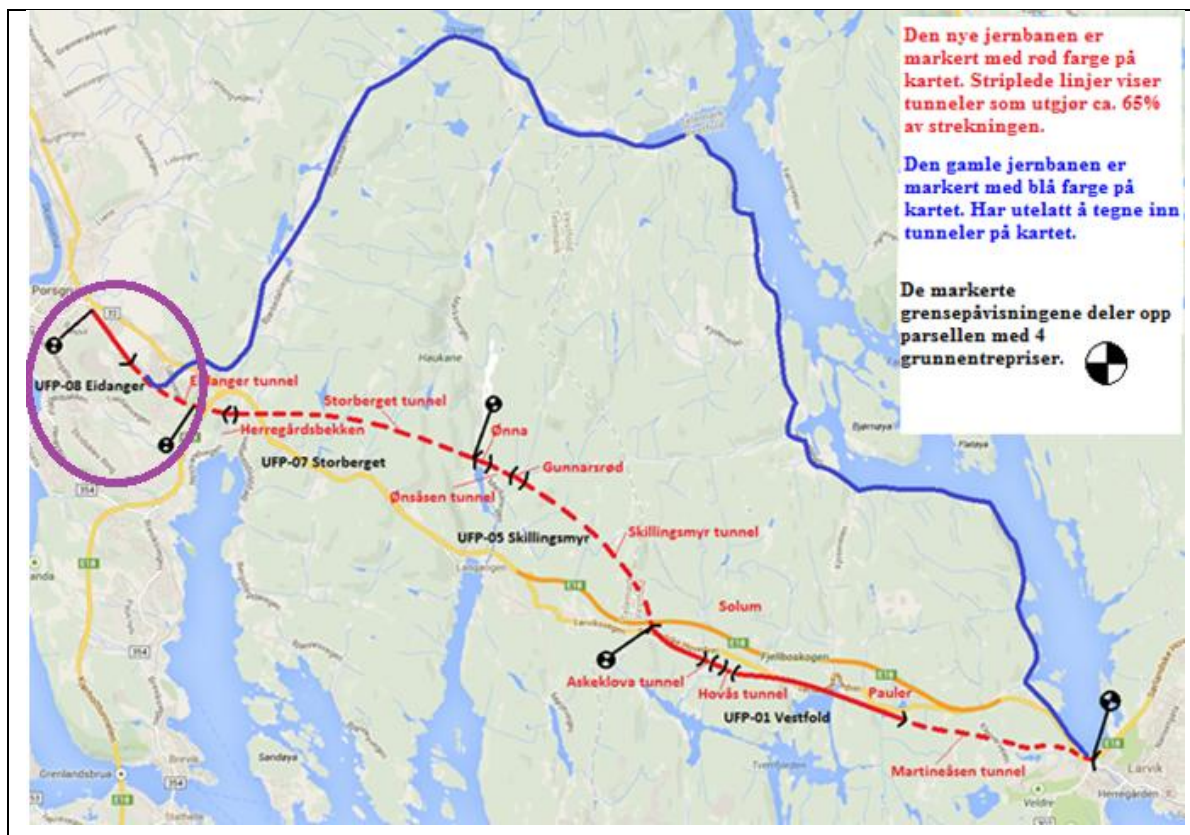
Vestfoldbanen ble inndelt i tolv parseller og utbyggingsrekkefølgen ble bestemt etter hvor stor effekt hver parsell har for dagens togtrafikk. Prosjektet Farriseidet-Porsgrunn er parsell nr.12. Prosjektet omfatter ny jernbanestrekning mellom Farriseidet i Larvik til Porsgrunn med dobbeltspor og er dimensjonert for en hastighet på opp mot 250 km/t. Den nye jernbanestrekningen har en lengde på ca. 23,0 km, hvor ca. 15,0 km av strekningen ligger i syv tunneler. Det skal også bygges ti bruer på jernbanestrekningen med samlet lengde på ca. 1,5 km. Det skal ikke være muligheter for av- og påstigninger på strekningen mellom Larvik og Porsgrunn.

Den nye jernbanestrekningen skal erstatte dagens gamle jernbanestrekning fra år 1882, som følger innsjøen Farris nordover fra byen Larvik. Den gamle jernbanestrekningen er svært svingete, noe som er til hinder for høye hastigheter på toget, strekningen er også rasutsatt.

Den nye utbygningen vil forkorte reisetiden med om lag 22 minutter, fra dagens 34 minutter og ned til bare 12 minutter mellom Larvik og Porsgrunn. Den nye jernbanestrekningen Farriseidet-Porsgrunn blir sett på som viktig for senere å kunne koble sammen Vestfoldbanen og Sørlandsbanen (Oslo-Stavanger).

Den totale kostnadsrammen for parsell nr. 12 er på ca. 6,1 milliarder i 2012-kroner.

Byggestart september år 2012 og ferdigstilling sommeren år 2018.



Figur 2-2: Strekningsoversikt Farriseidet-Porsgrunn 2012-2018. Utsnitt av Google maps.

Forklaring til figur 2-2: ■ Markert fiolett sirkel viser entreprisen UFP-08 Eidanger

Tabell 2-1: Oversikt over de fire grunnentreprisene.

| Entreprise | Utførende part |
|----------------------------|-----------------------|
| UFP-01 Vestfold | Skanska Norge AS |
| UFP-05 Skillingsmyr | Veidekke AS |
| UFP-07 Storberget | NCC AS |
| UFP-08 Eidanger | Implenia Norge AS |

2.2 UFP-08 Eidanger

Eidangertunnelen er hoveddelen i entreprisen UFP-08 Eidanger. Prosjektet omfatter grunnarbeider for dobbeltspor på ca. 3,0 km, en jernbanetunnel med dobbeltspor i ett løp på ca. 1,5 km, og innredningsarbeider på hele tunnelen. Det skal også bygges en rømningstunnel/tverrslag på ca. 0,8 km, bygging av ca. 46,0 m "cut and cover" seksjon, samt portaler, tekniske bygg og en liten bro. Hovedutfordringen for dette prosjektet er "cut and cover" sonen med lengde 46,0 m ved Tveitanlia km 181,017 til km 181,063* med liten eller ingen fjelloverdekningen i tunnelhenget.

Kontrakten for UFP-08 Eidanger ble signert mellom anleggsentreprenøren Implenia Norge AS og byggherre Jernbaneverket Utbygging i Oslo den 22. juli 2013.

Kontraktssummen for UFP-08 Eidanger er på ca. 624 millioner i 2013-kroner. Arbeidet begynte i september år 2013 og avsluttes i juni år 2016.

*Målingene er basert på fremtidig jernbanelinje fra Oslo S med 0,0 km til det gitte punkt. Eksempelvis ligger Tveitanlia ca. 181,017 km fra Oslo S.

Tabell 2-2: Byggherrens rådgivere for entreprisen UFP-08 Eidanger.

| Byggherrens rådgivere | |
|--|-----------------|
| Sweco Norge AS og Multiconsult AS | Grunnarbeider |
| Norconsult AS | Jernbaneteknikk |
| Jernbaneverket | Signal |

2.3 Entreprisegrensener

Eidangertunnelen slutter mot entreprisen UFP-07 Storberget mot øst, hvor det er to entreprisegrensener. Den ene er for sprengnings- og sikringsarbeider (km 179,940) og den andre omhandler innredningsarbeidene (km 179,440). Grensen for sprengnings- og sikringsarbeider ligger ca. 500 m inn i Eidangertunnelen fra portalen ved Herregårdsbekken, mens for innredningsarbeidene ligger grensen der portalen for Eidangertunnel øst slutter inne i tunnelen. Grunnen til at entreprisen UFP-07 Storberget driver 500 meter inn i Eidangertunnelen, er at det ikke finnes hensiktsmessig med flere tunnelriggområder ved Herregårdsbekken. Entreprisen UFP-07 Storberget skal utarbeides av NCC AS. Entreprisen UFP-08 Eidanger slutter ved Porsgrunn stasjon, ca. 1400 m fra det vestre påhugget av Eidangertunnelen. Her vil den nye jernbanelinjen kobles opp mot gammel jernbanelinje.

- Oversiktstegninger over entreprisen UFP-08 Eidanger med grensepåvisning, se vedlegg 1
- Oversiktstegning over entreprisen UFP-08 Eidanger inkludert rømningstunnel/tverrslag, se vedlegg 2

2.4 Eidangertunnelen

Eidangertunnelen vil ha en lengde på ca. 1,5 km. Tunneltverrsnittet vil ha et teoretisk sprengningsprofil på ca. $152,2 \text{ m}^2$ med en tunnelradius på ca. 7,9 m. Det skal drives et tverrslag ved Pasadalen, som skal i driftsfasen benyttes som permanent rømning- og adkomsttunnel. Den vil ha en lengde på ca. 635 m og det skal i tillegg drives en kort rømningstunnel med lengde på ca. 140 m parallelt med hovedtunnelen. Teoretisk tverrsnitt på tverrslagstunnelen er på ca. $52,0 \text{ m}^2$, mens den korte rømningstunnelen har et tverrsnittsareal på ca. $25,0 \text{ m}^2$. Grunnen til at en driver en rømningstunnel i tillegg til tverrslaget er fordi en skal ha en rømningstunnel pr. km. Dette direktivet ble fastsatt av EØS i år 2008.

- En tegning over tunneltverrsnittet, se vedlegg 4

3. **Geologi i Porsgrunnsområde**

Kapitlet utdyper informasjon om geologien i område rundt Eidangertunnelen og område rundt kritisk sone ved Tveitanlia. Informasjonen om geologien er i hovedsak hentet fra en fagrapport om ingeniørgeologi fra Sweco Norge AS (Sweco, 2013).

3.1 **Reguleringsplan og grunnundersøkelser**

Jernbaneverket Utbyggingsdivisjon har engasjert Sweco Norge AS for å utarbeide en detalj-, regulerings- og byggeplan for nytt dobbeltspor mellom fylkesgrensen (Vestfold og Buskerud) og Porsgrunn stasjon. Planen baserer seg på en tidligere rapport utarbeidet av NVK/Hjellnes Cowi fra 2001 for den opprinnelige enkeltsporet linje og de grunnundersøkelsene som er utført i byggeplanfasen.

Grunnundersøkelsene i dette prosjektet har bestått av ingeniørgeologisk kartlegging, grunnboringer, refraksjonsseismikk målinger, kjerneboringer, brønnboringer og lab. undersøkelser.

3.2 **Regionalgeologi**

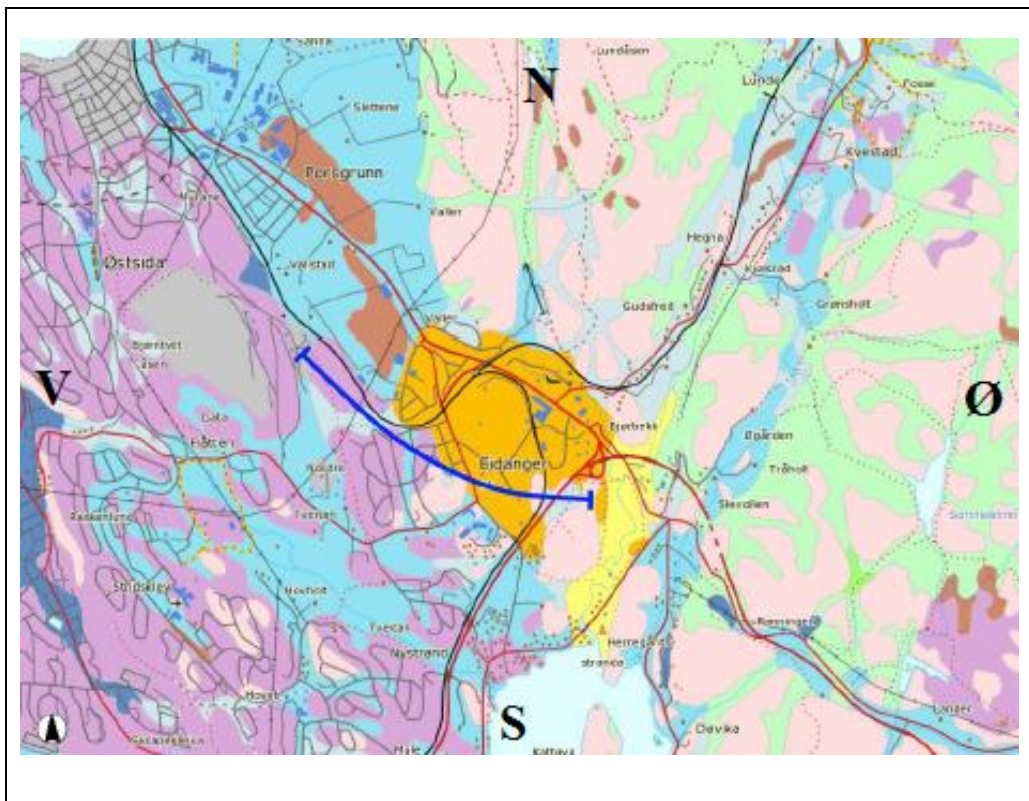
Grunnforholdene i område Porsgrunn for parsellen Farriseidet-Porsgrunn er en del av Oslofeltet, som strekker seg fra Mjøsa i nord til Langesund i sør. Oslofeltet er særpreget innsunket geologisk område med en bredde på ca. 45-75 km. I perioden mellom karbon og perm har område gjennomgått omfattende rifttektonikk, og det foregikk her strekking, fortykning og oppsprekking av jordskorpa. Fjellartene i området er fra tidsepokene kambro-silur og karbon-perm, og de er omgitt av prekambrisk grunnfjell i øst og vest, begrenset av forkastningssoner som går omtrent nord-sør.

I perioden kambrium til silur har det forekommet en innsynkning av Oslofeltet, hvor det er bevart en sedimentær lagpakke mange steder i feltet. Fjellartene som har blitt bevart er blant annet skifre, kalksteiner og sandsteiner. Senere har feltet gjennomgått omfattende rifttektonikk og vulkanisme som har gitt opphav til vulkanske, gang- og dybdefjellarer. I

perioden karbon til perm var det en strekking av jordskorpen (Oslo Rift) som forårsaket vulkansk aktivitet.

Geologisk tidslinje til oslofeltet:

- Kambrium ca. 542-488 millioner år siden
- Silur ca. 443-417 millioner år siden
- Karbon ca. 359-299 millioner år siden
- Karbon-perm ca. 300-292 millioner år siden



Figur 3-1: Løsmassekart som viser løsmassene i området rundt Eidanger. (NGU, 2014)

Forklaring til figur 3-1:

- Blå strek: Omtrentlig ny jernbanelinje
- Rosa farge: Bart fjell, stedvis tynt løsmassedekke
- Lys grønt: Tynn morene
- Grønt: Tykk morene
- Brun: Torv og myr
- Fiolett: Forvittringsmateriale
- Lys blått: Hav- og fjordavsetning, tynt dekke
- Gult: Elveavsetning
- Orange: Breelavsetning

3.3 Fjellartene i område rundt Eidangertunnelen

Eidangertunnelen, rømningstunnel og tverrslag ligger i kalksteiner, sandstein og leirskifer. Langs hovedtunnelen består fjellgrunnen av sedimentære delvis omvandlede fjellarter fra silurtiden. Lagdelingene har for det meste slakt fall mot nordøst, men det er brattere inn mot Larvikitten i øst for Herregårdsbekken. Lagstillingene fører til at de øverste lagene ligger lengst øst i Eidangertunnelen.

Tegninger over geologien for tunnelstrekningen, se vedlegg 1

Den øverste delen av sedimentene mellom påhugg øst og Tveitanlia består av sandstein, oftest benevnt som Ringerikesandstein. Sandsteinen er lysgrå, finkornet og lagdelt kvartsittisk. Lagdelingene i sandsteinen har ca. 20° helning mot nordøst. Lengst øst mot grensen til larvikitten øker helningen til 60°.

Under sandsteinen mellom Tveitanlia og påhugg vest følger lag av kalkstein, leirskifer og mergelstein tilhørende Steinfjordformasjon. Lagdelingen i kalk- leirskiferen er 15-20° mot øst. Det er ingen skarp grense mellom de to fjellartene.

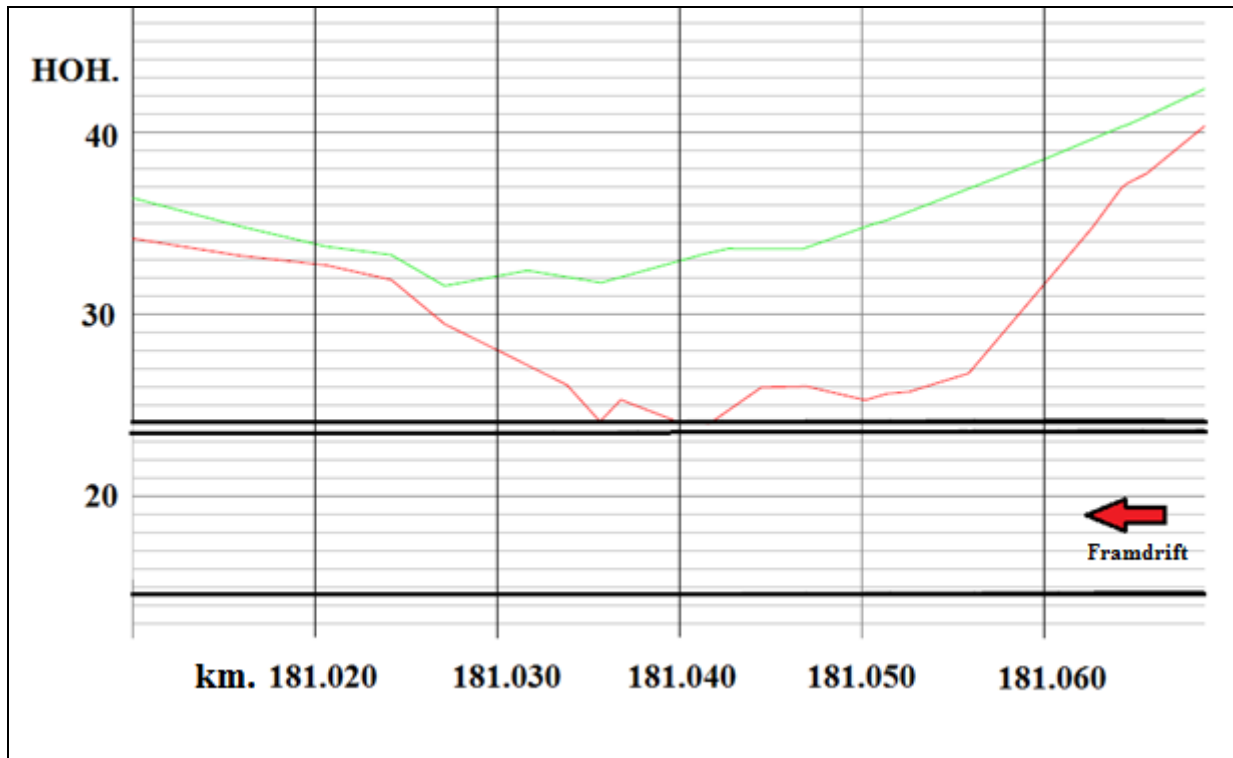
3.4 Grunnundersøkelser med fokus på kritisk sone ved Tveitanlia

De tidligere grunnundersøkelsene som er blitt utført i forbindelse med detaljplan for enkeltsporet linje i 2000-2001, har hatt stor fokus på løsmassemektigheter og fjelloverdekning langs tunnelen. Den ingeniørgeologiske kartleggingen er hovedsakelig utført av Norges Geologiske Undersøkelser (NGU) i 2000. De konkluderte med at det befant seg en rekke svakhetssoner i område. Den kritiske sonen fra km 181,017 til km 181,063 øst for boligområdet ved Tveitanlia, var blant de nummererte svakhetssonene fra NGU. Det ble registrert store mengder med siltmasser i område. Det ble utført syv refraksjonsseismiske profiler langs Eidangertunnelen, hvor et av dem var ved Tveitanlia. Langs tunneltraséen ved Tveitanlia ble det registrert 8,0 m overdekning med løsmasser ved område kritisk sone.

Supplerende grunnundersøkelser i område ved kritisk sone ved Tveitanlia, ble utført i forbindelse med å få ytterligere informasjon om grunnforholdene i området. Disse undersøkelsene har bestått av prøvetaking i tre punkter ved skovlboring med opptak av poseprøver som er analysert i et laboratorium i Kristiansand. Resultatene fra prøvetakingen viser at grunnen i det undersøkte området består av lagvis sand og silt, etterfulgt av grovere og fastere masser av antatt grus/morene over fjell (Multiconsult, 2014).

3.4.1 **En grov oversikt over grunnundersøkelsene ved kritisk sone viser følgende:**

- Lite og manglende fjelloverdekning over en strekning på 46,0 m i lengderetning av tunnelen
- Område med lavest fjelloverdekning strekker seg fra km 181,030 til km 181,055. Fjelloverdekningen i dette område ligger mellom 0-4 m
- Løsmassene vil i enkelte partier komme innenfor teoretisk sprengningsprofil. Det vil ligge løsmasser i område 0-30 cm inn i tunnelprofilen og i tunnellengderetningen vil løsmasse strekke seg noen meter langs tunnelretningen
- Tunnelen vil passere på det meste et svakt område på noen meters bredde. Sonen består for det meste av siltmasser, sandmasser og oppknust fjell
- Den minste overdekningen med løsmasser er på ca. 8,0 m over tunnelhenget
- Fjellet fra portal vest (Norcem) til og med den kritiske sonen består hovedsakelig av kalkstein. Tunneldriving i kalkstein er av erfaring et godt fjell, som gir god framdrift (Myklebost, 2014a)
- Grunnvannstanden vil ligge i område mellom 0-0,9 m under terreng. Den vil variere med årstidene og nedbøren (Multiconsult, 2014)



Figur 3-2: Lengdeprofil av tunnelen i kritisk sone.

Forklaring til figur 3-2: ■ Rød farge: Fjell

■ Grønn farge: Løsmasser

Lengdeprofilen av tunnelen i kritisk sone er de tre markerte horisontale svarte linjene

- Oversiktstegning over kritisk sone ved Tveitanlia, se vedlegg 3

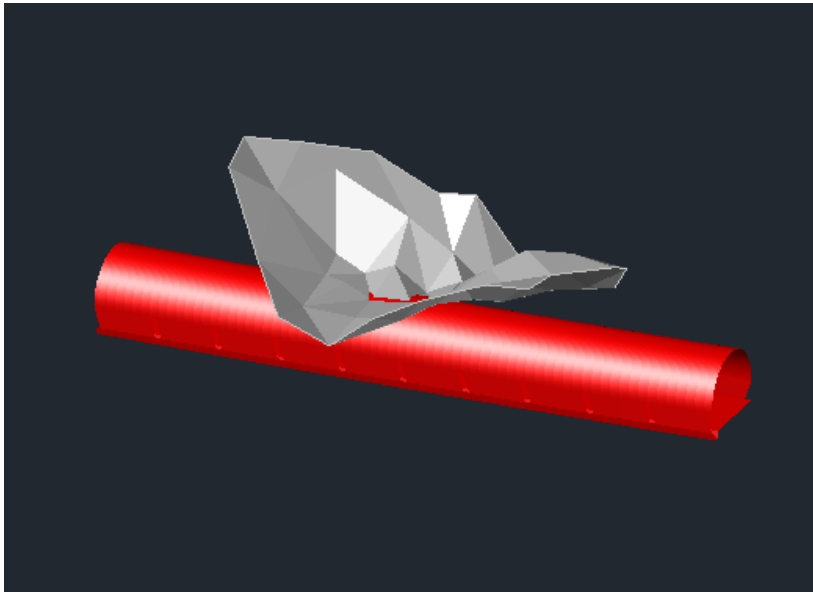
3.4.2 Q-verdi

For den kritiske sonen ved Tveitanlia vil en forvente dårlig fjell på grunn av lav fjelloverdekning. Her blir det viktig å utføre tiltak slik at det teoretiske tunnelprofilet beholdes når en forserer den kritiske sonen. Innen konvensjonell drift kan anbefalte sikringstiltak være forbolting, rørparaply, ischebeck spilingbolter, jetpeler og frysing. Valget av sikring foran stoff baserer seg på Q-verdien (NFF, 2008).

Tabell 3-1: Anbefaling av sikring foran stoff som resultat av Q-verdi (NFF, 2008).

| Q-verdi | Sikring foran stoff |
|------------|---|
| 0,001-0,02 | Rørparaply/ ischebeck spilingbolter/ jetpeler/frysing |
| 0,02-0,2 | Forbolting |
| >0,2 | Forbolting ved grovblokking, horisontal lagdeling, lav innspenning og ved påhugg |

Etter de geologiske og geofysiske forundersøkelsene kombinert med informasjon med boringer og kartlegging i tunnel inkludert med fjellmasseklassen, skal en kunne bestemme riktig sikringsmetode. Etter håndbok 021 (Vegdirektoratet, 2010) vil en her anta at fjellmasseklassen er av typen F. Fjellmasseklasse F har et fjellforhold som er ekstremt dårlig (lav fjelloverdekning) med en Q-verdi = 0,01-0,1. Her vil det for eksempel være nødvendig med selvboende stag for å sikre tunnelhenget. Det er viktig å sikre tunnelhenget fra at løsmassene trenger seg inn i tunnelen. En fjellmasseklasse G kan det ikke være, siden forsering vil for det meste gå igjennom kalkstein og ikke løsmaser. I forhold til tabell 3-1 bekrefter Q-verdien at tunnelen må forseres med den mest komplekse sikkerhetstiltaket.



Figur 3-3: 3D-modell. Modellen viser kritisk sone i lengderetning. (Myklebost, 2014b)

Forklaring til figur 3-3: ■ Rød farge: Tunnel
■ Grå farge: Fjell
Driveretningen går fra venstre mot høyre



Figur 3-4: 3D-modell. Modellen viser kritisk sone sett i driveretningen. (Myklebost, 2014b)

Forklaring til figur 3-4: ■ Rød farge: Tunnel
■ Grå farge: Fjell
En begrenset del av løsmassene ligger inn i tunnelprofilet

4. **Kriterier for valg av drivemetoder**

Kapittelet utdyper kriteriene for valg av drivemetode i forhold til konvensjonell tunneldrift (boring og sprengning) og fullprofilboring (TBM drift) og om valg av drivemetode i kritisk sone.

4.1.1 **Tunnelprosjekter**

I alle tunnelprosjekter er det viktig med gode forundersøkelser før en begynner med tunneldriften. Det er viktig å få kartlagt fjelloverflatene, fjellartene og svakhetssonene gjennom grunnboringen og andre forundersøkelser.

For prosjektet UFP-08 Eidanger har det blitt foretatt gode forundersøkelser av grunnforholdene. De gode undersøkelsene gir et fortrinn for videre planlegging av tunneldriften i områder som potensielt kan påvirke tunneldriften. Forundersøkelsene gir også et grunnlag over hvilke metoder som kan benyttes for å drive tunnelen.

Alle krav og tiltak må spesifiseres i et eget miljøoppfølgingsprogram. For å forebygge eventuelle skader på arbeidere og materiell.

4.2 **Konvensjonell tunneldrift vs. fullprofilboring (TBM)**

Moderne tunneldrift er basert på to ulike drivemetoder: konvensjonell tunneldrift og TBM drift. Valg av drivemetode avhenger av en rekke faktorer med fordeler og ulemper.

Informasjonen er i utgangspunktet hentet fra en rapport skrevet av Jernbaneverket, med sine kriterier for valg av drivemetode (JBV, 2010).

4.2.1 **Norge**

I Norge har konvensjonell tunneldrift størst utbredelse når det gjelder veg- og jernbanetunneler. Årsaken til dette er landets topografi. Fjellkjedene er mange og ofte små, noe som favoriserer bruken av konvensjonell tunneldrift.

4.2.2 Lengden på tunnelen

Fullprofilboring (TBM) drift krever større investeringer i maskiner enn konvensjonell tunneldrift. Mobiliseringstiden til en TBM maskin er veldig lang, men den kan gi en betydelig raskere inndrift. Lengden på tunnelen er avgjørende på om TBM driften kan være konkurransedyktig i forhold til pris. Prosjektet risikerer å bli en fiasko med TBM løsningen, dersom en støter på maskintekniske problemer eller geologiske problemer.

4.2.3 Tunnelprofil

Konvensjonell tunneldrift har sine fordeler når det kommer til tunnelprofiler med varierende tverrsnitt. Tunnelriggene er veldig fleksible når det kommer til endringer av tunneltverrsnitt. For tunneler med et løp med to spor, vil størrelsen på tverrsnittet tale til fordel for konvensjonell tunneldrift. Bygging av to separate tunneler med et spor i hvert løp, kan TBM drift være mer aktuelt.

4.2.4 Overskuddsmasser

Overskuddsmassene for konvensjonell tunneldrift kan benyttes i utfyllinger og fyllinger, og representerer dermed en ressurs. Overskuddsmassene i TBM driften består ofte av finere masser som ikke kan benyttes til slikt formål.

4.2.5 Miljø

Konvensjonell tunneldrift består av dieseldrevne maskiner som slipper ut betydelige mengder med CO₂ (Karbondioksid) gasser og andre typer gasser. Sprengningene er en belastning for omgivelsene i forhold til støy, vibrasjoner og skytegasser.

TBM driften reduserer mengden støy og vibrasjoner, men utvikler store mengder farlige støvpartikler. TBM maskinen vil kunne filtrere bort de farlige støvpartiklene med et innebygd renseanlegg. Boreprosessen foregår elektrisk og vil derfor være skånsom mot miljøet. I Norge produseres 99 % av all kraftproduksjon fra vannkraft (Statkraft, 2009), det gjør TBM driften miljøvennlig med tanke på bruken av elektrisitet.

4.3 Valg av drivemetode for UFP-08 Eidanger

Tabell 4-1: Fordeler og ulemper med konvensjonell- og TBM drift. (Hansen, 2014)

| Konvensjonell tunneldrift | Fullprofilboring (TBM) |
|---|--|
| <p>Fordeler konvensjonell tunneldrift:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lang erfaring • Mindre investeringer • For korte tunneler kan konvensjonell tunneldrift være konkurransedyktig på pris • Kort mobiliseringstid • Kortere leveringstid av maskiner 5-6 md. • Høy fleksibilitet på ulike tunneltverrsnitt • Kan benytte overskuddsmassene til andre formål • Mindre strømforsyning til konvensjonell sprengning • En god løsning for prosjekter med dårlige grunnundersøkelser. Fleksibel i forhold til uforutsette hendelser | <p>Fordeler fullprofilboring (TBM):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kan gi rask inndrift etter montering • Lengden på tunnelen er avgjørende for at TBM driften skal være konkurransedyktig på pris • Krever mindre sikring pga. mindre rystelser under tunneldriften • Bedre kontur • Større forutsigbarhet med resultatet • Mindre miljømessige forstyrrelser • Lite støy og vibrasjoner • Bedre arbeidsmiljø • Ingen skytegasser • Kan drive lengre tunneler uten tverrslag, siden ventilasjonsbehovet er redusert • Tunnelen kan ferdigstilles parallelt med tunneldriften • Mindre problematikk med sprengstoff |
| <p>Ulemper konvensjonell tunneldrift:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kan gi tregere tunneldrift • Dårligere arbeidsmiljø • Mer støy og vibrasjoner • Dårligere stabilitet • Større krav til sikring av tunnel • Mindre forutsigbarhet på resultatet • Mengden av skytegasser • Stort behov for ventilasjon, må konstruere tverrslag for å øke tilgangen til luft • Sprengstoff problematikk • Gir dårligere kontur | <p>Ulemper fullprofilboring (TBM):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mindre erfaring i Norge • Høye investeringer • Støyproblematikk • Lang mobiliseringstid. Kan ta opp mot 2-3 md. å bygge opp en TBM maskin • Lang leveringstid, 10-12 md. på TBM maskinen • Lav fleksibilitet på ulike tunneltverrsnitt • Krever kraftig strømforsyning til TBM drift • Uheldig løsning for prosjekter med dårlige grunnundersøkelser. Lite fleksibel i forhold til uforutsette hendelser |

Hovedtunnelen tilknyttet prosjektet UFP-08 Eidanger har en strekning på ca. 1,5 km. Det vil være alt for kostbart å konstruere en tunnel på ca. 1,5 km med TBM drift. En har derfor valgt å eliminere denne drivemetoden for videre arbeid. Et forslag til ny vurdering av drivemetoden, kan være å se på andre trasémuligheter for strekningen mellom Farriseidet-Porsgrunn.

Det planlagte jernbaneprosjektet Follobanen mellom Oslo-Ski på 22,0 km, antas å drives med TBM maskiner, tunnelene skal drives i to løp med et jernbanespor i hvert løp. Farriseidet-Porsgrunn strekningene er på ca. 23,0 km. En tilsvarende prosjektering for strekningen mellom Farriseidet-Porsgrunn, kan gi TBM drift et fortrinn i forhold til konvensjonell tunneldrift.

Planleggingen med TBM driften må inn i en tidlig fase av prosjektet i forhold til trasévalg og tverrslagsreduksjon. For å kunne utføre den nye prosjekteringen med TBM drift, kan det være aktuelt å bruke en lukket TBM maskin i tilfelle dårlige grunnforhold. Implenia AG i Sveits har tilgang til slike TBM maskiner.

4.4 Kriterier for valg av drivemetode gjennom kritisk sone

Det er mange faktorer og forhold som har betydning når en skal velge den mest optimale løsningen for den kritiske sonen. For å kunne vurdere metodene opp mot hverandre er det viktig å gjennomføre gode forundersøkelser. Tidligere i oppgavene er det bestemt å drive tunnelen med konvensjonell tunneldrift. Konvensjonell tunneldrift vil kunne åpne flere valgmuligheter for tunneldrift gjennom den kritiske sonen. Valgmulighetene for et komplekst sikkerhetstiltak står mellom fem metoder og de viktigste faktorene til å vurdere metodene er:

- Teknikk
- Ressursbruk og framdrift
- Miljøaspektet
- Risiko

4.4.1 Teknikk

Teknikken er viktig for å opparbeide kunnskap om hvordan en kan løse en problemstilling. Problemstillingen er i utgangspunktet ikke åpenbar eller enkel. Den kritiske sonen byr på mange utfordringer for anleggsentreprenøren. Det er viktig at anleggsentreprenøren besitter den riktige kompetansen og de nødvendige ressursene for å kunne forsere den kritiske sonen med den valgte metode.

4.4.2 Ressursbruk og framdrift

Omfatter de økonomiske verdiene som kreves for å utføre metodene. Noen av metodene krever store inngrep med maskiner, store mengder med materialer, flere antall arbeidere, etc.. Tidsbruken på utførelsen er vesentlig for valg av metode. Anleggsentreprenøren ønsker å redusere kostnadene sine med god framdrift i tunneldrivingen. Byggherren ønsker at prosjektet ferdigstilles innen avtalt tid. Byggherren ønsker også å overta en konstruksjon med lang levetid og at brukerne kan benytte den nye jernbanelinjen så tidlig som mulig.

Det er viktig for både anleggsentreprenøren og byggherren å ha god framdrift i tunneldrivingen. Anleggsentreprenøren ønsker å ferdigstille prosjektet til overtagelsestidspunktet, slik at de kan igangsette neste prosjekt.

4.4.3 Miljø

Det ytre miljø er viktig for valg av metode. Det er viktig å basere valgene etter tredje parts krav eller innspill. Arbeid som utføres i dagen har en negativ innvirkning på omgivelsene. Den kritiske sonen ligger i nærheten av et tettbebygde område ved Tveitanlia. Byggherren ønsker å redusere belastende støy og vibrasjoner med hensyn til naboer og vil heller vurdere andre metoder enn metoden "cut and cover". Det skal transporteres store mengder med masser under tunneldrivingen, derfor er det en rekke krav som må følges og eventuelle tiltak som må igangsettes. Det å forsere den kritiske sonen med valgt metode, vil kreve store utslippsmengder som vil gå ut til luften, vannet eller grunnen. Her er det viktig å forholde seg etter de regler som finnes til rådighet for å forebygge slike lekkasjer.

4.4.4 Risiko

Hva kan gå galt? Hvem bærer risiko? For "cut and cover" metoden er det byggherren som bærer risikoen, for de andre metodene er det i utgangspunktet anleggsentreprenøren som vil bære risikoen. Årsaken i at byggherren bærer risikoen for utførelsen av "cut and cover" metoden er at de har utarbeidet prosjekteringen for denne metoden. Implenia Norge AS vil måtte utarbeide egne prosjekteringsløsninger for alternative metoder.

For denne oppgaven er det utarbeidet egne risikovurderinger for å kunne gi et bedre vurderingsgrunnlag for valg av metode. Risikovurderingen vil bli vurdert for de metodene som videre blir utarbeidet med hensyn på ressursbruk.

Det er derfor viktig å få kartlagt sannsynlighetene og konsekvensene for at en uønsket hendelse skal finne sted (Standard-Norge, 2008) under utførelsen av kritisk sone.

Risikovurderingen er et godt verktøy til å reduserer eventuelle farer for arbeiderne, den vil igangsette sikringsarbeidene tidlig, bevisstgjøre arbeiderne og synliggjøre risiko.

4.5 Entreprenørens valg av drivemetode i kritisk sone

I forbindelse med forhandlinger og i samhandlingsperiode for prosjektet UFP-08 Eidanger i slutten av år 2013, ble det avtalt at en i felleskap skulle søke alternative løsninger for forsering av kritisk sone. Den kritiske sonen for metoden "cut and cover" strekker seg fra km 181,017 til km 181,063 øst for boligområdet ved Tveitanlia. Det tilsvarer en strekning på 46,0 m. Her krysser tunneltraséen en forsenkning i terrenget.

Totalsonderinger utført i byggeplanfasen og fjellkontrollboringer utført i år 2001 viser at det er manglende fjelloverdekning langs hovedtunnelen. Den kritiske sonen ble prosjektert gjennom JBV til å drives med metoden "cut and cover".

Implenia Norge AS har gjort en ny vurdering og kommet frem til å forsere den kritiske sonen med Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter. For prosjektet medfører dette at en berører naboer vesentlig mindre enn om man utfører prosjektert løsning.

For metoden "cut and cover" vil det være nødvendig å iverksette en egen prosjektgruppe for å ta ansvar for det administrative og det fysiske arbeidet. Drivemetoden som er foreslått av Implenia Norge unngår kostnadene med å innføre en egen prosjektgruppe.

Utførelsen av metoden "cut and cover" vil ha en planlagt ferdigstillelse etter ca. 284 dager. Et problem med denne løsningen er at utførelsen krever full stopp i tunneldriften fra Norcem (portalen vest) mot øst i det en ankommer den kritiske sonen ved km 181,063. Det vil også forekomme full stopp i tunneldrivingen fra den andre siden ved km 181,017. Grunnet at entreprisen UFP-08 Eidanger skal ferdigstilles innen juni 2016, vil det være hensiktsmessig at arbeidet med den kritiske sonen starter snarest mulig.

Mulighetene med drivemetoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter vil kunne fortsette tunneldriften fra Norcem mot øst uten full stans. Det vil også kunne gi god framdrift for prosjektet.

Byggherren ligger på en tidskritisk linje i forhold til valg av løsning. Det er fremlagt i framdriftsplanen for prosjektet at tunneldriften fra Norcem mot øst, vil kunne ankomme den kritiske sonen innen juni måned.

5. Drivemetoder med tekniske løsninger ved Tveitanlia

Kapittelet utdyper tekniske beskrivelser over fem ulike drivemetoder til å forsere den kritiske sonen. Drivemetodene har som siste del kapittel en beskrivelse over hvordan en kan forsere den kritiske sonen ved Tveitanlia.

5.1 "Cut and Cover"

5.1.1 Innledning

Metoden er kjent for å være en sikker løsning under dårlige grunnforhold. Metoden "Cut and cover" er den metoden med størst utbredelse i verden (Mouratidis, 2008). Den ble først innført i undergrunns prosjekter og senere i veg-/jernbane tunneler.

5.1.2 Teknisk løsning

Arbeidsoppgavene innen metoden "cut and cover" handler om å grave opp et bestemt volum med løsmasser/utsprenge fjellmasser, en arbeidsprosess som kalles "cut". Før en begynner med gravearbeidet, er det viktig med gode forundersøkelser og med et godt sikret område. Spuntvegger er et godt sikkerhetstiltak for å unnslippe utglidninger av løsmasser. I byggegropen skal det konstrueres en betongkulvert. Betongkulverten kan bygges opp på forskjellige måter, enten ved plasstøpt betong, prefabrikkerte betongelementer, sprøytebetong eller en kombinasjon med plasstøpt betong og prefabrikkerte betongelementer. I tilknytning til betongarbeidene er det viktig at konstruksjonen er vanntett og har god vanndrenering. Etter betongarbeidene skal tunnellopet dekkes med løsmasser, en arbeidsprosess som kalles "cover".

5.1.3 Generelle fordeler med metoden "cut and cover":

- Arbeidet utføres i dagen, det gir en god oversikt over utførelsen
- En sikker løsning under dårlige grunnforhold
- Kan unngå store prosjekteringskostnader
- For tunneler med lav masseoverdekning og med et begrenset volum av masser som må transporteres
- Kort mobiliseringstid
- Mange med erfaring innen "cut and cover" metoden

5.1.4 Generelle ulemper med metoden "cut and cover":

- Arbeid i dagen kan medføre støy, vibrasjoner og andre skader på det ytre miljø
- For tunneler med stor masseoverdekning og med store volum av masser som må transporteres
- Kan gi en lang utførelsestid
- Krever mange anleggsmaskiner og mange arbeidere
- Hyppigere vedlikehold på maskiner og utstyr
- Krever en del plasskrevende maskiner og utstyr
- Kan kreve store sikkerhetstiltak

5.1.5 Tveitanlia med "cut and cover"

Den 46,0 m lange "cut and cover" løsningen er den prosjekterte løsningen fra byggherren. "Cut and cover" sonen strekker seg fra km 181,017 til km 181,063 øst for boligområdet ved Tveitanlia. Totalsonderinger utført i byggeplanfasen og fjellkontrollboringer utført i år 2001 viser at det er manglende fjelloverdekning langs hovedtunnelen. En løsning for å forsere den kritiske sonen er å konstruere en plasstøpt betongkulvert. Hvor det skal etableres pilastrene langs de vertikale fjellkjæringene med senteravstand ca. 2,5 m som festes til fjell. Mellom pilastrene benyttes plannja-plater og Sundolitt XPS-plater som isolering. Veggene til betongkulverten støpes direkte mot disse pilastrene og det dannes en trykkbue i taket. Plannja-platene og Sundolitt XPS isolasjonen er for å sikre drenering bak veggen.

5.2 Rørparaply

5.2.1 Innledning

Metoden er kjent for å være en effektiv løsning, dersom det forekommer svake soner i tunnelen eller den brukes ved å sikre henget i portalen. Metoden har fått stor utbredelse internasjonalt, men i Norge er den kun benyttet i Snekkestad entreprisen i forbindelse med prosjektet Holmestrand stasjon utført av Marti/IAV.

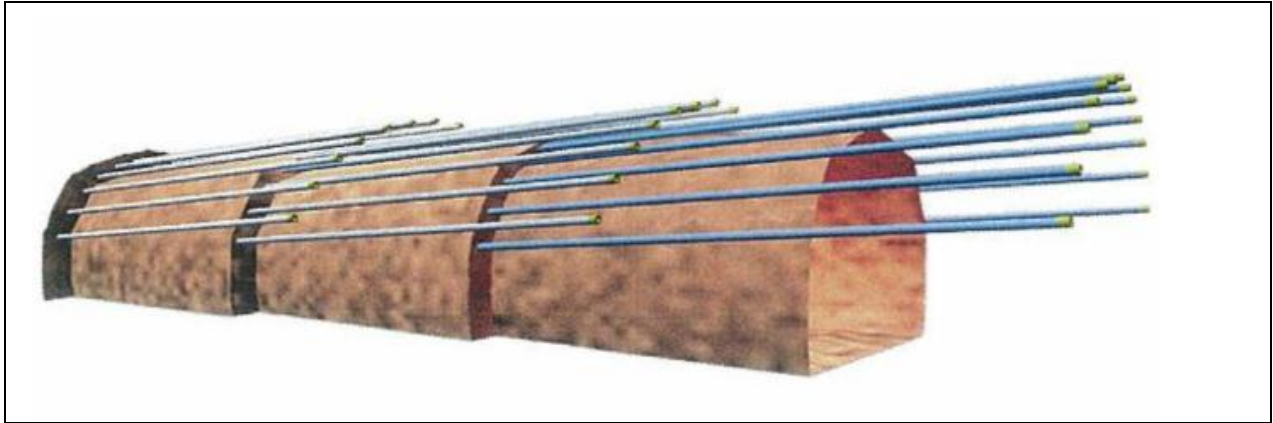
Det finnes to ulike teknikker å installere en rørparaply:

- Forboringsteknikken
- Føringrørborings teknikken

Hensikten med rørparaplymetoden er å øke sikkerheten for tunnelarbeiderne og redusere deformasjonene forårsaket av tunnelkonstruksjonen. Det er derfor viktig å benytte riktige installasjonsteknikk for det gitte prosjekt, samt å velge riktig dimensjon og forbindelse på stålrørene.

5.2.2 Felles for begge teknikker

I rørparaplymetoden installerer man perforerte stålrør inn i en vifteform over tunnelprofilet og prøver å få denne så vanntett som mulig med hjelp av injeksjon. Stålrørene kan bores inn i flere omganger slik at en oppnår flere stålrør over hverandre. Tanken er at injeksjonsmassen skal fylle stålrørene i tillegg til å fylle åpne rom i fjell-/løsmasser. Ønsket resultat er å få en vanntett "paraply" over tunnelen. Installeringen av stålrørene vil kreve et større arbeidsområde og derfor må tunnelprofilet utvides i forhold til planlagt tunnelverrsnitt.



Figur 5-2: 3D-modell av rørparaplymetoden i tunnel. (Boiger, 2011)

Forklaring til figur 5-2: Figuren viser tre omganger med rørparaply og en utvidende tunneprofil der rørparaplyen installeres. Borekronen med gul farge i enden sitter igjen etter ferdigstilt fôringsrørborring

Typiske totallengder av stålrørene er på ca. 12-15 m. Stålrørene er en mekanisk gjenstand med en ytre begrenset vegg og et indre hulrom. Den utvendige tverrsnittsdiameteren på stålrørene ligger mellom 70-200 mm og veggtykkelsen på stålrørene ligger mellom 6-13 mm (Volkman and Schubert, 2007).

Ønsket vinkel på stålrørene fra stoff og videre inn i tunnelretningen ligger i område 10-15°. For kritiske soner med lav fjelloverdekning er det utfordringer i forhold til innrasning. For å forebygge dette kan det være aktuelt å redusere vinkelen på stålrørene. Stålrørene sikrer med dette hengt i tunnelen og får den kritiske sonen så tett som mulig mot tunnelprofilet. Valg av c/c-tall (senteravstand) mellom stålrørene med hensyn på den kritiske sonen bør reduseres, slik at en oppnår et tett skjold. En vifte med store c/c-tall mellom stålrørene krever også et høyere pumpetrykk enn en vifte med lave c/c-tall. Det er på grunn av at hvert stålrør må dekke et større volum med injeksjon.

Funksjonen til hvert stålrør er å kunne overføre den langsgående lasten i fjell-/løsmasser til mindre kritiske områder. De mindre kritiske områdene skal fungere som landkar til stålrørene. Hengt i stoffen må være av solid fjellmasse for å kunne installere stålrørene. Tidsprosessen på installeringen avhenger av antall stålrør som skal bores inn pr. omgang og om grunnforholdene byr på utfordringer i forhold til innrasning.



Figur 5-3: Installasjon av 114 mm perforerte stålrør i stoff. (Frogner et al., 2013)

5.2.3 Forboringsteknikken

Forboringsteknikken har en tre-trinns installasjon, ved første trinn forbores det en mengde tilnærmede horisontale borehull, det andre trinnet så settes tilsvarende antall stålrør inn i borehullene og det tredje siste trinnet så injiseres stålrørene med injeksjonsmasse.

Teknikken eigner seg dårlig for større tunnelverrsnitt. Den spesialiserte tunnelmaskinen har et begrenset arbeidsområde og antall installasjonstrinn gjør teknikken ineffektiv for større tunnelverrsnitt.

Svake grunnforhold har en negativ innvirkning på stabiliteten til borehullene og siden borehullene ikke blir sikret rett etter boring, har forboringsteknikken en betydeligere høyere risiko for setninger enn fôringsrørboring teknikken (Volkman and Schubert, 2008).

Boringen gjøres ved hjelp av en spesialisert tunnelmaskin med kun en stk. lang arm.

Boreutstyret blir oftest avkjølt ved hjelp av vann, som blir transportert gjennom borestangen og ut i borekronen. Vannet fjerner mulig borkaks og slam mellom borekronen og stoffen. Det kan være nødvendig å avslutte boreprosessen med å trekke borekronen frem og tilbake for å renske borehullet.

Det er vanlig å bore flere borehull før en begynner å installere stålrørene, slik at en slipper å flytte boreriggen unødvendig mange ganger. I borehullene installeres det et stk. stålrør med 12-15 m lengde.



Figur 5-4: Spesialisert tunnelmaskin. (Volkman and Schubert, 2008)

5.2.4 Føringrørboring teknikken

Føringrørboring teknikken har en to-trinns installasjon, ved første trinn handler det om å foreta en tilnærmet horisontal boring, der 3,0 m lange stålrør følger rett etter borekronen og sikrer borehullet under boring. Etter at stålrørene er installert, skal stålrørene injiseres.

Prosessen er tidsbesparende og egner seg best i større tunnelverrsnitt, eksempelvis Snekestad entreprisen med et tunnelverrsnitt for dobbeltspor på 133,1 m².

Mulighetene til å benytte større tunnelrigger gjør at installasjonsprosessen blir effektiv. John & Mattle (John and Mattle, 2002) har beskrevet at det er mulig å installere ca. 600 m med stålrør i løpet av **24 h**, inkludert injeksjon i stålrørene.

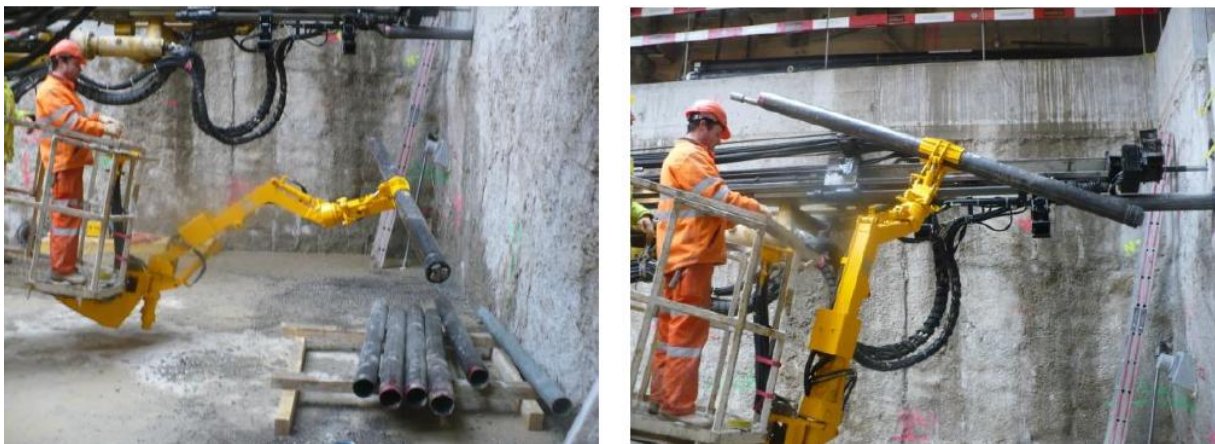
Installeringen av 600 m med stålrør med for eksempel 15,0 m pr. borehull, vil utgjøre ca. **40 stk.** borehull på tunnelverrsnittet. Det vil ta ca. 0,6 h å installere et 15,0 m langt stålrør inkl. injeksjon.

15,0 m langt stålrør = 5 stk. x 3,0 m stålrør

Medgått tid av et 15,0 m langt stålrør:

$$\frac{24 \text{ h}}{40 \text{ stk}} = 0,6 \text{ h}$$

Tunnelriggen installerer inn stålrørene på 3,0 m lengde. Boreprosessen blir avbrutt etter hver tredje meter med boring og fortsetter etter tilkobling av et nytt 3,0 m langt stålrør med tilsvarende borestanglengde (Volkman and Schubert, 2008).



Figur 5-5: Installering av et 3,0 m langt stålrør. (Boiger, 2011)

Tabell 5-1: Rørsesifikasjoner for 3,0 m lange stålrør. (Dywidag-Systems, 2013)

| System | Stål type | Elastisitetsmodulus | Flytespenning | Utvendig diameter | Vegg tykkelse | Vekt | Standard rørlengde | Tregghetsmoment | Maksimalt moment (Elastisk) |
|----------|-----------|----------------------|----------------------|-------------------|---------------|--------|--------------------|--------------------|-----------------------------|
| Type | 2) | [N/mm ²] | [N/mm ²] | [mm] | [mm] | [kg/m] | [m] | [cm ⁴] | [kNm] |
| AT - 76 | S355 | 210 | 355 | 76,1 | 6,3 | 10,8 | 3,0 | 85 | 7,9 |
| AT - 89 | | | | 88,9 | 6,3 | 12,8 | 3,0 | 140 | 11,2 |
| AT - 114 | | | | 114,3 | 6,3 | 16,8 | 3,0 | 312 | 19,4 |
| AT - 139 | | | | 139,7 | 8,0 | 26,0 | 3,0 | 720 | 36,6 |
| AT - 168 | | | | 168,0 | 12,5 | 48,0 | 2,0 | 1860 | 78,5 |

Boreutstyret blir oftest avkjølt ved hjelp av vann. Vannet blir transportert gjennom borestangen og ut i borekronen. Vannet fjerner mulig borkaks og slam mellom borekronen og stoffen. Når borehullet er ferdig boret, vil borestangen bli fjernet og gjenbrukt til neste borehull. Borekronen blir liggende i enden av borehullet etter ferdig installasjon av et 15,0 m langt stålrør.



Figur 5-6: Eksempler på borekroner til fôringsrørboring teknikken. (Boiger, 2011)

5.2.5 Rørforbindelser

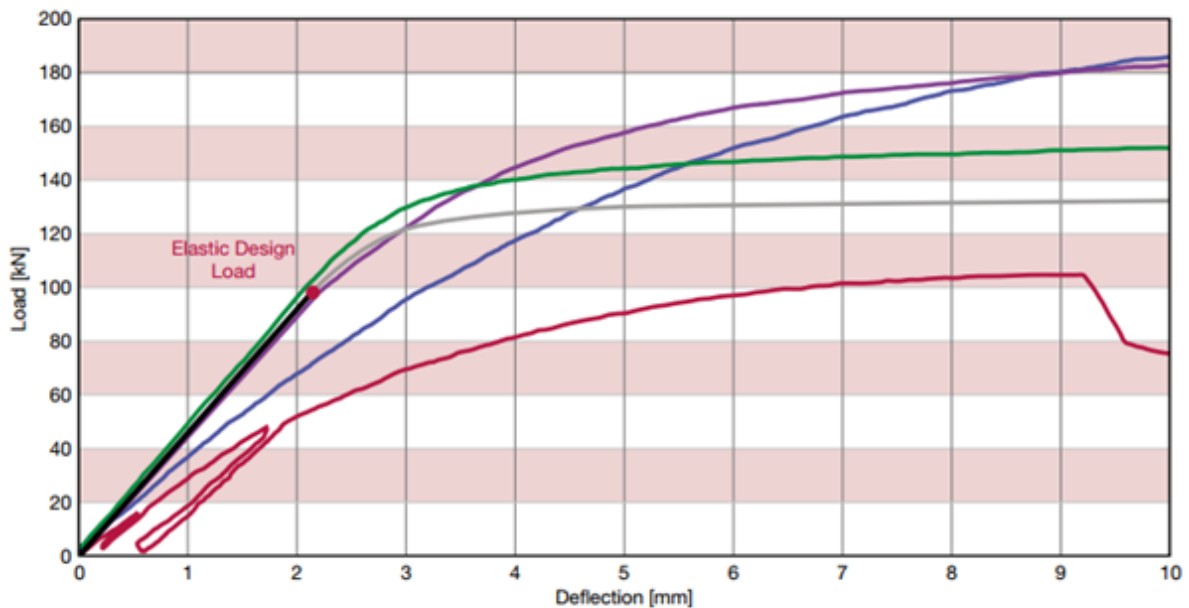
Selskapet ALWAG er et datterselskap av DYWIDAG-System International, hvor PhD Mr. Volkmann forsket og utviklet et system med navn AT- Umbrella System. PhD Mr. Volkmann har utgitt mer enn ti internasjonale publikasjoner. I dette del kapittelet forklares tre ulike måter å forbinde de 3,0 m lange stålrørene med AT- Umbrella System (Dywidag-Systems, 2013).

- Standard gjenget rørforbindelse
- Presset rørforbindelse
- Gjenget rør-ende forbindelse

5.2.5.1 Forhold mellom last og nedbøyning for forbindelsene

Grafen nedenfor viser hvordan forbindelsene takler de påkjenningene som er gitt og hvordan de beveger seg i forhold til standard rør (■ grønn strek).

- Standard gjenget rørforbindelse (■ rød strek)
- Presset rørforbindelse (■ blå strek)
- Gjenget rør-ende forbindelse (■ lilla strek)



Figur 5-7: Forholdet mellom last og nedbøyning. (Dywidag-Systems, 2013)

5.2.5.2 Standard gjenget rørforbindelse (Dywidag-Systems, 2013)

Et 3,0 m langt stålrør har innvendige gjenger på den ene enden og utvendige gjenger på den andre enden. Rundt 1840 årene konstruerte Joseph Whitworth det anerkjente gjengesystemet, som dannet grunnlaget til dagens gjengesystem etter internasjonal standardiseringsorganisasjon (ISO) og Norsk standard (NS). Tilkoblingen av en standard gjenget forbindelse er en enkel prosess, der stålrørene med motsatt ende skrues sammen under fôringsrørboringen.

Tverrsnittarealet til en standard gjenget rørforbindelsen er mindre i forhold til tverrsnittarealet til et standard rør uten skjot. Årsaken til dette er på grunn av luftlommene mellom gjengene. Installerte stålrør viser til en konstant indre diameter. Reduksjonen av

tverrsnittsarealet fører til en styrkereduksjon i forbindelsen. Den lastbærende evnen til stålrørene blir også redusert dersom det forekommer feil under tilkoblingen eller en feil under injeksjonsprosessen av stålrørene.

Valg av stålrør med tykkere vegger kan forbedre bæreevnen til forbindelsen. Installeringen av denne forbindelsen kan utføres med hjelp av AT- Pipe Umbrella Automation Unit og utstyret monteres på bommen til tunnelriggen.

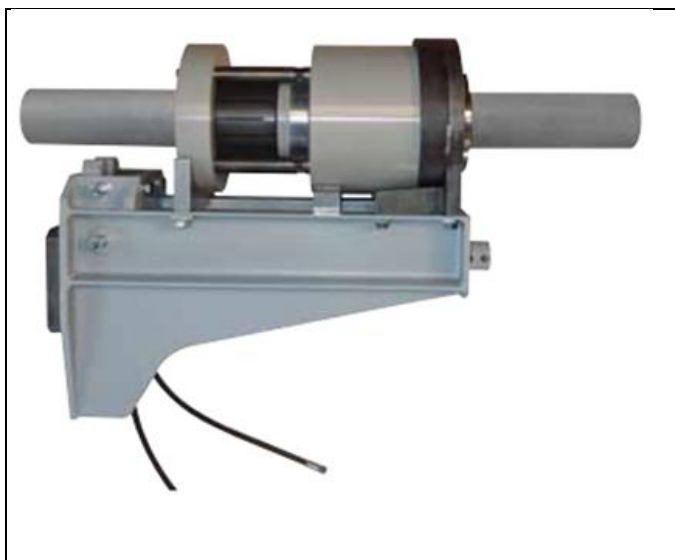


Figur 5-8: Standard gjenget rørforbindelse. (Dywidag-Systems, 2013)

5.2.5.3 Presset rørforbindelse (Dywidag-Systems, 2013)

Et 3,0 m langt stålrør med en redusert rør-ende på den ene enden, blir tvunget inn i den motsatte part. Den reduserte rør-enden har et mindre tverrsnittsareal og den motsatte part har et større tverrsnittsareal. Enklere sagt har et 3,0 m langt stålrør en geometrisk form med to ender med ulike tverrsnittsarealer. Installeringen av denne forbindelsen må utføres med hjelp av AT- Pipe Umbrella Automation Unit (figur 5-9). Utstyret monteres på bommen til tunnelriggen og forbindelsen kan brukes under alle grunnforhold på grunn av sin gode lastkapasitet.

Forbindelsen tåler høyere lastpåkjenninger enn et standard rør (figur 5-7). Tverrsnittarealet til en presset rørforbindelse er mindre i forhold til tverrsnittsarealet til et standard rør uten skjøt. Reduksjonen av tverrsnittsarealet fører til en styrkereduksjon i forhold til momentpåkjenninger.



Figur 5-9: AT- Pipe Umbrella Automation Unit. (Dywidag-Systems, 2013)



Figur 5-10: AT- Pipe Umbrella Automation Unit er markert. (Dywidag-Systems, 2013)

5.2.5.4 Gjenget rør-ende forbindelse (Dywidag-Systems, 2013)

Et 3,0 m langt stålrør har innvendige gjenger på den ene enden og utvendige gjenger på den andre enden. Enden med utvendige gjenger har et mindre innvendig hulrom enn resten av stålrøret. Den skrues sammen med den enden med innvendige gjenger og tilslutt blir tilkoblingen sveiset sammen.

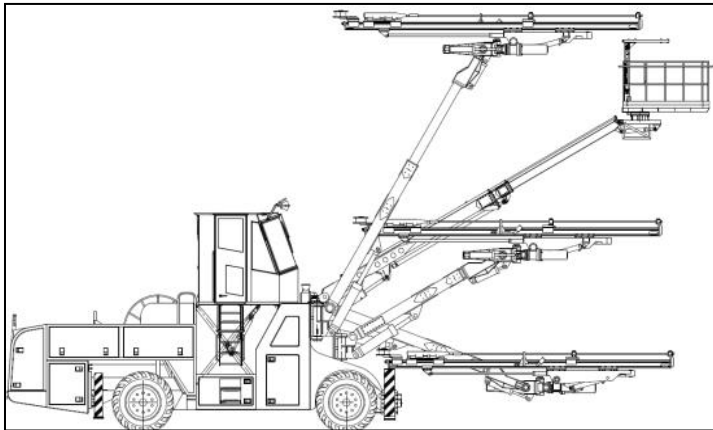
Forbindelsen er foretrukket i svake soner på grunn av sin gode lastkapasitet, ved at den stabiliserer forholdene godt og forhindrer store deformasjoner. Installeringen av denne forbindelsen kan utføres med hjelp av AT- Pipe Umbrella Automation Unit. Forbindelsen har et større tverrsnittsareal enn et vanlig standard rør. Styrkeforholdet mellom disse er omtrent like store (Figur 5-7). Den store styrken til forbindelsen gir store fordeler og må tas i betraktning ved valg av forbindelsessystem.



Figur 5-11: Gjenget rør-ende forbindelse. (Dywidag-Systems, 2013)

5.2.6 3-boms tunnelrigg

Implenia Norge AS benytter en 3-boms tunnelrigg med typen AMV 21SGBC-CC på prosjektet UFP-08 Eidanger. Denne maskinen har muligheter for montering av 3,0 m lange stålrør ved å foreta en teknisk omstilling.



Figur 5-12: Tunnelrigg AMV 21SGBC-CC. (Myklebost, 2014a)

Tabell 5-2: Spesifikasjoner til tunnelrigg AMV 21SGBC-CC. (Myklebost, 2014a)

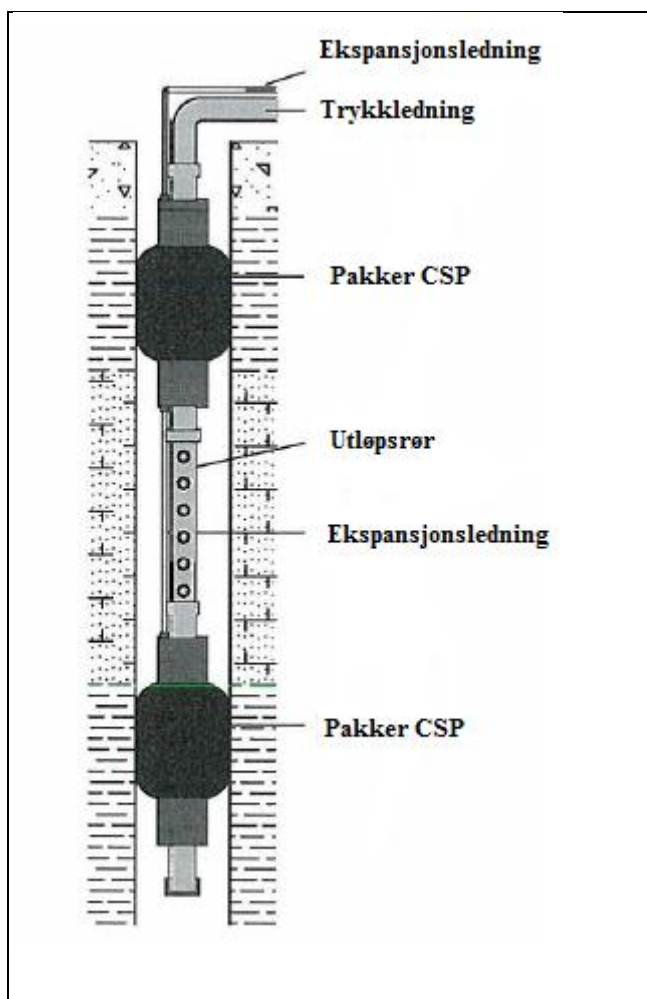
| Spesifikasjoner til tunnelrigg AMV 21SGBC-CC | | |
|--|-------|----------------|
| Vekt | 49000 | kg |
| Bredde | 2,8 | m |
| Lengde | 16,1 | m |
| Høyde | 3,3 | m |
| Dekker tunnelverrsnitt | 190 | m ² |

5.2.7 Injeksjonsprosessen

Injeksjonen utføres primært for å tette fjell-/løsmasser rundt tunnelprofilet. For rørparaplymetoden i kritisk sone er hensikten med injeksjonen å fylle stålrørene i tillegg til å fylle åpne rom i løsmasser, samt å kunne penetrere fjellmassene rundt røret ved bruk av høyt pumpetrykk.

Før injeksjonsprosessen starter skal innlekkasje registreres og eventuell vanntapsmåling utføres. Injeksjonsprosessen starter etter at dobbeltpakkerne er installert i stålrørene.

Dobeltpakkerne har en lengde på 1,0 m (Boiger, 2011). For rørparaplymetoden er det vanlig å installerer en dobbeltpakker fremfor en enkeltpakker. En dobbeltpakker gir en større friksjonsflate inn mot stålet og kan derfor takle større trykkpåkjenninger (Boiger, 2011). Det er viktig å installere en pakker som er tilpasset stålets innvendige diameter.



Figur 5-13: Dobbeltpakker med lengde 1,0 m. (Boiger, 2011)

Stålrørene bør være rengjort med vann før pakkerne blir installert ca. 2,0 m inn i stålrøret. Etter installering av alle dobbeltpakkere skal ekspansjonsledningen skrus til og pakkerne ekspanderes tilstrekkelig. Det er viktig at alle pakkerne blir installert før injeksjonsprosessen starter. Sikkerheten for tunnelarbeiderne er utrolig viktig både under og etter injeksjonsprosessen. En skal ikke oppholde seg foran dobbeltpakkerne under injeksjonsprosessen, siden det høye trykket kan føre til utpressing av pakkerne. For å redusere faren for utpressing kan kjetting være et godt alternativ til forankring.



Figur 5-14: Forankring av injeksjonshullene. (Seehusen, 2013)

Ønsket resultat av injeksjonen er å få en vanntett vifte. Et kritisk problem er å få god nok penetrering gjennom de perforerte hullene i stålrøret. Det er viktig at injeksjonen får en god utspyling for å oppnå en vanntett vifte. De perforerte stålrørene har perforering pr. 1,0 m rørlengde. Et annet problem når det gjelder injeksjon i de perforerte stålrørene, er å oppnå trykk uten at injeksjonsmassen kommer rennende tilbake til tunnelen på utsiden av stålrørene. Det er nemlig et problem å tette det smale, åpne rommet mellom stålrør og fjell for å motstå injeksjonstrykket.



Figur 5-15: Perforerte stålrør pr. 1,0 m rørlengde med gummiventiler. (Boiger, 2011)

Blandingsforholdet mellom vann og sement (v/c) skal ligge mellom 0,45 til 0,8. Injiseringen begynner med et høyt v/c-tall (tynn blanding) for å få en rask utspyling i de massene med dårligst permeabilitet. Vanninnholdet varieres og bestemmes fortløpende i samråd med byggherren. I tillegg skal valg av injeksjonsmiddel og blandingsforholdet for de ulike tilfellene styres av byggherren.

Det er i utgangspunktet lagt opp til at hovedandelen av injeksjonen kan utføres ved bruk av standard injeksjonssement, og at hver injeksjonsrunde skal starte med bruk av standard injeksjonssement.

I områder der det forekommer lav fjelloverdekning og i løsmasser vil det ofte være nødvendig å benytte lavt pumpetrykk under injeksjonsprosessen. Lavt pumpetrykk reduserer faren for at injeksjonen trekker raskt igjennom løsmassene og kan trekke seg til overflaten.

Pumpetrykket for den kritiske sonen ved Tveitanlia skal ikke overstige 15 bar (Borchardt, 2014). Peter Borchardt i Infosystem AB har prosjektert løsningen for Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter og kommet frem til et maksimalt pumpetrykk på 15 bar uavhengig av grunnforholdene.

En injeksjonsrigg av typen AMV 200 har 3-4 stk. injeksjonspumper som kan oppnå en kapasitet på 100 bar og 65 liter injeksjonsmasse pr. minutt. Borehull dataen fra AMV tunnelriggen overføres direkte til AMV injeksjonsrigg, dette innebærer at anleggsentreprenøren har muligheter til å justere pumpetrykket etter fjellforholdene for hvert borehull.

Pumpetrykket blir bestemt etter grunnforholdene i den kritiske sonen, c/c -tallet på stålrørene i begge ender og til det ikke lenger er mulig å presse inn mer injeksjonsmasse ved fastsatt trykk. Hullet skal holdes under dette trykk i 1-2 minutter, før hullet anses ferdig injisert.

En vifte med store c/c -tall mellom stålrørene krever høyere pumpetrykk enn en vifte med lave c/c -tall. Det er på grunn av at hvert stålrør må dekke et større volum med injeksjon.

En avansert mobilinjeksjonsrigg har mulighet til å overvåke injeksjonsprosessen ved hjelp av en datamaskin. Det er kritisk å følge opp injeksjonsprosessen og justere denne for optimalisering av injeksjonsmassen, trykk, pumpehastighet, viskositet og bindetid.

Injeksjonsmassene fører til økning av bøyestrekkefastheten i stålrørene og forsikrer at rørtverrsnittet ikke deformeres under arbeid. Områder som blir dekket med injeksjon får en økning i stivhet og styrke etter herding



Figur 5-16: En avansert injeksjonsrigg AMV 200. (NFF, 2011)

Forklaring til figur 5-16: Denne injeksjonsriggen har muligheter til å injisere 3-4 stk. borehull med et pumpetrykk på 100 bar og 65 liter injeksjon pr. minutt (NFF, 2011)

5.2.8 Generelle fordeler med metoden rørparaply:

1. Unngår arbeid i dagen, med tanke på støy og vibrasjoner ovenfor naboer
2. God løsning under dårlige grunnforhold
3. Fordelaktig i områder med store endringer i grunnforholdene
4. Kan benytte konvensjonell borerigg
5. Robust system
6. Gode tilpasninger for ulike prosjekter
7. Kan oppnå høy produktivitet under tunneldrivingen
8. Krever et færre antall anleggsmaskiner
9. Fôringsrørboring teknikken har en positiv innvirkning på stabiliteten til borehullene, ved at borehullene blir sikret med stålrør under boreprosessen
10. Stålrørens utvendige diameter er store, kan redusere installasjonsmengden av antall stålrør
11. Stålrørene kan bores med god nøyaktighet. De kan bores med 15 m uten boreavvik, noe som gir en meget presis plassering av stålrørene
12. Kan injisere stålrørene. Pakkerne gjør det mulig med en kontrollert injeksjonsprosedyre

5.2.9 Generelle ulemper med metoden rørparaply:

1. Store omstillingskostnader på tunnelrigg
2. Krever god prosjektplanlegging
3. Krever god presisjon under utføringen
4. Krever spesialiserte anleggsarbeidere under installasjon av rørparaplyen
5. Høye materialkostnader
6. Forboringsteknikken har en negativ innvirkning på stabiliteten til borehullene, ved at borehullene ikke blir sikret med stålrør under boreprosessen
7. Under injeksjonen kan det være vanskelig å få god nok penetrering gjennom de perforerte stålrørene
8. Vanskelig å tette det smale, åpne rommet mellom stålrør og fjell for å motstå injeksjonstrykket

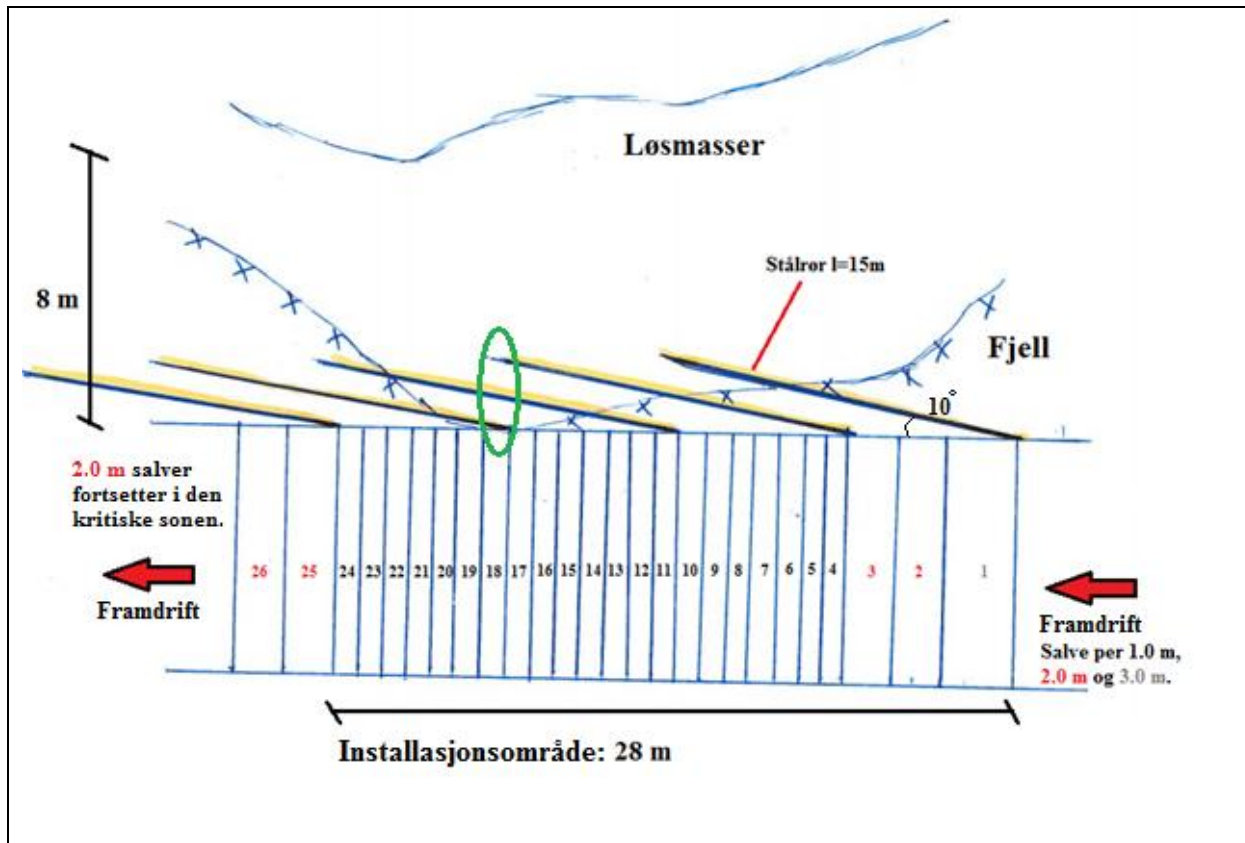
5.2.10 Tveitanlia med rørparaply

Den kritiske sonen for denne metoden har en lengde på ca. 37,0 m. Den er 9,0 m kortere enn lengden for metoden "cut and cover". Årsaken til dette er fordi at stålrørene kan utnytte vesentlige deler av fjellet. Valg av løsning på hvordan en kan forsere sonen er basert på konservative vurderinger og den tilegnede kunnskapen fra litterære kilder, som for eksempel Snekkestad entreprisen utført av Marti/IAV (Frogner et al., 2013).

Det skal benyttes 15,0 m lange perforerte stålrør av typen AT-114 med utvendig diameter på 114 mm. Tunnelprofilet i denne størrelsen er avhengig av å bruke en 3-boms tunnelrigg. Det er hensiktsmessig å utføre innboringen av stålrørene med fôringsrørboring. Fôringsrørboring vil kunne være den mest effektive løsningen med tanke på størrelsen på tunnelprofilet. Stålrørene leveres med 3,0 m lengde med en gjenget rør-ende forbindelse og skjøtes sammen under innboring. Forbindelsen har gode egenskaper i siltmassene og har de samme styrkeegenskapene som et standard rør uten skjøt. Det er også lagt et forbehold om å forsterke forbindelsene med 12,0 m lange Ø32 kamstål for å forhindre at forbindelsene knekker under store belastninger.

Det skal settes en ny omgang med stålrør for hver syvende tunnelmeter. Med en kritisk sone på 37,0 m er det valgt å installere fem omganger med rørparaply. De fem omgangene med rørparaply krever et installasjonsområde på 28,0 m. Tverrsnittet på stålrørene gjør at de må installeres over gitterbuene.

For å kunne installere stålrørene i den mest kritiske sonen i tredje omgang og fjerde omgang kan det være aktuelt å bore inn 12,0 m lange injiserbare bolter i stoffen. Stoffen blir deretter sprutet inn med fiberarmert sprøytebetong. Det vil mest sannsynlig være nok å sprute inn med fiberarmert sprøytebetong på stoff. Dette vil kunne gi en god installasjonssone for stålrørene. Stålrørene installeres med kun en rad pr. omgang. I praksis blir det en dobbel rørparaply gjennom fjell-/løsmasse området. En kan oppnå en tre lags overlapping i noen områder.



Figur 5-17: Tenkt løsning av metoden rørparaply langs kritisk sone.

Forklaring til figur 5-17: ■ Markert grønn sirkel viser tre lags overlapping

Senteravstanden mellom stålrørene ved innboringen vil ligge på $c/c= 40,0$ cm. Stålrørene vil ha en stikning på 10° fra den ene enden til den andre. Rørparaplyen skal dekke en sektor av henget med 120° . Med en tunnelradius på $R= 7900$ mm, vil dette gi ca. 42 stk. 15,0 m lange stålrør pr. omgang.

$O_n =$ Buelengde

$R = 7900$ mm

$n^\circ = 120^\circ$

$c/c = 400$ mm

$$O_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot n^\circ}{360^\circ} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 7900 \cdot 120^\circ}{360^\circ} = 16545,8 \text{ mm}$$

$$\frac{16545,8 \text{ mm}}{400 \text{ mm}} = \underline{\underline{41,36 \approx 42 \text{ stk.}}}$$

Totalt antall stålrør = $42 \text{ stk.} \cdot 5 \text{ omganger} = \underline{\underline{210 \text{ stk.}}}$

Det skal installeres totalt ca. 210 stk. 15,0 m lange stålrør gjennom den kritiske sonen på ca. 37,0 m. Skjøting av stålrørene utføres med hjelp av AT- Pipe Umbrella Automation Unit, som er installert på enden av bommen til tunnelriggen.

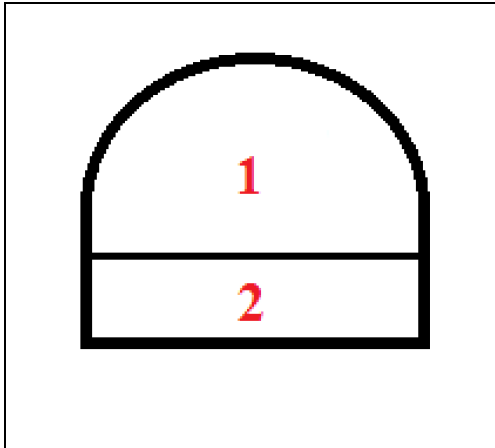
Etter installering av rørparaplyen injiseres stålrørene med en injeksjonsmasse med v/c-tall mellom 0,45 til 0,8 og injeksjonstrykket skal ikke overstige 15 bar (Borchardt, 2014). For å kunne starte injeksjonsprosessen må dobbelpakkerne installeres. Det må installeres ca. 210 stk. dobbelpakkere.

Etter oppfylling av injeksjon i rørparaplyen er det viktig å kontrollere at stålrørene er fullstendig oppfylt med injeksjon.

Under forseringen kan det oppstå problemer med inntrengning av vannmettede siltmasser. En kan stabilisere de vannmettede siltmasser ved å redusere vanntrykket og vannvolumet med å montere sugespisser (Wellpoints) fra dagen. Dette vil av erfaring stabilisere siltmassene (Myklebost, 2014a).

For å forebygge vanninntrengning inn på stoff, kan det være aktuelt å bore inn 15,0 m lange injeksjonshull i stoffen for å skape en tett forsering i tunnelen. Et supplement for tetting av tunnelprofilen.

Tunneldrivingen i den kritiske sonen er delt inn i to deler.



Figur 5-18: Utsprengningsplan: Toppskive 1 og stross 2.

Den utvidende toppskiven 1 blir sprengt ut først og sikret gjennom hele sonen. Utvidelsen tilsvarer tung sikring. Det er kun i den utvidede toppskiven det monteres rørparaply. Det er viktig å kvalitetssikre at en får god fremkommelighet med anleggsmaskinene under tunneldrivingen i toppskiven.

For de resterende 3-4 m blir strosset ut i etterkant. Valget av å sprengne ut toppskiven først er for å redusere trykkpåkjenningene i henget. Ved full utsprengning kan spennet i tunnelen bli for stort og faren for kollaps øker betraktelig. Det kan være aktuelt å dele toppskiven opp i to deler, hvis de svake grunnforholdene tilsier det.



Figur 5-19: Utstrossing av de resterende massene på 3-4 m høyde. (Frogner et al., 2013)

Sonen blir forsert med 1,0 m, 2,0 m og 3,0 m lange salver. Det skal lades forsiktig inn mot det område med lavest fjelloverdekning. Den korte salven på 1,0 m er valgt på grunn av stor

usikkerhet knyttet opp mot grunnforholdene i den kritiske sonen. Det er viktig at en sprøytebetongbil er lett tilgjengelig for å påføre fiberarmert sprøytebetong under forseringen. Sprøytebetongen skal kunne forebygge faren for inntrengning av fjell-/løsmasser og gi en god installasjonsflate for gitterbuene.

For å bære det massive sikringsmaterialene er det installert Pantex gittebuer (115/26/34) med $c/c=1,0$ m. Antall gitterbuer blir ca. 40 stk. Det vil ta ca. 6,0 h å installerer et stk. Pantex gitterbuer (tabell 5-4) med 4 stk. Ischebeck titan fjellbolter. Funksjonen til gitterbuene er å reduserer setninger i omsluttende fjell-/løsmasser og den opptar lokale tilleggskrefter som følge av sikringsarbeidet. Gitterbuene blir levert i seks seksjoner og installert på anlegget. For å sikre at gitterbuene holder avstanden med 1,0 m er det installert avstandsbolter mellom buene.

I tunnelhenget mellom gitterbuene kan det være nødvendig å installere 4,0 m lange sikringsbolter. Sikringsboltene er avhengig av fjell for å kunne bli fullstendig installert.

Tabell 5-3: Arbeidsoppgaver for metoden rørparaply.

| Arbeidsoppgaver for metoden rørparaply. |
|---|
| 1. Salvesprengning 1,0 m, 2,0 m og 3,0 m salve |
| 2. Moduleringsbetong i kontur for installasjon av gitterbue |
| 3. Installasjon av gitterbue |
| 4. Fiberarmert sprøytebetong på og mellom gitterbuene |
| 5. Boring av tunnelprofil for ny salve |
| 6. Installasjon av ny gitterbue |
| 7. Installasjon av rørskjerm |

Drivemetoden er et godt alternativ for forsering av kritisk sone. Metoden vil videre bli vurdert opp mot de andre kriteriene.

5.3 Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter

5.3.1 Innledning

Implenia Norge AS har i samhandling og forhandlinger med byggherren for prosjektet UFP-08 Eidanger, avtalt i felleskap en mulig alternativ løsning for forsering av kritisk sone. Ischebeck spilingbolter kombinert med Pantex gitterbuer er den løsningen anleggsentreprenøren har valgt å gå videre med.

Metoden begrenser inngrep fra dagen i område over tunnelen og den er kjent for å være en effektiv løsning for å sikre stoffen før en forserer den kritiske sonen. Denne metoden kan i mange sammenhenger sammenlignes med rørparaply og den har hatt større utbredelse i Norge enn for eksempel rørparaplymetoden.

5.3.2 Teknisk løsning

Injiserbare Ischebeck titan spilingbolter installeres inn i en vifteform over tunnelprofilen og ønsket er å få en vanntett "paraply" over tunnelen. På samme måte som metoden rørparaply, men med mindre utvendig diameter på stålelementene. Andre forskjeller er at stålrørene er byttet ut med borstenger. En spilingbolt utgjør i dette tilfellet antall tilkoblede borstenger. Borestengene er av helgjenger og kan bores inn med hjelp av en 3-boms tunnelrigg. Borestengene leveres i 3,0 m standardlengder. Spilingboltene skjøtes ved hjelp av en skjøtehylse og bores inn med engangs borekrone for fjell eller løsmasser. Totallengden på boltene er mellom 9-15 m. Samtidig som borestengene bores inn kommer det injeksjonsmasse ut av borekronen.

Gitterbuene har en enkel installasjon og leveres i 4-6 seksjoner. Den kan effektivt installeres inne på stoffen. Gitterbuene kan tilpasse alle typer tunnelseksjoner. Etter installasjonen blir gitterbuene dekket med sprøytebetong og dermed integrert i betongen. Gitterbuene vil da fungere som armering til betongen.

5.3.3 Pantex gitterbuer

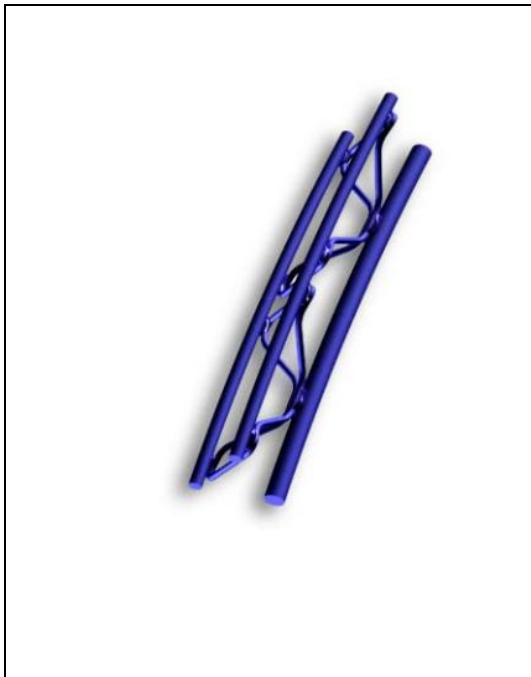
Pantex gitterbue har som funksjon å være en sikringsbue for tunnelen. Den er svært fleksibel i forhold til å tilpasse den enkelte tunnelprofil. Pantex gitterbuer er testet for dimensjonerende laster og for det statiske system. Det ble utført en rekke materialprøver ved München Tekniske Universitet, som viste at gitterbuene er statisk virksom allerede ved installering, før sprøytebetongen påføres.

Pantex gitterbue reduserer setninger i omsluttende fjell og opptar lokale tilleggskrefter som følge av sikringsarbeidet. Ischebeck titan spilingbolter kan installeres gjennom eller over gitterbuene.

Pantex gitterbuene installeres inne på stoff med en enkel montering på 4-6 seksjoner. Det viktig at installasjonsprosessen her går effektivt med tanke på de dårlige grunnforholdene i henget.

Ischebeck titan fjellbolter (radielle) installeres gjennom gitterbuene og normalt inn i fjellet for å holde buene på plass. Den fungerer også som supplerende arbeidssikring til den permanente sikringen av tunnelen.

Det er vanlig å montere gitterbuene med $c/c= 1,0$ m. Situasjonen rundt svakhetssonen avgjør avstanden mellom dem.



Figur 5-20: Avgrenset del av en gitterbue. (HWE, 2014)



Figur 5-21: Pantex gitterbuer T-baneringen del II, Oslo. (HWE, 2014)

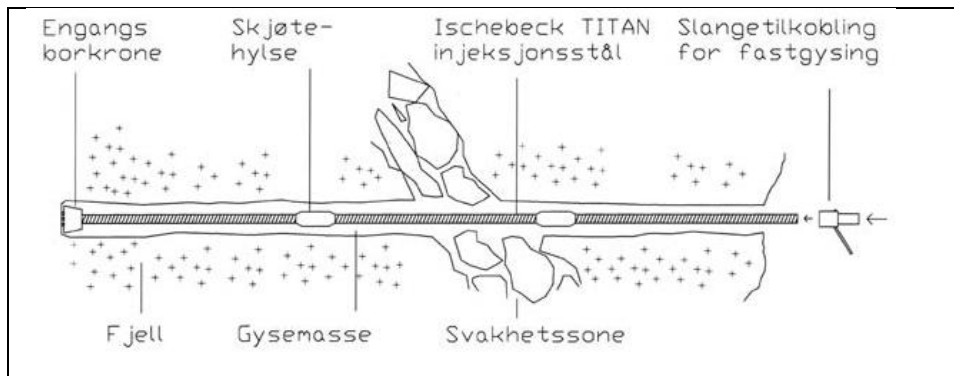


Figur 5-22: Pantex gitterbue sett inn mot stoff. (HWE, 2014)

5.3.4 Ischebeck titan spilingbolter

Ischebeck titan spilingbolter har som funksjon å sikre hengt fra at fjell-/løsmasser faller ned i tunnelprofilen. Den egner seg godt i oppsprukket fjell eller løsmasser. Installerer med engangs borekrone for fjell eller løsmasser, som er montert på enden av borestangen. Installeringen

gjøres på en tidsbesparende prosedyre og eliminerer faren for at borehullet kollapser og at borestangen kiler seg fast i massene.



Figur 5-23: Ischebeck titan spilingbolt prinsippkisse. (HWE, 2014)

Boreutstyret blir avkjølt ved hjelp av vann eller luft, som blir transportert gjennom borestangen og ut i borekronen. Deretter injiseres den ved hjelp av en slangetilkobling, som gjenges direkte på bolten. Det kan være aktuelt å benytte borehullstopper for å holde bolten i posisjon i borehullet under injeksjonsprosessen. Vannet fjerner mulig borekaks og slam mellom borekronen og stoffen. Lengde tilpasningene kan utføres hos fabrikk eller ved kapping på selve anleggsplassen.

5.3.5 Generelle fordeler med metoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter

De generelle fordelene med metoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter har mange likheter med metoden rørparaply. Punktene 1-8 i generelle fordeler med metoden rørparaply (kap 5.2.8) kan trekkes inn i denne drivemetoden. Her kommer noen punkter som er fordelaktig for metoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter i forhold til metoden rørparaply:

- Raskere installasjonstid med å kombinere innboring og kontinuerlig injeksjon med Ischebeck spilingbolter
- Mindre risiko
- Større kompetanse på område i Norge

5.3.6 Generelle ulemper med metoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter

De generelle ulempene med metoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter har mange likheter med metoden rørparaply. Punktene 1-5 i generelle ulemper med metoden rørparaply (kap 5.2.9) kan trekkes inn i denne drivemetoden. Her kommer noen egne punkter som er til ulempe for metoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter i forhold til metoden rørparaply:

- Spilingboltenes utvendige diameter er mindre enn for eksempel stålrørene til metoden rørparaply. Det krever en større installasjonsmengde av antall Ischebeck spilingbolter
- Krever større presisjon i installeringen av spilingboltene i forhold til en større installasjonsmengde
- Kombinasjonen med innboring og kontinuerlig injeksjon er en kompleks arbeidsprosess

5.3.7 Tveitanlia med Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter

Den kritiske sonen for denne metoden har en lengde på ca. 37,0 m. Den er 9,0 m kortere enn lengden for metoden "cut and cover". Årsaken til dette er fordi at Ischebeck spilingbolter kan utnytte vesentlige deler av fjellet.

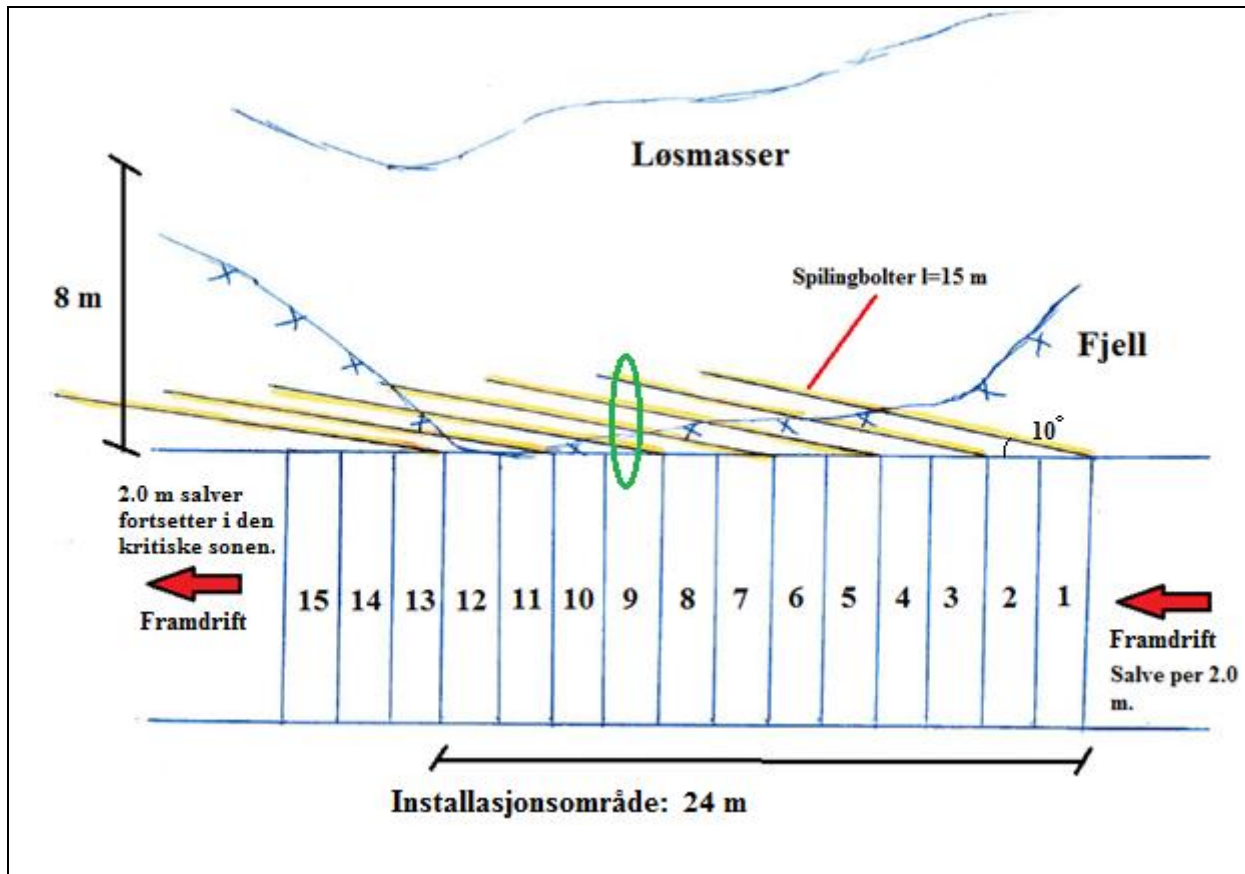
Prosjekteringen av denne løsningen er utført av Peter Borchardt i Infosystem AB for leverandøren Huth og Wien Engineering AS. Huth og Wien Engineering AS med hovedkontor i Sarpsborg er eneste leverandør i Norge av Pantex gitterbuer, Ischebeck titan fjell- og spilingbolter.

Det skal benyttes 15,0 m lange Ischebeck spilingbolter med utvendig diameter på 40 mm og veggtykkelse på 16 mm. Installeringen av spilingboltene (40/16) vil utføres med hjelp av en 3-boms tunnelrigg. Borestengene leveres med 3,0 m lengde og skjøtes sammen under innboring.

Det er prosjektert å sette en ny omgang med Ischebeck spilingbolter for hver fjerde tunnelmeter. Lengden på den kritiske sonen tilsvarer syv omganger med spilingbolter. De syv omgangene med spilingbolter krever et installasjonsområde på ca. 24,0 m. Spilingboltene

installeres med kun en rad pr. omgang dvs. pr. 4,0 meter i lengderetning av kritisk sone. Kombinasjonen med spilingboltens lengde på 15,0 m sammen med vinkelen på 10° gjør at i et tverrsnitt så vil spilingboltene overlappes i flere lag. I denne tunnelen vil det normalt være fire lags overlapping. Eksempel på tre lags overlapping illustreres i figur 5-25.

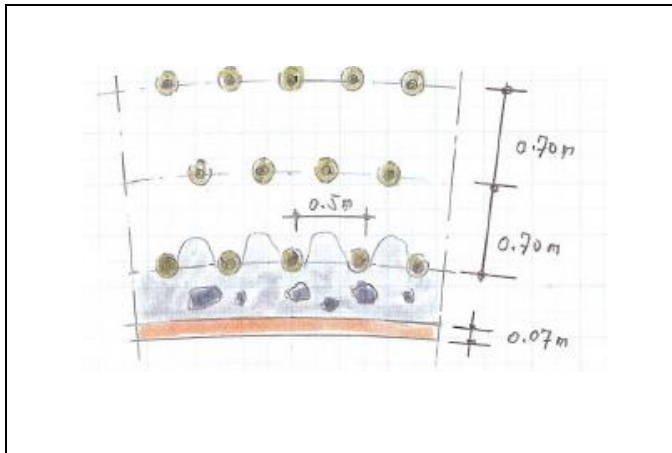
Det skal installeres totalt ca. 230 stk. spilingbolter gjennom den kritiske sonen.



Figur 5-24: Prosjektert løsning av metoden gitterbue og Ischebeck langs kritisk sone.

Forklaring til figur 5-24: ■ Markert grønn sirkel viser fire lags overlapping

Senteravstanden mellom spilingboltene ved innboringen vil ligge på $c/c=50$ cm. Den neste omgangen med Ischebeck spilingbolter vil sideforskyves med 25 cm. Saksingen med neste skjerm vil kunne gi en tettere paraply, som kan redusere faren for vanninntregning og innrasning av masser.



Figur 5-25: Utsnitt av spilingkjerm. (Borchardt, 2014)

Spilingboltene vil ha en stikning på 10° fra den ene enden til den andre. Valg av 10° gjør det mulig å installere spilingboltene gjennom gitterbuene. Spilingboltene skal dekke en sektor av hengen på 120° . Med en utvendig tunnelradius på $R=7900$ mm, vil dette gi ca. 33 stk spilingbolter pr. omgang.

$O_n =$ Buelengde

$R = 7900$ mm

$n^\circ = 120^\circ$

$c/c = 500$ mm

$$O_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot n^\circ}{360^\circ} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 7900 \cdot 120^\circ}{360^\circ} = 16545,8 \text{ mm}$$

$$\frac{16545,8 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} = \underline{\underline{33,09 \approx 33 \text{ stk.}}}$$

Tabell 5-4: Antall totale timeverk til en salve på 2,0 m. (Myklebost, 2014a)

| Salve 2,0 m | |
|--|--------|
| Opprigg | 1,0 h |
| Salveboring | 7,0 h |
| Lading skyting pilot | 2,0 h |
| Lading skyting stross | 2,0 h |
| Installering 1 stk. gitterbue | 6,0 h |
| Sprøyting 1 stk. gitterbue 12 m ³ | 4,0 h |
| Boring spilingbolt 30 stk. a 15 m | 12,0 h |
| Injeksjon spilingbolt 30 stk. a 15 m | 9,0 h |
| Transport | 10,0 h |
| Rensk | 4,5 h |

Boring av 30 stk. spilingbolter vil ta ca. 12,0 h og injeksjonsprosessen for det samme antall spilingbolter vil ta ca. 9,0 h (tabell 5-4). I gjennomsnitt gir det en total installasjonstid av et stk. spilingbolt på 0,7 h.

Installasjonstid av et stk. spilingbolt:

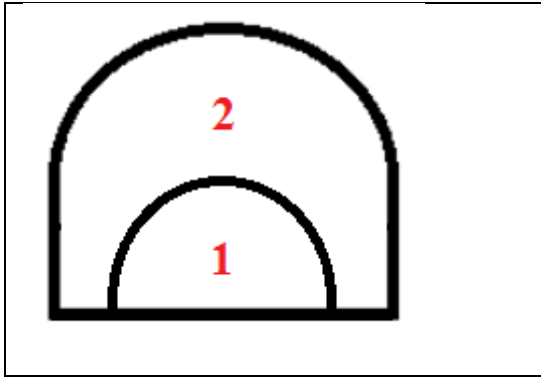
$$\frac{12,0 \text{ h} + 9,0 \text{ h}}{30 \text{ stk.}} = 0,7 \text{ h}$$

Under boringen av spilingboltene injiseres borestengene med en injeksjonsmasse og injeksjonstrykket skal ikke overstige 15 bar (Borchardt, 2014).

Under forseringen kan det oppstå problemer med inntrengning av vannmettede siltmasser. En kan stabilisere de vannmettede siltmasser ved å redusere vanntrykket og vannvolumet med å montere sugespisser (Wellpoints) fra dagen. Dette vil av erfaring stabilisere siltmassene (Myklebost, 2014a).

For å forebygge vanninntregning inn på stuff, kan det være aktuelt å bore inn 15,0 m lange injeksjonshull i stuffen for å skape en tett forsering av tunnelen. Et supplement for tetting av tunnelprofilen.

Tunneldrivingen i den kritiske sonen er delt inn i to deler.



Figur 5-26: Utsprengningsplan: Pilot 1 og stross 2.

Forseringen utføres med pilot og stross for å sprengne mest mulig kontrollert. Det er viktig å kvalitetssikre at en får god fremkommelighet med anleggsmaskinene under tunneldrivingen.

Valget med å sprengne ut en pilot først er for å redusere trykkpåkjenningene i henget. Ved full utsprengning kan spennet i tunnelen bli for stort og faren for kollaps øker betraktelig. Sonen blir forsert med 2 m lange salver. Det skal lades forsiktig inn mot det område med lavest fjelloverdekning. I det mest kritiske område er det viktig at en sprøytebetongbil er lett tilgjengelig for å påføre fiberarmert sprøytebetong. Sprøytebetongen skal kunne forebygge faren for inntrengning av fjell-/løsmasser og gi en god installasjonsflate for gitterbuene.

For å bære det massive sikringsmaterialene er det montert Pantex gitterbuer (115/26/34) med $c/c=1,0$ m. Totalt vil det bli benyttet ca. 40 stk. gitterbuer. Det vil ta ca. 6,0 h å installerer et stk. gitterbuer (tabell 5-4) med 4 stk. Ischebeck titan fjellbolter. Funksjonen til gitterbuene er å reduserer setninger i omsluttende fjell/løsmasser og den opptar lokale tilleggskrefter som følge av sikringsarbeidet. Gitterbuene blir levert i seks deler og installert på anlegget. For å sikre at gitterbuene holder avstanden med 1,0 m er det installert avstandsbolter mellom buene.

I tunnelhenget mellom gitterbuene kan det være nødvendig å installere 4,0 m lange sikringsbolter. Sikringsboltene er avhengig av fjell for å kunne bli fullstendig installert.

Tabell 5-5: Arbeidsoppgaver for metoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter.

| Arbeidsoppgaver for metoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter. |
|--|
| 1. Salvesprengning 2 m salve |
| 2. Moduleringsbetong i kontur for installasjon av gitterbue |
| 3. Installasjon av gitterbue |
| 4. Fiberarmert sprøytebetong på og mellom gitterbuene |
| 5. Boring av tunnelprofil for ny salve |
| 6. Installasjon av ny gitterbue |
| 7. Installasjon av spilingskjerm |

Drivemetoden er et godt alternativ for forsering av kritisk sone. Metoden vil videre bli vurdert opp mot de andre kriteriene.

5.4 Jetpel

5.4.1 Innledning

Metoden er kjent for å bli brukt som sikring av byggegroper, tetningsskjermer, støttemurer og tetting mellom spunt og fjell. Jetpelmetoden er mest anvendt i forhold til underpining av eksisterende konstruksjoner og refundamentering. Metoden har fått stor utbredelse internasjonalt. I Europa anvendes metoden til å forsterke grunnforholdene og kapasiteten betraktes ofte som volum forsterket jord. I Norge er det utviklet to teknikker som skal føre til høyere kvalitet og fasthet på betongpelene. De to teknikkene kalles J2-teknikken og EC1-teknikken. Felles egenskaper for begge teknikkene er at en oppnår høy kvalitet på pelene, slik at de kan benyttes som permanente konstruksjoner.

5.4.2 Felles for J2-teknikken og EC1-teknikken

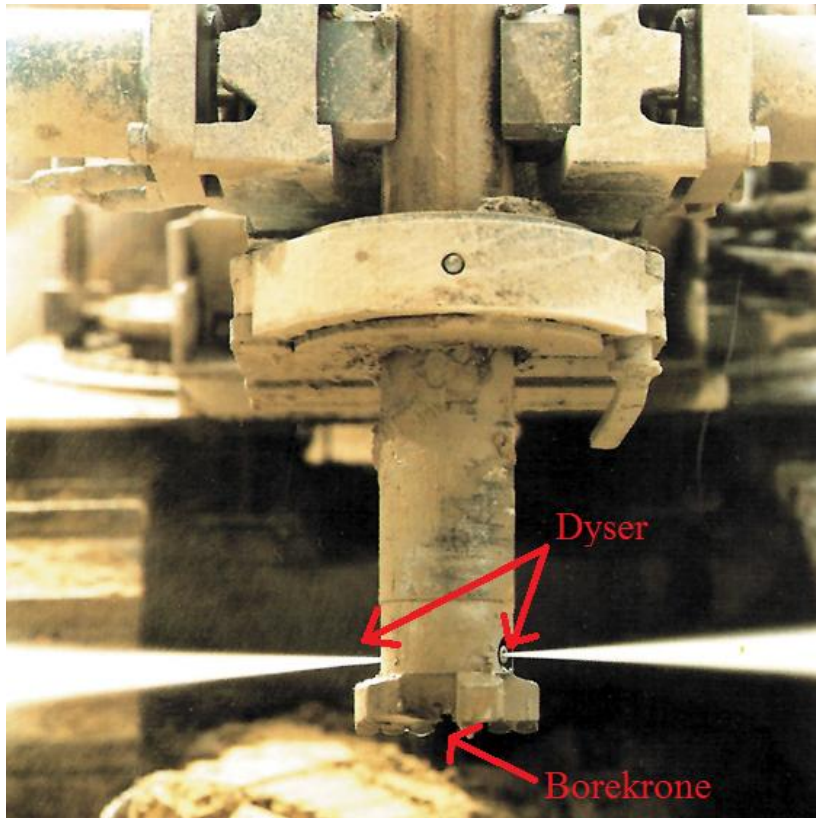
Jetpelmetoden er en betongpel som er støpt ut i bakken uten behov for tradisjonell graving og bygging av forskalingskasser. Grunnprinsippet for jetpelmetoden er å bryte ned jordstrukturen ved å benytte høytrykk væskestråle. Diameteren på jetpelen ligger mellom 0,5 til 2,5 m og de kan installeres med en dybde på 25-26 m. Slike dybder er ofte ikke nødvendig, da jetpelens størrelse gjør at de kan utnyttes som svevepeler med stor spissmotstand ved eksempelvis fundamentering/refundamentering av bygg.



Figur 5-27: Jetpeler benyttet ved refundamentering av eksisterende bygg. (Jetgrunn, 2014)

Uavhengig av teknikk starter prosessen med å installere en “monitor” plassert i enden av en borestreng. Monitoren inneholder en borekrone og flere dyser for spyling av vann, luft og evt. sement. Under nedføringen av monitoren bores det med rotasjon og det spyles skrått vertikalt og horisontalt, samtidig som en registrerer motstand og nedføringshastigheten.

Registreringene skal brukes til å bestemme produksjonsparametere som skal sikre en ensartet diameter og kvalitet på pelen under opptrekk (Hoksrud and Hovi, 1991).



Figur 5-28: En monitor med to dyser og borekrone. (Jetgrunn, 2014)

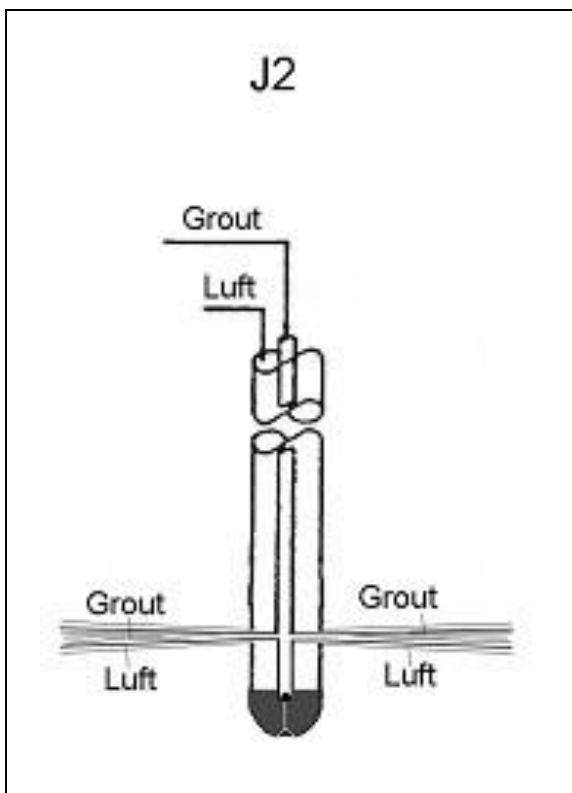
Borestrengen blir boret helt ned til ønsket kotenivå, altså til bunnen av betongpelen og starter der produksjonen av jetpelen. Under peleproduksjonen for begge teknikkene vil det komme overskuddsmasser bestående av jord, vann, luft og noe sement opp til overflaten langs borestrengen, grunnet trykkoverskuddet i bakken. Overskuddsmassen må håndteres i sin tur og fraktes til et deponi. De ulike teknikkene vil videre bli presentert.

5.4.3 J2-teknikken

J2-teknikken handler om å bruke en væske bestående av grout (vann og sement) med høyt trykk til å erodere ned jordstrukturen. Grouten blandes med de oppløste jordmassene og danner en sirkulær jetpel av geobetong.

Anvendelsesområde for denne teknikken er i friksjonsmasser og kohesjonsmasser for plasstøpte betongkonstruksjoner uten behov for tradisjonell graving og bygging av forskalingskasser.

J2-teknikken er bygget opp av to konsentriske rør med luft i det ytre rør og grout med eventuelle tilsetningsstoffer i det indre rør.



Figur 5-29: To konsentriske rør. (Jetgrunn, 2014)

Forklaring til figur 5-29: Luft i det ytre rør og grout med eventuelle tilsetningsstoffer i det indre rør (Jetgrunn, 2014)

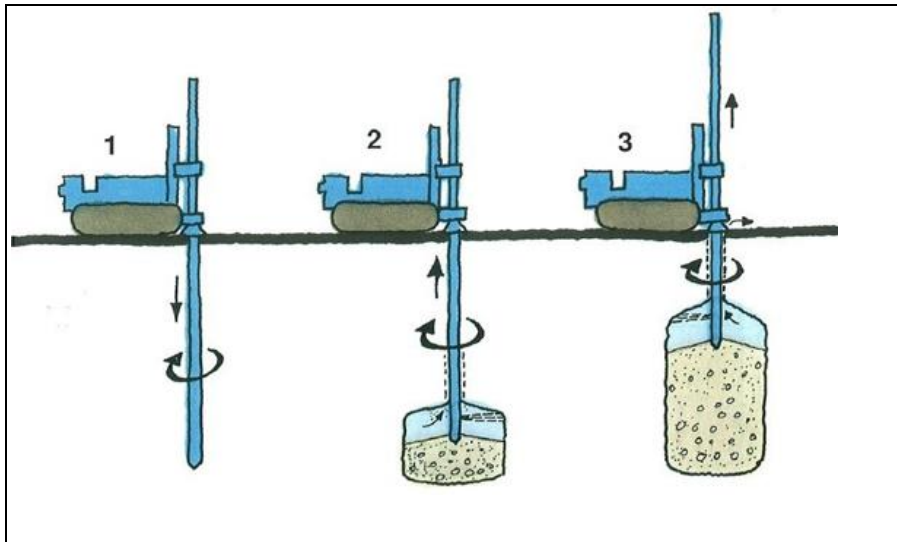
J2-teknikken starter etter at monitoren har kommet ned til prosjektert kotenivå. Monitoren trekkes oppover med en ønsket rotasjon og eroderer jordmassene med horisontal spyling. Samtidig fra de konsentriske dysene injiseres det ut grout med et lufttrykk på opptil 500 bar. Resultatet av høyt trykk fører til at jordstrukturen brytes ned, og rotasjonen gir en sirkulær form. Kombinasjonen med grout og tilslaget fra de stedlige massene resulterer i en jetpel av geobetong.

Teknikken gir jetpeler med diameter opptil 2,5 m og fastheten til geobetongen styres av tilslaget.

Geobetongen utnytter de stedlige massene for å produsere en jetpel. Fastheten til betongen kan forutses gjennom et avansert styrings- og prosesskontrollsystem. Systemet gjør det mulig å automatisk holde kontinuerlig kontroll på jetpelens eksakte geometri og homogenitet. Med stor nøyaktighet vil en kunne forutse det ferdige produktets geometri, trykkfasthet og permeabilitet.

Tabell 5-6: Trykkfasthet på geobetongen med ulike tilslag. (Jetgrunn, 2014)

| Tilslag | Trykkfasthet (MPa) |
|--------------|--------------------|
| Sand og grus | >20 |
| Morene | 10-20 |
| Leire | 3-15 |



Figur 5-30: J2-teknikken. (Jetgrunn, 2014)

Forklaring til figur 5-30: Denne teknikken produserer jetpeler ved å bruke grout og luft under høyt trykk til å erodere en sylinder og blande seg med de stedlige massene (Jetgrunn, 2014)

5.4.4 EC1-teknikken

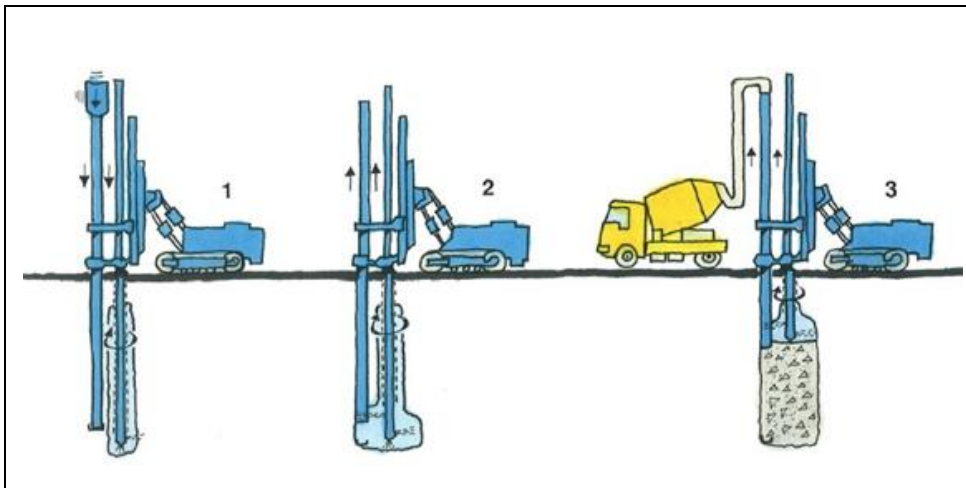
EC1-teknikken handler om å erodere ned jordstrukturen med hjelp av vann med høyt trykk, som deretter fylles opp med ordinær betong som B30, B40 etc.. Betongen er ofte produsert fra en ekstern betongleverandør.

Anvendelsesområde for denne teknikken er i vanskeligere jordforhold, eksempelvis i leire og steinfyllinger for plaststøpte betongkonstruksjoner uten behov for tradisjonell graving og bygging av forskalingskasser.

EC1-teknikken starter etter at monitoren har kommet ned til prosjektert kotenivå. Et støperør blir ført ned parallelt med borestrengen og betong pumpes fortløpende inn etter hvert som jordstrukturen eroderes ved hjelp av en eller to høytrykks vann- og luftstråler.

Teknikken gir jetpeler med diameter opptil 2,0 m og betongen kan oppnå en fasthet på 45 MPa.

Betongen ferdigblandes hos betongleverandøren og pumpes ned til ønsket kotehøyde i bakken. Fastheten til betongen er lett å forutse, siden en kan foreta prøver av betongen og benytte seg av erfaringer fra tidligere prosjekter. Resultatet kan skreddersys etter krav om økonomi og statikk.



Figur 5-31: EC1-teknikken. (Jetgrunn, 2014)

Forklaring til figur 5-31: Denne teknikken produserer jetpeler ved å erodere jordstrukturen med hjelp av vann med høyt trykk, som deretter fylles opp med ordinær betong (Jetgrunn, 2014)

5.4.5 Utstyr for J2-teknikken og EC1-teknikken

Det kreves en del plasskrevende utstyr for å kunne produsere jetpeler etter J2-teknikken. Hovedsakelig består produksjonsutstyret av en jetpel-rigg, en høytrykkspumpe, et blandeverk med sementsiloer samt en kompressor. For større prosjekter er det hensiktsmessig å benytte større dieseldrevne jetpel-rigger. Blandeverket har en størrelse lik en standard container på 2,5 m x 6,0 m og funksjonen til den er å blande grouten. En høytrykkspumpe er selve hjerte i jetpelproduksjonen. Grouten blir pumpet fra blandeverket og inn til høytrykkspumpen med et trykk på 500 bar. Herfra går grouten gjennom høytrykksslanger og til den dieseldrevne jetpel-riggen. Kompressor og el-container leverer henholdsvis luft til riggen og strøm til anlegget. For å kunne produsere jetpeler etter EC1-teknikken er en ikke avhengig av blandeverket med sementsiloer, her vil betongen komme ferdigblandet fra leverandør med betongbiler.



Figur 5-32: Dieseldrevet borerigg. (Jetgrunn, 2014)

5.4.6 Generelle fordeler med metoden jetpeler:

- Permanente konstruksjoner
- Fleksibel på endringer
- Minimale setninger
- Lav usikkerhet
- God in-situ kontroll på deformasjoner
- Krever færre antall arbeidere

5.4.7 Generelle ulemper med metoden jetpeler:

- Betongkostnadene er store
- Metoden bør ikke anvendes på større områder
- Produksjonen av jetpeler gir begrenset visuell kontroll før utgravingen
- Krever en del plasskrevende utstyr
- Arbeidet foregår i dagen og kan være forstyrrende med hensyn på anleggstrafikk og maskinstøy

5.4.8 Tveitanlia med jetpeler

Valg av løsning på hvordan en skal kunne forsere den kritiske sonen er basert på egne vurderinger og den tilegnede kunnskapen fra litterære kilder.

Det skal plasseres jetpeler tett i tett for å danne et "kunstig fjell". Område som skal dekkes med jetpeler tilsvarer graverarbeidet for "cut and cover" løsningen. Område skal bli ca. 22,0 m bredt og ca. 35,0 m langt. Valget av område som skal dekkes med jetpeler er et konservativt valg og er bygget opp etter et VA prosjekt mellom Örby - Stockholm i Sverige (Tyrens, 1985).

Grunnforholdene i område der jetpelene skal produseres består for det meste av siltmasser. EC1-teknikken er en gunstig løsning i slike grunnforhold. En kan dermed utarbeide en betong med ønsket fasthet.

Målesystemet fra innboringen vil gi kontinuerlig informasjon om grunnforholdene.

Resultatene er av høy validitet og reliabilitet. En kan dermed styre og korrigere produksjonen etter egne ønsker.

For å verifisere jetpelens kontaktflate og eksakte geometri mot nabopelene, vil det benyttes et akustisk styringssystem som fanger opp energien når strålen treffer inntilliggende konstruksjoner. Bruken av dette systemet vil muliggjøre produksjonen av kontinuerlige vegger hvor hver andre jetpel settes først (primærpel), deretter jetpelene i midten (sekundærpel). Dette vil ofte resultere i god kontakt mellom jetpelene.

Tunneldrivingen vil bli gjennomført med forsiktig sprengning i fjellet og i den mest kritiske delen av hengt kan det være aktuelt å bruke en hydraulisk hammer. Under utsprengning og pigging blir det lagt på et permanent lag av 200 mm fiberarmert sprøytebetong.

Drivemetoden er et godt alternativ for forsering av kritisk sone. Metoden vil videre bli vurdert opp mot de andre kriteriene.

5.5 Frysing

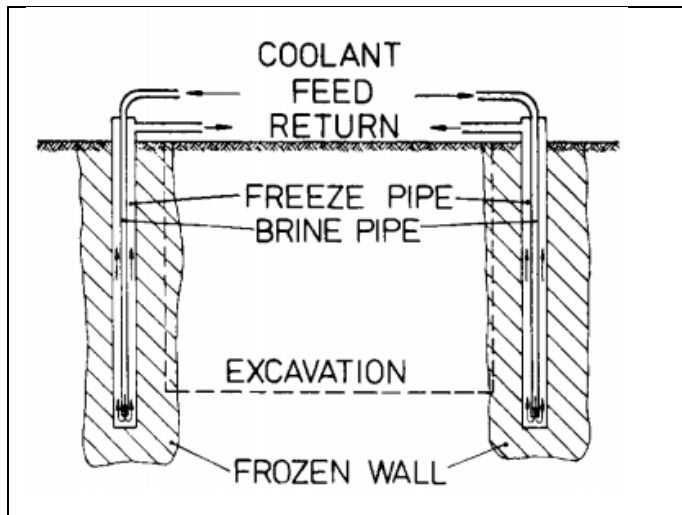
5.5.1 Innledning

Denne metoden er ikke en permanent sikringsmetode under driving, men et hjelpemiddel for å kunne drive gjennom tunnelen. I etterkant må det installeres permanent sikring i form av for eksempel full betongutstøping for å kunne bære all last etter at isen smelter. Metoden har fått større oppmerksomhet de siste årene og har et bredt bruksområde. Denne metoden ble anvendt i Oslofjordtunnelen i forbindelse med en kritisk sone.

5.5.2 Teknisk løsning

Hensikten med metoden er å frysestabilisere løsmassene rundt tunnelkonturen med en forhåndskalkulert tykkelse. Under fryseprosessen går temperaturen i vannet under frysepunktet og danner et islag. Styrkeegenskapene i løsmassene skal i utgangspunktet øke etter frysing. Styrkeoppnåelsen varierer i forhold til det materialet som ligger i løsmassene og hvilken temperaturer de innehar. Ingen eksterne materialer som for eksempel betong eller lignende blir tilført under fryseprosessen. Ønsket resultat av fryseprosessen er å konstruere en uavhengig støttekonstruksjon og en vanntett barriere for en gitt tidsperiode (Jessberger, 1980). Metoden frysing viser seg å være en aktuell metode når det skal drives gjennom fjell med dårlig kvalitet. Under prosjekteringsfasen er det viktig å få kartlagt en del data for å kunne dimensjonere frysekonstruksjonen (NFF, 2008):

- Materialeegenskapene for grunnen som skal fryses
- Ytre belastning i form av jordtrykk
- Plassbehov for permanente sikringskonstruksjoner
- Opplegg for driving gjennom frostsone
- Åpningslengde og tid i frosset materiale før permanent sikring etableres



Figur 5-33: Fryseprosessen i prinsipp

Figur 5-33 viser hvordan grunnfrysingen fungerer i prinsipp. Her vil det kalde fluide sirkulere i fryserørene. Etter hvert vil løsmassene i område rundt fryserørene fryse til sirkulære søyler.

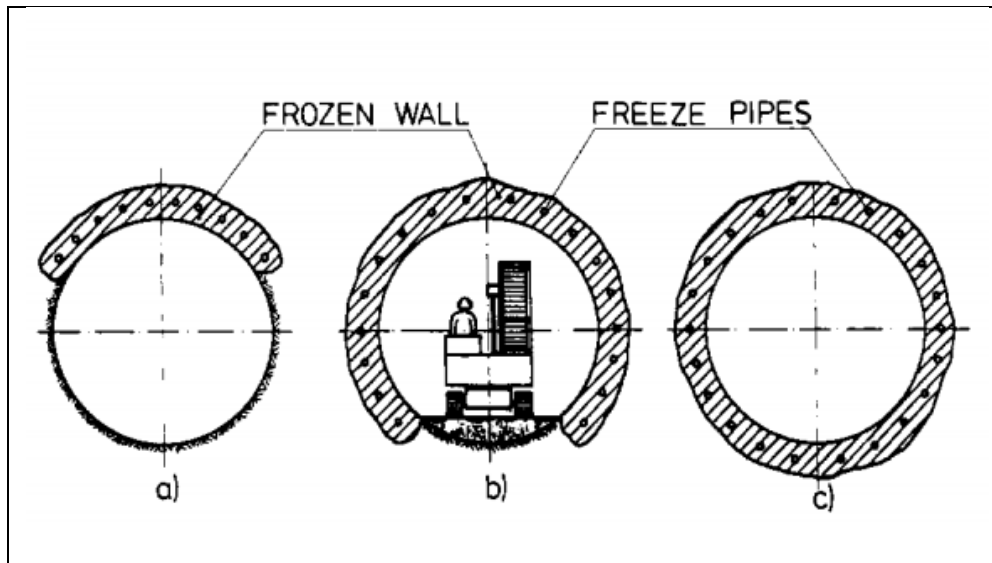
For å oppnå en optimal fryseprosess er det avhengig av visse geometriske- og materielle egenskaper (Johansson, 2009):

- Volumetrisk vanninnhold
- Termisk konduktivitet
- Grunnvannstrømninger
- Frysepunkt

For å kunne fryse løsmassene innen en bestemt tid er det avhengig av valg av frysemetode. Frysemetodene for nedfrysing kan gjøres med hjelp av saltlake eller nitrogen. Saltlaken består vanligvis av kalsiumklorid og vann (Vegdirektoratet, 2012). Saltlaken er billigere enn nitrogenet, men har en langsommere fryseprosess. Det vil ta omtrent 90 dager for å oppnå driveklare tunneler med saltlake (Johansson, 2009). Saltlaken har også en mer forutsigbarhet under fryseprosessen og resultatet blir ofte jevnere. Flytende nitrogen har en høyere kostnad, men har en raskere fryseprosess. Det vil ta omtrent 7 dager for å oppnå driveklare tunneler med nitrogen (Johansson, 2009).

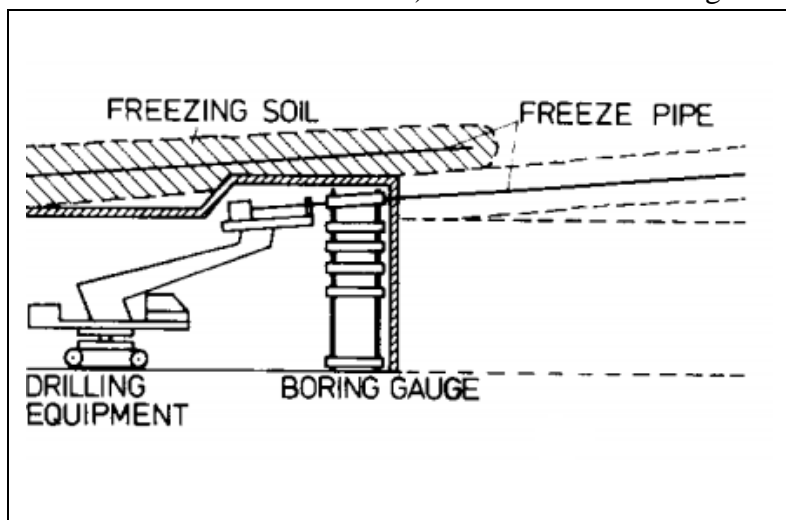
Designet og materialtypen på fryserørene må tilpasses etter installeringsmetoden og prosjektets forhold. Det er viktig å unngå at fryserørene lekker, siden saltlaken kan ødelegge fryseseonen. En kontrollsjekk av tettheten på fryserørene skal iverksettes før installering.

Frysestabiliseringen ved tunneldrivingen kan foregå fra stoffen i tunnelen, ved at det bores borehullsskjermer rundt tunnelprofilen. Her installeres fryserørene i form av en paraply med samme prinsipp som for installering av stålrør og spilingbolter.



Figur 5-34: Tre ulike omfang av frysestabilisering i tunnel. (Jessberger, 1980)

Forklaring til figur 5-34: a) Kun stabilisering av henget
b) Stabilisering av heng og vegg
c) En lukket stabilisering



Figur 5-35: Boring og horisontal installasjon av fryserør. (Jessberger, 1980)

Fryserørene på stoff installeres med en bestemt lengde og vinkel. Figur 5-35 viser hvordan fryserørene kan installeres på stoff. Vinkelen avgjør størrelsen på fryseseonen og tiden det tar å fryse sonen.

Det kan være aktuelt å injisere i forkant for å forenkle installeringen av fryserørene.

Tunneldrivingen vil gjennomføres med korte salver og permanent sikring etter hver salve.

I områder med lav overdekning, kan det være aktuelt å installere fryserørene vertikalt fra dagen. Det å utføre en vertikal fryseprosess kan være tidsbesparende i forhold til en horisontal fryseprosess (Berggren, 2014). Tidsbesparende i den forstand at fryseprosessen kan utføres uavhengig av tunneldriften fra stoff.



Figur 5-36: Boring og vertikal installasjon av fryserør. (Jessberger, 1980)

5.5.3 Utstyr for vertikal frysing

Det kreves en del plasskrevende utstyr for å kunne utføre fryseprosessen. Hovedsakelig består produksjonsutstyret av en brønnrigg, et strømaggregat/trafo og kuldeanlegg.

5.5.4 Oslofjordtunnelen

Oslofjordtunnelen er en undersjøisk veitunnel under Oslofjorden mellom Måna i Frogn (øst) og Verpen i Hurum (vest). Den har en tunnelstrekning på 7,2 km med ett løp og tre kjørefelt.

Det ble gjennomført grundige forundersøkelser tilknyttet prosjektet Oslofjordtunnelen. Resultatene av undersøkelsene viste at område har gjennomgått en rekke deformasjoner med flere svakhetssoner. Etter de gjennomførte grunnundersøkelsene ble det konkludert med å drive tunnelen med konvensjonell tunneldrift. Det ble avdekket en kritisk sone med navn Hurum sonen på 12,0 m lengde med en fjelloverdekning på 32,0 m. Overraskende ble det avdekket mengder med løsmasser under sonderboringen. Massene inneholdt glasifluviale masser og morene materiale med noe grus, sand leire og større blokker.



Figur 5-37: Hurum sonen. (Wallis, 1999)

Forklaring til figur 5-37: Hurum sonen utgjør ca. 12,0 m lengde. Det gjenstod ca. 46,0 m tunnel å drive i forbindelse med konstruksjonen av omløpstunnelen. Omløpstunnelen ligger ca. 20,0 m under hovedtunnelen

Løsningen for den kritiske sonen på 12,0 m var å fryse område med saltlake. For å ikke forsinkle tunneldrivingen, ble det bestemt å drive en omløpstunnel på ca. 20,0 m under hovedtunnelen. Det gjorde at tunneldrivingen fortsatt kunne drives østover og deretter arbeide seg tilbake mot Hurum sonen. Det gjorde at en hadde muligheter til å angripe svakhetssonen fra to sider. Det ble besluttet å stoppe tunneldrivingen når det gjenstod 46,0 m, hvor 12,0 m utgjorde den den kritiske sonen med navn Hurum (Wallis, 1999).

Det ble etter flere prosesser bestemt å fryse sonen ned til -28°C i en 3,0 m tykk frysesone. Det ble installert ca. 79 fryserør med 30-40 m lengde med en vinkel fra stuff rundt tunnelets kontur. Tunneldrivingen gjennom den fryste sonen ble forsiktig drevet med ca. 1,5-2,0 m pr. uke (ukesyklus). Selve fryseprosessen tok omtrent 3,5 måned å gjennomføre. Det ble påført

etter hver salve 20 cm sprøytbetong i tunnelhenget for å beskytte den fryste sonen. Tilsatt ble det valgt å foreta en fullbetongutstøping med varierende tykkelser på 1,0-1,2 m.

Hurum sonen ble truffet desember år 1997 og det tok ca. 15 md. før fryseprosessen startet i april år 1999. Det tok omtrent 2 år å komme igjennom de siste 46,0 m. En av årsakene til den lange utførelsestiden var 10 md. med rigg og boring av frysehullene. Det viste seg at det var store blokker i henget med høyt vanntrykk og stålrester i henget etter en komplisert injeksjonsprosess. Den andre årsaken var at materialene i henget var avhengig en veldig lav frysetemperatur. Det viste seg at dette tok lang tid å oppnå. Totalpris på de resterende 46,0 m av tunnelen kostet ca. 35 millioner i 1999-kroner.

5.5.5 Generelle fordeler med metoden frysing:

- Kan anvendes på alle typer jordsmonn
- Metoden er veldig fleksibel og kan tilpasses etter behov
- God forutsigbarhet
- Unngår støy og vibrasjoner
- Miljøvennlig

5.5.6 Generelle ulemper med metoden frysing:

- Krever gode forundersøkelser
- Forsiktighet under tunneldrivingen
- Kan være avhengig av flere parametere
- Kan føre til en lengre utførelsestid
- Kan være en kostbar prosess

5.5.7 Tveitanlia med vertikal frysing

Den kritiske sonen for denne metoden har en lengde på ca. 30,0 m og en bredde på ca. 20,0 m. Den er ca. 16,0 m kortere enn lengden for metoden "cut and cover". Årsaken til dette er fordi at fryseprosessen skal kun utnytte løsmassene i den kritiske sonen.

For den kritiske sonen ved Tveitanlia ligger grunnvannstanden mellom 0-0.9 m under terrengnivå. Høyden på grunnvannet tilsier at det er nok vann i sonen for å iverksette fryseprosessen (Berggren, 2014). I motsetning til Oslofjordtunnelen skal installeringsmetoden for denne sonen, foregå fra dagen med en vertikal installering av fryserørene. Dette lar seg gjøre, siden masseoverdekningen er lav. Ved å utføre fryseprosessen med en horisontal installering, ville dette stoppet tunneldriften fra Norcem på grunn av fryseprosessen. Med en vertikal installering vil tunneldriften fra Norcem være mer uavhengig av fryseprosessen. En installasjon fra toppen av terrenget vil kunne redusere tidsbruken og gi økonomiske fordeler. Det lange tidsperspektivet gjør det mulig å nedfryse grunnen med saltlake. Saltlake er vesentlig billigere en nitrogen. Saltlaken vil kreve en nedfrysingstid på ca. 90 dager før en kan starte tunneldrivingen gjennom den kritiske sonen.

Selve installasjonen av fryserørene må utføres med hjelp av en brønnrigg. Brønnriggen vil fra dagen bore ned i terrenget med odex-system. Odex-systemet med fôringsrørboring er et økonomisk valg når en skal bore i løsmasser og den er enkel å bruke. Fôringsrørboring vil bli utført med flere rader som skal dekke den kritiske sonen. Avstanden mellom radene og avstanden mellom borehullene innad i raden er avhengig av tidsbruken til fryseprosessen. Med lange avstander vil fryseprosessen ta lenger tid, med korte avstander vil fryseprosessen ta kortere tid. Lengden på fryserørene kan tilpasses etter behov. Et mulig alternativ for den kritiske sonen ved Tveitanlia vil være å bruke ca. 2,0 m mellom hver rad (Berggren, 2014).

Drivemetoden er et godt alternativ for forsering av kritisk sone, men den vil ikke bli videre vurdert opp mot de andre kriteriene. Årsaken til dette er på grunn av den lange installeringstiden av fryserørene og tidsbruken for nedfrysing av grunnen. Ønsket er også å unngå alt arbeid fra dagen.

6. Ressursbruk og framdrift

Kapittelet utdyper ressursbruken til de ulike metodene i forhold til antall timeverk, antall drivemeter/uke, mengder/volumer og maskiner/utstyr.

Hva er styrende for ressursbruken og hvilke faktorer som påvirker dette!

Beregningene er basert på usikre verdier, siden det er vanskelig å forutse alle detaljer i prosessen. Har derfor gått ut ifra framdriftsplaner til anleggsentreprenøren, artikler, rapporter og dialoger med fagpersoner for å kunne gi en oversikt over de viktigste faktorene for ressursbruken.

6.1 "Cut and Cover"

Det er mange faktorer som påvirker ressursbruken for denne metoden. Punktene nedenfor viser faktorene som antas størst innvirkning på ressursbruken i forbindelse med Tveitanlia. Tallmaterialene for denne metoden er hentet fra framdriftsplanene til Implenia Norge AS.

- Prosjektgruppe
- Bygging av anleggsvei
- Rigg Tveitanlia
- Gravearbeider for "cut and cover"
- Kartlegging fjelloverflate
- Sprengningsarbeidet til nivå tunnelheng
- Sprengningsarbeidet til nivå tunnelsålen
- Sprengning av 20 m av tunnel fra "cut" mot tverrslag Pasadalen
- Betongarbeider betongkulvert
- Oppfylling og arrondering av terreng
- Nedrigging

6.1.1 Prosjektgruppe

Det krever en grundig planlegging for å kunne forsere kritisk sone med en slik metode. Det er beregnet å ta ca. 284 dager å ferdigstille metoden "cut and cover". Den lange utførelsestiden gjør metoden krevende å planlegge. For å kunne igangsette denne prosessen er det nødvendig

å innføre en egen prosjektgruppe for å drifte det administrative og det fysiske arbeidet. Prosjektgruppen vil medføre en vesentlig ekstra kostnad.

6.1.2 Bygging av anleggsvei

Det skal etableres en anleggsvei til den kritiske sonen ved Tveitanlia. Anleggsveien bygges i nærheten av et boligfelt og har en lengde på ca. 300 m. For å kunne igangsette bygging av anleggsveien, vil det kreve store inngrep på naturen med vegetasjonsrydding. Det er beregnet å ta ca. 20 dager for å kunne ferdigstille anleggsveien.

6.1.3 Rigg Tveitanlia

Etableringen av en egen prosjektgruppe ved Tveitanlia gir et behov for å anskaffe en egen brakkerigg i område. Det må også anskaffes en rekke maskiner/utstyr til område. Det er beregnet å ta ca. 20 dager til å rigge opp område. Etablering av en tårnkran er nødvendig for effektiv bygging av betongkulverten. Tårnkranen vil føre til komplikasjoner med hensyn på høyspentlinje i område, samt avstand til gammel jernbanelinje på ca. 150 m.

6.1.4 Gravearbeider for "cut and cover"

Løsmassene i planlagt byggegrop for metoden "cut and cover" er beregnet til å være på ca. 11 500 m³. Løsmassene skal mellomlagres på anlegget og er planlagt til å tilbakefylles med tilnærmet samme volum over tunnelen etter at konstruksjonen er bygget. Mellomlagring av løsmasser er av erfaring et problem i forhold til forurensning av omgivelsene på grunn av finstoffene i løsmassene (Nordbø, 2014). Det er beregnet å ta ca. 20 dager til gravearbeidet. Et problem med gravearbeidet ved byggegrop er at grunnmassene kan inneholde store vannmengder. Det øker risikoen for utglidninger av grunnmassene, derfor er det nødvendig med å etablere spuntvegger for å forebygge dette. Byggherren har ikke regnet på behovet for spuntvegger i forbindelse med byggegropen.

6.1.5 Kartlegging fjelloverflate

Det må utføres en grundig kartlegging av fjelloverflaten for å kunne gi en god oversikt over grunnforholdene. Kartleggingen vil ta ca. 15 dager og den er viktig for å forebygge eventuelle problemer som vil komme i forbindelse med etablering av byggegrop.

6.1.6 Sprengningsarbeider

De nederste ca. 10-15 m av byggegropen blir sprengt ut i fjell, totalt blir det sprengt ut ca. 13 000 m³ fjellmasser fra byggegropen. Sprengningsarbeidet til nivå tunnelheng er beregnet til å ta ca. 45 dager, det resterende sprengningsarbeidet ned til tunnelsålen er beregnet å ta ca. 35 dager. Det skal også utføres sprengning av 20 m tunnel fra "cut" mot tverrslag Pasadalen (østover), det vil ta ca. 20 dager.

6.1.7 Betongarbeider betongkulvert

Betongarbeidene for betongkulverten blir fundamentert i en åpen byggegrop direkte på fjell, knyttes til tunnelen med kontaktstøp i begge ender. Det er beregnet å ta ca. 60 dager til å fullføre betongarbeidene.

6.1.8 Oppfylling og arrondering av terreng

Etter betongarbeidene skal løsmassene tilbakefylles med tilnærmet samme volum på ca. 11 500 m³. Oppfylling av masser og arrondering av terrenget er beregnet å ta ca. 20 dager.

6.1.9 Nedrigging

Nedrigg av anleggsområde ved Tveitanlia er beregnet å ta ca. 40 dager.

6.1.10 Antall h pr. dag

- Alt grunnarbeid fra dagen kan en betrakte med 10,0 h pr. dag, 4 dager i uken (Myklebost, 2014a)
- All sprengning fra tunnel kan en betrakte med 10,0 h pr. dag, 5,5 dager i uken (Myklebost, 2014a)

Tabell 6-1: Framdrift for metoden "cut and cover".

| Arbeid | Antall dager | Antall arbeidere | h per dag | Total h |
|--|---------------|------------------|-----------|-------------|
| Grunnarbeid | | | | |
| Bygging av anleggsvei | 20 | 3 | | |
| Rigg Tveitanlia | 20 | 2 | | |
| Gravearbeider for "cut and cover" | 20 | 6 | | |
| Kartlegging fjelloverflate | 15 | 2 | | |
| Sprengningsarbeidet til nivå tunnelheng | 45 | 6 | | |
| Totalt grunnarbeid | 120 | 19 | 10 | 1200 |
| Sprengning fra tunnel | | | | |
| Sprengningsarbeidet til nivå tunnelsålen | 35 | 6 | | |
| Sprengning av 20 m av tunnel fra "cut" mot tverrslag Pasadalen | 20 | 6 | | |
| Totalt sprengning | 55 | 12 | 10 | 550 |
| Betongarbeid | | | | |
| Betongarbeider betongkulvert | 60 | 8 | | |
| Totalt betongarbeid | 60 | 8 | 10 | 600 |
| Tibakefylling etc. | | | | |
| Oppfylling og arrodering av terreng | 20 | 6 | | |
| Nedrigg | 40 | 3 | | |
| Totalt tilbakefylling etc. | 60 | 9 | 10 | 600 |
| Sum verdier | 295 | 48 | 40 | 2950 |
| Total h | 2950,0 | | | |
| Arbeidstimer/uke | 70,0 | | | |
| Uker | 42,1 | | | |
| Antall drivemeter | 46,0 | | | |
| Antall drivemeter/uke | 1,1 | | | |

Det er ikke medregnet antall arbeidere som skal jobbe som funksjonærer i den nye prosjektgruppen. Dette må tas i betraktning i konklusjonen for valg av metode. Transport og lasting er inkludert i posten for gravearbeid og sprengningsarbeider for "cut and cover".

Et påslag for plunder og heft er allerede inkludert i det totale timeverket. Antall arbeidstimer pr. uke for denne metoden vil være på ca. 70 arbeidstimer/uke (Myklebost, 2014a). Det er i utgangspunktet kun arbeid på dagtid og kveldstid med to skift.

Tabell 6-2: Volum/mengder som antas størst innvirkning på ressursbruken.

| Volum/mengder | |
|--|---------------------------------|
| Vegetasjonsrydding horisontalprojeksjon | ca. 5 150 m ² |
| Gravearbeid løsmasser byggegrop | ca. 11 500 m ³ |
| Gravearbeid løsmasser spuntveggene | ca. 9 000 m ³ |
| Sprengningsarbeid byggegrop | ca. 13 000 m ³ |
| Totale masser | ca. 38 650 m³ |
| Vertikale innstøpte bolter ø20 betongkulvert | ca. 70 stk. |
| Horisontale innstøpte bolter ø20 betongkulvert | ca. 505 stk. |
| Plan forskaling | ca. 2 000 m ² |
| Armering B 500 NC | |
| Ø12 | 5 tonn |
| Ø16 | 25 tonn |
| Ø20 | 120 tonn |
| Ø25 | 30 tonn |
| Total armering | ca.180 tonn |
| Betong B45 SV-40 veggstøp mot XPS-plater | ca. 1 010 m ³ |
| Sprøytebetong uten fiber 50 mm avretting mot fjell | 65 m ³ |
| Dybler av stål(syrefaste) i forbindelse med betongstøp | 248 stk. |
| Plannja-plater | 410 m ² |
| Sundolitt XPS-plater | 410 m ² |
| PVC-membran min. 2,0 mm tykk type Sarnafil | 1070 m ² |

Mengden av pilastere og spunt er ikke medregnet i kontrakten. Generelt skal kravene for konstruksjoner i grunnen utføres og være i samsvar med gjeldende norske standarder og peleveiledningen 2005, utarbeidet av Norsk Geoteknisk Forening. Eventuelle uoverensstemmelser avklares i samråd mellom byggherre og anleggsentreprenør.

6.2 Rørparaply

Det er mange faktorer som påvirker ressursbruken for denne metoden. Punktene nedenfor viser faktorene som antas størst innvirkning på ressursbruken. Løsningen for metoden rørparaply er beskrevet etter kap. 5.2. Entreprisen Snekkkestad har vært en viktig inspirasjon for å utarbeide løsningen (Frogner et al., 2013).

- Prosjektering
- Omstillinger på tunnelrigg
- Salveboring
- Ladning
- Rensk
- Transport
- Boring av stålrør
- Injeksjon av stålrør
- Installering av gitterbuer
- Sprøyting av gitterbuer

6.2.1 Prosjektering

Det krever en grundig planlegging for å kunne forsere kritisk sone med en slik metode. Metoden er lite brukt i Norge og det kan derfor være nødvendig å bruke ekspertise fra utlandet til å kunne prosjektere metoden. Implenia AG i Sveits innehar denne kompetansen og kan bistå Implenia Norge AS med prosjekteringen.

6.2.2 Omstillinger på tunnelrigg

Det påløper store omstillingskostnader knyttet opp mot tunnelriggen. Det skal installeres totalt ca. 210 stk. 15,0 m lange stålrør gjennom den kritiske sonen på ca. 37,0 m. Det krever at tunnelriggen har de riktige modifikasjonene for å kunne utføre arbeidet.

6.2.3 Salveboring, ladning, rensk og transport

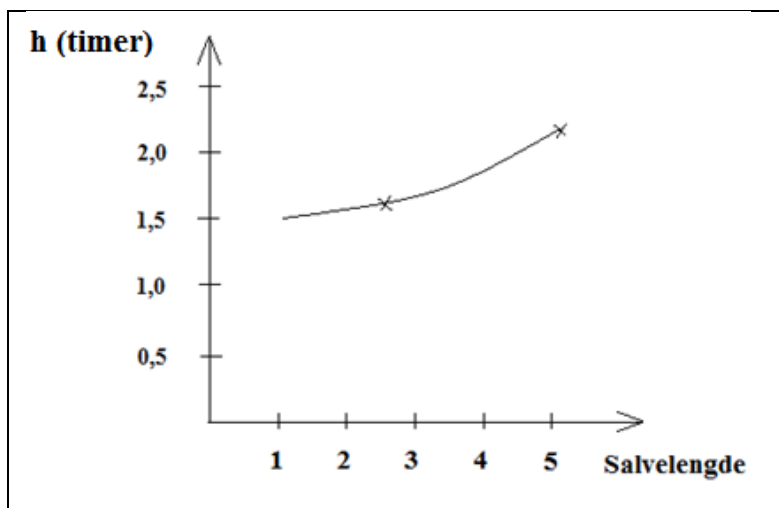
Tunneldrivingen blir utført med salvelengder på 1,0 m, 2,0 m og 3,0 m. Toppskiven vil drives som en T9,5 profil (Vegdirektoratet, 2010). For toppskiven vil 9,5 m være bredden på tunnelprofilen. T9,5 profilet har et tverrsnitt på ca. 73 m^2 . Tunneltverrsnittet til hovedtunnelen vil ha et teoretisk sprengningsprofil på ca. $152,2 \text{ m}^2$.

Tabell 6-3: Medgått tid for T9,5 Profil 5,0 m salve. (Myklebost, 2014a)

| T9,5 Profil 5 m salve | | |
|-----------------------|------------|------------|
| Opprigg | 30 | min |
| Boring salve | 130 | min |
| Ladning salve | 50 | min |
| Totalt | 210 | min |

Tabell 6-4: Medgått tid for T9,5 Profil 2,5 m salve. (Myklebost, 2014a)

| T9,5 Profil 2,5 m salve | | |
|-------------------------|------------|------------|
| Opprigg | 30 | min |
| Boring salve | 105 | min |
| Ladning salve | 40 | min |
| Totalt | 175 | min |



Figur 6-1: Grafen viser medgått boretid av et T9,5 profil med ulike salvelengder.

Kryssene indikerer salvelengder på henholdsvis 2,5 m og 5,0 m. Boretiden får en brattere kurve fra 3,0 m salvelengder. Det krever lenger tid å tilbakeflytte stålrørene for en lenger

salve enn for en kortere salve. For kortere salver utgjør tilbakeflytte tiden en mindre del av tidsforbruket.

Tabell 6-5: Timeverket for enkelte prosesser for 1,0 m, 2,0 m og 3,0 m salver. Tabell 5-4/6-3/6-4

| Salve l | Antall arbeidere | Medgått tid | Timeverk (h) |
|--------------------|------------------|-------------|--------------|
| Opprigg | 1 | 0,5 | 0,5 |
| Salveboring | | | |
| 1 m | 2 | 1,5 | 3,0 |
| 2 m | 2 | 1,6 | 3,2 |
| 3 m | 2 | 1,7 | 3,4 |
| Ladning | 2 | 1,0 | 2,0 |
| Rensk | 2 | 1,0 | 2,0 |
| Transport | | | |
| 1 m | 4 | 1,0 | 4,0 |
| 2 m | 5 | 1,0 | 5,0 |
| 3 m | 5 | 1,0 | 5,0 |

Tabell 6-6: Totale timeverk (h) for 1,0 m, 2,0 m og 3,0 m salver. Tabell 6-5

| Salvelengder | Opprigg | Salveboring | Ladning | Rensk | Transport | Totale timeverk (h) |
|--------------|---------|-------------|---------|-------|-----------|---------------------|
| 1 m | 0,5 | 3,0 | 2,0 | 2,0 | 4,0 | 11,5 |
| 2 m | 0,5 | 3,2 | 2,0 | 2,0 | 5,0 | 12,7 |
| 3 m | 0,5 | 3,4 | 2,0 | 2,0 | 5,0 | 12,9 |

6.2.3.1 Toppskive

- Oppriggtiden på ca. 0,5 h(30 min) er den samme uansett salvelengde. Årsaken er at tiden det tar å få på plass en tunnelrigg/injeksjonsrigg er uavhengig av salvelengden
- Totale timeverk (h) for 1,0 m, 2,0 m og 3,0 m lange salver er beregnet i tabell 6-6
- Tiden det tar å lade en salve er omtrent uavhengig av lengden på salven. Forskjellene ligger i mengden injeksjonsmasse som skal pumpes inn. Det kreves for eksempel mer injeksjonsmasse for et 3,0 m langt borehull enn for et 1,0 m langt borehull. Det totale timeverket (h) for ladningen på ca. 2,0 h er hentet fra tabell 5-4
- Det antas å bruke ca. 2,0 h å renske toppskiven (Myklebost, 2014a)

- Transport av utsprengte fjellmasser antas å ta mellom 4-5 h avhengig av salvelengden. Tiden det tar å transportere de utsprengte fjellmassene er basert på transporttidene til metoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter i tabell 5-4. For den metoden tar det totalt for hele tunnelverrsnittet ca. 10 timeverk (h) å transportere en røys fra en 2,0 m lang salve. For 1,0 m lange salver kan det til tider ikke være nødvendig å transportere de utsprengte fjellmassene. En midlertidig løsningen kan være å skuffe de utsprengte fjellmassene mot sidene av tunnelveggene. Det vil normalt ta lenger tid å laste en røys fra en 3,0 m lang salve enn fra en 2,0 m lang salve. Har forenklet dette med å bruke 5,0 h transporttid for både 2,0 m og 3,0 m lange salver. Transporttidene inkluderer lasting med hjullaster

Det skal totalt drives ca. 28 salver for toppskiven.

Total lengde med 28 salver:

$$20 \text{ stk.} \times 1,0 \text{ m} + 7 \text{ stk.} \times 2,0 \text{ m} + 1 \text{ stk.} \times 3,0 \text{ m} = \mathbf{37,0 \text{ m}}$$

Full utsprengning, rensk og transport for *toppskiven* vil ta ca:

$$20 \text{ stk.} \times 11,5 \text{ h} + 7 \text{ stk.} \times 12,7 \text{ h} + 1 \text{ stk.} \times 12,9 \text{ h} = \mathbf{331,8 \text{ h}}$$

6.2.3.2 Strossen

Det antas at strossen tar like lang tid å drive som toppskiven. Det skal totalt drives ca. 28 salver for strossen. Strossen har et tverrsnitt på ca. 80 m².

Full utsprengning, rensk og transport for *strossen* vil ta ca:

$$20 \text{ stk.} \times 11,5 \text{ h} + 7 \text{ stk.} \times 12,7 \text{ h} + 1 \text{ stk.} \times 12,9 \text{ h} = \mathbf{331,8 \text{ h}}$$

6.2.3.3 Transport

Det skal uttransporteres ca. 6000 m³ med utsprengte fjellmasser fra tunnelen i den kritiske sonen. Med en last pr. dumper på ca. 20 m³, tilsvarer dette ca. 300 utkjøringer. Tallverdiene baserer seg på forenklete beregninger i forhold til tunnelverrsnittets teoretisk

sprengningsprofil på ca. 152,2 m² og lengden på den kritiske sonen på ca. 37,0 m.

Transporttiden er lagt til i tabell 6-6 og den inkluderer lastetiden.

6.2.4 Full utsprengning, rensk og transport av den kritiske sonen:

Toppskive Stross

$$331,8 \text{ h} + 331,8 \text{ h} = \underline{663,6 \text{ h}}$$

6.2.5 Boring og injeksjon av stålrør

Det skal installeres totalt ca. 210 stk. 15,0 m lange stålrør gjennom den kritiske sonen på ca. 37,0 m. Tallverdiene for installering av stålrør og gitterbuer er hentet fra kap. 5.2. For hver omgang med paraply skal det installeres ca. 42 stk. 15,0 m lange stålrør. Medgått tid for installeringen av et 15,0 m langt stålrør er på ca. 0,6 h inkludert injeksjon. Stålrørene blir installert med hjelp av 2 arbeidere. Antall timeverk (h) for installering av et stk. stålrør blir da 1,2 h.

Installasjonstid for hver paraply med stålrør:

$$42 \text{ stk.} \times 1,2 \text{ h} = \underline{50,5 \text{ h}}$$

Totale timeverk (h) for full installasjon av stålrørene:

$$210 \text{ stk.} \times 1,2 \text{ h} = \underline{252 \text{ h}}$$

6.2.6 Installering og sprøyting av gitterbuer

Installering av en stk. gitterbue tar i antall timeverk (h) ca. 6,0 h (tabell 5-4). Det skal installeres ca. 40 stk. gitterbuer.

Full installasjon av gitterbuene:

$$40 \text{ stk.} \times 6,0 \text{ h} = \underline{240 \text{ h}}$$

Sprøytebetong pr. gitterbue vil ta i antall timeverk (h) ca. 4,0 h (tabell 5-4).

Total sprøyting av gitterbuene:

$$40 \text{ stk.} \times 4,0 \text{ h} = \underline{160 \text{ h}}$$

6.2.7 Det finnes også andre faktorer som påvirker kostnadene:

- Injeksjonshull i stoffen
- Sikringsbolter
- Avstandsbolter
- Nedrigg

Tabell 6-7: Framdrift for metoden rørparaply.

| Arbeid | Antall arbeidere | Total h |
|--|------------------|---------------|
| Full utspregning, rensk og lasting | | |
| Opprigg | | 1 |
| Salveboring | | 2 |
| Ladning | | 2 |
| Rensk | | 2 |
| Transport | | 5 |
| Totalt full utspregning, rensk og lasting | 12 | 663,6 |
| Installering av stålrør | | |
| Boring av stålrør | | 2 |
| Injeksjon av stålrør | | 2 |
| Totalt installasjon av stålrør | 4 | 252 |
| Installering og sprøyting av gitterbuer | | |
| Installering av gitterbuer | | 3 240 |
| Sprøyting av gitterbuer | | 2 160 |
| Totalt installasjon og sprøyting av stålrør | 5 | 400 |
| Sum verdier | 21 | 1315,6 |
| Total h | 1315,6 | |
| Påslag 15 % | 197,3 | |
| Sum total h | 1512,9 | |
| Arbeidstimer/uke | 95,0 | |
| Uker | 15,9 | |
| Antall drivemeter | 37,0 | |
| Antall drivemeter/uke | 2,3 | |

For transport av utspregte fjellmasser er det valgt å bruke 5 arbeidere i beregningene.

Antallet på 5 arbeidere innen transport er bestemt i forhold til det maksimale behovet som vil være i forhold til tunneldrivingen.

Det er lagt inn et påslag på den totale tidsbruken med 15 % for plunder og heft.

Antall arbeidstimer pr. uke for denne metoden vil være på ca. 95 arbeidstimer/uke (Myklebost, 2014a). Med å kunne arbeide i fra stuff åpner dette muligheten for nattarbeid. Antall arbeidstimer/uke vil derfor ha en høyere verdi.

Tabell 6-8: Volum/mengder som antas størst innvirkning på ressursbruken.

| Volum/mengder | |
|---|---|
| Utsprengte fjellmasser | ca. 6000 m ³ |
| Antall 15 m stålrør AT-114 med rør-ende forbindelse | ca. 210 stk |
| Antall gitterbuer | ca. 40 stk |
| Antall fjellbolter for installering av gitterbuer | ca. 160 stk |
| Fiberarmert sprøytebetong | Tykkelse på min. 30 cm, med en buelengde på ca. 30 m. |

Mengden med avstandsbolter er ikke medregnet i tabell 6-8.

6.3 Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter

Det er mange faktorer som påvirker ressursbruken for denne metoden. Punktene nedenfor viser faktorene som antas størst innvirkning på ressursbruken. Løsningen for metoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter er utført etter kap. 5.3. Implen Norge AS har tilsendt informasjon om tiden det tar å drive den kritiske sonen.

- Prosjektering
- Omstillinger på tunnelrigg
- Salveboring
- Ladning
- Rensk
- Transport
- Boring av spilingbolter
- Injeksjon av spilingbolter
- Installering av gitterbuer
- Sprøyting av gitterbuer

6.3.1 Prosjektering

Peter Borchardt i Infosystem AB har prosjekteringsansvaret for denne metoden.

6.3.2 Omstillinger på tunnelrigg

Det krever en grundig planlegging for å kunne forsere kritisk sone med en slik metode.

Det påløper store omstillingskostnader knyttet opp mot tunnelriggen. Det skal installeres totalt ca. 230 stk. 15,0 m lange spilingbolter gjennom den kritiske sonen på ca. 37,0 m. Det krever at tunnelriggen har de riktige modifikasjonene for å kunne utføre arbeidet.

6.3.3 Salveboring, ladning, rensk og transport

Tunneldrivingen blir utført med salvelengder på 2,0 m.

Tabell 6-9: Antall totale timeverk til en salve på 2,0 m. (Myklebost, 2014a)

| Salve 1 | |
|--|--------|
| Opprigg | 1,0 h |
| Salveboring | 7,0 h |
| Lading skyting pilot | 2,0 h |
| Lading skyting stross | 2,0 h |
| Installering 1 stk. gitterbue | 6,0 h |
| Sprøyting 1 stk. gitterbue 12 m ³ | 4,0 h |
| Boring spilingbolt 30 stk. a 15 m | 12,0 h |
| Injeksjon spilingbolt 30 stk. a 15 m | 9,0 h |
| Transport | 10,0 h |
| Rensk | 4,5 h |

Tabell 6-10: Totale timeverk (h) for 2,0 m salve.

| Salvelengder | Opprigg tid | Salveboring | Ladning pilot | Ladning stross | Rensk | Transport | Total tid (h) |
|--------------|-------------|-------------|---------------|----------------|-------|-----------|---------------|
| 2 m | 1,0 | 7,0 | 2,0 | 2,0 | 4,5 | 10,0 | 26,5 h |

Det skal totalt drives ca. 19 salver for pilot og ca. 19 salver for strossen. Salven inkluderer både pilot og stross, derfor vil en regne hele tunneltverrsnittet som 19 salver.

6.3.3.1 Transport

Det skal uttransporteres ca. 6000 m³ med utsprengte fjellmasser fra tunnelen i den kritiske sonen. Med en last pr. dumper på ca. 20 m³, tilsvarer dette ca. 300 utkjøringer. Tallverdiene baserer seg på forenklete beregninger i forhold til tunneltverrsnittets teoretisk sprengningsprofil på ca. 152,2 m² og lengden på den kritiske sonen på ca. 37,0 m. Transporttiden er lagt til i tabell 6-10 og den inkluderer lastetiden.

6.3.4 Full utsprenngning, rensk og transport av den kritiske sonen:

26,5 h x 19 salver = 503,5 h

6.3.5 Boring og injeksjon av Ischebeck spilingbolter

Det skal installeres totalt ca. 230 stk. 15,0 m lange Ischebeck spilingbolter gjennom den kritiske sonen på ca. 37,0 m. Tallverdiene for installasjon av spilingbolter er hentet fra kap. 5.3. For hver omgang med paraply skal det installeres ca. 33 stk. 15,0 m lange spilingbolter. Tidsprosessen for installering av et stk. 15,0 m lang spilingbolt er på ca. 0,7 h inkludert injeksjon.

Installasjonstid for hver paraply med Ischebeck spilingbolt:

33 stk. x 0,7 h = **23 h**

Totale timeverk (h) for full installasjon av Ischebeck spilingbolter:

230 stk. x 0,7 h = 161 h

6.3.6 Installering og sprøyting av gitterbuer

Installering av en stk. gitterbue tar i antall timeverk (h) ca. 6,0 h (tabell 6-9). Det skal installeres ca. 40 stk. gitterbuer.

Full installasjon av gitterbuene:

40 stk. x 6,0 h = 240 h

Sprøytebetong pr. gitterbue vil ta i antall timeverk (h) ca. 4,0 h (tabell 6-9).

Total sprøyting av gitterbuene:

40 stk. x 4,0 h = 160 h

6.3.7 Det finnes også andre faktorer som påvirker kostnadene:

- Injeksjonshull i stoffen
- Sikringsbolter
- Avstandsbolter
- Nedrigg

Tabell 6-11: Framdrift for metoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter.

| Arbeid | Antall arbeidere | Total h |
|--|------------------|---------------|
| Full utspregning, rensk og lasting | | |
| Opprigg | | 2 |
| Salveboring | | 2 |
| Ladning | | 3 |
| Rensk | | 3 |
| Transport | | 5 |
| Totalt full utspregning, rensk og lasting | 15 | 503,5 |
| Installering av spilingbolter | | |
| Boring av spilingbolter | | 2 |
| Injeksjon av spilingboltene | | 3 |
| Totalt installasjon av spilingbolter | 5 | 161 |
| Installering og sprøyting av gitterbuer | | |
| Installering av gitterbuer | | 3 240 |
| Sprøyting av gitterbuer | | 2 160 |
| Totalt installasjon og sprøyting av stålrør | 5 | 400 |
| Sum verdier | 25 | 1064,5 |
| Total h | 1064,5 | |
| Påslag 15 % | 159,7 | |
| Sum total h | 1224,2 | |
| Arbeidstimer/uke | 95,0 | |
| Uker | 12,9 | |
| Antall drivemeter | 37,0 | |
| Antall drivemeter/uke | 2,9 | |

Det er lagt inn et påslag på den totale tidsbruken med 15 % for plunder og heft. Beregningene er basert på tallmateriale fra Infosystem AB og Implenia Norge AS. Antall arbeidstimer pr. uke for denne metoden vil være på ca. 95 arbeidstimer/uke (Myklebost, 2014a). Med å kunne arbeide i fra stoff åpner dette muligheten for nattarbeid. Antall arbeidstimer/uke vil derfor ha en høyere verdi.

Tabell 6-12: Volum/mengder som antas størst innvirkning på ressursbruken.

| Volum/mengder | |
|---|---|
| Utsprengte fjellmasser | ca. 6000 m ³ |
| Antall 15 m spilingbolter (40/16) | ca. 230 stk |
| Antall gitterbuer | ca. 40 stk |
| Antall fjellbolter for installering av gitterbuer | ca. 160 stk |
| Fiberarmert sprøytebetong | Tykkelse på min. 30 cm, med en buelengde på 30 m. |

Mengden med avstandsbolter er ikke medregnet i tabell 6-12.

6.4 Jetpel

Ressursbruken for metoden jetpel innebærer bruk av store mengder betong. Mengden betong gir anleggsentreprenøren store kostnader. Det antas at m³ prisen for betong ligger i område 800 -900 kr (Myklebost, 2014a). For den kritiske sonen skal et område på ca. 880 m² dekkes med jetpeler. Med varierende høyder vil dette utgjøre et stort volum med betong. Det gjør metoden lite konkurransedyktig i forhold til pris. En vil derfor ikke fortsette med denne metoden videre i arbeidsprosessen. Det kan utarbeides andre typer løsninger for metoden jetpeler, som kan gjøre den mer konkurransedyktig i forhold til pris.

6.5 Sammenligning av ressursbruken og framdriften

Tabell 6-13: Sammenligne ressursbruken og framdriften til de ulike drivemetodene.

| Ressursbruken | "Cut and cover" | Rørparaply | Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter |
|--|--|--|--|
| Antall timeverk (h) | ca. 2950 h | ca. 1513 h | ca. 1224 h |
| Antall uker for ferdigstillelse | ca. 42 uker | ca. 16 uker | ca. 13 uker |
| Antall drivemeter/uke | ca. 1,1 meter/uke | ca. 2,3 meter/uke | ca. 3,0 meter/uke |
| Kompetanse. Erfaringer med utførelsen | Må utføres av arbeidere innen graving, transport, sprengningsarbeidere, forskalingsnekkere, betongarbeidere, funksjonærer, etc.. Denne metoden er mindre kompleks i forhold til de andre metodene. Implenia Norge AS har god kompetanse på område. | Må innhente kompetanse for å kunne installere de ca. 210 stk. stålrørene og de ca. 40 stk. gitterbuene. Det er viktig med erfarne fagfolk for å kunne følge opp installeringsprosessen, slik at framdriften blir god og for å kunne utvikle kompetansen blant de andre arbeiderne. I Norge er kompetansen begrenset. Et referanseprosjekt fra Norge er Snekkestad entreprisen i forbindelse med prosjektet Holmestrand stasjon utført av Marti/IAV. | Må innhente kompetanse for å kunne installere de ca. 230 stk. Ischebeck spilingboltene og de ca. 40 stk. gitterbuene. Det er viktig med erfarne fagfolk for å kunne følge opp installeringsprosessen, slik at framdriften blir god og for å kunne utvikle kompetansen blant de andre arbeiderne. Leverandøren av stålelementene Huth & Wien Engineering AS i Norge har bred kompetanse på område. De har tilgang til fagfolk på område og har en rekke referanseprosjekter å henvise til. |
| Prosjektgruppe | Må iverksette en egen prosjektgruppe for å styre det fysiske/administrative arbeidet under tunneldrivingen. En arbeidsrigg må iverksettes ved Tveitanlia. | Har ikke behov for en ekstra prosjektgruppe for å styre det fysiske/administrative arbeidet under tunneldrivingen. Bruker eksisterende arbeidsrigg ved Norcem. Kan være aktuelt å innhente personell fra utlandet med kompetanse for utførelsen. | Har ikke behov for en ekstra prosjektgruppe for å styre det fysiske/administrative arbeidet under tunneldrivingen. Bruker eksisterende arbeidsrigg ved Norcem. Må bruke personell fra HWE AS med kompetanse for utførelsen. |

| Ressursbruk | "Cut and cover" | Rørparaply | Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter |
|--|--|--|--|
| Anleggsmaskiner og diverse utstyr | <ul style="list-style-type: none"> • Tårnkran 1 stk. • Pallrigg 1-2 stk. DP1100i • Hjullaster 1 stk. Volvo L 350 F inkl. sidetippskuffe • Spuntrigg 1 stk. • Pelerrigg 1 stk. • Dumpere 2 stk. Volvo A40F/A35F • Lastebiler 3-4 stk. • Betongpumpe • Byggheis, om nødvendig. Kan eventuelt bruke trapp • Pumper for vannlensing • Forskalingsystemer <p>Implenia Norge AS har generelt god tilgjengelighet på maskiner og utstyr.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 3-boms tunnelrigg 1 stk. AMV 21SGBC-CC for å installere stålrørene, fjellboltene, sikringsboltene, utføre salveboring, etc. • Installeringen av stålrørene kan utføres med bruk av en AT-Pipe Umbrella Automation Unit, som er montert på bommen av tunnelriggen • Injeksjonsrigg 1 stk. AMV 200 • Sprøyterigg 1 stk. Meyco roadrunner • Dumpere 2-5 stk. Volvo A40F/A35F • Hjullaster 1 stk. Volvo L 350 F inkl. sidetippskuffe • Piggmaskin 1 stk. Volvo EW 230 • Platformbil 1 stk. Mercedes Benz 1824 AK • Ladebil 1 stk. Mercedes Benz 818 <p>Implenia Norge AS har generelt god tilgjengelighet på maskiner og utstyr. Modifikasjonene som må gjøres på bommen på tunnelriggen må anskaffes.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 3-boms tunnelrigg 1 stk. AMV 21SGBC-CC for å installere spilingboltene, fjellboltene, sikringsboltene, utføre salveboring, etc. • Installering av spilingboltene kan utføres med hjelp av et tilpasset magasin montert på bommen av tunnelriggen • Injeksjonsrigg 1 stk. AMV 200 • Sprøyterigg 1 stk. Meyco roadrunner • Dumpere 5 stk. Volvo A40F/A35F • Hjullaster 1 stk. Volvo L 350 F inkl. sidetippskuffe • Piggmaskin 1 stk. Volvo EW 230 • Platformbil 1 stk. Mercedes Benz 1824 AK • Ladebil 1 stk. Mercedes Benz 818 <p>Implenia Norge AS har generelt god tilgjengelighet på maskiner og utstyr. Modifikasjonene som må gjøres på bommen på tunnelriggen må anskaffes.</p> |

7. Miljøaspektet

Kapittelet utdyper miljøproblematikken i tilknytting til valg av metode. Gjennom miljøoppfølgingsplanen (MOP) for bygge- og anleggsperioden styres Jernbaneverkets håndtering av miljøspørsmål i prosjektets bygge- og anleggsperiode.

7.1 Støy og vibrasjoner

Mål og krav for støy og vibrasjoner innen anleggsarbeid er hentet fra miljøoppfølgingsplanen (JBV, 2013b):

Mål

- Alt av anleggsarbeid skal gjennomføres uten uakseptabel sjenanse for naboer og berørte
- Bygninger, anlegg og ledningsanlegg som er forsvarlige oppførte, skal ikke påføres varige skader på grunn av vibrasjoner fra anleggsarbeidene
- Viktig med god informasjon for de berørte om planlagte og de spesielt støyende aktivitetene. Avbøtende tiltak skal være planlagt og tilbudt beboerne

Krav

- Anleggsarbeidene skal gjennomføres i henhold til gjeldende lover og forskrifter
- Støyende arbeider skal så langt som mulig ikke overskride anbefalte grenseverdier angitt i retningslinjene beskrevet i T-1442/2012

7.1.1 Støy

Det er utarbeidet retningslinjer i forhold til støy fra bygg- og anleggsvirksomheter.

Retningslinjene for behandling av støy i arealplanleggingen (T-1442) ble fastsatt av Klima- og miljødepartementet 26.01.2005. Den har senere blitt revidert den 02.07.2012 og kalt T-1442/2012. Retningslinjene skal gi føringer for kommunens arbeid med reguleringsbestemmelser og vilkår i rammetillatelse etter plan- og bygningsloven.

Det innebærer store aktiviteter med å bygge et samferdselsanlegg. Aktivitetene kan være transport, sprengning, spunting, peling, boring, pigging etc.. Problemet er at aktivitetene kan medføre støy og vibrasjoner. For metoden "cut and cover" vil alt arbeid foregå fra dagen. En av de største aktivitetene er å transporteres store mengder med løsmasser/utsprengte

fjellmasser på en planlagt anleggsvei. Anleggsveien er ca. 300 m lang og vil bli bygget langs et boligfelt. Anleggsveien vil munne ut til en eksisterende boligvei med navn Orrevegen.

Det er utarbeidet anbefalte støygrenser utendørs for bygg- og anleggsvirksomhet innen en driftstid på 6 uker.

Tabell 7-1: Anbefalte basis støygrenser (ekvivalentnivå). (Miljødepartementet, 2012)

| Bygningstype | Støykrav på dagtid ($L_{pAeq12h}$ 07-19) | Støykrav på kveld (L_{pAeq4h} 19-23) Eller søn-/helligdag ($L_{pAeq16h}$ 07-23) | Støykrav på natt (L_{pAeq8h} 23-07) |
|-------------------------|--|--|---|
| Boliger | 65 | 60 | 45 |
| Skole, barnehage | 60 i brukstid | | |

Utførelsestiden for metoden "cut and cover" vil ta ca. 284 dager. For langvarig driftstid vil det føre til en innskjerping av grenseverdiene. En antar at utførelsen går innen kategori "mer enn 6 md. driftstid" (Miljødepartementet, 2012). Utfallet av driftstiden gjør at grenseverdiene for dag og kveld innskjerpes med 5 dB.

Tabell 7-2 Korreksjon for anleggsperiodens eller driftfasens lengde. (Miljødepartementet, 2012)

| Anleggsperiodens eller driftfasens lengde | Grenseverdiene for dag og kveld innskjerpes med |
|---|---|
| Fra 0 til og med 6 uker | 0 dB |
| Fra 7 uker til og med 6 md. | 3 dB |
| Mer enn 6 md. | 5 dB |

I forbindelse med anleggstrafikken ved Tveitanlia, er det kun boliger i område. Etter korreksjonen for anleggsperiodens eller driftfasens lengde. Vil den nye støygrensen mot boligene være:

Tabell 7-3: Støygrensene etter korreksjonen for anleggsperiodens eller driftfasens lengde.

| Bygningstype | Støykrav på dagtid ($L_{pAeq12h}$ 07-19) | Støykrav på kveld (L_{pAeq4h} 19-23) Eller søn-/helligdag ($L_{pAeq16h}$ 07-23) | Støykrav på natt (L_{pAeq8h} 23-07) |
|----------------|--|--|---|
| Boliger | 60 | 55 | 45 |

Arbeider på natten bør helst ikke forekomme. Det kan i enkelte tilfeller avvikes dersom nattarbeidet er kortvarig. En overskridelse av tabell 7-3, gjelder regelen om varsling i kap. 4.4 i T-1442/2012. Støygrensene kan dermed heves fra 45 dB til 50 dB for mindre enn 2 ukers drift og til 55 dB for mindre enn 1 ukers drift. Maksimalt støynivå i nattperioden bør ikke overskride grensen for ekvivalentnivå med mer enn 15 dB.

Enkelte naboer langs anleggsveien ved Tveitanlia ligger under 50 m fra anleggsveien. Langs boligveien ligger boligene tett innpå veien. I tilknytning til anleggsarbeidene i område ved Tveitanlia, vil det gjennomføres en vurdering av støybelastningen. Støyskjermingstiltak vil være en løsning på å redusere støynivået i område. Det vil bli utarbeidet "støykalendere" for perioder med natt- og helgearbeid og det vil bli tilbudt varsling via tekstmelding til berørte naboer i forbindelse med sprengning. Varslingen kan også bli tilbudt gjennom vanlig hustelefon.

7.1.2 **Vibrasjoner**

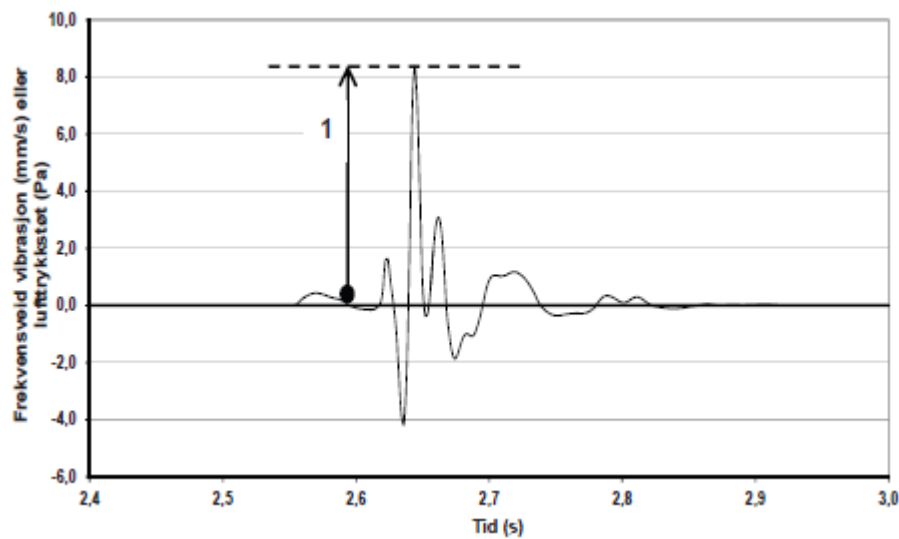
Standardene NS 8141-1 og NS 8141-2 er utarbeidet av en nasjonal komité for bygge- og anleggsvibrasjoner (SN/K 293). Del 1 omhandler virkning av vibrasjoner og lufttrykkstøt fra sprengning på byggverk, inkludert tunneler og fjellrom. Del 2 omhandler virkning av vibrasjoner fra annen anleggsvirksomhet enn sprengning og fra trafikk på byggverk.

7.1.3 **Vibrasjoner i byggverk unntatt tunneler og fjellrom**

Standard NS 8141-1 beskriver at vibrasjoner med lave frekvenser er mer skadelig for bygninger enn vibrasjoner med høye frekvenser. Standarden tar hensyn til dette ved å benytte frekvensveid svingehastighet som vibrasjonsmål. Målet legger mer vekt på vibrasjoner med lave frekvenser og mindre vekt på vibrasjoner med høye frekvenser.

Grenseverdien er angitt $A_1 >$ ved toppverdi av frekvensveid svingehastighet, $<A_1$ er fastsatt med sikte på å unngå skader på byggverk.

Standarden omfatter kun risiko for rene vibrasjons- og lufttrykkskader og ikke skader fra deformasjoner/setninger i grunnen på grunn av sprengning. Den gjelder heller ikke naturgitte vibrasjoner, som jordskjelv, bølgeslag etc..



Figur 7-1: Toppverdi av frekvensveid svingehastighet eller lufttrykkstøt. (Standard-Norge, 2013a)

Forklaring til figur 7-1: Toppverdien er den stiplede linjen med tallet 1.

Beregninger for å bestemme grenseverdiene (toppverdien) av frekvensveid svingehastighet, er kun avhengig av bygningens egenskaper.

Beregning av grenseverdien:

$$v_f = v_0 * F_b * F_m * F_t * F_v$$

v_0 : Basisverdi for vertikal frekvensveid svingehastighet i millimeter pr. sekund og fastsatt til

$$A_1 > 35 \text{ mm/s} < A_1;$$

F_b : Byggverksfaktor tar hensyn til byggverkets type og utforming

F_m : Byggematerialfaktor tar hensyn til hovedmaterialene i byggverket

F_t : Byggetilstandsfaktor tar hensyn til tilstanden på byggverket

F_v : Varighetsfaktor som tar hensyn til varigheten av sprengningsaktiviteten som forårsaker vibrasjonene og ulempene ved langvarige vibrasjonspåkjenninger

Tabell 7-4: Byggverksfaktor F_b for ulike klasser av byggverk. (Standard-Norge, 2013a)

| Type byggverk | Byggverksfaktor F_b |
|---|-----------------------|
| 1. Tunge konstruksjoner, for eksempel broer, kaier og forsvarsanlegg | 1,7 |
| 2. Industri- og kontorbygg | 1,2 |
| 3. Vanlige boliger | 1,0 |
| 4. Spesielt følsomme bygninger, for eksempel bygninger med høye hvelv eller konstruksjoner med store spennvidder, ømtålige bygningsmaterialer, historiske bygninger og ruiner | 0,7 |

Tabell 7-5: Byggmaterialfaktor F_m for hovedmaterialer i byggverk. (Standard-Norge, 2013a)

| Hovedmateriale | Byggmaterialfaktor F_m |
|--|--------------------------|
| 1. Armert betong, stål og tre | 1,2 |
| 2. Uarmert betong, tegl, betonghullstein, murverk, lettklinkerbetong og lignende | 1,0 |
| 3. Porebetong og lignende | 0,8 |

Tabell 7-6: Byggtilstandsfaktor F_t for byggverk. (Standard-Norge, 2013a)

| Byggverkets tilstand | Byggtilstandsfaktor F_t |
|----------------------|---------------------------|
| 1. Normal | 1,0 |
| 2. Ømtålig | 0,8 |

Tabell 7-7: Varighetsfaktor F_v for forskjellige sprengningsaktiviteter. (Standard-Norge, 2013a)

| Type sprengningsvirksomhet | Varighetsfaktor F_v |
|---|-----------------------|
| 1. Midlertidig (mindre enn 12 md.) | 1,0 |
| 2. Langvarig virksomhet (steinbrudd, gruveindustri og lignende) | 0,7 |

Byggverkene i område rundt Tveitanlia består for det meste av vanlige boliger.

Hovedmaterialene i boligene varierer, men boligene betraktes i normal stand.

Utførelsestiden for metoden "cut and cover" vil ta ca. 284 dager. Det er derfor ikke beregnet sprengningsarbeid over 12 md.. En vil her beregne grenseverdiene for vanlige boliger med varierende hovedmaterialer F_m .

$$v_f = v_0 * F_b * F_m * F_t * F_v$$

Grenseverdiene med ulike hovedmaterialer i vanlige boliger:

1. $v_f = 35 \text{ mm/s} * 1,0 * 1,2 * 1,0 * 1,0 = \underline{\underline{42 \text{ mm/s}}}$

2. $v_f = 35 \text{ mm/s} * 1,0 * 1,0 * 1,0 * 1,0 = \underline{\underline{35 \text{ mm/s}}}$

3. $v_f = 35 \text{ mm/s} * 1,0 * 0,8 * 1,0 * 1,0 = \underline{\underline{28 \text{ mm/s}}}$

Boliger som er bygget med porebetong vil ha den laveste grenseverdien på 28 mm/s.

Grenseverdiene gjelder all sprengning mot bygninger. For å kunne bestemme grenseverdiene er det viktig å få kartlagt bygningens egenskaper.

For å kunne måle de faktiske vibrasjonene mot bygningene, må målegiveren festes til fundamentet eller til bærende konstruksjoner nær fundamentet. Målerne monteres og aktiveres før sprengningsarbeidet starter. Det er viktig at måleutstyret ikke slås av mellom salvene.

Siden avstandene mellom vibrasjonskilden og målepunktet er lenger enn 10 m, er det kun nødvendig å foreta en vertikal måling. Avstander under 10 m må utføres med både vertikal- og horisontalmåling.

Det vil være nødvendig å foreta rystelsesmålinger på de boligene som ligger nærmest byggegropen i forbindelse med sprengning av fjell.

Et tiltak for å kunne redusere rystelsene fra sprengningen kan være å gjennomføre kortere salver. Et annet tiltak kan være intervallsprengning, her vil enkeltladninger eller grupper av ladninger i en salve settes av i rekkefølge i stedet for alle på en gang.

7.1.4 Vibrasjoner i tunneler og fjellrom

Tabell 7-8: Grenseverdier for frekvensveid svingehastighet. (Standard-Norge, 2013a)

| Beskrivelse av tilstand/fjellrom | $v_{f, \text{tunnel}}^{a,b,c}$ mm/s |
|--|-------------------------------------|
| Dårlig fjell, kun spredt bolting eller ingen forsterkning, eller uarmert sprøytebetong | 15 |
| Dårlig fjell, armert sprøytebetong sammen med bolter | 25 |
| Dårlig fjell, sikring med full utstøping | 45 |
| Godt fjell, kun spredt bolting eller ingen forsterkning, eller uarmert sprøytebetong | 25 |
| Godt fjell, armert sprøytebetong sammen med bolter | 45 |

^a Dersom tunnelen/fjellrommet ikke er i bruk, kan det vurderes å heve angitte grenseverdier med en faktor på 1,25.

^b Dersom det måles på frittstående hvelv i tunnelen, skal de angitte grenseverdiene reduseres med en faktor på 0,5.

^c Tekniske installasjoner i tunneler kan være styrende for grenseverdi.

For sprengning i nærheten av tunneler og fjellrom er det fare for oppbomming og/eller utstøting av fjellblokker og sprøytebetong. Grenseverdien for toppverdi av frekvensveid svingehastighet $v_{f, \text{tunnel}}$ for tunneler og fjellrom er gitt i tabell 7-8. Grenseverdiene gjelder både vertikal og horisontal retning.

Grenseverdiene er avhengig av disse faktorene:

- Fjellets kvalitet
- Utført fjellsikring
- Utført overflatesikring (ingen, nett, sprøytebetong, utstøping)
- Kvalitet på overflatesikring
- Tunnelens/fjellrommets funksjon

For den kritiske sonen ved Tveitanlia vil deler av løsmassene trekke seg inn i tunnelhenget. Det gjør at en må sikre forseringen med tung sikring. En kan betrakte fjellet som dårlig, siden fjelloverdekningen er begrenset. En vil her anta at grenseverdien $v_{f, \text{tunnel}}$ vil ligge på 45 mm/s.

Måleutstyret skal monteres der avstanden til sprengningsstedet er kortest (i hengen dersom det sprenges over tunnelen/fjellrommet). Målegiveren festes til fast fjell eller betongkonstruksjoner i direkte kontakt med fjellet. Det er viktig at avstanden mellom vibrasjonskilden og målepunktet angis.

7.1.5 Vibrasjoner fra annen anleggsvirksomhet enn sprengning

Standard NS 8141-2 omhandler virkning av vibrasjoner fra annen anleggsvirksomhet enn sprengning og fra trafikk på byggverk. Har tilnærmet lik fremgangsmetode som grenseverdiene (toppverdien) av frekvensveid svingehastighet. Varighetsfaktor F_v vil her byttes med en kildefaktor F_k . Kildefaktoren vil ta for seg vibrasjoner fra anleggsarbeid som for eksempel spunting, peling, riving og tunge støt som grunnen, anleggstrafikk og tung trafikk på vei.

Tabell 7-9: Kildefaktor F_k . (Standard-Norge, 2013b)

| Type virksomhet | Kildefaktor F_k |
|--|-------------------|
| 1. Virksomheten som skaper transiente; peling og spunting med fallodd, dypkomprimering med fallodd, riving og tunge støt mot grunnen, anleggstrafikk og tung trafikk på vei. | 0,6 |
| 2. Virksomheten som skaper raskt gjentatte impulser og kontinuerlige vibrasjoner; peling og spunting med vibrolodd, vibrokomprimering, pigging av fjell, tele og objekter i løsmasser samt trafikk på bane, særlig lange tog. | 0,4 |

Verdiene for kildefaktoren vil kunne redusere grenseverdiene av frekvensveid svingehastighet på byggverk. Arbeid som vil gjøres fra dagen med peling eller spunting, vil ha strengere krav i forhold til vibrasjoner.

Måleutstyret følger de samme kravene som i NS 8141-1.

Et tiltak for å kunne redusere rystelsene kan være å redusere anleggstrafikken i område ved Tveitanlia. Arbeidet med peling, spunting må tilpasses etter forholdene.

7.2 Trafikk, massetransport og deponier

Mål og krav for trafikk, massetransport og deponier innen anleggsarbeid er hentet fra miljøoppfølgingsplanen (JBV, 2013b):

Mål

- Anleggstrafikk og massetransport på offentlig og eventuelle private vegnett skal ikke medføre ulykker eller vesentlige ulemper for andre trafikanter eller omgivelser. Ulykker pga. anleggsarbeid skal ikke forekomme

Krav

- Anleggsarbeidene skal gjennomføres i henhold til gjeldende lover og forskrifter
- Massene skal deponeres i samsvar med gjeldende regulering på stedet. Deponiene skal være godkjent og deponeringen skal ikke medføre fare for forurensning

For prosjektet UFP-08 Eidanger er det ønskelig å unngå store mellomlagringer av masser. For drivemetoden "cut and cover" innebærer det transport av ca. 38 650 m³ med masser, se tabell 6-2. Masser av den størrelsen vil kreve store områder for mellomlagring. Et problem er eventuelle forurensede stoffer og mengden av finstoffer i massene. Det er viktig at det går klart fram i kontrakten om hvordan massene skal håndteres. Alle masser som ikke skal mellomlagres, skal deponeres utenfor anleggsområdet. Massene skal transporteres på avtalte veier. Det er viktig at veiene for anleggstrafikk gjennomgår hyppige vedlikeholdsrunder, det kan f.eks. være skilting, oppmerking, dekke, rengjøring, vintervedlikehold. All last skal sikres og transportør/entreprenør er påkrevd å kontrollere last for utkjøring på offentlige vei. Dette er for å sikre at løsmasser/utsprengte fjellmasser ikke faller av.

7.3 Utslipp til luft, vann og grunn

Mål og krav for utslipp til luft, vann og grunn innen anleggsarbeid er hentet fra miljøoppfølgingsplanen (JBV, 2013b):

Mål

- Anleggsvirksomheten skal ikke medføre forurensing som er eller kan være til permanent skade eller til ulempe for miljøet, eller har negative konsekvenser for helse
- Det skal ikke forekomme utslipp som forringer drikkevannskilden i område
- Alt vann fra tunneldriften skal renses før utslipp i henhold til prosjektets stedsspesifikke utslippskrav

Krav

- Anleggsarbeidene skal gjennomføres i henhold til gjeldende lover og forskrifter
- Jernbaneverkets Tekniske Regelverk definerer krav til tiltak for ivaretagelse av miljøhensyn ved planlegging, bygging og drift av jernbaneanlegget, herunder også tiltak for begrenning av utslipp til luft, vann og grunn
- Prosjektet har utslippstillatelser etter forurensningsloven for arbeider både i Vestfold og i Telemark hhv. 19.09.2012 og 26.10.2012. Brudd på tillatelsen er straffbar etter forurensningsloven §§ 78 og 79

For den kritiske sonen ved Tveitanlia vil en forsering med metoden "cut and cover" føre til stor anleggstrafikk fra dagen. Det vil føre til direkte utslippsmengder knyttet opp mot forbrenning av drivstoff (CO₂) innen opplasting, transport, bearbeiding av masser og generell anleggsvirksomhet. De indirekte utslippsmengdene vil være produksjonsutslipp fra materialer. Transport av løsmasser/utsprengte fjellmasser på tørre dager vil av erfaring føre til oppvirvling av jordstøv. For å kunne forebygge dette, vil det være aktuelt å innføre støvdempende tiltak. Noen støvdempende tiltak kan være å asfaltere anleggsveien helt frem til boligveien, vanning, regelmessig renhold, salting.

Utslipp av olje- og kjemikaliesøl kan være et problem i forhold til fylling av drivstoff, oljeskift på maskiner, lekkasjer fra midlertidige oljelagre eller avrenning av klebemiddel ved legging av asfalt. Antall ganger utslippene inntreffer varierer fra prosjekt til prosjekt. Lagring av drivstoff, olje og kjemikalier skal sikres ved at det bygges inn en sikkerhet som tar hånd

om 100 % av lagervolumet ved brudd/søl/lekkasje. For alle verkstedene skal det etableres oljeskillere. Det er viktig at alle maskinene gjennomgår jevnlig vedlikehold for å forbebygge eventuelle lekkasjer.

Forseringen fra stuff vil kunne gi utslipp i form av slam av boringen, sprengning, lasting og nedknusing av stein. Bruken av tunnelrigg, injeksjons- og sprøytbetongarbeider, spyling av røysa, innlekkasjer vil kunne forårsake drens- og driftsvann.

Vannet må behandles før det slippes ut til et vassdrag eller gjenbrukes. De viktigste forurensningsparameterne er nitrogenforbindelser, suspendert stoff, PH og hydrokarboner. Et konvensjonelt renseanlegg kan ikke rense nitrogenforbindelsene. Det er viktig at alt av vann fra anleggsarbeidene blir rensket ved å utskille finstoffene.

I område rundt anleggsområde ligger det flere vassdrag med begrenset minstevannsføringer. Det stilles derfor strenge krav til utslippene av driftsvannet fra tunnelen og fra dagen. Sikringstiltakene er tilpasset omgivelsene og det lokale forholdet ved anleggsområde.

Det skal utarbeides en beredskapsplan som skal legge rutiner på hva som skal gjøres, dersom et uhell finner sted.

8. Risikovurdering

Kapittelet utdyper en kombinasjon av sannsynligheter og konsekvenser for at en uønsket hendelse skal finne sted under utførelsen av kritisk sone. Risikoanalysen skal avdekke risikoen knyttet til det å utføre drivemetoden (Standard-Norge, 2008).

Hensikten med risikoanalysene er å få svar på tre grunnleggende spørsmål:

- Hva kan gå galt?
- Hva er sannsynligheten for at de uønskede hendelsene inntreffer?
- Hvilke konsekvenser kan de uønskede hendelsene medføre?

Det skal gjøres en vurdering av sannsynlighetene og konsekvensene for at en uønsket hendelse skal inntreffe. Sannsynligheten for at en uønsket hendelse inntreffer skal gjennomgås, vurderes og beskrives. Konsekvensene for at en uønsket hendelse inntreffer skal belyses og vurderes. Sannsynlighetene og konsekvensene deles vanligvis inn i fem kategorier, men kan endres til flere eller færre kategorier.

Tabell 8-1: Sannsynlighetskategorier. (Myklebost, 2014b)

| Sannsynlighetskategori | Betegnelse |
|------------------------|-------------------|
| S1 | Lite sannsynlig |
| S2 | Mindre sannsynlig |
| S3 | Sannsynlig |
| S4 | Meget sannsynlig |
| S5 | Svært sannsynlig |

Tabell 8-2: Konsekvenskategorier. (Myklebost, 2014b)

| Konsekvenskategori | Betegnelse eksempel 1 | Betegnelse eksempel 2 |
|--------------------|-----------------------|------------------------|
| K1 | Ufarlig | Svært liten konsekvens |
| K2 | Farlig | Liten konsekvens |
| K3 | Kritisk | Middels konsekvens |
| K4 | Meget kritisk | Stor konsekvens |
| K5 | Katastrofalt | Svært stor konsekvens |

På bakgrunn av analysen skal det utarbeides en risikoevaluering. Risikoevalueringen skal vurdere om drivemetoden kan utføres eller ikke. En risikovurdering av metodene innebærer

å identifisere farer og uønskede hendelser, analysere og evaluere risiko samt å identifisere tiltak som kan fjerne eller redusere risiko (Standard-Norge, 2008).

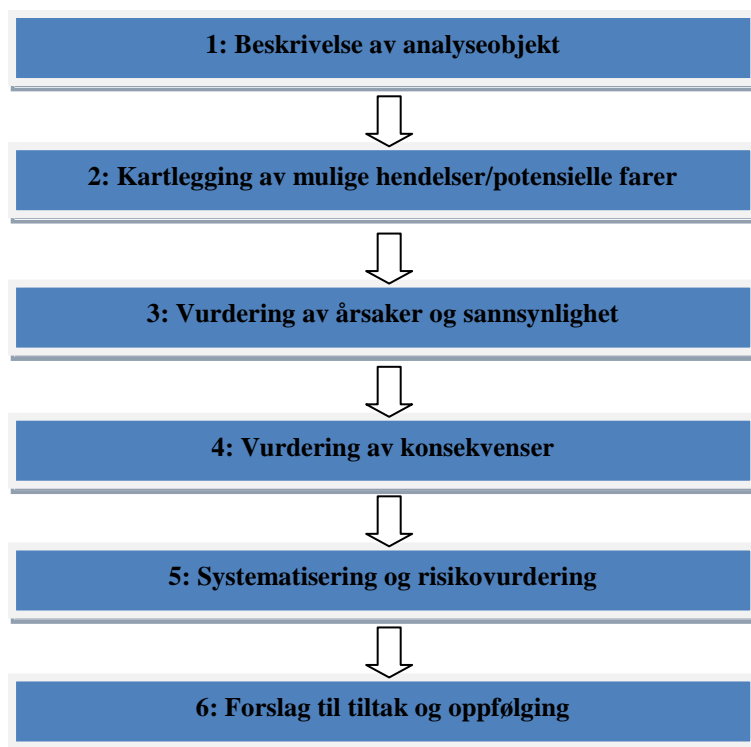
Det er viktig at risikovurderingen gjennomføres så tidlig at resultatene foreligger før de aktuelle beslutningene skal tas. En beskrivelse av risikovurderingen er viktig for å skaffe en oversikt over de parter som kan være berørt av utførelsen, og på hvilken måte de blir berørt. For å kunne redusere faren for at den uønskede hendelsen skal inntreffe er det viktig å iverksette tiltak. Det skal dokumenteres i skjemaet for risikoreduserende tiltak.

Arbeidet for en risikovurdering bør helst utføres med en arbeidsgruppe. I dette tilfellet skal risikovurderingen vurderes av en enkeltperson, med innspill fra Implenia Norge AS. Med innspill fra anleggsentreprenøren kan det være tilstrekkelig til å gjennomføre en god risikovurdering.

Det er viktig at de som utfører risikovurderingen har kunnskap om og erfaringer innen bruken av risikoanalytiske metoder. Samt fagkunnskaper om de relevante fag innen risikovurderingen.

Implenia Norge AS utfører sine risikovurderinger ut ifra en risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS-analyse).

En ROS-analyse er tradisjonelt inndelt i disse fasene:



Figur 8-1: Inndelte faser i en ROS-analyse. (Suhrke, 2011)

For å gi en visuell og kvantifiserbar fremstilling av en ROS-analyse bør det benyttes en risikomatrix. Det kan være vanskelig for en planlegger å sette en riktig kvantifisering av sannsynlighetene og konsekvensene. Implenia Norge AS har en egenprodusert kvantifisering av disse i tabell 8-1 og tabell 8-2. Risikomatriksen er gradert i forhold til disse kvantifiseringene.

Tabell 8-3: Risikomatrix innen sannsynligheter og konsekvenser. (Myklebost, 2014b)

| Sannsynlighet | Konsekvens | | | | |
|-----------------------|----------------|---------------|----------------|----------------------|---------------------|
| | K1. Ufarlig | K2. Farlig | K3. Kritisk | K4. Meget kritisk | K5. Katastrofalt |
| S5. Svært sannsynlig | Yellow | Yellow | Red | Red | Red |
| S4. Meget sannsynlig | Green | Yellow | Yellow | Red | Red |
| S3. Sannsynlig | Green | Green | Yellow | Yellow | Red |
| S2. Mindre sannsynlig | Green | Green | Green | Yellow | Red |
| S1. Lite sannsynlig | Green | Green | Green | Yellow | Yellow |

Forklaring til tabell 8-3:

Tiltak nødvendig , i utgangspunktet ikke akseptabelt.

Tiltak må vurderes.

Ikke signifikant risiko.

Akseptkriteriet for å vurdere om man skal gå videre med risikoreduserende tiltak er satt til:

7

Dersom risiko anses som lav og iht. akseptkriteriene er det ikke nødvendig å iverksette risikoreduserende tiltak.

8.1 Risikovurdering "cut and cover"

Tabell 8-4: Risikovurdering "cut and cover".

| Aktiviteter | Risiko før tiltak | | Risiko | Risiko etter tiltak | | Risiko |
|-------------------------------------|-------------------|---|--------|---------------------|---|--------|
| | S | K | | S | K | |
| 1 Bygging av anleggsvei | 2 | 4 | 8 | 1 | 2 | 2 |
| 2 Etablering av byggegrop | 3 | 4 | 12 | 2 | 3 | 6 |
| 3 Arbeid under høyspentlinje | 3 | 5 | 15 | 2 | 3 | 6 |
| 4 Arbeid i nærheten av spor i drift | 2 | 4 | 8 | 2 | 2 | 4 |
| 5 Betongarbeider | 3 | 3 | 9 | 2 | 3 | 6 |
| 6 Tilbakefylling | 3 | 3 | 9 | 2 | 2 | 4 |

S= Sannsynlighet

K= Konsekvens

En oversiktlig risikovurdering av metoden "cut and cover" med beskrivelser og tiltak, se vedlegg 5

8.2 Risikovurdering rørparaply

Tabell 8-5: Risikovurdering rørparaply.

| Aktiviteter | Risiko før tiltak | | Risiko | Risiko etter tiltak | | Risiko |
|-------------------------------------|-------------------|---|--------|---------------------|---|--------|
| | S | K | | S | K | |
| 1 Installering av Pantex gitterbuer | 2 | 4 | 8 | 1 | 4 | 4 |
| 2 Boring av stålrør | 3 | 4 | 12 | 1 | 4 | 4 |
| 3 Injeksjon av stålrør | 3 | 3 | 9 | 1 | 2 | 2 |
| 4 Påføring av sprøytebetong | 3 | 3 | 9 | 2 | 3 | 6 |
| 5 Sprengning | 3 | 3 | 9 | 2 | 3 | 6 |
| 6 Lasting | 2 | 4 | 8 | 1 | 4 | 4 |
| 7 Kollaps | 1 | 5 | 5 | 1 | 5 | 5 |
| 8 Innlekkasjer av masser | 2 | 4 | 8 | 1 | 4 | 4 |

S= Sannsynlighet

K= Konsekvens

En oversiktlig risikovurdering av metoden rørparaply med beskrivelser og tiltak, se vedlegg 5

8.3 Risikovurdering Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter

Tabell 8-6: Risikovurdering Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter.

| Aktiviteter | Risiko før tiltak | | Risiko | Risiko etter tiltak | | Risiko | |
|-------------|--------------------------------------|---|--------|---------------------|---|--------|---|
| | S | K | | S | K | | |
| 1 | Installering av Pantex gitterbuer | 2 | 4 | 8 | 1 | 4 | 4 |
| 2 | Boring av Ischebeck spilingbolter | 3 | 4 | 12 | 1 | 4 | 4 |
| 3 | Injeksjon av Ischebeck spilingbolter | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 4 | Påføring av sprøytebetong | 3 | 3 | 9 | 2 | 3 | 6 |
| 5 | Sprengning | 3 | 3 | 9 | 2 | 3 | 6 |
| 6 | Lasting | 2 | 4 | 8 | 1 | 4 | 4 |
| 7 | Kollaps | 1 | 5 | 5 | 1 | 5 | 5 |
| 8 | Innlekkasjer av masser | 2 | 4 | 8 | 1 | 4 | 4 |

S= Sannsynlighet

K= Konsekvens

En oversiktlig risikovurdering av metoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter med beskrivelser og tiltak, se vedlegg 5

9. Diskusjon

Hensikten med kapittelet er å trekke ut den viktigste informasjonen og vurdere dem opp mot egne synspunkter.

Arbeidet som har blitt gjort i oppgaven vil ikke være en mal på hvordan en kan forsere kritiske soner ved andre prosjekter. Hvert prosjekt har sine utfordringer og sine faktorer å forholde seg til, men den tekniske delen av oppgaven kan derimot være viktig for å tilegne seg kompetanse om de ulike drivemetodene.

Utfordringen for denne oppgaven er den kritiske sonen med lav fjelloverdekningen. Det ble tidligere i oppgaven bestemt å forkaste muligheten for fullprofilboring (TBM). Den viktigste årsaken er på grunn av den korte tunnelstrekningen. Det vil ikke være hensiktsmessig å bygge en TBM maskin for en tunnelstrekning på 1,5 km. En måtte ha sett på andre trasémuligheter for å kunne vurdere TBM drift, dette var ikke aktuelt.

De fem drivemetodene innen konvensjonell sprengning som er valgt i oppgaven har alle en teknisk beskrivelse. I løpet av arbeidsprosessen har det vist seg at alle drivemetodene er gjennomførbare. Implenia Norge AS er en stor anleggsaktør i Norge og besitter de nødvendige ressursene for å kunne forsere den kritiske sonen med de ulike drivemetodene. Kompetansen for å kunne forsere den kritiske sonen, har de enten internt i selskapet eller hos samarbeidspartnere i Norge eller utlandet.

Kriteriet om ressursbruken er sentralt for valg av drivemethode. Drivemetodene som er valgt å gå videre med etter den tekniske beskrivelsen er beskrevet i tabell 9-1.

Tabell 9-1: Ressursbruken til de ulike metodene

| Ressursbruken | "Cut and cover" | Rørparaply | Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|--|
| Antall timeverk (h) | ca. 2950 h | ca. 1513 h | ca. 1224 h |
| Antall uker for ferdigstillelse | ca. 42 uker | ca. 16 uker | ca. 13 uker |
| Antall drivemeter/uke | ca. 1,1 meter/uke | ca. 2,3 meter/uke | ca. 3,0 meter/uke |

Drivemetoden **"cut and cover"** krever store mengder med anleggsmaskiner og utstyr for å kunne forsere den kritiske sonen fra dagen. Pelerrigg, spuntrigg, tårnkran, pallrigg er bare noen av anleggsmaskinene som må anskaffes. Anleggsmaskiner av denne typen vil innebære store økonomiske utgifter og vil påføre selskapet store vedlikeholdskostnader. Det er derimot kort mobiliseringstid på anleggsmaskiner og utstyr. Tilgjengeligheten til erfarne medarbeidere er større i forhold til de andre drivemetodene. Med en byggegrop på denne størrelsen, må det etableres en egen prosjektgruppe. Det kan være en utfordring å ha nok plass til alt av maskiner og utstyr, samt en brakkerigg ved Tveitanlia. Etableringen ved Tveitanlia byr på en del plassbegrensninger grunnet korte avstander til boligene.

Ferdigstillestiden av drivemetoden i antall timeverk (h) er på ca. 2950 h. Det tar mer enn dobbel så lang tid å ferdigstille metoden "cut and cover" i forhold til de andre drivemetodene. Framdriften i et prosjekt er blant de viktigste kriteriene for en entreprenør. Drivemetoden "cut and cover" vil kunne drive ca. 1,1 drivemeter/uke. Det er den drivemetoden som har lavest antall drivemeter pr. uke. En av årsakene til dette er full stans i alt av anleggsarbeid etter kl 23:00. Alt av nattarbeid skal helst unngås for å skjerme naboer for støy og vibrasjoner. Det kan i enkelte sammenhenger tillates å arbeide på natten, dersom arbeidet er kortvarig.

Selve hovedårsaken til den begrensede framdriften er det enorme grave-/sprengningsarbeidet som skal utføres ved Tveitanlia. Det skal uttransporteres ca. 38 650 m³ (tabell 6-2) med masser fra den planlagte byggegropen. Med gravearbeidet innebærer det en høy risiko for utglidninger. Her må det bygges spunkasser for å sikre arbeiderne og de materielle verdiene. Sikkerheten prioriteres høyt for å unngå fatale ulykker.

I forbindelse med å bygge en massiv betongkulvert vil det kreve mengder med materiell (tabell 6-2). Her er det viktig at stikningsarbeidet blir utført med god nøyaktighet for å kunne fastsette hvor sålen av betongkulvert skal konstrueres. Viktig at stikkeren kontrollerer flere ganger før han/hun gir klarsignal om å fortsette arbeidet. Det å finne ut i etterkant at høyden er feil, vil kunne stoppe framdriften og kostnadene i prosjektet vil kunne øke betraktelig.

Det å grave ut en byggegrop på denne størrelsen vil kreve mange utkjøringer med løsmasser/utsprengte fjellmasser. Store vibrasjoner og høyt støynivå vil utvikles med all den anleggstrafikk sentrert rundt Tveitanlia.

Problematikken rundt mellomagring av masser er en annen stor utfordring anleggsentreprenøren og byggherren må forholde seg til. Mellomlagring av masser kan føre til at finstoffene trekkes ut i vassdragene. Det kan være aktuelt å etablere renseanlegg i de vassdragene som får tilført mest finstoff, hovedutfordringen her vil være å forebygge at slik forurensing inntreffer. For JBV er det viktig å ha god dialog med naboer og beholde et godt omdømme rundt i samfunnet. For å kunne verne det ytre miljøet rundt Tveitanlia bør en ikke velge denne drivemetoden. En bør forebygge påvirkningene på det ytre miljø ved å velge drivemetoder som drives i fra stuff.

Det innebærer en rekke farlige aktiviteter med å grave en byggegrop og konstruere en betongkulvert. Risikoen for at uheldige hendelser inntreffer med denne metoden, er høyere enn for de andre drivemetodene.

Etableringen av byggegropen vil kreve en grundig planlegging med tanke på graving, sprengning og massetransport. For en byggegrop på denne enorme størrelsen er det viktig å ha god kontroll på arbeidsrutinene. I forbindelse med byggegropen ved Tveitanlia er det høyspentlinjer i område som anleggstrafikken må holde avstand til. Konsekvensene av en kortslutning på grunn av anleggsarbeidene vil kunne være katastrofale.

I forkant av en arbeidsoppgave med høy risiko vil det være nødvendig å utføre en sikker jobb analyse (SJA), føre-var prinsippet er viktig i en slik sammenheng.

Drivemetoden **rørparaply** har et begrenset behov for anleggsmaskiner og utstyr for å kunne forsere den kritiske sonen inne fra tunnelen. En 3-boms tunnelrigg vil bli modifisert med det nødvendige utstyr for å kunne installere stålrørene. Denne modifikasjonen innebærer kostnader som kan være avgjørende for valg av drivemetode. Det vil ta ca. 50 % mindre tid å ferdigstille denne drivemetoden i forhold til metoden "cut and cover". Effekten av god framdrift er viktig for den aktuelle drivemetode. Denne drivemetoden vil kunne påføre store prosjekteringskostnader, men det kan senere gi god gevinst med høy inntjening under forseringen.

Drivemetoden rørparaply vil kunne drive ca. 2,3 drivemeter/uke, altså en dobling av antall drivemeter/uke i forhold til metoden "cut and cover". En av årsakene til dette er flere

arbeidstimer pr. uke, anleggsarbeid som utføres fra tunnelen vil ikke være til sjenanse ovenfor naboer og det gjør det mulig å arbeide på natten.

Med tunneldrivingen fra stoff vil man kunne unngå det enorme gravearbeidet/sprengningsarbeidet ved Tveitanlia, det er hovedårsaken til at framdriften er vesentlig raskere. Den totale massen som skal utkjøres fra tunnelen er kun 15,5 % av den totale massen til metoden "cut and cover".

Antall drivemeter pr. uke for denne drivemetoden er vesentlig mindre enn for metoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter. Årsaken til dette er det konservative valget med å drive tunnelen med 1 m lange salver i det mest kritiske område med lavest fjelloverdekning. Det vil ta ca. 160 h lenger tid å bore og spreng seg gjennom den kritiske sonen med metoden rørparaply. Forbeholdet må være at beregningene stemmer overens med den virkelige tunneldriften, en må derfor se på beregningene med en viss usikkerhet.

Framdriften kunne blitt raskere dersom en detaljert prosjektering hadde blitt utført eller at en økte salvelengdene til 2 m.

Kompetansen innen installasjon av stålrørene er begrenset i Norge, her vil det være aktuelt å innhente kompetansen fra utlandet for å klare det tekniske arbeidet. Kompleksiteten med installeringen kan synliggjøre problemstillinger, som kan være utfordrende å løse.

Installasjonstiden av stålrørene er også en årsak i at framdriften er vesentlig dårligere. Det tar ca. 100 h lenger tid å installere stålrørene i forhold til installeringen av Ischebeck spilingbolter. Det å injisere stålrørene etter innboring er en ulempe i forhold til framdriften. En kombinasjon med innboring og kontinuerlig injeksjon vil være en raskere prosess enn å gjøre de separat.

Det vil kreve et renseanlegg for å behandle alt av drens- og driftsvann fra tunnelen, dette for å beskytte vassdrag fra forurensing. Her må det anskaffes en oljeutskiller og et sedimenteringsbasseng, med et sårbart vassdrag kan ytterligere rensing utføres med sandfilter. Det vil også forekomme vibrasjoner i forbindelse med tunneldrivingen. Det er viktig å foreta rystelsesmålinger på de nærmeste boligene og kontrollere de opp mot grenseverdiene.

Det innebærer en rekke farlige aktiviteter med å arbeide i fra stoff, det skal blant annet installeres mange og tunge stålelementer i tunnelen. Gode arbeidsrutiner er viktig for denne komplekse utførelsen.

Det å installere stålrørene er den aktiviteten med høyest risiko, stålelementene er i mekanisk bevegelse og kan påføre store skader på de som arbeider med installeringsprosessen. Faren for

at tunnelen kollapser er liten, men konsekvensen er veldig stor, derfor må en ha forsiktig forsering og mange sikkerhetstiltak. Aktiviteten med å injisere stålrørene har en høyere risiko enn ved injeksjon av spilingboltene. Det å bruke dobbelpakkere under injeksjonen vil kunne øke risikoen for en uønsket hendelse. Det er også større sannsynligheter for at injeksjonen vil komme rennende tilbake på stuff, fordi det er vanskelig å tette luftlommene mellom fjell og stål.

Drivemetoden **Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter** har i sammenligning med metoden rørparaply et tilsvarende behov for anleggsmaskiner og utstyr. For å kunne installere spilingboltene kan dette gjøres ved hjelp av et tilpasset magasin montert på bommen av tunnelriggen. HWE AS har kompetanse på område og vil kunne bistå med fagfolk i forbindelse med installeringen av Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter.

Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter har den raskeste framdriften av de tre metodene. Det vil ta ca. 60 % mindre tid å ferdigstille denne drivemetoden i forhold til metoden "cut and cover". Det å kunne unngå det enorme gravearbeidet/sprengningsarbeidet ved Tveitanlia, vil kunne ha en stor effekt på framdriften. Det å arbeide i fra stuff gir også muligheter til nattarbeid, som vil øke antall arbeidstimer pr. uke.

Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter vil også være 20 % raskere enn metoden rørparaply. Fordi tunneldrivingen drives med 2,0 m lange salver. Et annet stort fortrinn for denne metoden er at installeringen av spilingboltene vil kunne kombinere innboring og kontinuerlig injeksjon, en slik kombinasjonen kan redusere installasjonstiden.

Selv om framdriften er god, er det viktig å vurdere de andre kriterier for å få et bedre beslutningsgrunnlag.

For det ytre miljøet vil en slik drivemetode ha de samme utfordringene som metoden rørparaply. Her blir det også viktig å rense drens- og driftsvann og foreta rystelsesmålinger på de nærmeste boligene.

Det innebærer mange utfordringer med å installere alle stålelementene under tunneldrivingen. Derfor er det viktig med gode arbeidsrutiner under den komplekse utførelsen. Det å kombinere innboring og kontinuerlig injeksjon av spilingboltene kan by på flere utfordringer med installeringen. Det er viktig å unngå at injeksjonen faller tilbake på stuff under innboringen, bruk av vernebriller for personell som oppholder seg på stuff under injeksjonsprosessen er et viktig forebyggende tiltak.

Med mange anleggsmaskiner i tunnelen vil det føre til at det blir trangt om plassen og framdriften kan påvirkes av dette. Det er viktig med kontinuerlig sikring med sprøytebetong i den kritiske sonen for å unngå uønskede hendelser.

10. Konklusjon

Det å velge en drivemetode for en kritisk sone med lav fjelloverdekning er en kompleks avgjørelse. En forutsetning er at det må utføres gode forundersøkelser i forkant før en drivemetode kan velges. Den kunnskapen en tilegner seg gjennom gode forundersøkelser kan være utslagsgivende for valget. Størrelsen på den kritiske sonen har også en betydning for valget.

De tre drivemetodene som har gjennomgått en detaljert vurdering har alle sine fordeler og ulemper. Drivemetoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter har den raskeste framdriften med en ferdigstillestid på 13 uker. Framdriften er ikke i seg selv utslagsgivende når en drivemetode skal velges. Det er ikke foretatt noen kostnadsberegninger for å kunne forsere den kritiske sonen med de ulike drivemetodene. Uansett vil en drivemetode av typen "cut and cover" medføre store kostnader innen maskiner og utstyr. De to andre drivemetodene har i utgangspunktet likt behov innen maskiner og utstyr. Mengden av stålmateriell som skal brukes under forseringen kan også være utslagsgivende for den totale kostnaden.

Levetiden til drivemetodene vil også ha en betydning for det valget som skal tas. En vil anta at resultatet med "cut and cover" metoden vil kunne oppnå lengst levetid pga. av den massive betongkulverten.

Miljøpåvirkningene er størst med drivemetoden "cut and cover", her vil største deler av arbeidet foregå fra dagen. Naboer og lokalområde vil kunne sjeneres med den anleggsdriften som kreves for å ferdigstille metoden. De to andre drivemetodene vil unngå slike miljøpåvirkninger. En vil si at miljøpåvirkningene for de to andre drivemetodene har de samme problemstillingene med tunneldriving i fra stuff.

Risikoen for at en uønsket hendelse inntreffer er minst ved valg av metoden Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter.

Totalt sett vil en drivemetode av typen Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter gi det beste resultatet i forhold til de kriteriene som har blitt vurdert. Jeg har derfor valgt å forsere den kritiske sonen med metoden **Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter**. Mitt valg av drivemetode har ikke hatt påvirkning for hvilken metode Implenia Norge AS har valgt. Deres valg kom på et tidligere tidspunkt etter samhandling mellom byggherren og entreprenøren.

11. Videre arbeid

Oppgaven har resultert i mye interessant informasjon innen ulike drivemetoder. Det har vært en lærerik prosess, som jeg kan ta med meg videre inn i min yrkeskarriere. Videre arbeid med oppgaven vil være å følge opp tunneldrivingen ved Tveitanlia, for å kontrollere selve utførelsen. Det å koble teori med praksis, er viktig for å bekrefte det arbeidet som allerede er gjort i oppgaven. Anleggsentreprenøren Implenia Norge AS og jeg har avtalt at jeg skal komme på befaring under tunneldrivingen av kritisk sone i juni måned.

Videre ville det vært spennende å lære mer om drivemetodene jetpeler og frysing. Det ville også vært interessant å utforske flere metoder for den kritiske sonen, for å øke kompetansen og for å gi oppgaven et større beslutningsgrunnlag.

12. Referanser

- BERGGREN, A.-L. 2014. *RE: Geofrost AS, Personlig kommunikasjon pr. samtale 19.05.2014.*
- BOIGER, R. 2011. Implenia AG, Erfahrungsbericht Injektionsrohrschirm Südtrakt.
- BORCHARDT, P. 2014. *RE: Infosystem AB, Personlig kommunikasjon pr. e-post. 15.01.2014-30.01.2014.*
- DYWIDAG-SYSTEMS. 2013. *AT- Pipe Umbrella System.* [Online]. Available: http://www.dywidag-systems.com/uploads/media/DSI_ALWAG-Systems_AT_Pipe-Umbrella-System_en.pdf [Accessed 04.03.2014].
- FROGNER, E., AUNAAS, K., HOLMØY, K. H. & ENGEN, S. 2013. *Fjellsprengningsdagen, Bergmekanikkdagen og Geoteknikkdagen 2013.*
- HANSEN, A. M. 2014. *TBM vs D&B – Pros and Cons.* [Online]. Available: <http://www.nff.no/article.php?id=259> [Accessed 08.04.2014].
- HOKSRUD, L. Ø. & HOVI, H. 1991. Jetinjisering -Eidangerprosjekt. Rv. 36, Porsgrunn, Telemark. *Forelesningskompendier fra minikonferanse 25. Sept. 1991.*
- HWE. 2014. *Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter.* [Online]. Huth og Wien Engineering AS. Available: <http://www.hwe.no/> [Accessed 05.03.2014].
- JBV. 2010. *Slik bygges jernbanetunneler.* [Online]. Available: <http://www.jernbaneverket.no/Documents/Brosjyre%20-%20Slik%20bygger%20vi%20tunneler%20mars%202010.pdf>.
- JBV 2013a. Byggeplan - konstruksjoner. Oversikt, plan og lengdesnitt - km 181, 040 Eidangertunnel "cut and cover".
- JBV 2013b. Miljøoppfølgingsplan [MOP] for bygge- og anleggsperioden parsell nr. 12 Farriseidet-Porsgrunn.
- JBV. 2013c. *Vestfoldbanen er strekningen mellom Drammen og Porsgrunn.* [Online]. Available: <http://www.jernbaneverket.no/no/Jernbanen/Banene/Vestfoldbanen/> [Accessed 15.04.2014].

- JESSBERGER, H. L. 1980. Theory and application of ground freezing in civil engineering. *Cold Regions Science and Technology*, 3, 3-27.
- JETGRUNN. 2014. *Jetpeler*. [Online]. Available: <http://www.jetgrunn.no/> [Accessed 10.04.2014].
- JOHANSSON, T. 2009. Artificial ground freezing in clayey soils.: KTH Architecture and Built Environment.
- JOHN, M. & MATTLE, B. 2002. Design of tube umbrella. *Mag Czech Tunn Comm Slovak Tunn Assoc*, 3.
- MILJØDEPARTEMENTET 2012. Retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging (T-1442).
- MOURATIDIS, A. 2008. The "Cut-and-Cover" and "Cover-and-Cut" Techniques in Highway Engineering.
- MULTICONSULT 2014. Tveitanlia "Cut and Cover" - Supplerende grunnundersøkelser.
- MYKLEBOST, K. 2014a. RE: *Implenia Norge AS, Personlig kommunikasjon pr. møte, pr. e-post og mobil. 15.01.2014-11.06.2014.*
- MYKLEBOST, Ø. 2014b. RE: *Implenia Norge AS, Personlig kommunikasjon pr. møte og pr. e-post. 15.01.2014-11.06.2014.*
- NFF 2008. *Tung bergsikring i undergrunnsanlegg.*, Norsk forening for fjellspregning NFF.
- NFF 2011. *Rock mass grouting in norwegian tunnelling.*, Norsk forening for fjellspregning NFF.
- NGU. 2014. *Løsmassekart over Eidanger*. [Online]. Norges geologiske undersøkelse NGU. Available: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/> [Accessed 15.02.2014].
- NORDBØ, T. 2014. RE: *Implenia Norge AS, Personlig kommunikasjon pr. møte. 07.05.2014.*
- SEEHUSEN, J. 2013. *Bruker "rørparaply" for å få has på problemtunnel*. [Online]. Available: <http://www.tu.no/bygg/2013/05/15/bruker-rorparaply-for-a-fa-has-pa-problemtunnel> [Accessed 25.03.2014].

STANDARD-NORGE 2008. NS 5814:2008 Krav til risikovurdering.

STANDARD-NORGE 2013a. NS 8141-1:2012+A1:2013 Vibrasjoner og støt. *Del 1: Virkning av vibrasjoner og lufttrykkstøt fra sprengning på byggverk, inkludert tunneler og bergrom.*

STANDARD-NORGE 2013b. NS 8141-2:2013 Vibrasjoner og støt. *Del 2: omhandler virkning av vibrasjoner fra annen anleggsvirksomhet enn sprengning og fra trafikk på byggverk.*

STATKRAFT 2009. Vannkraft.

SUHRKE, T. 2011. Samfunnssikkerhet i arealplanlegging. *Kartlegging av risiko og sårbarhet*. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap DSB.

SWECO 2013. Fagrapport Ingeniørgeologi Entreprise UFP-08 Eidanger.

TYRENS 1985. Jetpelforsterkning for tunneldriving, Älvsjö, Stockholm.

VEGDIREKTORATET 2010. Håndbok 021 Normaler for vegtunneler.

VEGDIREKTORATET 2012. Håndbok 274 Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger.

VOLKMANN, G. M. & SCHUBERT, W. Geotechnical model for pipe roof supports in tunneling. 33rd ITA-AITES World Tunnel Congress - Underground Space - The 4th Dimension of Metropolises, WTC 2007, May 5, 2007 - May 10, 2007, 2007 Prague, Czech republic. Taylor and Francis/Balkema, 755-760.

VOLKMANN, G. M. & SCHUBERT, W. Tender document specifications for pipe umbrella installation methods. Proceedings of the ITA-AITES World Tunneling Congress, 2008.

WALLIS, S. 1999. Freezing under the sea rescues Oslofjord highway tunnel. *Tunnel*, 8, 19-26.

13. Vedleggsliste

Vedlegg 1-5 er elektronisk lagt inn på DAIM.

- Vedlegg 1: Oversiktstegninger over entreprisen UFP-08 Eidanger med grensepåvisning UVB-22-V-34002 og UVB-22-V-34003
- Vedlegg 2: Oversiktstegning over entreprisen UFP-08 Eidanger inkludert rømningsveier/tverrslag UVB-22-E-34100 (NB! Feil i grensepåvisningen)
- Vedlegg 3: Oversiktstegning over kritisk sone ved Tveitanlia UVB-22-D-34101 (NB! Markert vei på tegning er planlagt anleggsvei.)
- Vedlegg 4: Tegning over tunneltverrsnittet UVB-22-F-30102
- Vedlegg 5: Risikovurdering av metoden:
- "Cut and cover"
 - Rørparaply
 - Pantex gitterbuer og Ischebeck spilingbolter