

EFFEKTIVISERING AV TUNNELDRIFT MED REFERANSE TIL LEAN CONSTRUCTION

EFFICIENCY ANALYSIS OF TUNNELING WITH REFERENCE TO LEAN
CONSTRUCTION

EIRIK FRØISLAND MESSELT

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
INSTITUTT FOR MATEMATISKE REALFAG OG TEKNOLOGI
MASTEROPGAVE 30 STP. 2013



Forord

Denne oppgaven er skrevet som en avslutning på mitt femårige studie innenfor industriell økonomi ved Universitetet for miljø og biovitenskap. Oppgaven vil ta for seg tunnelvirksomhet hos entreprenøren Veidekke. I oppveksten min arbeidet min far i tunnelbransjen og jeg fikk være med rundt i Norge og se på mange prosjekter. Jeg har alltid vært fasinert av store maskiner og prosesser ved bygg- og anleggsprosjekter.

Som industriell økonom har jeg tilegnet meg mye kunnskap fra økonomi- og ingeniørfaget. Det å effektivisere en bedrift eller en prosess berører begge fagfeltene i min utdanning. I den forbindelse ønsket jeg å undersøke om dagens tunneldrift har potensiale for å bli mer effektiv. Samtidig som jeg synes dette er et spennende fagfelt, ser det ut til at tunnelbransjen går inn i en framtid preget av store prosjekter og økende konkurranse. Behovet for å fokusere på effektivitet er større enn noen gang.

Oppgaven er bygd opp slik at leseren først får en innføring i hvordan tunneldrift fungerer. Deretter blir driften ved et pågående tunnelprosjekt analysert og faktiske verdier blir sammenlignet med hva som er teoretisk oppnåelig.

Jeg har fått god hjelp av Veidekke i arbeidet med min masteroppgave. De har hjulpet meg med å finne fram til gode faglige teorier, informasjon om tunneldrift og innblikk i sin egen virksomhet. En ekstra takk til min far, Herman Messelt, som arbeider som prosjekt- / KS-leder i Veidekke for hans faglige bidrag og gode inpsill. Christian Mikkelsen som arbeider som blokksjef tunnel på FP2 har også bidratt med mye god informasjon om driften på Ulvintunnelen. Flere i Veidekke har også bidratt med god informasjon, blant annet Knut Egge (maskin), Nils Brødsjø (prosjektleder), Jørn Iversen (HMS) og Torbjørn Osvik (formann).

Jeg vil også takke veilederen min, Tor Kristian Stevik, for hans gode innspill og faglige råd.

Jeg håper og tror at Veidekke kan dra nytte av denne oppgaven til å utvikle seg selv og heve nivået på sin tunnelvirksomhet.

Ås 15. mai 2013

Eirik Frøisland Messelt

Sammendrag

Fordobling av antall tunnelentreprenører de siste ti årene samt økende antall utenlandske entreprenører har ført til hardere konkurranse på tunnelprosjekter. Prosjektene er også større og mer komplekse enn før. Det stilles høyere krav til utførelse som i større grad vil kreve samarbeid og nøyaktighet. Norge satser på utbygging av vei og jernbane, slik at prosjektene vil stå i kø framover. De virksomhetene som lykkes best med effektivisering vil sikre sin framtid.

Norge har helt siden den store vannkraftstiden på 1970- og 80-tallet vært verdensledende innen konvensjonell tunneldrift med boring og sprengning. Mange prosjekter innenfor vannkraft, vei og jernbane gjør at de norske tunnelentreprenørene har opparbeidet seg høy faglig kompetanse innenfor faget.

Veidekke, som er Norges største bygg- og anleggsentreprenør gjennomfører nå et av sine største prosjekter noensinne. I et fellesprosjekt langs Mjøsa bygges det vei og jernbane parallelt. Det samarbeides med svenske og tyske entreprenører og det benyttes blant annet slovakisk og portugisisk arbeidskraft. Prosjektet byr på mange utfordringer når det gjelder kompleksitet, samarbeid og krav til utførelse. I denne oppgaven er det tatt utgangspunkt i en av tunnelene på dette prosjektet for å undersøke om tunneldriften kan effektiviseres. Det er utført kapasitetsberegninger for teoretisk drift av maskiner som sammenlignes mot faktisk målte kapasiteter. Ut i fra tunnelrapporter er det gjort en grundig analyse av tidsforbruk i tunneldriving.

Analysen viser at 2,5 timer i hver syklus går bort til heft. Hefttiden fordeler seg på problemer med maskiner, ventetid og omskyting av salve. Et større problem er at denne informasjonen ofte blir borte grunnet et tungvint og komplisert informasjonssystem. Når riktig informasjon ikke blir rapportert blir oppfølgingen vanskelig. Uten oppfølging er det ikke lett å forklare årsaker til problemer og iverksette tiltak.

Årsaker til disse problemene ligger dypt i Veidekke og handler om fokuset til hele organisasjonen. For å kunne effektivisere tunneldriften må utfordringer hos ledelsen løses først. Innstillingen må forandres, det må fokuseres mer på å finne ut av problemene som oppstår på stuff, og det må gjøres noe med problemene.

Med fokusskifte og et bedre informasjonssystem, vil Veidekke kunne følge opp sine prosjekter bedre og lære hvordan tidssløsing kan reduseres. Bedre planlegging og økt fokus på vedlikehold kan redusere ressursbruken og øke inndrift på stuff.

Abstract

A doubling of tunnel contractors in the past decade as well as increasing number of foreign contractors has led to stiffer competition in tunnel projects. The projects are also larger and more complex than before. Higher demands for performance will require increased collaboration and accuracy. The Norwegian focus on upgrading its infrastructure will lead to an increase in available projects in the coming years. The most efficient companies will be able to ensure their future.

The extensive development of hydropower in Norway during the 1970s and '80s saw Norwegian underground contractors emerge as world leaders in conventional tunnel boring and blasting. With numerous projects ranging from road and railroad construction, to complex tunneling for hydropower, the experience and expertise gained during that period is a valuable asset to those companies.

The largest building and construction company in Norway, Veidekke, is currently involved in its largest project ever. In a joint project along Mjøsa, road and railway is built in a parallel process. Veidekke have joined forces with Swedish and German contractors and Slovak labor. The project offers many challenges in complexity, cooperation and requirements for design. One of the tunnels in this project is used as a case study in this thesis. Capacity calculations for theoretical operation of the machines and the results are compared against actual measured capacities. Based on tunnel reports, a thorough analysis of the time spent in tunneling has been made.

The analysis shows that 2.5 hours of each cycle is waste. Waste time is divided into trouble with machines, waiting and re-blasting. A bigger problem is that information concerning waste time is often lost due to a complicated information system. If the correct information is not being reported, the follow-up is difficult. Without any follow-up, it is not easy to explain the causes of problems and take action.

The cause of these problems lies deep within Veidekke and within the focus of the entire organization. In order to streamline tunnel operations, challenges in management must be solved first. The attitude must be changed, the focus must be shifted towards exploring problems that arise in tunneling, and someone needs to take action and do something about them.

With a change of focus and a better information system, Veidekke will be able to follow up their projects better and learn how waste time can be reduced. Better planning and increased focus on maintenance can reduce resource usage and increase efficiency in tunneling.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
1.0 Innledning	1
2.0 Bakgrunn	3
2.1 Veidekke ASA.....	3
2.2 Fellesprosjekt E6 – Dovrebanen, FP2.....	4
3.0 Teori	7
3.1 Tunnelvirksomhet.....	7
3.1.1 Konvensjonell drift.....	8
3.1.2 Drivemetoder konvensjonell drift.....	19
3.1.3 Fullprofilboring.....	21
3.2 Lean.....	22
3.2.1 Historie.....	22
3.2.2 Sløsing.....	23
3.2.3 Lean construction.....	26
4.0 Metode	27
4.1 Studiesituasjonen.....	27
4.2 Kvalitative metoder.....	28
4.3 Datagrunnlag.....	28
4.3.1 Virkelig drift.....	28
4.3.2 Teoretisk drift.....	29
5.0 Ståstedsanalyse	31
5.1 Ledelse.....	31
5.2 Informasjonsflyt.....	32
5.3 Vedlikehold og driftsstans.....	33
5.4 Arbeidskraft.....	33
5.5 Syklustider.....	34
5.5.1 Sonderboring og injeksjon.....	34
5.5.2 Boring.....	34
5.5.3 Lading.....	34
5.5.4 Ventilasjon.....	35
5.5.5 Lasting.....	35
5.5.6 Maskinell rensk.....	35
5.5.7 Opprensk.....	35
5.5.8 Manuell rensk.....	36
5.5.9 Bolting.....	36
5.5.10 Bakstufarbeid.....	36
5.5.11 Sprøytebetong.....	36
5.5.12 Heft.....	36
5.5.13 Salvesyklus.....	39
6.0 Utnyttet kapasitet	41
6.1 Boring.....	41
6.2 Lading.....	43
6.3 Lasting.....	44
6.4 Transport.....	46
7.0 Diskusjon	48

7.1 Informasjonsflyt.....	48
7.2 Heft.....	49
Venting.....	50
Omskyting/profil.....	51
Borerigg.....	51
7.3 Eierskap.....	52
7.4 Reduksjon av heft.....	53
7.5 Kultur.....	53
7.6 Kapasiteter.....	54
7.7 Ledelse.....	55
8.0 Konklusjon.....	56
9.0 Veien videre	57
Kilder	59
Vedlegg A.....	61
Vedlegg B.....	62
Vedlegg C	64
Vedlegg D.....	65

Figurliste

Figur 1. Tunnelbyggere i 2012 med utsprengt tunnel og bergrom.....	4
Figur 2. Kartutsnitt og bilder av strekningen Minnesund – Labbdalen.....	5
Figur 3. Illustrasjonsbilde av FP2	6
Figur 4. Volum av tunneler og bergrom utsprengt i Norge 1971-2012.....	7
Figur 5. Injeksjonsboring og injeksjon av betong.....	12
Figur 6. Salveboring med borerigg.....	13
Figur 7. De viktigste begrepene ved boring og sprengning i tunnel	14
Figur 8. Boring av konturhull med sagtakket kontur som resultat.	14
Figur 9. Lasting og transport med hjullaster og dumper.....	16
Figur 10. Prinsippskisse av syklus for dumper.	17
Figur 11. Rensk av tunneltak med renskerigg.....	18
Figur 12. Påføring av sprøytebetong i tunnel.	19
Figur 13. Tunneldrift med fullprofilboring (TBM).....	21
Figur 14. Ulvintunnelen på FP2.....	27
Figur 15. Tverrsnitt av Ulvintunnelen.	27
Figur 16. Organisasjonsstruktur for FP2.	31
Figur 17. Fordeling av uspesifisert hefttid.....	37
Figur 18. Spesifisert hefttid fordelt på kategori.....	37
Figur 19. Heft grunnet vent fordelt på kategori.....	38
Figur 20. Heft grunnet borerigg fordelt på kategori.	38
Figur 21. Heft grunnet slangebrudd fordelt på maskin.	39
Figur 22. Prosentvis fordeling på de ulike prosessene og heft i en salvesyklus...	40

Tabelliste

Tabell 1. Antall helligdager på virkedag gjennom året.	9
Tabell 2. Kalkulerte kostnader for ensidig drift av stuff.....	11
Tabell 3. Fordeler og ulemper ved valg av driftsmetode.....	22
Tabell 4. Oppnådde tider og kapasiteter i tunneldrift.	40
Tabell 5. Forskjell mellom teoretisk og virkelig drift.....	41
Tabell 6. Teoretisk kapasitet for borerigg.....	42
Tabell 7. Teoretisk kapasitet for lading og skyting.....	44
Tabell 8. Teoretisk kapasitet for hjullaster.....	45
Tabell 9. Teoretisk transportkapasitet for dumper.....	47

1.0 Innledning

Økt befolkningsvekst og sentralisering har ført til stor økning i trafikken rundt de store byene og på hovedfartsårene i Norge. Som følge av mer trafikk, køproblemer og økt fokus på trafikksikkerhet har det i de siste årene blitt bevilget mer penger til samferdsel enn tidligere. Det satses på de store hovedfartsårene samt jernbane. I nasjonal transportplan 2014-2023 bevilges det om lag 500 milliarder kroner til veg, bane og sjø over ti år.[1]

Utbygging av vei og jernbane betyr flere store prosjekter for bygg- og anleggsbransjen. Bransjen er en stor virksomhet og har bare de ti siste årene mer en doblet den totale omsetningen.[2] I 2011 passerte antallet foretak innenfor næringen 50 000 med nesten 200 000 sysselsatte personer.[3]

Selv om bygg- og anleggsvirksomhet er en stor bransje i vekst så har ikke produktiviteten fulgt samme utvikling. Industrinæringen har de siste årene hatt en økning av produktivitet, men siden 2000 har bygg- og anleggsvirksomheten opplevd et fall i produktiviteten på mer enn 20 %, fram til 2011 i følge statistisk sentralbyrå (SSB).[4]

Selv om tall fra SSB viser en drastisk nedgang i produktiviteten for bygg- og anleggsbransjen, kritiseres statistikken for å være for dårlig fundert. Det bygges mer komplekst og det stilles høyere krav til sikkerhet og kvalitet, som vil slå ut negativt på statistikken. Men effektiviteten har fortsatt gått ned i bransjen og sammenlignet med produksjonsbedrifter i industrien har bygg- og anleggsbransjen mye å lære.[5]

I takt med bygg- og anleggsbransjen er også tunnelvirksomheten i vekst. De ti siste årene har antallet tunnelentreprenører i det norske markedet doblet seg. I 2012 var det 18 tunnelentreprenører i Norge og flere av disse var utenlandske. Utviklingen de siste årene tilsier at flere utenlandske tunnelentreprenører vil entre det norske markedet framover.[6]

De norske tunnelentreprenørerne har siden den store vannkraftsperioden på 1970- og 80-tallet kun hatt kompetanse på konvensjonell tunneldrift med boring og sprengning. I følge bransjen selv er den norske tunnelteknologien på dette området ledende i verden.[6] Selv om tunnelentreprenørene i Norge er av de faglig beste, så vil internasjonal konkurranse gjøre kampen om de store prosjektene hardere. Tunnelbransjen må effektivisere driften for å henge med i konkurransen.

Toyota var av de første i bilindustrien som oppnådde stor suksess ved å fokusere på eliminering av sløsing og å skape flyt i produksjonslinjen. Konseptet med lean eller slank produksjon ble etablert. Tanken i lean er å produsere mest mulig verdi for kunden ved bruk av minst mulig ressurser. Tankegangen har videre spredt seg til andre bransjer, som bygg- og anleggsbransjen med lean

construction. Med utgangspunkt i denne tankegangen vil denne oppgaven forsøke å gi svar på følgende problemstilling:

- **Hvordan effektivisere tunneldrift?**

Oppgaven vil ta utgangspunkt i tunneldrift hos Veidekke som er en av Norges største tunnelentreprenører. Veidekke jobber per dags dato med et stort fellesprosjekt på E6 langs Mjøsa, en av tunnelene på dette prosjektet vil være det aktuelle undersøkelsesobjektet.

2.0 Bakgrunn

2.1 Veidekke ASA

Veidekke ASA er en av Skandinavias største bedrifter innenfor entreprenører og eiendomsutviklere. Bedriften hadde i 2012 6.300 ansatte og en omsetning på 20 milliarder kroner. Veidekke jobber i dag innenfor bygg og anlegg, boligutvikling, asfaltvirksomhet, pukk og grus og veivedlikehold. Siden oppstarten i 1936 har Veidekke aldri gått med underskudd. Selskapet er i dag notert på Oslo Børs, hvor over halvparten av de ansatte i selskapet er medeiere. De eier omtrent 20 % av Veidekke aksjene.[7]

Virksomhetsområdene til Veidekke er:[7]

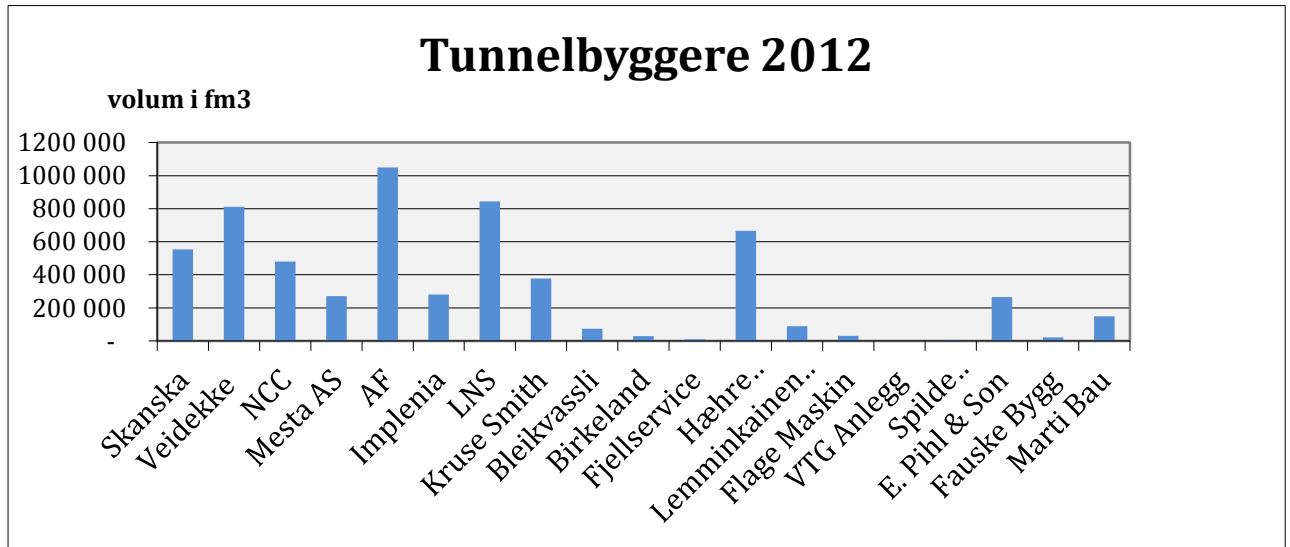
Entreprenør: Bygg- og anleggsvirksomhet i Norge, Sverige og Danmark

Eiendom: Utvikling og salg av boliger i egen regi i Norge, Sverige og Danmark

Industri: Virksomhet innen asfalt, pukk og grus og veivedlikehold i Norge og Sverige

Under virksomhetsområdet Veidekke Entreprenør ligger Distrikt Fjell som er en komplett underjord- og fjellentreprenør, og de arbeider i hele Norge. Distrikt Fjell har fem fagområder: kraftverk, veg- og jernbane, haller i fjell, V/A (overføringstunneler og haller for renseanlegg) og sikring av fjell. Innenfor disse områdene har Veidekke bygd 115 kraftverk, blant annet Kjøsnesfjord kraftverk, som er av det største og mest kompliserte. De har utført samferdselsprosjekter for Statens vegvesen, Jernbaneverket, kommuner og fylkeskommuner. Veidekke deltok også i byggingen av fjellhallen i Gjøvik som ble brukt under OL på Lillehammer.[8]

Distrikt Fjell har ifølge Veidekke Norges største og nyeste maskinparker for underjordsarbeid. Styrkene til Distrikt Fjell er at de kan ta på seg alle typer prosjekter siden de er en komplett underjordsentreprenør. Andre styrker er at de jobber med kontinuerlig utvikling og er villige til å ta i bruk ny teknologi. Det de anser selv som sin største styrke er: *"en meget stabil og svært kompetent arbeidsstokk"*. [8]



Figur 1. Tunnelbyggere i 2012 med utsprengt tunnel og bergrom.[9]

Som det kommer frem i Figur 1 var Veidekke den tredje største tunnelbyggeren i 2012 med 800.000 fm³ utsprengt tunnel og bergrom. Størst i 2012 var AF Gruppen etterfulgt av LNS.

2.2 Fellesprosjekt E6 – Dovrebanen, FP2

E6 i Norge er hovedforbindelsen mellom sør og nord. Veggen har stor betydning for transport av varer mellom Nord-Vestlandet, Østlandet og videre eksport til Europa. Stortinget har som mål å bygge firefelts motorvei med midtdeler nordover fra Gardermoen til Biri. Strekningen Minnesund –Kolomoen er under arbeid og gjenstående strekning Kolomoen – Biri er under planlegging.[10]

Strekningen Eidsvoll – Hamar er en del av Dovrebanen og er en av Norges mest trafikkerte jernbanestrekninger med enkeltspor. Nytt dobbeltspor på denne 60 km lange strekningen vil kunne doble togavganger mellom Oslo og Hamar, samt redusere reisetiden til under en time.[11]

På strekningen langs Mjøsa ligger E6 og Dovrebanen svært tett. For å sikre en parallell planlegging og utbygging er det opprettet et fellesprosjekt med Statens Vegvesen og Jernbaneverket som byggherrer. Fellesprosjektet skal sørge for besparing på flere hundre millioner kroner og kortere periode med anleggsarbeid.[12] Med opp til 2000 arbeidere og med en kostnadsramme på 10,1 milliarder kroner gjør dette det til det største veiprojektet noensinne i Norge. Det skal lages 21,5 kilometer firefelts motorvei og 17 kilometer dobbeltsporet jernbane. Dette vil innebære sprengning av 3,7 millioner kubikk stein i dagen og uttak av 5,5 millioner kubikk steinmasse fra tunnel.[13]

Stekningen er delt i tre fellesprosjekter:[14]

1. Minnesund-Brøhaug – FP1, hvor Alpine Bau er entreprenør med en kontrakt på 1,3 milliarder kroner.
2. Brøhaug-Strandlykkja – FP2, hvor Veidekke Entreprenør AS og Hochtief Solutions AG er samarbeidende entreprenører med en kontrakt på 1,6 milliarder kroner.
3. Strandlykkja-Kleverud/Labbdalen – FP3, hvor Hæhre Entreprenør AS har en kontrakt på 1,8 milliarder kroner.

Strekningen hvor alle tre prosjekter ligger er vist i Figur 2 med kart og oversiktsbilder fra luften.



Figur 2. Kartutsnitt og bilder av strekningen Minnesund – Labbdalen.[10]

I fellesprosjekt 2 (FP2) har Veidekke inngått et arbeidsfellesskap med det tyske firmaet Hochtief Solutions AG. Prosjektet har tunneldrift, vegbygging i dagen og steinfylling i Mjøsa.

Det skal bygges:[15]

*Ca. 5,6 km firefelts E6, inkludert Morskogtunnelen på 2,3 km
Ca. 6,8 km dobbeltsporet jernbane, inkludert Ulvintunnelen på 3,9 km og
Morstuatunnelen på 200 m
6 km Mjøstråkk (gang- og sykkelveg)*



Figur 3. Illustrasjonsbilde av FP2 med ny firefelts E6 og eksisterende bane og vei i rødt. (Nye jernbanen i tunnel under bakken)[13]

Jernbaneverket stiller krav om vanntetthet i den dobbeltsporede jernbanetunnelen. For første gang i Norge skal det brukes en såkalt betonglining som skal lage et vanntett skille mellom tunnel og fjell. Blant annet av den grunn har Veidekke inngått samarbeid med Hochtief som skal utføre arbeidet med betongliningen i den dobbeltsporede jernbanetunnelen. Den Svenske fjelldelen i Veidekke er også med i samarbeidet med sine ressurser innen tunneldrift. I FP2 parsellen er fordelingen som følger: Hochtief Solutions med 40 %, Veidekke Entreprenad Tunnel & Bergrum med 30 % og Veidekke Entreprenør Distrikt Fjell med 30 %.[15]

3.0 Teori

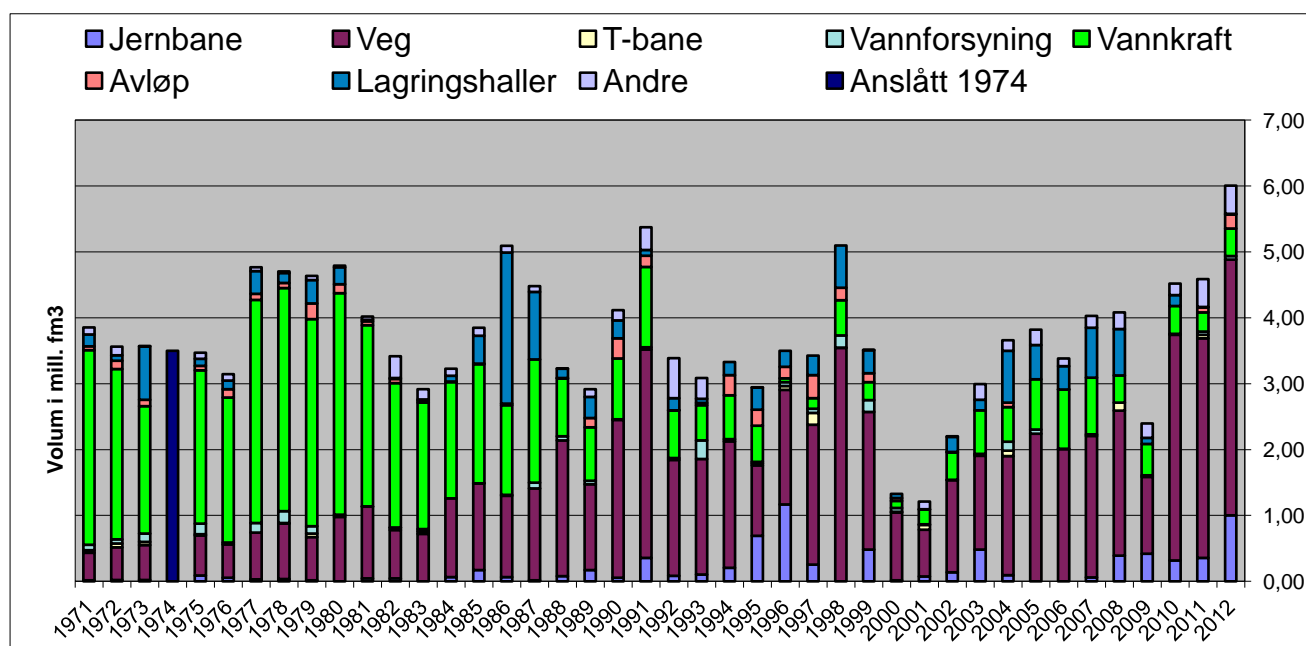
3.1 Tunnelvirksomhet

Tunnelprosjekter er arbeid som krever mye ressurser og grundig forarbeid. Fjellet må kartlegges nøye før start for å unngå skader på miljø. Kartleggingen vil også være grunnlaget for en kalkulasjon av prosjektet. En forundersøkelse vil være grunnlaget for eventuelle krav til tetting av tunnelen og overvåking av grunnvann, vegetasjon og bebyggelse. Drenering av grunnvann igjennom tunnel kan føre til setninger i bakken over tunnelen.[16]

Vei- og tunnelprosjekter i Norge utføres normalt som hovedentreprise. Dette er en form for utførelsesentreprise hvor byggherren har ansvaret for prosjektering og hvor entreprenøren utfører det som byggherren har prosjektert.[17]

Fordelen med denne entreprisemodellen er at byggherren har styring og stor innflytelse i prosessen. Med denne modellen foreligger det enhetspriser som benyttes ved avregning og fakturering. For store prosjekter slik som på FP2 og spesielt tunnelprosjekter vil det være mye usikkerhet knyttet til kvalitet på fjell. Ved en hovedentreprise vil risikoen i utgangspunktet ligge på byggherren.[18]

Dagens tunneldrift utføres hovedsakelig med to forskjellige metoder. Konvensjonell drift med boring og sprengning eller med fullprofilboring (TBM). Valg av metode er avhengig av type tunnel, lengde, geologi og omgivelsene. I neste kapittel kommer en grundig gjennomgang av konvensjonell drift, som denne oppgaven baserer seg på. I kapittel 3.1.3 blir det gitt en innføring i tunneldrift med fullprofilboring.



Figur 4. Volum av tunneler og bergrom utsprengt i Norge 1971-2012.[9]

Mye utbygging av vannkraft på 1970- og 80-tallet ga mange prosjekter med vannkraftstunneler. Noen av disse ble boret med fullprofil, da metoden skapte glatte flater med lite friksjon. Den runde profilen var også godt egnet for vanntunneler. Siden 90-tallet har veg vært dominerende på tunnelstatistikken, med konvensjonell drift som gjeldene metode. De siste årene har det vært en stor økning i tunnelproduksjon innenfor veg og det er antatt at det vil øke framover i takt med satsingen på samferdsel.[1, 9]

3.1.1 Konvensjonell drift

Konvensjonell drift er en teknikk norske tunneldrivere behersker godt. Frode Nilsen, leder i internasjonal komité (NFF) sier i et intervju med GEO365 at *"Norsk tunnelteknologi er ledende i verden"*. [19] Denne teknologien gjelder for konvensjonell drift. I intervjuet med Nilsen nevnes flere årsaker som gjør teknologien så god. Dype daler, høye fjell, fjorder og vannkraftanlegg gjør at Norge har behov for mange tunneler. *"Dette har gjort at vi har opparbeidet oss stor kompetanse, og vi gjør det effektivt, sikkert og til relativ lav kostnad"*, uttaler Nilsen til GEO365. [19]

Tunnelentreprenørene i Norge jobber i team med flat organisasjonsstruktur. Det gjør at de har store muligheter for å ta avgjørelser selv. Basen i drivelaget tar mange beslutninger på stuff. I motsetning til andre land hvor beslutninger blir tatt på kontoret og tunneldriften er organisert mer hierarkisk [19]

Når en tunnel drives konvensjonelt brukes det en borerigg som borer et gitt antall hull med en gitt lengde på et tverrsnitt. Tverrsnittet eller veggen det bores på kalles stuff. Borehullene fylles med sprengstoff og sprenges i det som kalles en tunnelsalve. Den sprengte steinmassen lastes opp og fraktes så ut av tunnelen. Teamet eller drivelaget som utfører dette består av tre-fire personer med en sjef som kalles bas.

Et basis drivelag består av tre arbeidere.

- 1) Bas, som i tillegg er skytebas og boreriggoperatør
- 2) Maskinfører på hjullaster, som i tillegg kan lade, kjøre piggemaskin og bakstuffbil
- 3) Stuffreparatør, som i tillegg kan lade, sette og gyse bolter og kjøre bakstuffbil

Arbeidstid

I følge overenskomst for private anlegg er det maksimalt tillat å arbeide 33,6 timer per uke for tunnelarbeidere. Tunneldriften kommer under definisjonen: *"Arbeid med tunneldrift og utsprengning av bergrom under dagen."* [20]

Tunneldriften utføres med en såkalt 12/9 skiftordning hvor det arbeides i 12 dager og fri i 9 dager. Sum 21 dager eller 3 uker. Det arbeides med et formiddagsskift fra 06:00 til 16:00 og et ettermiddagsskift fra 16:00 til 02:00. Med denne skift- og arbeidstidsordningen vil ett skift utføre 3 ukers arbeid på 12 dager (2 uker). Tilgjengelig arbeidstid i en arbeidsperiode på 2 uker for et skift blir $3 \times 33,6 = 100,8$ timer. Med to skift blir tilgjengelig arbeidstid per uke 100,8

$\times 2/2 = 100,8$ timer. Normalt betales det for matpauser fordi disse forskyves etter hva som passer i driften og man regner derfor tilgjengelig arbeidstid som 105 timer per uke.[18]

For å beregne antall timer med tilgjengelig arbeidskraft per måned må det kalkuleres med ferie og bevegelige helligdager. I Tabell 1 er sannsynligheten for at en helligdag faller på en virkedag gjennom året summert. Faste helligdager er bestemt og de bevegelige vil kunne falle på 5 virkedager av totalt 7 dager i uken.

Tabell 1. Antall helligdager på virkedag gjennom året.

Sannsynligheten for at en helligdag faller på en virkedag (5/7 dels sannsynlighet): 71 %			
Helligdager	Fast	Variabel	Totalt
1. Nyttårsdag		1	0,71
Skjærtorsdag	1		1
Langfredag	1		1
2. Påskedag	1		1
1. Mai		1	0,71
Kristihimmelfartsdag	1		1
17. Mai		1	0,71
2. Pinsedag	1		1
1. Juledag		1	0,71
2. Juledag		1	0,71
1. Nyttårsdag		1	0,71
Sum	5	6	9,29

Ferie	4	uker
+ Bevegelige helligdager (9,29/5)	1,86	uker
= Sum fradrag	5,86	uker

Med 4 uker ferie og 1,86 uker bevegelige helligdager er fradraget gjennom året på 5,86 uker. Dette gir 46,28 tilgjengelige arbeidsuker per år.

Uker per år (365/7)	52,14	uker
- Sum fradrag	5,86	uker
= Tilgjengelige arbeidsuker	46,28	uker

Tilgjengelig arbeidstid per år blir 46,28 uker \times 105 timer/uke = 4859 timer/år. 4859/12 gir 405 timer tilgjengelig arbeidstid per måned.

Kostnader

Kostnader forbundet med tunneldrift fordeler seg på tre kategorier. I Tabell 2 er alle kostnadene summert til en kostnadssum per time. Grunnlaget for beregningene er ensidig drift av en stoff med 405 tilgjengelige arbeidstimer per måned. Beregningene er gjort med utgangspunkt i at det ikke utføres produktivt arbeid på stoff, variable kostnader med driftsmaskiner er det ikke kalkulert med.

- **Driftskostnader rigg**

Kostnader relatert til drift av anlegget og faste installasjoner. Totalkostnaden er delt på antall timer per måned. Disse kostnadene utgjør 36 % av totalkostnadene.

- **Maskinleie, driftsmaskiner**

Fast månedsleie for driftsmaskiner i ensidig drift av tunnel. Driftsmaskiner består av borerigg, sprøyterigg, renskerigg, hjullaster, dumpere, renskeplattform, slurrybil, bakstoffbil og gysepumpe. Maskinleien står for 28 % av totalkostnadene. Se Vedlegg A for beregning av maskinleie per time.

- **Timelønn**

Timelønnen er kalkulert for tre norske tunneldrivere. Timelønnskostnadene for ensidig drift står for 36 % av totalkostnadene.

Totalt estimerte kostnader for ensidig drift av stoff er 5451 kroner per time.

Tabell 2. Kalkulerte kostnader for ensidig drift av stuff.[18]

Timer per mnd	405		
Driftskostnader rigg per time			1 996
Maskinleie, driftsmaskiner	1	1505	1 505
Timelønn	3	650	1 950
		<u>Sum</u>	<u>5 451</u>
Driftskostnader rigg	Ant	Per mnd	Sum per mnd
			808 523
Administrasjon			
Anleggsleder	1	98 000	98 000
Formann	3	84 000	252 000
Stikker	1	84 000	84 000
Kontor, HMS, KS	1	84 000	84 000
Vifte	1	17 000	17 000
Pumper	1	10 000	10 000
Verksted	1	37 000	37 000
Slurrytelt	1	2 900	2 900
Biler	2	7 200	14 400
Reparatører	1	59 000	59 000
Brakker	8	2 627	21 016
Elektro	1	55 571	55 571
Elektrisk kraft til rigg	1	10 000	10 000
Stikningsutstyr	1	15 800	15 800
Internttransport	1	25 000	25 000
Renovasjon	1	7 118	7 118
Transporter	1	11 600	11 600
HMS, Kurs	1	4 118	4 118

Sonderboring

I et fjell er det store og små sprekker som danner nettverk av mulige lekkasjeveier. Sprekkene er tilknyttet grunnvannet i et område. Hvis en tunnel bryter dette nettverket vil vann lekke ut fra sprekken. Dette vil drenere og senke grunnvannet som vil føre til at porevannstrykket i berg- og løsmassene over senkes. Det stilles derfor krav til tetting av tunnel i form av lekkasjekrav. For å finne ut om det er behov for tetting (injeksjon), utføres sonderboring. [21]

Sonderboringen utføres med en borerigg. En borerigg er hjulgående og har bommer med boremaskiner på. Framdriften er dieseldrevet, mens bormaskinene normalt er hydraulisk drevne. Hydraulikken styres av pumper hvor kraftforsyningen kommer fra elektriske motorer. Boreriggen er koblet til 1000 V

strømtilførsel via kabel som trekkes inn i tunnelen. Det er også koblet vann til boreriggen som spyles inn i hullene under boring. Vannet sin funksjon er å transportere ut borkakset, som er steinmassen som blir boret løs. Det forurensede vannet pumpes ut for rensing. I løpet av en salve kan vannforbruket være i størrelsesorden 30 m³. Uttransport av borkakset kan også foregå med trykkluft, men da kreves det ekstra rensing og suging for å unngå støvdannelse ved stuff og borsynk og inndrift blir lavere.[18, 22]

Et eksempel på sonderboring er når det bores hull som dekker fire salvelengder, det vil si hvis en salvelengde er 5 meter så bores det 20 meter sonderhull fram i den kommende tunnelen. På grunn av lengden på hullene må det skjøtes stenger på bormaskinene underveis. Standard sondeboring består av tre hull, et hull på hver side i stuff og ett i taket. I sonderhullene måles vannlekkasjen. Ut i fra fastsatte lekkasjekriterier (liter/minutt), bestemmes det om lekkasjen må tettes eller om tunnelen kan drives videre. Neste sondeboring utføres etter tre salver, slik at det alltid er en salve overlapp.[18]

Forinjeksjon

Injeksjonsboring utføres hvis vannlekkasjen overstiger kriteriene. Boringen utføres med boreriggen og det bores hull rundt hele tverrsnittet. Hullene spriker ut i vifteform i forhold til den kommende tunnelen. Etter boring av injeksjonshull, plasseres det ekspanderende pakkere i hullene. Dette er gummiplugger som tetter mot fjellet og som har hull i senter hvor betong pumpes inn i hullene. Når betong pumpes inn med høyt trykk presses den ut i de vannførende sprekke og tetter disse. Etter herding har det blitt dannet en vanntett skjerm rundt tunnelen.[23]



Figur 5. Injeksjonsboring og injeksjon av betong.[24]

Figur 5 viser injeksjon med borerigg og injeksjonsrigg. Det bores i vinkel ut fra lengdeaksen i tunnelen. Hullene og sprekke fyller med betong av injeksjonsrigg til venstre i figuren. Injeksjonsriggen er en lastebil hvor det er montert siloer for betong, blandekar og pumper som transporterer ferdig blandet masse ut i slanger og inn i hullene og sprekke.[25]

Etter injeksjonen har betongen en herdetid på omtrent seks timer. Under herding kan det ikke utføres arbeid på stuff. Hvis det viser seg at skjermen rundt

tunnelen ikke er tett kan det gjennomføres en etterinjeksjon. Da bores det nye injeksjonshull og injeksjonsprosessen foretas på nytt.[21]

Salveboring

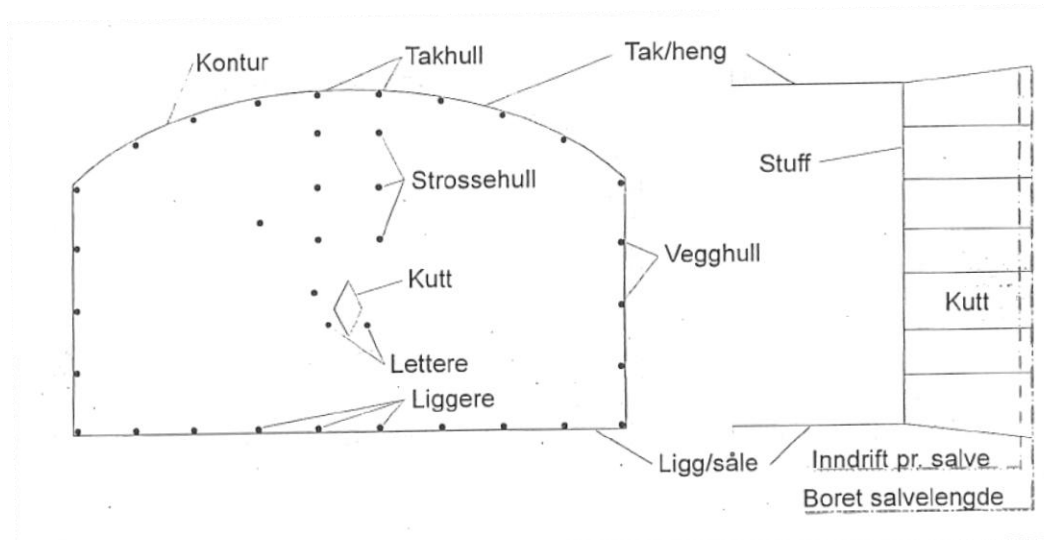
Under salveboring arbeides det direkte med å skape inndrift i tunnelen. Normalt brukes det 45 mm borehull med en lengde på 5,2 m. Antall hull bestemmes ut i fra tverrsnittet på tunnel og fjellets sprengbarhet. For Ulvintunnelen som har tverrsnitt på 120 m² bores det i snitt 200 hull per salve.[14, 26]



Figur 6. Salveboring med borerigg.[24]

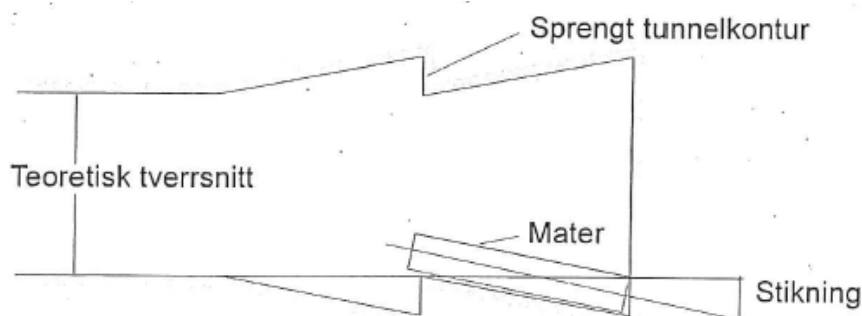
I Figur 6 vises en borerigg i drift med to bormaskiner. Det bores hull lik en salvelengde inn i fjellet.

Salveboringen utføres etter en spesiell plan kalt boreplan. Når det sprenges i en tunnel er stoffen eneste fri flate. Det gjør at boring parallelt med stoffen er umulig grunnet omliggende fjell. For å oppnå ønsket effekt må det derfor først sprenges en passende åpning, kutten som resten av salven kan få utslag mot. Ved konstruksjon av boreplan, plasseres kutt, konturhull, liggere og strossehull på en optimal måte. Hvor kutten plasseres i tverrsnittet vil påvirke fragmentering, sprengstoff forbruk, formen på røysa og lastbarhet.[26]



Figur 7. De viktigste begrepene som blir brukt ved boring og sprengning i tunnel.[26]

Til venstre i Figur 7 er stuffen sett forfra. Kutten er plassert i midten, rundt stuffen bores konturhullene, og strossehullene bores over hele stuffen. Til høyre i figuren er stuffen sett fra sideprofil. Inndrift og boret salvelengde vil avvike noe da stein står igjen på stuff etter sprengning. [26]



Figur 8. Boring av konturhull med sagtakket kontur som resultat.[26]

Når konturhullene bores er det avgjørende med nøyaktighet. Overdreven stikning slik som i Figur 8 gir en sagtakket tunnelkontur. Dette skaper unødvendig overskuddsmasse, økt rensk og sikring, samt dårligere produkt. Det gjenstående fjellet bør etterlates så nært teoretisk tverrsnitt som mulig, men uten at det stikker knøler innenfor den teoretiske sprengningslinjen. Stikning bestemmes av vinkel på boremaskin og kan med dagens teknologi bestemmes i boreplanen.[26]

Når boreplanen lages og kutten plasseres er det hensynet til rasjonell boring som veier tyngst. Jevn fordeling mellom de enkelte boremaskiner er viktig for å gjøre boretiden så kort som mulig.

Det finnes ulike typer kutt og disse kan deles i to hovedtyper: [26]

- Vinkelkutt (viftekkutt og plogkutt)
- Parallellhullskutt

Viftekkuten krever lite sprengstoff og boremeterforbruk, men er plasskrevende og uegnet for boring med borerigg. Plogkuten krever mer sprengstoff enn viftekkutt, men egner seg for bruk med borerigg. Plogkuten gir stort framkast som vanskeliggjør lasting og kan gi skader på ventilasjonsduken. Metoden krever mindre boring og sprengstoff enn parallellhullskuten.[26]

Parallellhullskutt med grovhullskutt er den vanligste formen for kuttype i dag. Det sprenges da først mot en åpning som blir dannet med flere grove hull. Åpningen utvides etter hvert som ladningen i de øvrige kutthullene detonerer. Dette skjer i en nøye planlagt rekkefølge og kaster det utbrutte fjellet ut av kuttet. De største fordelene med denne type kutt er:[26]

- Muliggjør lange salver
- God brytning
- Mindre framkast og spredning av røys som gir redusert lastetid
- God fragmentering av steinrøys

Boreplan lagres elektronisk slik at under salveboringen styres boreriggen automatisk. Boreriggen posisjonerer seg ved hjelp av en tunnel-laser som gjør den automatiske boringen svært nøyaktig.[27]

Lading og sprengning

Lading foregår i dag med slurry og Nonel-tennere. Tennene består av detonerende lunte og en tidsforsinker. Slurry er et flytende middel som for seg selv ikke kan eksplodere og det fraktes inn i tunnelen med en ladebil, med plan og slurrytank. Når slurryen pumpes inn i ladeslangen, tilsettes en komponent slik at massen omdannes til sprengstoff som presses inn i borehullene gjennom ladeslanger. Slangene trekkes ut i en bestemt fart og sammen med pumpen bestemmer dette hvor mye sprengstoff som blir igjen i hullene. Grovhullene fylles ikke med sprengstoff da de skal fungere som utblåsingshull for stein fra de to-tre første detonasjonene.[18, 27]

Når alle tennere er koblet og alt av personell, utstyr og maskiner er i sikker avstand sprenges salven. Alle ladningene detonerer i en bestemt rekkefølge slik at fjellet brytes riktig.[27]

Under sprengning blir det frigjort farlige gasser, støv og små partikler som er helseskadelige. Av sikkerhetsmessige hensyn må tunnelen ventileres etter sprengning slik at luftkvaliteten ved stoff er innenfor tillatte verdier. Ventilasjonen i tunnelen fungerer slik at en stor elektrisk vifte plassert utenfor påhugget, forsyner stoffen med frisk luft via en ventilasjonsduk i tunneltaket. Den friske luften ved stoffen vil presse ut dårligere luft. Hastighet på

ventilasjonen er avhengig av kapasitet på viften, diameter på duken og lengden på duken.[18]

Sprenggassen som kommer fra sprenging vil danne det som kalles en skytegasspropp. Etter sprengning vil denne proppen sige ut av tunnelen i samme hastighet som ny luft blir tilført stuff.[14]

Steinvolum i fjell omtales som fast kubikk (fm^3/fm^3). Når steinen sprenges ut av fjellet øker volumet til steinmassen og den omtales nå som løs kubikk (lm^3/lm^3). Vanlig omregningsfaktor brukt i tunneldrift er 1,6.[18]

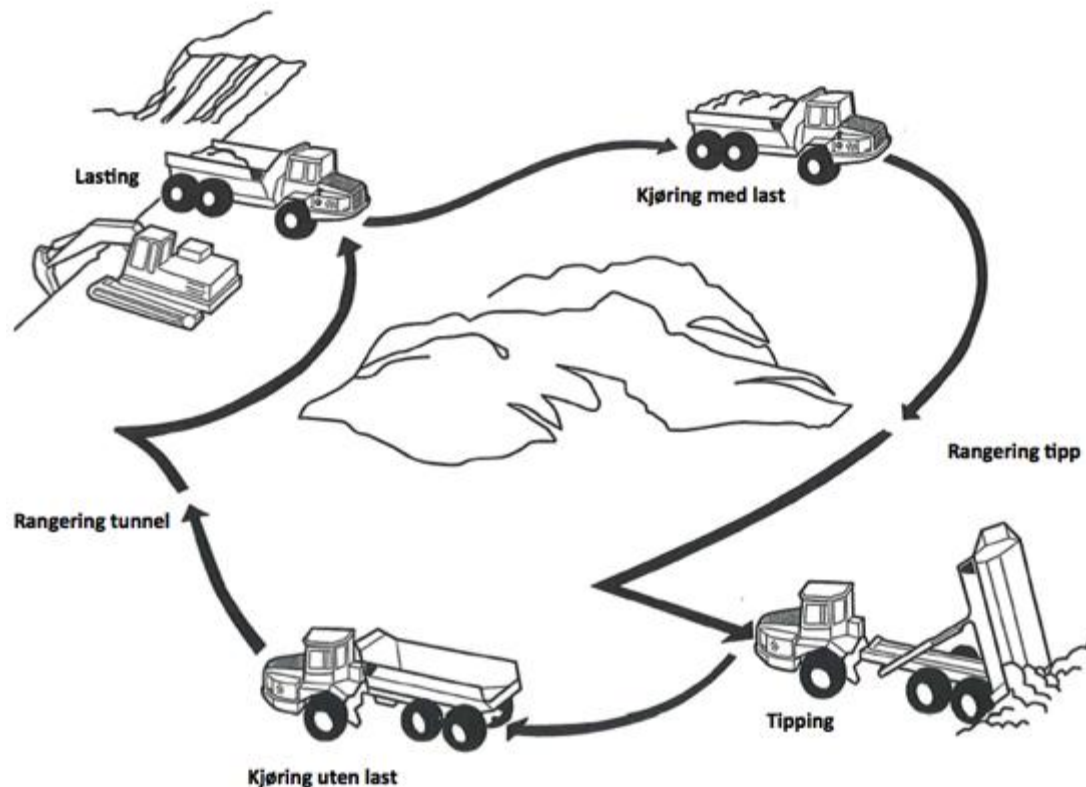
Lasting og transport

Når luftkvaliteten er god nok på stuff begynner laste- og transportfasen. Ved store nok tverrsnitt brukes hjullaster og dumper som vist i Figur 9. Steinmasse lastes opp i dumper som kjører dette ut. Antallet dumpere bestemmes ut i fra kapasitet til hjullaster. Ved optimal drift er hjullaster begrensede faktor. [14]



Figur 9. Lasting og transport med hjullaster og dumper.[24]

Uttransport av masse kan også utføres med lastebil. Dette er aktuelt hvis det er lang avstand til tipp eller deler av transport foregår på offentlig vei. Tippen er plassen hvor steinmassen tippes. Massen kan tippes på et deponi, en fylling der noe annet skal bygges eller den kan knuses og benyttes som puk. Hvis det benyttes lastebil må størrelse på lastemaskinen tilpasses bilene for å unngå materielle skader.[14]



Figur 10. Prinsippskisse av syklus for dumper.[28]

Figur 10 er en prinsippskisse som viser syklusen til en dumper. Skissen avviker noe fra tunneldrift da lasting foregår med gravemaskin i dagen og ikke med hjullaster i tunnel.

Er tunnelverrsnittet stort nok kan transportmaskinene snu inne i tunnel og rygge inn til stuff. Dersom ikke, må det sprenges nisjer i tunnelen. Dette er små utvidelser i tunnelveggen som gjør det mulig for en dumper eller lastebil å snu.[18] I Ulvintunnelen på FP2 skal det i tillegg sprenges små utvidelser som vil fungere som luftsjakter. Når tog kommer i høy fart inn i tunnelen vil luft bli presset inn i disse sjaktene. De vil fungere som en slags buffer for overtrykk.[14]

Rensk

Når det utsprengte fjellet er fjernet fra stuff må fjellet renskes for løs stein. Denne jobben blir utført av en renskerigg som vist i Figur 11. Renskeriggen er vanligvis en gravemaskin med hjul eller belter med en hydraulisk hammer. Renskeriggen pigger løst fjell vekk fra tunneloverflaten og i en sikker avstand fra maskinen. Hensikten med rensk er å sikre tunnelen slik at neste operasjon kan gjennomføres uten fare for at det faller ned stein på mannskap og utstyr.[11, 18]



Figur 11. Rensk av tunneltak med renskerigg.[24]

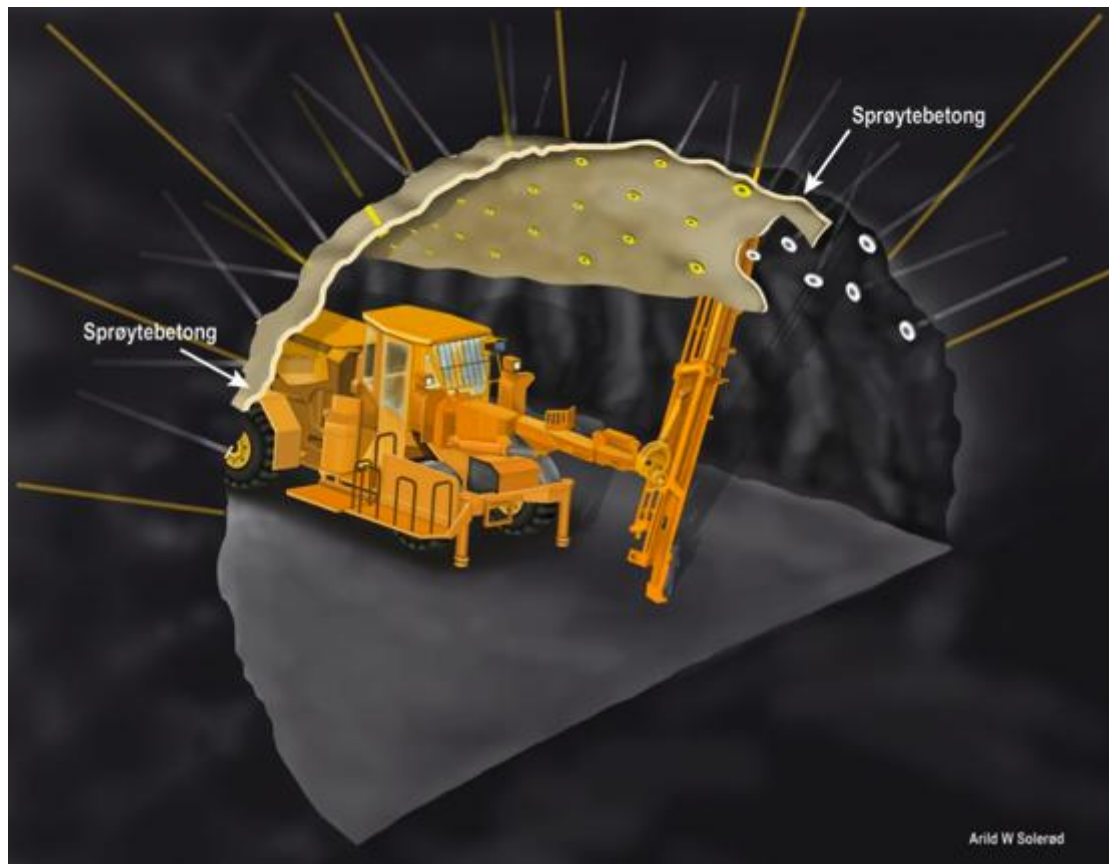
Etter rensk må hjullaster og dumper eller lastebil inn og fjerne steinmassen som har blitt pigget løs. Denne prosessen kalles opprensk. Manuell rensk er noen ganger også nødvendig. Denne jobben utføres av mannskap i en personkorg på hjullasteren. Det brukes da spett for å fjerne løs stein fra taket. I forbindelse med den manuelle rensken utfører byggherren inspeksjon av tunnel.[18]

Bolting og sprøytebetong

For arbeidssikring og permanent sikring brukes det bolter og sprøytebetong. Boreriggen borer fra 2,5 meter til 6 meter hull inn i fjellet som boltene settes inn i. Boltene har gjerne diameter på 20 mm med en ekspansjonshylse innerst. Boltene spennes opp med skive og mutter og enkelte typer kan ettergyses med ekspanderende mørtel. Boltene kan også limes fast eller støpes inn.[29]

Ved sikring med sprøytebetong, sprøytes betong rett på fjellet uten forskaling eller armering. Sprøytebetongen kan armeres med fiber. Tykkelsen på sprøytebetongen varierer med sikringsbehov. Fjelloverflaten vil også variere på grunn av bruddkanten til salven.[29]

I Figur 12 er det vist en sprøyterigg i aksjon. I fjellet på figuren synes boltene som sikrer taket.



Figur 12. Påføring av sprøytebetong i tunnel.[24]

3.1.2 Drivemetoder konvensjonell drift

Konvensjonell drift kan drives på ulike måter. Avgjørende faktorer er tid, økonomi og antall tilgjengelige angrepspunkter eller stuffer. Drivemetode vil si hvordan drivlag og maskiner blir disponert under drift. En enkel tunnel kan drives fra en eller to sider med ett eller to sett maskiner og mannskap. Med egnede adkomstforhold kan en tunnel også drives med et såkalt tverrslag og vekseldrift til hver side i hovedtunnelen. Er det i tillegg adkomst til endene vil det være fire stuffer tilgjengelig. For en firefelts vei vil det være aktuelt å drive to parallelle tunneler slik at to stuffer er tilgjengelig ved siden av hverandre samtidig (vekseldrift høyre og venstre). Flere tilgjengelige stuffer gir mange muligheter for driftsmetoder. Metodene tilpasses hvert prosjekt og kan også kombineres.[14]

Ensidig drift

Dette er basis metoden for driving av tunnel som er forklart i kapittel 3.1.1. Det er kun en stoff tilgjengelig og det brukes ett sett med maskiner for driving. Denne metoden gir størst inndrift per stoff og minst slitasje på utstyr. Stillstand for enkelte maskiner mellom prosessene gjør at vedlikehold og reparasjoner kan utføres uten at det går utover drift. Når en tunnel drives fra to sider med lang eller vanskelig transport i mellom stoffene, brukes denne metoden. For å utnytte arbeidskraft kan lagene transporteres mellom stoffene. Da vil ett lag disponere

to stuffer og to sett maskiner. Denne drivemetoden begynner å ligne det som kalles vekseldrift.[14]

Vekseldrift

Det er flere former for vekseldrift. Konseptet er at ett lag med ett sett maskiner veksler mellom to stuffer. Metodene vil gi noe mindre inndrift per stoff, men maskinpark blir mye bedre utnyttet. Dette gir større utfordring på vedlikehold og reparasjoner, da stillstand mellom prosesser blir mindre eller borte.[14]

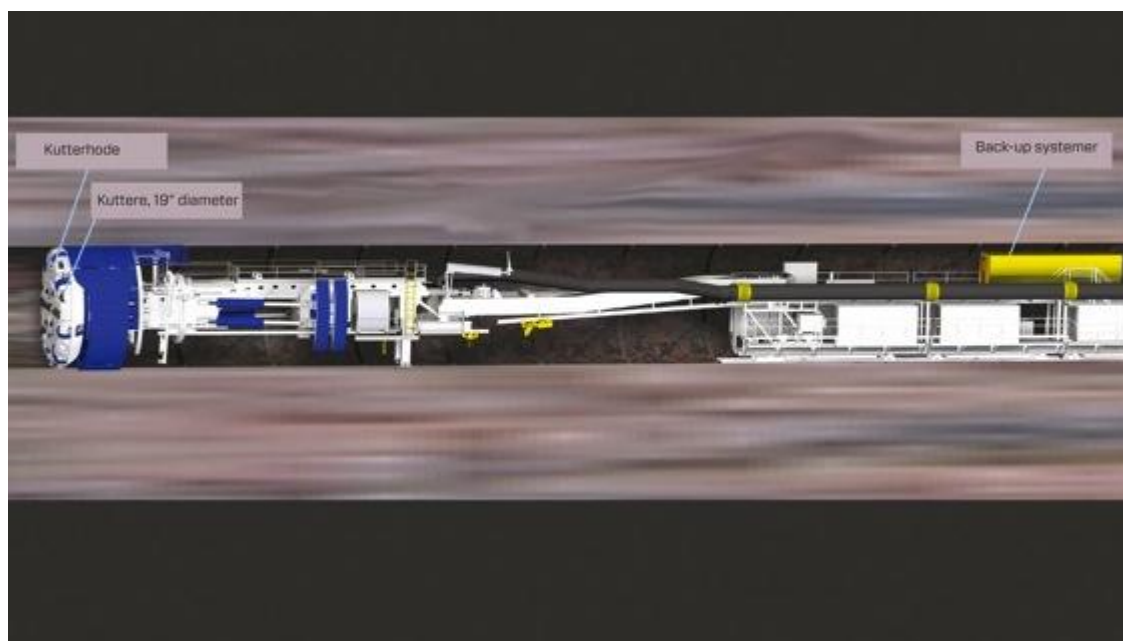
Vanligste form for vekseldrift er ved parallelle stuffer eller i hver retning fra et tverrslag. Ett drivslag med ett sett maskiner veksler på de to stoffene. Når det bores og lades på den ene stoffen så lastes og transporteres det steinmasse på den andre stoffen. Driftstiden på maskinparken blir fordoblet med denne driftsformen.[14]

I toløps vegtunneler sprenges tverrforbindelser som gir åpninger mellom tunnelene, som gir kortere adkomst mellom stoffene. Vekseldrift gir noe lavere inndrift per stoff. Grunner til dette er økte reparasjonstider under drift, flytting mellom stoffene, koordinering og venting på ferdigstilling av arbeidsoperasjon på nabostoff. Nyere teknikk med bruk av wirekutting kan gi lavere kostnader og mindre tidsforbruk med tverrslag.[18]

Vekseldrift kan også brukes for tunneler som ikke er parallelle. Avstand og transportvei mellom stoffene er avgjørende for vekseldrift. For tunneler som drives fra midten og ut kan dette være aktuelt i starten. Når avstanden blir for lang mellom stoffene, går driften over til to ensidige drifter.[18]

3.1.3 Fullprofilboring

Fullprofilboring eller TBM (Tunnel Boring Machine) er et borekonsept hvor en maskin borer seg igjennom varierende stein- og løsmasse. Maskinen er et langt tog som skyves frem på skinner. Foran sitter kutterhode som borer i fjellet. Bakover lages tunnelvegger med veggelementer ettersom maskinen drives innover. En TBM vist i Figur 13 kan være 250 meter lang og veie 1000 tonn.[30]



Figur 13. Tunneldrift med fullprofilboring (TBM).[31]

Maskinen i Figur 13 er elektrisk drevet. I front sitter et stort kutterhode som roterer samtidig som det presses mot fjelloverflaten. Maskinen blir holdt fast ved at hydrauliske armer presses ut mot tunnelveggene. Diameter på kutterhodet bestemmer tverrsnittet til tunnelen. Kutterhodet består av mindre kuttere som ruller på fjelloverflaten når kutterhodet roterer. Overskuddsmassen som blir boret løs blir fraktet ut via transportbånd. TBM kan bore i helning opp til 45 grader. Inndriften for norske forhold bør være 500 meter per måned med et tverrsnittdiameter på 10 meter.[31] Maskinstørrelsene varierer, men de kan bore tunneler med diameter fra 2-3 meter og opp til 15 meter[32].

For å benytte fullprofilboring kreves grundig forundersøkelser for å avgjøre hva slags type maskin som skal brukes. Fjellets egenskaper gjør større utslag på inndrift og kostnader med fullprofilboring enn med konvensjonell drift. Derfor er det viktig at riktig type maskin blir valgt.[33]

Valg av driftsmetode er avhengig av flere faktorer. Konvensjonell drift og TBM har begge fordeler og ulemper som må veies opp i mot hverandre. I Tabell 3 er begge driftsmetodene sammenlignet med et utvalg fordeler og ulemper.

Tabell 3. Fordeler og ulemper ved valg av driftsmetode. [16, 34]

Driftsmetode	
Konvensjonell drift	Fullprofilboring (TBM)
Lavere kostnader ved korte tunneler	Høye investeringskostnader
Kort og enkel mobilisering	Lang og omfattende mobilisering, men raskere inndrift
Skaper sprengstein som egner seg for fyllinger	Skaper fin overskuddsmasse som ikke egner seg til fyllinger
Mye rystelser og støy som følge av sprengning og pigging	Ingen sprengning eller pigging som gir mindre støy
Utslipp av sprenggasser og dieselsavgasser fra maskiner	Elektrisk drift, ingen sprenggasser og redusert dieselbruk
Ruglete og ujevn overflate etter sprengning	Fin og glatt overflate etter boring
Fleksibel med tanke på form til tverrsnitt	Kun sirkulært tverrsnitt

3.2 Lean

3.2.1 Historie

Lean production, på norsk *slank produksjon*, handler i hovedsak om å sette fokus på å maksimere kundens tilfredshet og minimere sløsing. Lean betyr å øke verdien for kundene ved bruk av mindre ressurser. [35]

I 1930 årene begynte Kiichiro Toyoda, Taiichi Ohno og flere ved Toyota å analysere bilproduksjon. De fant ut at ved noen enkle grep kunne de skape både flyt og variasjon i en produksjonslinje. De utviklet Toyota Production System (TPS). Systemet er gjennomgående basert på filosofien om "*total eliminering av sløsing*". [36] Fokuset blir skiftet fra individuelle maskiner og deres nytte til produktflyten igjennom hele produksjonsprosessen. Prinsippene med TPS er å bruke maskiner med riktig kapasitet og egenkontroll, god organisering av maskiner og prosesser, lav omstillingstid og trekk-basert produksjon mellom prosessene. Med dette systemet ble det mulig å produsere med høy variasjon etter kundens behov, til en lav pris og med høy kvalitet. [35] Som en del av sløseelimineringen kom også prinsippet Just in Time (JIT) på banen. Just in Time filosofien kjennetegnes med små seirestørrelser, minimale lagerholdninger og korte omstillingstider. Hensikten med dette er å produsere riktig produkt, i riktig mengde og med riktig kvalitet levert på rett sted til rett tid. [37]

Selv om lean har sin opprinnelse fra bilindustrien er filosofien overførbart til alle produksjonsbedrifter. Ikke bare rene produksjonsbedrifter kan høste nytte av lean. Verktøyene og prinsippene i lean kan brukes i alle typer bedrifter som produserer eller yter tjenester. Verdens ledende leanbedrift, Toyota er på vei til å bli en av de største bilprodusentene som finnes. Denne suksessen har ført til enorm interesse for lean de siste to tiår. Flere og flere bedrifter implementerer leantankegangen for å effektivisere driften sin. [35]

3.2.2 Sløsing

Begrepet sløsing inkluderer alle de prosesser og utstyr som ikke gir noen verdiøkning til produksjon av en vare eller tjeneste. En prosess vil enten gi verdiøkning eller skape sløsing, og fjerning av sløsing vil effektivisere en prosess. Fra Toyota sitt produksjonssystem kommer teorien om *"The seven wastes"* utviklet av sjefingeniør i Toyota, Taiichi Ohno. Teorien går ut på at sløsing kan kategoriseres i syv typer.[38]

For å kunne fjerne sløsing er det viktig å identifisere hva som gir sløsing og hvorfor det eksisterer. Det kan være nødvendig eller unødvendig sløsing. Nødvendig sløsing vil ikke gi verdiøkning, men må være med for at produksjonen skal fungere. Unødvendig sløsing gir ikke verdiøkning og er ikke nødvendig for produksjonen. For hver type sløsing finnes det en strategi for å redusere eller fjerne effekten den har på produksjonen.[38]

De syv kategoriene med sløsing har framstått med utgangspunkt i industrien og bilproduksjon. Prinsippene lar seg overføre til andre bransjer uansett hva som skal produseres, om det er varer eller tjenester. I tunneldrift finnes det også sløsing. Mye av det er nødvendig, spesielt i forbindelse med sikkerhetstiltak. Bolting og sprøytebetong er eksempler på dette. For å gi en bedre beskrivelse av den enkelte kategori vil det nevnes eksempler relatert til tunneldrift for de syv kategoriene med sløsing som er:

1. Overproduksjon.

Overproduksjon vil si å lage et produkt før det behøves. Ved produksjon av varer vil ferdiglageret vokse mer enn det som blir solgt. Løsningen på problemet vil være å produsere akkurat det som kan selges umiddelbart. Dette vil kreve rask responstid og lav omstillingstid for produksjonslinjen.[38]

For tunneldrift kan ikke overproduksjonen sammenlignes på lik linje. Fordi kunden ikke etterspør stein, men en ferdig tunnel til en bestemt tid. Men overproduksjon av tunnel er relevant. Kunden eller byggherren stiller et minimumskrav til tverrsnitt i tunnel. Med konvensjonell drift må tverrsnittet lages litt større en kravet, grunnet ujevne flater etter sprengning. Dette medfører at mer stein en nødvendig må fraktes ut av tunnelen.

2. Ventetid

Når et produkt ikke er i bevegelse eller ikke befinner seg i en prosess, da oppstår sløsing venting. Mye tid går til å vente på neste prosess. Årsaker til venting er normalt dårlig materialflyt, lange produksjonslinjer og lang avstand mellom arbeidsstasjoner. Ved å linke prosesser sammen slik at produktet flyter direkte mellom prosessene, vil ventetiden reduseres.[38]

Venting er veldig aktuelt i tunneldrift. Arbeid på stuff kan stort sett kun utføres med en prosess av gangen. Det resulterer i at det fort oppstår venting. For eksempel når hjullasteren skal laste steinmasse i dumperne. Det er kun mulig å

laste opp i en dumper av gangen. Hvis syklusen til dumperne ikke er godt nok synkronisert vil det føre til at hjullasteren må vente på neste dumper.

3. Transport

Å transportere produkter mellom prosesser gir ingen verdiøkning i en produksjonsbedrift. Det krever mer mannskap og flere maskiner, som skaper ekstra kostnader. For å redusere transporten må det skapes bedre flyt i produksjonslinjen. Plassering av prosesser og lager i forhold til hverandre er viktig, slik at avstand kortes ned eller forsvinner.[38] Et eksempel fra tunneldrift er at slurry transporteres fra lagerområdet og inn til stuff. Hvis denne avstanden kan kortes ned vil tid være spart.

4. Overdimensjonert kapasitet

Kan forklares med ordtaket "skyte spurv med kanon". Det blir investert i dyrt utstyr med stor kapasitet, hvor mindre og billigere utstyr ville klart samme jobb. Et eksempel er når en tunnelentreprenør investerer i en 35 tonn hjullaster for raskt å laste opp steinmasse etter sprengning. Dumperne har mindre kapasitet enn hjullasteren, slik at hjullasteren ender opp med å vente på dumperne. Tunnelentreprenøren hadde vært tjent med å investere i en mindre hjullaster som holdt tritt med dumperne. En mindre hjullaster vil også kunne brukes i tunneler med mindre tverrsnitt.[38]

5. Unødvendig inventar

Unødvendig utstyr eller maskiner som er plassert i prosessområdet påvirker driften. Det kan skjule problemer, ta opp plass og hindre flyt i produksjon. Ved å fjerne inventaret frigjøres plass og det tilrettelegges for flyt mellom arbeidsstasjoner.[38]

I en tunnel vil ikke unødvendig inventar bare skape problemer for flyt, det vil også utgjøre en sikkerhetsfaktor. Det begrenser plass og øker tiden for å manøvrere maskiner der det allerede er begrenset plass. Skulle det oppstå en nødsituasjon er unødvendig inventar veldig uheldig med tanke på evakuering. Et annet eksempel er hvis en hydraulikkslange har fått en skade og snart vil ryke. Problemet er skjult, fordi slangen er dekket med skitt, og dette oppdages ikke før slangen ryker.

6. Bevegelse

Denne kategorien avfall er relatert til alt som har å gjøre med arbeidernes bøyning, gange, strekking og løfting. Med god utforming på arbeidsstasjoner unngås mye unødvendig bevegelse for en arbeider. Det gjør arbeidsplassen mer effektiv og tar vare på helse, miljø og sikkerhet hos arbeideren.[38]

7. Feil/avvik

Feilproduksjon av varer og tjenester fører til enorme ekstrakostnader for produksjonsbedrifter. En defekt vare eller dårlig kvalitet på en tjeneste fører med seg reproduksjon, ekstra inspeksjoner og dårlig rykte.[38]

Når en salve sprenges i tunnel og kun halve salvevolumet løsner på grunn av for lite sprengstoff, så vil det medføre omskyting av salve. Omskyting tar både tid og koster penger.

I senere tid har det også blitt lagt til en åttende kategori avfall. Underutnyttelse av ansatte. Ved å utnytte de ansattes kreativitet kan bedriften redusere de syv kategorier sløsing og kontinuerlig forbedre effektiviteten sin.[38]

3.2.3 Lean construction

Toyota sitt system med lean production er basert på serieproduksjon i en stasjonær industri. Lean construction handler om prosjektbasert produksjon av unike prosjekter, som er tilfellet innenfor bygg- og anleggsbransjen. Lean construction er et amerikansk begrep som brukes om lean i bygg og anlegg. De samme verdiene blir brukt, men overført til et annet produksjonskonsept. Målet er å ferdigstille prosjektet til riktig tid med god kvalitet med minst mulig sløsing.[39]

I følge Greg Howell, direktør i Lean Construction Institute har tradisjonelt bygg- og anleggsbransjen hatt for mye fokus på å redusere kostnader for hver aktivitet i et prosjekt.[40] Denne måten å tenke på ignorerer det store bildet. Med lean construction blir fokuset rettet mer mot helheten og hvordan en aktivitet påvirker neste. Howell sier at: *"Målet er å forbedre hele systemet, ikke redusere kostnadene ved enkelte aktiviteter. Dagens prosjektledere styrer prosjekter som uavhengige aktiviteter, mens lean jobber med å sikre pålitelig arbeidsflyt mellom de planlagte aktivitetene".*[40]

Tidlig samarbeid under prosjektet ansees som svært viktig i lean construction. Alle skal føle seg ansvarlige for prosjektet. I følge Don Wojtkowski, nettverksdirektør for design og bygging av SSM Healthcare, St.Lois er prosjekter et nettverk av løfter. Han sier videre at: *"Hvis en person ikke holder løftet sitt, vil det bli en dominoeffekt som berører alle som er ansvarlige i prosjektet."* Lean construction krever at underentreprenører, driftsledere og formenn er med på planlegging, fordi deres rolle påvirker hele driftsplanen.[40]

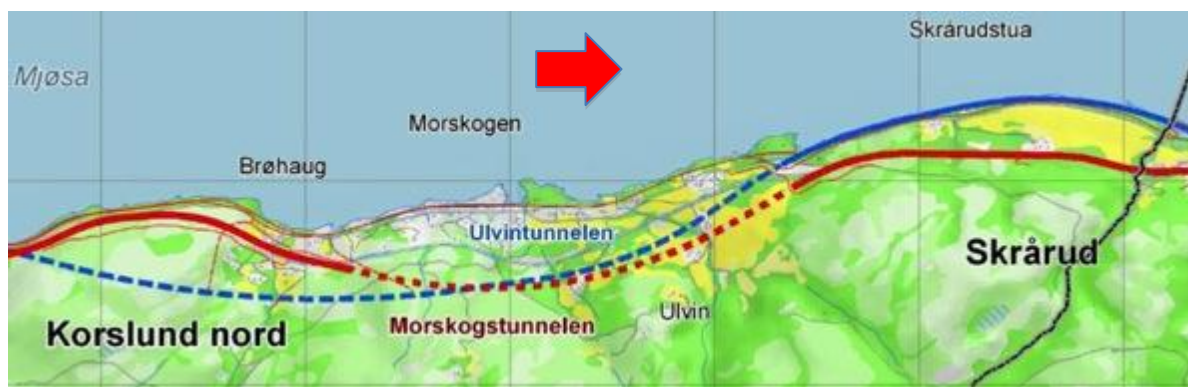
Hovedprinsippene i lean construction er:[40]

- Etablere integrerte team som har eierskap til prosjektet
- Stoppe produksjon istedenfor å utføre en oppgave feil eller med dårlig kvalitet
- Desentralisert beslutningstaking, det vil si mer ansvar til prosjektdeltakerne og prosessen blir mer synlig, slik at alle team kan se status på prosjektet
- Lage en enkel og direkte handoff/overlevering mellom oppgaver i prosjektet for å eliminere problemer mellom prosjektfaser

4.0 Metode

4.1 Studiesituasjonen

All informasjon om tunneldrift er hentet fra Veidekkes fellesprosjekt (FP2) langs Mjøsa med utgangspunkt i Ulvintunnelen som er en dobbeltsporet jernbanetunnel. Ulvintunnelen har til sammen to tverrslag med fem stuffer tilgjengelig, hvorav to av stufferne er ferdig drevet når denne oppgaven leveres.



Figur 14. Ulvintunnelen på FP2.

I Figur 14 er Ulvintunnelen markert med stiplet blå linje. Rød pil viser nord i figuren. Ved tverrslag sør drives det i to retninger, mot nord (TSN) og mot sør (TSS). I startfasen av prosjektet ble det utført vekseldrift mellom TSN og TSS. I oktober 2012 ble TSN ferdig og driften gikk over til ensidig drift på TSS. Det sydligste strekket på 578 meter er utgangspunktet for beregninger i denne oppgaven, dette er den delen av TSS som ble drevet med ensidig drift.



Figur 15. Tverrsnitt av Ulvintunnelen.[18]

I Figur 15 er det illustrert størrelsen på Ulvintunnelen. Tverrsnittet har teoretisk areal på 120 m². Tunnelen er i figuren ferdig med støpt betong-lining.

4.2 Kvalitative metoder

Kvalitative metoder bygger på menneskelig erfaring. Det samles inn informasjon via samtale, observasjon eller skriftlig tekst for å forstå sosiale fenomener slik det oppleves for de involverte selv.[41] En kvalitativ undersøkelse er relevant når bedriftsinterne forhold skal undersøkes, slik som ledelse og problemløsning.[42]

I denne oppgaven kommer mye av informasjonen fra kvalitative undersøkelser. Det dreier seg om forståelse om hva som er utfordringer i tunneldrift. Denne informasjonen er det kun de som driver med tunneldrift eller har drevet lenge med som kan. De som opplever tunneldriften har en formening om hva som er bra og hva som kan gjøres bedre. De vet hva slags problemer som må håndteres under drift. Kvalitative undersøkelser er utført i form av befaring, møter og samtaler på telefon og e-post.

Det har blitt utført to befaringer på FP2 i 2013, 18. februar og 20. mars. Under befaringene ble observasjoner gjort inne på stuff, bak stuff og generelt rundt på anlegget. Første befaring ble utført med blokksjef tunnel. Andre befaring ble utført med en elektriker på FP2 og energiansvarlig i Veidekke.

Blokksjef tunnel har vært en viktig kilde for å forstå forhold rundt ledelse, informasjonsflyt og kultur i Ulvintunnelen. Foruten befaringen i februar har all informasjon fra blokksjef blitt utvekslet via telefonsamtaler og e-post.

Informasjon om generell tunneldrift og organisering har kommet fra møter med erfarne og tidligere tunnelarbeidere. Noen har jobbet med tunneldrift siden 1970-tallet. Møtene har foregått på hovedkontoret til Veidekke på Skøyen.

En case studie er en form for kvalitativ undersøkelse. Metoden ble først tatt i bruk i rettsvitenskapen. Den ble brukt til å utlede allmenne rettsregler og allmenn praksis ved å analysere en enkeltstående sak.[23] På lignende måte vil Ulvintunnelen, TSS være case studie for denne oppgaven. Hensikten er å gjøre en grundig analyse av driften i denne tunnelen som kan gjelde for tunneldrift generelt.

4.3 Datagrunnlag

4.3.1 Virkelig drift

Datagrunnlaget for den virkelige driften er tunnelrapporter fra Ulvintunnelen, TSS. Tunnelen er drevet ferdig og det finnes rapporter fra start til slutt. Rapportene føres daglig og inneholder informasjon om tidsforbruk på de ulike prosessene, inndrift, volum tunnel og forbruk av materiell. De daglige rapportene inneholder også et merknadsfelt hvor basen selv kan komme med bemerkninger. Merknadene inneholder stort sett forklaring på avvik fra planlagt drift.

De originale tunnelrapportene som blir brukt som grunnlag i denne oppgaven ble lastet ned fra intranettet til Veidekke. Rapportene det gjelder er for TSS i Ulvintunnelen på FP2 fra november 2012 til april 2013. Rapportene er utarbeidet i Excel med innebygde formler. Brukeren fører inn start- og sluttider for alle prosessene. Formlene regner deretter ut tidsforbruket og summerer opp dette i ukes- og månedsrapport.

Når rapportene ble lastet ned inneholdt de mange feil som gjorde utslag på hefttid. Feilene kom av ugyldig inntasting, det vil si det blir tastet 0 istedenfor 00:00 som klokkeslett (0 i Excel dato format betyr 1.1.1900 kl 00:00) eller at formelen i Excel henviste til en tom rute. All hefttid i kategori sprengning (salveboring, lading og lastning) blir generert ut i fra tidsdifferansen mellom slutt prosess til start neste prosess. For eksempel når en prosess starter kl 12:00 og sluttid forrige prosess er ført i feil rute så vil formelen henvise til tom rute og differansen blir til 12 timer med heft.

For å luke ut disse feilene er alle dager i tunnelrapporten gjennomgått. Der det er generert feil hefttid ble det rettet opp manuelt slik at tidsverdiene stemte med de andre prosesstidene. Det tok omtrent en dag å rette opp alle feil i tunnelrapportene slik at informasjonen kunne brukes.

Når feilene ble rettet har ingen av start eller slutt klokkeslettene blir forandret på. Her står alt som originalt. Det er kun rettet på summert hefttid. Det gjør at tidsdataene for prosessene ikke blir påvirket av opprettingen. Har det vært tvil er hefttid satt lik null slik at feilaktig informasjon ikke blir med videre.

Siden det også er skrevet om hefttid i merknadsfeltet, finnes det to datagrunnlag for heft. Den ene som genereres fra innskriving av klokkeslett, og den andre som baserer seg på fri skrift under merknader.

4.3.2 Teoretisk drift

Grunnlaget for den teoretiske driften er prosjektrapporter fra NTH og tekniske datablad. På NTH, institutt for anleggsdrift er det forsket mye på å utvikle tidsprognoser for alle prosesser i tunneldrift. Mye av informasjonen i disse prognosene lar seg overføre til dagens tunneldrift ved FP2. På noen områder kan rapportene være noe utdaterte, men på disse områdene brukes erfaringstall fra Veidekke. Det kan være seg maskiner som blir fornyet og har større kapasitet.

I tekniske datablad fra leverandørene finnes alle tekniske spesifikasjoner for maskinene som brukes. Verdiene oppgis normalt for optimal drift av maskinen. Under de teoretiske beregningene er det også tatt utgangspunkt i at det arbeides under optimale forhold. Det vil innebære mange faktorer som god plass, flatt underlag, erfarne operatører, osv.

Når det gjelder avstander for teoretisk drift er det tatt utgangspunkt i gjennomsnittlige verdier for TSS i Ulvintunnelen. Avstander som vil brukes i kapasitetsberegninger er tipp – påhugg, som er satt til 300 meter og påhugg – stoff, som er satt til 500 meter. For transportprosessen vil syklusid være svært

avhengig av avstand mellom tipp og stuff. I starten vil denne avstanden være kortere, mens den etter hvert vil bli noe lenger siden tunnelen er 880 meter lang. Grunnet åtte dumpere som brukes på flere stuffer vil antallet dumpere brukt på hver stoff variere noe etter behov. For å kunne utføre beregninger er det derfor satt et snitt på 500 meter avstand fra påhugg til stuff og at transporten utføres med fire dumpere i snitt.

Kostnadsberegninger er gjort med faste kostnader som grunnlag. For rigg og driftskostnader er kalkulerte månedskostnader fra Veidekke lagt til grunn. Maskiner blir som regel leid inn og her vil faste månedsleier brukes som grunnlag. For timelønn er også kalkulerte kostnader fra Veidekke grunnlaget for beregninger. Når det gjelder kostnadsberegninger for Ulvintunnelen og TSS på FP2 er en nøyaktig kalkulasjon svært komplisert. Mange av maskinene og spesielt rigg og driftskostnader er fordelt på flere tunneler og stuffer.

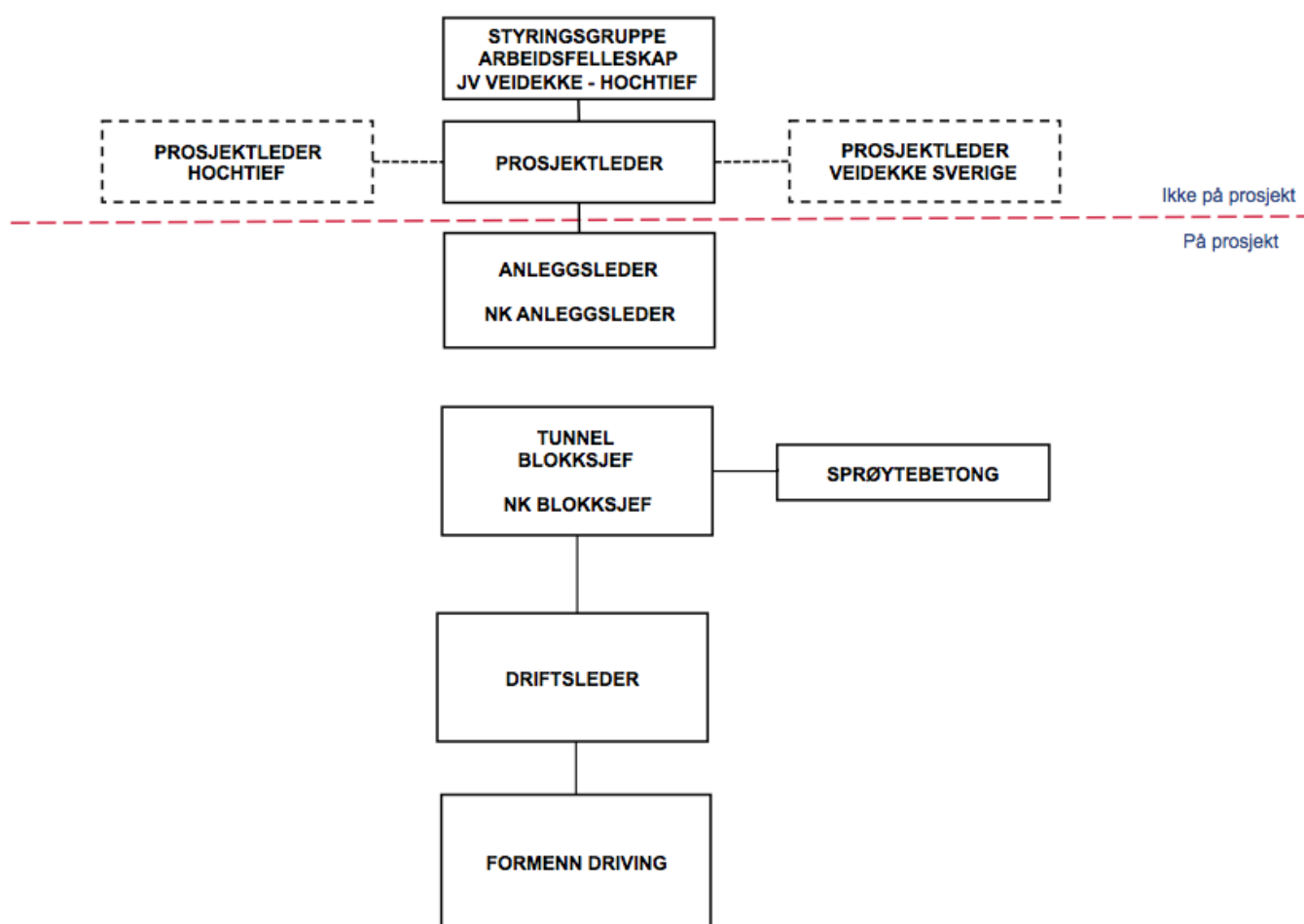
For å beregne kostnader for TSS er det tatt utgangspunkt i hva slags rigg og driftskostnader som må være til stede hvis det kun var denne stoffen på prosjektet. Maskinene kalkuleres ut i fra drift på TSS og timelønn for personell som kun jobber med denne stoffen.

5.0 Ståstedsanalyse

All informasjon i ståstedsanalysen som omhandler utførelse av tunneldriving kommer fra Christian Mikkelsen, som er blokksjef tunnel på FP2. All tids- og tallinformasjon kommer fra tunnelrapporter.

5.1 Ledelse

Som tidligere nevnt inngår Ulvintunnelen i fellesprosjektet E6 – Dovrebanen, FP2. Fellesprosjektet vil ha en organisasjonsstruktur som er vist i Figur 16.



Figur 16. Organisasjonsstruktur for FP2.[18]

Figuren viser et utdrag av organisasjonsstrukturen som er aktuell for tunneldrift. Ledere over den røde streken i figuren, bortsett fra prosjektlederen, er ikke fysisk til stede på prosjektet, mens de under streken befinner seg på prosjektet. Mellom anleggsledere og blokksjefer sitter diverse ansvarlige, som blant annet kontorleder, verneleder og materialforvalter.

Prosjektleder

Har som hovedoppgave å lede prosjektet, se til at det gjennomføres på en god måte innen kontraktens rammer og prosjektleder rapporterer til styringsgruppe.

Anleggsleder og NK Anleggsleder

Er de øverst ansvarlige for å lede den daglige gjennomføringen av anlegget. De fungerer som det formelle bindeleddet mellom byggherre og entreprenør og rapporterer til prosjektleder.

Blokksjef tunnel

Er ansvarlig for å planlegge, organisere og gjennomføre sin del av driftsoppgavene i samsvar med kontraktens bestemmelser og retningslinjer gitt av prosjektet. Blokksjefen rapporterer til anleggsleder.

Driftsleder

Er ansvarlig for å planlegge den daglige og ukentlige tunneldrivingen.

Formenn driving

Er ansvarlige for å legge til rette for at produksjonen til enhver tid kan skje uforstyrret og i henhold til planlagt fremdrift. Formann har myndighet til å ta avgjørelser i saker som berører den daglige drift og rapporterer til blokksjef.

Bas

Basen er sjefen og delaktig i drivelaget. Personen er ansvarlig for å ta avgjørelser på stuff vedrørende sikkerhet og drift. Basen har i stor grad beslutningsmyndighet og tar på stedet avgjørelser på stuff basert på erfaring. Basen rapporterer til formann.

5.2 Informasjonsflyt

På FP2 er det hver mandag møte med driftsledere og blokksjef. På dette møtet koordineres driften for kommende uke. Hver onsdag er det driftsmøte med driftsledere og formenn. Blokksjef deltar ved mulighet og det samme gjør basene. Det foregår muntlig kommunikasjon mellom ledere fra blokksjef til bas i gangen på kontorbrakken, ikke noe faste tider. Under drift kommuniseres det med VHF samband i tunnel. Styring av de ulike fasene i tunneldriften er det formannen som styrer via VHF. Boreriggen er også koblet opp til kontorbrakka via kabel. Det gjør det mulig å se status på boreprosessen inne fra kontorbrakka.

Mellom skiftene foregår en handover muntlig eller skriftlig. Handover er en slags overleveringsrapport som inneholder status på fremdrift og eventuelle problemer og bemerkninger. Mellom formiddagsskiftet og ettermiddagsskiftet møtes avtroppende og pågående skift for en muntlig handover. Mellom ettermiddag – og formiddagsskiftet gjøres handover skriftlig.

Hver dag skriver basen tunnelrapport. Det er et skjema som føres for hånd og leveres til formann etter endt skift. Formann fører over skjemaet elektronisk til tunnelrapport i Excel. Denne rapporten lagres daglig på server i Veidekkes

intranett. Alle i Veidekke, med tilgang til området, kan laste ned tunnelrapporten så fort den har blitt lagt ut. De daglige tunnelrapportene samles opp i ukesrapport som igjen samles i månedsrapport. Ukesrapportene sendes fortløpende til byggherre og er en dokumentasjon på utført arbeid. Grunnet enhetspriskontrakt fungerer også tunnelrapporten som grunnlag for betaling av bolter, betong og injeksjon.

5.3 Vedlikehold og driftsstans

Det meste av maskiner og utstyr i tunneldriften leies for en fast sum per måned pluss et variabelt tillegg for bruk. For de store maskinene som borerigg, dumper, hjullaster og piggemaskin er det inkludert serviceavtale i den faste månedsleien. Veidekke følger anbefalte serviceintervaller fra forhandler og dette planlegges slik at service utføres i stillstandstid. Disse servicene vil inkludere smøring, oljeskift, bytte av slidedeler osv.[14]

Mindre vedlikehold utføres daglig og ukentlig. Hver lørdag skal deler av skiftet bli satt av til vask og rengjøring av maskiner. Stein og skit er ofte årsak til at slanger sprekker og ryker, eller årsak til at begynnende problemer ikke blir oppdaget. I praksis utføres ikke vask hver lørdag, i følge tunnelrapport har det i tidsrommet november 2012 - april 2012 blitt utført vask og ettersyn en gang.

Ved start av hvert skift utføres daglig kontroll av maskinene. Første arbeider som tar i en maskin har ansvaret for dette. Kontrollen går ut på å peile olje og visuelt gå over viktige og svake punkter på maskinen. Etter utført kontroll skal det signeres på et skjema som formenn samler i en perm. Ved driftsstans på en maskin skal det være mulig å spore tilbake om daglig kontroll har blitt utført og av hvem. Kontrollskjemaene blir ikke alltid skrevet og samlet inn, det er større fokus på å sette i gang med arbeidet for dagen. På grunn av dette er usikkert om i hvor stor grad den daglige kontrollen blir utført eller ikke.

Når det oppstår driftsstans eller problem med en maskin er det basen som avgjør videre handling. Normalt løses problemet av laget selv basert på tidligere erfaring. De kan gjøre det meste selv, men ved behov tilkalles reparatør via VHF samband. Hvis det ikke lar seg løse direkte tilkalles eller informeres formann. Det er ingen faste rutiner på handling ved driftsstans.

5.4 Arbeidskraft

Veidekke leier inn noe ekstern arbeidskraft. Dumpersjåførene er blant disse og dumpersjåfører fra Slovakia leies inn for å bemanne åtte dumpere for hele FP2. Disse har maskinførerbevis for dumper, men normalt ingen annen utdanning. FP2 består av flere tilgjengelige stuffer slik at sjåførene kjører dit det er behov for dem. Når de ikke kjører dumper utfører de bakstufferarbeid eller bemanner piggemaskin.

Betongbiler bestilles også eksternt. Når det skal påføres sprøytebetong bestilles betong i det volumet som skal sprøytes. Betongen kommer med betongbiler inn i tunnelen.

Tunneldriverne arbeider med enten fast lønn eller med akkord. Hva som velges er avhengig av type drift og kvalitet på fjell. Ved kombinasjon av drivemetode slik som det ble gjort på Ulvintunnelen er det vanskelig å bestemme rettferdig akkord. Her startet driften med vekseldrift og gikk så over til ensidig drift. Akkordløsningen gir større ansvar til drivelaget som får betalt for inndrift tunnel, utført sikring osv. Driftsstans gir da dårligere lønninger.

Om drivelaget lønnes fast eller på akkord så har de uansett en kultur for å jobbe effektivt. Det virker som om det er en slags konkurranse mellom skiftene som gjør at alle "pusher" hverandre til å gjøre sitt beste. Et eksempel er når ladeprosessen nærmer seg slutten så har hjullasteren kjørt inn til stuff for å "vise" laderne at neste prosess er klar. Laget har hele tiden fokus på å oppnå størst mulig inndrift.

5.5 Syklustider

Tid og tallverdier for drift er hentet fra gjennomsnittsverdier for Ulvintunnelen, TSS på FP2. Informasjonen kommer fra tunnelrapporter i perioden november 2012 til april 2013. Dette tidsrommet dekker fasen fra start av ensidig drift til slutt driving. Analysen av alle prosessene gir et tidsforbruk for hver syklus. For hver prosess blir det beskrevet hva slags maskiner som blir brukt og hva slags kapasitet denne maskinen har. Kapasiteten blir målt i fast kubikk per time.

Prosessene under drift kommer i kronologisk rekkefølge med start på stuff og uboret fjell. Prosessenes tidsforbruk er fra start til slutt av prosessen og inkluderer rangeringstidene.

5.5.1 Sonderboring og injeksjon

God fjellkvalitet og lite sprekker med grunnvann gjør at det ikke har blitt utført verken sonderboring, injeksjonsboring eller injeksjon på TSS.

5.5.2 Boring

Under boreprosessen brukes en borerigg av typen Atlas Copco, Boomer XE3 C. Den er utstyrt med tre boremaskiner og en personkorg. Det tar i snitt 4,54 timer å bore hele salven med tunnelriggeren. Flytting av bormaskiner, innretting, påskråming, boring og uttrekk av stenger kan foregå automatisk, men deler av operasjonene utføres ofte manuelt. Syklustiden inkluderer også rangering og kronebytte. Det bores i snitt 200 hull med 5,2 meter lengde. I tillegg bores det tre-fire grovehull.

Med gjennomsnittlig boret volum på 639,8 fm³ har boremaskinen en gjennomsnittlig oppnådd kapasitet på 141,0 fm³/t.

5.5.3 Lading

I jernbanetunnelen blir ladeprosessen utført delvis parallelt med boringen. I kontraktsdokumentene er det ikke restriksjonen om at personer må oppholde

seg bak bomfeste på tunnelrigg. Dette gjør at parallelt arbeid er mulig. Fortsatt er det ikke lov å oppholde seg under boremaskin som er i drift. Lading kan kun foregå over boring og en viss avstand unna. I følge tunnelrapporten blir det kun utført parallelt arbeid noen ganger. I snitt utføres det lading parallelt med boring 15,7 minutter per salve. Tidene for boring og lading er uavhengige om arbeidet blir utført parallelt eller ikke.

En ladeprosess bruker i snitt 1,99 timer per salve. Ladetid inkluderer kobling, tømming av slanger, klargjøring for skyting og skyting av salve. Med boret volum på 639,8 fm³ har ladeprosessen en gjennomsnittlig oppnådd kapasitet på 321,0 fm³/t.

5.5.4 Ventilasjon

Ventilasjonen settes på maksimal effekt etter skyting. Ventilasjonstiden skaper ingen venting, fordi laste- og transportmaskinene kjører inn umiddelbart etter sprengning. Hjullasteren kjører inn først og ”møter” skytegasseproppen som er på vei ut av tunnelen. Inne på stuff er det frisk luft og lasteprosessen settes i gang.

5.5.5 Lasting

Under lastetid ligger tiden for opplasting og utkjøring av steinmasse. Lasting foregår med hjullaster Volvo L350F og fire dumper Volvo A35FS. Hele FP2 disponerer åtte dumpere oppsatt med slovakiske sjåførere. Disse kjører steinmasse for alle stuffene på prosjektet. Gjennomsnittlig forbrukt tid på lasting per salve er 2,90 timer. Volum lastet opp og transportert er 639,8 fm³. Oppnådd kapasitet blir da 220,6 fm³/t.

5.5.6 Maskinell rensk

Rensk utføres først med renskerigg Liebherr A924C. I snitt pigges det løs 20 fm³ stein per salve. Det renskes for løs stein i tak, vegger og på vertikal vegg på stuff. Prosessen tar i snitt 2,50 timer per salve som gir en oppnådd kapasitet på 8 fm³/t. Det bores 5,20 meter lange hull under salveboringen. Gjennomsnittlig inndrift per salve er 5,09 meter inklusiv maskinell rensk. Det vil si at det pigges løs 11 cm på stuff i snitt. Med tverrsnitt 120 m² gir dette 13,2 fm³. De resterende 6,8 fm³ blir pigget løs fra tak og vegger. For det totale volumet pigget løs har renskeriggen en gjennomsnittlig oppnådd kapasitet på 8,0 fm³/t.

5.5.7 Opprensk

Opprensk innebærer å laste opp og transportere ut steinmassen etter rensk. Det brukes en hjullaster og en dumper. Steinmassen er mer fragmentert og ligger mer spredt i forhold til volum som ble sprengt. Det fører til mindre fyllingsgrad i skuffe og mer kjøring for hjullasteren. Hele prosessen tar i snitt 0,77 timer per syklus og gir en gjennomsnittlig oppnådd kapasitet på 26,0 fm³/t.

5.5.8 Manuell rensk

Manuel rensk foregår fra en personkorg på hjullasteren. Samtidig utføres også inspeksjon med byggherre og geologisk kartlegging av fjellet. Under den manuelle rensken fjernes løs stein med spett. Kartleggingen tar i snitt 0,5 time per syklus. Manuel rensk og inspeksjon varierer fra 15 minutter til 60 minutter, avhengig av byggherre. I snitt brukes det 0,76 timer per salve for hele prosessen med rensk, inspeksjon og kartlegging. For å beregne oppnådd kapasitet beregnes hele salvevolumet delt på tidsforbruk. Hele prosessen med rensk, inspeksjon og kartlegging har en gjennomsnittlig oppnådd kapasitet på 830,9 fm³/t.

5.5.9 Bolting

Bolting og gysing av bolter foregår med borerigg og gysepumpe SP11. I snitt tar bolte- og gyseprosessen 1,38 timer per salve. Tiden blir belastet salvevolum som gir en gjennomsnittlig oppnådd kapasitet på 463,5 fm³/t.

5.5.10 Bakstufferarbeid

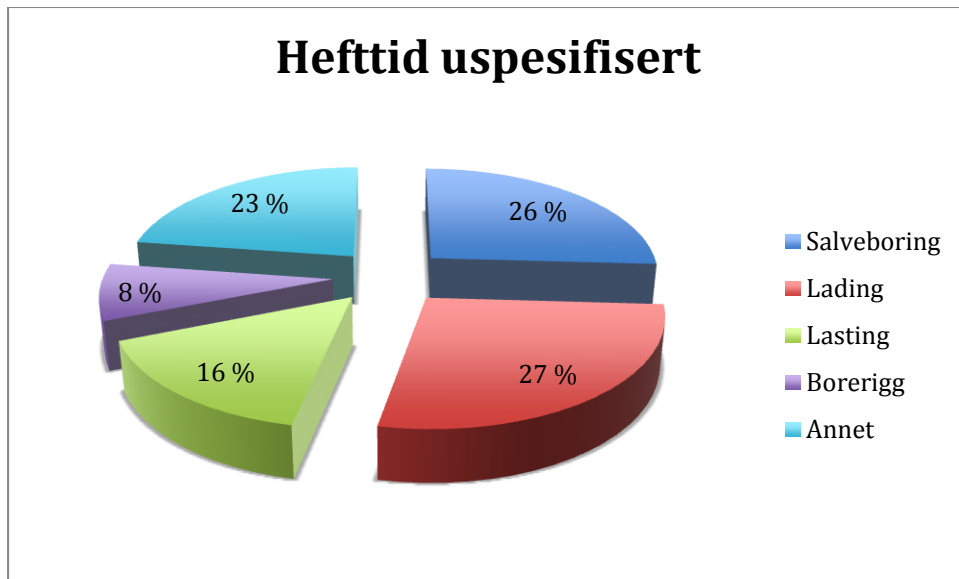
Bakstufferarbeidet utføres av ledig personell. Tilgjengelig utstyr er bakstufferigg. Oppgaver for bakstufferarbeidet er forlengning av ventilasjonsduken, grave grøfter og diverse vedlikehold. Arbeidet foregår parallelt og påvirker derfor ikke salvesyklusen.

5.5.11 Sprøytebetong

Påføring av sprøytebetong utføres med sprøyterigg Roadrunner. Prosessen tar i snitt 1,70 timer per salve. Det sprøytes kun betong i taket på tunnelen. Betong blir bestilt eksternt og kommer på betongbil inn til sprøyteriggen. På FP2 er en fra Veidekke ansvarlig for denne prosessen. Prosesstiden for sprøytebetong belastes salvevolum og får da en oppnådd kapasitet på 357,7 fm³/t.

5.5.12 Heft

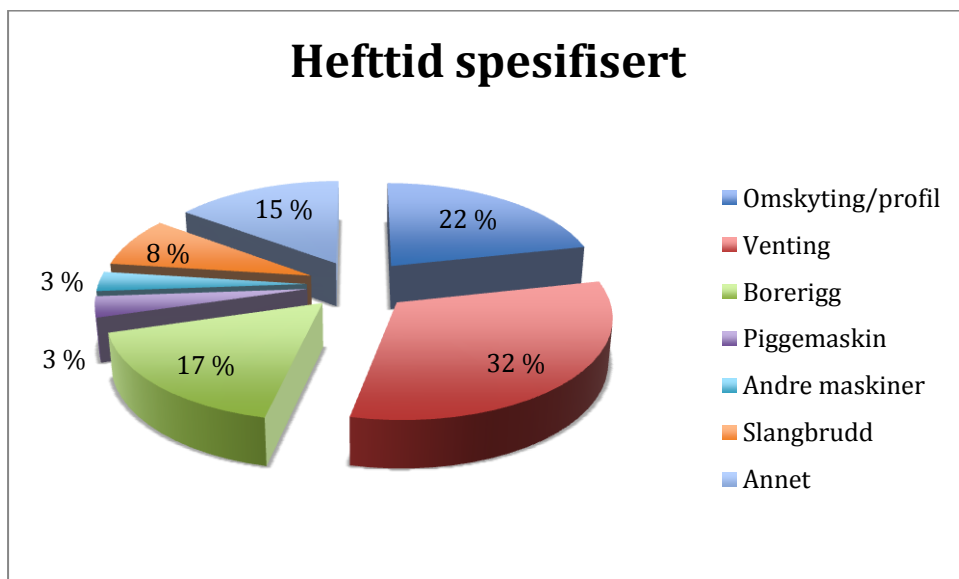
Heft er tid hvor det må brukes ressurser på hendelser som ikke gir inndrift på tunnel. I snitt per salve er det 2,5 timer heft som utgjør 11,6 timer hver uke. Dette er uspesifisert heftid generert av tidsdifferanser i tunnelrapporten. Tiden kalles uspesifisert, fordi det ikke fremkommer direkte fra rapporten hva årsak til heften er. Datagrunnlaget for heftid ligger i Vedlegg B.



Figur 17. Fordeling av uspesifisert hefttid.

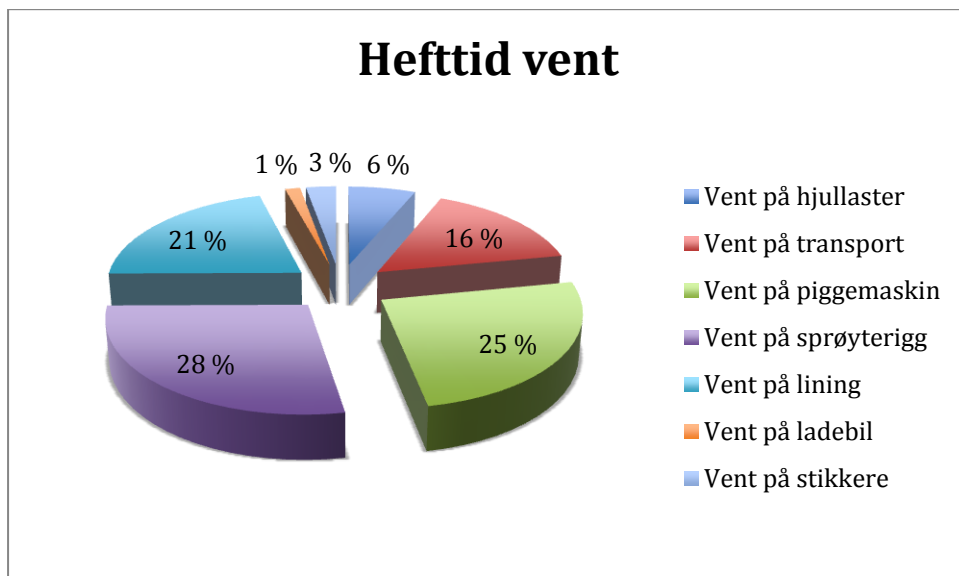
Figur 17 viser uspesifisert hefttid slik det fremkommer i tunnelrapporten. Hefttiden for salveboring, lading og lasting kan ikke kobles direkte til kategori. Disse tidene kommer fra tidsdifferanse mellom prosessene. For eksempel så vil heft med lasting komme av tidsforskjell mellom skyting og lasting. Hvis det skytes kl 12:00 og lasting starter 12:30 vil rapporten generere 30 minutter heft på lasting. For kategori borerigg og annet kan hefttiden kobles direkte, da start og stopp heft skrives inn manuelt i rapporten.

Heft som fremkommer i merknadsfeltet i tunnelrapporten kalles spesifisert heft. Hver salve går i snitt 1,8 timer bort til spesifisert heft. Dette tilsvarer 8,3 timer heft hver uke.



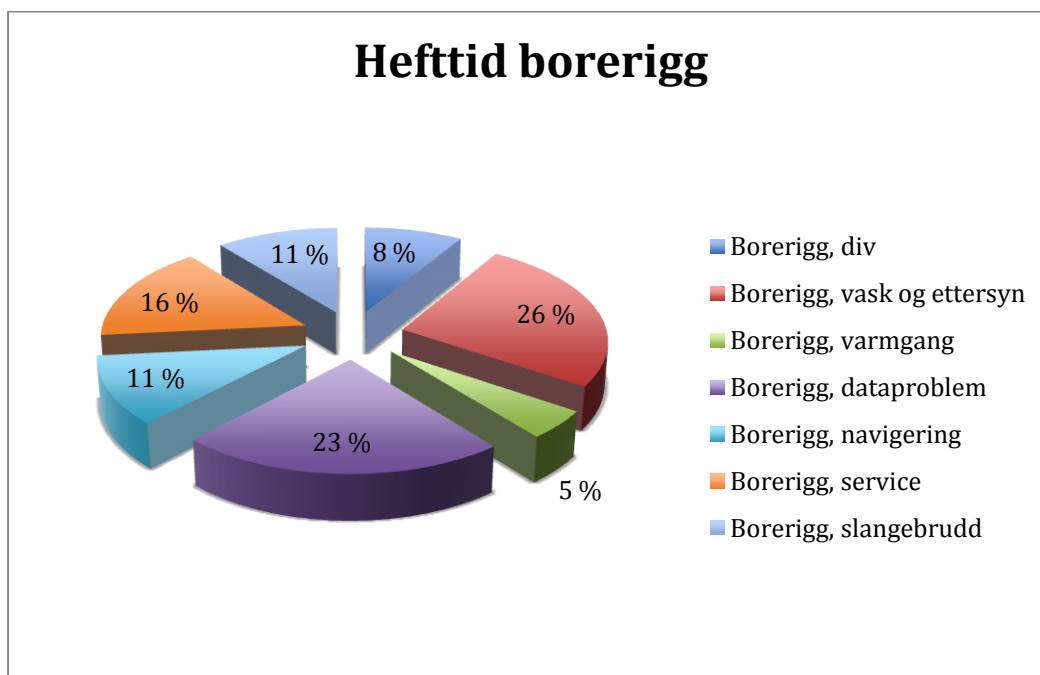
Figur 18. Spesifisert hefttid fordelt på kategori.

Figur 18 viser total hefttid fordelt på ulike kategorier. Det betyr at for eksempel venting som står for mest heft vil i gjennomsnitt stå for 32 % av hefttiden på 1,8 timer per salve. Slangebrudd på borerigg belastet slangebrudd og ikke borerigg i Figur 18, det samme gjelder piggemaskin og andre maskiner. Kategorien annet består av strømbrudd, fryst utstyr, brann, vannpumping og diverse.



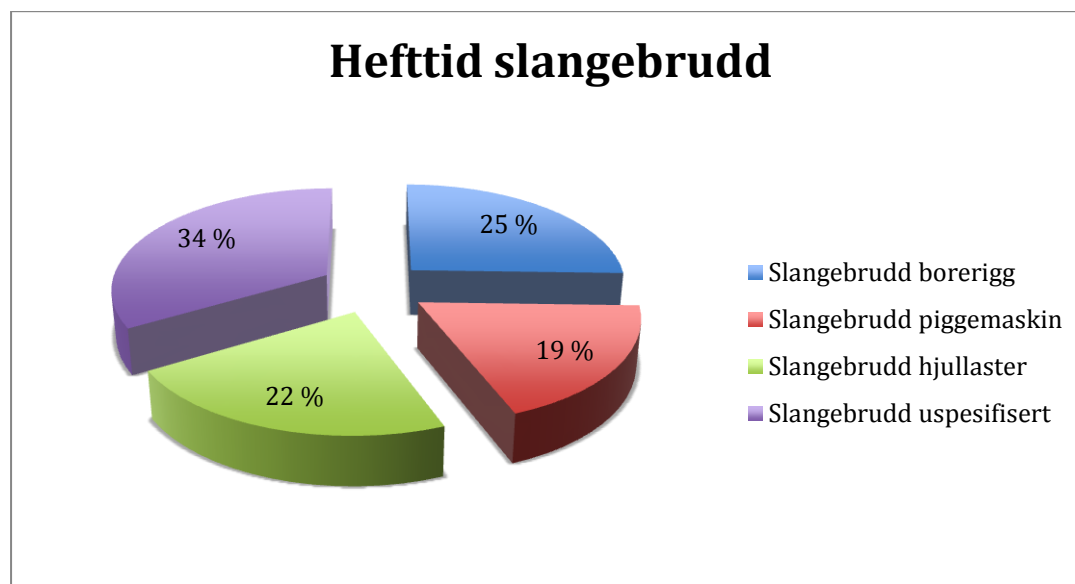
Figur 19. Heft grunnet vent fordelt på kategori.

Heft som følge av ventetid er i snitt 33 minutter per salve. I Figur 19 er hefttid vent fordelt på kategori. Det ventes mest på sprøyterigg (28 %), piggemaskin (25 %) og lining (21 %).



Figur 20. Heft grunnet borerigg fordelt på kategori.

I Figur 20 er hefttiden på borerigg fordelt på kategori. I snitt går 19,8 minutter hver syklus til heft med boreriggen. Kategori vask og ettersyn står for mest heft med 26 % etterfulgt av dataproblem med 23 %. Varmgang og navigering går på boremaskinene, slangebrudd på bom og bormaskin og resten er relatert til hele boreriggen.



Figur 21. Heft grunnet slangebrudd fordelt på maskin.

I Figur 21 er hefttid forbundet med slangebrudd fordelt på kategori. I snitt står slangebrudd for 8,4 minutter heft hver salve. Slangebrudd uspesifisert står for mest med 34 %. Etter følger borerigg med 25 % av slangebruddene og hjullaster med 22 %.

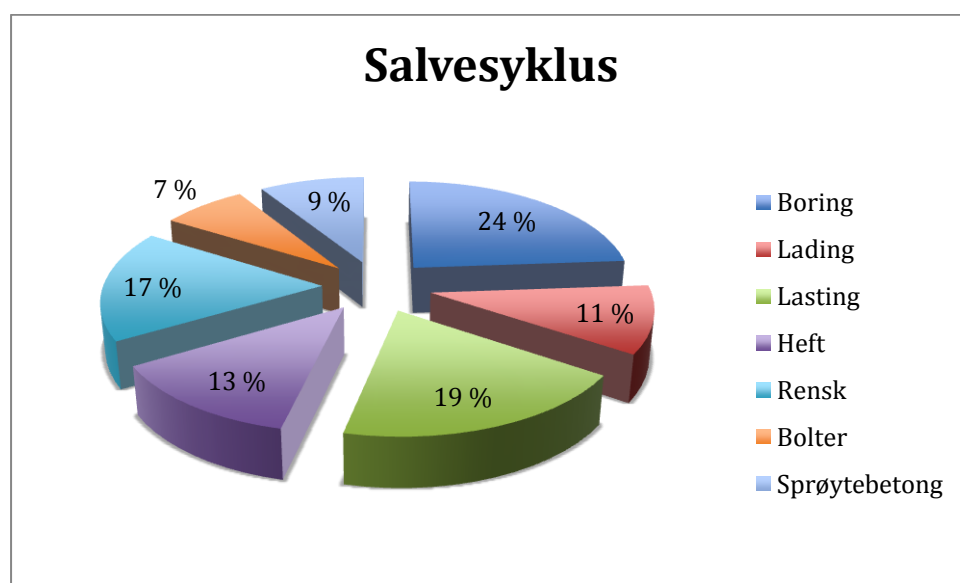
5.5.13 Salvesyklus

I Tabell 4 er alle salvetider med tilhørende kapasitet beregnet ut i fra virkelig drift. I bunn av tabellen er det beregnet gjennomsnittlig volum og inndrift. I den virkelige driften brukes det 19,02 timer i snitt per syklus. Beregningene kommer fra 21 uker med drift. Det er i snitt 4,57 salver per uke med inndrift på 5,09 m per salve. I kolonnen til høyre i tabellen er det oppnådd kapasitet for hver prosess.

Tabell 4. Oppnådde tider og kapasiteter i tunneldrift.

		Prosess	time/salve	fm3/time
På stuff		Boring	4,54	141,0
		Lading	1,99	321,7
		Lasting	2,90	220,6
		Heft	2,46	259,9
Bak stuff	Rensk	Rensk, maskinell	2,52	8,0
		Rensk, manuell	0,77	830,9
		Opprensk	0,76	26,0
	Sikring	Bolter	1,38	463,5
		Sprøytebetong	1,70	375,7
		Sum	19,02	

Per salve	Volum	639,8	fm3
	Boret lengde	5,2	m
	Inndrift	5,09	m
Salver per uke		4,57	



Figur 22. Prosentvis fordeling på de ulike prosessene og heft i en salvesyklus.

I Figur 22 er salvesyklusen prosentvis fordelt på prosess og heft. Boreprosessen står for største andel av tidsforbruk med 24 %. Etter kommer lasteprosess med 19 % og renskeprosess med 17 %. Heft er fjerde største tidssluk med hele 13 % av salvesyklusen.

6.0 Utnyttet kapasitet

I dette kapitlet vil teoretisk kapasitet på maskinene beregnes. Det legges til grunn at det opereres under optimale forhold. Beregning av kapasitet er viktig for å undersøke om det finnes forbedringspotensiale for maskinbruken. Det er kun gjort beregninger for arbeidet som foregår på stuff (boring, lading, lasting og transport). Arbeidet som kommer bak stuff (rensk, opprensk, bolting og sprøytebetong) er sterkt avhengig av fjellforhold og vil variere mye. Tidsforbruk på rensk er avhengig av effekt fra sprengning. Det samme gjelder også for opprensk, hvor tidsforbruk kommer an på volum som renskes. Bolting og sprøyting er avhengig av kvalitet på fjell. Kapasitet er derfor ikke beregnet for disse prosessene. Heft kalkuleres ikke, under optimale forhold vil ikke heft forekomme.

I Tabell 5 er det oppsummert tidsforbruk per salve og kapasitet for hver prosess. Forskjell mellom teoretisk og virkelig drift er oppgitt i prosent til høyre i tabellen. Dette er definert som utnyttelsesgraden.

Tabell 5. Forskjell mellom teoretisk og virkelig drift.

Prosess	Time/salve		fm ³ /time		%
	Teoretisk	Virkelig	Teoretisk	Virkelig	
Boring	2,9	4,5	220	141	64
Lading	1,3	2,0	500	322	64
Lasting	2,3	2,9	275	221	80
Transport	2,2	2,9	291	221	76

6.1 Boring

Teoretisk kapasitet

Kapasiteten til en boremaskin måles i boremeter per time. For netto borekapasitet vil tiden inkludere:

- Boring, 45 mm hull
- Boring, 102 mm hull
- Flytting, som inkluderer:
 - Flytting av boremaskinen fra hull til hull
 - Innretting
 - Påskråming
 - Uttrekk av stenger
- Kroneskifte

For optimale forhold, det vil si at alt fungerer som det skal og fjellet har god borbarhet, må det byttes krone på bormaskinene for hver 100 boremeter. Rangeringstid for boreriggen vil bestå av:

- Inn- og utkjøring av borerigg
- Til- og frakopling av elektrisk strøm og vann

- Oppstilling av borerigg

Under teoretisk drift regnes kun rangering start for boreriggen. Maskinen brukes til neste prosess som er lading og blir derfor stående ved stoff. Rangering slutt for boreriggen vil foregå før ladeprosessen avsluttes.

I Tabell 6 er teoretisk kapasitet for boreriggen kalkulert. Boreriggen har en kapasitet på 630 boremeter per time. Med 200 hull på 5,2 meter gir dette en boret lengde på 1040 meter fordelt på tre boremaskiner. Det antas at alle borekroner er byttet før borestart. Da kan det bores 300 meter før første bytte. Det må da utføres to kronebytter under prosessen. Det ene byttet går inn i tiden ekstratid grovhull, da 102 mm borekrone må byttes. Det andre kroneskifte tar tre minutter, ett minutt per boremaskin. Flytting i mellom hull tar i snitt 0,75 minutter.[18]

Tabell 6. Teoretisk kapasitet for borerigg.[18, 22, 43, 44]

Prosess	Boring	
Utstyr	Tunnelrigg AC RB XE3 C30	
Bormaskin type	Atlas Copco 3038	
Antall bormaskiner	3	
Kapasitet per boremaskin	210	boremeter/t
Kapasitet borerigg	630	boremeter/t
Antall borehull	200	hull/tverrsnitt
Boret lengde	5,2	m
Sum boremeter	1040	m
Volum	639,8	fm ³
Flytting	0,75	min/hull
Ekstratid grovhull	5	min/syklus
Kroneskifte	3	min/syklus
Tidsforbruk per salve	174,7	min
Rangering start	15	min
Kapasitet boret volum	<u>220</u>	<u>fm³/t</u>

Boreriggen har potensiale til å oppnå en teoretisk kapasitet på 220 fm³/t. Sammenliknet med oppnådd kapasitet på 141 fm³/t har salveboringen utnyttelsesgrad på 64 %.

Årsak til avvik

Salveboringen skal i følge teoretiske beregninger bruke i overkant av 3 timer på prosessen. I virkeligheten brukes det 4,5 timer. Sløsing av ekstra tid fordeler seg hovedsakelig utstyrsproblematikk, teknologi og venting.

Mange problemer skyldes slitasje på utstyret fordi boremaskinene tvinges til å bore et nøyaktig tverrsnitt. Når profilen tvinges innover presses boremaskinene ut mot tunnelveggen som skaper stor mekanisk slitasje på utstyret. Dette medfører til slutt driftsstans på en boremaskin eller hele riggen på grunn av reparasjon. Hadde man boret med mer stikk, det vil si at konturhullene spriker mer ut fra tverrsnittet ville mye slitasje vært unngått. Grunnen til at dette ikke blir gjort er at boring med mye stikk genererer en annen form for sløsing som er overproduksjon. Boring med sprik gir overproduksjon i form av for stort tverrsnitt. Kostnadene med denne formen for sløsing er mye større enn reparasjon og korte driftsstanser. Overproduksjon vil innebære mer steinmasse som må transporteres ut og et merforbruk av betong på etterarbeidet.

Teknologien holder ikke mål. En ny borerigg skulle kunne bore på full auto, men ifølge basene gjøres dette manuelt fordi det går raskere. Det bores i såkalt halvdata. Operatøren ser på skjerm og retter inn boremaskinene manuelt, dette skjer med tre forskjellige boremaskiner. Det stilles høye krav til en kompetent operatør for å utnytte boremaskinenes kapasitet.

Venting kommer av at ladeprosessen utføres delvis samtidig med boreprosessen. Når lading foregår fra personkorgen brukes noe ekstra tid for å organisere og flytte boremaskiner.

6.2 Lading

Teoretisk kapasitet

Ladekapasitet er avhengig av antall slanger det kan lades med og kapasiteten på hver slange. Kapasitet per slange er en teoretisk verdi som gir en hastighet i meter per time. Hastigheten bestemmes ut i fra hvor mye sprengstoff som skal ligge igjen i borehullet og kapasiteten på pumpen. Beregninger fra Veidekke oppgir at kapasitet per slange er på 275 m/t.[25]

Ved optimal drift kan det benyttes fire slanger til lading. Rangering start for ladeprosessen utføres parallelt med salveboring. Når ladeprosessen er ferdig må alt ut til sikker avstand på grunn av sprengning. Boreriggen har blitt kjørt vekk når resterende kobling av salven ble utført. Rangering slutt innebærer å laste opp i ladebilen og kjøre denne ut.

I Tabell 7 er teoretisk kapasitet for ladeprosessen beregnet. Det er totalt 1040 meter med hull som skal fylles med sprengstoff via fire slanger. Dette gir et tidsforbruk per syklus på 76,7 minutter. I denne tiden er det medregnet tiden det tar å koble opp de siste ladningene, tømme slangene for sprengstoff, varsle sprengning og selve sprengningen. Dette tar 15 minutter og rangering slutt inngår i denne tiden.

Tabell 7. Teoretisk kapasitet for lading og skyting.[18]

Prosess	Lading	
Utstyr	Ladebil	
Antall slanger	4	
Kapasitet per slange	275	m/t
Kapasitet totalt	1100	m/t
Antall borehull	200	hull/tverrsnitt
Boret lengde	5,2	m
Sum boret lengde	1040	m
Volum	639,8	fm ³
Ladetid per tverrsnitt	56,7	min
Resterende kobling, tømming av slanger, varsling og sprengning	15,0	min
Tidsforbruk per salve	76,7	min
Rangering slutt	5,0	min
Kapasitet	500	fm ³ /t

Med teoretisk kapasitet på 500 fm³/t og en oppnådd kapasitet på 322 fm³/t har ladeprosessen utnyttelsesgrad på 64 %.

Med bruk av tre slanger ville den teoretiske kapasiteten vært 400 fm³/t og utnyttelsesgraden vært på 80 %.

Årsak til avvik

Ikke nok arbeidskraft i drivelaget gjør at alle slangene ikke kan benyttes samtidig. Når lading foregår parallelt med boring vil også regler for sikkerhet være en begrensende faktor.

6.3 Lasting

Teoretisk kapasitet

Det antas at hjullaster og skuffe er optimal i forhold til massen som skal lastes og tverrsnitt på tunnel. Videre er lastekapasiteten beregnet for opplasting med god plass, erfaren sjåfør, toppet skuffe, flatt underlag og riktig fragmentert steinrøys. Hjullasteren vil ha en syklustid som er hentet fra leverandør og manualer.

Syklustiden vil inneholde:

- Fylling av skuffe
- + Heving av skuffe
- + Tømming av skuffe
- + Senkning av skuffe
- + Kjøring med full skuffe, rygging og framkjøring
- + Kjøring med tom skuffe, rygging og framkjøring
- = Syklustid for laster

Heving av skuffe med last utføres samtidig med rygging og framkjøring. Senkning av tom skuffe utføres også samtidig med rygging og framkjøring. Denne syklusen tar 0,7 minutter. Med normal fragmentert steinrøys har skuffen fyllingsgrad på 0,75, som vil si at lastet volum tilsvarer 75 % av teoretisk lastevolum.[18, 43, 45] Med disse forutsetningene har hjullasteren en teoretisk lastekapasitet kalkulert i Tabell 8. I samme tabell er prosessen satt opp med rangering start. Dette vil være tiden hjullasteren bruker på å kjøre inn etter sprengning og rigge seg klar for lasting. Etter endt prosess starter rensk med renskeriggen. Renskeriggen kan kjøre inn og stå klar til arbeid når hjullaster er ferdig. Derfor utgår rangering slutt for hjullaster.

I Tabell 8 omregnes løst volum til fast volum med faktor 1.6. Med fyllingsgrad på 0,75 har skuffen et teoretisk volum på 3,33 fm³. Med syklustid på 0,7 minutt vil hjullasteren bruke 139,6 minutter på lasteprosessen.

Tabell 8. Teoretisk kapasitet for hjullaster. [18, 43, 45]

Prosess	Lasting	
Utstyr	Hjullaster Volvo L350F	
Skuffe	Sidetippeskuffe	
Skuffevolum	7,10	lm ³
Omregning fm³ til lm³	1,6	
Fyllingsgrad	0,75	
Skuffevolum 2	3,33	fm ³
Volum	639,8	fm ³
Syklustid laster	0,7	min
Tidsforbruk per salve	139,6	min
Rangering start	5,0	min
Kapasitet	<u>275</u>	<u>fm³/t</u>

Beregnet teoretisk kapasitet for hjullasteren gir 275 fm³/t. Oppnådd kapasitet er 221 fm³/t. Utnyttelsesgrad hjullaster er da 80 %.

Årsak til avvik

Hjullasteren er den prosessen med høyest utnyttelsesgrad. Målet er at hjullaster skal være begrensning i lasteprosess, og det er den i følge teoretiske beregninger. I virkeligheten må den i noen tilfeller vente på dumpere, fordi de utfører jobb ved en annen stuff. En annen årsak til avvik er hvor godt fragmentert steinrøysen er. Hvis fragmenteringen ikke er optimal vil håndtering av store blokker øke syklustiden.

6.4 Transport

Teoretisk kapasitet

Transport av steinmasse kan utføres med dumper eller lastebil. Teoretisk kapasitet regnes ut for dumper da det blir brukt i Ulvintunnelen.

Ved bruk av dumper vil størrelse og antallet bestemmes ut i fra kapasiteten til hjullasteren, transportavstand og stigningsforhold på kjørebane. Det bør velges slik at hjullaster er begrensningen, da vil uttransport av masse være mest effektivt. Det antas at alle dumpere kjører med toppet lass (2:1) og at det ikke brukes unødvendig tid på å snu maskinen og rygge lengre strekninger.

Syklustiden til en dumper vil bestå av:

Rangering i tunnel, tom	1,2	min
+ Lasting med hjullaster	4	min
+ Kjøring ut av tunnel, med last, 500m	1,5	min
+ Kjøring på tipp, med last, 300m	1	min
+ Rangering på tipp	0,4	min
+ Tipping	0,45	min
+ Kjøring fra tipp, tom, 300m	0,6	min
+ Kjøring inn i tunnel, tom, 500m	1	min
= Syklustid	10,2	min

Kjøretidene er bestemt ut i fra ytelsesmanual for 35 tonns Volvo hjullaster, med en rullestand på 0,8 og flat kjørebane uten svinger. Se Vedlegg C for klassifisering av rullestand.

For fire dumpere vil massetransporten ut av tunnelen ha en kapasitet beregnet i Tabell 9. Hver dumper har lastekapasitet på 12,8 fm³ etter omregning fra løst volum. Med syklustid på 10,2 minutter bruker de fire dumperne 131,7 minutter på uttransport salvevolumet. Transportprosessen starter samtidig med lasteprosessen som er umiddelbart etter sprengning. Rangering start vil være tiden første dumper bruker på innkjøring og rangering i tunnel for å være klar til opplasting. Rangering slutt utgår da renskerigg står klar for neste prosess da transporten er ferdig.

Tabell 9. Teoretisk transportkapasitet for dumper. [18, 46]

Prosess	Transport	
Maskin	Dumper Volvo A35FS	
Antall maskiner	4	stk
Lastekapasitet	20,5	lm ³
Omregning fm³ til lm³	1,6	
Lastekapasitet	12,8	fm ³
Volum	639,8	fm ³
Syklustid per lass	10,2	min
Tidsforbruk per salve	131,7	min
Rangering start	5,0	min
Kapasitet transport	<u>291</u>	fm ³ /t

Med beregnet teoretisk kapasitet på 291 fm³/t og en oppnådd kapasitet på 221 fm³/t har dumperne en utnyttelsesgrad på 76 %.

Årsak til avvik

Med fire dumpere er tilgjengelig kapasitet godt utnyttet. Det avviket som er kan skyldes stigning fra påhugg til tipp, høyere rullestand eller venting i tunnel på grunn av møtende dumpertrafikk.

7.0 Diskusjon

7.1 Informasjonsflyt

En av de største utfordringene til Veidekke ligger i informasjonsflyten, spesielt når det gjelder videreføring av tidsforbruk i tunnel. Systemet som brukes i dag er til dels tidkrevende og komplisert. Mye av informasjonen som blir nedtegnet blir i mange tilfeller ikke brukt, verken underveis eller i etterkant, fordi den inneholder for mye feil.

Oppfølging er en veldig viktig prosess i prosjektarbeid. Oppfølging innebærer å registrere status i prosjektet, identifisere avvik og forklare årsakene, og definere og sette inn tiltak.[47] Veidekke har god oppfølging på materialforbruk og inndrift, som også brukes opp mot byggherre. Men når det kommer til oppfølging av tidsbruk har Veidekke et stort forbedringspotensiale.

For å følge opp et prosjekt er det avgjørende at den informasjonen som blir rapportert oppover i organisasjonen har riktig innhold. Det kan være flere årsaker til at informasjonen ikke er riktig. Noe kan skyldes selve systemet som brukes i rapporteringen. Excel brukes i dag som rapporteringssystem. Med mange automatiske formler kan et regneark være komplisert, det fungerer bra nok for rapportering av rene tall, men for tidsdata er nok ikke systemet optimalt.

Fordelen med Excel er at det er et kjent program for de aller fleste og at bedriften selv kan konstruere regnearkløsninger som fungerer. Det er ingen direkte kostnader med å bruke programmet når det først er installert, noe som det er på alle datamaskiner i Veidekke. En rapport i Excel er lett å formidle rundt i en organisasjon. Svakheter med programmet er utfordringen med å konstruere et feilfritt regneark. I et komplekst regneark vil også en feil være vanskelig å oppdage. Det stilles også krav til at brukeren har en viss kompetanse i bruken av programmet.

Et nytt og bedre informasjonssystemet kunnet løst dette problemet, men spørsmålet er om det ville løst de virkelige problemene? Alt for ofte blir tiltak iverksatt før roten til problemet er funnet. Problemet til Veidekke er mer omfattende enn et svakt informasjonssystem.

Noe av utfordringene ligger i fokuset på oppfølging. Det blir kanskje fokusert for mye på inndrift tunnel og forbruk av materialer og timeverk. Dette er tall som gir direkte kroner inn eller ut av kassa. Tallene som forteller om sløsing av ressurser blir det vist liten interesse i. Kanskje har Veidekke blitt "sløvet" av de siste årene med gode overskudd. Da kan lett problemene ignoreres, fordi sluttresultatet blir positivt likevel. Men det er viktig å ikke glemme kostnadene og ikke minst tiden forbundet med sløsing. Ved å øke fokuset på reduksjon av sløsing kan man bedre resultatene ytterligere. I en hardere konkurranse kan det bety forskjellen på å overleve eller ikke.

Siden Veidekke er i en situasjon i dag hvor de opererer med overskudd, vil det være en utfordring å skifte fokus for å bli mer effektiv. Markedsutviklingen viser

at konkurransen vil bli tøffere i årene som kommer.[6]Ledelsen må ta tak i utfordringene og gjøre noe med disse før det kanskje er for sent.

Fokusskifte i en organisasjon kan by på mange utfordringer. Motstand mot forandring kan ofte være større i en stor organisasjon enn en liten. Viljen til endring må komme fra toppledelsen, en leder må tørre å ta det første skrittet. Når det er gjort blir neste utfordring å få hele organisasjonen til å dra i samme retning. Alle i organisasjonen, helt ned til drivelaget på stoffen må tenke likt. Det handler om å forandre en hel organisasjonskultur. Nye holdninger må skapes og alle må jobbe mot samme mål. Det finnes flere verktøy for å endre holdninger i en organisasjon. Lean construction bruker et virkemiddel som er å etablere eierskap til prosjektet.[40]

Enhetspriskontraktene kan også ha innvirkning på holdningene til organisasjonen. Med denne formen for kontrakt, står byggherren for prosjektering, og entreprenøren for utførelse av prosjektet. Det overlates lite kreativitet til entreprenør. Fordelen for entreprenør er at risiko ligger hos byggherre. Ulempen er at det ikke fordrer til å tenke nytt og utvikle smarte løsninger.[48]

7.2 Heft

Et av de viktigste prinsippene med lean er fjerning og reduksjon av sløsing. [35] Heft er unødvendig sløsing og det skaper ingen verdi, men koster tid og penger. Industribedrifter har høy fokus på fjerning av sløsing. I en hard internasjonal konkurranse som industrien opererer i, er bedriftene nødt til å fokusere på mindre sløsing. Hvis ikke blir konkurransen for tøff.

Heft har utgjort mye tid i salvesyklusen på Ulvintunnelen. I snitt brukes 2,5 timer per salvesyklus på heft. Dette utgjør 13 % av en hel salvesyklus. Hver syklus med heft koster omtrent 13.000 kroner, og hver uke med drift koster dette omtrent 61.000 kroner.

Hvor reelt det er å operere med 2,5 timer heft i hver syklus kan diskuteres. Registrert heft trenger nødvendigvis ikke å bety at alt står stille og ingen får gjort noe produktivt. Både uspesifisert og spesifisert heft gir ingen informasjon om det foregår arbeid parallelt med hefttiden. Det er lite sannsynlig at alt arbeid stopper opp under heft. I de fleste tilfellefellene vil det ikke være drift på selve stoffen, men annet forefallende arbeid kan utføres mens problemet utbedres. Hefttiden kan for eksempel brukes til å gjøre klart til neste prosess, noe som vil gi spart tid senere i salvesyklusen.

Det skiller 0,7 timer mellom uspesifisert og spesifisert heft. Mye kommer av spesifisert heft som ikke er dokumentert med tid. Heften blir da utelatt fra beregningene og spesifisert totaltid vil bli noe mindre. Spesifisert heft vil hver syklus koste omtrent 10.000 kroner som tilsvarer 45.000 kr hver uke med drift.

Årsakene til heft kan skyldes flere forhold og ofte kombinasjoner av flere små problemer. På FP2 skyldes det på kompleksiteten ved hele prosjektet og

internasjonalt samarbeid.[48] Men for å finne ut hvorfor egentlig hefttid oppstår må tidene deles opp og diskuteres hver for seg.

Venting

Venting er den største hefttiden med 32 % av all heft. Det ventes mest på sprøytebetong, piggemaskin, lining og transport. Årsaken til at det ventes er oftest på grunn av at driftsmaskinene befinner seg på en annen stoff. Flere stuffer som deler på de samme maskinene er økonomisk gunstig. Det øker driftstid og utnyttelse av maskinene som koster om de blir brukt eller ikke. Hvor mange maskiner som behøves for å dekke behovet til flere stuffer er et matematisk problem som kan løses. En ting vil være å regne på hva som er mulig, men noe annet er det som skjer i praksis. Utfordringene stiller seg i kø når driften ikke går som planlagt.

Når flere stuffer behøver de samme maskinene til samme tid, kan det være et resultat av dårlig planlegging. Formenn og driftsledere er ansvarlige for at den ukentlige og daglige driften går i henhold til planen. På FP2 skal driften planlegges av arbeidskraft fra tre nasjoner, hvor tunneldrivingen må koordineres mellom norske og svenske arbeidslag. Nye og ukjente måter å samarbeid på kan være en årsak til at planleggingen ikke fungerer optimalt.

Språket kan også være en utfordring i planleggingen. Forskjellige kulturer mellom land kan også bidra til å vanskeliggjøre planleggingen på tvers av aktivitetene på prosjektet. Svenskene gjør det på sin måte og nordmennene på sin. Det å være fleksibel og tilpasse seg den andre kulturen kan være en utfordring. Det stiller høye krav til en god leder som skal imøtekomme alle behovene. Det må prioriteres hardt og velges ut i fra prosjektets beste, ikke etter hvert enkeltes behov. Til tider vil dette føre til at noen ikke får det som de vil og må se andres behov komme foran sitt eget.

For mye fokus på enkelthendelser gjør at fokus på helheten blir borte. Dette er noe lean construction forsøker å fjerne. Det skal tilstrebes å skape flyt mellom aktiviteter, istedenfor å effektivisere enkelthendelser.[40]

Et av prinsippene i lean construction er å bruke mer tid på planlegging og involvere formenn og driftsledere mer i denne prosessen. Hvis planene legges med lederne som er involvert i den daglige driften vil ventetiden reduseres. Dette ble gjort under renoveringen av Glennon Hospital for Childre, St. Lois. Prosjektet ble startet med tradisjonell prosjektstyring, men gikk over til lean construction metoden. Med lean metoden ble det observert flere suksesser, spesielt med relokalisering av utstyr som er en kompleks og utfordrende jobb ved et sykehus. Suksessen kom av at driftsledere og formenn var involvert tidlig i planleggingen.[40]

Ventetid er heft som kan reduseres med enkle og rimelige grep. Et alternativ ville vært å sette inn flere maskiner, men som kanskje ikke er det rimeligste alternativet. Bedre planlegging er derimot et rimeligere alternativ.

Ventetiden tilsvarer 33 minutter hver syklus. Antatt at planlegging fungerer optimalt mellom de norske og svenske tunneldriverne, kan ventetid reduseres til null for aktivitetene som samkjøres mellom dem. For sprøyterigg som er avhengig av eksterne, samt liningen, beholdes ventetid slik den står. Da vil det kunne være teoretisk mulig å redusere den totale ventetiden med 51 %, noe som tilsvarer 17 minutter mindre ventetid i hver syklus.

Omskyting/profil

Gjennomsnittlig går 22 % av heft i hver syklus til omskyting. Omskyting skyldes at sprengning ikke har gitt god nok effekt og at det kan stå igjen små knauser med fjell i tunnelen. Årsaken til mye omskyting kan relateres til at tunnelprofilen ønskes så nær den teoretiske tunnelprofilen som mulig. Av den grunn fylles ikke konturhullene med like mye sprengstoff som vanlig. For stor tunnelprofil har store økonomiske konsekvenser. 1 cm større tverrsnitt koster 1 million kroner ekstra i betong for Ulvintunnelen.[48] Grunnet dette er det sterkt fokus på å holde trang profil.

Teknikken med betonglining har ikke blitt brukt i Norge før og problematikken knyttet til nøyaktig profil er ny.[18] Tidligere har det vært vanlig med sprøytebetong og/eller montering av ferdige tunnelelementer. Med denne teknikken vil ikke større tverrsnitt ha større økonomiske konsekvenser en noe mer massetransport. Lite erfaring og svak teknologi kan være årsaker til omskytninger. Utstyret brukes mer nøyaktig, og mye manuell styring av boremaskinene kan tyde på at automatikken ikke er god nok. Samtidig som det er lite erfaring rundt tekniker med å bore nøyaktig og trangt.

Uansett om det skal utføres lining eller ikke i en tunnel vil en overproduksjon av stein ikke være lønnsomt. I en industribedrift ville varsellampene blinket umiddelbart hvis det ble produsert mer enn behovet er. Erfaringene fra Ulvintunnelen er en god mulighet for å utvikle teknikk og teknologi forbundet med å drive et mer nøyaktig tverrsnitt. Lærdom fra prosjektet kan bidra til mer effektiv drift i fremtiden.

Grunnet samarbeid med andre firmaer på tunneldrivingen kan det bli en utfordring å ta vare på erfaringene. Når et prosjekt avsluttes kan fokuset fort flyttes til neste prosjekt, og lærdommen fra forrige prosjekt glemmes.

Forbedringspotensialet ved denne hefttiden er til stede, men et anslag på hvor mye, vil være svært vanskelig å tallfeste. Det kreves forskning, prøving og feiling, bedre teknologi og utvikling av egen erfaring og kompetanse. Det kalkuleres ikke inn noen reduksjonstid på denne hefttiden.

Borerigg

Boreriggen står for 17 % av den totale hefttiden, hvor vask og ettersyn står for største andel med 26 % av hefttiden på boreriggen. Grunnlaget for andelen baseres på to hendelser med vask og ettersyn.[49] Grunnet relativt kort dataperiode på 21 uker vil denne hendelsen gi stort utslag på totalandel. Det

samme gjelder for service på borerigg som står for 16 % av tiden. Service ble utført en gang under drift og kan heller ikke betraktes som et gjennomsnitt.[49]

De vanligste problemene med boreriggen er data, navigering, varmgang og slangebrudd. Et svakt punkt med boreriggen er som nevnt teknologien, den holder i mange tilfeller ikke mål.[48] Et fåtall internasjonale produsenter gjør at tunnelbransjen er prisgitt leverandørene. Ofte er selgeren flink, men når det kommer til oppfølgingen så kunne dialogen med leverandøren vært bedre. Utstyret som leveres bærer preg av liten utvikling og forbedring de siste årene.[48] Resultatet er at det brukes mye tid på reparasjon og vedlikehold. Større tunnelverrsnitt enn før og høyere krav til nøyaktighet sliter også mer på maskinene.

Men hvorfor utvikles ikke teknologien? Ansvarer trenger ikke nødvendigvis bare ligge hos produsent. Bransjen kunne selv investert i midler som kan bedre teknologien. Å budsjettere med midler til teknologiutvikling kan virke negativt på resultatet, i hvert fall på kort sikt. Men på lengre sikt vil det betale seg tilbake i form av en mer effektiv drift.

Med en noe bedre teknologi vil det være sannsynlig å kunne halvere alle dataproblemer med boreriggen, antatt at feil skyldes software. Service settes lik null, fordi enkel planlegging muliggjør service når boreriggen ikke er i drift. Navigering er et større problem som går på teknologi, denne er det lite sannsynlig å redusere med det første. Samme antakelse gjelder for varmgang. Vask og ettersyn vil det nok lønne seg å opprettholde for å unngå flere driftsproblemer. Et sannsynlig mål for slangebrudd kan være å halvere antall brudd med et bedre vedlikehold. Oppsummert kan hefttiden med boreriggen reduseres med 33 % ved hjelp av relativt enkle grep. Dette tilsvarer en reduksjon i hefttid som tilsvarer 6,5 minutter i hver syklus.

7.3 Eierskap

Omtrent 15 % av all hefttid kan relateres til problemer med maskiner, hvor slangebrudd er hyppigste årsak. Noe av problematikken skyldes at flere skift deler samme maskiner. Flere brukere og forskjellige brukere gir større slitasje og mer problemer med maskinene.

Det er veldig ulik kompetanse blant tunneldriverne når det gjelder maskiner og vedlikehold. Dette kan medføre at noen gjør grundig kontroll og vedlikehold, mens andre kanskje ikke vet riktig hvordan det skal gjøres. Et dårlig utført vedlikehold vil som regel ikke gi utslag umiddelbart, men kanskje på neste skift. Ansvarsfraskrivelse kan fort bli et problem når en feil oppstår, og det er uvisst hva eller hvem som har skyld i feilen. Kanskje kan et problem være at arbeiderne har for lite eierskap til maskinene.

Eierskap er en sak som berører det psykiske aspektet med hva slags følelser mennesker har til en gjenstand. Hvis gjenstanden, i dette tilfellet en maskin forbindes med slitsomt og tungvint arbeid, så vil motivasjonen for å passe den

være lav. Om en maskin ser tøff ut og er artig å kjøre, så vil motivasjonen for å passe på den være mye høyere.[25]

Å passe på de "tøffe" maskinene er stort sett lite problematisk, utfordringen ligger i å skape interesse for de "kjedelige" maskinene. Alle maskinene er essensielle for å holde driften i gang. Denne forståelsen går på holdninger og ansvarfølelsen til prosjektet. Kulturen innad i drivelaget er avgjørende for å skape de riktige holdningene.

Lean construction handler også om å skape eierskap til prosjektet. Alle arbeiderne har løfter de skal holde for hverandre. På samme måte burde maskiner "eies" av egne ansvarshavende i hvert skift. Ved å skape eierskap til en maskin vil personen passe på og sørge for at den er i topp stand til enhver tid. Man blir kjent med maskinen og vet hva som må vedlikeholdes ekstra nøye. Utfordringen blir når to personer i hvert sitt skift skal dele på eierskapet. Det krever at de holder løfter for hverandre med å forlate maskinen i topp stand ved endt skift.

Hvor mye av hefttiden på 27 min som kan reduseres med bedre eierskap er vanskelig å vurdere. Men større grad av eierskap vil i hvert fall skape en bevisstgjøring på vedlikehold og gi bedre kjennskap til maskinene. Feil og mangler blir oppdaget på tidligere tidspunkt og kan utbedres før noe ryker. Ett dristig mål kan være å halvere all maskinheft. Fjernes problemer med borerigg vil en halvering av maskinheft tilsvare omtrent 9 min mindre hefttid per syklus.

7.4 Reduksjon av heft

Oppsummert vil innføring av relativt enkle grep gi en redusert hefttid med 32,5 minutter. Dette tilsvarer 2.950 kr hver syklus og 13.500 kr hver driftsuke. For hver kilometer tunnel drevet, vil dette innebære kostnader spart på over 1,4 millioner kroner.

Det kan diskuteres hvor riktige de antatte besparelsene er. Selv om de ikke er helt riktige så viser de kostnadseffekten ved å redusere heft. Med riktige tiltak og innstillinger vil en slik reduksjon være oppnåelig. Ett minutt høres ikke mye ut i en syklus, men for en tunnel på en kilometer betyr dette nesten 18.000 kr til sammen. Dette viser at det er lite som skal til for å spare kostnader og bli mer effektiv.

7.5 Kultur

Arbeidslysten og stå-på-viljen til et drivelag i en tunnel er noe de fleste andre bedrifter bare kan misunne. De har en kultur for å gi 100 % innsats på hvert skift med fokus på å drive en tunnel lengst mulig inn i fjellet. Det gir et inntrykk av at man befinner seg i en konkurranse mellom skiftene. Alle i laget pusher hverandre for å jobbe mer effektivt.

Kulturen i tunneldriften stammer antakeligvis fra vannkraftsepoken i Norge på 1970- og 80-tallet. Da var tunneldriften på topp og mange dyktige tunneldrivere

ble rekruttert. De var flinke og praktiske arbeidsfolk som var tilgjengelig og motivert for denne typen arbeid. I de senere år har det blitt mer fokus på at alle skal gå på skolen og få en utdanning. Den nye trenden fører med seg at de praktiske yrkene har større vanskeligheter med å rekruttere dyktige folk.

Hos Veidekke arbeider fortsatt noen av de "gamle gutta" fra vannkraftsepoken i tunnel. Disse har satt en standard for kultur i tunneldrift og sitter på opptil 40 års erfaring med faget. Et generasjonsskifte står for tur når denne kunnskapen forsvinner. Om kulturen også forsvinner med dem er for tidlig å si. Det vil bli en utfordring å ta vare på kulturen og rekruttere nye dyktige tunneldrivere.

Ny og ung arbeidskraft vil også kunne tilføre virksomheten nye tanker og holdninger. Kanskje det er dette som skal til for å skifte fokus i en hel organisasjon. Nye arbeidere og nye ledere har ofte mindre vegring for å gjøre forandring.

7.6 Kapasiteter

Under kapasitetsberegninger har det blitt lagt til grunn at maskinene operer under optimale forhold. Selv om forholdene i en tunnel ikke er optimale så viser utnyttelsesgraden at maskinenes kapasitet er godt utnyttet.

Laste- og transportprosessen har en utnyttelsesgrad på 80 % og 76 %, noe som er svært bra. Bore- og ladeprosessen har en utnyttelsesgrad på 64 %.

Høy utnyttelsesgrad, spesielt for lasting og transport viser at samarbeidet innad i laget fungerer godt. Dyktige sjåførere og fokus på flyt i prosessen bidrar til at maskinene i stor grad er begrensende faktor.

For boreprosessen vil en forbedring av teknologien heve utnyttelsesgraden. Teknologiu utvikling er en omfattende og ressurskrevende prosess. Om satsing på dette området vil forsvare seg økonomisk må vurderes. Tatt i betraktning den teknologien som er tilgjengelig fra leverandør, er også boreprosessen godt utnyttet.

Ladeprosessen kunne blitt mer effektiv ved å sette inn ekstra arbeidskraft. Da kan flere slanger blitt utnyttet og prosessen ville tatt kortere tid. Dette blir ikke gjort grunnet økonomiske årsaker. Settes antall slanger lik tre, vil utnyttelsesgraden bli 80 % for ladeprosessen. Med begrensning på arbeidskapasitet og sikkerhetsregler, er ladeprosessen godt utnyttet.

Beregningene viser at det største potensialet for effektivisering ikke ligger i maskinkapasitetene. Maskinene blir godt utnyttet og måten de brukes på fungerer bra. Utnyttelsen kan alltid bli bedre, men det finnes større utfordringer i tunneldriften som bør vies mer oppmerksomhet først.

7.7 Ledelse

Denne oppgaven har ikke gått i dybden når det gjelder ledelse. Det har likevel blitt observert noen utfordringer rundt temaet. Organisasjonen i Veidekke er veldig demokratisk. Det virker som det er en for snill kultur blant ledelsen. Det fører til at ledere til en viss grad kan gjøre mer som de vil selv.

Fordelen med denne kulturen er at hver enkelt får mer ansvar og detaljstyringen ovenfra blir mindre nødvendig. Faren med en slik kultur er at toppledelsen kan miste kontroll. Med en snill kultur kan det også risikeres at feil skjules, fordi de ansvarlige skal beskyttes og viktig lærdom kan gå tapt. Utfordringer med ledelseskultur er å finne en middelvei. Ikke for snilt, men heller ikke for strengt regime.

8.0 Konklusjon

Ved å øke fokus på informasjonsflyt og redusering av sløsing kan Veidekke effektivisere sin måte å drive tunnel på. Effektiviseringen vil by på en rekke utfordringer hvor de største ligger hos ledelsen og i informasjonsutvekslingen fra stuff.

Hele organisasjonen i Veidekke må forandre innstilling og lære av industrien. Ved hjelp av prinsipper fra lean construction må tunneldriften rette fokus på bedre planlegging og redusering av hefttid. For å forstå hvor og når hefttid oppstår, må det utvikles et nytt informasjonssystem som er enklere og mer driftsikkert enn hva som brukes i dag. Informasjonen som kommer fra stuff må være riktig, slik at den kan brukes for å forstå problemene som oppstår i tunnel.

Mye hefttid går til venting og problemer med maskiner. Ventetid kan være resultat av dårlig planlegging, som kan skyldes kompleksiteten ved et stort anlegg og språkproblematikken som kommer med internasjonalt samarbeid. Ved å bruke mer tid til å planlegge aktiviteter, samtidig som de berørte lederne inkluderes i planleggingen, kan ventetid reduseres.

Problemer med maskiner kan være et resultat av flere brukere på samme maskin og for dårlige vedlikeholdsrutiner. Det å få eierskap til maskinene vil gjøre at ansvaret blir mer personlig og det opparbeides større kompetanse på hver maskin. Når en har bedre kjennskap til en maskin vil feil oppdages tidligere og uønsket driftsstans kan unngås.

En av de store kvalitetene til Veidekke er kompetansen og drivkraften som finnes blant tunneldriverne. Ved å utnytte disse egenskapene og sette fokus på de rette tingene har Veidekke potensiale for å heve standarden innen tunnelvirksomhet.

Ansvaret for en mer effektiv tunneldrift ligger hos ledelsen. For et demokratisk firma som Veidekke blir utfordringen å forandre innstillingen til hele organisasjonen. Lederne må ta tak i utfordringene og gjøre noe med dem. Hardere konkurranse blant entreprenørene vil favorisere de mest effektive. I framtiden vil det ikke være rom for de entreprenørene som sløser med ressurser.

9.0 Veien videre

Veidekke har hatt gode overskudd de siste årene og selv om konkurransen kan bli hardere i årene som kommer, behøver ikke dette bety at overskuddet må krympe. Mye av potensialet avdekket i denne oppgaven kan bidra til at Veidekke holder seg konkurransedyktige i framtiden og fortsetter med overskudd.

Ledelsen må selv ta tak i utfordringene knyttet til forandring av fokus. Når dette er gjort vil flere tiltak iverksettes. Blant annet et nytt og enklere informasjonssystem ville kunne gjøre informasjonsflyten lettere.

I dagens moderne samfunn finnes et stort utvalg av smarttelefoner og nettbrett. Så og si alle har et forhold eller kjennskap til en slik enhet. Det utvikles også utallige applikasjoner for nyttige til helt ubrukelige formål for disse enhetene. Et informasjonssystem basert på nettbrett brukes i dag av flere bedrifter og det fungerer.

Tunnelriggeren er allerede koblet til nettet via kabel, og trådløs ruter som nettbrett kan kobles opp i mot er enkel teknologi. Hver bas får sitt eget nettbrett som tas med inn i boreriggeren, med en vanntett mappe eller case vil den tåle søle og vann. Nettbrettet har en "tunnelrapport app" som er koblet opp i mot en database for eksempel i kontorbrakkka. Inne i applikasjonen kan det velges ut i fra rullemenyer hva slags prosess som startes og klokkeslett for start og slutt. Ved uforutsette hendelser velges "heft" og "type heft" med varighet og eventuelle kommentarer. Ved ugyldige valg vil det komme opp feilmelding på skjermen og feilrapportering vil reduseres.

Med en slik applikasjon vil førstehåndsinformasjon sendes direkte oppover i systemet uten forsinkelse. Det sparer formannen for rapportføring og basen bruker ikke mer tid med nettbrett enn det ville tatt å føre tidene for hånd. Detaljgrad og hva slags informasjon rapporten skal inneholde kan bestemmes på forhånd og programmeres inn i applikasjonen.

Et annet forslag til utbedring gjelder den daglige kontrollen. Daglig kontroll burde gjennomføres etter prinsippet sistemann som forlater maskinen. Hvis kontroll er utført til slutt i hvert skift, vil feil eller mangler avdekkes før neste skift går på. Denne løsningen gjør at neste skift kan starte driving med en gang. Hvis det oppdages feil eller mangler under kontroll så er det større sjanse for å ordne opp før neste skift går på. Oppdages feil i starten av et skift så blir det heft før arbeid kan begynne.

Forslagene utgjør noen små faktorer som kan bidra til mer effektiv drift. Innsatsen bør legges i å skape en hel organisasjon som tenker effektivitet.

Med flere totalentrepriser, som vil si at entreprenørene selv gjør både prosjektering og utførelse, kan motivasjonen for å satse på teknologi bli større i framtiden. Prosjektene vil ha høyere risiko for entreprenørene, men de vil også

gi incentiver for å bli mer effektiv. Mer risiko vil også bety større gevinst, så fremt man gjør det bra.

Den nye jernbanetunnelen mellom Oslo og Ski, Follotunnelen, skal bygges delvis med TBM og delvis med konvensjonell drift, og som totalentreprise. TBM teknologien har utviklet seg mye de siste årene og vil kanskje etablere seg i Norge igjen. Det kan være smart å opparbeide seg mer kompetanse rundt denne teknologien, eller alliere seg med noen som har kapasiteten.

Kilder

- [1] D. K. Samferdselsdepartement, "Nasjonal transportplan 2014-2023," ed, 15.04.2013.
- [2] S. sentralbyrå. (20.03.2013). *Statistikkbanken, omsetning i bygg- og anleggsbransjen*. Available: <https://www.ssb.no/statistikkbanken/selecttable/hovedtabellHjem.asp?KortNavnWeb=bygganloms&CMSSubjectArea=bygg-bolig-og-eiendom&checked=true>
- [3] S. sentralbyrå. (12.04.2013). *Bygge- og anleggsvirksomhet, strukturstatistikk*. Available: <http://www.ssb.no/stbygganl>
- [4] SSB, "Utvikling i timeverksproduktiviteten," ed. Kommunal- og regiondepartementet, 05.04.2013.
- [5] P. H. Pedersen. (18.04.2013) SSB-statistikken om produktivitet er ikke verdt noe. *Byggeindustrien*. Available: <http://www.bygg.no/2013/04/105072.0>
- [6] Å. Homleid. (26.04.2013) 18 tunnelentreprenører. *Byggeindustrien*. Available: <http://www.bygg.no/2012/11/97438.0>
- [7] Veidekke. (14.04.2013). *Fakta om Veidekke*. Available: <http://www.veidekke.no/om-veidekke/fakta-om-veidekke/>
- [8] Veidekke. (14.04.2013). *Veidekke Entreprenør - Anlegg Fjell*. Available: <http://www.veidekke.no/var-virksomhet/entreprenor/region-anlegg/article58974.ece>
- [9] N. f. f. f. (NFF), "Tunnelstatistikken 2012," NFF, Ed., ed: Veidekke, 2013.
- [10] S. vegvesen. (04.04.2013). *Vegprosjekter*. Available: <http://www.vegvesen.no/Europaveg/e6minnesundlabbdalen>
- [11] Jernbaneverket. (15.04.2013). *Eidsvoll - Hamar*. Available: <http://www.jernbaneverket.no/eidsvoll-hamar>
- [12] J. Statens vegvesen. (15.04.2013). *E6 - Dovrebanen*. Available: <http://www.e6-dovrebanen.no/Prosjektet>
- [13] F. Saugstad. (24.04.2013) Største veiprojekt noensinne i Norge. *Anleggsmagasinet*. Available: <http://www.tungt.no/anleggsmagasinet/article800016.ece>
- [14] C. Mikkelsen, "Blokksjef tunnel FP2," pers.med. ed. FP2, 2013.
- [15] Veidekke. (15.04.2013). *Fellesprosjekt E6 - Dovrebanen, FP2*. Available: <http://www.veidekke.no/prosjekter/samferdsel/vei/article81602.ece>
- [16] J. Utbygging. (15.04.2013). *Slik bygger vi tunneler*. Available: <http://www.jernbaneverket.no/Documents/Brosjyre%20-%20Slik%20bygger%20vi%20tunneler%20mars%202010.pdf>
- [17] D. f. f. o. I. (DIFI). (15.04.2013). *Gjennomføringsmodeller*. Available: <http://www.anskaffelser.no/art/bygg-anlegg-eiendom/bae-tema/gjennomforingsmodeller>
- [18] H. Messelt, "Prosjekt- / KS-leder," pers.med. ed, 2013.
- [19] A. Kvaasheim, "Norsk tunnelteknologi," *GEO365*, 10.04.2013.
- [20] B. Landsforening. (05.03.2013). *Overenskomst for private anlegg 2012-2014*. Available: <http://www.bnl.no/category.php/category/Overenskomster/?categoryID=360>

- [21] Samferdselsdepartementet. (10.04.2013). *Gardermoprojektet*. Available: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/sd/dok/nouer/1999/nou-1999-28/24/10/2.html?id=355627>
- [22] A. Copco, "Technical specification Boomer XE3 C," ed, 2010.
- [23] E. Wæhle. (29.04.2013). *Case study*. Available: http://snl.no/case_study
- [24] A.W.Solerød. (2009). *Slik vert ein tynnel bygd*. Available: <http://www.vegvesen.no/Vegprosjekter/tforbindelsen/Fakta/Tunnelbygging>
- [25] J. Iversen, "HMS," pers.med. ed, 2013.
- [26] O. Johannessen, "Tunneldrift, Sprengningssplaner," NTH1995.
- [27] O. R. Valmot, "Fjell ingen hndring - bygger i berget," *Teknisk ukeblad*, 20.04.2013.
- [28] Volvo, *Performance Manual*, 13 ed. Sverige: Volvo, 2006.
- [29] J. Seehusen. (18.03.2013) Slik sikres tunneler. *Teknisk ukeblad*. Available: <http://www.tu.no/innsikt/bygg/2007/01/18/slik-sikres-tunneler>
- [30] Herrenknecht, "Double Shield TBM," ed, 25.04.2013.
- [31] J. Seehusen. (18.03.2013) Tror på ny vår for tunnelboring. *Teknisk ukeblad*. Available: <http://www.tu.no/bygg/2013/02/27/tror-pa-ny-var-for-tunnelboring>
- [32] A. M. Hansen, "TBM," 12.04.2013.
- [33] O. Johannessen, "Fullprofilboring ved Svartisverkene," NTH1978.
- [34] A. M. Hansen, "TBM vs D&B," 12.04.2013.
- [35] L. E. Institute. (05.04.2013). *Lean*. Available: <http://www.lean.org>
- [36] Toyota. (07.04.2013). Available: http://www.toyota-global.com/company/vision_philosophy/toyota_production_system/origin_of_the_toyota_production_system.html
- [37] K. G. Hoff, *Driftsregnskap og budsjettering*: Universitetsforlaget AS, 2005.
- [38] D. McBride. (01.04.2013). *The / Manufacturing Wastes*. Available: <http://www.emsstrategies.com/dm090203article2.html>
- [39] L. C. NO. (28.04.2013). *Om LC*. Available: <http://samforsk.no/lc/Sider/Hjem.aspx>
- [40] L. Pinch, "Lean Construction, Eliminating the Waste," 2005.
- [41] D. n. f. komiteene. (30.01.2013). *Kvalitative og kvantitative forskningsmetoder*. Available: <http://www.etikkom.no/Forskningsetikk/Etiske-retningslinjer/Medisin-og-helse/Kvalitativ-forskning/1-Kvalitative-og-quantitative-forskningsmetoder--likheter-og-forskjeller/>
- [42] K. Sander. (30.04.2013). *Kvalitative metoder*. Available: <http://www.kunnskapssenteret.com/articles/2563/1/kvalitativ>
- [43] O. Johannessen, "Anleggsmaskiner," NTH, Trondheim1976.
- [44] O. Johannessen, "Prosjektrapport 2-88," NTH, Trondheim1990.
- [45] Volvo, "Product Brochure L350F," ed, 2007.
- [46] Volvo, "Product Brochure A35FS," ed, 2012.
- [47] H. Westhagen, *Prosjektarbeid*. Oslo: Gyldendal Akademisk, 2010.
- [48] N. Brødsjø, "Prosjektleder FP2," pers.med. ed, 08.05.2013.
- [49] Veidekke, "Tunnelrapport," 2013.

Vedlegg A

Beregning av timekostnad for leie av driftsmaskiner.

Type maskin	Tilleggsinformasjon	Leie per mnd	Leie per time
Dumper Volvo A35FS x 3		45000	333
Renskeplattform	CE-typegodkjent	8200	20
Stuff-/slurrybil	4 m plan	18000	44
Renskerigg Liebherr A924C	600 kg hammer AC SB 552	58750	145
Hjullaster Volvo L350F	Sidetippskuff 7,1 m ³	78000	193
Gysepumpe SP11	På plattform	5500	14
Sprøyterigg Roadrunner	1000V	95000	235
Renseanlegg type C 580	24 liter/sek	31000	77
Tunnelrigg AC RB XE3 C30	3x18' mater RAS	180000	444
Sum per time (kr)			1505

Vedlegg B

Registret hefttid i minutter fra tunnelrapport i perioden november 2012 – april 2013

<i>Merknad</i>	<i>Sum</i>	<i>Novemer</i>	<i>Desember</i>	<i>Januar</i>	<i>Februar</i>	<i>Mars</i>	<i>April</i>
Salveboring	2345	1265	680	30	120	180	70
Lading	2470	365	650	340	740	155	220
Lasting	1428	338	205	390	60	120	315
Tunnelrigg	125	0	0	125	0	0	0
Dataproblem	435	0	0	75	0	360	0
Navigering	135	0	0	15	0	120	0
Laderigg	60	60	0	0	0	0	0
Annet	2055	415	570	740	330	0	0
Sum uspesifisert	9053	2443	2105	1715	1250	935	605
Omskyting	1550	575	295	210	385	85	0
For trang profil	600	390	0	0	210	0	0
Nisjer/sjakter	545	0	0	165	230	150	0
Vent på hjullaster	200	75	0	125	0	0	0
Vent på transport	495	55	60	380	0	0	0
Vent på piggemaskin	795	265	440	90	0	0	0
Vent på sprøyterigg	880	0	620	0	260	0	0
Vent på lining	660	0	420	240	0	0	0
Vent på ladebil	45	45	0	0	0	0	0
Vent på stikkere	90	35	0	0	0	55	0
Borerigg, div	165	0	0	45	120	0	0
Borerigg, vask og ettersyn	490	0	310	0	120	0	60
Borerigg, varmgang	90	0	90	0	0	0	0
Borerigg, dataproblem	435	0	0	75	0	360	0
Borerigg, navigering	215	0	80	15	0	120	0
Borerigg, service	300	0	0	0	300	0	0
Borerigg, slangebrudd	205	95	30	80	0	0	0
Slangebrudd uspesifisert	270	120	0	0	150	0	0
Slangebrudd piggemaskin	150	0	0	150	0	0	0
Slangebrudd hjullaster	180	0	0	180	0	0	0
Hjullaster	120	0	0	0	120	0	0
Ladebil	135	60	0	0	0	75	0
Piggemaskin	335	220	115	0	0	0	0
Slurrybil	60	0	0	0	60	0	0
Oljelekkasje	110	0	0	0	0	0	110
Fryst utstyr	240	0	0	240	0	0	0
Strømbrudd	25	0	0	0	0	0	25
Problem stikning	190	0	0	110	0	80	0
Flytting av utstyr	210	165	0	0	0	45	0
Brann	330	0	0	0	330	0	0
Vannmangel	175	0	0	70	0	0	105

Vannpumping	140	0	0	0	120	20	0
Kurs	60	0	0	0	0	60	0
Sum spesifisert	10490	2100	2460	2175	2405	1050	300

Vedlegg C

Klassifisering av rullemotstand

Group 1 – Hard ground with solid obstacles



Class 0.0

- Height or depth of obstacles = 0–2 cm **0–0.8 in.**
- Max. distance between obstacles 5 m **5.5 yd.**
- Surface size of obstacles affect the wheel and are not "swallowed" by the tire or stuck in the tire tread, e.g. small stones and similar.



Class 0.2

- Height or depth of obstacles = 2–3 cm **0.8–1.2 in.**
- Max. distance between obstacles 5 m **5.5 yd.**



Class 0.4

- Height or depth of obstacles = 3–4 cm **1.2–1.6 in.**
- Max. distance between obstacles 5 m **5.5 yd.**



Class 0.6

- Height or depth of obstacles = 4–6 cm **1.6–2.4 in.**
- Max. distance between obstacles 5 m **5.5 yd.**



Class 0.8

- Height or depth of obstacles = 6–10 cm **2.4–4.0 in.**
- Max. distance between obstacles 5 m **5.5 yd.**



Class 1.0

- Height or depth of obstacles = 10–30 cm **4–12 in.**
- Max. distance between obstacles 5 m **5.5 yd.**

Vedlegg D

Tunnelrapport. Dagsrapport, ukerapport og månedsrapport.

Ring 3 Ulven-Sinsen		DAGSRAPPORT																								
VEIDEKKE		Entrepreneur as		Entreprise : FP2 E6 Dovrebanen					Tunnel : TSS																	
Fredag		08.02.2013																								
Fra profil		Til profil		Salve		Areal		Ant. hull		Inndrift		Totalt														
81 746,0		81 741,0		5		126,0		193		5,0 m		5,0 m														
81 741,0										m		5,0 m														
Injeksjon	Sonderboring			Injeksjonsboring			Opprigg			Injeksjon			Injeksjonstid			Nedrigg										
	Fra	Til	Tid	Fra	Til	Tid	Fra	Til	Tid	Fra	Til	Tid	Kt	Time	Hendend	Time	Fra	Til	Tid							
															n	n										
Sikring	Driftsrensk			Spettrensk			Opprensk			Bolter (boring)			Bolter (gysing)			Sprøytebetong										
	Fra	Til	Tid	Fra	Til	Tid	Kt	Time	Fra	Til	Tid	Fra	Til	Tid	Fra	Til	Tid	Fra	Til	Tid						
	12:10	12:30	00:20	12:30	13:00	00:30	0,500	0,50																		
Sprengning	Salveboring			Heft			Lading			Heft			Skutt			Heft			Lasting			Kartlegging av fjellforhold				
	Fra	Til	Tid	Fra	Til	Tid	Fra	Til	Tid	Fra	Til	Tid	Kl	Time	Fra	Til	Tid	Fra	Til	Tid	Fra	Til	Tid	Kt	Time	
	13:10	19:00	05:50				10:00	10:45	00:45				11:15		00:25	20:10	22:00	01:50								
Heft tid	Tunnelrigg			Data problem			Navigering			Injeksjonsrigg			Laderigg			Annet										
	Fra	Til	Tid	Fra	Til	Tid	Fra	Til	Tid	Fra	Til	Tid	Fra	Til	Tid	Fra	Til	Tid	Fra	Til	Tid					
Merknader																										
Boring og lading (omskytin) Kontur for trang 06:30-10:00 + omskyting nr 2 kl:11:45-12:00																										
12:10-12:30 pigging																										
14:00-14:30 slangebrudd																										
Injeksjon	Sonderboring			Injeksjonsboring			Pakker			Injeksjonsmiddel				Silika												
	Inntil 12 m	Inntil 24 m	Inntil 36 m	Inntil 26 m			Rapid	Mikro	Spesial	Herding	Kolloidal	Mikro														
	Post 31.111	Post 31.112	Post 31.113	Post 31.31	31.621		31.631	31.632	31.634	31.6391	31.3343	31.391														
Lengde	Lengde	Lengde	Lengde	Lengde	Stk	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg															
Sprengning	Sprengstoff			Tunnel		Bergkl A/B	Bergkl C	Bergkl D	Bergkl EPG	SOS	Grofter	Totalt														
	Salve	Slurry	kg/m ³	Post 32.11	Post 32.11	Post 32.911	Post 32.912	Post 32.913	32.914	32.31	Post 42.33	Sprengt														
	5	1247,0	1,96	126,0	630,0	5,0					5,0	5,0	635,0													
	1247,0		630,0		5,0						5,0	5,0	635,0													
Stabilitetsikring	Fullt innstøpte bolter					Polyesterbolter			CT-bolter			Injeksjonsbolter			Band/nett		Sprøytebetong									
	L=6m	L=8 m	L=6 m	L=8 m	L=3 m	L=2.4m	L=3 m	L=4 m	L=3 m	L=4 m	L=5 m	L=3 m	L=4 m	L=5 m	Band	Band	g / liter	cm ³	cm ³							
	33.211	33.212	33.2191	33.2192	33.221	33.223	33.224	33.225	33.226	33.227	33.2293	33.22951	33.22952	33.22953	33.311	33.312	33.4111	33.4122	33.4123							
stk	stk	stk	stk	stk	stk	stk	stk	stk	stk	stk	stk	stk	stk	m ²	m	m ³	m ³	m ³								

UKERAPPORT

Brukt tid på stuff

Uke	Brukt tid foran stuff						Sum timer
	Boring	Injeksjon	Opp	Injeksjon	Ned	Sum	
Dag	Dato	Tid	Tid	Tid	Tid	Tid	Tid
Man	04.02.13						
Tir	05.02.13						
Ons	06.02.13						
Tor	07.02.13						
Fre	08.02.13						
Lar	09.02.13						
Sun	10.02.13						

Brukt tid på stuff					Sum timer
Boring	Lading	Lasting	Heft	Salvesykklus	
06:05	03:05	02:40			11:50
09:30	02:00	01:50			13:20
06:20	01:15	02:15	00:30		10:20
		02:45	01:00		03:45
05:50	02:15	01:50	01:15		11:10
	00:50		00:20		01:10

Brukt tid bak stuff					Sum timer
Rensk	Sikring	Betong	Opp	Ekstra	
00:25	01:30	04:30			06:25
02:00	01:00	01:30			04:00
02:15	00:30				03:40
00:20	00:30				00:50
	00:25	04:10			04:35

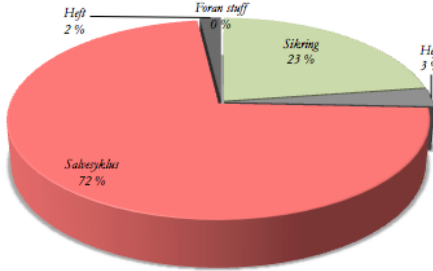
Heft tid					Sum timer
Tunnelnett	Lading	Injeksjon	Annet heft	Sum	
					02:00
					02:00
					00:24

Brukt tid på boring	Brukt tid på injeksjon
Tid/boremeter 00:00:00	Tid/Ant.hull 00:00

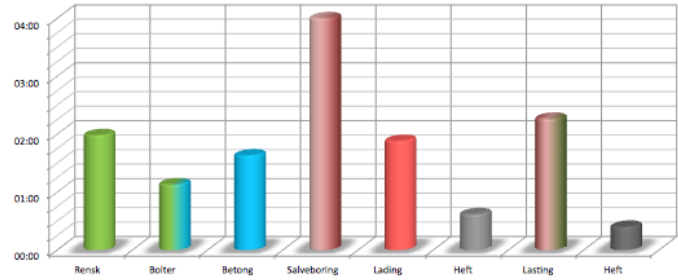
10:21	01:53	02:16	00:37
Salvesykklus Brukt tid på en salve 16:07			
00:55	00:29	00:35	01:08
Stabilitetssikring Brukt tid på sikring av en salve 04:45			

00:00	00:00	00:00	00:00	00:24
Heft på utstyr				
Heft på en salve 00:24				

Total tid fordelt på en uke



Gjennomsnittlig tid brukt på en salve



MÅNEDSRAPPORT

Brukt tid på stuff

Måned	Brukt tid foran stuff					Totalt antall timer
	Boring	Injeksjon	Opp	Injeksjon	Ned	
Januar 2012	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	
Uke 1			0	0		
Uke 2						
Uke 3						
Uke 4						
Uke 5						

Brukt tid på stuff					Totalt antall timer
Boring	Lading	Lasting	Heft	Salvesykklus	
915	255	539	90		30
1235	715	965	695		60
1400	690	665	255		50
1075	484	1035	740		56
1465	595	940	115		52
6050	2730	4144	1895	248	

Brukt tid bak stuff					Totalt antall timer
Rensk	Sikring	Betong	Opp	Ekstra	
505	50	134	275	255	20
880	225	285	340	375	35
715	150	200	310	740	35
675	140	240	760	650	41
645	155	305	570	645	39
3420	720	1164	2355	3665	170

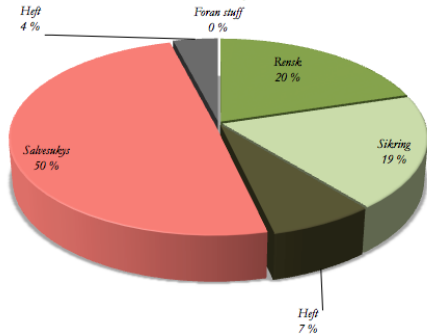
Heft tid					Totalt antall timer
Tunnelnett	Lading	Injeksjon	Annet heft	Sum	
					260
					240
					240
					740
					38

Brukt tid på boring	Brukt tid på injeksjon
Tid/boremeter	Tid/Ant.hull

04:03	01:49	02:45	01:15
Salvesykklus Brukt tid på en salve 09:54			
02:16	00:28	00:46	01:30
Stabilitetssikring Brukt tid på sikring av en salve 06:48			

00:08	00:04			00:29
Heft på utstyr				
Heft på en salve 00:42				

Total tid fordelt på en måned



Gjennomsnittlig tid brukt på en salve

