



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET
MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:

Industriell økonomi, prosjektledelse

Vårsemesteret, 2013

Konfidensiell

Forfatter:

Sigrun Nilsen

.....

(signatur forfatter)

Fagansvarlig: Kjell Hauge

Veileder(e): Andreas Granmo

Tittel på masteroppgaven:

Produktivitetsvurdering av tunneldriving ved Ringveg Vest-prosjektet

Engelsk tittel:

Assessment of the productivity of tunnelling at the Ringveg Vest-project

Studiepoeng: 30

Emneord:

Produktivitet

Sidetall: 97

Tunnel

+ vedlegg/annet: 10

Tunneldriving

Stavanger, 13. juni 2013

Forord

Denne oppgaven er avslutningen på mitt 5-årige studieløp ved Universitetet i Stavanger. Temaet for oppgaven gjorde at jeg fikk brukt både min tekniske bakgrunn fra min bachelor i byggingeniør og min teoretiske bakgrunn fra masterstudiet i industriell økonomi.

Oppgavene er skrevet i samarbeid med AF Anlegg. Jeg har hatt sommerjobb hos AF Anlegg to somrer, og det ble derfor naturlig å skrive masteroppgaven i samarbeid med bedriften. Nå ser jeg fram til å begynne i fast jobb hos AF Anlegg til høsten,

Takk til Kjell Hauge som har vært min veileder fra Universitetet i Stavanger. Stor takk til min veileder Andreas Granmo i AF Anlegg, for god hjelp og bidrag til oppgaven. Vil også rette en stor takk til alle ved Ringveg Vest-prosjektet for all hjelp og tilrettelegging med oppgaven.

Stavanger 13.juni 2013

Sigrun Nilsen

Sammendrag

Denne oppgaven skal undersøke hva som påvirker produktivetsnivået i tunneldriving, og hva som kan gjøres for å øke inndriften per uke. Oppgaven er skrevet i samarbeid med AF Anlegg, og tar utgangspunkt i Ringveg Vest-prosjektet byggetrinn 2. For å belyse og finne en løsning på problemstillingen, ble det utført tidsmålinger på utvalgte arbeidsoperasjoner. I tillegg ble historiske data fra prosjektet brukt for analyse og sammenligning. Tidsmålingene ble senere sammenlignet med prognoser beregnet ut i fra NTNU-modellen og kapasitetene gitt i kontraktsgrunnlaget mellom Statens vegvesen og AF Anlegg. NTNU-modellen er en modell som brukes for å estimere tidsbruk ved tunneldriving, basert på ulike parametere som antas å ha betydning for tidsbruken. Estimater fra modellen brukes i denne oppgaven for å belyse hvilket nivå produktiviteten ved Ringveg Vest ligger på. Kapasitetene gitt i kontrakten brukes i oppgaven for å kunne anslå om den faktiske produktiviteten står i stil med hva som legges til grunn ved anbudskalkulering.

Tidsmålingene ble utført på arbeidsoperasjonene bolting, salveboring, lading og skyting. Målingene ble utført på forskjellige skift, i forskjellige uker. Resultatet fra tidsmålingene viser at salveboringen er den arbeidsoperasjonen som varierer mest. Variasjonen kan ikke forklares ved hjelp av geologi, og det viser seg at tidsbruken på salveboringen varierer mellom de ulike skiftlagene. Analysene gjort av de historiske dataene viser at sikringsmengde og injeksjonstid påvirker inndriften i tunnelen. De historiske dataene viser også at inndriften per uke viser en positiv trend. Sammenligningen mellom tidsmålingene, NTNU-modellen og kontraktgrunnlaget, viser at boltearbeidet på prosjektet er svært produktivt. Det viser seg at AF Anlegg ligger langt over hva som er estimert i modellen og hva som er lagt inn i kontrakten. Sprengningsarbeidet, som omfatter salveboring, lading og skyting, viser seg å ikke være fullt så produktivt når det sammenlignes. Store usikkerheter i modellen og ikke minst kontraktsgrunnlaget, gjør at det ikke er meningsfullt å trekke sikre konklusjoner ved denne sammenligningen.

Opgaven konkluderer med at den menneskelige faktoren har størst betydning for produktiviteten ved tunneldrivingen. Dette betyr at gode medarbeidere er det største konkurransefortrinnet AF Anlegg kan ha i konkurransen om anleggsjobbene. Det er viktig med godt sammensatte skiftlag og god ledelse. Ved Ringveg Vest-prosjektet har det store deler av tunnelstrekket vært påkrevd systematisk injeksjon av Statens vegvesen. Systematisk

injeksjon påvirker hele salvesyklusen og driftsopplegget, men det er vanskelig å sette tall på hvor mye dette totalt påvirket har inndriften per uke på Ringveg Vest-prosjektet. Injeksjonsarbeidets innvirking på inndriften kan ikke elimineres, da dette er påkrevd av vegvesenet. Det beste som kan gjøres er å lage et driftsopplegg som er tilpasset injeksjonsarbeid, og som reduserer den negative effekten injeksjonsarbeidet har på inndriften.

For å forbedre sin produktivitet ved tunneldriving bør AF Anlegg fokusere på sine medarbeidere og rutiner som gir minst mulig variasjon i utførelsen. Kunnskap, erfaringsoverføring og godt sammensatte skiftlag vil gi en positiv effekt på produktiviteten. Det kan vurderes om automatisk boring skal prøves, for å finne ut om tidsbruken på boring gjennomsnittlig forbedres. Automatisk boring vil kanskje kunne redusere variasjonen i tidsbruken på salveboringen. Dokumentasjon av tunnelarbeidernes tidsbruk per arbeidsoperasjon kan være nyttig i senere anleggsprosjekter. Hvis man får detaljert timeføring til å fungere, vil dette kunne brukes til å forbedre produktiviteten ved tunneldrivingen. I tillegg vil det kunne brukes for mer nøyaktige anbuds-kalkulasjoner, noe som kan redusere den økonomiske usikkerheten i kontraktene.

Innholdsliste

1	Innledning	1
1.1	Motivasjon	1
1.2	Problemstilling	1
1.3	Oppgavens oppbygging	2
1.4	AF Anlegg	3
1.5	Ringveg Vest-prosjektet.....	4
2	Teori	6
2.1	Arbeidsoperasjoner ved tunneldriving.....	6
2.1.1	Boring	6
2.1.2	Sprenging.....	7
2.1.3	Utlasting	8
2.1.4	Sikring	8
2.1.5	Salvesyklus.....	12
2.2	Geologi.....	15
2.2.1	Mineraler og bergarter.....	15
2.2.2	Ingeniørgeologiske forhold	17
2.3	Personell	19
2.4	Faktorer som påvirker inndriften	20
2.5	NTNU-modellen	24
2.5.1	Beregningsmodell.....	25
2.6	Regresjonsanalyse	27
3	Metode.....	29
3.1	Metode for historiske data	29
3.2	Metode for tidsmålinger.....	30
3.2.1	Bakgrunn for tidsmålinger.....	30
3.2.2	Valg av måleobjekter.....	30
3.2.3	Utvalg	31
3.2.4	Utføring av målinger.....	32
4	Resultat og analyse	35
4.1	Historiske data	35
4.1.1	Tunnelmeter.....	35

4.1.2	Bolter	38
4.1.3	Injeksjon	39
4.1.4	Regresjonsanalyse	41
4.2	Tidsmålinger	42
4.2.1	Boltetider.....	49
4.2.2	Q-verdier på tidsmålingene.....	53
4.2.3	Mulige feilkilder.....	59
4.2.4	Observasjoner gjort ved utføring av målinger	60
4.3	Beregning av prognoser.....	64
4.4	Kapasiteter i kontraktsgrunnlag	66
4.5	Sammenligning av tidsmålinger, prognoser og kapasitetsgrunnlag	69
4.5.1	Boltetider.....	69
4.5.2	Boring, lading og skyting	70
5	Diskusjon	74
5.1	Injeksjonens påvirkning på inndriften	74
5.2	Oppsummering av historiske data.....	75
5.3	Oppsummering av tidsmålingene.....	76
5.4	Oppsummering produktivitetsnivå.....	77
5.5	Forbedringspotensialer	79
6	Vurdering av oppgavens reliabilitet.....	81
7	Konklusjon.....	84
	Referanseliste.....	86
	Vedlegg.....	88

Figurliste

Figur 1 Veitrasé Ringveg Vest [6]	5
Figur 2 Borrigger [7]	6
Figur 3 Salvesyklus.....	12
Figur 4 Salvesyklus inkludert injeksjon.....	13
Figur 5 Faktorer som påvirker inndrift	24
Figur 6 Meter per uke.....	37
Figur 7 Meter per uke: Trendlinjer	37
Figur 8 Injeksjonstimer per uke.....	40
Figur 9 Totaltid uten bolting.....	44
Figur 10 Salveboring.....	46
Figur 11 Boltetider.....	50
Figur 12 Totalt bolting versus bolter per time	51
Figur 13 Q-verdi versus totalt u/bolt.....	55
Figur 14 Q-verdi versus salveboring.....	56
Figur 15 Q-verdi versus Boltetid.....	58
Figur 16 Prognoser versus målinger: Salveboring.....	71
Figur 17 Prognoser versus målinger: Sum boring, lading og skyting	72
Figur 18 Sammenligning timeverk.....	73

Tabelloversikt

Tabell 1 Beregningsmodell	26
Tabell 2 Meter per uke	36
Tabell 3 Bolter per uke	38
Tabell 4 Bolter per meter	39
Tabell 5 Injeksjonstimer per uke	40
Tabell 6 Regresjonsanalyse: Meter per uke versus bolter per meter og injeksjonstimer	42
Tabell 7 Resultat av tidsmålinger	43
Tabell 8 Salveboring	45
Tabell 9 Regresjonsanalyse: Totaltid u/bolt versus salveboring og lading	47
Tabell 10 Regresjonsanalyse: Totaltid u/bolt versus salveboring	48
Tabell 11 Regresjonsanalyse: Totaltid u/bolt versus lading	49
Tabell 12 Boltetider	50
Tabell 13 Regresjonsanalyse: Totaltid m/bolt versus bolteboring, bolting og salveboring	52
Tabell 14 Regresjonsanalyse: Totaltid m/bolt versus bolteboring og salveboring	53
Tabell 15 Q-verdier	54
Tabell 16 Regresjonsanalyse: Q-verdi versus totalt u/bolt	55
Tabell 17 Regresjonsanalyse: Q-verdi versus salveboring	57
Tabell 18 Regresjonsanalyse: Q-verdi versus bolter per time	58
Tabell 19 Kontraktskapasiteter	67
Tabell 20 Timeverk for målingene	68
Tabell 21 Timeverk for prognose alternativ 1	68
Tabell 22 Timeverk for prognose alternativ 2	69
Tabell 23 Boltetider målinger versus kontraktsgrunnlag	69
Tabell 24 Boltetider målinger versus prognoser	70
Tabell 25 Målinger versus prognoser	70
Tabell 26 Sammenligning timeverk	73

Symbolliste

AV-	Slitasjetall
BWI-	Borslitasjeindeks (Bit Wear Index)
DRI-	Borsynkindeks (Drilling Rate Index)
fsa-	Samtidighetsfaktor
Ja-	Tall for sprekkeforvitring
Jn-	Tall for sprekkesett
Jr-	Sprekkeruhetstall
Jw-	Sprekkevannsfaktor
kbl-	Korreksjon boret lengde
kgv-	Korreksjon borsynk grovhull
khv-	Korreksjon for borsynk for 48mm
RQD-	Oppsprekningstall
R ² -	Determinasjonskoeffisienten
SJ-	Sievers J-verdi
SPR -	Sprengbarhetsindeks
SRF-	Spenningsfaktor
S ₂₀ -	Sprøhetstall
Tsb-	Tid til bolting
vb-	Borsynk 48mm borhull
ε-	feilleddet i regresjonslinja

Forkortelser

L11- løp 11 drevet fra Liavatnet.

L12- løp 12 drevet fra Liavatnet.

RVV- Ringveg Vest

Stuffrep- Stuffreparatør

SVV- Statens vegvesen

S11N- løp 11 drevet fra Sandeide.

S12N- løp 12 drevet fra Sandeide.

Vedleggsliste

Vedlegg 1: Tabell for avgjørelse av sikringsklasse

Vedlegg 2: Parametre som inngår i Q-verdi

Vedlegg 3: Skjema for tidsmålinger

Vedlegg 4: Tall brukt i regresjonsanalyse

Vedlegg 5: Prognosealternativ 1

Vedlegg 6: Prognosealternativ 2

Vedlegg 7: Beregning timeverk for tidsmålinger

Vedlegg 8: Beregning timeverk for prognoser

1 Innledning

1.1 Motivasjon

Bakgrunnen for oppgavens tema og problemstilling er min interesse og fasinasjon for tunnelbygging. Under studietiden har jeg hatt sommerjobber på store tunnelprosjekter og etter endt utdanning skal jeg fortsette å jobbe i anleggsbransjen. Denne erfaringen er grunnlaget for temaet jeg har valgt for oppgaven. Da muligheten åpnet seg for å skrive masteroppgaven for AF Anlegg, ville jeg fokusere på noe som interesserte meg og som kunne være nyttig for bedriften. Bacheloroppgaven jeg skrev på byggingeniørstudiet, som handlet om sprøytebetong brukt i tunneler, var også en motivasjon for å skrive masteroppgave som omhandlet tunneldriving. Som sommervikar ble jeg interessert i hva som gjør at produktiviteten ved tunneldriving er høy, og hva ledelsen kan gjøre for å holde oppe produktiviteten på prosjektene. Mine ønsker for oppgaven er at prosessen vil utvikle mine kunnskaper innenfor tunneldriving som kan være nyttig i den nye jobben.

1.2 Problemstilling

Bygg og – anleggsmarkedet i Norge er et stort og stadig økende marked. Store, kompliserte anleggskontrakter har blitt tildelt og gjennomført de siste årene; og det antas særlig at antall samferdselsprosjekter vil øke i årene framover. De mange anbudsutlysningene i Norge har også ført til at flere utenlandske entreprenører prøver å posisjonere seg i det norske anleggsmarkedet. Entreprenører i anleggsbransjen må derfor kontinuerlig forbedre seg for å være mest mulig konkurransedyktige. Den entreprenøren med det største konkurransemessige fortrinnet, vinner anleggskontrakter. Entreprenørene som fullfører jobben raskest til den beste prisen, vil være de entreprenørene som overlever i markedet. På lenger sikt, vil entreprenørene som er mest effektive og produktive være de som vinner kontrakter.

For at AF Anlegg også i fremtiden skal være blant de største tunnelentreprenørene i bransjen, er det viktig for dem å forbedre produktiviteten ved tunneldrivingen på sine prosjekter. Denne oppgaven skal undersøke hva som kan gjøres for å øke produktiviteten i tunneldrivingen. Ringveg Vest (RVV)-prosjektet brukes som utgangspunkt for å illustrere denne problemstillingen. Jeg skal i denne oppgaven finne ut hva som påvirker produktiviteten i tunneldrivingen. I tillegg skal jeg i denne oppgaven finne ut av hva som kan

forbedres og hvordan dette kan gjøres. Når forbedringspotensialer oppdages, kan dette brukes til å forbedre senere prosjekter ved at man bevisstgjør hva som skal til for å få et vellykket prosjekt. Hvilket arbeid som utføres produktivt, og hva som ikke utføres produktivt gir grunnlag for blant annet anbudskalkulasjon, valg av drivemetode og utstyr i nye prosjekter og resultatvurdering [1]. Økt produktivitet på tunneldrivingen vil føre til bedre inntjening på anleggsprosjektene til AF Anlegg og vil derfor også styrke deres konkurranseposisjon i forhold til andre entreprenører.

Begrepet effektivitet betyr produkters eller tjenesters verdi eller nytte for brukeren. Effektivitet betyr *å gjøre de riktige tingene*. Med produktivitet menes hvor stor produksjonsmengde som oppnås i forhold til ressursbruk. Produktivitet handler om *å gjøre tingene riktig*. En bedrift som har høy produktivitet og høy effektivitet vil være kostnadseffektiv. I denne oppgaven det fokuseres på produktivitet. Produktiviteten vil i denne oppgaven i flere tilfeller bli målt i tunnelmeter som blir drevet per uke [2].

De fleste anleggsprosjekter som inkluderer tunneldriving, omhandler en del arbeid som kommer i tillegg til tunneldrivingen. Denne oppgaven vil kun behandle arbeidet knyttet til selve tunneldrivingen. Etterarbeid i tunnelen er også ekskludert. Oppgaven tar bare for seg et prosjekt; RVV byggetrinn 2. Dette prosjektet er omtalt i kapittel 1.5. Hvordan tunneldrivingen fungerer på andre prosjekter og uten de spesielle særtrekkene ved dette prosjektet, tas det ikke hensyn til. Dataene som uthentes fra RVV er kun fra et avgrenset tidsrom av prosjektet. Hva som har foregått tidligere i prosjektet er det ikke tatt hensyn til. Det er blitt utført tidsmålinger under tunneldrivingen, for å sette tall på tidsbruk på hver enkelt arbeidsoperasjon. Tidsmålingene er kun utført på noen utvalgte arbeidsoperasjoner, da tiden som skal brukes på målingstaking er begrenset i denne oppgaven.

1.3 Oppgavens oppbygging

Kapittel 1 introduserer tema og problemstilling i oppgaven. Bedriften, AF Anlegg som oppgaven er skrevet i samarbeid med blir presentert. I tillegg blir RVV-prosjektet, som denne oppgaven tar utgangspunkt i, beskrevet.

Kapittel 2 gjennomgår teorien som er bakgrunnen for oppgaven. For å finne ut av hva som kan gjøres for å øke produktiviteten ved tunneldriving, må de enkelte arbeidsoperasjonene som tunneldriving omhandler gjennomgås. I tillegg er det viktig at salvesyklusen er kjent, slik

at man vet hvilken rekkefølge arbeidsoperasjonene skal gjennomføres. Faktorer som påvirker produktivitet er viktig for analysen, og dette kapitlet gjennomgår de ulike mulige påvirkningsfaktorene. Særlig er det lagt vekt på geologi og personell, som i utgangspunktet kan tenkes å ha stor påvirkning på mange aspekter ved produktiviteten i tunneldrivingen. Kapitlet beskriver også teorien bak NTNU-modellen som brukes for å estimere normal tidsbruk. Til slutt gjennomgås de statistiske metodene som er brukt i oppgaven.

Kapittel 3 gjennomgår oppgavens metodebruk. Hvor de historiske dataene er hentet fra og i hvilken grad disse er pålitelige, blir behandlet i kapitlet. Metoden som er brukt i forbindelse med tidsmålingene er grundig gjennomgått. Også bakgrunnen for tidsmålingene, valg gjort i forbindelse med tidsmålingene og selve utførelsen blir omhandlet her.

Kapittel 4 presenterer oppgavens resultater og analyserer disse. Både resultatene fra de historiske dataene fra prosjektet og resultatene fra tidsmålingene blir behandlet. Videre fremstilles prognoseberegningene fra NTNU-modellen og kapasitetene som ligger i kontraktsgrunnlaget. Prognoseberegningene, kontraktsgrunnlaget og resultatene fra tidsmålingene på RVV sammenlignes for å se hvilket nivå tidsbruken ligger på.

I kapittel 5 blir hovedfunnene i kapittel 4 evaluert og diskutert. Resultatene i oppgaven blir satt i en større sammenheng, for å kunne finne en rimelig konklusjon til problemstillingen.

Kapittel 6 gir oppgavens konklusjon.

1.4 AF Anlegg

AF Anlegg er en del av konsernet AF Gruppen ASA. AF Gruppen ASA er en av de største entreprenør- og industrikonsernene i Norge. Konsernet hadde en omsetning på 9,8 milliarder i 2012 og har totalt 2600 ansatte. AF Gruppen ASA er delt inn i følgende virksomhetsområder; Eiendom, Bygg, Anlegg, Miljø og Energi. Virksomhetsområde Anlegg er videre delt inn i AF Anlegg og Pålplintar AB [3].

AF Anlegg utfører anleggsprosjekter innenfor samferdsel, infrastruktur og vannkraft i hele Norge. AF Anlegg har gjennomført en rekke store og mindre tunnelprosjekter de siste årene. Blant annet har de utført arbeid tilknyttet tunneldriving på de store prosjektene RV47 T-forbindelsen, Rv70 Oppdølstranda og vannkraftprosjekt Sauda [3]. I 2012 var AF Anlegg den

entreprenøren som hadde tatt ut mest tunnelmasser i landet[4]. Med andre ord er AF Anlegg størst på tunneldrift i Norge.

1.5 Ringveg Vest-prosjektet

Hele RVV-prosjektet omfatter en ny 4-felts veg mellom Flyplassvegen og Liavatnet i Bergen. Omtrent 80 % av denne vegstrekningen skal legges i tunnel. Det er prosjektert tre byggetrinn for RVV. Første byggetrinn, som omhandler strekningen fra Dolvik til Sandeide, er ferdigstilt. Andre byggetrinn omfatter strekningen fra Sandeide til Liavatnet. Tredje byggetrinn innebærer strekningen fra Flyplassvegen til Dolvik [5]. Tredje byggetrinn har ikke fått bevilget midler, og det er derfor usikkert om og når det vil gjennomføres. AF Anlegg har blitt tildelt kontrakten for byggetrinn 2. Når RVV-prosjektet blir nevnt i denne oppgaven, refereres det til byggetrinn 2, da hele oppgaven omhandler den delen av RVV.

Byggetrinn 2 omfatter i hovedtrekk 3,9 km toløpstunnel med tverrsnitt T9,5 mellom Liavatnet og Sandeide, og av- og påkjøringsramper på Sandeide som brukes som tilkobling til hovedtunnelene. I tillegg omfatter prosjektet diverse betongarbeid, deriblant bruer. AF Anlegg startet sitt arbeid med RVV våren 2011 og arbeidet planlegges å være ferdig våren 2015. Deler av tunnelstrekket går under bebyggelse og naturområder. På grunn av dette stiller Statens vegvesen (SVV) strenge krav til maksimale rystelser og vannlekkasjer. De svært strenge kravene når det gjelder vannlekkasjer inn i tunnelen, er årsaken til at det på store deler av dette prosjektet er blitt påkrevd systematisk injeksjon. Tunnelen som skal bygges krysser ved et punkt en kloakktunnel. Ved passering av kloakktunnelen skal det brukes reduserte salvestørrelser, for å forsikre seg om at kloakktunnelen ikke skades. SVV har også satt restriksjoner på tidspunkt for støyende arbeid på deler av strekningen. Alle disse restriksjonene fra SVV, var kjent når AF Anlegg inngikk kontrakt om RVV. I hvor stor del av prosjektet restriksjonene er gjeldende, er derimot ikke fastsatt i kontrakten.



Figur 1 Veitrasé Ringveg Vest [6]

2 Teori

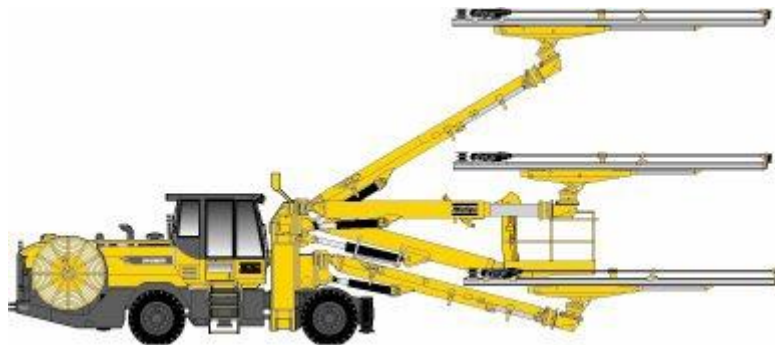
I dette kapittelet gjennomgås teorien som ligger til grunn for tidsmålingene, analysene og diskusjonene i denne oppgaven. Teorien ansees som viktig og relevant for å kunne trekke konklusjoner ut i fra problemstillingen. Dette kapittelet omhandler også arbeidsoperasjonene og driftsopplegget, gjennomgang av faktorer som påvirker tunneldrivingen, NTNU-modellen og en kort del om statistikken som er blitt brukt i oppgaven.

2.1 Arbeidsoperasjoner ved tunneldriving

Tunneldriving gjennomføres med repeterende arbeidsoperasjoner i syklisk rekkefølge. Hovedarbeidsoppgavene ved tunneldriving er boring, sprenging, utlasting og sikring.

2.1.1 Boring

Boring er en stor del av tunnelarbeidet. Det må bores salvehull slik at sprengstoffet kan plasseres i berget, og det må bores hull til boltene som skal settes. Boring påvirker derfor resultatet av sprenging, blant annet hvordan konturen av tunnelverrsnittet blir etter sprenging. Boring utføres ved bruk av 3-boms borrygg med korg. Det kan bores med tre bormaskiner samtidig, som styres fra førerhuset av bas.



Figur 2 Borrbygg [7]

2.1.1.1 Borbarhet

«Bergets borbarhet defineres som den netto inndrift som oppnås ved boring av et hull med en bestemt diameter under bestemte arbeidsbetingelser, samt den slitasje som bergarten forårsaker på borverktøyet» [1]. Forenklet vil det si at bergets borbarhet forteller oss hvor stor borsynk og hvor stor borslitasje vi kan oppnå i en gitt bergart [8]. Hvilket borutstyr som blir brukt under boring, borhulldiameter, lufttrykk, matetrykk og spylekapasitet er

eksempler på forhold som vil gi ulike resultater når geologien er den samme. Borbarhet er dermed i tillegg til geologi, også avhengig av ulike arbeidsbetingelser[1].

Bergets borbarhet kan uttrykkes ved borsynkindeksen(DRI) og borslitasjeindeksen (BWI). DRI er et resultat av sprøhetstallet (S_{20}) og Sievers J-verdi(SJ). Parameteren S_{20} er et mål for bergartens motstand mot knusning ved gjentatte slag. SJ angir bergartens motstandevne mot inntrenging av et miniatyrbor [9]. BWI sammensettes av DRI og slitasjetallet (AV) [8]. Slitasjetallet angir bergets evne til å slite hardmetall på borskjær [10].

God borbarhet forutsetter en høy borsynk og en lav borslitasje. God borbarhet vil dermed føre til lave kostnader per bormeter som følge av at boringen vil gå raskere og borutstyret vil utsettes for mindre slitasje enn borutstyr som brukes under dårligere forhold [8].

2.1.2 Sprenging

Sprenging er en viktig del av tunnelarbeidet, da det er sprengingen som fører til inndrift i tunnelen. Ved tunneldriving blir det utarbeidet en sprengningsplan for å kunne ha kontroll over sprengingen, og for å sikre at dette blir gjort på den riktige måten. En sprengningsplan kan deles opp i tre deler; borplan, ladeplan og tennplan. Borplanen angir antall, størrelse og plassering av salvehull i tillegg til lengden av salvehullene. Ved tunneldriving blir borplanen lagt inn i datasystemet i borrhjelen, slik at bas kan bore etter borplanen og at hullene blir boret nøyaktig som borplanen viser. Ladeplanen skal angi hvilke type sprengstoff som skal brukes, og hvor stor mengde av sprengstoff som skal brukes på hver salve. Tennplanen skal gi en beskrivelse av rekkefølgen og hastigheten av detonasjonen for hver salve. Ved sprenging under jord brukes ikke elektriske tennere (Nonel). Tennplanen angir da nummereringen av forsinkelsene som hver Nonel-slange innehar. Nummereringen skal sikre at hvert salvehull eller gruppe av salvehull får best mulig utslagsforhold.

2.1.2.1 Sprengbarhet

Bergets sprengbarhet kan beskrives ved sprengbarhetsindeksen(SPR). SPR defineres som mengden sprengstoff som trengs for å bryte berget til en bestemt grad av fragmentering, hvor 50 % av den utsprengte steinen har størrelse under 250 millimeter [11]. Med andre ord oppnår berg med god sprengbarhet den gitte fragmenteringen med et lavere sprengstofforbruk. Dette er ønskelig fordi et lavere sprengstofforbruk kan redusere antall bormeter, da det ikke trengs å bore like mange salvehull til sprengstoff [8]. Dette vil videre

føre til tids- og kostnadsbesparelser. Bergets SPR er ikke kontrollerbar, og sprengningsarbeidet må derfor tilpasses den SPR som berget har på stedet.

Bergmassens sprengbarhet blir påvirket av bergets sprengbarhet, grad av oppsprekking i berget og hvilken sprengstofftype som blir brukt ved sprenging. Bergets sprengbarhet er et resultat av anisotropi, densitet, lydshastighet, sprengstoffets ladetetthet og mineralogi og kornbinding [12]. En bergart med høy anisotropi får en dårligere SPR enn en bergart med lav anisotropi. Bergarter med høy densitet, altså tunge bergarter, har dårligere SPR enn bergarter med lav densitet. Sprengstoffets ladetetthet angir hvor godt sprengstoffet er pakket i salvehullene. En høy ladetettheten vil gi en dårligere SPR enn en lav ladetetthet. Oppsprekkingene i bergmassen blir ikke tatt hensyn til i SPR. Oppsprekkingen kan ha mye å si for den reelle sprengbarheten, og SPR vil derfor ikke alltid være et godt mål på den virkelige sprengbarheten. Generelt vil liten oppsprekking i bergmassen føre til god sprengbarhet, mens en svært oppsprukket bergmasse vil føre til dårligere sprengbarhet [8].

2.1.3 Utlasting

Utlasting av utsprengte masser er essensielt i tunneldriving, da videre arbeid på stuff ikke kan begynne før massene er lastet ut. Før et tunnelprosjekt starter, er det viktig å ha en plan på hvor massene skal dumpes. Lange avstander til massedeponi kan være kritisk for tunneldrivingen, og må derfor tas hensyn til i planleggingen av prosjektet.

2.1.4 Sikring

Sikring av tunnelen er svært viktig. Både med tanke på sikkerheten for arbeiderne under driving, men også sikkerhet i tunnelen når den er ferdig og kommer i en driftssituasjon. Sikringen som utføres for å sikre personell under drivingen, kalles arbeidssikring. Arbeidssikringen skal utføres slik at sikkerheten til alt personell er tilfredsstillende under hele prosjektperioden. Permanentsikring er sikringen som er nødvendig for sikkerheten i tunnelen når den blir tatt i bruk. Omfanget av permanentsikringen avhenger av bruksområdet til tunnelen. I en vanntunnel skal det ikke ferdes folk etter at den er ferdig drevet og fylt med vann. Permanentsikring er derfor i mindre grad nødvendig i forbindelse med vanntunneler. Samferdselstunneler, derimot, må være sikre for ferdsel i ettertid. Tunnelen skal planlegges å ha en levetid på minst 50 år [13]. Det kan være vanlig at sikringskonstruksjonene har samme levetid, ellers må sikringen oppgraderes underveis [14]. Permanentsikringen blir som regel utført samtidig som arbeidssikringen under

tunneldrivingen. Det vil si at bolting, sprøytebetong og lignende blir utført i henhold til den permanentsikringen som tunnelen krever. Hvis dette ikke blir gjort, må man gå tilbake å sette bolt og påføre sprøytebetong i ettertid.

Rensk av berget er det første sikringsarbeidet som utføres etter sprenging. Det er derfor viktig at arbeidet utføres slik at man under renskearbeidet hele tiden står under rensket berg. Hensikten med bergrensk er å fjerne løse masser, slik at det ikke er fare for nedfall når påfølgende arbeid starter. Bergrensk omfatter både maskinrensk og spettrensk. Maskinrensk er rensk av berget ved bruk av hydraulisk hammer, pigg, som pigger vekk løse masser. Piggmaskinen klarer ikke å fjerne alle løse masser, særlig ikke småstein som er løse. For at berget skal være rensket for alle løse masser, blir derfor berget spettrensket etter pigging[14].

Bolting av berget, er sammen med sprøytebetong, den vanligste sikringsmetoden i bergarbeider. Berget boltes for å sikre berget mot nedfall. Det finnes 3 hovedtyper av bolter:

- Endeforankrede bolter
- Fullt innstøpte bolter
- Kombinasjonsbolter

Endeforankrede bolter forankres med en ekspansjonshylse eller to-komponent polyester lim som herder umiddelbart etter at bolten er satt, og har på den måten full effekt med en gang bolten er satt. De fullt innstøpte boltene gyses med en gang de settes. De har dermed ikke full effekt før etter at gysmassen er herdet. Kombinasjonsbolter endeforankres først og fullgyses deretter. På den måten fungerer de som sikring med en gang, i tillegg til at de blir svært sterke i ettertid [14]. Ved å bruke kombinasjonsbolter vil en kunne bruke de som arbeidssikring, som senere inngår i permanentsikringen.

Sprøytebetongens virkemåte som sikring er at det holder "låsesteiner" i overflaten på plass. På den måten bevares konturen. I tillegg sikrer sprøytebetongen til en viss grad mot nedfall. Ulempen med sprøytebetong er at den skjuler berget, etter at den er påført. Dokumentasjon av bergkvalitet er derfor spesielt viktig når sprøytebetong brukes som sikringsmiddel, slik at det i ettertid kan være mulig å vite hvilke bergforhold det er i tunnelen [14].

2.1.4.1 Q-systemet

Q-systemet er en metode for å klassifisere berget når man skal avgjør type og mengde sikring som må brukes i tunnelen. Tabell i vedlegg 1 viser sammenhengen mellom Q-verdi, bergmasseklasse og sikringsklasse. For å klassifisere berget i sikringsklasse fastsettes det først en Q-verdi, deretter kan bergmasseklassen avgjøres. Ut fra bergmasseklassen kan sikringsklassen fastsettes, og sikringsmengde og type kan avgjøres.

Verdien av Q uttrykker «kvaliteten av berggrunnen med hensyn til stabilitet i tunneler og bergrom» [15]. Q-verdien blir regnet ut ved hjelp av følgende formel:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

2-1

For å finne Q-verdien må derfor seks parametere fastsettes [15]. Formelen er sammensatt av tre forholdstall:

- $\frac{RQD}{J_n}$ er et mål for relativ blokkstørrelse.
- $\frac{J_r}{J_a}$ representerer skjærfastheten på sprekkeflatene i berget.
- $\frac{J_w}{SRF}$ uttrykker aktive spenninger i berget.

Parameterne RQD, J_n , J_r og J_a omhandler oppsprekningen av bergmassene som analyseres. De aktive spenningene skal uttrykke tilstanden som bergmassene er i.

RQD uttrykker bergets oppsprekingsgrad. En lav verdi av RQD signaliserer at berget er svært oppsprukket. En høy verdi av RQD betyr et lite oppsprukket berg. RQD er sammen med SRF ofte den parameteren som har størst betydning i Q-systemet. For tunneler skal alle sprekker tas med når verdien skal fastsettes, også sprekker som har oppstått på grunn av sprenging. Sprekker som oppstår på grunn av sprenging vil ha innvirkning på hvor mange sprekkesett som registreres på det aktuelle stedet. Under geologisk kartlegging i tunneler blir denne verdien fastsatt ved observasjon i tunnelen. I tabell for oppsprekkingstall i vedlegg 2 defineres det hvor mange sprekker per m^3 hver verdi av RQD representeres. Med andre ord vil RQD kunne fastsettes i tunnelen ved å observere antall sprekker per m^3 på målestedet.

Parameteren J_n angir antall sprekkesett. Få sprekkesett gir en lav J_n verdi, mens mange sprekkesett og oppknust berg gir en høy verdi av J_n . Et sprekkesett er definert som parallellorienterte sprekker som har en innbyrdes avstand mindre enn 2 meter. J_n vil derfor kunne fastsettes ved observasjon.

J_r beskriver ruheten for sprekkeflaten. En høy J_r verdi fås ved godt berg, mens et lavt tall signaliserer dårlig bergkvalitet. Ruhetstallet er avhengige av to forhold; Glatthet av sprekkeflaten og planhet av flaten. Det mest ugunstigste tilfellet for J_r skal brukes når Q -verdien beregnes. Denne verdien kan måles; men ved geologisk kartlegging i tunnel vil denne verdien avgjøres ved å observere berget og deretter angis J_r verdien ved skjønn.

Parameteren J_a er et tall for sprekkefylling og sprekkebelegg. Parameteren skal beskrive mineraltype som kan forekomme i sprekker. Dette kan observeres i tunnelen der den eventuelle sprekkefyllingen eller sprekkebelegget ikke er vasket ut av sprekkenes med vann.

J_w er en faktor som angir innlekkasje av vann i tunnelen. En faktor på 1 betyr tørre eller litt fuktige forhold. Lavere verdier enn dette betyr innlekkasje inn i tunnelen.

SRF skal representere aktive spenninger som forekommer i berget. Spenningsforholdene i berget deles opp i fire kategorier:

- A) Svakhetssoner som skjærer tunnelen.
- B) Spenninger i harde, kompetente bergarter. Dette omfatter stabilitetsforholdene; blokknedfall og sprakeberg/bergslag.
- C) Spenninger i inkompetente bergarter.
- D) Svellende leire på grunn av kjemisk svelleaktivitet med tilgang på vann.

Når verdien av SRF skal finnes, må berget som analyseres først plasseres i en av kategoriene over. Deretter spesifiseres berget videre i henhold til tabell i vedlegg 2. Det kan nevnes at kategori C er sjeldent i Norge og at kategori D ofte fører til at sikring må dimensjoneres spesielt. Gunstige spenningsforhold gir en lav verdi på parameteren, mens ugunstige bergforhold gir en høy verdi på parameteren.

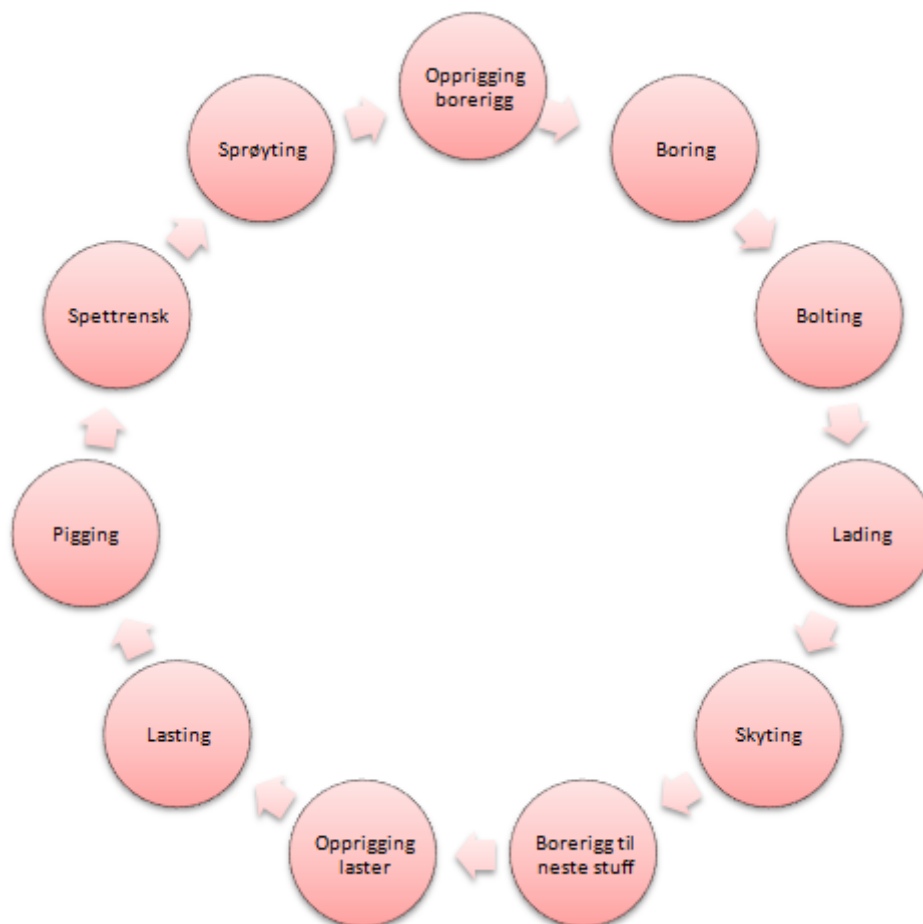
Q -verdien forteller en del om bergforholdene på det aktuelle stedet. En høy Q -verdi vil gi en bergmasseklasse i øvre del av alfabetet og dermed også en lav sikringsklasse, noe som fører til moderat sikringsmengde. En lav Q -verdi gir en høy sikringsklasse, noe som fører til økt sikringsmengde. De høyeste sikringsklassene krever spesiell sikring [15, 16].

2.1.5 Salvesyklus

Tunnelen i RVV prosjektet er en toløpstunnel som blir drevet som vekseldrift fra to sider (Sandeide og Liavatnet). Det vil si at man driver tunnel fra to stuffer samtidig. Tunnelarbeidet på de to sidene er, forenklet, uavhengige av hverandre. Med andre ord følger tunneldrivingen på Liavatnet og Sandeide samme salvesyklus, og salvesyklusene er uavhengige av hverandre.

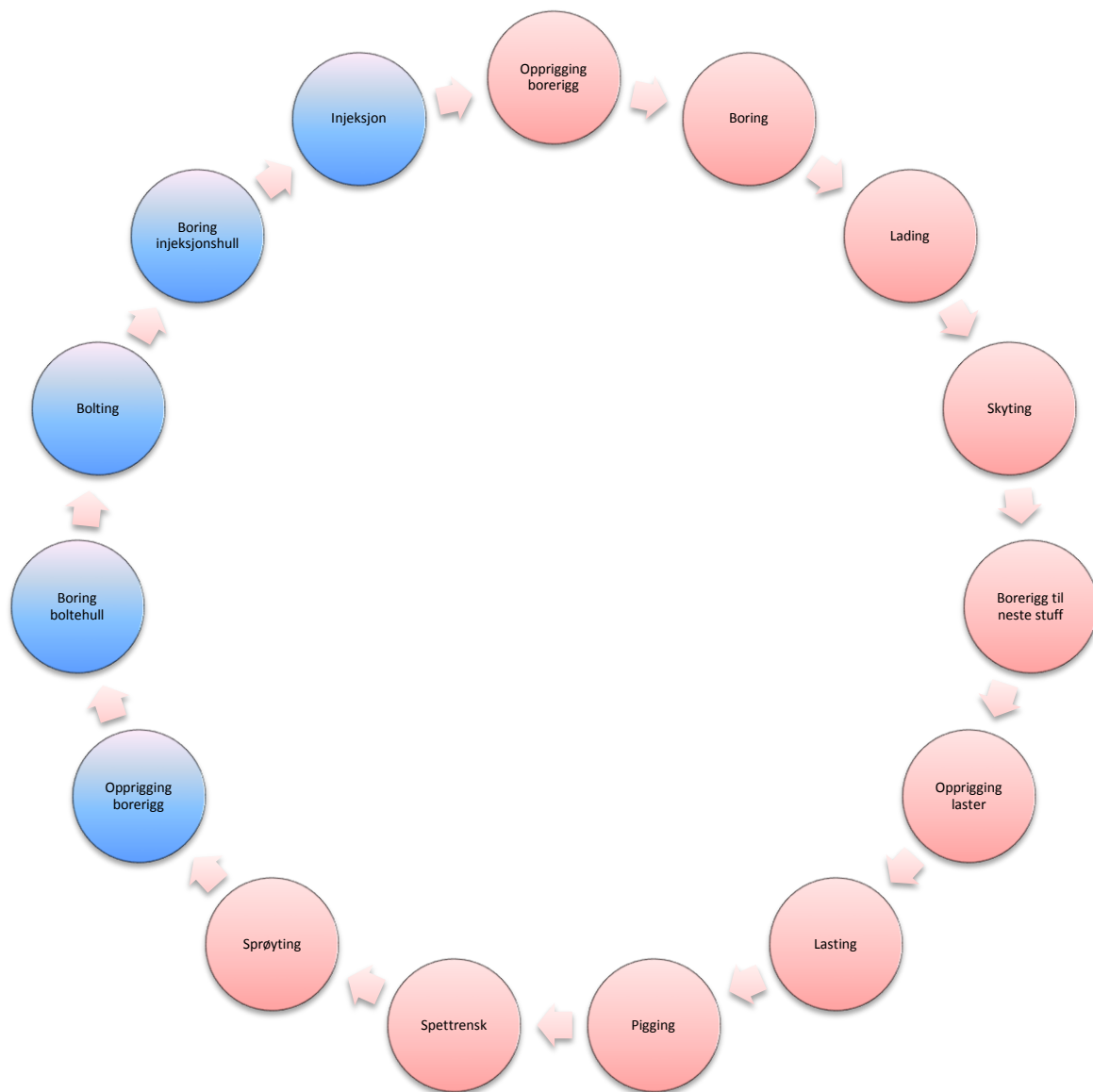
På noen tunnelprosjekter tas det en ventilasjonspause etter skyting for å ventilere ut skytegasser før utlasting av massene starter. I slike tilfeller ville ventilasjonspausen også vært inkludert i salvesyklusen. På RVV er det ikke opphold fra salven blir skutt til hjullasteren kjører inn. Dette fordi ventilasjonen i tunnelen er tilstrekkelig god, og det er derfor ikke nødvendig med et opphold etter sprengning.

Salvesyklus for tunneldrift der det drives vekseldrift er vist i figur 3 [17]:



Figur 3 Salvesyklus

Figur 4 viser hvordan salvesyklusen ser ut når injeksjonsarbeid er inkludert.



Figur 4 Salvesyklus inkludert injeksjon

Videre følger forklaring av hva hver enkelt arbeidsoperasjon i figur 3 og figur 4 omfatter.

Opprigging borerigg: Med opprigging av borerigg menes innkjøring av borerigg på stuff og klargjøring til boring. Boreriggen må kobles til elektrisitet og vann. Opprigging inkluderer også oppstilling av borerigg på stuff og navigering, slik at boreriggen står i rett posisjon i forhold til stoffen.

Boring salvehull og boltehull: I mange tilfeller blir boltehullene boret først, og deretter blir boltene satt og gyst. Etter at boltene er satt vil salveboringen starte. Ofte blir salveboringen påstartet samtidig som det bores boltehull, for å utnytte kapasiteten når man har tre bormaskiner. Deretter blir alle bormaskinene stoppet for boring, for å kunne sette bolt. I

dette prosjektet, og de fleste andre tunnelprosjekter for SVV, er det ikke tillatt å bore samtidig som man bolter eller lader salven. For å forenkle dette, blir all boring satt som en arbeidsoperasjon mens setting av bolt og gysing blir satt som påfølgende aktivitet.

Bolting og gysing: Boltene settes som sikring. Sikring i tunnel er omtalt i kapittel 2.1.4 Sikring. For det meste blir det brukt kombinasjonsbolter på dette prosjektet. Kombinasjonsbolter krever i tillegg til å sette boltene med ekspansjonshylse, at boltene gyses fast ved bruk av en sementbasert gysemasse. Denne arbeidsoperasjonen utføres ved at boltene først blir satt i boltehullene, deretter gyses boltene.

Lading: Denne arbeidsoperasjonen inkluderer plassering/fylling av sprengstoff i hull. T-patroner eller primere skal plasseres i salvehullene sammen med tennere, og hullene skal deretter fylles med slurry fra slange. Til slutt kobles salven sammen ved bruk av detonerende lunte, og antennes ved bruk av fenghette og tjærelunte.

Borrigg til neste stuff: Med dette menes det nedrigging av borrigg og utkjøring av borrigg i den avstand som er forsvarlig når salven skytes. Borriggen kjøres inn på neste stuff. Hvis neste stuff er klar, kan opprigging av borerigg og deretter boring begynne her. Dersom neste stuff ikke er klar, blir det ventetid.

Opprigging laster: Før selve utlastingen av massen kan begynne må først hjullasteren kjøre inn i tunnelen. Lasteren fjerner deretter løse masser som kan løsne fra hengen, slik at stoffen er tilfredsstillende sikret til utlasting og senere pigging. Samling og spyling av røys inkluderes også.

Lasting: Med lasting menes utlasting av all utsprengt masse. Dette utføres ved at hjullaster laster utsprengt masse på dumpere og/eller lastebiler. Arbeidsoperasjonen inkluderer også opprensk som utføres til slutt.

Pigging: Aktiviteten omfatter opprigging av piggemaskin og selve piggingen av berget. Berget pigges for å fjerne løs bergmasse, slik at vi ikke får nedfall før sprøytebetong er påført berget og at det er trygt når berget skal boltes.

Spettrensk: Spettrensk utføres manuelt fra korg montert i skuff på hjullaster. Dette gjøres for å få spettet ned småflis, som ikke nødvendigvis blir fjernet under pigging.

Sprøytebetong: Sprøytebetong påføres berget fra spruterigg. Sprøytebetongen blir levert av betongbiler inne i tunnelen, under påføringen av betongen. Arbeidsoperasjonen inkluderer opprigging av spruterigg og påføring av sprøytebetong på berget.

Aktivitetene nedenfor gjelder for utførelse av injeksjon:

Opprigging borrhigg

Boring av boltehull

Bolting

Boring av injeksjonshull: Injeksjonshullene er svært lange, og krever derfor stangskjøting under boring. Dette fordi borstangen som brukes under boring av salvehull og borehull ikke er lang nok. Det vil si at det må skjøtes på borstenger etter hvert som boren kommer lenger og lenger inn i berget. Noe som medfører at stuffreparatør (stuffrep) må være i korgen og skjøte stenger under hele boreoperasjonen. Denne arbeidsoperasjonen omfatter også setting av injeksjonsstaver og sikring av disse.

Injeksjon: Med injeksjon, menes pumping av injeksjonsmasse inn i injeksjonshullene. Før pumpingen kan begynne må injeksjonsrigger rigges opp. Etter at pumpingen er avsluttet, må utstyr vaskes og rigges ned.

Syklus starter om igjen: Opprigging borrhigg

2.2 Geologi

Geologi er sentralt ved bygging av tunneler. Geologien er svært viktig med tanke på sikringsmetode og sikringsmengde; dette ble diskutert i kapittel 2.1.4 Sikring. I dette avsnittet vil ulike mineraler og bergarter, geologi i Norge og ulike ingeniørgeologiske forhold bli behandlet.

2.2.1 Mineraler og bergarter

«Mineraler defineres som forekommende grunnstoff eller kjemiske forbindelser i jordskorpen»[18]. De ulike mineralene klassifiseres på grunnlag av den enkeltes fysiske egenskaper. Dette kan typisk være massetetthet og ripehardhet [18].

«En bergart defineres som et naturlig dannet aggregat av et eller flere forskjellige mineraler»

[18]. Bergarter klassifiseres i tre hovedgrupper basert på hvordan de er dannet:

- Eruptive bergarter
- Sedimentære bergarter
- Metamorfe bergarter

Bergartene får navn i første rekke etter dannelsesmåte, mineralsammensetning og metamorfosegrad¹. Det kan være store forskjeller i fysiske og mekaniske egenskaper innenfor hver enkelt bergart, på grunn av at mineralkornets størrelse, form, orientering og sammenbinding mellom kornene ikke er tatt hensyn til ved navnetsettingen. Mineralkornenes karaktertrekk vil også spille inn på bergartens egenskaper, og vi vil derfor få en bredde i fysiske og mekaniske egenskaper innenfor de ulike bergartene. Bergartenes egenskaper kan i noen tilfeller preges i stor grad av mineralene de er sammensatt av. For eksempel vil eruptive og metamorfe bergarter sin slitasje på stål og hardmetall være sterkt påvirket av kvartsinnholdet. Dette fordi kvarts har svært høy ripehardhet [18].

Omtrent halvparten av bergartene som kan finnes i Norge er av prekambrisk² alder. Av grunnfjellet er det granitt og gneis som er de vanligste bergartene, men andre bergarter som gabbro, amfibolitt, kvartsitt og sandstein kan også forekomme. Om lag 15 % av Norges bergarter er av eokambrisk³ alder. Dette er gjerne bergarter som sandstein, skifter og konglomerat. Disse bergartene er ofte å finne i Gudbrandsdalen, Østerdalen og Finnmark. Omkring 30 % av Norges bergarter er av kambro-silur⁴ alder. Dette kan være bergarter som fyllitt, sandstein, vulkanske bergarter, glimmerskifer, kalkmarmor, leirskifer og kalkskifer. Omtrent 2 % av bergartene i Norge er av permisk⁵ alder. Disse bergartene finnes i Oslofeltet. Bergarter som er i denne kategorien er for eksempel basalt, granitt, syenitt og diabas. Flere istider i Norge har forårsaket betydelig erosjon på berggrunnen. Dette har ført til at svært oppsprukket berg og svake bergarter har blitt sterkt erodert [18].

¹ "Metamorfose er omdannelsen av bergarter på grunn av endringer i trykk og temperatur" 19. Raade, G. *metamorfose: geologi*. 2009 [cited 2013 05.21]; Available from: <http://snl.no/metamorfose/geologi>.

² Bergarter eldre enn 600 millioner år 18. Nilsen, B., *Mineraler bergarter bergartsegenskaper Norges berggrunnsgeologi*, in *Ingeniørgeologi for bygge- og anleggsledere i underjordsarbeid* Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Editor. 2008, Norges teknisk -naturvitenskapelige universitet: Trondheim.

³ Bergarter som er mellom 570 millioner og 600 millioner år 18. Ibid.

⁴ Bergarter med alder mellom 400 millioner og 600 millioner år 18. Ibid.

⁵ Bergarter som er omtrent 270 millioner år 18. Ibid.

2.2.2 Ingeniørgeologiske forhold

Bergmasse defineres som «*det faste materiale som finnes in situ bestående av bergarter med tilhørende oppsprekking*» [20]. Bergmassekvalitet er med andre ord knyttet til både bergartene og oppsprekkingen i berget [21]. Bergspenninger og vannforhold er faktorer som påvirker bergmassens tilstand. Bergmassens oppsprekingsgrad, og type sprekker som opptrer i bergmassen påvirkes både av bergartens mekaniske egenskaper og påkjenningene bergmassen har blitt utsatt for [20].

Bergmassens detaljoppsprekking omfatter bergmassens riss, stikk, sprekker og tynne slepper. Detaljoppsprekkingen kan være primært dannet, som følge av naturlige påkjenninger som bergmassene har blitt utsatt for. Riss og sprekker kan også være sekundært dannet som resultat av påkjenninger i tilknytning til, for eksempel, tunneldriving. «*Stikk er primært dannete, små og ofte så vidt synlige diskontinuiteter*» [20]. Stikk strekker seg som regel ikke så langt. Riss defineres på samme måte som stikk, men er sekundært dannede. Rissene løper også som regel over korte avstander. Sprekker kan være primært eller sekundært dannede. Sprekker er gjennomsettende diskontinuiteter som ikke har mineralbelegg eller mineralfylling. Slepper er derimot gjennomsettende diskontinuiteter som har mineralbelegg eller mineralfylling. Bergmassens oppsprekingsgrad kan blant annet bli klassifisert ved bruk av RQD. RQD er oppsprekkingstall som blant annet er en av parameterne i Q-verdien [20].

Svakhetssoner er et viktig begrep når det gjelder geologi i forbindelse med tunneldriving. Dette fordi svakhetssoner kan ha stor innvirkning på tunneldrivingen både når det gjelder stabilitetsforhold og inndrift. Svakhetssoner er en felles benevnelse på større diskontinuiteter som kan opptre i bergrommet [21]. Svakhetssoner kan deles inn i to hovedgrupper:

- De svake bergartslag
- De tektoniske bruddsoner

For å avgjøre om vi har en svakhetssone som klassifiseres i gruppen svake bergartslag, må i tillegg til bergartens styrke også bergartens styrke sees i forhold til styrken til

omkringliggende bergarter. Tektoniske bruddsoner oppstår som et resultat av at berggrunnen er blitt utsatt for tektoniske spenninger⁶ [20].

Vann i berg kan skape en rekke problemer ved underjordiske anlegg. Lekkasje eller store vanninnbrudd i bergrommet kan føre til at driften hindres eller må stoppes, aggressivt vann kan angripe installasjoner, og slepper og knusningssoner kan bli vasket ut slik at stabiliteten reduseres. Det er derfor av stor betydning å ha vannlekkasjer og vanninnbrudd under kontroll når tunnelen drives, også med tanke på vedlikehold og sikkerhet av tunnelen i en driftssituasjon. Vann kan forekomme i bergmasser på fem forskjellige måter:

- Mineraler kan inneholde kjemisk bundet vann
- Mineraler kan inneholde hygroskopisk⁷ eller absorbert vann
- Absorbert eller overflatebundet vann som ligger på mineraloverflater
- Kapillært⁸ vann i kapillære åpninger
- Fritt vann på sprekker og åpninger i berget som kan bevege seg avhengig av hydrauliske forhold

Det fritt bevegelige vannet som kan forekomme på sprekker og åpninger, er av størst betydning når det gjelder underjordiske anlegg. Problemet med bergmasser under dagsonen er at bergsprekkene sjeldent er åpne. Ofte er sprekkeene fylt igjen av ulike materialer, og det er derfor vanskelig å forutsi vannstrømningene i bergmassene. Det vil ofte se ut som om vann siver ut fra tynne, åpne sprekker i berget på en sprengt flate. Dette kan komme av bergets reaksjon av sprengingen, og trenger ikke nødvendigvis representere vannstrømningene i bergmassene in situ. Vannlekkasjer kan stoppes ved å injisere bergmassen. Dette gjøres ved å pumpe sementbasert masse inn i berget under høyt trykk. På den måten vil vannet bli stoppet før det lekker inn i bergrommet [20].

Spenningene som oppstår rundt et bergrom påvirkes av bergrommets form og spenninger som eksisterte på stedet før bergrommet ble sprengt ut. Det skiller mellom radialspenninger

⁶ Tektoniske spenninger opptrer i jordskorpa. Spenningene kan utløses gjennom for eksempel jordskjelv eller hevingen av den Skandinaviske halvøy 20. Holmøy, K., *Grunnleggende ingeniørgeologiske forhold*, in *Ingeniørgeologi for bygge- og anleggsledere i underjordsarbeider* Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Editor. 2006, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet: Trondheim.

⁷ Hygroskopisk vann er vann opptatt fra vanddampen i luften 22. Christensen, S. *Jordvann*. 2009 [cited 2013 05.21]; Available from: <http://snl.no/jordvann>.

⁸ Kapillær vann = porevann

og tangentialspenninger avhengig av hvordan spenningene virker på bergrommets flate. Radialspenninger står radielt til overflaten, mens tangentialspenninger står tangentielt til flaten. Bergtrykks-problemer i bergrom oppstår som følge av tangentialspenninger, og på grunn av bergartens manglende evne til å ta opp radialspenninger. Brudd i bergmassen vil oppstå enten fordi de tangentielle spenningene er for store eller små (slik at de blir negative) i forhold til bergmassens styrke. Vi skiller mellom brudd i strekkområdet og brudd i trykkområdet. Konsekvensene av brudd i strekkområdet er at det kan dannes radielle riss og sprekker. Som regel vil ikke brudd i strekkområdet føre til stabilitetsproblemer, da radielle spenninger ikke presser bergmasser mot det åpne rom. Unntaksvis kan blokker løsne fra berget hvis strekkområdet befinner seg høyt oppe i profilet, og bergmassen har en markert sprekeretning slik at strekkområdet står tangentielt til flaten. Brudd i trykkområdet fører til fenomenet som kalles sprakeberg. Grunnen til at det kalles sprakefjell er at de store tangentielle spenningene medfører at bruddannelsen lager lyd. Et høyt spenningsnivå kan føre til at berget skaller av. Ved enda høyere spenninger kan store flak kastes ut fra berget [20].

2.3 Personell

Siden denne oppgaven bare omfatter selve tunneldrivingen, vil kun personell direkte tilknyttet tunnelarbeidet behandles i dette kapittelet. Jeg deler personalet som arbeider på prosjektet opp i funksjonærer og timelønnede. Funksjonærer på RVV er prosjektleder, assisterende prosjektleder, prosjektøkonom, sivilingeniør, HMS- og KS leder, prosjektingeniør tunnel, kontraktsleder, anleggsleder, assisterende anleggsleder, stikningsingeniører, maskiningeniør, verksmester og arbeidsledere. De timelønnede er arbeiderne som driver tunnelen, også kalt tunneldrivere.

Tunneldriverne, arbeidsledere og stikningsingeniører arbeider skift inne i tunnelen. Da denne oppgaven ble skrevet og tiden frem til gjennomslag ble det arbeidet en 12-16 rotasjon. Dette innebærer at de i arbeidsperioden arbeider 12 timer hver dag i 12 dager, eksklusiv søndag, i arbeidsperioden for så å ha 16 dager fri. I oppstarten av prosjektet ble det arbeidet en 12-9 rotasjon, som er den mest vanlige arbeidsordningen for tunneldrivere i Norge. En 12-9 ordning innebærer at hvert skiftlag arbeider 10 timer hver dag i en 12-dagers periode for så å ha 9 dager fri. Det vil i prinsippet si at det arbeides 20 timer i døgnet i tunnelen ved en 12-9 rotasjon. Problemet med denne rotasjonen var at injeksjonsarbeidet i

noen faser ikke gjorde det mulig å ha fire timer i løpet av døgnet uten drift i tunnelen. Dette fordi arbeidsoperasjonen når man pumper inn injeksjonsmasse i injeksjonshullene må fullføres når det er påstartet. Tunneldrivingen på dette prosjektet har vært svært preget av mye injeksjonsarbeid, og det ble da besluttet at man skulle gå over på en 12-16 rotasjon. Under følger en oversikt over totalt mannskap på Sandeide og Liavatnet på samme skiftordning:

- 1 arbeidsleder
- 1 stikningsingeniør
- 2 baser
- 2 stuffreper
- 2 lastere
- 2 på injeksjonsarbeid
- 2 på verksted
- 1 bakstuff/elektriker
- Eventuelt lærlinger.

Arbeidsleder, stikningsingeniør og bakstuff arbeider på både Sandeide og Liavatnet. De andre arbeider på hver sin faste side av tunnelen. Det vil si at det totale mannskapet deles opp i 2, slik at det til enhver tid arbeider 1 bas, 1 stuffrep, 1 laster, 1 på injeksjonsarbeid, 1 på verksted og eventuelt lærlinger på hver side av tunnelen.

2.4 Faktorer som påvirker inndriften

Hver arbeidsoperasjon og overgangen mellom hver arbeidsoperasjon må utføres så effektivt som mulig for å få en produktiv tunneldriving. Særlig bør det legges vekt på å redusere tiden på arbeidsoperasjoner som ikke er verdiskapende; i den betydning at arbeidsoperasjonen ikke fører til fremdrift av tunnelen. En god fremdrift i tunnelen er svært viktig, da dette forkorter byggetiden og dermed kostnader. En rekke faktorer vil påvirke inndriften i tunnelarbeidet. De mest vesentlige faktorene er kommentert i dette kapitlet. Faktorer som påvirker inndriften i tunnelen deles opp i følgende kategorier: geologi, ledelse, krav/restriksjoner, utstyr og personell.

Geologiske forhold kan ha stor innvirkning på inndriften som oppnås i tunneldrivingen. Bergarten avgjør hvor god borbarehet vi har på stedet. Dette har innvirkning på boretiden og

slitasjen på utstyr. Utstyr som er utsatt for mye slitasje, krever hyppigere vedlikehold, i tillegg til at det oftere vil bli havari på utstyr. Utstyr som er utsatt for høy grad av slitasje fører også til at deler av utstyr må byttes ut oftere. Geologien avgjør også bergmassens sprengbarhet. Det er bergartens SPR, sammen med bergmassens oppsprekking, som utgjør bergmassens sprengbarhet. Sprengbarheten vil påvirke nødvendig sprengstofforbruk. Geologien relateres også til bergmassens beskaffenhet. Bergmassens beskaffenhet; det vil si oppsprekking i bergmassen, svakhetssoner, spenninger og eventuelt vanninnhold vil påvirke inndriften. Bergmassens beskaffenhet avgjør sikringsklasse, som videre avgjør hvor mange bolter som skal settes, hvor mye sprøytebetong som skal brukes på berget og eventuelt om andre sikringsmetoder må brukes. Andre sikringsmetoder kan for eksempel være full utstøping av tunneltverrsnitt, noe som typisk brukes i forbindelse med svakhetssoner. Sikring utover bolting og sprøytebetong vil spesielt ha stor innvirkning på fremdriften. Innlekkasje av vann i tunnelen vil kunne kreve injeksjonsarbeid, og dette vil i stor grad påvirke inndriften. Ved injeksjonsarbeid kan tiden som brukes til å pumpe inn injeksjonsmasse påvirkes av bergforhold. For eksempel kan svært oppsprukket berg føre til at det må pumpes store mengder injeksjonsmasse, fordi berget aldri blir "tett". Bergmassens beskaffenhet har også innvirkning på hvor mye løse masser som må fjernes ved bergrensk. Det kan også nevnes at tiden som brukes på pigging av berget kan variere mye fra person til person, dette fordi det kan være svært ulik oppfatning av hvor mye berget skal pigges for at det skal være tilfredsstillende.

Ledelsen er ansvarlig for driftsopplegget som brukes ved det aktuelle prosjektet. Driftsopplegget må være tilpasset det enkelte prosjekt og dets særegenheter. Et eksempel på en slik tilpasning er antall lastebiler og/eller dumpere som skal kjøre ut utsprengte masser. Tidspunkt og antall biler tilpasses avstanden fra tunnel til tipp, og lang kjøreavstand krever flere biler, slik at det ikke blir ventetid inne i tunnelen. En løsning kan også være å bruke midlertidig lagring av masser i tunnelen. Ledelsen er ansvarlig for tennplaner, ladeplaner, borplaner og stikning. For at tunneldrivingen skal foregå mest mulig produktivt er det viktig at dette er optimalisert, og at det ikke gjøres feil i for eksempel stikkingen. Stikningsfeil kan føre til at arbeid må gjøres om igjen, og forsinkes dermed inndriften i tunnelen. Et annet essensielt ledelsesområde er å motivere de ansatte til å yte best mulig på arbeid.

Ulike krav og restriksjoner settes av byggherren ovenfor entreprenør på de ulike prosjektene. Mange av disse kravene er kontraktfestet, andre krav kommer som følge av for eksempel geologiske forhold. Strenge krav til maksimal innlekkasje i tunnelen er eksempel på krav som settes av byggherren. Byggherre kan også pålegge entreprenøren å utføre systematisk injeksjonsarbeid uten at grensen for innlekkasje er nådd, da grunnet andre geologiske forhold. Boligområder i nærheten av anleggsområdet, kan gi ulike restriksjoner på tunnelarbeidet fra byggherresiden. Rystelser i forbindelse med sprenging kan være problematisk for nabobygninger og maksimumsgrense for rystelser kan da settes av byggherre. For å etterfølge rystelsesgrensen, kan det i noen tilfeller være nødvendig å sprengte delte salver eller redusert salvelengde. Rystelseskrav kan derfor ha stor påvirkning på inndriften. Boligområder kan også føre til at det er nødvendig å regulere arbeidstiden i tunnelen. Arbeidstiden kan reguleres ved at det settes restriksjoner på tidspunkt for sprenging og utlasting, som er støyende arbeid. Det kan også avgrenses ved å redusere arbeidstiden per døgn i tunnelen. Byggherre kan gi restriksjoner når det gjelder utførelse av arbeid, for å ivareta sikkerheten ved prosjektet. Et vanlig krav er at det ikke skal oppholde seg folk foran bom når borryggen er i gang. Det vil i praksis si at bolting og lading ikke skal foregå samtidig som boring. Et annet vanlig krav ved tunneldriving er at det ikke lades samtidig som det bores. Trenden er at de fleste tunnelprosjektene som drives vil inneha disse restriksjonene fremover.

Utstyr er en essensiell faktor i tunnelarbeid. Mye av arbeidet i tunnelen er kritisk avhengige av utstyret som brukes. Boring kan for eksempel ikke utføres uten borrygg. Det er viktig at utstyret er tilgjengelig når det trengs. Det betyr at maskiner er ledige, når det er behov for de i tunnelen. Det krever at det finnes nok utstyr på anlegget, for å redusere ventetid på utstyr. Høy aktivitet på utstyr gjør at utstyret er særlig utsatt for slitasje. Det er også en svært kritisk faktor når det gjelder fremdrift at utstyret som skal brukes til enhver tid er i orden. Utstyr som ikke fungerer som det skal, kan føre til driftsstopp i tunnelen, og dette vil selvsagt påvirke fremdriften. For å forebygge dette er det viktig at det kontinuerlig utføres vedlikehold på utstyret. Utstyret som brukes bør ha høy ytelseeffekt, for å kunne holde oppe intensiteten på arbeidet. Dette påvirkes av alder på utstyret, eldre utstyret kan gi lavere prestasjon enn nyere utstyr. Utstyret som brukes bør også være tilpasset arbeidet som skal gjøres, slik at det kan brukes mest mulig effektivt.

Personell på arbeidslagene er svært viktig for en optimalisert tunneldriving. Det må være tilstrekkelig med arbeidskraft tilgjengelig. For få arbeidere fører til at inndriften reduseres, fordi det ikke er nok kapasitet til å fullføre alle arbeidsoppgavene effektivt. Men for mange tunnelarbeidere på hvert skift vil ikke være kostnadseffektivt. Man vil få en lavere produktivitet per ansatt, enn ved skift som er av optimal størrelse. En god balansegang er viktig med tanke på antall tunnelarbeidere på prosjektet. Det hjelper ikke å kun ha riktig antall tunnelarbeidere i arbeid; det må være de riktige tunnelarbeiderne. Tunnelarbeidernes erfaring er viktig for at arbeidet skal gjøres på best mulig måte. Og de må ha rett erfaring, det vil si erfaring fra tilsvarende prosjekter og tilsvarende arbeidsoppgaver. Erfarne tunnelarbeidere kan ha stor positiv virkning på inndriften i tunnelen. Arbeiderne må i tillegg til erfaring også ha kunnskap om sine arbeidsoppgaver, slik at de har grunnlag for å ta riktige avgjørelser underveis. Tunnelarbeidere med både kunnskap og erfaring er mye verdt for et entreprenørfirma. Motivert personell er viktig for å holde tempoet opp i tunneldrivingen. Motivasjonen til hver enkelt påvirkes av svært mange faktorer. Blant annet er tariffavtale, arbeidsordning og menneskelige faktorer av betydning for ansattes motivasjon. Motiverte arbeidere er løsningsorienterte, villige til å gi litt ekstra og vil generelt sørge for at produktiviteten går opp sammenlignet med umotiverte arbeidere. Hver enkelt tunnelarbeiders erfaring, kunnskap og motivasjon vil bli optimalt utnyttet ved rett sammensetning av arbeidslag. Arbeidslagene bør settes sammen med tanke på hver enkeltes kunnskap og erfaring, slik at man får best mulig utnyttelse av hver enkelt arbeider. Det kan også være et poeng å fordele kunnskap og erfaring mellom arbeidslagene, slik at arbeidslagene stiller omtrent like sterkt. Kjemi og samarbeidsevne er også svært viktige faktorer når det gjelder sammensetning av arbeidslag.

Figur 5 viser hvilke faktorer, delt i fem kategorier, som påvirker arbeidsoperasjonene i tunnelen. Kun hovedaktivitetene i salvesyklusen er tatt med i figuren.

	Geologi	Ledelse	Krav	Utstyr	Personell
Boring	Borsynk Borslitasje	Borplan Stikking	Rystelseskrav	Tilgjengelig utstyr Vedlikehold av utstyr	Tilgjengelig stuffrep Erfaren bas
Bolting	Sikringsklasse	Sikringsklasse formidlet Riktig klasse	Ikke bolting samtidig som boring Type bolt		Tilgjengelig stuffrep
Lading	Sprengbarhet	Tennplan Ladeplan	Rystelseskrav Ikke lading samtidig som boring		Samarbeid under lading
Lasting	Evt kronglete tunneltverrsnitt	Koordinering lastebiler		Tilgjengelig utstyr Vedlikehold av utstyr	Erfaren laster
Bergrensk	Omfang av bergrensk	Enhetlig oppfatning av bergrensk		Tilgjengelig utstyr Vedlikehold av utstyr	Tidsbruk på bergrensk Tilfredsstillende rensk
Sprøytebetong	Sikringsklasse	Koordinering betongbiler Bestilling betong		Tilgjengelig utstyr Vedlikehold av utstyr	Resultat av spruting
Injeksjon	Vann i berg Pumpetid	Driftsopplegg tilpasset injeksjon	Innlekkasje krav Systematisk injeksjon	Tilgjengelig utstyr Vedlikehold av utstyr	Eget personell på injeksjon

Figur 5 Faktorer som påvirker inndrift

2.5 NTNU-modellen

NTNU-modellen er utviklet på Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Trondheim (NTNU), og har som formål å estimere kostnader og tidsbruk i tunnelbygging. Tre prosjektrapporter er blitt utgitt, der modellen forklares og faktorer som inkluderes i modellen kan finnes. De nyeste prosjektrapportene heter «Drill and blast tunnelling » og ble sist oppdatert i 2007 [9, 11, 23]. I denne oppgaven vil modellen kun brukes i tilknytning til tidsbruk, og kostnadsestimater vil derfor ikke bli kommentert her.

Modellen er empirisk, det vil si at den er basert på feltstudier og statistikk. Felldataene er registrert på ulike tunnelprosjekter som veg- og jernbanetunneler, vannkraftprosjekter og fjellhaller. Felldataene som er blitt samlet inn er senere blitt analysert og deretter normalisert [17]. Med andre ord viser modellen hvilke kapasiteter som er mest sannsynlige. Enkelte spesielle forhold som er knyttet til et prosjekt, vil derfor ikke være tatt hensyn til i denne modellen. Modellen er ment som en pekepinn på hvilken kapasitet man kan forvente, gitt en del parametere.

Ifølge modellen er bergkvalitet, utstyr og tunnelarbeidernes ferdighetsnivå de faktorene som påvirker tunneldriften mest [17]. Disse faktorene, sammen med mange andre, blir derfor tatt hensyn til i modellen. Enkelte av faktorene som finnes ved hjelp av tabell, er basert på en del antagelser og kan derfor avvike fra virkeligheten. Dette kan for eksempel være SPR og DRI. For å få nøyaktige verdier på disse parameterne, må bergmasser testes i laboratorium. Tabeller er laget i prosjektrapporter for å kunne finne tall på SPR og DRI på bakgrunn av bergart, men denne vil ikke være helt nøyaktig. Tabellene er bygget opp ved å lage et 90% konfidensintervall for hver bergart for henholdsvis DRI og SPR. Når man skal finne DRI eller SPR på bakgrunn av oppgitt bergart, vil det ikke være mulig å vite hvor i konfidensintervallet bergarten ligger og man velger da som regel gjennomsnittsverdien. Dette kan da føre til at feil verdier settes inn i modellen i forhold til reell verdi på DRI og SPR.

2.5.1 Beregningsmodell

Tabell 1 viser parameterne som inngår i beregningene av tidene for salveboring, summen av boring, lading og skyting og bolting. For de parameterne som finnes ved hjelp av formel, vises formelen i tabell 1. Parameterne uten formel, finnes enten fra tabeller i prosjektrapportene «2A-05 Drill and blast tunnelling: Blast design» [11] og «2B-05 Drill and blast tunnelling: Advance Rate» [9] eller fra informasjon som kan finnes på det enkelte prosjekt. Tunnelverrsnitt, borhullsdiameter og antall hull basislengde er eksempler på parametere som kan settes direkte inn i beregningsmodellen ut fra informasjon fra det aktuelle tunnelprosjektet.

Tabell 1 Beregningsmodell

Parameter	Forkortelse	Formel
Tunneltverrsnitt	As	
Ferdighetsnivå		
Sprengbarhet	SPR	
Borhulldiameter	dh	
Antall hull basis salvelengde	Nb	
Boret lengde	lh	
Korreksjon boret lengde	kbl	
Antall hull eks grovhull	Nh	$Nb \times kbl$
Diameter grovhull	dg	
Antall grovhull	Ng	
Bormaskiner type		
Bormaskiner antall	Nm	
Borbarhet	DRI	
Borsynk 48mm borhull	vb	
Korreksjon for Borsynk for 48mm	khv	
Borsynk for lada hull	vh	$(vb \times khv)/100$
Korreksjon borsynk grovhull	kgv	
Borsynk dg	vg	$(vb \times kgv)/100$
Boretid lada hull	Th	$(lh \times Nh) / (Nm \times vh)$
Boretid grovhull	Tg	$((lh \times Ng) / (vg \times Nm)) \times 1,25$
Flyttid pr hull	tf	
Flyttid	Tf	$(tf \times (Nh + 2 \times Ng))/Nm$
Fjellets slitasjeegenskaper		
Kronebyttefaktor	fk	
Enhetstid for kronebyting	tk	
Tid til kronebytte	Tk	$(fk \times lh \times tk \times (Nh + 2 \times Ng)) / (100 \times Nm)$
Samtidighetsfaktor	fsa	
Ekstra tid pga manglende samtidighet	Tsa	$fsa \times (Th + Tg + Tf)$
Nødvendig boretid	Tb	$Th + Tg + Tf + Tk + Tsa$
Type sprengstoff		
Antall ladelinjer		
Tidsbestemmende ladetid for basis lengde	Tlb	
Korreksjon for borhull lengde	kll	
Tidsbestemmende ladetid	TI	$Tlb \times kll$
Riggetid boring, lading og skyting	Trb	
Tilfeldige tapstider	Ttb	$(Tb + TI + Trb) \times 0,111$
Sum boring, lading og skyting	I	$Tb + TI + Trb + Ttb$
Antall bolt/salve		
Bolteboretid	Tbb	
Antall bormaskiner	Nm	
Boltemonteringstid	Tbm	
Tid til bolting	Tsb	$(Tbb/Nm) + Tbm$

2.6 Regresjonsanalyse

Regresjonsanalyse brukes for å finne det beste forholdet mellom Y og x og kvantifisere styrken av dette forholdet. Regresjonsanalyse bruker også metoder som kan predikere Y -verdier (responsverdier) når x -verdier (forklaringsvariable) er gitt.

Den enkleste formen for regresjonsanalyse er enkel lineær regresjonsanalyse. Her uttrykkes forholdet mellom responsverdier og forklaringsvariabler ved hjelp av følgende modell:

$$Y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i$$

2-2

Der α er skjæringspunktet og β er stigningstallet til regresjonslinjen. Det antas at forholdet mellom x og y er lineært. Verdien av Y er avhengig av x via en lineær struktur som også har en tilfeldig komponent involvert. Denne tilfeldige variabelen kalles feilledet, ε . I virkeligheten vil det ikke være mulig å finne verdien til ε , og det er heller ikke mulig å finne den virkelige regresjonslinja. Derfor vil regresjonslinja vi finner, være den estimerte regresjonslinja som antar at ε er lik 0. Den estimerte regresjonslinja finnes da ved formel:

$$\hat{y} = a + bx$$

2-3

Multipel regresjonsanalyse blir brukt hvis vi bruker mer enn én forklaringsvariabel. Modellen som brukes ved multipel regresjonsanalyse er:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \dots + \beta_{ri} x_{ri} + \varepsilon_i$$

2-4

Formel for den estimerte multiple regresjonslinja er gitt ved:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_i x_i$$

2-5

Her angir i hvor mange forklaringsvariabler som er inkludert i modellen.

R^2 er determinasjonskoeffisienten. R^2 uttrykker hvor stor del av total variasjon som er forklart av den tilpassede modellen. Den har en verdi mellom 0 og 1. Hvis $R^2 = 1$, betyr det at

modellen passer perfekt og at all variasjon er forklart i modellen. Det andre ekstreme tilfellet, der $R^2 = 0$, betyr at ikke noe av variasjonen i dataene er forklart i modellen. Det er ønskelig å ha en høyest mulig verdi på R^2 , da en høy verdi vil vise at modellen passer til dataene vi har

P-verdier kan brukes i statistisk analyse, for å avgjøre om en hypotese er riktig eller ikke. Det fastsettes alltid et signifikansnivå, dette settes ofte lik 0,05 (95 % sikkerhet). Hvis p-verdien er lavere enn signifikansnivået, forkastes H_0 . Definisjonen av p-verdi er «*p-verdien til et resultat er sannsynligheten, beregnet under H_0 , for å få det observerte resultatet eller et som i enda sterkere grad peker i retning av at H_1 er riktig*» [24]. P-verdi kan blant annet brukes i regresjonsanalyse, for å avgjøre om den enkelte forklaringsvariabelen har innvirkning på responsverdien. Hver forklaringsvariabel vil ha en tilhørende p-verdi. Tilhørende p-verdier er beregnet med utgangspunkt i følgende hypotesetester;

$$H_0: \beta_i=0 \text{ mot } H_1: \beta_i \neq 0$$

Hvis for eksempel β_1 har tilhørende p-verdi lavere enn vårt signifikansnivå, vil dette føre til at vi forkaster H_0 . I overført betydning vil det bety at β_1 er større enn 0, og påvirker derfor responsverdien. Vi kan da konkludere med at forklaringsvariabelen X_1 har innvirkning på Y-verdien [24].

3 Metode

Dette kapittelet vil gjennomgå hvilke vurderinger og eventuelt antagelser som er gjort ved bruk av data. Både data som er mottatt fra prosjektet og egne innhentede data betraktes. Vurderingene og antagelsene som er lagt til grunn før tidsmålingene er blitt utført, er særlig viktige for oppgavens validitet.

3.1 Metode for historiske data

De historiske dataene som er blitt brukt i denne oppgaven er blitt hentet fra dokumentasjon fra SVV og fra dokumentasjon fra AF Anlegg. Dokumentasjonen som kommer fra SVV, er gitt til meg via AF Anlegg.

De historiske dataene som er brukt i oppgaven og som kommer direkte fra prosjektet, er antall bolter som er satt, antall injeksjonstimer og antall tunnelmeter per uke. Antall bolter som blir satt på hver stuff, er registrert av bas og ført inn i ukesrapporten etter hver salve som skytes. Mengden bolter som registreres dokumenteres for SVV, når AF Anlegg skal betales for utført arbeid. Antall bolter som er brukt kan derfor sjekkes av kontrollørene⁹, og det må derfor være korrekte registreringer som føres. Antall injeksjonstimer blir registrert automatisk av injeksjonsriggen, og deretter loggført av tunnelarbeiderne. Hvor mange meter som drives per uke på hver stuff finnes ved hjelp av pelnummer. Stikningsingeniøren har til enhver tid kontroll på pelnummera, da de angir nåværende plassering i bergrommet. Stikningsdataene i tunnelen er svært nøyaktige. Q-verdiene som er brukt i oppgaven er fått fra SVV. Kontrollørene angir Q-verdi for hver salve som sprenges i tunnelen. Q-verdiene tilhørende hver salvelengde, blir deretter dokumentert og arkivert.

Når det gjelder tunnelmeter, injeksjonstimer og bolteantall ligger det lite usikkerhet i disse tallene. Det er lite sannsynlig at disse dataene er dokumentert feil. Dette på grunn av at alle dataene er udiskutable. Q-verdiene fastsettes av kontrollør og er debattert i kapittel 2.1.4.1, og kan inneholde mye usikkerhet. Usikkerheten i Q-verdiene er blitt tatt hensyn til i de tilfellene disse brukes. Likevel ligger det ikke usikkerhet i de enkelte salvenes fastsatte Q-verdi og sikringsklasse. Med dette menes at selv om Q-verdien kan diskuteres, er den fastsatte Q-verdien gjeldende for sikringsnivået.

⁹ Kontrollør brukes om ansatte i SVV som har som arbeidsoppgave å følge opp og kontrollere arbeidet som foregår i tunnelen.

3.2 Metode for tidsmålinger

3.2.1 Bakgrunn for tidsmålinger

Hvor lang tid hver arbeidsoperasjon i syklusen tar, blir ikke dokumentert på prosjektet. Det registreres kun hvor mange salver som blir skutt, boltet og sprøytet på hvert skift. I tillegg registreres injeksjonsarbeidet som gjøres. Dette er likevel ikke nok til å vite hvor lang tid som blir brukt på hver arbeidsoperasjon, og tiden som blir brukt i overgangene mellom arbeidsoperasjoner. Derfor er det i denne oppgaven blitt gjennomført en tidsstudie av utvalgte arbeidsoperasjoner. Resultatene fra tidsmålingene skal sammenlignes med kapasitetene som er lagt inn i kontraktsgrunnlaget og prognoser beregnet fra NTNU-modellen. På den måten kan det gjøres en vurdering av dette prosjektets produktivitet. Tidsmålingene skal også brukes til å prøve å finne ut hva som forsinker i salvesyklusen, og hva som kan forbedres.

Man kan i teorien utføre ubegrenset mange tidsmålinger for å få et best mulig datagrunnlag. Dette har ikke latt seg gjøre på grunn av tidsbegrensningen ved denne oppgaven. Tidsmålingene er derfor avgrenset både når det gjelder hvor mange målinger som er blitt utført, og hvilke arbeidsoperasjoner som er blitt målt.

3.2.2 Valg av måleobjekter

Den store mengden med injeksjonsarbeid er spesielt for dette prosjektet. Tidsstudiene vil derfor gi større nytteverdi ved senere prosjekter, der tidsbruk estimeres, hvis injiseringen blir ekskludert fra målingene. Derfor er det valgt ut aktiviteter som kan studeres uavhengig av injeksjonsarbeidet.

Aktiviteten knyttet til utlasting av utsprengt masse påvirkes av en del faktorer som er ute av entreprenørens kontroll. Den utsprengte massen skal dumpes i Liavatnet. Dette medfører at dumpere og lastemaskiner må transportere massene på trafikkert vei når det er utkjøring fra Sandeide. I rushtiden kan det være stillestående trafikk på denne veien, det blir derfor tidvis mellomlagret utsprengte masser inne i tunnelen på Sandeide. Entreprenøren bruker en underentreprenør til utkjøring av stein. Tidsmålinger av denne aktiviteten ville derfor ført til betydelig involvering av underentreprenør, da problemstillingene ville vært om bilene sto klar når det var klart for utlasting, og om det var nok biler til enhver tid. I tillegg kunne mellomlagringen inne i tunnelen være problematisk å vurdere effekten av.

Pigging av stoffen er avhengig av geologiske forhold og menneskelige faktorer. Visse geologiske forhold gjør at stoffen nesten kan pigges i det uendelige, fordi det kan løsne mer bergmasse når man pigger. Geologien bestemmer hvor mye som må pigges for at det ikke skal være fare for at løse masser faller ned fra tunnelverrsnittet. Hvor mye det er nødvendig å pigge vil derfor kreve kunnskaper i geologi, og blir derfor vanskelig for meg å vurdere. Hvor mye som pigges og hvor lenge kan varierer mye fra person til person, og det kan være vanskelig å avgjøre hvor mye som er nødvendig. Derfor vil både pigging og spettrensk være aktiviteter det ikke er aktuelt å ta tidsmålinger av.

Påføring av sprøytebetong vil på samme måte som utlastingen være avhengige av andre firma enn AF Anlegg. Det er et eksternt blandeverk som blander betong, mens et annet eksternt firma sender betongbiler inn i tunnelen. Ventetid på betongbiler, som en del av denne arbeidsoperasjonen, vil derfor være avhengig av andre firma enn AF Anlegg selv.

Arbeidsoperasjonene som er blitt målt er valgt ut på grunnlag av de gjennomgåtte vurderingene. Det ble valgt å utføre tidsmålinger av arbeidsoperasjonene fra opprigging av borrygg for salveboring til borryggen er på plass på neste stoff. Dette kan deles inn i aktivitetene:

- Opprigg borrygg
- Boltehullsborring
- Bolting
- Salveboring
- Lading
- Nedrigging borrygg
- Skyting

Tid mellom disse aktivitetene er av stor betydning, da dette er tid som ikke fører til verdiskapning for entreprenøren. Denne tiden ble også forsøkt avdekket ved gjennomføring av tidsmålingene.

3.2.3 Utvalg

Tidsmålingene må utføres på et utvalg som totalt sett gir et best mulig bilde av virkeligheten. Derfor burde tidsmålingene utføres under så like forutsetninger som mulig, slik at faktorer som påvirker resultatet så langt det er mulig ble konstant. På den delen av tunnelen som

målingen ble tatt var det ikke rystelseskrav eller begrensninger på arbeidstid. Omtrent samme sprengningsplan blir brukt på hver salve som ble målt. Variasjonen i sprengningsplanen oppstår ved nisjer, vifteutvidelser, tverrslag og eventuelt andre utvidelser i tverrsnittet. Det betyr med andre ord tilnærmet lik mengde og type sprengstoff og tilnærmet lik borplan. Boltene som settes under målingene er av samme type og lengde; 3 meter lange kombinasjonsbolter.

Som utgangspunkt er det følgende faktorer som vil gi variasjon i tidsbruken på arbeidsoperasjonene: personell, geologi, ledelse, krav/restriksjoner og utstyr. Målinger utført under like geologiske forhold vil være lettest å sammenligne, men dette er forhold som ikke kan påvirkes. For å få et best mulig utvalg ble målingene utført på ulike skift, slik at variasjon mellom de ulike skiftene kunne fanges opp. Tidsmålingene hadde som mål å avdekke sammenhenger mellom påvirkningsfaktorer og tidsbruk.

3.2.4 Utføring av målinger

Målingene ble utført ved at jeg var med det aktuelle skiftet på stuff når arbeidsoperasjonene som skulle måles ble utført. Jeg satt for det meste inne i borryggen sammen med bas under målingene. Her har man god oversikt over hva som skjer utenfor borryggen, for eksempel under lading, og inne i borryggen når boring pågår. Jeg utarbeidet et skjema som jeg brukte under hver måling, slik at samme tider og parametere ble registrert hver gang. I tillegg noterte jeg mine observasjoner under målingene. Dette kunne for eksempel være hvordan arbeidsfordelingen var, eventuelle stopp underveis i målingen, hvem som gjorde hva fremme på stuff og om folk og utstyr var klart når neste arbeidsoperasjon kunne påbegynnes. Jeg skrev en rapport etter hver måling der jeg noterte observasjoner, faktorer som gjorde at det gikk raskere, faktorer som gjorde at det gikk senere, feilkilder og stopp. Dette ble gjort for å kunne huske hva som skjedde under hver måling.

Skjemaet som ble brukt under registrering ligger i vedlegg 3. Det som kunne tenkes å ha betydning for tidsbruken på arbeidsoperasjonene ble registrert. Dette ble laget på bakgrunn av hvordan disse tidene kunne sammenlignes med NTNU-modellen og kapasitetene i kontraktsgrunnlaget. I tillegg ble det av praktiske årsaker registrert pelnummer og dato, slik at det i senere tid var mulig å finne geologiske rapporter og lignende når målingen skulle analyseres og diskuteres.

Det ble laget en oppdeling av arbeidsoperasjonene, slik at tidene for hver arbeidsoperasjon kan sammenlignes i ettertid. Tidene som ble registrert var følgende:

Opprigg borrygg. Dette ble definert som tiden det tok fra stoffen var klar til boring til borryggen var navigert inn og kunne begynne å bore. Tiden inkluderer blant annet innkjøring av borrygg. Borryggen var i alle aktuelle tilfeller parkert så nær stoff at dette ikke tok lang tid. I tillegg inkluderer denne tiden tilkobling av elektrisk strøm og vann, oppstilling av borryggen helt framme på stoff og navigering av borryggen.

Boltehulls boring: Denne tiden ble registrert fra første boltehull ble boret til siste boltehull ble boret.

Bolting: Denne tiden ble delt opp i *Setting av bolt* og *Gysing*. Summen av disse to tidene utgjør tiden for *Bolting*. Vask av utstyr etter gysing er inkludert i tiden *Gysing*.

Salveboring: Dette er tiden fra første salvehull blir påbegynt til siste hull i salven er boret.

Lading: Tiden inkluderer tidspunkt fra lading av salven begynner til hele salven er bundet sammen og kan antennes.

Nedrigging borrygg: Dette inkluderer nedrigging av borrygg og utkjøring av borrygg til trygg plassering når salven skytes.

Skyting: Dette er tiden det tar fra salven er ferdig ladet til salven blir skutt. Varsling av skyting til annet personell inne i tunnelen og utkjøring av borrygg er tider inkludert her.

Postene *Nedrigging borrygg* og *skyting* ble på noen målinger vanskelig å ta tiden på. Bakgrunn for det var valget om jeg skulle være med i borryggen når den kjørte ut, eller om jeg skulle være igjen i bilen sammen med den som tente lunta. Derfor ble posten *Fra lading til skutt* tatt med i skjema. Denne posten angir tiden fra lading er ferdig til salven er skutt. Posten var mulig å registrere for alle målingene som ble tatt.

Målingen ble utført på ulikt personell. Jeg velger å dele dette opp i skift 1, skift 2, skift 3 og skift 4. De ulike skiftene har samme bas, stuffrep og lærling under hver måling. Skift 1, skift 2 og skift 3 hadde en lærling som en del av mannskapet. Det varierte i hvilken grad lærlingen var delaktig i arbeidet på stoff, da lærlingen skal være med på forskjellig type arbeid som blir gjort i tunneldrivingen. Skift 3 og skift 4 har samme arbeidsleder.

Måling 1, måling 2 og måling 3 ble utført av skift 1

Måling 4, måling 5 og måling 6 ble utført av skift 2

Måling 7 ble utført av skift 3

Måling 8 og måling 9 ble utført av skift 4.

4 Resultat og analyse

Dette kapittelet presenterer resultatene fra de historiske dataene som er brukt i oppgaven og analyserer disse. Resultatet fra tidsmålingene som ble tatt blir også presentert og analysert i dette kapittelet. Prognosene beregnet ut fra NTNU-modellen og kapasitetene i kontraktsgrunnlaget, sammenlignes med hverandre og med resultatene fra tidtakingen.

4.1 Historiske data

Tall som brukes i denne delen er fra uke 48 i 2012 til uke 13 i 2013. Grunnen til dette er at i uke 48 begynte tunnelarbeiderne med 16-9 rotasjon. Tiden før uke 48 ble det brukt 12-9 rotasjon. 16-9 rotasjon fører til at antall timeverk i uken øker, og det vil være minimalt med overtid siden det arbeides døgntkontinuerlig sett bort fra lørdag og søndag. Det er ikke restriksjoner med tanke på arbeidstid og rystelser på dette tunnelstrekket, hvilket gjør tallene mer sammenlignbare. Noen uker i dette tidsrommet er utelatt, fordi de ikke har like mange timeverk, eventuelt ingen, per uke som vanlige uker. I uke 52 var det ikke drift på anlegget, da det var julehøytid. Uke 1 var det kun drift på anlegget halve uken grunnet nyttår, denne uken er derfor også utelatt fra oppgaven. Uke 13 var det påskeferie for alle på anlegget. Gjennomslag i tunnelen var i uke 15. Det var ikke normal tunneldrift i uke 14 og 15 på grunn av dette, da selve gjennomslaget ble utsatt grunnet arrangementet rundt. I tillegg var det en helligdag i uke 14. Følgende forkortelser for de ulike stoffene er brukt videre i teksten:

S11N er notasjon for løp 11 drevet fra Sandeide.

S12N er notasjon for løp 12 drevet fra Sandeide.

L11 er notasjon for løp 11 drevet fra Liavatnet.

L12 er notasjon for løp 12 drevet fra Liavatnet.

4.1.1 Tunnelmeter

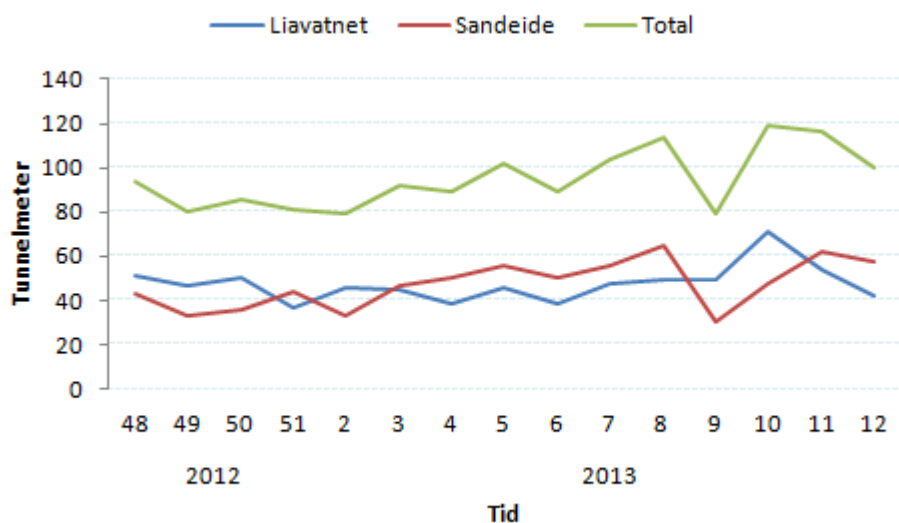
Tabell 2 gir en oversikt over hvor mange meter tunnel det er drevet fra hver stoff. I tillegg vises meter per uke summert for Liavatnet og for Sandeide, og totalt antall meter per uke. Liavatnet og Sandeide er summert, siden tunnelen drives som veksel fra begge sider. Det er også naturlig å se på Liavatnet og Sandeide adskilt, da bergforholdene kan være veldig varierende på de ulike sidene, og hver side blir drevet av ulike skift. Gjennomsnittsverdiene i tabell 2 varierer lite. Det vil si at antall meter per uke, gjennomsnittlig, er relativt likt på de

ulike sidene. Store forskjeller mellom Sandeide og Liavatnet finnes derfor ikke i det tidsrommet som blir analysert.

Tabell 2 Meter per uke

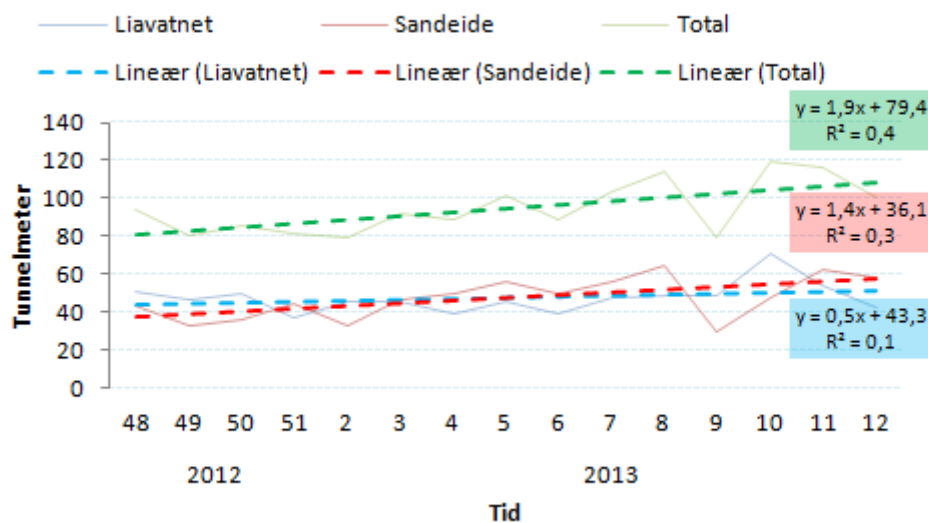
År	Uke	Stuff				Totalt Liavatnet	Totalt Sandeide	Totalt
		L11	L12	S11N	S12N			
2012	48	27	24	24	19	51	43	94
2012	49	21	26	14	19	47	33	80
2012	50	30	20	13	23	50	36	86
2012	51	16	21	20	24	37	44	81
2013	2	31	15	19	14	46	33	79
2013	3	19	26	29	18	45	47	92
2013	4	18	21	30	20	39	50	89
2013	5	20	26	30	26	46	56	102
2013	6	29	10	25	25	39	50	89
2013	7	20	28	31	25	48	56	104
2013	8	30	19	30	35	49	65	114
2013	9	24	25	15	15	49	30	79
2013	10	36	35	24	24	71	48	119
2013	11	19	35	35	27	54	62	116
2013	12	17	25	24	34	42	58	100
Gjennomsnitt		23,8	23,7	24,2	23,2	47,5	47,4	94,9

Figur 6 viser tunnelmeter per uke for Liavatnet, Sandeide og totalt for begge sidene. Liavatnet og Sandeide varierer uavhengig av hverandre; med andre ord kan det ikke sees en sammenheng mellom variasjonene. Det kan da konkluderes med at når det gjelder tunnelmeter per uke, så er stoffene på Liavatnet og Sandeide uavhengige av hverandre. Det vil derfor være hensiktsmessig i noen av de følgende analysene å betrakte Liavatnet og Sandeide hver for seg.



Figur 6 Meter per uke

I figur 7 er det laget lineære trendlinjer med tilhørende formler og R^2 for grafen i figur 6. Ut fra formel og observasjon viser det seg at totalt meter per uke har en positiv trend, det vil si at den øker med tiden. Meter per uke på Sandeide viser også en positiv trend, mens den positive trenden på Liavatnet er noe mindre. Vi har lave verdier av R^2 for alle trendlinjene, så det er ikke statistisk sikkert at dette er signifikante resultater. Det kan være resultat av tilfeldigheter. Likevel kan det være verdt å merke seg disse forskjellene.



Figur 7 Meter per uke: Trendlinjer

Det er interessant å se om det finnes en sammenheng mellom tunnelmeter per uke og ulike faktorer som blir registrert i ukerapportene. I dette kapittelet er det valgt å se på bolter og injeksjonstimer som mulige forklaringsverdier.

4.1.2 Bolter

Tabell 3 viser oversikt over antall bolter som er blitt brukt på hver stoff for hver uke. Boltene som er oppgitt i tabellen er summen av 3 og 4 meter bolter.

Tabell 3 Bolter per uke

År	Uke	Stuff			
		L11	L12	S11N	S12N
2012	48	125	134	141	50
2012	49	159	220	97	94
2012	50	157	78	69	136
2012	51	65	82	62	137
2013	2	130	102	94	64
2013	3	121	146	190	169
2013	4	118	120	128	90
2013	5	111	104	132	138
2013	6	125	147	133	218
2013	7	91	212	154	85
2013	8	190	144	112	170
2013	9	148	142	90	100
2013	10	229	197	142	137
2013	11	195	148	197	132
2013	12	150	98	161	270
Gjennomsnitt		140,9	138,3	126,8	132,7

For videre analyse er det hensiktsmessig å regne ut antall bolt per meter. Dette fordi en uke med god inndrift vil føre til at antall bolt satt den uken er høy, da flere salver er blitt boltet i forhold til en uke med lav inndrift. Derfor er antall bolt per meter regnet ut, slik at antall bolt kan sees på som uavhengig av om inndriften i tunnelen er høy eller lav. Bolt per meter er regnet ut ved å dele antall bolt den aktuelle uken med ukeinndriften. Antall bolt som er satt per meter har sammenheng med hvilke geologiske forhold det er i tunnelen, da antall bolt per meter øker når bergforholdene forverres og sikringsklassen øker. Derfor er det interessant å se om inndriften har sammenheng med antall bolter som er satt per meter. Antall bolt per meter påvirkes også av nisjer, profilutvidelser og tverrslag, da dette fører til økt mengde bolter per meter. Bolt per meter er vist i tabell 4. Ser vi på gjennomsnittlig antall

bolter per meter for hver enkelt stuff, kan det se ut som om Liavatnet har noe flere bolter per meter enn Sandeide. Om dette viser at bergkvaliteten i realiteten på Liavatnet er litt høyere enn Sandeide, kan ikke konkluderes med basert kun på dette. Forskjellen kan også være et resultat av tilfeldigheter.

Tabell 4 Bolter per meter

År	Uke	Stuff			
		L11	L12	S11N	S12N
2012	48	4,6	5,6	5,9	2,6
2012	49	7,6	8,5	6,9	4,9
2012	50	5,2	3,9	5,3	5,9
2012	51	4,1	3,9	3,1	5,7
2013	2	4,2	6,8	4,9	4,6
2013	3	6,4	5,6	6,6	9,4
2013	4	6,6	5,7	4,3	4,5
2013	5	5,6	4,0	4,4	5,3
2013	6	4,3	14,7	5,3	8,7
2013	7	4,6	7,6	5,0	3,4
2013	8	6,3	7,6	3,7	4,9
2013	9	6,2	5,7	6,0	6,7
2013	10	6,4	5,6	5,9	5,7
2013	11	10,3	4,2	5,6	4,9
2013	12	8,8	3,9	6,7	7,9
Gjennomsnitt		6,1	6,2	5,3	5,7

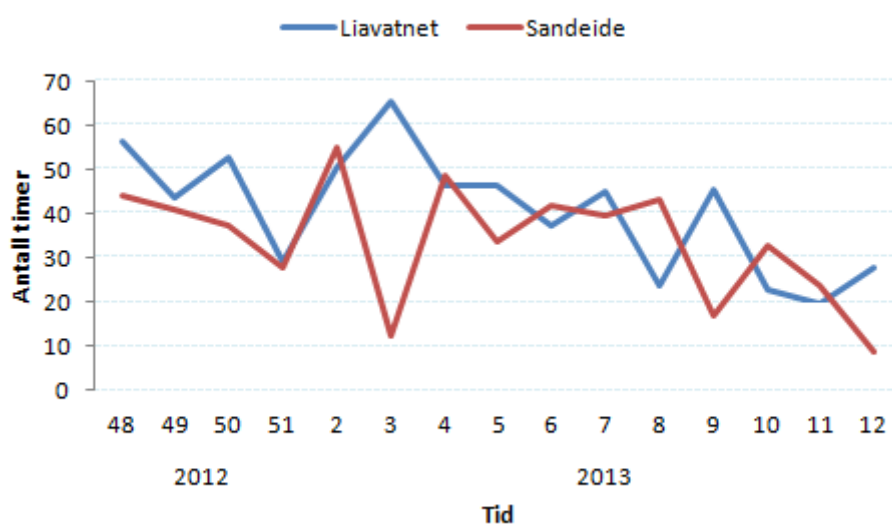
4.1.3 Injeksjon

Injeksjon har preget RVV i svært stor grad, og det kan derfor være av interesse å finne ut av i hvor stor grad injeksjonsarbeidet påvirker fremdriften i tunnelen. Som et ledd i vurderingen av injeksjon ser vi på antall injeksjonstimer som er registrert per uke. Antall injeksjonstimer er definert som den tiden det tar å pumpe injeksjonsmasse inn i injeksjonshullene. Boretid på injeksjonshull er ikke tatt med i injeksjonstimene som brukes her. Tabell 5 viser oversikt over antall injeksjonstimer per uke.

Tabell 5 Injeksjonstimer per uke

År	Uke	Stuff				Totalt Liavatnet	Totalt Sandeide	Totalt
		L11	L12	S11N	S12N			
2012	48	18,5	38,0	13,5	30,8	56,5	44,3	100,8
2012	49	30,5	13,3	17,3	23,5	43,8	40,8	84,5
2012	50	18,5	34,0	11,8	25,5	52,5	37,3	89,8
2012	51	16,5	12,8	16,0	11,5	29,3	27,5	56,8
2013	2	29,3	21,0	14,5	40,5	50,3	55,0	105,3
2013	3	30,5	34,8	12,3	0,0	65,3	12,3	77,5
2013	4	15,3	31,0	19,0	29,5	46,3	48,5	94,8
2013	5	33,3	13,3	12,8	20,8	46,5	33,5	80,0
2013	6	12,8	24,5	25,3	16,5	37,3	41,8	79,0
2013	7	30,0	15,0	8,8	31,0	45,0	39,8	84,8
2013	8	9,3	14,5	27,0	16,3	23,8	43,3	67,0
2013	9	24,0	21,3	0,0	17,0	45,3	17,0	62,3
2013	10	12,5	10,3	21,0	11,5	22,8	32,5	55,3
2013	11	11,0	8,8	8,0	15,5	19,8	23,5	43,3
2013	12	13,8	14,0	8,8	0,0	27,8	8,8	36,5
Gjennomsnitt		20,4	20,4	14,4	19,3	40,8	33,7	74,5

Fra tabell 5 ser vi at gjennomsnittlig antall injeksjonstimer per uke er noe lavere på Sandeide enn Liavatnet. Dette vises også i figur 8 der vi ser at linjen for Liavatnet ligger noe høyere enn Sandeide i antall injeksjonstimer per uke. Dette kan indikere at arbeidet med injeksjon går noe senere på Liavatnet. Grunnen til det kan for eksempel være at berget er vanskeligere å injisere på Liavatnet, slik at det må brukes mye injeksjonsmasse for å få berget tett.



Figur 8 Injeksjonstimer per uke

4.1.4 Regresjonsanalyse

I tabell 6 ser vi regresjonsanalysen som er blitt gjennomført for å finne sammenhenger mellom produktivitet og aktuelle innvirkende parametere. Inndriften per uke er y -parameteren mens forklaringsparameterne, X_1 og X_2 , er henholdsvis bolt per meter og injeksjonstimer. Tallene som er brukt i regresjonsanalysen i tabell 6 ligger i vedlegg 4. Det er valgt å se på hver stoff som uavhengig av hverandre når regresjonsanalysen er blitt gjennomført. Dette er mulig da bolt pr meter og injeksjonstimer per uke ikke er avhengige av hva som skjer på den andre stoffen i vekseldriften. Når vi behandler tallene på denne måten får vi mange flere datasett, og resultatene er derfor mer valide, enn hvis vi hadde behandlet det med færre datasett. Det er heller ikke viktig at datasettene er kronologiske, siden tidsaspektet ikke er av betydning når vi skal analysere hvilke parametere som påvirker produktivitet.

Tabell 6 gir oss p -verdier på 0,005 og 0,007; begge p -verdiene lavere enn 0,05. Det vil si at forklaringsvariablene, bolt pr meter og injeksjonstimer, er signifikante. Da kan vi konkludere med at antall bolt per meter og antall injeksjonstimer brukt per uke har påvirkning på inndriften per uke. Sammenhengen forklart ut i fra resultatet blir at når antall bolt per meter øker med 1 på én enkelt stoff, avtar inndriften per uke på den aktuelle stoffen med 1,16. Dette er et ventet resultat, da antall bolt per meter generelt øker når bergforholda forverres. Når flere bolter må settes per meter og bergforholda generelt forverres, er det logisk at antall meter per uke avtar. Ut fra tabell 6 får vi at antall pumpe timer per uke er negativt korrelert med meter per uke. Ifølge regresjonsanalysen vil inndriften per uke reduseres med 0,228 per uke på en stoff, hvis antall injeksjonstimer øker med 1 time per uke. Dette er et ventet resultat, da injeksjonsarbeid forsinkes inndriften i tunnelen. Et eksempel er at bas må vente med å begynne salveboring fordi det pumpes inn injeksjonsmasse på stoff. I stedet for at han begynner på salveboring, som bidrar til økt inndrift, må han vente. Et annet viktig moment i regresjonsanalysen i tabell 6, er R^2 som har en verdi på 0,19. Dette betyr at svært lite av variasjonen i dataene er forklart ved bolt per meter og injeksjonstimer. Andre faktorer, som ikke er inkludert i denne analysen, har større betydning for inndriften per uke.

Tabell 6 Regresjonsanalyse: Meter per uke versus bolter per meter og injeksjonstimer

SAMMENDRAG (UTDATA)

<i>Regresjonsstatistikk</i>	
Multipel R	0,436
R-kvadrat	0,190
Justert R-kvadrat	0,162
Standardfeil	5,728
Observasjoner	60

Variansanalyse

	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>GK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans-F</i>
Regresjon	2	439,801	219,901	6,703	0,002
Residualer	57	1869,932	32,806		
Totalt	59	2309,733			

	<i>Koeffisienter</i>	<i>Standardfeil</i>	<i>t-Stat</i>	<i>P-verdi</i>	<i>Nederste 95%</i>	<i>Øverste 95%</i>
Skjæringspunkt	34,742	3,116	11,148	0,000	28,502	40,983
Bolt pr meter	-1,163	0,393	-2,958	0,005	-1,950	-0,376
Injeksjonstimer	-0,228	0,082	-2,779	0,007	-0,392	-0,064

4.2 Tidsmålinger

Resultatet i tabell 7 viser at både den totale tiden som blir brukt og tiden som blir brukt på hver enkelt arbeidsoperasjon varierer. Man ser også ut fra tabellen at verdien på standardavviket¹⁰ er svært forskjellig for de ulike arbeidsoperasjonene.

¹⁰ Standardavvik er et mål på spredning rundt et gjennomsnitt

Tabell 7 Resultat av tidsmålinger

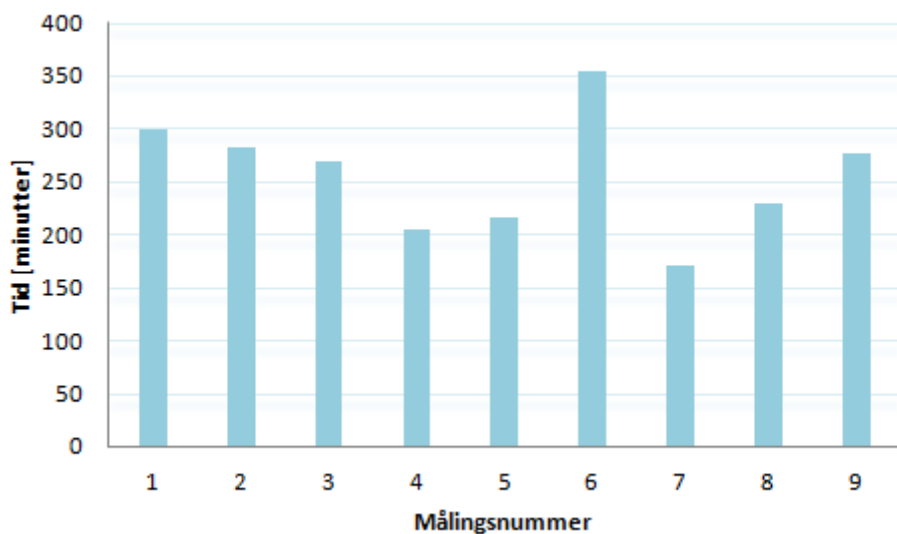
	Målingsnummer									Gjennomsnitt	Standardavvik
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Opprigg borrygg	21		22	11	19		16	9		16,3	5,4
Boltehullsboring			51	33	54		32	35		41,0	10,6
Bolting			51	69	59		45	47		54,2	9,9
• Setting av bolt			25	28	26		16	21		23,2	4,8
• Gysing			26	41	33		29	26		31,0	6,3
Salveboring	183	174	162	116	124	124	116	138	150	143,0	25,4
Lading	82	94	63	65		70	70	70	69	72,9	10,2
Fra lading til skutt	14	14	9	6		15	11	12	6	10,9	3,6
Totalt uten bolting	300	282	269	204	217	355	171	229	276	255,9	56,1
Totalt med bolting			371	306	330		295	309		322,2	30,1

Måling 5 mangler tidsbruk for lading og tid på posten *Fra lading til skutt*, da jeg ikke var inne i tunnelen til lading var ferdig. Det ble registrert når salven ble skutt, og det totale tidsforbruket kunne derfor registreres.

I de tilfeller der målingen ble utført etter at det hadde blitt gjort injeksjon på stuff, ble det ikkeregistrert tider på bolting. Dette som en følge av at det blir boltet før berget blir injisert, og det er derfor ferdig boltet når salveboring kan begynne etter injeksjonsarbeid. Dette fører til at postene *Boltehullsboring* og *Bolting* ikke er inkludert i noen av målingene. Derfor er det registrert to ulike totaltider for arbeidsoperasjonene; *Total uten bolting* og *Totalt med bolting*. Den totale tiden uten bolting er registrert på alle målingene. I de tilfellene der det er boltet er denne tiden regnet ut ved å trekke fra tiden det tok å bore boltehull og å sette boltene og gyse. Den totale tiden inkludert boring gjelder kun for de målingene der det ble boltet. Dette ble gjort for å kunne sammenligne den totale tiden på alle målingene.

I noen tilfeller blir en del av arbeidsoperasjonene i foregående oppdeling utført samtidig. Tidene er registrert i henhold til definisjonen for hver arbeidsoperasjon oppgitt ovenfor. Den totale tiden på disse arbeidsoperasjonene trenger derfor ikke nødvendigvis være den samme som summen av tidene til enkeltoperasjonene. Noen ganger kan det også gå tid mellom arbeidsoperasjonene, som gjør at totaltiden blir lenger enn summen av arbeidsoperasjonene.

Figur 9 viser hvordan den totale tiden for arbeidet, uten bolting, varierer. Ut fra figur ser man at måling nummer 4,5,7 og 8 har lav total tid ekskludert bolting.



Figur 9 Totaltid uten bolting

Standardavvikene som er regnet ut i tabell 7 kan brukes som mål på hvilke arbeidsoperasjoner som varierer mest. Det ligger en del usikkerhet i å bruke standardavvik som mål på variasjon. For det første er de ulike aktivitetene av svært ulik varighet. Posten *Fra lading til skutt* varierer fra 6 minutter til 15 minutter, mens posten *Salveboring* varierer fra 116 minutter til 183 minutter. En aktivitet av lang varighet vil naturlig variere mer enn en aktivitet av kortere varighet. Derfor får vi mindre standardavvik for aktivitetene med kort varighet, enn for aktiviteter med lang varighet. På den andre siden er aktiviteter av lang varighet mer kritiske, da disse bidrar mer til den totale tiden som blir brukt enn arbeidsoperasjoner med lav tidsbruk. Et annet aspekt ved sammenligning av målingene er at ikke alle arbeidsoperasjonene har like mange målinger. Færre målinger vil føre til større usikkerhet, og om variasjonen er stor eller liten kan være mer tilfeldig. Dette gjelder særlig bolting. Arbeidsoperasjonen *Opprigg borrhigg* har også færre målinger enn de andre, i tillegg til at målingen av denne aktiviteten inneholder en del usikkerhet.

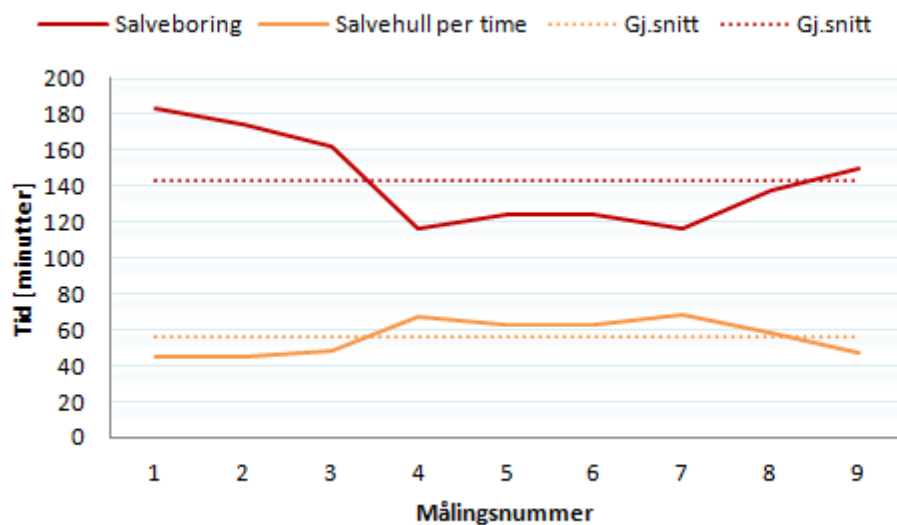
Ut i fra standardavvik i tabell 7 ser man at *Salveboring* er den arbeidsoperasjonen som varierer mest. Her er forskjellen fra minst tidsbruk til høyest tidsbruk 67 minutter. Dette vil derfor være en aktivitet det er aktuelt å studere nærmere, da det her er store variasjoner i tidsbruk.

Tabell 8 Salveboring

	Måleserier									Gjennomsnitt
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Salveboring	183	174	162	116	124	124	116	138	150	143,0
Totalt antall salvehull	137	130	130	130	130	130	132	134	117	130,0
Salvehull per time	44,9	44,8	48,1	67,2	62,9	62,9	68,3	58,3	46,8	56,0

Antall salvehull per salve varierer noe, og kan virke inn på tiden som blir brukt til salveboring. Grunnen til variasjonen i antall hull er at noen salver har større tverrsnitt på grunn av vifteutvidelse, nisjeutvidelse¹¹ og lignende. Tabell 8 viser antall salvehull på hver tidsmåling. Antall salvehull per time er beregnet ut fra dette. Måling 1,2,3 og 9 har høyt tidsbruk på salveboring. I figur 10 ser man at dette ikke har større betydning for resultatet av tiden på salveboringen. De målingene som har høyest verdi på tid på salveboringen har lavest verdi på antall hull per time, og likedan for de målingene med lave verdier for tid brukt på salveboring. Man ser at de to kurvene *Tid salveboring* og *Salvehull per time* følger hverandre speilvendt. Det kan også nevnes at tidsmålingene som hadde størst tidsbruk totalt, som vist i figur 11, også er de målingene som hadde lengst salveboringstid, bortsett fra måling 6. Dette indikerer at det kan være problemer som oppsto under arbeidet i måling nr 6, da salveboringen er den arbeidsoperasjonen som tar lengst tid i den definerte oppdelingen av arbeidet.

¹¹ En nisje er en utvidelse i tunneltverrsnittet. Vanlige nisjer er trafonisjer, snunisjer og havarinisjer.



Figur 10 Salveboring

En metode for å finne ut hvilke arbeidsoperasjoner som har størst innvirkning på den totale tiden, er å gjøre regresjonsanalyser. Ved å sette posten *Total tid ekskludert boring* som y-variabel, og de enkelte arbeidsoperasjonene som x-variabler kan man finne ut av hvilken aktivitet som har størst innvirkning på den totale tiden. Med så få data, er det hensiktsmessig å begrense antall forklaringsvariabler da dette gir et mer pålitelig resultat. Aktivitetene knyttet til bolting er ikke aktuelt når y-variabelen ikke inkluderer bolting. Posten *Opprigg borrhigg* inneholder mye usikkerhet og har få målinger. I en regresjonsanalyse må man ha en tilhørende X-variabel til hver Y-variabel. Derfor velges det å ikke bruke *Opprigging borrhigg* i analysene, da dette ville begrenset antall målinger som kunne blitt inkludert i analysen. Posten *Fra lading til skutt* er av kort varighet, og antas å ikke bidra mye til den totale tiden, denne posten blir derfor heller ikke tatt med i regresjonsanalysene. I tabell 9 har det blitt gjennomført en regresjonsanalyse med salveboring, lading og samspillet mellom disse to som forklaringsvariabler. Merk at tall tilhørende måling 5 ikke er inkludert i denne regresjonsanalysen, da ladetiden ikke ble registrert for denne målingen. Resultatet gir svært høye p-verdier, og det kan derfor ikke konkluderes med hvor stor innvirkning disse variablene har på den totale tiden. Dette betyr ikke at salveboring og lading ikke har innvirkning på totaltiden; det har det selvsagt. Derimot betyr det at i hvilken grad disse to aktivitetene påvirker totaltiden, ikke kan avgjøres.

Tabell 9 Regresjonsanalyse: Totaltid u/bolt versus salveboring og lading

SAMMENDRAG (UTDATA)

<i>Regresjonsstatistikk</i>	
Multippel R	0,501
R-kvadrat	0,251
Justert R-kvadrat	-0,311
Standardfeil	66,281
Observasjoner	8

Variansanalyse

	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>GK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans-F</i>
Regresjon	3	5887,081	1962,360	0,447	0,733
Residualer	4	17572,419	4393,105		
Totalt	7	23459,500			

	<i>Koeffisienter</i>	<i>Standardfeil</i>	<i>t-Stat</i>	<i>P-verdi</i>	<i>Nederste 95%</i>	<i>Øverste 95%</i>
Skjæringspunkt	-1387,162	3111,233	-0,446	0,679	-10025,329	7251,006
Salveboring	9,848	18,363	0,536	0,620	-41,136	60,833
Lading	21,539	44,640	0,483	0,655	-102,400	145,478
Samspill	-0,126	0,261	-0,483	0,654	-0,851	0,599

Siden det ikke gikk an å konkludere fra regresjonsanalysen i tabell 9, ble det gjennomført en regresjonsanalyse med kun posten *Salveboring* som forklaringsvariabel. I dette tilfellet kunne alle målingene inkluderes i analysen, siden *Salveboring* og *Totalt uten bolting* er registrert på alle 9 tidsmålingene som er gjennomført. Denne analysen er vist i tabell 10. Her får vi en betydelig lavere p-verdi, men den er likevel ikke lav nok til å kunne defineres som signifikant. Resultatet i regresjonsanalysen viser at når tiden for salveboringen øker med 1 minutt, øker den totale tiden ekskludert bolting med 1,091. Dette er et rimelig resultat, men kan ikke forsvares statistisk som pålitelig nok til å trekke en konklusjon.

Tabell 10 Regresjonsanalyse: Totaltid u/bolt versus salveboring

SAMMENDRAG (UTDATA)

<i>Regresjonsstatistikk</i>	
Multippel R	0,495
R-kvadrat	0,245
Justert R-kvadrat	0,137
Standardfeil	52,099
Observasjoner	9

Variansanalyse

	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>GK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans-F</i>
Regresjon	1	6160,860	6160,860	2,270	0,176
Residualer	7	19000,029	2714,290		
Totalt	8	25160,889			

	<i>Koeffisienter</i>	<i>Standardfeil</i>	<i>t-Stat</i>	<i>P-verdi</i>	<i>Nederste 95%</i>	<i>Øverste 95%</i>
Skjæringspunkt	99,876	105,000	0,951	0,373	-148,410	348,162
Salveboring	1,091	0,724	1,507	0,176	-0,621	2,803

I tabell 11 ble det gjennomført en regresjonsanalyse med kun posten *Lading* som forklaringsvariabel. Resultatet viser en høy p-verdi. Det kan derfor ikke konkluderes med hvordan sammenhengen er mellom totaltid ekskludert bolting og ladetid. Merk at heller ikke denne regresjonsanalysen inkluderer tall fra måling 5, da ladetid ikke ble registrert for denne tidsmålingen.

Tabell 11 Regresjonsanalyse: Totaltid u/bolt versus lading

SAMMENDRAG (UTDATA)

<i>Regresjonsstatistikk</i>	
Multipel R	0,288
R-kvadrat	0,083
Justert R-kvadrat	-0,070
Standardfeil	59,876
Observasjoner	8

Variansanalyse

	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>GK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans-F</i>
Regresjon	1	1948,576	1948,576	0,544	0,489
Residualer	6	21510,924	3585,154		
Totalt	7	23459,500			

	<i>Koeffisienter</i>	<i>Standardfeil</i>	<i>t-Stat</i>	<i>P-verdi</i>	<i>Nederste 95%</i>	<i>Øverste 95%</i>
Skjæringspunkt	141,595	163,005	0,869	0,418	-257,262	540,453
Lading	1,635	2,218	0,737	0,489	-3,792	7,062

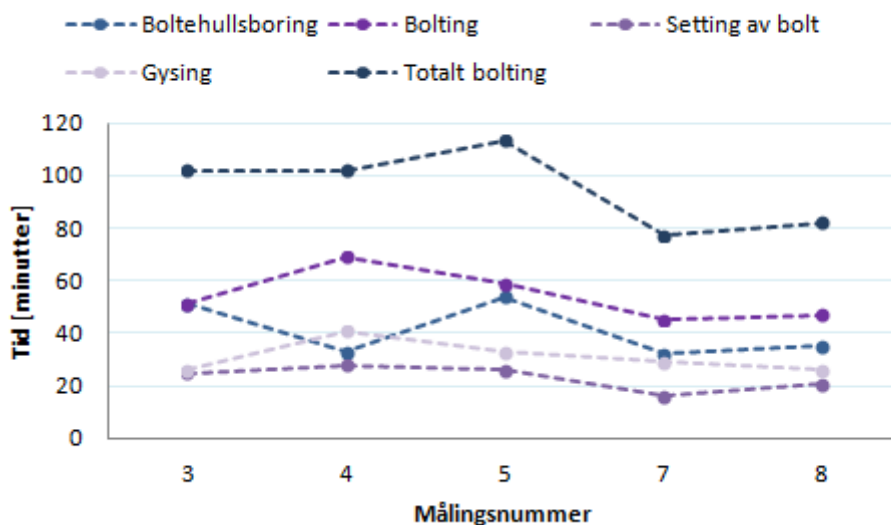
4.2.1 Boltetider

Tabell 12 viser resultatet for boltetider. Ut i fra standardavvikene ser det ut som at det er boltehullsboringen som varierer mest av aktivitetene som inngår i den totale boltetiden. Men det er ikke stor forskjell mellom standardavviket til bolteboringen og posten *Bolting*, og det kan derfor ikke konkluderes med hvilke av disse aktivitetene som har størst betydning for den totale boltetiden. Det er tatt færre målinger for bolting, og det gir derfor mindre grunnlag til å trekke konklusjoner med hensyn til boltetidene. Det kan tenkes at man ville fått større variasjon i tallene hvis man hadde hatt flere målinger, men man skal heller ikke se bort i fra at flere data ville gitt mindre variasjon. Et annet aspekt ved disse dataene, er at vi i forrige seksjon fant at salveboringen var den aktiviteten som varierte mest. Boltehullsboring er svært likt salveboring, og det er derfor nærliggende å tro at denne aktiviteten er kritisk for den totale tiden.

Tabell 12 Boltetider

	Målingsnummer					Gjennomsnitt	Standardavvik
	3	4	5	7	8		
Boltehullsboring	51	33	54	32	35	41,0	10,6
Bolting	51	69	59	45	47	54,2	9,9
• Setting av bolt	25	28	26	16	21	23,2	4,8
• Gysing	26	41	33	29	26	31,0	6,3
Totalt bolting	102	102	113	77	82	95,2	15,1
Antall boltehull	27	33	35	29	28	30,4	
Tid per boltehull	1,9	1,0	1,5	1,1	1,3	1,4	
Bolter per time	15,9	19,4	18,6	22,6	20,5	19,4	

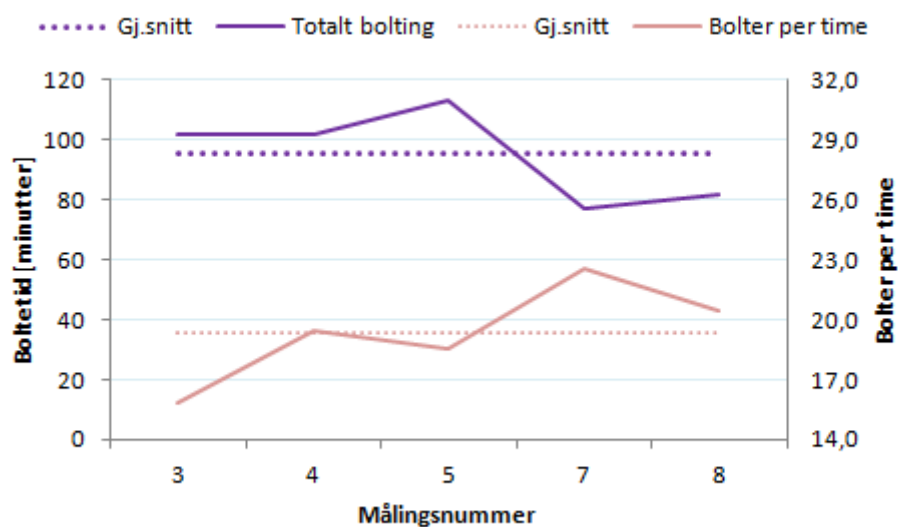
Figur 11 viser grafisk de enkelte arbeidsoperasjonene som er inkludert i bolting, i tillegg til den totale tiden brukt på bolting. Man ser en liten tendens til at verdien på *Total tid bolting* har samme trend som *Boltehullsboring*. Med andre ord kan man se en sammenheng mellom høye tidsmålinger på boltehullsboring og høy total tid på bolting og omvendt. Tidene brukt på å sette bolt og gysing varierer mer tilfeldig.



Figur 11 Boltetider

Grafen i figur 12 viser at vi ikke har tilsvarende sammenheng her som ved salveboring. Med andre ord har antall bolter som blir satt betydning for den totale tiden som blir brukt på bolting. Den totale boltetiden viser at måling 3,4 og 5 ligger over gjennomsnittet mens måling 7 og 8 ligger under gjennomsnittet. Når det tas hensyn til hvor mange bolter som blir satt, har fremdeles måling nummer 7 den korteste boltetiden, men måling 4 ligger nå akkurat

på gjennomsnittet. Videre viser det seg nå at måling 5 likevel ikke har den største tidsbruken, men derimot viser det seg at måling 3 bruker lengst tid per bolt. Trenden er fremdeles temmelig lik, men det er ikke den klare sammenhengen som vi så i figur 10 over salveboring. Grunnen til dette kan være at en ekstra bolt i tillegg til å bore et ekstra hull krever at bolten settes og at den gyses. Ved salvehull vil et ekstra hull kun bety at det ekstra hullet må bores. Det må også lades, men dette vil ikke gi stort utslag i tid. Et par hull ekstra på en salve på omtrent 130 hull vil gi mindre utslag enn fem bolter ekstra som i tillegg skal settes og gyses.



Figur 12 Totalt bolting versus bolter per time

For å finne ut hvilke arbeidsoperasjoner som har størst innvirkning på den totale tiden når man inkluderer bolting kan det utføres regresjonsanalyser. Disse analysene er basert på de målingene som det er registrert boltetider på. Postene *Opprigg borrhull* og *Fra lading til skutt* bidrar lite til det totale tidsbruket og vil derfor ikke bli inkludert i regresjonsanalysene. På tidsmålingene som inkluderer bolting varierer ladetiden fra 63 minutter til 70 minutter. Det er en forskjell på kun 7 minutter, og ladetiden vil derfor ikke virke inn på den totale tidsbruken. Posten *Lading* er derfor heller ikke inkludert i regresjonsanalysene. Vi står da igjen med *Salveboring*, *Boltehullsboring* og *Bolting*. Disse tre postene er blitt brukt som forklaringsvariable til *Totalt med bolting* i tabell 13.

Tabell 13 Regresjonsanalyse: Totaltid m/bolt versus bolteboring, bolting og salveboring

SAMMENDRAG (UTDATA)

<i>Regresjonsstatistikk</i>	
Multipel R	0,979
R-kvadrat	0,958
Justert R-kvadrat	0,834
Standardfeil	12,268
Observasjoner	5

Variansanalyse

	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>GK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans-F</i>
Regresjon	3	3468,294	1156,098	7,681	0,258
Residualer	1	150,506	150,506		
Totalt	4	3618,800			

	<i>Koeffisienter</i>	<i>Standardfeil</i>	<i>t-Stat</i>	<i>P-verdi</i>	<i>Nederste 95%</i>	<i>Øverste 95%</i>
Skjæringspunkt	96,234	68,230	1,410	0,393	-770,709	963,176
Bolteboring	1,216	0,723	1,682	0,341	-7,970	10,403
Bolt og gysing	0,599	0,707	0,848	0,552	-8,381	9,580
Salveboring	1,095	0,420	2,609	0,233	-4,237	6,426

Resultatet fra regresjonsanalysen i tabell 13 viser høye p-verdier tilhørende alle forklaringsvariablene. Forklaringsvariabelen *Bolt og gysing* har den høyeste p-verdien, og det utføres derfor en ny regresjonsanalyse der denne forklaringsvariabelen ikke er inkludert. Denne analysen vises i tabell 14. P-verdiene her er betydelig lavere enn i tabell 13, men er ikke lave nok til å være signifikante. Selv om det ikke kan trekkes konklusjoner fra regresjonsanalysen i tabell 14, ser vi at når tiden brukt på boltehullsboring og salveboring øker, øker den totale tiden også. Hvilket er en naturlig konklusjon. Hvilken av faktorene som har størst påvirkning på økt total tidsbruk, kan vi ikke identifisere her da analysen ikke er valid.

Tabell 14 Regresjonsanalyse: Totaltid m/bolt versus bolteboring og salveboring

SAMMENDRAG (UTDATA)

<i>Regresjonsstatistikk</i>	
Multippel R	0,964
R-kvadrat	0,928
Justert R-kvadrat	0,857
Standardfeil	11,374
Observasjoner	5

Variansanalyse

	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>GK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans-F</i>
Regresjon	2	3360,043	1680,022	12,985	0,072
Residualer	2	258,757	129,378		
Totalt	4	3618,800			

	<i>Koeffisienter</i>	<i>Standardfeil</i>	<i>t-Stat</i>	<i>P-verdi</i>	<i>Nederste 95%</i>	<i>Øverste 95%</i>
Skjæringspunkt	141,926	38,815	3,656	0,067	-25,081	308,932
Boltehullsboring	1,427	0,630	2,266	0,152	-1,283	4,136
Salveboring	0,928	0,344	2,699	0,114	-0,551	2,408

4.2.2 Q-verdier på tidsmålingene

På RVV-prosjektet, og andre tunnelprosjekter i regi av SVV, blir hver salve kartlagt av en geolog fra SVV, slik at nødvendig sikringsmengde og -type kan fastsettes. Q-systemet blir da brukt for å finne nødvendig sikring etter tabell i vedlegg 1. Dette betyr at en Q-verdi er beregnet på hver salve i tunnelen. Dette kan være interessant å studere, da Q-verdien forteller noe om hvordan bergforholdene er på stedet, og hvilken sikringsklasse berget er klassifisert i. Vanskelige bergforhold kan ha påvirkning på hvor mye det må spettrenskes, og det kan også muligens påvirke boretid. Boringen kan ta lenger tid hvis det for eksempel er mye nedfall på stuff som tetter hullene og gjør det vanskelig å bore. I tillegg kan mye nedfall føre til at det må renskes mye ut fra salvehullene før de lades. Dette vil da også føre til at syklustiden blir lenger. Sikringsnivået påvirker også tidsbruken i tunneldrivingen. Dette betyr at Q-verdier kan ha innvirkning på tidsbruken i tunneldrivingen.

Store utslag i tidsbruken vil ha størst betydning hvis bergmasseforholdene er tilstrekkelig ulike. Særlig vil bruk av annen sikring enn bolter og sprøytebetong mest sannsynlig øke syklustiden betydelig. Det må også nevnes at det er usikkerhet knyttet til parameterne som blir brukt til utregning av Q-verdi, da disse verdiene blir fastsatt ved observasjon og kan være

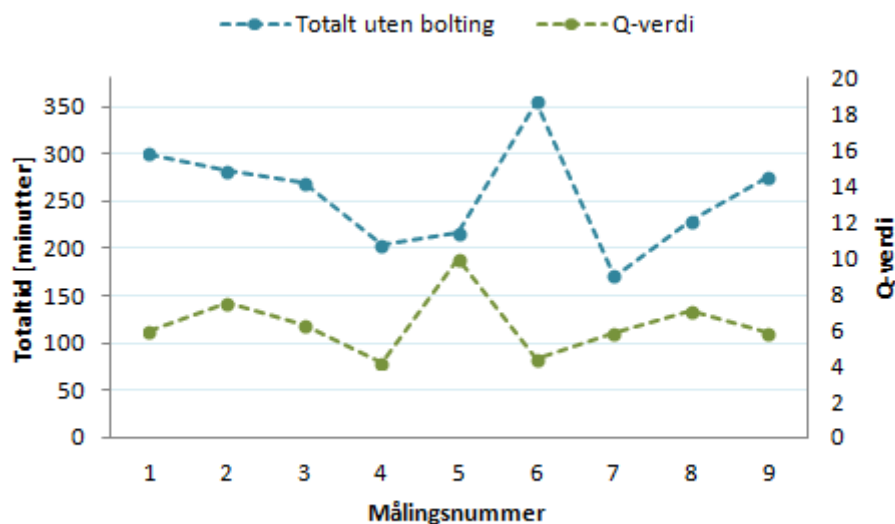
svært unøyaktige. Dette fordi parameterne kan være vanskelige å observere og angis nøyaktig. Derfor vil små variasjoner i Q-verdiene ikke nødvendigvis bety at stabilitetsforholdene er ulike på de ulike stedene. Store variasjoner i Q-verdier vil derimot fortelle oss at bergforholdene er forskjellige på disse stedene.

Tabell 15 viser bergmasseklasse, Q-verdi og parameterne som er inkludert i Q-verdien for hver av målingene som er tatt. Tabeller til parameterne brukt i fastsettelse av Q-verdier er vedlagt i vedlegg 2. Tabellen viser at Q-verdiene varierer lite på de målte salvene. Alle målingene er klassifisert i bergmasseklasse C, bortsett fra måling 5 som er klassifisert i bergmasseklasse B. Måling 5 har Q-verdi 10, noe som akkurat kvalifiserer det til bergmasseklasse B. Med andre ord er bergkvaliteten ganske lik på alle målingene som er blitt tatt. Parameterne som inngår i Q-verdien varierer også lite, som vi ser i tabell 15.

Tabell 15 Q-verdier

	Målingsnummer								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bergklasse	C	C	C	C	B	C	C	C	C
Q-verdi	5,9	7,5	6,3	4,2	10	4,4	5,8	7,1	5,8
RQD	80	90	85	75	80	80	70	85	70
Jn	9	9	9	9	6	9	6	6	6
Jr	2	1,5	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Ja	3	2	3	3	2	3	3	3	3
Jw	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figur 13 viser hvordan den totale tiden uten bolting og Q-verdiene som er beregnet på de aktuelle pelnummerene, varierer i forhold til hverandre. Den ene y-aksen angir antall minutter for den totale tiden, den andre y-aksen angir Q-verdien for hver av målingene. Det synes ikke å være en sammenheng her. Det er likevel blitt gjennomført en regresjonsanalyse for å se om Q-verdien har betydning for den totale tiden som er målt.



Figur 13 Q-verdi versus totalt u/bolt

Regresjonsanalysen er blitt gjennomført i tabell 16 med Q-verdi som mulig forklaringsvariabel. Ut fra regresjonsanalysen ser vi at forklaringsvariabelen har en tilhørende p-verdi på 0,511, hvilket er svært høyt. Konklusjonen blir da at det ikke kan påstås at Q-verdiene har noen betydning for de totale tidene som er blitt målt i tunnelen.

Tabell 16 Regresjonsanalyse: Q-verdi versus totalt u/bolt

SAMMENDRAG (UTDATA)

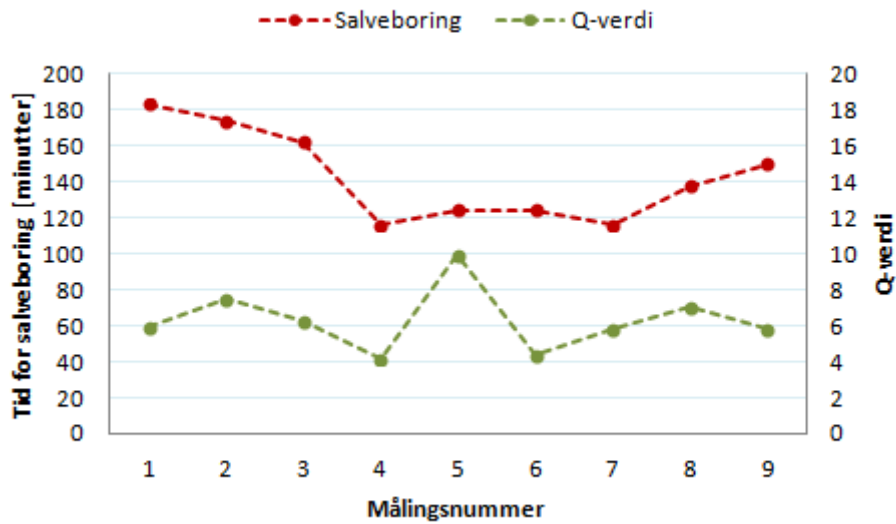
Regresjonsstatistikk	
Multipel R	0,253
R-kvadrat	0,064
Justert R-kvadrat	-0,070
Standardfeil	57,998
Observasjoner	9,000

Variansanalyse

	fg	SK	GK	F	Signifikans-F
Regresjon	1	1614,912	1614,912	0,480	0,511
Residualer	7	23545,977	3363,711		
Totalt	8	25160,889			

	Koeffisienter	Standardfeil	t-Stat	P-verdi	Nederste 95%	Øverste 95%
Skjæringspunkt	307,371	76,774	4,004	0,005	125,829	488,913
Q-verdi	-8,129	11,732	-0,693	0,511	-35,870	19,612

Figur 14 viser sammenhengen mellom Q-verdi og tiden brukt på salveboring. Den ene y-aksen viser antall minutter brukt på salveboring. Den andre y-aksen viser Q-verdien på de aktuelle målingene. Ut i fra grafen synes det ikke å være en sammenheng her.



Figur 14 Q-verdi versus salveboring

Tabell 17 viser resultatet av regresjonsanalysen som er gjennomført. P-verdien er lik 0,720, hvilket betyr at det ikke kan konkluderes med at Q-verdiene har betydning for tiden som er brukt på salveboring på målingene som er blitt tatt.

Tabell 17 Regresjonsanalyse: Q-verdi versus salveboring

SAMMENDRAG (UTDATA)

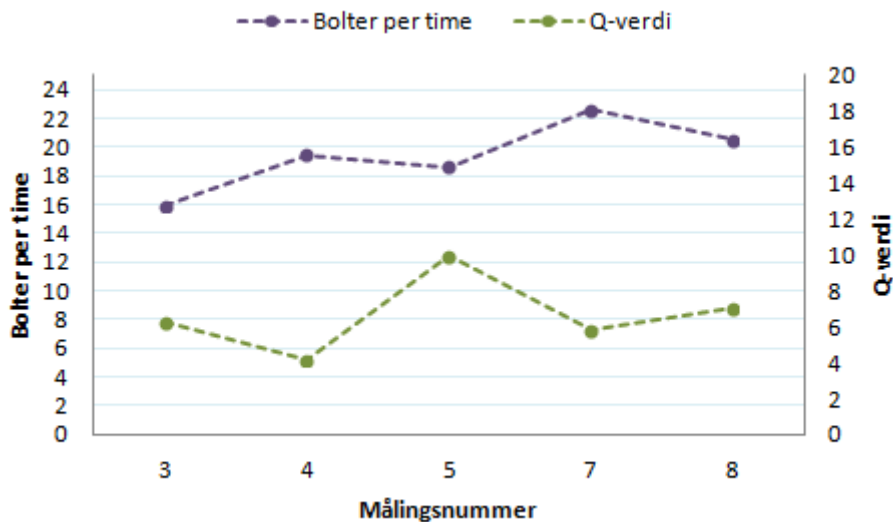
<i>Regresjonsstatistikk</i>	
Multippel R	0,140
R-kvadrat	0,020
Justert R-kvadrat	-0,121
Standardfeil	26,926
Observasjoner	9,000

Variansanalyse

	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>GK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans-F</i>
Regresjon	1	101,068	101,068	0,139	0,720
Residualer	7	5074,932	724,990		
Totalt	8	5176,000			

	<i>Koeffisienter</i>	<i>Standardfeil</i>	<i>t-Stat</i>	<i>P-verdi</i>	<i>Nederste 95%</i>	<i>Øverste 95%</i>
Skjæringspunkt	130,121	35,643	3,651	0,008	45,839	214,403
Q verdi	2,034	5,446	0,373	0,720	-10,845	14,912

Figur 15 viser sammenhengen mellom boltetid og Q-verdi. Boltetiden er definert som hvor mange bolter som blir satt per time. Boltetiden inkluderer boltehulls boring, setting av bolt og gysing. Boltre per time og Q-verdi viser ikke samme variasjon i figur 15. For eksempel har måling 4 en lav Q-verdi og en middels verdi når det gjelder antall bolter per time. Måling 5 ligger omtrent på samme nivå som måling 4 når det gjelder antall bolter per time, men har en betydelig høyere Q-verdi. Dette viser at boltetiden og Q-verdien har liten sammenheng på tidsmålingene som ble utført.



Figur 15 Q-verdi versus Boltetid

Regresjonsanalysen gitt i tabell 18 gir heller ikke en sammenheng mellom hvor mange bolter som blir satt per time og Q-verdien, da vi har en svært høy p-verdi i denne analysen.

Tabell 18 Regresjonsanalyse: Q-verdi versus bolter per time

SAMMENDRAG (UTDATA)

<i>Regresjonsstatistikk</i>	
Multippel R	0,178
R-kvadrat	0,032
Justert R-kvadrat	-0,291
Standardfeil	2,809
Observasjoner	5

Variansanalyse

	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>GK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans-F</i>
Regresjon	1	0,773	0,773	0,098	0,775
Residualer	3	23,673	7,891		
Totalt	4	24,446			

	<i>Koeffisienter</i>	<i>Standardfeil</i>	<i>t-Stat</i>	<i>P-verdi</i>	<i>Nederste 95%</i>	<i>Øverste 95%</i>
Skjæringspunkt	20,767	4,567	4,548	0,020	6,234	35,300
Q-verdi	-0,206	0,657	-0,313	0,775	-2,297	1,886

Som vi ser fra overnevnte grafer og regresjonsanalyser, har Q-verdiene ingen eller liten påvirkning på tidsbruken for målingene som er blitt tatt. Hadde Q-verdiene variert mer på

målingene, slik at vi for eksempel hadde fått høyere sikringsklasser, kan det tenkes at det hadde vært en sammenheng mellom Q-verdiene og tidsbruken.

4.2.3 Mulige feilkilder

En del av aktivitetene foregår parallelt, og tidene kan derfor være vanskelige å måle eksakt. Særlig gjelder dette for salveboring og boltehulls-boring. Boltehull og salvehull blir ofte boret samtidig, ved at for eksempel to bormaskiner brukes til å bore boltehull og én bormaskin blir brukt til å bore salvehull i kutten. I slike tilfeller defineres boringen som salveboring hvis to eller flere av bormaskiner brukes til å bore salvehull. Boringen defineres som boltehulls-boring, hvis to eller flere bormaskiner brukes til å bore boltehull. Med andre ord neglisjeres boringen som kun utføres av én bormaskin, hvis de andre to bormaskinene brukes til annen boring. Også postene lading og nedrigging av borrhigg foregår i mange tilfeller samtidig, ved at en person lader salven ferdig mens en annen begynner å rigge ned borrhiggen. I tillegg fungerer lading av salven slik, at det ikke alltid er mulig og effektivt at to eller flere lader samtidig. Dette gjelder særlig mot slutten av ladingen. Dette er fordi kun en person kan lade fra korgen, og den andre må lade fra sålen. Den som lader fra sålen når kun opp til de nederste hullene, og dette tar derfor kortere tid enn å lade alle hullene som må lades fra korgen.

Det er nærliggende å tro at de skiftene som gjør flere av aktivitetene samtidig også er mer produktive. På grunn av at aktiviteter som foregår parallelt er vanskeligere å måle, vil tiden som tas på hver enkelt aktivitet ofte ikke reflektere den egentlige produktiviteten på disse arbeidsoperasjonene. Den totale tiden de bruker på alle aktivitetene vil likevel vise dette. Hvordan de planlegger og utfører arbeidet på mest effektiv måte er særlig utslagsgivende når det bores og lades. Effektiv boring kjennetegnes ved at alle bormaskinene skal være mest mulig i bruk under boring. For å oppnå dette må basen planlegge boringen, slik at bommene ikke kommer i veien for hverandre under boring. Unngår man dette, vil tiden som bommene må være i ro, reduseres. For å få maksimal utnyttelse av bormaskinene, må basen ha et fast mønster som han borer i. Med andre ord kan ikke mønsteret han borer i være tilfeldig.

Også lading er avhengig av at skiftet har lagt en plan for hvilket mønster de skal lade i, for å utføre det mest mulig effektivt. For at ladingen skal ta kortest mulig tid er det viktig at det så langt det er mulig legges opp til at to personer kan lade samtidig. For å oppnå effektiv lading

bør det i løpet av arbeidsoperasjonen være arbeid til to personer så langt det er mulig. Det er mest effektivt at en lader fra sålen og en fra korgen hele tiden. Effektivitet på disse og andre arbeidsoperasjoner er vanskelig å observere.

Noen av postene arbeidet er delt inn i er vanskelig å ta tiden på. Dette gjelder særlig opprigging og nedrigging av borrhigg, da det er vanskelig å registrere start og slutt for disse aktivitetene. Dette fordi postene omfatter mange små arbeidsoperasjoner. Opprigging av borrhigg omfatter blant annet påkobling av strøm og vann, innkjøring av borrhigg, og navigering av borrhigg. I noen tilfeller blir for eksempel påkobling av vann og strøm utført før stoffen er klar for borrhiggen. Da blir ikke dette inkludert i tiden for opprigging av borrhigg. På samme måte starter ofte nedrigging av borrhiggen før ladingen er helt ferdig, og noen ganger starter en person nedriggingen for deretter å fortsette å lade. Dette er derfor en post det er vanskelig å få sammenlignbare tider på. Disse postene er også av relativt kort varighet, og variansen på resultatene her bør derfor ikke tillegges for mye vekt på grunn av den store usikkerheten. For å redusere usikkerheten på posten *Nedrigging* er det laget en post som defineres som tid fra lading er ferdig til det skytes. Tidene på denne posten er mye lettere å sammenligne, da denne er enkel å registrere.

Noen av postene har færre målinger enn andre. Dette gjelder særlig postene tilknyttet bolting. Også *Opprigg av borrhigg* har noen færre målinger enn de andre postene. Resultatet av færre målinger er mer usikkerhet knyttet til gjennomsnitt, standardavvik og konklusjoner.

4.2.4 Observasjoner gjort ved utføring av målinger

Når målingene ble utført prøvde jeg etter beste evne å registrere alt som foregikk på stoff. Spesielt la jeg vekt på å registrere faktorer som kunne ha innvirking på produktiviteten. Med andre ord årsaker til at arbeidet gikk raskt eller tregt. I tillegg registrerte jeg tider på stopp i arbeidet som oppstod.

Skift 1, skift 2 og skift 3 har en lærling med på skiftet. Det er varierende hvor lang erfaring disse lærlingene har fra tunneldriving. Det varierer også fra måling til måling i hvilken grad lærlingen er delaktig på stoff. Når det er en lærling på skiftet, betyr det at mannskapet består av en ekstra person. Dette er i utgangspunktet positivt for produktiviteten, da lærlingen vil gå som en ekstra person som kan hjelpe til i arbeidet der det trengs. På en annen side vil lærlingene kreve opplæring i arbeidet og det er selvsagt viktig at de får prøve seg på det meste av arbeidet i tunnelen. Dette kan føre til at produktiviteten er lavere enn

det ville vært uten lærling. Om lærlingene har en positiv eller negativ effekt på produktiviteten ved arbeidsoperasjonene som er målt, varierer med fartstiden til lærlingen og hvilket arbeid som gjøres på stoff. Dette er vanskelig for meg å observere, og det er kun i spesielle tilfeller der dette kan tenkes seg å ha betydning at dette er blitt notert.

Ved arbeid som går i syklus, slik som tunneldriving, er overgangene mellom arbeidsoperasjonene svært viktig. Høy produktivitet forutsetter at overgangen fra en arbeidsoperasjon til en annen går så fort som mulig. Dette krever at mannskapet som trengs står klare til å begynne arbeidet og utstyr som skal brukes er lagt frem og er klart. Overgangene går i de fleste observerte tilfeller svært fort. For at boringen skal være mest mulig effektiv og det kan bores uten avbrytelser er det en fordel at en person er fremme på stoff for å skifte borekroner, skifte borstang hvis denne knekker og kunne hjelpe til ved eventuelle andre problemer som oppstår. Før bolting er det av betydning at boltene er kjørt frem på stoff før bolting starter. I tillegg må gysepumpe og gysemasse kjøres inn før gysingen kan starte. En person kan også begynne å blande gysemasse i gysepumpa før gysingen starter. Før lading bør sprengstoff gjøres klart. Dette gjøres ved at t-patron eller primer festes til tennerne og dette settes fremme på stoff. Det forutsettes at de nevnte forberedelser er gjort før den aktuelle arbeidsoperasjonen starter, hvis ikke er dette blitt registrert.

Berget spettrenskes etter pigging og før spruting i salvesyklusen. Ved ruskete bergforhold vil det i tillegg til denne renskningen være nødvendig å spettrenske mellom boring og lading. Dette blir gjort for å forsikre seg om at det ikke står igjen småflis i stoffen når ladingen begynner. Bas avgjør om dette er nødvendig på hver enkelt salve. Hvor lang tid spettrenskingen tar avhenger av hvor mye løs masse det er på stoff. Ruskete berg fører til mye spettrensking, mens ved gode bergforhold vil spettrenskingen som er blitt utført før spruting være nok.

Antall bolt som skal settes avhenger av hvilken sikringsklasse berget er klassifisert som. Hver enkelt sikringsklasse oppgir hvor stor avstand det skal være mellom boltene. Noen velger å merke på betongen hvor boltene skal settes før de borer boltehull, slik at de vet akkurat hvor de skal bore når de begynner å bore boltehull. Dette er opp til hver enkelt bas.

Nedenfor følger observasjoner gjort ved hver enkelt måling:

Måling 1: Pumpen på stoff tett seg med slam, og måtte renskes flere ganger i løpet av denne målingen. Dette heftet arbeidet på stoff noe.

Måling 2: Lærling er inne på stoff under boring og lading istedenfor stuffrep. Han har kun vært lærling et halvt år. Lærlingen er med og borer, samtidig med bas. Boringen utføres noe ustrukturert, og det er en mulighet for at boringen går saktere enn hvis bas hadde styrt alle bommene selv. Sprengstoffet er ikke klart når det er klart for lading. Det er naturlig å tro at selve ladingen tar lenger tid, da det må festes primere og t-patroner på stoff. Det må også hentes sprengstoff i ladebilen underveis. Lærling er i korgen og lader. Jeg observerer at han virker noe stresset og ofte mister ting ned på sålen som han må kjøre ned å hente. Det er trangt i sålen, slik at hullene i liggen må krafses frem før man kan lade disse hullene.

Måling 3: Det blir merket bolt før boltehulls boring. Stoffen blir spettrensket mellom salveboring og lading. I tillegg må hullene i liggen krafses frem da det har vært mye nedfall, blant annet på grunn av spettrensking. Det var kun bas tilstede under opprigging av borrhigg. Stuffrep kommer på stoff senere. Dette kan ha forsinket posten *Opprigg av borrhigg*. Vannet som brukes til boring, ga problemer. Helt stopp under salveboringen på grunn av dette i 12 minutter, men det påvirket boringen i 21 minutter.

Måling 4: Det blir ikke merket bolter før boltehulls boring. Det spettrenskes før det lades. Det må også renskes ut av en del borehull før hullene lades.

Måling 5: Det blir ikke merket bolter før boltehulls boring. Det spettrenskes før det lades. Generelt var stuffrep og lærling lite på stoff under denne målingen. Bas må derfor i en lang periode skifte borekroner, flytte pumpe og legge foringsrøyr i liggehull selv underveis under boringen.

Måling 6: Store problemer med tett pumpe på denne salven. Pumpen som ligger framme på stoff pumper ikke ut vannet og det samler seg store mengder vann fremme på stoff. Det er umulig å lade med så store mengder vann. Dette fører til full stopp i omtrent to timer og 20 minutter. Det arbeides med å renske ut sement av pumpa og rørgata, og det tar også litt tid å finne proppen. Etter at dette er gjort må det ventes på at vannet pumper helt vekk før man kan begynne å bore igjen. Pumpen fungerer ikke optimalt gjennom hele salven. Dette gjelder både under salveboring og under lading. Under lading arbeider stuffrep i korg videre,

men lading fra sålen stopper opp på grunn av problemene med pumpen. Det kan tenkes at ladetiden blir forlenget på grunn av stopp som følge av vann. Bas må bytte borekroner selv flere ganger fordi stuffrep og lærling ikke er ledig til dette.

Måling 7: Det blir merket bolt før boringen starter. Dette blir gjort samtidig som lærling navigerer inn riggen, det påvirker derfor ikke det totale tidsforbruket. Lærling er med og borer både under boltehulls boring og salveboring. Han har vært lærling i halvannet år og har derfor god kontroll på sine arbeidsoppgaver. Det antas derfor at dette fører til at boringen går raskere. Stoffen blir ikke spettrensket før ladingen begynner.

Måling 8: Stoffen blir ikke spettrensket før ladingen begynner. Sprøytebetongen som er påført like før salveboringen starter, har lav tidligfasthet. Det kan kanskje tenkes at dette forsinker boringen, da boltehulls boringen blir utsatt grunnet dårlig herding av betongen. Hvis betongen ikke er godt nok herdet, kan boring i denne føre til at betongen skylles vekk av vannet som brukes under boring. I mange tilfeller er det blitt registrert at bas velger å bore boltehull samtidig som salvehull. For eksempel ved å bruke bormaskin 2 til boring av kutten og bormaskin 1 og 3 til boring av boltehull. Det kan derfor virke som om dette er den mest effektive måten å bore på. På denne salven ble salvehull boret først, for så å begynne å bore boltehullene.

Måling 9: Bas velger tidvis å bore med 64 mm borkrone istedenfor 48 mm borkrone, fordi han mener dette er bedre å bruke i ruskete bergforhold. Antall hull i salven blir som følge av dette redusert. Generelt vil større borkroner øke boretiden, da store borkroner gir dårligere borsynk enn mindre borkroner. Sprengstofforbruket vil også øke, da det kreves mer slurry for å fylle større hull. Når antall salvehull reduseres, vil noe av denne effekten også reduseres, og om dette førte til økt tidsbruk er derfor usikkert. Det er mye nedfall på stuff. Det resulterer i at det etter salveboring må renskes over stuffen med gravemaskinen. Gravemaskinen rensker ned løse masser, og graver bort masser som ligger på sålen slik at det er mulig komme til når det skal lades i liggehull. Dette stopper annet arbeid i 34 minutter Det må også renskes mye ut av hull i etterkant manuelt. Lasteren er med og krafser fram liggehull og rensker ut av salvehull etter at han har rensket stuffen med gravemaskinen. Laster er også med og lader. Da er det tre personer som arbeider med lading og krafsing fremme på stuff. Jeg vil tro dette går raskere enn hvis de bare hadde vært to stykker i dette

tilfellet, siden det er så mye utrensning av salvehull og krafising fremme på stuff. Laster er med fremme på stuff fra rensk av stuff med gravemaskin til utkjøring og skyting av salve.

4.3 Beregning av prognoser

Dette delkapitlet vil kun kommentere parametere i beregningsmodellen der det ansees som viktig å begrunne hvilke verdier som er brukt i beregningene.

For å estimere bergets sprengbarhet (SPR) må det identifiseres hvilken bergart som er gjeldende. Den ingeniørgeologiske rapporten tilhørende konkurransegrunnlaget, antar at det er granittisk gneis på de områdene der tidsmålingene er blitt tatt. Dette blir hevdet på grunnlag av laboratorietesting av bergartsprøver som er tatt på ulike lokaliteter på tunnelstrekket, og ved observasjon og geologisk analyse gjort av geologer i forkant av anbudskonkurransen. Fra tabell i «2A-05 *Drill and blast tunnelling: Blast design*» [11] finner vi da at SPR er lik 0,42 hvis det velges å bruke middelveien av SPR-verdiene for granittisk gneis [11]. Dette er en verdi som klassifiseres som medium til god sprengbarhet.

Ferdighetsnivået ansees som høyt hvis det brukes datastyrt borerigg, tunneldriverne er motiverte og trent i arbeidet og organisasjonen er motivert [11]. Disse kriteriene mener jeg er oppfylt på RVV-prosjektet, og ferdighetsnivået settes derfor som *høyt* i modellberegningene. Et lavt ferdighetsnivå vil påvirke boretiden negativt, og boringen vil derfor bli korrigert med kbl. I vårt tilfelle, med et høyt ferdighetsnivå og salvelengde 5 meter, vil det ikke være behov for korreksjon i prognoseberegningen [11].

Det er beregnet tidsforbruk for to alternativer av DRI, som følge av at det ligger en del usikkerhet i denne faktoren. Fra prosjektgruppen på RVV har jeg fått oppgitt at borsynken for 48mm borhull, vb, er 350cm/min på RVV. Dette er brukt i det første alternativet for prognoseberegningen. Når vb er kjent, kan DRI finnes ut fra tabell i «2B-05 *Drill and blast tunnelling: Advance Rate*» [9] med hensyn på bormaskin og oppgitt vb. Vi finner da at DRI får en verdi på 67. Tabellen som brukes for å finne DRI, når kun bergart er oppgitt, viser imidlertid en lavere verdi på DRI når vi tar utgangspunkt i at det er granittisk gneis. Det andre alternativet for beregning av DRI og vb tar derfor utgangspunkt i denne tilnærmingen. Med andre ord tar vi utgangspunkt i tabell for å finne DRI basert på granittisk bergart. Da får DRI en verdi på 52. Videre får vi da en borsynk på 312cm/min. Dette fører til at estimert tidsforbruk blir noe høyere i alternativ 2 ved bruk at tabell sammenlignet med alternativ 1

der vi går ut i fra $v_b=350\text{cm/min}$. I den geologiske rapporten utarbeidet for RVV, antas det at borbarheten vil være middels. En middels borbarhet har en DRI verdi på mellom 43 til 57 [8], og alternativ 2 som gir en DRI verdi på 52 stemmer da bedre overens med den geologiske rapporten enn alternativ 1 som gir en DRI på 67.

De fire grovhullene som bores i kutten har, på grunn av større borkronediameter, lavere borsynk enn salvehullene med diameter 48 mm. V_b er basert på 48 mm borhull, og må derfor korrigeres med en faktor kgv (korreksjon borsynk grovhull). kgv finnes fra tabell med hensyn på grovhullenes diameter. I vårt tilfelle, grovhull med 102mm diameter, gir dette en kgv med verdi 42 %.

Samtidighetsfaktoren, f_{sa} , er også avhengig av borsynken og vil derfor variere i alternativ 1 og alternativ 2. Samtidighetsfaktoren er et mål på manglende samtidighet. Manglende samtidighet defineres som tap av tid på grunn av stopp i boringen som følge av mangel på ledig operatør, tap av tid fordi det er ulik fordeling av borearbeidet mellom de ulike bormaskinene og tap av tid når bormaskinene har ulik start- og stopptidspunkt. f_{sa} påvirkes av tunnelverrsnittet, borsynken, antall bormaskiner og antall operatører. Tap av samtidighet blir deretter regnet ut som en prosentandel av boretid og flyttid [9].

Fjellets slitasjeegenskaper antas å være høye, da det oppgis i den geologiske rapporten at den granittiske gneisen som er på stedet inneholder en del kvarts. Kvarts har høy borslitasje, og fjellets slitasjeegenskaper settes derfor som høy.

Tid til bolting, T_{sb} , er basert på polyesterforankrede bolter. På RVV er de aller fleste boltene som settes kombinasjonsbolter. På alle boltetidene som er registrert på målingene er det blitt brukt kombinasjonsbolter. Kombinasjonsbolter gyses, i tillegg til å endeforankres med ekspansjonshylse. Tiden det tar å gyse boltene blir ikke inkludert i T_{sb} .

Måling nummer 9 er spesiell fordi det ble boret med både 48 mm borkrone og 64 mm borkrone. Samtidig ble antall salvehull redusert. Jeg har ikke nøyaktige tall på hvor mange hull som ble boret med hvilken størrelse på kronen. Derfor antar jeg at halvparten av salvehullene ble boret med 48 mm krone og halvparten med 64 mm krone. Grovhullene ble boret med 102 mm borkrone på måling 9, likt som ved de andre målingene. For å ta høyde for dette, er *Korreksjon for borsynk 48 mm, khv* , endret fra 100 % til 88 % ($100 \% * 50 \% + 76 \% * 50 \%$) i prognosebergningene.

Prognoseberegningene er vist i vedlegg 5 og vedlegg 6.

4.4 Kapasiteter i kontraktsgrunnlag

Prosjektet er delt opp i prosesser i kontrakten mellom AF Anlegg og SVV angående RVV. AF Anlegg har prisgitt alle de forskjellige prosessene. AF Anlegg tar utgangspunkt i mengde og enhetskostnader når prisen settes på hver prosess og eventuelt delprosess. Da kapasitetene i kontrakten skal sammenlignes med tidsmålingene og prognosene, er kun enkelte av prosessene i kontrakten aktuelle. Kontrakten er bygget på SVV sin håndbok «*Prosesskode 1 Standard beskrivelsestekster for vegkontrakter*» [25]. Prosessene som er aktuelle ved sammenligning er prosess A 32 *Sprenging av tunnel*. Prosess 32.11 *Fullt tverrsnitt – Normal salvelengde* inkluderer sprenging av tunnel med fullt tverrsnitt ved fem meter salvelengde. Prosessen inkluderer salveboring, lading, opprigging og nedrigging av borerigg og pigging av berget [25]. Prosessen A.33.226 *Sikringsbolter ved stuff, kombinasjonsbolter lengde 3,0 meter* omhandler bolting som blir utført i salvesyklusen. Prosessen omhandler med andre ord boring av boltehull, setting av bolt og gysing av bolter. Kapasiteten er satt til 12 bolter per time. Denne kapasiteten er også ekvivalenttid. Ekvivalenttid er tiden som legges til grunn i beregningen av ekstra byggetid, som følge av økt arbeidsmengde i forhold til kontrakten.

Tabell 19 viser beregning av antall timeverk basert på kapasitetene AF har brukt i kontrakten. Antall timeverk angir timeforbruket på arbeidsoperasjonene pigging, opprigg borrhull, salveboring, lading, nedrigging og skyting. I kontrakten har SVV oppgitt hvor mange meter som må bores totalt i prosjektet. AF Anlegg har estimert hvor mange timeverk som er nødvendig for å utføre så mange bormeter. AF Anlegg antar at tunneldriverne bruker 26 208 timer på de oppgitte 823 500 bormeterne. Ut i fra dette kan det beregnes hvor mange timeverk som er estimert per bormeter. Videre kan vi finne antall bormeter per salve og totalt timeverk per salve. Deretter legges det inn fire personer; det vil si at jeg antar at fire personer er brukt i beregningene av kapasiteten for disse arbeidsoperasjonene. Dette fordi det er fire personer på hvert skift når man ser bort i fra funksjonærer¹² (fordi de har fastlønn, og derfor ikke går under denne posten), bakstuff (fordi bakstuff ikke tilhører ett skift), lærlinger (regnes som vanlig arbeider) og verkstedpersonell (fordi den som er på verksted er inkludert en post for drift i kontrakten). Ut i fra dette får vi antall timeverk per salve. Antall salvehull varierer på tidsmålingene, som videre fører til ulikt antall bormeter. For å kunne

¹² Funksjonærene i dette tilfellet er formann og stikningsingeniør

sammenligne kapasitetene i kontraktsgrunnlaget med tidsmålingene, må det derfor utføres en timeverksberegning per tidsmåling. Merk at kun enkelte målinger er inkludert i beregningene i tabell 19. Dette fordi at når disse tallene skal sammenlignes med tall fra tidsmålingene, er kun enkelte målingene sammenlignbare. Årsaken blir forklart i neste avsnitt.

Tabell 19 Kontraktskapasiteter

	Målingsnummer				
	1	3	4	7	8
Total mengde (bormeter)	823500	823500	823500	823500	823500
Tunnelarbeider Driving (time)	26208	26208	26208	26208	26208
Timeverk per bormeter	0,0318	0,0318	0,0318	0,0318	0,0318
Lengde salve	5	5	5	5	5
Antall hull	137	130	130	132	134
Antall bm pr salve	685	650	650	660	670
Totalt timeverk pr salve	21,8	20,7	20,7	21,0	21,3
Antall personer	4	4	4	4	4
Timeverk	5,5	5,2	5,2	5,3	5,3

Tabell 20 viser utgangspunktet for hvordan antall timeverk brukt i hver tidsmåling er beregnet. Merk at tidene er gitt i minutter. Arbeidsoperasjonene som er inkludert i kapasiteten gitt i kontrakten, beregnes hver for seg. Dette fordi antall personer som arbeider på hver arbeidsoperasjon varierer. Det er lagt inn antall personer som medvirker i arbeidet på hver enkelt arbeidsoperasjon. Piggging antas å kun ha en mann i arbeid; den som styrer piggmaskinen. På de andre arbeidsoperasjonene antas det at bas og stuffrep arbeider. På salveboring er det lagt inn 1,5 mann fordi stuffrep ofte ikke er på stuff hele tiden under salveboring. For at målingene skal kunne sammenlignes med kapasitetene i kontraktsgrunnlaget i tabell 19, må tidene som er registrert på hver enkelt måling multipliseres med antall personer. Da vil man få antall timeverk for hver enkelt arbeidsoperasjon. Videre beregning av dette vises i vedlegg 7. Estimert piggetid finnes fra NTNU-modellen, da denne arbeidsoperasjonen ikke var en del av tidsmålingene. Piggetiden finnes ved hjelp av tabell, basert på bergets sprengbarhet og tunneltverrsnitt. Gitt disse to faktorene, estimeres det at pigggingen tar en time per salvesyklus [9]. Denne piggetiden blir brukt i beregningene for timeverk for både prognoser og målingene. I tabell 20 ser man at det mangler tidtaking på noen av aktivitetene i enkelte målinger. De målingene som

inneholder slike mangler kan ikke tas med når resultatene skal sammenlignes. Derfor er det kun måling 1,3,4,7 og 8 som sammenlignes med antall timeverk.

Tabell 20 Timeverk for målingene

Arbeidsoperasjon	Antall personer	Målingsnummer								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pigging	1	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Opprigg borrhigg	2	21		22	11	19		16	9	
Salveboring	1,5	183	174	162	116	124	124	116	138	150
Lading	2	82	94	63	65		70	70	70	69
Fra lading til skutt	2	14	14	9	6		15	11	12	6

I tabell 21 vises utgangspunktet for beregning av timeverk for prognosealternativ 1. Tabell 22 viser utgangspunktet for beregning av timeverk for prognosealternativ 2. Fullstendige beregninger ligger i vedlegg 8. Tallene som er lagt inn i hver enkelt måling er hentet fra beregninger av prognose, som ligger i vedlegg 5 og vedlegg 6. Tidene i posten *Fra lading til skutt* er hentet fra *Tilfeldige tapstider* i prognoseberegningene. Dette fordi jeg anser tiden fra lading er ferdig til salven er skutt for tilfeldige tapstider, da det i realiteten kun er salven som skal antennes. Tiden i posten *Lading* er den samme som i prognoseberegningene kalles *Tidsbestemmende ladetid*. Tiden for pigging brukes på samme måte som forklart i avsnittet over. Antall personer på hver arbeidsoperasjon er også likt som i tabell 20. Antall timeverk for begge alternativene av prognosene finnes i kapittel 4.5.2.

Tabell 21 Timeverk for prognose alternativ 1

Arbeidsoperasjon	Antall personer	Målingsnummer								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pigging	1	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Opprigg borrhigg	2	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Salveboring	1,5	128	122	122	122	122	122	124	125	118
Lading	2	59	56	56	56	56	56	58	58	52
Fra lading til skutt	2	23	22	22	22	22	22	22	22	21

Tabell 22 Timeverk for prognose alternativ 2

Arbeidsoperasjon	Antall personer	Målingsnummer								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pigging	1	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Opprigg borrhigg	2	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Salveboring	1,5	236	225	225	225	225	225	229	231	217
Lading	2	59	56	56	56	56	56	58	58	52
Fra lading til skutt	2	24	22	22	22	22	22	23	23	22

4.5 Sammenligning av tidsmålinger, prognoser og kapasitetsgrunnlag

4.5.1 Boltetider

Gysing er ikke inkludert i boltetidene i prognosemodellen. Derfor kan ikke alle tidene sammenlignes direkte. De målte verdiene sammenlignes først med kontraktsgrunnlaget. Dette er vist i tabell 23. I kontraktsgrunnlaget er det gitt at kombinasjonsbolter inntil fem meter settes med en intensitet på 12 bolter per time. Tabell 23 viser de målte verdiene for bolter per time. Det viser seg at kontraktsgrunnlaget opererer med betydelig færre bolter per time enn hva som ble målt i de fem målingene som inkluderte bolting. De målte verdiene er vist som prosent av kontraktsgrunnlaget. Måling nummer 7 ligger hele 88 % over kontraktsgrunnlaget. De andre målingene ligger også betydelig over kapasiteten gitt i kontraktsgrunnlaget. Dette tyder på at kapasiteten i kontraktsgrunnlaget er lavere enn det reelle tidsforbruket.

Tabell 23 Boltetider målinger versus kontraktsgrunnlag

	Målingsnummer				
	3	4	5	7	8
Målte verdier	16	19	19	23	20
Kontraktsgrunnlag	12	12	12	12	12
Målte verdier %	132 %	162 %	155 %	188 %	171 %
Kontraktsgrunnlag %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Tabell 24 sammenligner prognoseberegningene og de målte verdiene. Tallene er oppgitt i bolter per time. Siden prognosen ikke inkluderer gysing, er gysing trukket i fra de målte verdiene. Dette er mulig fordi det ble registrert tidsforbruk på både setting av bolt og gysing på alle målingene som inkluderer bolting. Også her ser man at de målte verdiene ligger langt over prognoseberegningene. Prosentvis arbeides det for eksempel på måling 7 dobbelt så fort som prognosen tilsier.

Tabell 24 Boltetider målinger versus prognoser

	Målingsnummer				
	3	4	5	7	8
Målte verdier	21	32	26	36	30
Prognose	18	19	19	18	18
Målte verdier %	121 %	174 %	138 %	202 %	170 %
Prognose %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Når det gjelder boltetider, kan det konkluderes med at tunnelarbeiderne i AF Anlegg er svært effektive. Dette fordi tempoet deres ved bolting er svært mye høyere enn både kontraktsgrunnlaget og NTNU-modellen.

4.5.2 Boring, lading og skyting

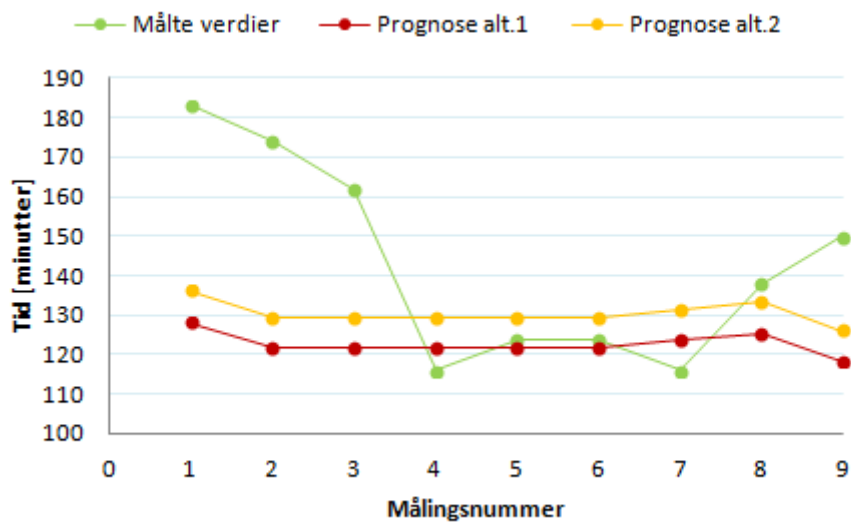
I tabell 25 sammenlignes tiden for salveboring mellom begge alternativene som regnes ut i fra NTNU-modellen og tidsmålingene som er blitt tatt. Tiden som inkluderer salveboring, lading og skyting blir også sammenlignet i tabell 25. Tiden *Sum boring, lading, skyting* representerer tiden som brukes fra salveboring starter til salven er skutt, ekskludert bolting. Det vil si at tiden omhandler opprigg, salveboring, lading og nedrigging. Tallene i tabell 25 er gitt i antall minutter.

Tabell 25 Målinger versus prognoser

		Målingsnummer								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Salveboring	Målte verdier	183	174	162	116	124	124	116	138	150
	Prognose alt.1	128	122	122	122	122	122	124	125	118
	Prognose alt.2	136	129	129	129	129	129	131	133	126
Sum boring, lading, skyting	Målte verdier	300	282	269	204	217	355	171	229	276
	Prognose alt.1	227	216	216	216	216	216	221	223	208
	Prognose alt.2	236	225	225	225	225	225	229	231	217

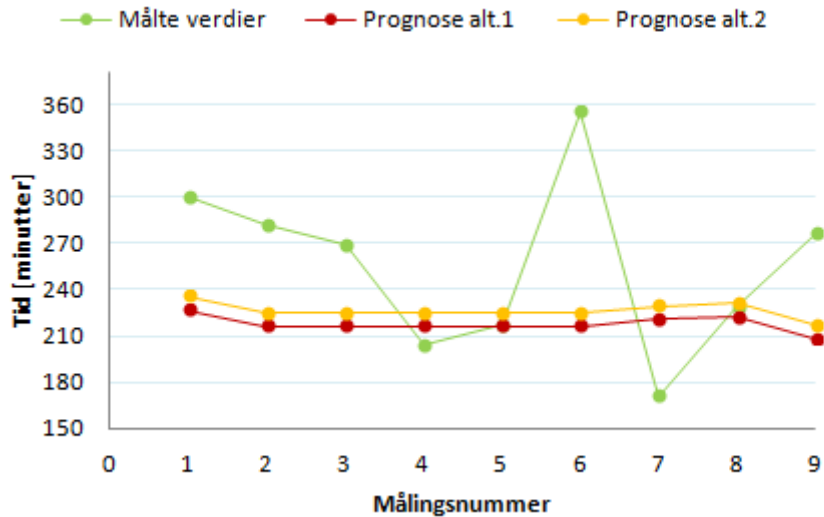
Figur 16 viser grafisk hvordan tidene for salveboringen er i forhold til hverandre i prognosen for alternativ 1, prognosen i alternativ 2 og de målte verdiene. Generelt ser man at prognosen for alternativ 1 påstår lavere tidsbruk enn prognosen for alternativ 2. Prognosealternativene varierer parallelt med hverandre. De varierer parallelt med hverandre fordi, som forklart i kapittel 4.3, den eneste forskjellen mellom alternativene er at de har forskjellig borsynk. Derfor vil borsynken og alle andre faktorer som er avhengig av denne, være forskjellig i alternativ 1 og alternativ 2. Alle andre inndata er like. Ut i fra grafen ser

man at måling 1 har det største avviket mellom prognosene og tidsmålingene som er tatt. Ellers har måling 2, måling 3 og måling 9 også høye verdier i forhold til prognosen. Måling 4, måling 5, måling 6, måling 7 og måling 8 ligger jevnt rundt prognoseverdiene. Måling 4 og måling 7 ligger til og med under prognoseverdiene. Fra resultatene fra tidsmålingene fant jeg at måling 1, 2, 3 og 9 hadde lang salveboretid sammenlignet med de andre tidsmålingene. Resultatet i figur 16, som viser at verdiene på disse fire målingene ligger langt over estimert tidsbruk, er derfor som forventet.



Figur 16 Prognoser versus målinger: Salveboring

Figur 17 viser prognose for alternativ 1 og alternativ 2, sammen med tidsmålinger på den summerte tiden for boring, lading og skyting. Fremdeles har måling 1,2,3 og 9 høye verdier. I tillegg har måling 6 svært høy verdi. Måling 6 er den som har lengst tidsbruk av alle målingene. Forklaring til den lange tidsbruken i måling 6 ble nevnt i kapittel 4.2.4; det var stopp i over to timer på grunn av tett pumpe. Dette er årsaken til den høye verdien til måling 6 i figur 17. Fra figur 16 ser vi for eksempel at salveboringen i måling 6 har et lavt tidsbruk i forhold til de andre tidsmålingene, dette bekrefter at stopp på grunn av tett pumpe er grunnen til at måling 6 får så lang tidsbruk på den summerte tiden for boring, lading og skyting.



Figur 17 Prognoser versus målinger: Sum boring, lading og skyting

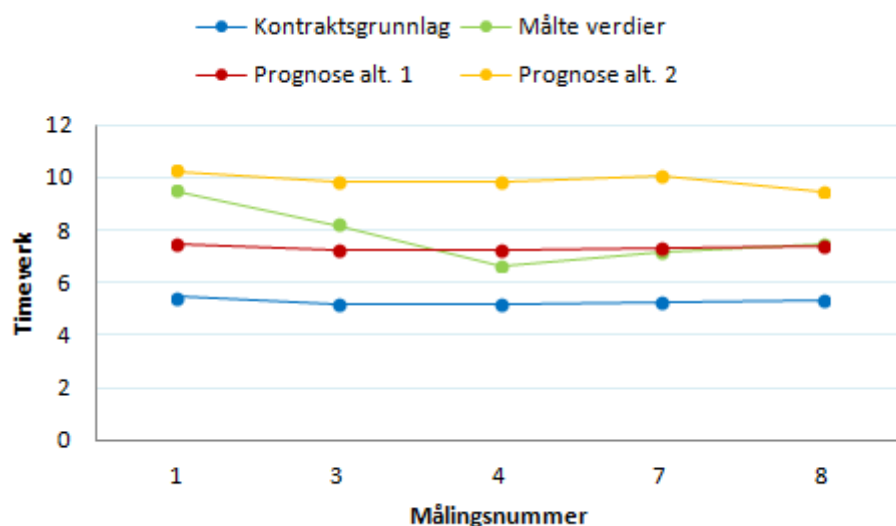
For å kunne sammenligne kontraktgrunnlaget med målingene og prognoseberegningene, må antall timeverk sammenlignes. Dette som følge av hva vi har oppgitt i kontraktgrunnlaget. I kontraktgrunnlaget kan vi kun se på antall timeverk for arbeidsoperasjonene. Dette er beskrevet og forklart i 4.4.

Timeverk for de sammenlignbare målingene for kontraktgrunnlag, de to variantene av prognosene og tall fra tidsmålingene er vist i tabell 26. Grafisk er dette resultatet vist i figur 18. Her ser man at tidsmålingene svinger i antall timeverk, mens kontrakt og prognosene er relativt stabile. Dette selvsagt fordi det er svært få parametere som endrer seg fra måling til måling, selv om tidene som ble tatt under tidsstudiet viste stor variasjon. Sammenlignet med prognoseberegningene ligger tidsmålingene på et bra nivå. Alle tidsmålingene ligger under timeverkene i alternativ 2-prognosen. Vi ser heller ikke de store avvikene mellom prognosene i alternativ 1 og tidsmålingene. Det største funnet når det gjelder timeverk, er at begge prognosene og resultatene fra tidsmålingene har mange flere timeverk på sprengingsarbeid enn hva som er lagt inn i kontrakten. Det kan være flere grunner til dette resultatet. For det første er det tatt mange antagelser ved beregning av antall timeverk ut i fra kontraktgrunnlaget. For eksempel kan det hende at antall personer som er lagt til grunn i denne posten, ikke er det samme som anbudskalkulatørene la til grunn. Da vil timeverkene som sammenlignes med prognosene og målingene være feil, og avvik fra disse vil være en selvfølge. Piggig er et annet stort usikkerhetsmoment i disse sammenligningene. Hvor lang

tid det tar å pigge, kan variere mye fra person til person. Hvor lang tid det gjennomsnittlig tar å pigge på dette prosjektet har jeg ikke tatt tiden på, og har ingen formening om hvilket tidsbruk som er rimelig for denne arbeidsoperasjonen. At pigging er svært variabelt blir også presisert i NTNU-modellen [9]. Det vites heller ikke hvilket tidsbruk det er lagt inn for pigging i kapasiteten i kontraktsgrunnlaget. Piggetid kan derfor være et moment som gir store avvik i sammenligningen. Kapasiteten oppgitt i kontraktsgrunnlaget er på et lite detaljert nivå. Derfor er det ut i fra tallene vanskelig å vite hva som er bakgrunnen for kapasitetene som er angitt i kontraktsgrunnlaget. Kapasiteten for posten jeg sammenligner med andre tall omfatter mange arbeidsoperasjoner, og det er ikke mulig å se hvilke kapasiteter som gjelder for hver enkelt arbeidsoperasjon. Dette gjør sammenligning vanskelig.

Tabell 26 Sammenligning timeverk

	Målingsnummer				
	1	3	4	7	8
Kontraktsgrunnlag	5,5	5,2	5,2	5,3	5,3
Prognose alt. 1	7,5	7,2	7,2	7,3	7,4
Prognose alt. 2	10,2	9,8	9,8	10,1	9,4
Tidsmålinger	9,5	8,2	6,6	7,1	7,5



Figur 18 Sammenligning timeverk

5 Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres funnene i oppgaven. Resultatene og analysene i kapittel 4 blir oppsummert ved å trekke frem resultatene som kan bidra til å finne løsningen på problemstillingen. I tillegg vil injeksjonsarbeid bli spesielt behandlet, fordi dette har vært en betydelig påvirkningsfaktor på RVV. Det er vanskelig å kvantitativt bevise injeksjonens påvirkning på inndriften, derfor blir dette diskutert i eget delkapittel.

5.1 Injeksjonens påvirkning på inndriften

Det har vært store mengder injeksjon på dette prosjektet, og dette har bidratt til å redusere antall tunnelmeter per uke betydelig. Det er vanskelig å dokumentere hvor mye injeksjonsarbeidet har redusert antall meter per uke. Injeksjonsarbeidet fører til at salvesyklusen blir forstyrret, og derfor vil det ikke være kun antall langhull som blir boret eller antall pumpetimer som brukes som vil påvirke inndriften. Dette fordi hele driftsopplegget endres når byggherren krever systematisk injeksjon. Arbeidet som knyttes til den vanlige salvesyklusen stopper opp med jevne mellomrom, på grunn av injeksjonsarbeid. Dette fører blant annet til at det kan bli ventetid på stuff som følge av at det pumpes injeksjonsmasse. På RVV drives tunnelen som vekseldrift. Vekseldrift følger i utgangspunktet, hvis man ser bort fra injeksjonsarbeid, et driftsopplegg som gir mange tunnelmeter i uken. Dette fordi borryggen har lite ventetid på stuff. Med det menes at når en salve er boret og sprengt, kan borryggen begynne å bore på neste stuff (neste tunnellopp) hvis denne er klar, istedenfor å måtte vente på utlasting av masser og pigging før stuffen er klar. Derfor er det naturlig å tro at vekseldrift gir flere meter per uke enn vanlig tunneldriving med en stuff. I tilfeller med systematisk injeksjon vil vi mest sannsynlig ikke ha denne positive effekten på meter per uke. På en annen side, ville meter per uke vært enda lavere i tilfeller med systematisk injeksjon hvis det ikke hadde vært en toløpstunnel som ble drevet på veksel.

Det som gjør det vanskelig å finne hvor mye den systematiske injeksjonen reduserer antall meter per uke, er at antall injeksjonsmeter og pumpetimer også er et mål på produktivitet. Med dette menes at hvis det drives mange meter per uke, må berget også injiseres mye siden det skal injiseres med gitte tidsintervall. I tillegg er det varierende hvordan injeksjonsarbeidet påvirker resten av arbeidet. Med dette menes at hvis borryggen må stå å vente på at injeksjonsmasse pumpes inn i langhullene, vil antall pumpetimer vise hvor mange timer salvesyklusen forsinkes. Men i andre tilfeller kan det pumpes injeksjonsmasse

mens borryggen er på den andre stuffen, og pumpingen vil dermed ikke forsinke resten av arbeidet. Det er med andre ord mange aspekter som må tas hensyn til når man skal vurdere hvor mye systematisk injeksjon påvirker inndriften.

5.2 Oppsummering av historiske data

Dataene som blir registrert på prosjektet, kan gi nyttig informasjon når de sees i forhold til hverandre. Flere interessante resultater kom ut fra analysen av de historiske dataene på prosjektet. Det første resultatet som er verdt å merke seg var at antall tunnelmeter per uke så ut til å øke med tiden. Om dette er tilfeldig eller ikke, kan være vanskelig å vite. Som vi så ut i fra de historiske dataene fra 15 sammenlignbare uker, varierte antall meter per uke mye. Derfor kan en positiv trend i antall tunnelmeter per uke være et tilfeldig resultat av varierende antall tunnelmeter hver uke. Hvis vi går ut i fra at den positive trenden ikke er et resultat av tilfeldigheter, så kan det være flere grunner til økende tunnelmeter. De historiske dataene som er brukt i denne oppgaven er samlet inn i perioden etter at 16-9 rotasjon startet på prosjektet. Da økte mannskapet med to skift, ett skift på hver side, og arbeidsdagen ble utvidet to timer per skift. Det kan tenkes at dette krevde en tilvenningsperiode både for de nye arbeiderne som begynte på prosjektet og arbeidere som allerede hadde arbeidet på RVV en stund. Den positive trenden kan med andre ord være et resultat av læring. Denne læringen kan være tilpassing av ny skiftordning og rutine på driftsopplegg der blant annet injeksjon er en vesentlig del. Den store mengden injeksjonsarbeid endrer salvesyklusen betraktelig, og det kan kanskje ta lenger tid enn man tror å komme inn i en god arbeidsrutine på det.

Oversikten over antall bolter per meter, indikerer at det var satt flere bolter per meter på Liavatnet enn Sandeide. Gjennomsnittet viste at antall bolt per meter var høyere på Liavatnet enn på Sandeide. Oversikten over antall meter per uke viser likevel at Liavatnet og Sandeide gjennomsnittlig har like mange tunnelmeter per uke. Dette var litt overraskende, da økt mengde bolter per meter burde resultert i lavere tunnelmeter per uke. Det kan konkluderes, ved hjelp av regresjonsanalyse, at antall bolt per meter har innvirkning på inndriften. Derfor betyr ikke denne forskjellen mellom Liavatnet og Sandeid at bolter som settes per meter er uten betydning for inndriften. Det kan heller trekkes en konklusjon om at inndriften på Liavatnet i mindre grad påvirkes av antall bolt per meter enn Sandeide. Eller det kan forklares med at antall injeksjonstimer per uke er lavere på Sandeide enn på

Liavatnet. Og at det derfor i sum blir noenlunde likt; da den ene tunnelsiden har flere bolter mens den andre har flere injeksjonstimer. Både antall injeksjonstimer og antall bolt per meter, er det ved hjelp av regresjonsanalyse påvist at har påvirkning på inndriften i tunnelen. Antall bolt per meter kan være et mål på bergkvaliteten. Forverrede bergforhold gir flere bolter per meter. Nisjer er også noe som kan øke antall bolt per meter. Det var derfor forventet at det skulle være en sammenheng mellom inndriften og antall bolt per meter. Antall injeksjonstimer viste seg også å ha en negativ sammenheng med inndriften. Dette var også forventet, da den tiden som brukes på å pumpe inn injeksjonsmasse heller kan brukes på arbeidsoperasjoner som gir inndrift i tunnelen. For eksempel kan det hende borryggen må stå å vente på å begynne salveboring fordi stoffen pumpes med injeksjonsmasse. Hvis antall timer som brukes på å injisere berget reduseres, vil flere timer kunne brukes på arbeidsoperasjoner som gir tunnelmeter.

5.3 Oppsummering av tidsmålingene

For å trekke konklusjoner basert på statistikk kreves det svært mange data. Tidsmålingene som er blitt tatt i denne oppgaven, er ikke så mange at det kan trekkes sikre konklusjoner. Det vil blant annet si at det ikke kan konkluderes med at tidene som er blitt tatt på de ulike arbeidsoperasjonene er representativt for hele prosjektet. Resultatene kan likevel gi en pekepinn på de faktiske forhold, og måten tidene kan brukes på er at det kan brukes til å se tendenser i hvordan arbeidet foregår ved de målte arbeidsoperasjonene og på hvilket nivå tidsbruken ligger på. Ved bolting er det tatt betydelig færre tidsmålinger, noe som gjør at resultatene fra bolteoperasjonene er mer usikre enn de andre arbeidsoperasjonene.

Ut fra resultatene fra tidsmålingene viser det seg at det er store individuelle forskjeller når det gjelder tidsbruk på de ulike arbeidsoperasjonene i tunneldrivingen. Det som særlig skilte seg ut var boretiden. Det kan være mange grunner til at tiden varierte, blant annet bergforhold, boremønster, hjelp fra stuffrep på stuff og individuelle forskjeller. Selv om Q-verdien viste at bergforholdene ikke kunne være årsaken til de store variasjonene i boretiden som var blitt registrert, kan bergforholdene likevel hatt betydning for boringen. Nedfall fra stuff, som fører til at stoffen på spettrenskes, sålen må krafses fram og salvehull på renskes, trenger ikke påvirkes av Q-verdien. Hvor bra det er pigget og spettrensket før boringen starter, kan ha innvirkning på dette. Hvis det ikke pigges godt nok, kan berg og småflis som egentlig skulle vært pigget ned stå igjen slik at dette må spettrenskes ned når

boringen starter. Berget kan også ha en god Q-verdi, men likevel være kranglete å bore i fordi Q-verdien ikke fanger opp alle aspekter når det gjelder bergforhold. Q-verdien settes for å kunne avgjøre sikringsomfanget, ikke for å avgjøre hvordan boreforholdene er. Det er ofte en sammenheng mellom bergforhold med tanke på sikring og bergets boreforhold, men dette gjelder ikke nødvendigvis alltid. Tidsmålingene som er blitt tatt har alle relativt gode Q-verdier. Dette gjør kanskje at boringen påvirkes mindre av Q-verdier, siden forskjellene på målingene som sammenlignes er så små. Ut i fra tidsmålingene og observasjonene viser det seg at boretiden varierer mye fra skift til skift. Et viktig moment her er hvordan bas legger opp boringen. Det vil si hvilket mønster har borer i for at boringen skal være raskest mulig. Når det gjelder tidsbruk på boring, er det nok individuelle forskjeller som gjør at boretiden varierer så mye. Noen baser borer rett og slett raskere, og mer effektivt enn andre. Hvordan resultatet varierer mellom de ulike basene, med tanke på for eksempel konturen er ikke blitt undersøkt. Men det antas at vi ikke vil finne store forskjeller når det gjelder kontur etter hvem som har boret.

Observasjonene som er blitt gjort under tidsmålingene avdekker at det er individuelle forskjeller når det gjelder utføring av arbeid. De ulike skiftene har seg i mellom ulike arbeidsrutiner. De store forskjellene i boretiden representerer en slik variasjon i arbeidsrutiner. Arbeidsfordeling er en annen forskjell fra skift til skift. Dette viser seg også å variere litt fra tidsmåling til tidsmåling innad i ett skift også. Merking av bolt på stuff er noe som kun gjøres av enkelte skift. Dette viser at det er ulike arbeidsrutiner mellom skiftene. Arbeid som gjøres på ulike måter kan være en typisk kilde til tidsforbruk. Dette fordi enkelte kanskje har funnet en optimal måte å gjennomføre arbeidet på, mens andre skift utfører arbeidet mindre effektivt ved bruk av andre arbeidsrutiner. Arbeidsoperasjoner som utføres noenlunde likt på alle skift, signaliserer at den optimale gjennomføringsrutinen er funnet.

5.4 Oppsummering produktivitetsnivå

Sett med et utrenet øye, ser det ut som om effektivitetsnivået i tunnelen er optimalt. For å få et bilde på hvilket nivå tunneldrivingen ved RVV ligger, ble tidsmålingene sammenlignet med kapasiteter i kontraktsgrunnlag og NTNU-modellen. NTNU-modellen kan brukes som et mål på hva som er standard i bransjen. Problemet med NTNU-modellen er at de estimerte tidene som regnes ut, er basert på svært mange parametere som kan være usikre. Mange parameter finnes ut fra grafer og tabeller som kan være unøyaktige, andre parametere kan

kun finnes eksakt ved testing på lab. Dette fører derfor til at denne modellen er svært usikker. Kontraktsgrunnlaget innehar også mye usikkerhet på den måten det brukes for å sammenlignes med tidsmålingene. Dette fordi kapasitetene som oppgis i kontraktene omfatter så mye arbeid at det må tas flere antagelser for at det skal kunne sammenlignes. For at dette skulle vært mer pålitelig, måtte anbudskalkulatørene vært involvert i denne oppgaven. Om anbudskalkulatørene tar hensyn til hvor lang tid hver enkelt arbeidsoperasjon vites ikke; og det er nok sannsynlig at kapasitetene som brukes i anbudsregningene er mer tilfeldige enn hva man skulle tro. Hva som ble tenkt og gjort når det ble regnet på RVV kontrakten for flere år siden, kan også til en viss grad være glemt.

Ved sammenligning viste det seg at boltetidene som er blitt tatt er mye lavere enn hva både prognosen og kontrakten skulle tilsa. Med andre ord bruker skiftene betydelig kortere tid på bolting enn hva både prognosen og kontraktskapasiteten tilsier. Selv om det kun er tatt fem tidsmålinger der bolting er inkludert, er dette en sterk indikasjon på at skiftene er svært effektive når det gjelder bolting. Salveboring og totaltiden som inkluderer boring, lading og skyting, viser et annet resultat. Sammenligning mellom tidsbruk på salveboring og de to prognosealternativene, viser at målingene med det laveste tidsforbruket på salveboringen ligger på samme nivå som prognosene. Tidsforbruket på målingene med høyest tidsforbruk ligger langt over prognosene. Dette kan indikere at tidsforbruket på målingene med kortest varighet er det som er "normen" i bransjen. Tidsmålingene med det høyeste tidsforbruket er høyere enn hva som er vanlig i bransjen. Denne konklusjonen kan kun betraktes som et bidrag i diskusjonen om hva som påvirker inndriften på RVV. Prognosene er ment som et estimat, og tar ikke hensyn til særskilte forhold på prosjektet. Tiden fra salveboringen starter til salven skytes viser samme tendens som ved salveboring når tidsmålingene og prognosene sammenlignes. Tidsmålingene med høye verdier ligger en del høyere enn prognosen, mens de laveste målingene er på samme nivå som prognosene. Tidsmålingene bruker flere timeverk på arbeidet med boring, lading, skyting og pigging, enn hva kontraktsgrunnlaget tilsier. Dette kan tyde på at tidsforbruket på salveboringen og ladingen tar mye lenger tid enn hva som er forventet. Det må presiseres at det ligger svært mye usikkerhet i beregningen av timeverket i kontraktsgrunnlaget. Ut i sammenligningene av tidsforbruket på arbeidet kan det se ut som at boltingen er svært effektiv på RVV, mens tiden som brukes på salveboring, lading og skyting ligger på noe varierende nivå.

5.5 Forbedringspotensialer

Boring er den arbeidsoperasjonen som har mest varierende tidsbruk av det målte arbeidet. Variasjonen oppstår fordi enkelte utfører boringen mye mer effektivt enn andre. Et alternativ som kan diskuteres er autoboring. Autoboring betyr at borryggen borer automatisk ut i fra linjer som er lagt inn i borplanen på forhånd. Dette fører til at bas ikke trenger å flytte bommene under boring, med mindre boren kiler seg eller lignende. Ved autoboring trenger ikke basen planlegge hvordan han skal bore og hvilket bormønster han skal bruke, da dette er gitt av linjene i borplanen. En klar fordel med automatisk boring er at variasjonen i boretid vil reduseres. Om autoboring er mer effektiv enn manuell boring, kan jeg ikke uttale meg om fordi dette ikke er testet ut i sammenheng med denne oppgaven. Det er nærliggende å tro at de "raskeste" basene ville brukt lenger tid ved autoboring, mens basene som har høyest tidsforbruk ville redusert boretiden. Et annet aspekt med autoboring er hvordan dette fungerer ved dårlige boreforhold. Hvis det er vanskelig å komme til med bormaskinene og borkronen til stadighet kiler seg i borhullet, kan det tenkes at fordelene med autoboring elimineres. Basens kjennskap til, og kunnskap om, berget kan svekkes, fordi han ikke får samme "følelsen" med berget ved autoboring. Etter å ha snakket med baser på RVV, viser det seg at det generelt er motvilje mot autoboring. Dette kan ha med å gjøre at det kan føles mer overflødig å være bas når man skal bore i auto. Om autoboring vil fungere positivt på inndriften i tunneldriving, vil det bare kunne konkluderes med hvis man prøver det på et tunnelprosjekt gjennom en gitt periode.

Det observeres situasjoner som kunne vært unngått eller effektivisert under tidsmålingene. Det oppstår noen situasjoner som er unødvendige, og som lett kunne vært unngått. Eksempler på dette er at bas må skifte borkroner, bas er alene under opp- og nedrigging, sprengstoffet ikke er klart når det skal begynne å lades. Disse tilfellene gjør ikke at tidsbruken øker mye per salverunde, men hvis dette gjøres ofte kan det totalt utgjøre en del av den totale tidsbruken. Slike situasjoner er det enkelt å forbedre og unngå, så dette burde unngås. Ellers er det svært viktig at det drives kontinuerlig vedlikeholdsarbeid på utstyret som brukes i tunnelen. På den måten reduseres antall stopp på grunn av havari, feil på utstyr og lignende. Det ble ikke observert stopp på grunn av dette under tidsmålingene. Dette kan være fordi arbeiderne på RVV er flinke til å vedlikeholde utstyret og at det er lite havari på utstyret på prosjektet. Det kan også være tilfeldig at dette ikke ble observert. Det er ikke blitt

sjekket hva som er tilfellet på prosjektet. På noen av tidsmålingene opplevdes det at pumpen fremme på stoff og rørgaten tilknyttet denne, tettet seg. Dette førte til mye heft og stopp i arbeidet. Jeg fikk inntrykk av at dette skjedde ofte, særlig etter injeksjonsarbeid. Hvis dette er tilfelle hver gang etter at berget er injisert, bør man prøve å finne en løsning for å eliminere dette problemet. Særlig bør det sørges for at rutinene rundt arbeidsoperasjonene er standardisert. Med den menes at alle skiftene gjør det samme for å unngå at pumpene tetter seg. Under den ene tidsmålingen som ble tatt måtte arbeidet stoppe i over to timer fordi pumpen var tett. Hvis dette skjer ofte, taper man over lang tid mye tid på ikke-verdiskapende arbeid.

Prosjektet på RVV er preget av svært mye injeksjon. Det finnes egne borrhjeller bygget for boring av langhull. Borrhjellerne har automatisk stangskjøting på riggen, som fører til at en mann ikke trenger å være i korg på stoff å skifte stenger under hele langhullsboringen. Dette kunne vært en god løsning for prosjekter der det er mye injeksjonsarbeid. Det kan tenkes at langhullsboringen går raskere hvis denne borrhjelleren fungerer optimalt. Problemstillingen er om en slik borrhjeller fungerer optimalt slik at vi får de positive effektene av den som vi vil. Erfaringer fra bruk av en slik borrhjeller kan oppsøkes, for å se om dette kunne vært nødvendig på et prosjekt som RVV med store mengder systematisk injeksjon.

Dokumentasjon av hvert enkelt arbeidslag sitt timeforbruk per arbeidsoperasjon, vil kunne avdekke hvor forbedringspotensialene er i salvesyklusen. Dette kunne fungert ved at hvert arbeidslag skriver timene sine adressert til arbeidsoperasjonene. Utfordringen med dette vil være å få tunnelarbeiderne til å skrive nøyaktig tidsbruk. Hvis timeføringen fungerer på den måten at tunnelarbeiderne fører omtrentlig tidsforbruk på slutten av hver uke, vil hele poenget være borte. Hvilket tidsbruk som er vanlig på hver arbeidsoperasjon på prosjektene, har anleggsleder og andre ledere kontroll på. Det som er interessant, og som timeføringen vil kunne fange opp, er hvor man finner stor variasjon i tidsforbruk og hva som gjør at tidsforbruket er så høyt noen ganger. I tillegg kan ulike tunnelprosjekter sammenlignes. Dokumentasjonene kan også brukes som et ledd i anbuds-kalkulasjon av nye tunnelprosjekter.

6 Vurdering av oppgavens reliabilitet

Hvorvidt denne oppgaven er pålitelig eller ei, vil bli behandlet i dette kapittelet. Grunnet oppgavens tidsbegrensning, har flere forhold blitt utelatt fra oppgaven. Hva som ikke er blitt behandlet i oppgaven, som kunne hatt innvirkning på problemstillingens konklusjon, blir gjennomgått i denne delen.

Den mest betydningsfulle begrensningen som er gjort i denne oppgaven ligger i hvilke arbeidsoperasjoner i salvesyklusen som er blitt analysert. Tidsstudier ble kun utført på arbeidsoperasjonene som omfattet boring, bolting, lading og skyting. De aller fleste analysene i oppgaven omhandler disse arbeidsoperasjonene, da det ble gjort både observasjoner og tidtaking under tidsstudie. Aktivitetene som ble studert nærmere ble ikke valgt ut på grunnlag av hvilke arbeidsoperasjoner man trodde hadde mest påvirkning på produktiviteten i tunnelen. Det vil si at de andre aktivitetene i salvesyklusen kan vise seg å ha mye større innvirkning på inndriften, eventuelt større forbedringspotensialer. Det er for tidkrevende for én person å gjøre detaljerte tidsstudier som omfatter alle arbeidsoperasjonene i tunneldrivingen. Derfor ble ikke dette gjort i denne oppgaven. En studie som omhandler hele salvesyklusen, kunne finne forhold som ikke er mulig når det velges ut enkelte operasjoner. Flyten i hele salvesyklusen og en fullstendig evaluering av driftsopplegget, vil kun være mulig hvis hele salvesyklusen blir analysert. Det vil være forhold som gjelder andre aktiviteter enn de som er blitt analysert, og overganger og sammenhenger mellom arbeidsoperasjoner som kan påvirke produktiviteten i stor grad. Dette er ikke tatt med i oppgaven, og er en svakhet ved konklusjonene som gjøres når det gjelder tunneldrivingens produktivitet. Anbefalinger til videre forskning på produktivitet i tunneldriving kan være å analysere andre arbeidsoperasjoner i salvesyklusen. Det kan muligens være større variasjoner og forbedringspotensialer i andre aktiviteter, enn de som ble analysert i denne oppgaven.

Injeksjonsarbeid har vært en stor del av hele RVV-prosjektet. Injeksjonsarbeid er utelatt fra tidsstudiet og heller ikke analysert. Injeksjonsarbeidets påvirkning på inndriften omfatter mange forhold, da systematisk injeksjon krever omorganisering av hele driftsopplegget. Den systematiske injeksjonens påvirkning på inndriften og eventuelt andre forhold er et aktuelt tema. Injeksjonsarbeidet er ofte omfattende i undersjøiske tunneler, da innlekkasje i undersjøiske tunneler er særs kritiske. Dette fordi innlekkasjen består av saltvann, som er

svært aggressivt. Flere store undersjøiske tunneler er under planlegging per dags dato. Ryfast¹³ er i oppstartsfasen, og omfatter lange undersjøiske tunnelstrekk. Rogfast er under planlegging, og vil mest sannsynlig inkludere en undersjøisk tunnel mellom Randaberg og Arsvågen i Bokn kommune. Det er sannsynlig at det også på disse tunnelene vil settes strenge krav til innlekkasje i tunnelen, noe som videre kan føre til krav om systematisk injeksjon. Injeksjonsarbeid er med andre ord et aktuelt tema, og vil være et formålstjenlig område å drive videre forskning på. Systematisk injeksjon knyttet opp mot inndrift i tunneldrivingen, vil også være matnyttig for entreprenørselskaper som kalkulerer anbud på tunnelkontrakter.

Tidsmålingene som ble tatt i tunnelen har flere svakheter. For det første ble de planlagt og utført av kun én person. Noen av observasjonene som ble gjort, kan være subjektive. Det er muligheter for at enkelte situasjoner eller forhold som oppsto under tidtakingen kan ha blitt misforstått av meg eller at det kan tolkes på flere måter. Tidsbruken som ble målt, er pålitelig. Forhold som gjorde enkelttider usikre, er kommentert i kapittelet 4.2.3 *Mulige feilkilder*. Et annet aspekt når det gjelder tidsmålingens pålitelighet, er hvilken effekt det hadde på arbeidet at arbeiderne visste at de ble målt og observert. Min tilstedeværelse kan påvirket tidsbruken både positivt og negativt. Jeg tror ikke tidsbruken i arbeidet ble mye påvirket av min tilstedeværelse, da arbeiderne selv sa at de ikke la merke til at jeg tok tiden. Hver måling varte så lenge at jeg i større grad ble ansett som en kaffevenn enn en person som kritisk fulgte med på hvordan de arbeidet. Da hver måling varte mellom Det ble kun tatt ni tidsmålinger, og for å kunne trekke helt sikre konklusjoner burde antall målinger vært flere. Likevel gir de ni målingene et godt datagrunnlag for å kunne løse oppgavens problemstilling.

Det største usikkerhetsmomentet i oppgaven er sammenligningen av tidsmålingene, prognosene og kontraktsgrunnlaget. Beregningen av prognosene er usikre fordi enkelte parametere som modellen inneholder er usikre. Modellen skal dessuten vise gjennomsnittet ved ulike tunnelprosjekter. Det vil med andre ord si at modellen er laget på grunnlag av gjennomsnittet av datagrunnlaget som modellen er basert på. Datagrunnlaget kan ha inneholdt store variasjoner. Ved sammenligning av kontraktsgrunnlaget med prognosene og tidsmålingene, ble det tatt svært mange forutsetninger. Dette fordi kapasitetene som er lagt

¹³ Ryfast er det nye ferjefrie veisambandet som skal bygges mellom Stavanger og Strand kommune.

inn i kontraksgrunlaget er lite detaljert. En oppgave der anbudskalkulatørene er involvert kunne vært interessant, for å kunne sammenligne virkeligheten med kapasitetene som er estimert i kontraksgrunlaget. Intervju av anbudskalkulatørene ville kunne redusere usikkerheten som ligger i sammenligningene. Dette kunne vært et aktuelt tema for senere studier.

7 Konklusjon

Opgaven har sett på hva som påvirker inndriften ved tunneldriving på RVV-prosjektet til AF Anlegg. Tidsstudier utført i tunnelen i perioden februar til mars 2013 har sammen med historiske data utgjort grunnlaget for analysen. Ut fra observasjonene som ble gjort under tidsmålingene, viser det seg at den menneskelige faktoren betyr mer for produktiviteten enn den tekniske faktoren. Bergforhold har mindre å si for tidsbruken i salvesyklusen enn man skulle tro. Når det gjelder tidsmålingene som er blitt tatt, var det liten variasjon i bergforhold. De historiske dataene som er blitt brukt inneholder også lite variasjon i bergforhold. Større variasjon i bergforhold som førte til tyngre sikring enn bolting, ville kanskje gitt større utslag i inndriften.

I hvilken grad det systematiske injeksjonsarbeidet har påvirket inndriften, er vanskelig å måle. Injeksjonsarbeidet fører til at tiden blir brukt på å injisere berget i stedet for å spreng, og det påvirker også rytmen i driften. Salvesyklusen blir seende helt annerledes ut med injeksjon, og syklusen vil også være ulik. Med den menes at kombinasjonen av vekseldrift og systematisk injeksjon fører til at arbeidet aldri kommer inn i en fast rytme.

Det største fortrinnet AF Anlegg kan ha i konkurransen med andre entreprenører, er gode medarbeidere. Gode medarbeidere er viktig i alle ledd i bedriften. Prosjektledelsen må sørge for et godt og tilpasset driftsopplegg og godt sammensatte skift. Sammensetningen av skiftene kan ha mye å si for produktiviteten. Formenn og baser har et særlig ansvar for å sørge for at tunnelarbeidet er så effektivt som mulig. Faktorer som sørger for effektive tunnelskift er kunnskap, arbeidsmoral, engasjement og samspill. En god arbeidsmoral fører til proaktive arbeidere. Proaktive arbeidere medfører reduserte tider mellom arbeidsoperasjoner og nedetider. Kunnskapsrike arbeidere gir lavt tidsforbruk på hovedarbeidsoperasjonene som boring, lading og bolting.

Mye fungerer svært bra i tunneldrivingen, men det vil selvsagt alltid være områder som kan forbedres. Resultatene fra tidsmålingene viste store variasjoner i tidsbruk når det gjaldt salveboring. Et tiltak for å forbedre dette kan være å prøve ut autoboring. Resultatene av dette vil vise seg etter en prøveperiode. Stopp i arbeid som følge av tett pumpe og rørgate etter injeksjonsarbeid, bør det også forsøkes å finne en løsning på. Først og fremst kan gode prosedyrer på flytting og plassering av pumpe under arbeidet, være et tiltak som kan

forbedre tap av tid på grunn av dette. Et siste forslag som på sikt kan forbedre produktiviteten er at arbeiderne skriver timeforbruk på hver arbeidsoperasjon. Med dette menes at arbeiderne noterer hvor lang tid de har brukt hver arbeidsoperasjon. Et fungerende timeføringssystem vil kunne hjelpe ledelsen til å ta de riktige grepene, for å effektivisere tunneldriften. Dette fordi arbeidsoperasjonene som har forbedringspotensiale vil synliggjøres, da store variasjoner i tidsbruk for eksempel vil kunne oppdages. I tillegg vil et slikt system kunne brukes som grunnlag, i det minste som en pekepinn, i anbudskalkulasjon av fremtidige prosjekter. En god ledelse som motiverer de ansatte og setter sammen gode skiftlag, vil bidra mye til et høyt effektivitetsnivå.

Referanseliste

1. Bruland, A. and V. Olsen, *Kompendium i anleggsteknikk*, in *Anleggsteknikk*, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Editor. 2002, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet: Trondheim.
2. Hoff, K.G., *Bedriftens økonomi*. 2010, Oslo: Universitetsforlaget. 500 s. : ill. ; 26 cm.
3. AF Gruppen ASA. *AF Gruppen*. [cited 2013 03.06]; Available from: <http://www.afgruppen.no/>.
4. Homleid, Å. *AF sprenger mest i 2012*. 2012 [cited 2013 03.06]; Available from: <http://www.bygg.no/2012/11/97437.0>.
5. Statens vegvesen. *Ringveg vest byggetrinn 2* [cited 2013 04.06]; Available from: <http://www.vegvesen.no/attachment/201042/binary/390026>.
6. Statens vegvesen. *Ringveg Vest*. [cited 2013 09.06]; Available from: <http://www.vegvesen.no/Vegprosjekter/ringvegvest>.
7. Atlas Copco Norge. *Boomer WE3 C utstyrt med COP 3038: Tunnelrigg*. [cited 2013 30.05]; Available from: <http://www.atlascopco.no/nono/products/navigationbyproduct/product.aspx?id=1520765&productgroupid=1401284>.
8. Neby, A., et al. *Leksjon 3: Bergmekanikk* [cited 2013 05.09]; Available from: <http://www.vegvesen.no/attachment/219544/binary/420829>.
9. Zare, S., *Drill and blast tunnelling : advance rate*. 2007, Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering. 76 bl.
10. Lund, B., *Industrimineraler NGU-rapport 91.108: Pukkundersøkelser i Bardu*, 20.06.1991.
11. Zare, S., *Drill and blast tunnelling : blast design*. 2007, Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering. 70 bl.
12. Aune, S.E., et al., *Tunneldrift : Sprengningsplaner*. 2. ed. 1996, Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for bygg- og anleggsteknikk.
13. Kveen, A. *Stabilitetssikring Forundersøkelser – Teknologidagene 2008*. 2008 [cited 2013 30.05]; Available from: <http://www.vegvesen.no/attachment/60791/binary/12872>.
14. Bollingmo, P., *Sikringsfilosofi og sikringsmetoder*, in *Ingeniørgeologi for bygge- og anleggsledere i underjordsarbeider*, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Editor. 2009, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet: Lillehammer.
15. Palmstrøm, A. and E. Broch, *Q-systemet: muligheter og begrensninger*. 2002, Oslo: Norsk betongforening.
16. Palmstrøm, A., *Klassifikasjon forhold som påvirker stabilitet og valg av sikring hvordan unngå utilsiktede hendelser*, in *Ingeniørgeologi for bygge- og anleggsledere i underjordsarbeider*, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Editor. 2009, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, : Lillehammer.
17. Zare, S., *Prediction model and simulation tool for time and cost of drill and blast tunnelling*. Vol. 2007:129. 2007, Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering. VIII, 129 s. : ill.
18. Nilssen, B., *Mineraler bergarter bergartsegenskaper Norges berggrunnsgeologi*, in *Ingeniørgeologi for bygge- og anleggsledere i underjordsarbeid* Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Editor. 2008, Norges teknisk -naturvitenskapelige universitet: Trondheim.

19. Raade, G. *metamorfose: geologi*. 2009 [cited 2013 05.21]; Available from: <http://snl.no/metamorfose/geologi>.
20. Holmøy, K., *Grunnleggende ingeniørgeologiske forhold*, in *Ingeniørgeologi for bygge- og anleggsledere i underjordsarbeider* Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Editor. 2006, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet: Trondheim.
21. Grøv, E., *Ingeniørgeologiske undersøkelser*, in *Ingeniørgeologi for bygge- anleggsledere i underjordsarbeider*, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Editor. 2006, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet: Trondheim.
22. Christensen, S. *Jordvann*. 2009 [cited 2013 05.21]; Available from: <http://snl.no/jordvann>.
23. Zare, S., *Drill and blast tunnelling: costs*. 2007, Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering. 63 bl.
24. Walpole, R.E., et al., *Probability & statistics for engineers & scientists*. 2012, Boston: Pearson. XX, 791 s. : ill.
25. Statens vegvesen, *Prosesskode 1 : standard beskrivelsestekster for vegkontrakter : hovedprosess 1-7*. Vol. 025. 2012, Oslo: Vegdirektoratet. 236 s.

Vedlegg

Vedlegg 1: Tabell for avgjørelse av sikringsklasse

Tabell 7.1 Sammenhengen mellom bergmasseklasser (Q-systemet) og sikringsklasser – permanent sikring

Bergmasse klasse	Bergforhold Q-verdi ⁽¹⁾	Sikringsklasse Permanent sikring
A/B	Lite oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand > 1m. Q = 10 – 100	Sikringsklasse I - Spredt bolting - Sprøytebetong B35 E700 tykkelse 80 mm, ned til 2 m over såle
C	Moderat oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand 0,3 – 1 m. Q = 4 – 10	Sikringsklasse II - Systematisk bolting (c/c 2 m), endeforankrete, forspente, gyste - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm, sprøytes ned til såle
D	Tett oppsprukket bergmasse eller lagdelt skifrig bergmasse. Midlere sprekkeavstand < 0,3 m. Q = 1 – 4	Sikringsklasse III - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 100 mm eller mer. - Systematisk bolting (c/c 1,5 m), endeforankrete, endeforankrete som gyses i ettertid, eller gyste
E	Svært dårlig bergmasse. Q = 0,1 – 1	Sikringsklasse IV - Forbolting ved Q < 0,2, ø25 mm, maks. c/c 300 mm - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm. - Systematisk bolting, c/c 1,5 m, gyste - Armerte sprøytebetongbuer ved Q < 0,2, buedimensjon E30/6 ø20 mm, c/c 2 – 3 m, buene boltes systematisk, c. 1,5 m, lengde 3 – 4 m. ⁽²⁾ - Sålestøp vurderes
F	Ekstremt dårlig bergmasse. Q = 0,01 – 0,1	Sikringsklasse V - Forbolting, c/c 200 – 300 mm, ø32 mm eller stag (selvborende). - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 – 250 mm. - Systematisk bolting, c/c 1,0 – 1,5 m, gyste. - Armerte sprøytebetongbuer, buedimensjon D60/6+4, ø20 mm, c/c 1,5 – 2 m, buene boltes systematisk, c. 1,0 m, lengde 3 – 6 m. ⁽²⁾ - Armert sålestøp, pilhøyde min. 10 % av tunnelbredden.
G	Eksepsjonelt dårlig bergmasse, stort sett løsmasse, Q < 0,01	Sikringsklasse VI - Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt.

⁽¹⁾ Q-verdiene er gitt for uniaxial compressive strength, UCS = 100 MPa

⁽²⁾ For krav til materialer, metoder og løsninger henvises til Teknologirapport nr. 2538: Arbeider foran stoff og stabilitetssikring i vegtunneler.

Kommentarer til tabell 7.1:

- Ved driving inn mot svakhetssoner etableres en undersøkelses- og sikringsone minimum 15 m foran svakhetssonen. Her startes sonderboring, forbolting og eventuell injeksjon.
- Q-verdi i dagen, brukt til planlegging av mengde og type av sikring, er forskjellig fra Q-verdier funnet på sprengt flate
- Salvestørrelse bør vurderes i forhold til bergmasseforhold og spennvidde. Salvelengden bør reduseres minst fra og med sikringsklasse IV
- Bolter til permanent sikring skal normalt være omsluttet av betong og gyst med godkjent boltemørtel, for lengst mulig levetid.
- Endeforankret bolt til permanent sikring skal være limt og ikke mekanisk forankret.
- Gitterbuer kan benyttes i stedet for dobbeltarmerte buer i sikringsklasse V.
- For sikring av soner med svelleleire, se betongutstøping (punkt 7.3.3).
- Sikringsopplegg i bergmasse med store deformasjoner på grunn av sprak eller tyteberg skal dimensjoneres spesielt.
- Ved bergtrykkproblemer brukes limte endeforankrede bolter (polyester).
- I sikringsklasse I kan behovet for systematisk bruk av sprøytebetong vurderes.

Vedlegg 2: Parametere som inngår i Q-verdi

OPPSPREKNINGSTALL (Rock quality designation)			RQD
A	Meget sterkt oppsprukket	(> 27 sprekker pr. m ³)	0 - 25
B	Sterkt oppsprukket	(20 - 27 sprekker pr. m ³)	25 - 50
C	Moderat oppsprukket	(13 - 19 sprekker pr. m ³)	50 - 75
D	Lite oppsprukket	(8 - 12 sprekker pr. m ³)	75 - 90
E	Meget lite oppsprukket	(0 - 7 sprekker pr. m ³)	90 - 100
Anm.: i) Når RQD ≤ 10 (inkludert 0), blir verdien 10 brukt ved utregning av Q-verdi ii) RQD intervaller på 5, dvs. 100, 95, 90, osv. er tilstrekkelig nøyaktig			
TALL FOR SPREKKESETT			Jn
A	Massivt, ingen eller få sprekker		0,5 - 1,0
B	Et sprekkese		2
C	Et sprekkese + sporadiske sprekker		3
D	To sprekkese		4
E	To sprekkese + sporadiske sprekker		6
F	Tre sprekkese		9
G	Tre sprekkese + sporadiske sprekker		12
H	Fire eller flere sprekkese, meget sterkt oppsprukket, sukkerbitberg osv.		15
J	Oppknust berg, jordaktig		20
Merknad.: i) Ved tunnelkryss brukes (3 × Jn) ii) I portaler brukes (2 × Jn)			
SPREKKERUHETSTALL			Jr
a) Bergkontakt, og b) bergkontakt for 10 cm skjærdeformasjon			
A	Diskontinuerlig, hakkete (ru eller glatte)		4
B	Ru, bølgete		3
C	Glatte, bølgete		2
D	Glidespeil, bølgete		1,5
E	Ru, plane		1,5
F	Glatte, plane		1,0
G	Glidespeil, plane		0,5
Anm.: Første del av beskrivelsen gjelder ruhet/glatthet. Andre delen gjelder ujevnheter i størrelsesorden dm, m			
c) Ingen bergkontakt ved skjærdeformasjon			
H	Sprekkefylling med leir, silt, sand, grus eller knust berg - tykk nok til å hindre bergkontakt		1,0
Merknad.: i) Når sprekkesevstanden i det aktuelle sprekkese er mer enn 3 m, adderes 1 til ruhetstallet. ii) Jr = 0,5 brukes for plane sprekker med glidespeil og linesjon der linesjon er orientert langs sannsynlig bevegelsesretning.			

TALL FOR SPREKKEFORVITRING (sprekkebelegg, sprekkedylling etc.)		ca. ψ	Ja
a) Bergkontakt			
A	Sammenvekste sprekker med harde mineraler som kvarts, feltspat, epidot		0,75
B	Uomvandlede sprekkedylling, bare overflateoksidasjon	25 - 35°	1
C	Svakt omvandlede sprekkedylling. Uoppbløtelig mineralbelegg, sandpartikler, oppknust berg, u/ leir	25 - 35°	2
D	Sittig eller sandig sprekkebelegg, litt leir (ikke svelleleire)	20 - 25°	3
E	Oppbløtelig sprekkebelegg med lav friksjon, f. eks. kaolinitt, eller glimmer. Også kloritt, talk gips, grafit o.a. Kun små mengder svelleleire.	8 - 16°	4
b) Bergkontakt for 10 cm skjærdeformasjon (tynn mineraldylling)			
F	Sandige partikler, oppknust berg, ikke leir.	25 - 30°	4
G	Sterkt overkonsolidert (hardpakket) uoppbløtelig dylling av leirmateriale (kontin. tykkelse < 5 mm)	16 - 24°	6
H	Middels eller litt overkonsolidert dylling av oppbløtelig leirmateriale (kontinuerlig tykkelse < 5 mm).	12 - 16°	8
J	Dylling av svelleleire (kontinuerlig tykkelse < 5 mm). Ja verdiene avhenger av prosentvis innhold av svelleleire.	8 - 12°	8 - 12
c) Ingen bergkontakt ved skjærdeformasjon (tykk mineraldylling)			
K	Soner eller bånd av knust eller desintegret berg og leir. Sterkt overkonsolidert (hardpakket) uoppbløtelig dylling.		6
L	Soner eller bånd av knust eller desintegret berg og leir. Middels til litt overkons. oppbløtelig dylling.		8
M	Soner eller bånd av knust eller desintegret berg og leir. Ja verdiene avhenger av prosentvis innhold av svelleleire.	6 - 24°	8 - 12
N	Tykke, kontinuerlige soner eller bånd med leir. Sterkt overkonsolidert.		10
O	Tykke, kontinuerlige soner eller bånd med leir. Middels til litt overkonsolidert.		13
P	Tykke, kontinuerlige soner eller bånd med leir. Inneholder svelleleire. Ja verdiene avhenger av prosentvis innhold av svelleleire.		13 - 20
SPREKKEVANNSFAKTOR		ca. vanntrykk (kg/cm ²)	Jw
		< 1	1
A	Tørre bergrom, fukt eller spredte drypp.	1 - 2,5	0,66
B	Dryppregn. Stedvis utvasking av sprekkedylling.	2,5 - 10	0,5
C	Strålelekkasjer eller høyt trykk i massivt berg med sprekker uten dylling.	2,5 - 10	0,33
D	Stor innlekkasje eller høyt trykk. Utvasking av sprekkedylling.	> 10	0,2 - 0,1
E	Meget stor innlekkasje eller vanntrykk ved utsprenning. Avtagende med tiden.	> 10	0,1 - 0,05
F	Meget stor innlekkasje eller vanntrykk ved utsprenning. Ikke avtagende.	> 10	0,1 - 0,05
Merknad.: i) Faktorene C til F er anslått. Jw verdien økes når draineringslittak blir utført. ii) Spesielle stabilitetsproblemer ved isdannelse er ikke vurdert.			

SPENNINGSFAKTOR, SRF				
a) Svakhetssoner som skjærer tunnelen og som kan medføre nedfall			SRF	
A	Hyppig oppreden av svakhetssoner som inneholder leir eller kjemisk omvandlet berg med svært svake sidebergarter. Alle dybder med avspant sideberg.		10	
B	Enkle svakhetssoner som inneholder leir eller kjemisk omvandlet berg. Anleggets dybde ≤ 50 m.		5	
C	Enkle svakhetssoner som inneholder leir eller kjemisk omvandlet berg. Anleggets dybde > 50 m.		2,5	
D	Hyppig oppreden av svakhetssoner i kompetente (stive) bergarter (uten leir). Avspant sideberg. Alle dybder.		7,5	
E	Enkle svakhetssoner i kompetente (stive) bergarter. Anleggets dybde ≤ 50 m.		5	
F	Enkle svakhetssoner i kompetente (stive) bergarter (uten leir). Anleggets dybde > 50 m.		2,5	
G	Ukonsoliderte, åpne sprekker, sterkt oppsprukket, sukkerbitberg. Alle dybder.		5	
Merknad: i) SRF-verdiene reduseres med 25 - 50% når svakhetssonene bare innvirker på stabiliteten, men ikke skjærer anlegget.				
b) Harde, kompetente bergarter. Bergtrykksproblemer			SRF	
		σ_1/σ_3	σ_1/σ_c	
H	Lave spenninger, åpne sprekker. Utfall av blokker pga. for lav spenning. Vanligvis nær overflaten.	>200	$<0,01$	2,5
J	Middels høye spenninger, gunstige spenningsforhold.	200-10	0,01-0,3	1
K	Høye spenninger. Vanligvis gunstige stabilitetsforhold, men kan være ugunstig for veggstabilitet.	10-5	0,3-0,4	0,5-2
L	Moderat avskalling etter > 1 time i massivt berg.	5-3	0,5-0,65	5-50
M	Avskalling og bergslag etter få minutter i massivt berg.	3-2	0,65-1	50-200
N	Intenst bergslag og umiddelbart deformasjonsbrudd i massivt berg.	<2	>1	200-400
Merknad: ii) I tilfeller med sterkt anisotropi, jernfrøelig spenningsfelt (dersom målinger foreligger) når $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$ reduseres σ_c til $0,75\sigma_c$. Når $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ reduseres σ_c til $0,5\sigma_c$, hvor σ_c = enaksial trykkestyrke, σ_1 og σ_3 er henholdsvis største og minste hovedspenning og σ_3 = maksimal tangentialspenning (antatt fra elastisitetsteorien). iii) Når tunneshengens dybde under fjelloverflaten er mindre enn spennvidden, økes SRF fra 2,5 til 5 unntatt ved høye horisontalspenninger.				
c) Tyteberg: plastisk flyting av inkompetente bergarter under påvirkning av høye spenninger			SRF	
		σ_1/σ_c		
O	Moderat tyteberg.	1-5	5-10	
P	Intenst tyteberg.	>5	10-20	
Merknad: iv) Tilfeller av tyteberg kan forekomme når dybder $H > 350Q^{1/3}$ (Singh et al., 1992) Bergmassenes trykkestyrke kan estimeres fra $q = 0,7\gamma Q^{1/3}$ (MPa) hvor γ er bergmassens egenvekt i kN/m^3 (Singh, 1993)				
d) Svellende berg: Kjemisk svelleaktivitet som avhenger av tilgangen på vann			SRF	
R	Moderat svelling.		5-10	
S	Intens svelling.		10-15	
Merknad: For Jr og Ja brukes verdiene for det sprekkesett eller diskontinuiteter hvor utglidning mest sannsynlig vil skje.				

Vedlegg 3: Skjema for tidsmålinger

Målingsnummer				
Dato			Kronestørrelse boltehull	
Sted			Antall salvehull	
Pel nummer			Antall grovhull	
Formann			Kronestørrelse salvehull	
Bas			Kronestørrelse grovhull	
Stuffrep			T-patron/primer	
Lærling			Antall ladelinjer	
Antall bolt				
Lengde bolt				
	Tid fra	Tid til	Antall minutter	Tid mellom
Opprigg borerigg				
Boltehullsboring				
Bolting				
● Setting av bolt				
● Gysing				
Salveboring				
Lading				
Borerigg til neste stuff				
Nedrigg av borerigg				
Utkjøring av borerigg				
Skyting				
Fra lading til skutt				
Totalt				

Vedlegg 4: Tall brukt i regresjonsanalyse

Stuff	Uke	Tunnelmeter	Bolt pr meter	Injeksjonstimer
S11N	48	24	5,88	13,5
S11N	49	14	6,93	17,25
S11N	50	13	5,31	11,75
S11N	51	20	3,10	16
S11N	2	19	4,95	14,5
S11N	3	29	6,55	12,25
S11N	4	30	4,27	19
S11N	5	30	4,40	12,75
S11N	6	25	5,32	25,25
S11N	7	31	4,97	8,75
S11N	8	30	3,73	27
S11N	9	15	6,00	0
S11N	10	24	5,92	21
S11N	11	35	5,63	8
S11N	12	24	6,71	8,75
S12N	48	19	2,63	30,75
S12N	49	19	4,95	23,5
S12N	50	23	5,91	25,5
S12N	51	24	5,71	11,5
S12N	2	14	4,57	40,5
S12N	3	18	9,39	0
S12N	4	20	4,50	29,5
S12N	5	26	5,31	20,75
S12N	6	25	8,72	16,5
S12N	7	25	3,40	31
S12N	8	35	4,86	16,25
S12N	9	15	6,67	17
S12N	10	24	5,71	11,5
S12N	11	27	4,89	15,5
S12N	12	34	7,94	0

Stuff	Uke	Tunnelmeter	Bolt pr meter	Injeksjonstimer
L11	48	27	4,63	18,5
L11	49	21	7,57	30,5
L11	50	30	5,23	18,5
L11	51	16	4,06	16,5
L11	2	31	4,19	29,25
L11	3	19	6,37	30,5
L11	4	18	6,56	15,25
L11	5	20	5,55	33,25
L11	6	29	4,31	12,75
L11	7	20	4,55	30
L11	8	30	6,33	9,25
L11	9	24	6,17	24
L11	10	36	6,36	12,5
L11	11	19	10,26	11
L11	12	17	8,82	13,75
L12	48	24	5,58	38
L12	49	26	8,46	13,25
L12	50	20	3,90	34
L12	51	21	3,90	12,75
L12	2	15	6,80	21
L12	3	26	5,62	34,75
L12	4	21	5,71	31
L12	5	26	4,00	13,25
L12	6	10	14,70	24,5
L12	7	28	7,57	15
L12	8	19	7,58	14,5
L12	9	25	5,68	21,25
L12	10	35	5,63	10,25
L12	11	35	4,23	8,75
L12	12	25	3,92	14

Vedlegg 5: Prognosealternativ 1

Parameter	Målingsnummer								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tunneltverrsnitt	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Ferdighetsnivå	HØYT	HØYT	HØYT	HØYT	HØYT	HØYT	HØYT	HØYT	HØYT
Sprengbarhet	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Borhulldiameter	48	48	48	48	48	48	48	48	48/64
Antall hull basis salvelengde	133	126	126	126	126	126	128	130	113
Boret lengde	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Korreksjon boret lengde	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Antall hull eks grovhull	133	126	126	126	126	126	128	130	113
Diameter grovhull	102	102	102	102	102	102	102	102	102
Antall grovhull	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Bormaskiner type	AC COP 3038	AC COP 3038	AC COP 3038	AC COP 3038	AC COP 3038	AC COP 3038	AC COP 3038	AC COP 3038	AC COP 3038
Bormaskiner antall	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Borbarhet	67	67	67	67	67	67	67	67	67
Borsynk 48mm borhull	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Korreksjon for Borsynk for 48mm	100	100	100	100	100	100	100	100	88
Borsynk for lada hull	350	350	350	350	350	350	350	350	308
Korreksjon borsynk grovhull	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Borsynk dg	147	147	147	147	147	147	147	147	147
Boretid lada hull	63	60	60	60	60	60	61	62	61
Boretid grovhull	5,67	5,67	5,67	5,67	5,67	5,67	5,67	5,67	5,67
Flyttid pr hull	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Flyttid	35	34	34	34	34	34	34	35	30
Fjellets slitaseegenskaper	HØY	HØY	HØY	HØY	HØY	HØY	HØY	HØY	HØY
Kronebyttefaktor	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Enhets tid for kronebyting	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Tid til kronebytte	14,1	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,6	13,8	12,1
Samtidigheidsfaktor	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093
Ekstra tid pga manglende samtidighet	10	9	9	9	9	9	9	9	9
Nødvendig boretid	128	122	122	122	122	122	124	125	118
Type sprengstoff	Slurry	Slurry	Slurry	Slurry	Slurry	Slurry	Slurry	Slurry	Slurry
Antall ladelinjer	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tidsbestemmende ladetid for basis lengde	59	56	56	56	56	56	58	58	52
Korreksjon for borhull lengde	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tidsbestemmende ladetid	59	56	56	56	56	56	58	58	52
Riggetid boring, lading og skyting	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Tilfeldige tapstider boring, lading og skyting	23	22	22	22	22	22	22	22	21
Sum boring, lading og skyting	227	216	216	216	216	216	221	223	208
Antall bolt/salve	X	X	27	33	35	X	29	28	X
Bolteboretid	X	X	82	99	105	X	87	84	X
Antall bormaskiner	X	X	3	3	3	X	3	3	X
Boltemonteringstid	X	X	65	73	75	X	68	67	X
Tid til bolting	X	X	92	106	110	X	97	95	X

Vedlegg 6: Prognosealternativ 2

Parameter	Målingsnummer								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tunneltverrsnitt	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Ferdighetsnivå	HØYT	HØYT	HØYT	HØYT	HØYT	HØYT	HØYT	HØYT	HØYT
Sprengbarhet	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Borhulldiameter	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Antall hull basis salvelengde	133	126	126	126	126	126	128	130	113
Boret lengde	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Korreksjon boret lengde	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Antall hull eks grovhull	133	126	126	126	126	126	128	130	113
Diameter grovhull	102	102	102	102	102	102	102	102	102
Antall grovhull	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Bormaskiner type	AC COP 3038	AC COP 3038	AC COP 3038	AC COP 3038	AC COP 3038	AC COP 3038	AC COP 3038	AC COP 3038	AC COP 3038
Bormaskiner antall	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Borbarhet	52	52	52	52	52	52	52	52	52
Borsynk 48mm borhull	312	312	312	312	312	312	312	312	312
Korreksjon for Borsynk for 48mm	100	100	100	100	100	100	100	100	88
Borsynk for lada hull	312	312	312	312	312	312	312	312	274,56
Korreksjon borsynk grovhull	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Borsynk dg	131,04	131,04	131,04	131,04	131,04	131,04	131,04	131,04	131,04
Boretid lada hull	71	67	67	67	67	67	68	69	69
Boretid grovhull	6,36	6,36	6,36	6,36	6,36	6,36	6,36	6,36	6,36
Flyttid pr hull	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Flyttid	35	34	34	34	34	34	34	35	30
Fjellets slitaseegenskaper	HØY	HØY	HØY	HØY	HØY	HØY	HØY	HØY	HØY
Kronebyttefaktor	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Enhets tid for kronebytting	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Tid til kronebytte	14,1	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,6	13,8	12,1
Samtidigheidsfaktor	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083
Ekstra tid pga manglende samtidighet	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Nødvendig boretid	136	129	129	129	129	129	131	133	126
Type sprengstoff	Slurry	Slurry	Slurry	Slurry	Slurry	Slurry	Slurry	Slurry	Slurry
Antall ladelinjer	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tidsbestemmende ladetid for basis lengde	59	56	56	56	56	56	58	58	52
Korreksjon for borhull lengde	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tidsbestemmende ladetid	59	56	56	56	56	56	58	58	52
Riggetid boring, lading og skyting	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Tilfeldige tapstider boring, lading og skyting	24	22	22	22	22	22	23	23	22
Sum boring, lading og skyting	236	225	225	225	225	225	229	231	217
Antall bolt/salve	X	X	27	33	35	X	29	28	X
Bolteboretid	X	X	82	99	105	X	87	84	X
Antall bormaskiner	X	X	3	3	3	X	3	3	X
Boltemonteringstid	X	X	65	73	75	X	68	67	X
Tid til bolting	X	X	92	106	110	X	97	95	X

Vedlegg 7: Beregning timeverk for tidsmålinger

	Målingsnummer				
	1	3	4	7	8
Pigging	60	60	60	60	60
Oppriggborerigg	42	44	22	32	18
Salveboring	274,5	243	174	174	207
Lading	164	126	130	140	140
Fra lading til skutt	28	18	12	22	24
Antall timeverk	9,48	8,18	6,63	7,13	7,48

Vedlegg 8: Beregning timeverk for prognoser

Prognosealternativ 1					
	Målingsnummer				
	1	3	4	7	8
Pigging	60	60	60	60	60
Opprigg borerigg	34	34	34	34	34
Salveboring	192,1	182,7	182,7	185,4	188,0
Lading	118	112	112	116	116
Fra lading til skutt	45,3	43,2	43,2	44,1	44,5
Antall timeverk	7,5	7,2	7,2	7,3	7,4

Prognosealternativ 2					
	Målingsnummer				
	1	3	4	7	8
Pigging	60	60	60	60	60
Opprigg borerigg	34	34	34	34	34
Salveboring	353	337	337	347	325
Lading	118	112	112	116	104
Fra lading til skutt	47	45	45	46	43
Antall timeverk	10,2	9,8	9,8	10,1	9,4