

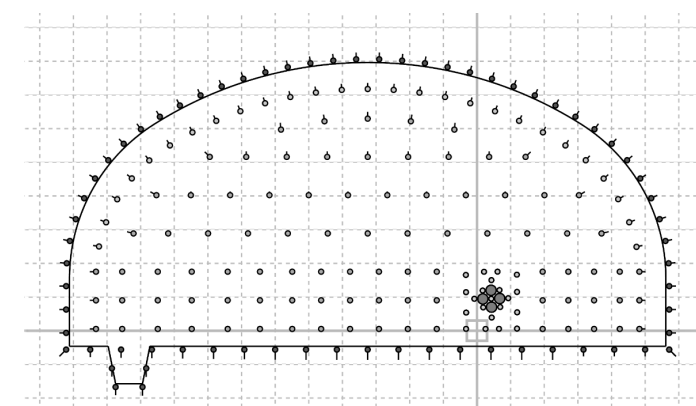
NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige
universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for design

Roald Tufte Rødberg

NTNUs prognosemodell for konvensjonell tunneldrift

Vurdering av boring

Juni 2019





NTNUs prognosemodell for konvensjonell tunneldrift

Vurdering av boring

Roald Tufte Rødberg

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: Juni 2019

Hovedveileder: Pål Drevland Jakobsen

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

FORORD

Denne masteroppgaven er sammenfattet våren 2019 ved Institutt for bygg, anlegg og transport ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Oppgaven står som det avsluttende arbeidet for en femårig utdanning ved studieprogrammet Bygg- og miljøteknikk, med Anleggs- og produksjonsteknikk som valgt hovedprofil. Den danner i sin helhet vurderingsgrunnlaget for emnet TBA4935 *Anleggsteknikk, masteroppgave* og tilsvarer 30 studiepoeng.

Tidligere innlevering i emnet TBA4570 *Anleggsteknikk, fordypningsprosjekt* fra forrige semester har blitt benyttet som grunnlag for store deler av masteroppgaven. Alt arbeid ble da utført av forfatteren selv, og undersøkelser, datainnsamlinger og analyser foretatt i den forbindelse har blitt videreført til denne oppgaven.

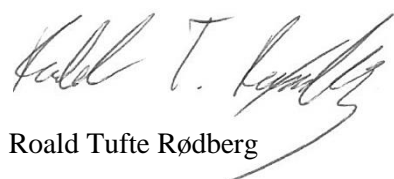
I arbeid med masteroppgaven har det blitt brukt data, da i stor grad borplaner, bidratt med av engasjerte aktører fra bransjen. Av hensyn til juridiske årsaker vil ingen av disse identifiseres, og det rettes derfor en samlet takk til alle som har bidratt. Uten deres hjelp ville det ikke vært mulig å gjennomføre arbeidet.

Videre ønsker jeg å takke faglærere og forelesere ved NTNU for den kompetanse som har blitt tilegnet gjennom fem år på Gløshaugen. Det rettes en særlig stor takk til min eminente veileder, Pål Drevland Jakobsen, for god faglig bistand og verdifulle innspill i arbeid med oppgaven. Ellers en stor takk til venner og familie for støtte underveis i prosessen, og spesielt til min far, Åge Vidar Rødberg, for inspirerende diskusjoner og hjelp til korrekturlesing.

Til slutt ønsker jeg å rette en takk til mine medstudenter for fem fine år med faglig utvikling, godt samarbeid og mye moro.

Takk!

Trondheim, 05.06.19



Roald Tufte Rødberg

BEGREPSORDLISTE

Beskrivelse av følgende begreper er hentet fra Statens vegvesens ordliste for sprengningsterminologi (Statens vegvesen, 2011).

Ansett	punktet der man begynner å bore
Borplan	plan som viser valgt plassering av borhull
Detonasjon	meget rask kjemisk reaksjon ikke avhengig av oksygen fra atmosfæren
Driving	å drive tunnelen fremover
Forsetning	korteste avstand mellom to borhull målt i utslagsretningen
Fragmentering	uttrykker gjennomsnittlig steinstørrelse i en salve
Fri flate	nærmeste bergoverflate som et ladet borhull kan bryte ut mot
Grovhull	gruppebetegnelse på borhull med diameter over ca. 38 mm, brukes også om ikke ladede hull i en parallellhullskutt
Hullavstand	innbyrdes avstand mellom nabohull i en rad
Inndrift	målt økning av bergrommets lengde etter en salve
Innspenning	borhullets beliggenhet i forhold til fri avspent flate
Kontur	tilsiktet flate i berget etter sprengning
Kutt	hulrom som etableres i berget for å skaffe tilstrekkelige fri flater
Lading	Plassering av sprengstoff og tennmiddel i borhull
Ligg	hull som er boret tilnærmet horisontale i eller ved sprengningsplanet
Parallellhullkutt	kutt der alle hull er boret parallelle
Rast	hullrekke i dybden av salven
Salve	betegnelsen på steinmassen som sprenges ut når en rekke sprengstoffladninger detonerer
Salveplan	skriftlig plan som beskriver boring, lading, tenning og dekking av den enkelte salve
Salverapport	rapport med salvedata og sprengnings-resultat med eventuelle avvik for den enkelte salve
Sonderboring	boring av lengre hull for å undersøke kommende bergmasse
Sprengningsteknikk	metoder vedrørende bruk av sprengstoffer, tennmidler, salvegeometri og tennere
Sprengstoff	blanding av kjemiske komponenter karakterisert ved at blandingen på meget kort tid kan omsettes til gass under utvikling av meget høye trykk og temperaturer (se detonasjon)
Strosshull	borhull med utslag mot frilagt areal
Stuff	det sted der man i et bergrom/tunnel angriper berget med en salve
Tunnel	bergrom som er drevet inn fra dagen og som er gjennomgående

SAMMENDRAG

NTNUs prognosemodell for konvensjonell tunneldrift er et empiribasert verktøy for planlegging av utførelsesmetoder og for estimering av inndrift og kostnader ved bruk av boring og sprenging som drivemetode. Siste revisjon av prognosemodellen ble foretatt i 2007, og gjennom indikasjoner fra næringslivet har det kommet frem at resultater og forslag til utførelse som NTNU-modellen gir, ikke alltid samsvarer med den praksis som utøves. Det foreligger derfor et ønske om å undersøke modellens relevans i forhold til metoder og fremgangsmåter som i dag benyttes for boring og sprenging av tunneler.

Denne masteroppgaven har som formål å sammenligne praksis fra dagens tunnelbransje med resultater og anbefalinger fra NTNUs prognosemodell for konvensjonell tunneldrift. Gjennom arbeidet med oppgaven har det blitt avdekket forskjeller mellom anbefalt borhullsmengde fra prognosemodellen, sammenlignet med den borhullsmengde som benyttes på tunnelprosjekter i dag. Mulige årsaker til hvorfor disse avvikene foreligger har også blitt presentert og drøftet.

Vitenskapelig forskningsarbeid fordrer bruk av ulike metoder for innhenting, analyse og diskusjon av informasjon. Disse har blitt redegjort for og diskutert for å sikre reliabilitet og validitet. Første steg i arbeidet var undersøkelse av eksisterende litteratur innen gjeldende tema. Dette har blitt utført ved hjelp av et litteratursøk for å identifisere dagens forskningsfront, samt utvide forfatters egen kunnskapshorison. Funn herfra har dannet grunnlaget i masterens teoridel. Oppgavens primæranalyse er en *komparativ analyse* hvor tverrsnittsdata fra ulike veitunnelprosjekter har blitt sammenlignet med de anbefalinger NTNU-modellen gir for tilsvarende tverrsnitt. Data fra de totalt 55 tverrsnittene har blitt innsamlet gjennom kontakt med bransjen. Det forelå også et ønske om å knytte forskningsarbeidet til et pågående tunnelprosjekt, og det har derfor blitt gjennomført et case-studie. Studieobjektet som har blitt undersøkt er et veitunnelprosjekt i Norge, og funn herfra har blitt benyttet til å underbygge resultater fra den komparative analysen.

Basert på gitte antagelser har den komparative analysen avdekket at den borhullsmengde entreprenører benytter i dag generelt er høyere enn anbefalinger fra prognosemodellen. For innsamlede tverrsnitt med medium sprengbarhet har gjennomsnittlig differanse i borhullsmengde blitt funnet til å være 42 hull. Gjennomsnittlig tilsvarende dette en økning på 22,8 % sammenlignet med prognosemodellens anbefalinger. For tverrsnittsgruppen med dårlig sprengbarhet er det avdekket at det gjennomsnittlig foreligger en differanse på 33 borhull, noe som tilsvarende en økning på 27,3 % i forhold til anbefalingen prognosemodellen gir. Identifiserte mulige årsaker til disse avvikene har blitt funnet til å være endrede konturkrav, forskjell i praksis for entreprenør, teknologisk utvikling for maskiner og utstyr og endrede insentiver.

Avslutningsvis har også anbefalinger til videre arbeid med verifisering av prognosemodellen blitt fremlagt.

ABSTRACT

The NTNU prediction model for conventional tunnelling is an empirical-based tool for construction planning and for estimation of advance rate and costs when using drill-and-blast excavation method. The last revision of the model was carried out in 2007. Due to recent notions from the industry, the relevance of the results and recommendations provided by the model is questioned. Consequently, a review of the model's relevance in comparison to common practices in drill and blast tunnelling has been desired.

The purpose of this thesis is to investigate current practices in the tunnel industry compared to results and suggestions for methods of construction yielded by the NTNU prediction model. Through work conducted, existing differences between the recommended number of drill holes from the prediction model, compared with the number of drill holes used in today's tunnel construction projects have been investigated. Possible reasons for these discrepancies have also been presented and discussed.

Scientific research requires use of different methods for obtention, analysis and discussion of information. These have been accounted for and discussed to ensure reliability and validity. A review of literature and research has been conducted in examination of existing knowledge. This has identified the current state of research, as well as expanded the author's own knowledge on the topic. Findings from these reviews have contributed to form the theoretical background of the thesis. The primary analysis of the task is a *comparative analysis* in which cross-sectional data from various road tunnel projects have been compared with recommendations provided by the NTNU model for the given cross-sections. Data from a total of 55 cross sections have been collected through contact with the industry. There was also a desire to link the research work to an ongoing tunnelling project, and a case study has therefore been carried out. The examined object is a road tunnel project in Norway, and findings from this study have been utilized to underpin results from the comparative analysis.

Based on given assumptions, the comparative analysis has revealed that contractors generally use a higher number of drill holes compared to recommendations from the NTNU prediction model. For the collected cross-sections with medium blastability, the average deviation in drill hole quantity has been found to be 42 holes. On average, this corresponds to a 22.8 % increase compared to the prediction model's suggestions. For cross sections in the group with poor blastability, an average deviation of 33 drill holes has been discovered, which corresponds to a 27.3 % increase compared to the model's provided recommendation. Possible causes of these discrepancies have been identified and reviewed; change in contour requirements, shift in contractor practice, technological development for machinery and equipment, as well as changes in contractors' incentives.

Finally, recommendations for future work on verification of the NTNU prediction model has been presented.

INNHALDSFORTEGNELSE

1	Introduksjon	1
1.1	Bakgrunn.....	1
1.2	Faglig ståsted og kunnskapsgap.....	2
1.3	Avgrensninger og problemstilling	2
1.4	Oppgavens oppbygning	3
1.5	Anonymitet	3
2	Metode	5
2.1	Litteraturstudie.....	7
2.1.1	Søk ved hjelp av søkemotorer	7
2.1.2	Søk i referanselister	9
2.1.3	Søk i journaler	9
2.1.4	Evaluerings og resultater.....	10
2.2	Datainnsamling	11
2.2.1	Antagelser og usikkerhet knyttet til datainnsamling og -behandling	13
2.3	Case-studie.....	16
2.3.1	Observasjon	16
2.3.2	Kvalitative intervjuer.....	17
2.3.3	Innhenting av prosjektdata og dokumentgjennomgang.....	18
2.4	Måling av sprengbarhet på laboratorium	19
2.4.1	Innhenting og forberedelser.....	20
2.4.2	Måling av lydshastighet	20
2.4.3	Måling av massetetthet.....	21
2.4.4	Antagelser og usikkerheter ved laboratoriearbeidet	21
3	Teori.....	23
3.1	Sprengbarhet	23
3.1.1	Sprengningsforløpet under jord.....	24
3.1.2	Forhold som påvirker sprengbarhet.....	25
3.2	Prognosemodeller for tunnelarbeider.....	27
3.3	NTNUs prognosemodell for konvensjonell tunneldrift	27
3.3.1	Modellens historie	29
3.3.2	Design av bormønster og SPR.....	30
3.4	Øvrige sprengbarhetsindekser.....	36
3.4.1	Blastability Index (BI) – Lilly	36
3.4.2	Charge Factor (CF).....	36
3.4.3	Blastability Index (BI) – Ghose.....	37
3.4.4	Sprengbarhet gjennom bruk av nevralt nettverk.....	37
3.4.5	Round Blastage Field Index (RBFi).....	38
3.5	Øvrige prognosemodeller.....	39
3.5.1	Svensk modell for design av bormønster	39
3.5.2	Kinesisk prognosemodell	40
3.5.3	Svensk modell for risikoevaluering.....	41
3.5.4	Tsjekkisk prognosemodell.....	41
3.6	MWD-data	42
3.7	Håndbøker.....	43
3.7.1	N500.....	43

3.7.2	R761	45
4	Resultat.....	49
4.1	Funn i gjennomgang av data fra borplaner	49
4.2	Resultater fra case-studiet	56
4.2.1	Funn i den geologiske forundersøkelsen	56
4.2.2	Funn i MWD-data.....	57
4.2.3	Resultater fra laboratorietest.....	59
5	Diskusjon.....	61
5.1	Komparativ analyse av borplandata	61
5.1.1	Konturkrav.....	62
5.1.2	Praksis for entreprenør	63
5.1.3	Maskiner og utstyr	65
5.1.4	Insentiver for entreprenør	66
5.2	Funn fra laboratorium og forundersøkelsen som input i modellen	67
5.3	MWD-data	68
5.4	Usikkerhet i prognosemodellen	69
6	Konklusjon og videre arbeid	71
6.1	Konklusjon.....	71
6.2	Videre arbeid.....	72
	Bibliografi	73
7	Vedlegg	77
7.1	Henvendelse til bidragsytere	77
7.2	Resultater fra datainnsamling	78
7.3	Fullstendig utregning fra laboratorietester	79
7.4	Spørsmålsliste utarbeidet i forkant av forskningsintervjuer.....	80

FIGURLISTE

Figur 1 - God validitet - lav reliabilitet (t.v.) og lav validitet - høy reliabilitet (t.h.) (Samset, 2014, p. 174).....	6
Figur 2 - Eksempel på innhentet borplan, fra innsamlede data	12
Figur 3 - Foto av stoff under lading, tatt fra hytta på borrhigen	16
Figur 4 - Steinprøve hentet fra felt	19
Figur 5 - Stein kuttet til prøvestykker.....	19
Figur 6 - Steinprøve A.....	20
Figur 7 - Steinprøve B	20
Figur 8 - Steinprøve C	20
Figur 9 - Apparat for måling av lydastigheter	21
Figur 10 - Innretning for måling av prøvevolum.....	21
Figur 11 - Bergmassekvalitetens påvirkning på tid i tunnelprosjekter (Kim & Bruland, 2009, p. 586)	24
Figur 12 - Tunneltverrsnitt med hullgrupperinger.....	24
Figur 13 - Effekten av detonasjon i et borrhull (Nilsen, 2016, p. 261).....	25
Figur 14 - Boreutstyrets utvikling, 1905–2005 (Atlas Copco, 2006, p. 8).....	29
Figur 15 - SPR-verdier fra tidligere gjennomførte laboratorietester ved NTNU (Zare, 2007a, p. 16)..	32
Figur 16 - Nødvendig borrhullsmengde (48mm) (Zare, 2007a, p. 31).....	33
Figur 17 - Nødvendig borrhullsmengde (64 mm) (Zare, 2007a, p. 32).....	33
Figur 18 - Anbefalt forsetning som funksjon av åpningens bredde (Zare, 2007a, p. 28).....	34
Figur 19 - Nødvendig areal av tomme borrhull (Zare, 2007a, p. 26)	34
Figur 20 - Eksentrisitet	35
Figur 21 - Diagram for RBFi (Broch & Nilsen, 1999, p. 284).....	38
Figur 22 - Korrelasjon mellom RBFi og punktlaststyrke (Broch & Nilsen, 1999, p. 285)	38
Figur 23 - Firdelt kutt (Zare & Bruland, 2005, p. 538)	39
Figur 24 - Seksjonering av tverrsnitt (Zare & Bruland, 2005, p. 538)	39
Figur 25 - Visualisering av MWD-teknologi (Neby, 2012, p. 37)	42
Figur 26 - Tunnelprofil (Statens vegvesen, 2016, p. 18).....	44
Figur 27 - Geometri for T5,5–8,5 (Statens vegvesen, 2016, p. 19).....	45
Figur 28 - Geometri for T9,5–14 (Statens vegvesen, 2016, p. 19).....	45
Figur 29 - Prinsippskisser for begrepsforklaring av tunnelprofiler (Statens vegvesen, 2018, p. 13)	45
Figur 30 - Sammenligning av data fra NTNU-modell og data fra tverrsnitt 1–43	50
Figur 31 - Sammenligning av data fra NTNU-modell og data fra tverrsnitt 44–55	51
Figur 32 - Reduksjon i konturhullavstand mellom NTNU-modell og tverrsnittene	52
Figur 33 - Teoretisk sprengnings- og ansettprofil for innsamlede tverrsnitt	54
Figur 34 - Differanse mellom teoretisk sprengnings- og ansettprofil.....	55
Figur 35 - Tolket hardhet, sett fra stoffside	58
Figur 36 - Tolket oppsprekking, sett fra stoffside	58
Figur 37 - Tolket hardhet, sett ovenfra	58
Figur 38 - Tolket oppsprekking, sett ovenfra	58
Figur 39 - Tolket hardhet, sett fra bak stoff.....	58
Figur 40 - Tolket oppsprekking, sett fra bak stoff.....	58
Figur 41 - COP 4038 borhammer (Epiroc Norge AS, 2018).....	65
Forsidebilde - hentet fra innsamlede data	

TABELLISTE

Tabell 1 - Andel journaler med Impact Factor over et nivå (JCR, 2017)	9
Tabell 2 - Inndeling av tverrsnitt	14
Tabell 3 - Faktorer som påvirker sprengbarhet (Nilsen, 2016) (Broch & Nilsen, 1999) (Bruland & Olsen, 2016).....	26
Tabell 4 - Erfaringstall for sprengbarhet av bergarter (Bruland & Olsen, 2016, p. 5)	32
Tabell 5 - Nødvendig avstand mellom grovhull og ladet hull (Zare, 2007a, p. 27)	34
Tabell 6 - Veiledende verdier for forsetning og hullavstand og strossareal (Zare, 2007a, p. 38)	35
Tabell 7 - Parametere med tilhørende verdier for BI (Ghose, 1988).....	37
Tabell 8 - Ladekoeffisienter for strosshull (Chi, 2018)	40
Tabell 9 - Sammenligning av kinesisk og europeisk sprengningsteknikk (Chi, 2018)	40
Tabell 10 - Tverrsnittsdata for de ulike tunnelprofilene (Statens vegvesen, 2016, p. 19).....	44
Tabell 11 - Mål for ulike tunnelprofiler (alle mål i m) (Statens vegvesen, 2016, p. 18).....	44
Tabell 12 - Bergartssoner som krysses av tunnelen	56
Tabell 13 - Tolket hardhet, MWD	57
Tabell 14 – Tolket oppsprekking, MWD	57
Tabell 15 - Steinprøvenes sprengbarhetsindekser	59

1 INTRODUKSJON

1.1 BAKGRUNN

Tunnelprosjekter utarter seg annerledes enn byggeprosjekter for øvrig. Grunnen til det er at konvensjonell driving av tunneler er en taktbasert produksjonsprosess – på to ulike måter. Med mindre man driver tunneler i flere løp eller fra flere angrepspunkt er det vanskelig å relokere ressurser dersom produksjonen stopper opp ved en stoff. En annen utfordring er plassmangel. De fleste store arbeidsoperasjonene ved tunneldrift – boring, lading, sprenging, rensk, lasting og sikring – foregår alle på stoff, og samkjøring av aktiviteter kan by på utfordringer. Disse to momentene fører til at tidsforlengende hendelser ofte har stor påvirkning på tunnelprosjekter (Isaksson, 2002). Grunnet dette er det viktig å ha et solid beslutningsgrunnlag når vedtak om investering og prosjektgjennomføring skal fattes. Man ønsker å redusere usikkerheten ved å innhente mest mulig informasjon for estimering av byggekostnader og inndriftsrate, samt bestemme drivemetoder. Dette er momenter som alle påvirkes av hverandre, og bestemmelse av disse er en kompleks prosess. På bakgrunn av dette har det blitt utviklet flere prognosemodeller for planlegging og gjennomføring av tunnelprosjekter. Generelt kan det sies at prognosemodeller er verktøy for planlegging av sprengningsarbeider, evaluering av kostnadsbruk og gjennomføringstid eller beregning av risiko.

Hovedfokuset i denne oppgaven vil ligge på NTNUs egen prognosemodell for konvensjonell tunneldrift. Gjennom indikasjoner fra næringslivet har det kommet frem at de resultater NTNU-modellen gir, ikke alltid samsvarer med resultater og utførelsesmetoder fra dagens praksis. På bakgrunn av dette har det blitt ansett som hensiktsmessig å samle informasjon fra tunnelbransjen til sammenligning med NTNU-modellens anbefalinger, for å validere om data herfra fortsatt er gjeldende i dag.

For å utvide egen kunnskapshorisont i forkant av arbeidene ble det sett på som hensiktsmessig å innhente teori rundt relevante aspekter til bruk som forskningsgrunnlag i oppgaven. Det har derfor blitt gjennomført et litteratursøk for å belyse temaer ukjent for forfatter. Søket var en del av arbeidene foretatt i forbindelse med prosjektoppgaven forrige semester, og metodene beskrevet i forbindelse med dette gjengir fremgangsmåtene benyttet da. Naturlig nok har det også i etterkant av dette dukket opp ytterligere teoristoff relevant for masteroppgaven. I disse tilfeller har det blitt brukt samme tilnærminger til behandling av stoffet som i forbindelse med arbeidene utført forrige semester.

Ut fra oppgavens begrensninger ble det vurdert at borplaner for tunnelverrsnitt i ulike størrelser var av størst interesse. Data fra en stor mengde borplaner har derfor blitt samlet inn og legger grunnlaget for den kvantitative dataanalysen i oppgaven.

Fra tidlig av forelå det også et ønske om å knytte forskningsarbeidet til erfaringer fra virkeligheten, og det ble derfor valgt å gjennomføre et case-studie. Studieobjektet som har blitt undersøkt er et

veitunnelprosjekt i Norge. I undersøkelse av dette ble det benyttet observasjoner, forskningsintervjuer samt dokumentgjennomgang som metoder. I tillegg har det blitt utført laboratoriarbeid for å undersøke steinprøver innhentet i forbindelse med case-studiet. Resultatene fra case-studiet vil kunne underbygge funn fra den komparative analysen, som har hovedfokus i masteroppgaven.

1.2 FAGLIG STÅSTED OG KUNNSKAPSGAP

Forfatter av oppgaven er student på femte år ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Kandidatens studieretning er Bygg- og anlegg, med hovedprofil Anleggs- og produksjonsteknikk. Gjennom to foregående somrer med praksis innen sprengningsarbeider og tunnelprosjekter under og over jord har forfatter fått et innblikk i anleggs- og tunnelbransjen. NTNUs prognosemodell og dens funksjon er kjent for forfatteren gjennom tidligere fag, og arbeid med modellens datagrunnlag ses derfor på som viktig.

Kunnskapsgapet i forkant av arbeidene kan deles i tre deler; for NTNU, for entreprenør eller byggherre og for forfatterens egen del. For NTNU vil kunnskapsgapet bestå av å ikke vite hvilken praksis og erfaringsdata bransjen opererer med, til forskjell fra output og anbefalinger prognosemodellen gir. For entreprenører og byggherrer kan det sies at det samme er gjeldene, ettersom det også gagnar dem at modellen verifiseres mot virkeligheten. For forfatterens egen del vil kunnskapsgapet være utilstrekkelig kjennskap til temaet. Arbeid med denne masteroppgaven vil forhåpentligvis bidra til god kunnskapstilegning om prognosemodeller og tunneldrift generelt.

1.3 AVGRENSNINGER OG PROBLEMSTILLING

En masteroppgave har begrensninger med tanke på tid og arbeidsmengde. Oppgaven skrives gjennom ett semester ved NTNU og teller derav totalt 30 studiepoeng. Fra masteravtalen signeres har kandidaten totalt 20 uker arbeidstid (ikke inkludert påske), som tilsvarer 100 arbeidsdager. Selv om det er mange momenter i NTNU-modellen som burde undersøkes opp mot dagens praksis, ble det grunnet begrensning i tid og størrelse bestemt å limitere problemstillingen til en viss grad. Det ble derfor valgt å fokusere på den delen av modellen som er presentert i Prosjektrapport 2A-05 (Zare, 2007), og spesielt de momenter som omhandler design av bormønster for fremstilling av borplaner.

I arbeid med en masteroppgave er det viktig å ha klart for seg oppgavens ønskede formål. Dette konkretiseres ofte gjennom å definere problemstillinger. Disse stadfester hvilke aspekter forfatteren ønsker å belyse gjennom arbeid med oppgaven, og kan være en pekepinn til hvilke forskningsmetoder som vil lønne seg å ta i bruk i arbeidet. Med bakgrunn i aspektene over har det blitt utformet følgende problemstilling som gjeldende oppgave vil forsøke å svare på:

Hvilke forskjeller er det på anbefalinger NTNUs prognosemodell gir sammenlignet med den praksis bransjen utøver, og hva kan årsakene til disse avvikene være?

Ut fra momentene diskutert i avsnitt 1.2 er det forsvarlig å si at problemstillingen over danner et relevant og dekkende utgangspunkt for en masteroppgave ved NTNU.

1.4 OPPGAVENS OPPBYGNING

I arbeid med oppgaven er det valgt å bruke strukturen beskrevet av Olsson (2011). Listen under presenterer hvordan innholdet i oppgaven er fordelt på de ulike kapitlene:

- Kapittel 1:* Introduksjon til oppgaven med beskrivelse av gjeldende tema, utgangspunkt, avgrensninger og problemstilling.
- Kapittel 2:* Fremlegging og diskusjon av de metoder og fremgangsmåter benyttet i arbeid med oppgaven.
- Kapittel 3:* Presentasjon og gjennomgang av relevant teori og litteratur viktig for forståelse i oppgavens videre deler.
- Kapittel 4:* Resultater avdekket gjennom forskningsarbeidene foretatt i arbeid med oppgaven.
- Kapittel 5:* Diskusjon og tolkning av de momenter avdekket i kapittel 4 satt i sammenheng med den teori presentert i kapittel 3.
- Kapittel 6:* Konkluderende avrundning inkludert anbefaling til videre arbeid med gjeldende temaer.

1.5 ANONYMITET

Mye av informasjonen som har blitt innhentet i arbeid med oppgaven kan karakteriseres som bidragsytternes produksjonsgrunnlag. Det har derfor blitt valgt å anonymisere samtlige prosjekter, aktører og foretak omhandlet i oppgaven. Også informasjon fra prosjektet studert i case-studiet har blitt valgt å anonymisere. Dette sees imidlertid ikke på som problematisk da det i første rekke er de kvantitative dataene som står i fokus i arbeid med oppgaven. Anonymiseringen kan også vurderes som et virkemiddel for å sikre at leserens fokus ligger på funn fra analysen av dataene innhentet, uten å være påvirket av forutinntatte holdninger til personer eller foretak. Det fremlegges heller ingen sensitive personopplysninger, noe som hindrer at behov for sterkere tiltak til dokumentsikring utløses.

2 METODE

Forskningsmetoder er fremgangsmåter forfatteren benytter seg av for å finne svar på problemstillingene som defineres i oppgaven. De beste forskningsmetodene er de som på best mulig måte bidrar til å fremskaffe informasjon som underbygger besvarelsen av problemstillingene. Forfatteren får også mulighet til å overbevise leserne om at valgte metoder er hensiktsmessige, passer til kunnskapsgapet og sikrer gjennomførbarhet i studiet (Engebø, 2018). Gjennom presentasjon av brukte metoder legger man et godt grunnlag for videre arbeid, samt at forskningens etterprøvbarehet styrkes (Olsson, 2011).

I metodelitteratur skilles det ofte mellom kvalitative og kvantitative forskningsmetoder. Kvalitative metoder bygger på skriftlig eller muntlig informasjon. Her konsentrerer man seg gjerne om et lite antall studieobjekter, men går i dybden og innhenter opplysninger i et bredt spekter for hvert objekt. For kvalitative metoder blir det ofte vanskelig å oppnå god etterprøvbarehet, noe som generelt er ønskelig å unngå i vitenskapelig arbeid. Kvantitative metoder fokuserer i større grad på tall og de aspekter ved en problemstilling som er målbare. Det arbeides ofte med mange objekter, men med færre opplysninger enn ved kvalitativ forskning. Formålet er ofte å undersøke en hypotese, og det legges vekt på presisjon og mulighet for etterprøvbarehet (Olsson, 2011). Med grunnlag i dette kan det sies at vitenskapelig forskning med fordel bør gjennomføres ved å benytte aspekter fra både kvantitative og kvalitative metoder.

For å kvalitetssikre eget arbeid, og for at leseren skal kunne vurdere bakgrunnen for resultatene som presenteres, vil dette kapittelet presentere de metodene som er benyttet i arbeid med masteroppgaven. Den beskriver hvordan forskningen er gjennomført, samt hvilke muligheter og utfordringer som er knyttet til de ulike undersøkelsene. På bakgrunn av begrensninger, omfang og de definerte problemstillingene ble det valgt å benytte følgende forskningsmetoder:

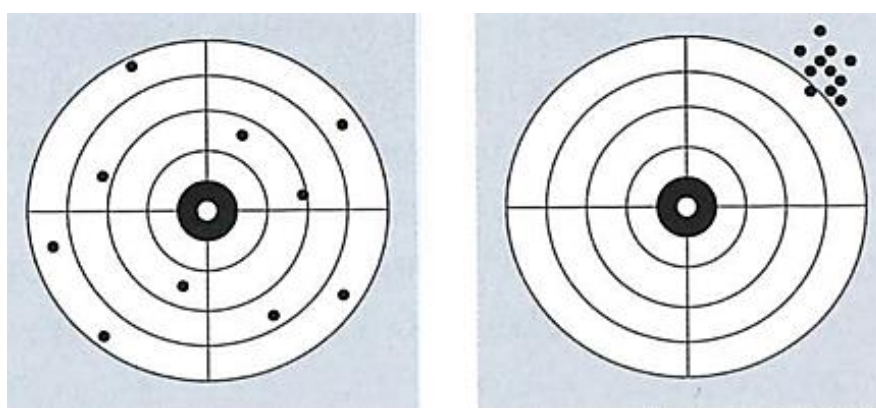
- Litteraturstudie
- Kvantitativ datainnsamling
- Case-studie
- Kvalitative forskningsintervju
- Dokumentgjennomgang
- Laboratoriearbeid

Hvordan disse er anvendt vil utdypes videre i dette kapittelet. Det vil også legges vekt på svakheter og usikkerhet for bruk av de ulike metodene.

Begrepene *reliabilitet* og *validitet* er sentrale i metodelitteraturen. Disse er karaktertrekk som beskriver styrken av et resultat. LeCompte og Goetz (1982) skriver at absolutt reliabilitet og validitet er uoppnåelig. Det er allikevel viktig å etterstrebe bruk av forskningsmetoder som produserer resultater

med størst mulig grad av reliabilitet og validitet. Reliabilitet omhandler en informasjonskildes troverdighet og pålitelighet. Data med gunstig reliabilitet stammer ofte fra nøytrale kilder, og har god etterprøvnbarhet (Tjora, 2012). Reliabilitet kan også være et uttrykk for hvorvidt gjentatt bruk av samme indikator ville gi like resultater (Samset, 2014). Hvis for eksempel målinger i et laboratorieforsøk under samme forhold gir samme resultat hver gang, kan man si at reliabiliteten er god. Dersom deler av forskningsgrunnlaget for et arbeid ikke er mulig å spore kan man si at etterprøvnbarheten er lav, og kilden har følgelig dårlig reliabilitet. Det er derfor viktig å oppgi entydige målemetoder og inngangsparametere, slik at det ikke kan oppstå tvil rundt hva eller hvordan det som forskes på måles. Validiteten er relatert til gyldigheten i studien og representerer om hvor godt datamaterialet illustrerer de problemstillinger som studien skal belyse (Olsson, 2011). Å bestemme en kildes validitet, eller gyldighet, kan være utfordrende. Det finnes ikke alltid direkte sammenheng mellom en kildes pålitelighet og gyldighet, og det er derfor viktig å bedømme om informasjonen det arbeides med har relevant forskning eller teori som grunnlag. Gyldigheten av et resultat kan for eksempel sies å øke dersom en rekke forskningsarbeider kommer frem til samme resultater (Tjora, 2012). Denne sammenhengen er illustrert i Figur 1. Høy validitet innebærer at det arbeides med data som er av høy relevans i forhold til oppgavens problemstilling. For at dette skal oppnås må forfatter utføre målingene mest mulig direkte på de forhold som er interessant å undersøke (Olsson, 2011).

Også i diskusjon av svakhet og usikkerheter for de ulike metodene benyttet, står reliabilitet og validitet sentralt. Disse begrepene vil derfor gå igjen i de påfølgende avsnitt i dette kapittelet.



Figur 1 - God validitet - lav reliabilitet (t.v.) og lav validitet - høy reliabilitet (t.h.) (Samset, 2014, p. 174)

2.1 LITTERATURSTUDIE

I forskningsarbeid er temaer man behandler ofte undersøkt gjennom tidligere foretatte studier (SNL, 2015). Det første som gjøres er derfor mange ganger å gjennomføre en litteraturstudie. Dette kan være til god hjelp for å danne et overblikk over eksisterende litteratur og *state-of-the-art*-forskning innen gjeldende tema. I valg av forskningsmetoder kan dette også være en god pekepinn for å bedømme metodene som egner seg best for emnet det arbeides med. Ved bruk av ulike søkemetoder gjennomføres det en omfattende granskning hvor innhenting av informasjon blir utført etter en forhåndslagt plan, redegjort for underveis og evaluert i etterkant. Målet for et litteratursøk er å finne litteratur relevant for oppgaven og problemstillingene som ønskes belyst. Det kan også være til god hjelp for å forhindre overlapp med tidligere forskning, men også for å kaste lys over aspekter som tidligere ble utelukket i utforming av problemstillingene. Mye av vitenskapelig litteratur gir anbefaling til videre arbeid, noe som også kan være en antydning til hvilke felt som burde undersøkes nærmere, samt fremgangsmåter som kan benyttes. I etterkant bearbeides funnene i form av en evaluering, for å gi en oversiktlig vurdering av funnernes viktighet for oppgaven. Prosessen dokumenteres også for å sikre at søket er etterprøvbart.

I forbindelse med forrige semesters fordypningsoppgave ble et slik søk gjennomført. Litteratur innen temaet prognosemodeller for konvensjonell tunneldrift ble gransket, og funnene avdekket her har blitt grunnlaget for store deler av denne masteroppgavens teorikapittel.

I arbeid med rapporten har følgende metoder for innhenting av litteratur blitt benyttet:

- Søk ved bruk av søkemotorer
- Søk i referanselister
- Søk i journaler

I kapitlene under vil fremgangsmåtene benyttet ved bruk av disse metodene bli presentert, med tilhørende svakheter og usikkerheter. Ettersom litteratursøket i all hovedsak ble gjennomført før de øvrige arbeider startet, vil ikke listen over avdekket litteratur dekke alle referanser benyttet i denne masteroppgaven. Det bør allikevel nevnes at da behovet har oppstått har metodene omtalt under blitt benyttet gjennom hele arbeidsprosessen.

2.1.1 Søk ved hjelp av søkemotorer

Hensikten med å benytte søkemotorer er å innhente relevant informasjon raskt. Disse oppslagsverkene gir brukeren anledning til å søke i flere databaser samtidig, uavhengig av artikkelens tilhørighet og opprinnelse. Ved å bruke satte søkefraser kan man søke hvor bredt eller smalt man måtte ønske, og resultatet av søket blir deretter. Typiske søkefraser brukt her var *Tunnel Prognosis Model*, *Tunnel Prognosis Model AND Blast*, eller *Time and Cost Prognosis AND Drill and Blast Tunnelling*.

En svakhet ved å benytte søkemotorer kan være resultatenes omfang. Man sitter ofte igjen med store mengder treff, som i praksis betyr mye arbeid med å evaluere grad av relevans. Denne svakheten kan reduseres ved å benytte avgrensende faktorer. Her kan man for eksempel velge å kun se på utgivelser fra en viss periode eller legge til et nytt søkeord i søkefrasen ved hjelp av søkeoperatorer (for eksempel AND som vist over). De fleste søkemotorer sorterer også på relevans, så ved store mengder treff vil kildenes titler og temaer bli mindre aktuelle jo lengre ut man kommer i listen over søkeresultater. Noen søk vil ikke la seg begrense på en fornuftig måte. Her har relevanssorteringen blitt benyttet.

Google Scholar

Google Scholar er en søkemotor for å lokalisere akademisk og vitenskapelig litteratur. Fordelen med Scholar er at den er intuitiv og har et enkelt brukergrensesnitt, samtidig som den gir brukeren mulighet til å søke i et bredt spekter av artikler, bøker, journaler, konferanserapporter og lignende. Man har muligheten til å se antall ganger en kilde er sitert, hvem som har sitert den, samt relaterte utgivelser til kilder av relevans i søket. Ved store mengder søketreff sorterer Scholar etter andel relevante søkeord, forfatter, utgiver og hvor ofte den har blitt sitert i akademisk litteratur (Google, 2018). Grunnet dette vil det kunne konstateres med at treffene på starten av en liste med mange tusen resultater er mer aktuelle enn de på slutten. Det vil være en viss sannsynlighet for at litteratur blir utelatt ved å sverge til denne funksjonen, men å se gjennom utallige søketreff er rett og slett for tidkrevende. Ved slike tilfeller har trefflisten blitt saumfart til treffene ikke lengre er av relevans.

Det finnes ingen garanti for at alt en finner på Google Scholar er av høy akademisk kvalitet. Som for all annen type litteratursøk vil det være opp til den som utfører litteratursøket å se på funnene med et kritisk blikk for å evaluere kildens relevans for oppgaven. Det gis ikke anledning til å begrense søket til eksempelvis fagfelleverderte artikler, eller å sortere etter disiplin. En annen svakhet er at selv om resultater dukker opp i søket, er det ikke garantert at man har tilgang til hele kilden, for eksempel grunnet betalingsmurer. Det skal imidlertid sies at NTNU har avtaler med de fleste store publikasjonskanaler, så søket har sjeldent blitt begrenset av dette.

Oria.no

Google Scholar strekker seg over en mengde publikasjonskanaler, men er ikke altdekkende. Derfor er det gunstig å benytte flere søkemotorer. Oria.no er en søkeportal for norske fag-, universitets- og forskningsbiblioteker (Oria, 2019). Her har man mange av de samme fordelene som for Google Scholar, og i tillegg er også muligheten til å se om artikkelen er fagfelleverdert inkludert. Oria gir ikke bare muligheten til å lete i elektroniske kilder, men også bøker, tidsskrifter, dokumenter og artikler tilgjengelig gjennom et av de mange bibliotekene søkeportalen opererer i. Selv om Oria.no søker i bibliotek- og forskningsmateriale, er det heller ikke her garantert at kildene holder høy validitet, og det er derfor viktig at kildens opprinnelse granskes. I likhet med Scholar sorteres også søkene her etter relevans. En bakdel med Oria er at man ikke ser hvor ofte en kilde er sitert.

2.1.2 Søk i referanselister

Referanselister kan bidra med viktig informasjon i et litteratursøk. Kildene listet her henviser til relevant informasjon tilknyttet artikkelen, som igjen ofte kan være av høy relevans for søket. Forfattere det refereres til kan også ha gitt ut andre artikler innenfor samme eller lignende temaer. Denne teknikken kalles *snowballing* og er gunstig å benytte dersom man har funnet referanser av høy relevans i søket. En svakhet ved å benytte referanselistesøk er at det er fare for å gjenta innholdet i utgivelsen man søker i.

Ettersom fordypningsoppgaven skal omhandle NTNUs prognosemodell vil en av de mest relevante utgivelsene være siste revisjon av denne. Derfor ble referanselisten til *Pediction Model and Simulation Tool for Time and Cost of Drill and Blast Tunnelling* valgt som oppslagsverk (Zare, 2007).

I tillegg til dette ble doktorgradsavhandlingen *Risk Management of Tunnel Construction Projects* (Špačková, 2012) funnet gjennom snowballing av artikkelen *Probabilistic Assessment of Tunnel Construction Performance Based on Data* (Špačková, et al., 2013). Denne er tilgjengelig gjennom Czech Technical Universitys hjemmesider, og dukket trolig derfor ikke opp i andre søk foretatt i denne oppgaven.

2.1.3 Søk i journaler

Journaler er publiseringskanaler hvor akademiske artikler utgis. Disse holder høy vitenskapelig kvalitet da det er strenge krav og retningslinjer for hva som publiseres i journaler. Fordi journalene ofte fagfellevalueres og anbefales av mange universiteter, vil som regel artiklene som publiseres holde høy validitet. Selv om dette gjelder vil det som alltid være hensiktsmessig å kvalitetssjekke kildene man anvender. Generelt for journaler benyttes ofte vurderingskriteriet *Impact factor*. Dette er et scoresystem som måler antall ganger en gjennomsnittlig artikkel i en bestemt journal er sitert i løpet av de to foregående årene (Elsevier, 2018). Journal Citation Reports presenterte i 2017 en oversikt over prosentvis fordelingen over Impact Factorer for 12061 ulike journaler (Tabell 1). Denne kan gi en pekepinn ved tolkning, i tillegg til at faktorene vurderes relativt hverandre. Dersom en journalartikkel siteres ofte (høy Impact Factor) kan det tyde på at den holder høy akademisk troverdighet, og dermed god reliabilitet. Impact Factor ble derfor vurdert for journaler benyttet i oppgaven.

Tabell 1 - Andel journaler med Impact Factor over et nivå (JCR, 2017)

Impact Factor	0+	1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+
Andel journaler	100%	67,0%	36,4%	19,1%	10,4%	6,5%	4,6%	3,3%	2,6%	2,1%	1,7%

For å finne relevante journaler å søke i, ble blant annet registeret over vitenskapelige publiseringskanaler levert at Norsk senter for forskningsdata benyttet (NSD, 2018). Dette er et oppslagsverk for vitenskapelige publiseringskanaler som drives av NSD i regi av Kunnskapsdepartementet. NSD benytter et inndelingssystem bestående av Nivå 2, Nivå 1 og urangert, hvor journaler i Nivå 2 ansees som å være

de mest prestisjefylte publiseringskanalene innenfor et fagområde. Denne inndelingen bidrar som et insentiv for forfattere til å publisere sine utgivelser i de mest innflytelsesrike formidlingskildene (NPI, 2016). Inndelingen vil derfor kunne være viktig når kilders relevans for oppgaven skal evalueres.

Søk i NSD etter journaler som inneholdt ordet *tunnelling* gav 14 treff. Av disse var følgende journaler av relevans:

- *Geomechanics and Tunnelling*
- *Tunnelling and Underground Space Technology*

Gjennom søk i referanselisten til Zares doktorgrad ble også journalen *Rock Mechanics and Rock Engineering* avdekket.

2.1.4 Evaluering og resultater

For å bedømme hvilke av kildene som er av størst betydning ble det foretatt en evaluering av funnene. Her ble VIKOs TONE-kriterier benyttet (VIKO, 2018). Dette er et sett med kriterier som brukes for å vurdere kildens verdi relatert til temaet det forskes på. Ved bruk av TONE-prinsippet inkorporeres også vurdering av kildenes reliabilitet og validitet som ble diskutert i kapittelets innledning.

- Troverdighet – om kilden er sikker å benytte
- Objektivitet – om kilden holder et nøytralt synspunkt
- Nøyaktighet – om gjeldende kilde bærer preg av god gjennomføring
- Egnethet – om kilden bidrar med nyttig informasjon til fordypningsoppgaven

For å kunne vurdere kildene i forhold til hverandre ble det benyttet et poenggivningssystem fra 0 til 6, hvor 0 representerer ingen uttelling, mens 6 representerer høy uttelling for de ulike kriteriene. Gjennomsnittet av disse poengene ble samlet i en total score for hver av kildene. Av kildene avdekket ble de tre utgivelsene med høyest score valgt ut og vurdert som mest relevant for oppgavens problemstilling. Disse tre utgivelsene var alle doktorgradsavhandlinger som hver beskriver prognosemodeller til bruk i tunnelprosjekter:

- *Prediction Model and Simulation Tool for Time and Cost of Drill and Blast Tunnelling* (Zare, 2007)
- *Model for Estimation of Time and Cost Based on Risk Evaluation Applied on Tunnel Projects* (Isaksson, 2002)
- *Risk Management of Tunnel Construction Projects* (Špačková, 2012)

I etterkant av litteraturstudien ble det gjennom samtale med veileder avdekket ytterligere to kilder som ville være av relevans for oppgaven; *Modern technique of rock blasting* (Langefors & Kihlstrom, 1978) samt en kinesisk modell for design av bormønster (Chi, 2018). Disse utgivelsene vil legge grunnlaget for deler av stoffet presentert i kapittel 3.

Eksempel på et usikkerhetsmoment ved litteratursøk er kildens utgivelsesår. Som mange andre bransjer er tunnelbransjen i stadig utvikling, og ettersom oppgaven tar for seg prognosemodeller for drift av tunneler i dagens bransje, vil det være hensiktsmessig å benytte ung litteratur fremfor gammel. For å sikre at teoridelen i masteroppgaven er så nære *state-of-the-art*-forskning som mulig, er det viktig at denne baseres på de nyligste utgivelsene på feltet.

Et annet usikkerhetsmoment for litteraturstudien er forfatterens evner i utførelsen. Generelt vil det være uklokt å konkludere at det i tilsynelatende tilfeller eksisterer kunnskapshull. Faren for at forfatteren ikke har hatt suksess i søk etter tidligere forskning på området vil være overhengende og må tas med i vurderingen. Dette vil blant annet være gjeldende grunnet litteratursøkets begrensede omfang i form av avsatt tid.

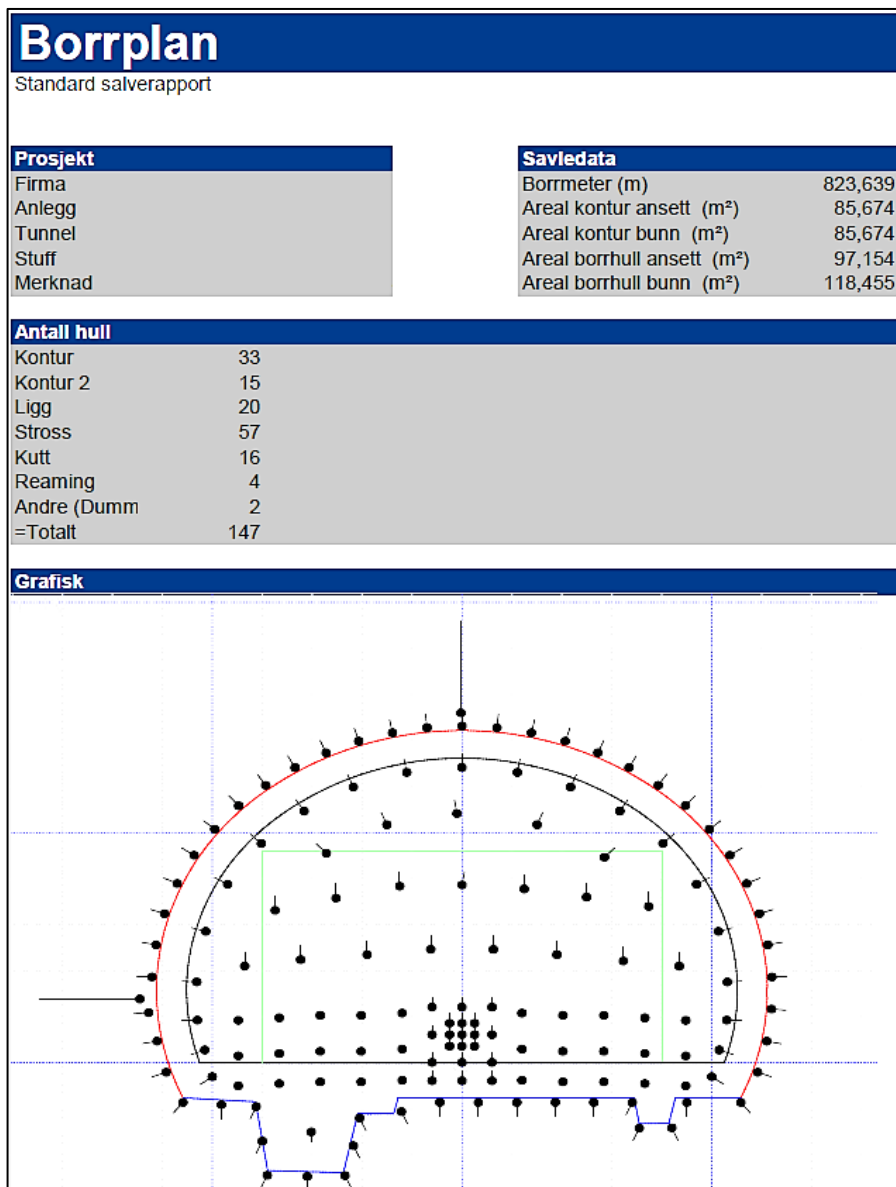
2.2 DATAINNSAMLING

Metoden for innhenting av data som har blitt benyttet kan sies å være en hybrid mellom intervjuer, observasjoner og dokumentgjennomgang. Ettersom det i stor grad er data fra ulike tunneltversnitt som er av interesse, ble det konstatert at sprengnings- og borplaner ville være av høy relevans for oppgaven. Eksempel på en borplan er presentert i Figur 2. For innsamling av disse ble det opprettet kontakt med relevante aktører fra bransjen. Her ble beskrivelse av arbeidets problemstilling oversendt ved skriftlig henvendelse per epost (se vedlegg 7.1). Det ble valgt å utelukkende kontakte entreprenører ettersom de er ansvarlig utførende og derfor har god tilgang på borplaner i tunnelprosjekter. Kontaktpersoner har vært alt fra driftsledere til tunnelsjefer, og kontakt med én aktør førte ofte til tips om andre som burde kontaktes.

Det viste seg i flere tilfeller problematisk å opprette kontakt direkte med entreprenøren. I disse tilfeller ble personlig nettverk og tips fra veileder benyttet for å engasjere bidragsyterne. Videre kontakt ble deretter opprettholdt via epost eller per telefon. I disse løpende korrespondansene ble det kommunisert variert informasjon hvor alt ikke direkte fremkommer i oppgaven. Dette var allikevel til god hjelp under tolkning av innsamlet data og har bidratt i form av økt forståelse i arbeid med oppgaven og omkring temaet tunneldrift generelt.

Tidlig i arbeid med oppgaven ble viktigheten av en stor mengde data innsett. Det viste seg etter hvert å komme inn klart flest planer fra tversnitt på rundt 60–80 m². For å få et representativt utvalg i datasamlingen ble det derfor videre fokusert på å samle planer fra større og mindre tversnitt.

Med tanke på oppgavens omfang og øvrige arbeider ble det ansett som unødvendig å foreta strukturerte intervjuer i forbindelse med innsamlingsarbeidet. Innhenting av selve borplanene stod i fokus ettersom det var data derfra som skulle legge grunnlaget for den kvantitative sammenligningen i oppgaven. Det ble derfor vektlagt å kontakte en større mengde aktører for å innhente så stort antall planer som mulig.



Figur 2 - Eksempel på innhentet borplan, fra innsamlede data

Ettersom det er behandling av målbare data som har stått i fokus, vil datainnsamlingen beskrevet over kunne karakteriseres som kvantitativ. Det går ikke i dybden for hvert av studieobjektene, og innhenting av data fra en stor mengde borplaner har stått i fokus. Allikevel kan det sies at metoden er kvalitativ, i den grad at det ble kommunisert mer enn kun overføring av borplanene. Denne kommunikasjonen fulgte ikke noen plan, og var et *jeg-du-forhold*, til forskjell fra et *jeg-det-forhold* som ren datainnhenting kan sies å være (Dalland, 2012). På denne måten har forskningsmetodene benyttet i innsamling av dataene innslag både fra det kvalitative og det kvantitative.

Når det kommer til grad av gjennomførbarhet vurderes valgt metode som gode. Masteroppgavens omfang er begrenset med tanke på tid, og det vil derfor være hensiktsmessig å benytte fremgangsmåter for datainnhenting som ikke krever overdrevne mengder for- og etterarbeid. Valgt fremgangsmåte for datainnsamling var effektiv så fort kontakt med bidragsytere ble opprettet.

2.2.1 Antagelser og usikkerhet knyttet til datainnsamling og -behandling

Det ble på forhånd antatt at både kvalitet og kvantitet på data som skulle innhentes kunne forbindes med usikkerhet. Informasjon om utførelsesprosedyrer og planlegging legger grunnlaget for produksjonen for entreprenører, og vil muligens kunne være unntatt offentligheten. Det ble også tatt med i betraktning at data som innhentes er subjektiv for det selskapet og bør vurderes deretter. Å lage en borplan er i utgangspunktet basert på subjektive vurderinger og tidligere erfaring, og det finnes sjelden noe fasitsvar til utførelse. Dette må tas med i en kritisk vurdering av dataene innhentet. Hver entreprenør har sin egen måte å gjøre ting på, som de antageligvis er stolte av og mener er rett. At deres rutiner skal analyseres og vurderes kan derfor oppleves lite hensiktsmessig og i verste fall føre til ønske om å ikke stille data til disposisjon. De alle fleste som ble kontaktet bidro derimot velvillig med borplaner, men med varierende mengder.

På bakgrunn av anonymitetstematikken beskrevet i avsnitt 1.5 har ikke planene i seg blitt vedlagt i rapporten, men samlet i et datasett presentert i vedlegg 7.2. Dette kan sies å redusere forskningens reliabilitet da etterprøvbarehet reduseres, men ble vurdert nødvendig av hensyn til juridiske årsaker. Til tross for dette vurderes informasjonen samlet inn som både troverdig og pålitelig. Alle aktørene kontaktet har tilknytning til et selskap, og det kan antas at de vil stille sin arbeidsgiver i et så godt lys som mulig ved å bidra med data til forskningsarbeid. Reliabiliteten ansees derfor som god. Det samme gjelder for dataenes validitet, ettersom informasjonen som her fremkommer av borplanene direkte beskriver forholdene som skal undersøkes i oppgavens problemstilling.

Planene som ble innhentet var stort sett av lik karakter. Informasjonen som var interessant, og som i de fleste tilfeller fremgikk av planene, var tverrsnittsstørrelse (teoretisk og ansettprofil), buelengde, borhullsmengde og antall borhull i de ulike gruppene. I de tilfeller der mål ikke lot seg lese direkte av planen ble gjeldende bidragsyter kontaktet igjen for oppklaring, noe som i de fleste tilfeller var uproblematisk. I noen tilfeller forekom det også at kun teoretisk eller kun ansettprofil var oppgitt i planen. Det digitale verktøyet AutoCAD ble da benyttet for å finne ukjente arealer eller lengder. I disse tilfeller vil unøyaktighet hos forfatteren være en kilde til usikkerhet.

En generell usikkerhet er at fordypningsoppgaven baserer seg på «kontorlagde» tegninger, det vil si planer fremstilt i forkant av sprengningsarbeidene. På bakgrunn av subjektive vurderinger hender det at drivemannskapet velger å justere på bormønsteret i forhold til planlagt ansett, noe som vil alterere sprengningsresultatet noe fra slikt ansettprofilen var tenkt da borplanen ble fremstilt. Slike momenter har grunnet oppgavens omfang ikke blitt tatt høyde for, da datagrunnlaget i sin helhet består av de innsendte planene. Dette blir ytterligere drøftet i oppgavens diskusjonsdel.

For å muliggjøre systematisering og datatolkning ble relevant informasjon hentet fra de innsamlede planene sortert i matrisen presentert i vedlegg 7.2. Dette ble gjort under følgende antagelser og forenklinger:

- **Borhulldiameter:** Der annet ikke var oppgitt i borplanen ble det antatt 48 mm hulldiameter, ettersom dette er det vanligste i Norge. Dersom antagelsen ikke stemmer vil dette være en kilde til usikkerhet ettersom Figur 16 ikke lengre vil være gjeldende.
- **Salvelengde og erfaringsnivå:** Der det ikke fremgikk av borplanen ble det antatt 5 m salvelengde. Dette vil være en kilde til usikkerhet dersom antagelsen ikke stemmer, ettersom korreksjonsfaktoren k_{bl} da ville fått innvirkning (Figur 16). Kurvene for denne faktoren strekker seg kun til salvelengder opp til 5,5 m. For salvelengder over dette ble kurvene ekstrapolert for avlesning ved gjeldende verdier. Det ble også antatt høyt erfaringsnivå hos arbeiderne for samtlige tverrsnitt.
- **Grov- og boltehull:** De fleste borplanene inkluderte grovhull og i noen tilfeller hull til bolter. Disse ble ikke medregnet i antall borhull for tverrsnittene.
- **Inndeling av innsamlede data etter sprengbarhet:** Grunnet stor variasjon i bergmassens sprengbarhet for de ulike tverrsnittene, samt forskjellen i NTNU-modellen mellom medium og dårlig sprengbarhet, ble det valgt å dele de innsamlede dataene i to grupper. Dataene fra de innsamlede prosjektene gav i noen tilfeller ikke informasjon om sprengbarheten i prosjektområdet. Der slik informasjon ikke forelå ble sprengbarhet antatt på bakgrunn av prosjektområdets generelle geologi. Dette vil være en kilde til usikkerhet i analysens resultat. Ut fra informasjon som forelå samt antagelsene nevnt over, ble det konkludert med at følgende inndeling ville være gunstig:

Tabell 2 - Inndeling av tverrsnitt

Tverrsnitt 1–43:	Medium sprengbarhet
Tverrsnitt 44–55:	Dårlig sprengbarhet

På bakgrunn av denne inndelingen ble det samme gjort for å finne anbefalt konturhullavstand fra NTNU-modellen. Gjennom interpolasjon av veiledende verdier i Tabell 6 ble det funnet at anbefalt konturhullavstand i modellen for medium sprengbarhet var 0,8 m og 0,75 m for dårlig sprengbarhet. Denne forenklingen vil være en kilde til usikkerhet dersom antagelsen ikke stemmer, ettersom bergmassens sprengbarhet er utslagsgivende for resultatet NTNU-modellen gir (Zare, 2007).

- **Grøfter og kumutvidelser:** Verken standardtverrsnittene fra Statens vegvesen (se avsnitt 3.7.1) eller Zares revisjon av prognosemodellen inkludere utvidelser for grøfter eller kummer i datasettene. Mange av tverrsnittene benyttet i denne oppgaven er derimot designet med grøfter, og disse vil medregnes i registrering av antall borhull og tverrsnittsareal. Så lenge både utvidet areal og borhullsmengde grunnet utvidelsene tas med, ses dette på som uproblematisk. På denne måten kan oppgitt teoretisk eller prosjektert tverrsnittsareal og borhullsmengde benyttes direkte dersom dette er oppgitt i planen.

- **Begrensninger i modellens kurver:** Etersom sammenhengen mellom borhullsmengde og tverrsnitt fra NTNU-modellen bare er gjeldende opp til 120 m² (Figur 16), ble kurvene videreført ut ifra gjeldende tendens der tolkning over denne tverrsnittsstørrelsen var nødvendig.

Til slutt bør det også spesifiseres at nesten alle de innsamlede tverrsnitt stammer fra veiprosjekter i Norge. For disse foreligger det standarder og krav til utforming, mens for eksempel for vannkrafttunneler, som var inkludert i datagrunnlaget til Zares prognosemodell, kan kravene være annerledes. Dette vil være en kilde til usikkerhet i den komparative analysen av datainnsamlingens resultater opp mot modellen.

2.3 CASE-STUDIE

Case-studier defineres av Yin (2018) som *en empirisk metode som går i dybden om et ekte, aktuelt fenomen*. Ved å benytte case-studier har forfatter muligheten til å undersøke et tema fra flere vinkler gjennom bruk av flere metoder (triangulering) og innhente flere typer data (Yin, 2018).

Å ta i bruk case-studie for datainnsamling falt naturlig da det skulle stadfestes konkrete parametere fra virkeligheten. Det ble sett på som gunstig å fokusere på ett prosjekt og gå i dybden på dette, fremfor å innhente generelle meninger fra ulike bidragsytere. Objektet som ble undersøkt i case-studiet var et offentlig veitunnelprosjekt i Norge. Her ble det gjennomført feltarbeid gjennom et opphold på prosjektet over tre dager. Aktivitetene foretatt på feltbesøket kan deles i tre deler; observasjoner, intervjuer og innhenting av ytterligere data til den komparative analysen. Målet med oppholdet var å innhente informasjon som skulle fungere som forskningsgrunnlag for oppgaven. Momenter herfra vil kunne fungere som verktøy for verifisering av resultater fra den komparative analysen som skal utføres.

Grunnet anonymiseringen diskutert i avsnitt 1.5 vil verken prosjektnavn, aktører eller annen informasjon som vil kunne identifisere prosjektet bli fremlagt.

2.3.1 Observasjon

I tillegg til en solid omvisning på anlegget ble det som en del av prosjektbesøket gitt tillatelse til å være med på stuff for å observere hvordan tunneldriverne arbeider. Dette innebar å være med på boring og lading, samt detonasjon av en salve. I denne forbindelse ble det også innhentet tre steinprøver som senere skulle testes for sprengbarhet på laboratorium, se kapittel 2.4. Oppholdet bidro også til å knytte bekjentskap med nøkkelpersoner på prosjektet. Delprosjektleder på tunnel, formenn for driverlag,



Figur 3 - Foto av stuff under lading, tatt fra hytta på borrygen

borriggoperatør samt stikkere og stikningsledere bidro til å belyse spørsmål både under og i etterkant av besøket. Det ble hele veien lagt vekt på å stille mange spørsmål, som stort sett ble godt mottatt blant de ansatte. I forkant av besøket ble det antatt at forfatterens rolle som besøkende student kunne være en barriere for informasjonsinnhentingen, spesielt blant fagarbeiderne. Generelt var allikevel de fleste meget imøtekommende og svarte velvillig og godt på spørsmål som ble stilt.

Selv om momenter avdekket gjennom generell observasjon på prosjektbesøket ikke vil fremgå direkte i oppgavens resultatdel, bør den likevel nevnes. Timene på stuff, omvisningen på anlegget og samtaler med de ansatte bidro til å besvare spørsmål forfatteren hadde i forbindelse med oppgaven, men også til å øke generell forståelse for tunneldriving i praksis.

2.3.2 Kvalitative intervjuer

Å benytte kvalitative forskningsintervju muliggjør innhenting av omfattende informasjon som belyser hvordan intervjuobjektene ser på et bestemt fenomen eller en gitt situasjon (Jacobsen, 2005). Man søker å fremme objektets meninger rundt et tema basert på dets subjektive erfaringer, tanker og følelser (Thagaard, 2002). Et kvalitativt intervju går i dybden på momenter som skal undersøkes, og det innhentes som regel en stor mengde opplysninger fra heller få undersøkelsesenheter. Man legger vekt på det særegne ved objektene, og gjennom delaktighet får forskeren et innblikk i hvordan fenomenet ser ut innenfra (Dalland, 2012). Til forskjell fra en kvantitativ tilnærming kan det sies at kvalitative intervjuer skaper et jeg-du-forhold mellom forsker og intervjuobjekt. Det legges også mer vekt på fleksibilitet og ustrukturerte observasjoner underveis i intervjuet. Ved bruk av kvalitative metoder har man ofte direkte kontakt med feltet under datainnsamling (Dalland, 2012).

For å forsterke utbyttet av case-studiet ble det valgt å gjennomføre kvalitative forskningsintervju under besøket på tunnelprosjektet. Disse ble gjennomført som ustrukturerte intervjuer hvor det på forhånd ble utarbeidet en liste over aktuelle spørsmål som kunne diskuteres. Spørsmålene her omhandlet aspekter ved drivingen som forfatter ønsket å belyse ytterligere. Disse skulle fungere mer som «snakkeknagger» enn regelrette intervjuguider for å sikre høy grad av fleksibilitet i intervjuene. Grunnet stor forskjell på de påtenkte intervjuobjektene ble det heller ikke sett på som hensiktsmessig å presentere alle spørsmål for alle objekter. De på forhånd utarbeidede spørsmålene er vedlagt i vedlegg 7.4.

Også i utarbeidelse av disse ble det lagt vekt på anonymitet for å hindre at verken prosjekt eller noen av intervjuobjektene senere skal kunne identifiseres.

Som intervjuobjekter ble det valgt to personer; én delprosjektleder og én borriggoperatør, som begge hadde mer enn ti års erfaring fra bransjen. Valg av disse ble tatt på bakgrunn av ønske om å få med meninger og erfaring fra både ledelse og fagarbeidere. Hvert av intervjuene ble gjennomført i løpet av omtrent 15 minutter, hvor det ble diskutert rundt ulike aspekter omhandlet i spørsmålslisten. For å ikke dra fokus bort fra samtalen ble det også benyttet en båndopptaker under intervjuene. Dette muliggjorde gjennomgang og transkribering av intervjuene i etterkant av prosjektbesøket.

Også ved intervjuer vil det foreligge fare for feilkilder. Dette kan sies å særlig være nærværende når man behandler et begrenset antall intervjuobjekter, noe som her er tilfelle. Som intervjuer er det også viktig å etterstrebe lavest mulig grad av påvirkning på objektene svar, noe som kan være en utfordring grunnet de ustrukturerte intervjuenes fleksibilitet (Thagaard, 2002). Dette er viktig å ha i bakhodet i gjennomføring av intervjuene, ved å ikke stille førende spørsmål eller på forhånd forvente hva objektene kommer til å svare. Det kan også tenkes at intervjuobjektene misforstår enkeltspørsmål, som fører til et annerledes svar enn det som var tiltenkt da spørsmålet ble stilt. Et større antall intervjuobjekter ville ha kunne redusert påvirkningsgrad for denne typen feilkilder.

Intervjuenes fleksibilitet vurderes å ha større positiv enn negativ virkning. Samtalene satt løst, og det var lav terskel for å snakke om tangerende tema dersom det passet seg. Spesielt i intervjuet med borrigg-operatøren ble denne tonen sett på som gunstig ettersom det formelle ved intervjuet ble duset ned.

Intervjuenes reliabilitet vurderes som høy. De valgte intervjuobjektene er nøkkelpersoner i forbindelse med driving av tunnel, som begge hadde lang erfaring fra bransjen og satt på store mengder faglig kunnskap. Forskningsmetoden er godt beskrevet, og lignende intervjuer kan gjennomføres i eventuelt videre arbeid med temaet. Beskrivelsen av styrker og svakheter over legger også føringer for hvordan arbeidet kan forbedres. Validiteten til intervjuene vurderes til middels. I arbeid med oppgaven lå hovedfokus på den kvantitative analysen, noe som gjenspeiles i de stipulerte problemstillingene. Det ble derfor valgt å ikke legge for mye vekt på intervjuene, men å benytte disse som et tilleggsbidrag til oppgaven. Momenter herfra vil derfor kanskje ikke ha direkte påvirkning til oppgavens konklusjon, men vil derimot være et godt verktøy for å belyse ukjente temaer for forfatter.

2.3.3 Innhenting av prosjektdata og dokumentgjennomgang

Gjennom prosjektbesøk og samtale med de ansatte ble det gitt tilgang til både den geologiske forundersøkelsen og MWD-data for prosjektet. Dette skulle senere fungere som bakgrunn for sammenligningsanalysen av estimert og utført tunnelarbeid opp mot prognosemodellen.

Styrker og svakheter ved dokumentgjennomgang som metode avhenger av materialet som gjennomgås. I gjennomgangen er det sjelden alt stoff som er relevant, og forfatteren vil måtte tolke hvilke informasjonsdeler som er av betydning for oppgavens problemstilling. I gjennomgang og tolkning av både MWD-data og forundersøkelsen vil derfor en kritisk vurdering av stoffet være viktig for å sikre høyest mulig validitet. Reliabilitet av den geologiske forundersøkelsen kan sies å være god ettersom den er utarbeidet på oppdrag fra en offentlig byggherre, ofte av en nøytral tredjepart. Da forundersøkelser er en del av konkurransegrunnlaget vil den ligge tilgjengelig for offentligheten, noe som ytterligere øker reliabiliteten da etterprøvbareheten er god. MWD-data som dokumentgrunnlag vil holde høy reliabilitet ettersom disse bygger på tilnærmet objektive programvaretolkninger av rådata direkte hentet fra borriggen. Leverandør for tolkning av MWD-dataene var norske Bever Control AS, som er en internasjonalt anerkjent aktør. Reliabiliteten til dataene som forskningsgrunnlag kan derimot sies å være

noe svekket ettersom de ikke er tilgjengelig for allmenheten uten spesiell tilgang. Se avsnitt 3.6 for teori vedrørende MWD-teknologi.

2.4 MÅLING AV SPRENGBARHET PÅ LABORATORIUM

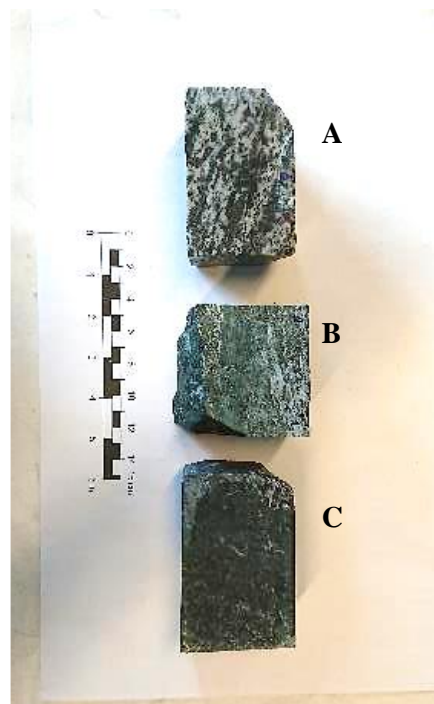
En stor fordel ved å benytte laboratorieforsøk er muligheten til å foreta analyser av forskningsobjekter under standardiserte forhold med høy grad av kontroll (CIRT, 2018). Gjennom god dokumentasjon av prosess og resultater har man mulighet til å sikre høy grad av etterprøvbarehet og følgelig reliabilitet. Laborietetester er gjerne utbredt og usikkerheter forbundet med disse kan tidligere ha blitt kartlagt og redusert.

For å kunne sammenligne prosjektets på forhånd antatte geologi og planlagte sprengningsarbeid, med gjeldende geologiske forhold ved utsprengt salve, ble det innhentet tre steinprøver. Disse prøvene ble testet for sprengbarhet på bergmekanisk laboratorium i regi av SINTEF/NTNU. Som beskrevet i oppgavens teoridel (se 3.3.2) inngår bergmassens sprengbarhet i form av sprengbarhetsindeksen (*SPR*) i NTNU-modellen. Det foreligger i skrivende stund ingen internasjonal standard for å bestemme *SPR*, men bergmekanisk laboratorium ved NTNU operer med godt egnede tester for å måle de ønskede faktorene som inngår i formelen for denne.

I dette kapittelet vil fremgangsmåter benyttet her bli beskrevet, samt usikkerheter knyttet til prosessen.



Figur 4 - Steinprøve hentet fra felt



Figur 5 - Stein kuttet til prøvestykker

2.4.1 Innhenting og forberedelser

Transport av steinene tilbake til studiested la begrensninger på prøvestørrelse, og det ble derfor valgt ut tre prøver i overkant av håndflatestørrelse. Det ble også forsøkt å velge ut så intakte og hele eksemplarer som mulig, uten synlige tegn til sprekker eller svakheter. De innhentede prøvene er vist i Figur 4. Tilbake på laboratoriet ble steinprøvene først grundig vasket for å nærmere kunne undersøke foliasjonsretning, svakheter og andre geologiske karaktertrekk. Basert på vurdering av dette samt den enkelte prøvens størrelse ble de så saget til prøvestykker med plane sider. For prøve A og C ble det kappet 6 flate sider, men grunnet størrelse på prøve B ble det her bare kappet til 4 flate sider. Dette ble gjort for å ha tilnærmet faste dimensjoner å arbeide med. De kuttete prøvestykkene er presentert i Figur 5 til Figur 8. For å lettere kunne referere til sidene ble også motstående flater nummerert parvis for alle steinene.



Figur 6 - Steinprøve A



Figur 7 - Steinprøve B



Figur 8 - Steinprøve C

2.4.2 Måling av lyd hastighet

For å kunne beregnes prøvenes anisotropi måtte lyd hastighet normalt på (c_n) og parallelt med (c_p) foliasjonen måles. Disse ble funnet ved å benytte en lyd hastighetsmåler av typen *Pundit Lab (+)* som sender ultralydbølger fra en sender til en mottaker, se Figur 9. Det sendes 10 pulseringer gjennom prøven, og resultatet er gjennomsnittstiden av disse ti målingene. I tillegg ble det benyttet ultralyd-gel for å sikre god kontakt mellom prøvene og sender og mottaker. Det ble tatt seks lengdemål på avstanden mellom de motstående sidene for alle steiner. Gjennomsnittene av disse verdiene ble deretter satt til avstanden som lydbølgene må bevege seg gjennom. Ved å dividere tidsmålingene for prøvene på de respektive lengdene finner man lyd hastigheten for de ulike prøvene i de ulike retningene.



Figur 9 - Apparat for måling av lydshastigheter

2.4.3 Måling av massetetthet

Prøvenes vekt ble først bestemt i tørr tilstand, deretter lagt i vann i 4 døgn, for så å måle vannmettet vekt. For å få et mest mulig nøyaktig mål på prøvenes volum, og dermed massetetthet, ble en vekt i kombinasjon med et vannbad benyttet. Innretningen fungerte slik at man først bestemte vekten av prøver i en kurv, for så å senke kurven ned i vann og finne nedsenket vekt. Differansen mellom disse var vekt av vannet fortrengt, og ettersom tettheten til vann er kjent (1 g/cm^3) kunne man derfra bestemme prøvenes volum. Oppsettet benyttet i målingen er presentert i Figur 10. Deretter ble prøvenes massetetthet beregnet ved å dividere tørr vekt på volum.



Figur 10 - Innretning for måling av prøvevolum

2.4.4 Antagelser og usikkerheter ved laboratoriearbeidet

Ettersom steinprøvene ble hentet fra et mellomlager i tunnelen innebærer dette at de allerede er utsatt for sprengning. Avhengig av hvor i bergmassen prøvene lå i forhold til borhullene vil det være rimelig

å anta at de har blitt påført sprengningsinduserte mikroriss. Om denne effekten er betydelig vil dette kunne påvirke SPR-verdien, ettersom økt mengde riss fører til lavere sonisk gjennomgangshastighet. At det kun ble innhentet tre prøver, og at man ikke vet hvor i salven disse er fra er en kilde til usikkerhet i seg selv. Geologien innad i samme stuff vil kunne variere mye, og svakere eller sterkere soner forekommer. Eksempel på stuff med ulik geologi kan sees i Figur 3, som er salven etter den salven der steinene er hentet.

Etter innhenting av prøvene informerte laboratorieassistent om at steinprøvenes størrelse kunne være en utfordring. Prøvestykkene burde være store nok til å kuttes til prizmer med 6 flate sider for å kunne måle lyd hastigheten så nøyaktig som mulig. Basert på vurdering sammen med laboratorieassistenten ble det allikevel konkludert med at prøvene innhentet kunne benyttes, ettersom man kun behøver fire flate sider (parvis motstående) for å måle lyd hastigheten i to retninger.

Prøvene ble kappet til for hånd etter beste evne. Ujevn saging kan ha medført litt unøyaktighet i målene for å finne lengden lyden må gå gjennom de tre prøvene. For å kompensere for dette ble det tatt fem mål mellom hver motstående flate for hver av prøvene, for så å ta gjennomsnittet av disse prøvene. Selv om spredningen var liten kan dette være en feilkilde ved måling. Ultralydgelen kan også sies å redusere effekten av ujevn saging.

Formelen for SPR krever lyd hastighet parallelt med og normalt på foliasjonsretningen (se ligning 3.1). For alle tre prøvene var det vanskelig å bedømme i hvilke retning det var foliasjon. På bakgrunn av dette ble det antatt at verdien for c_p vil være den høyeste målte lyd hastigheten for hver av prøvene og c_n vil være den laveste.

Når man tester berget for sprengbarhet opererer man ofte med steinprøver hentet fra felt som testes i et laboratorium. På denne måten mister man muligheten til å ta med karaktertrekk som bergtrykk, diskontinuiteter og grunnvannets effekt i vurdering av bergets sprengbarhet (Nilsen, 2016). Eksempelvis vil det i en analyse av anisotropi derfor være viktig å skille mellom en bergarts og en bergmasses anisotropiske egenskaper. Resultater fra tester på laboratorium vil ikke nødvendigvis samsvare med slik bergmassen i tunnel er. Bergarter med utpreget foliasjon og stor anisotropi, som for eksempel glimmerskifer og fyllitt, er de som oftest skaper problemer med hensyn til sprengbarhet. Hvis foliasjonens strøk er parallelt tunnelens lengdeakse, eller dersom foliasjonen er flattliggende, er det spesielt ugunstig. En annen årsak til anisotropiske egenskaper i en bergart kan være forekomst av mikroriss (Dammyr, 2018). Dette er små riss som ikke kan sees med det blotte øye, og som enten kan ha komme av naturlige årsaker eller være sprengningsindusert.

Selv om testene benyttet i undersøkelse av sprengbarhet er internasjonalt standardiserte, vurderes laboratoriearbeidets reliabilitet som god. Testene i seg selv er relativt rett frem, og har siden 80-tallet vært inkludert i NTNU-modellen. Validiteten av laboratoriearbeidet som metode kan også sies å være god ettersom det bidrar til å undersøke sprengbarhet, som er en viktig del i bruk av NTNU-modellen.

3 TEORI

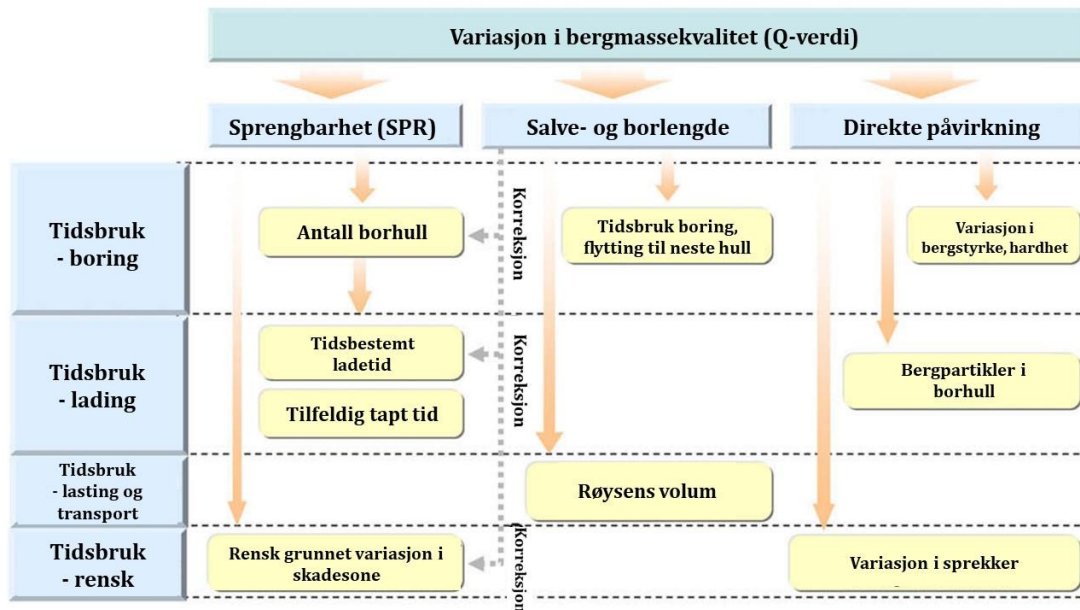
Som nevnt vil funnene omtalt i avsnitt 2.1.4 danne teoribasisen for oppgavens forskningsarbeid. I dette kapitlet vil hvert av disse presenteres og så langt det lar seg gjøre, relateres til oppgavens problemstilling. Ettersom hovedfokuset med denne masteroppgaven ligger på verifisering av NTNUs egen prognosemodell vil denne bli viet mest oppmerksomhet. Det vil spesielt fokuseres på Prosjektrapport 2A-05 ettersom det er innholdet her som er mest relevant for oppgavens problemstilling (Zare, 2007). Store deler av teorigrunnet som presenteres under vil derfor bestå av aspekter omhandlet i denne prosjektrapporten. I kapitlet vil det fremlegges bakgrunnsteori for temaet sprengbarhet, en presentasjon av hvordan sprengbarhet kvantifiseres i NTNU-modellen, samt eksempler på andre sprengbarhetsindekser. Ulike prognosemodeller for tunneldrift identifisert gjennom litteratursøket vil presenteres, sammen med bakgrunnsteori for MWD-data og en kort presentasjon av to sentrale håndbøker fra Statens vegvesen.

3.1 SPRENGBARHET

En viktig faktor å ta hensyn til når sprengningsarbeider i tunnel planlegges er bergmassens sprengbarhet. Dette er et begrep som relateres til mengde sprengstoff nødvendig for å bryte berget i ønsket grad. Sprengbarhet er viktig å ta med i vurderingen av tunnelarbeider for å oppnå best mulig resultat, både med tanke på kvalitet, kostnad og HMS. Det bør tas hensyn til kontinuerlig gjennom hele drivingen, da store endringer i sprengbarhet kan medføre nedsatt fremdrift før disse er tatt høyde for (Bruland, 2013a).

Ved planlegging av tunnelarbeider bør bergmassens sprengbarhet bestemmes før tunneldriften starter (Zare, 2007). Dette kan blant annet gjøres ved bruk av laboratorietester. Når estimer for kostnader og tidsbruk av tunneldrift gjennom en bergmasse bestemmes, vil sprengbarheten ha stor påvirkning. God sprengbarhet tilsier at ønsket fragmentering kan oppnås med lavt forbruk av sprengstoff og bormeter. Slike forhold fører til at tid- og ressursbruk reduseres i form av for eksempel mindre sprengstofforbruk, lettere lasteforhold og mindre boring og etterfragmentering (Zare, 2007). Dette fører igjen til at totale kostnader reduseres. I Figur 11 under illustreres hvordan sprengbarheten påvirker tidsbruk for ulike deler i tunnelarbeider.

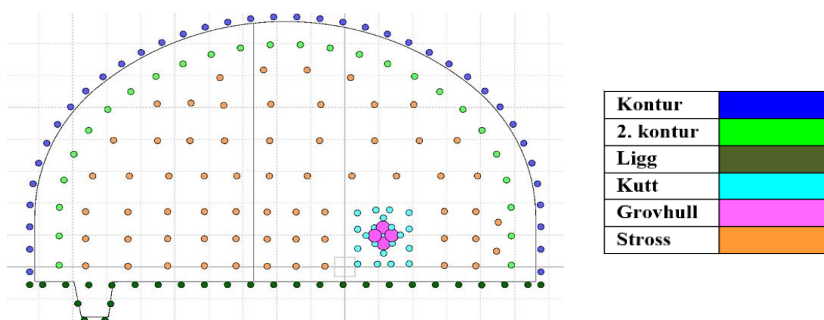
I de to påfølgende avsnitt vil sprengbarhet som fenomen presenteres generelt. Internasjonalt finnes det flere måter å undersøke sprengbarhet på, inkludert en metode utviklet her ved NTNU. I senere avsnitt vil det beskrives hvordan sprengbarhet håndteres i NTNU-modellen, samt en kort presentasjon av eksempler på øvrige sprengbarhetsmoduler som finnes i dag (se henholdsvis 3.3.2 og 3.4).



Figur 11 - Bergmassekvalitetens påvirkning på tid i tunnelprosjekter (Kim & Bruland, 2009, p. 586)

3.1.1 Sprengningsforløpet under jord

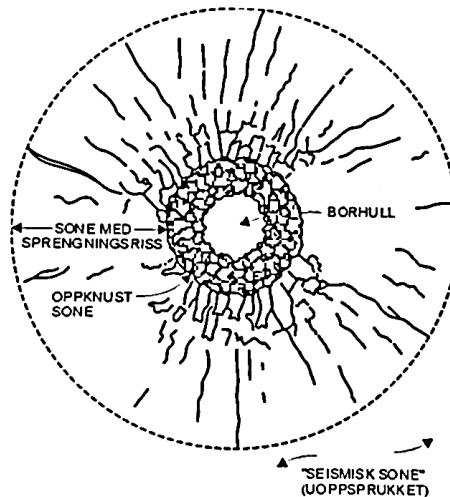
Generelt kan det sies at all bergsprengning bygger på prinsippet om å oppnå utslag mot fri flate ved detonasjon. For sprengningsarbeider under jord er volumet som skytes innspent i mye større grad enn ved skyting av for eksempel pallsalver. Det brukes derfor uladete grovhull i den såkalte *kutten* for å oppnå tilstrekkelig bryting. Det finnes flere måter å utforme denne på, men uansett er en god kutt viktig for hvordan det videre sprengningsforløpet utarter seg. I tillegg til kutt og grovhull skiller det mellom hull i kontur, andre kontur, ligg og strosshull (Nilsen, 2016). Normal plassering for hull i de ulike gruppene vises i Figur 12.



Figur 12 - Tunnelverrsnitt med hullgrupperinger

Når sprengladningen går av inducerer reaksjonsgassene en impulsiveffekt mot borhullsveggen gjennom ekspansjon. Dette støtet, ofte kalt *detonasjonsstøtet*, virker som en sjokkbølge som virker radielt ut fra borhullene, som igjen generer tangentielle strekkspenninger. Ved vellykket sprengning får dette effekten av radielle riss rundt borhullet (Nilsen, 2016). Alt dette skjer i brøkdelen av et millisekund, før bergmassen i det hele tatt er satt i bevegelse. Neste trinn i sprengningsforløpet er den statiske

påvirkningen av at reaksjonsgassene trenger inn i riss og sprekker i bergmassen, både de dannet av detonasjonsstøtet, men også eventuelle naturlig forekommende oppsprekninger. Effekten av dette gasstrykket vil utvide sprekker og riss i bevegelse mot fri flate, og bryte berget løs (Nilsen, 2016). I Figur 13 vises prosessene beskrevet over skjematisk.



Figur 13 - Effekten av detonasjon i et borhull (Nilsen, 2016, p. 261)

3.1.2 Forhold som påvirker sprengbarhet

Det er stor variasjon i sprengbarhet mellom ulike bergarter, og ulike forhold har ulik grad av påvirkning fra salve til salve. Ikke bare de ikke-geologiske faktorene som ladetetthet og utforming av kutt har stor påvirkning på sprengingsresultatet, men bergmassens karakteristikk er også viktig. Nilsen (2016) beskriver at under «normale» geologiske forhold vil inndriftsraten kunne være 90–100 % av boret lengde, mens den gjennom vanskelig geologi kan reduseres til 50 %.

I Tabell 3 er noen av faktorene som påvirker en bergmasses sprengbarhet listet opp. Disse har blitt inndelt i to grupper – forhold påvirket av geologi og sprengningstekniske forhold. Ulike metoder for kvantifisering av sprengbarhet legger vekt på ulike faktorer, og ikke alle tar hensyn til alle de samme forholdene. Det er også viktig å merke seg forskjellen på sprengbarhet for en bergart og sprengbarhet for en bergmasse, som vil diskuteres senere i oppgaven. Dette kommer ofte til uttrykk i forskjellen mellom sprengbarhet målt på bergprøver i laboratorium og den faktiske sprengbarheten når tunnelmassene skal sprenges ut.

Tabell 3 - Faktorer som påvirker sprengbarhet (Nilsen, 2016) (Broch & Nilsen, 1999) (Bruland & Olsen, 2016)

Geologi	
Densitet	Bergets tetthet
Lydforplantningshastighet	Hvor fort lyd går gjennom bergmassen, lav lydshastighet indikerer generelt stor dempningsevne
Motstand mot nedknusing	Bergmassens evne til å motstå mekanisk brytning – høy motstandsevne minsker faren for pulverisering av sonen rundt borhullene (<i>brenning</i>)
Dempningsevne	Bergmassens evne til å dempe støtbølgen sprengstoffet induserer
Bergmassens strekkstyrke	Bergmassens motstand mot sprengstoffets evne til å indusere riss rundt borhull
Anisotropi	Anisotropi for en bergart eller bergmasse tilsier at dens egenskaper varierer med retning
Oppsprekkingsgrad	Karakteriserer sprekke i en bergmasse, deres avstand og orientering i forhold til hverandre – naturlig forekommende sprekker påvirker den statiske brytningseffekten
Bergtrykk	Et moderat bergtrykk vil bidra til økt innspenning og motvirke dannelse av riss, mens høyt bergtrykk kan føre til brytning av salven
Mineralogi	Bindinger og kornstrukturer innad i bergmassen
Sprengningstekniske forhold	
Ladetetthet	Vekt av sprengstoff per volum borhull. Bestemmes av sprengstoffets egenvekt og pakningsgrad
Type sprengstoff	Forskjellige typer sprengstoff har ulik energiinnhold og sprengseffekt
Detonasjonshastighet	Varierer mellom 2000–8000 m/s for sivile sprengstoff, betinget av pakningsgrad, tennmiddel og ladestregens diameter
Utforming av kutt	Som nevnt er måten kuttet skytes utslagsgivende for videre sprengningsforløp
Nøyaktig boring og lading	For å oppnå ønskede resultat er det avgjørende at bore- og ladearbeidene utføres med stor nøyaktighet og etter satte normer og regler

3.2 PROGNOSEMODELLER FOR TUNNELARBEIDER

Mange anleggsarbeider er preget av større økonomisk risiko enn andre byggeprosjekter. Oppgavene som skal utføres blir stadig mer komplekse, og i senere tid har også mange store samferdselskontrakter økt betraktelig i størrelse (Brekkehus, 2019). Dersom uhellet er ute vil utfallet kunne ha stor negativ innvirkning, og den parten som sitter med risikoen må ta konsekvensen av dette. Spesielt for tunnelarbeider kan det sies at risikobildet er stort grunnet mer eller mindre ukjente berggrunnsforhold. Det å kalkulere inn fornuftig risiko i anbudet er ofte problematisk. Risikopåslaget må være stort nok til å kunne fungere som buffer dersom uønskede hendelser oppstår, men lite nok til å vinne anbudskonkurransen. Én måte å ta høyde for denne risikoen på er å benytte prognosemodeller.

Prognosemodeller for tunneldrift benyttes i dag av flere parter og selskaper i bransjen, i varierende grad, og i ulike prosjektfaser. Hovedsakelig kan det sies at prognosemodeller er et verktøy for planlegging av sprengningsarbeider og evaluering av kostnadsbruk og gjennomføringstid. Både for entreprenør og byggherre vil dette være høyst relevant informasjon å tilegne seg i forkant av et prosjekt, for å være bedre rustet til avgjørelser både for planlegging og utføring av arbeidene, og dermed redusere risiko. Prognosemodeller kan også gi anbefalinger til utførelse i form av sprengningstekniske metoder og utstyrsbruk. Et annet eksempel på bruksområde er i arbeid med tvister mellom entreprenør og byggherre. Ofte leies nøytrale tredjeparter (konsulenter) inn for å løse tvister, og da kan prognosemodeller være gode hjelpemidler for å analysere de utførte arbeidene. Modeller kan også benyttes i forbindelse med mulighetsstudier i valg av prosjektkonsept. Det er altså av interesse for mange at prognosemodeller gir realistiske resultater, og er verifisert opp mot dagens utførelsesmetoder og prosedyrer.

3.3 NTNUS PROGNOSEMODELL FOR KONVENsjONELL TUNNELDRIFT

NTNU-modellen for konvensjonell tunneldrift er et empiribasert prognoseverktøy for planlegging av arbeider og for estimering av inndrift og kostnader ved bruk av boring og sprengning som drivemetode. Første versjon ble publisert i 1975, og den har blitt revidert flere ganger siden. Siste revisjon ble publisert i Shokrollah Zares doktorgradsavhandling i 2007, som en oppdatering av *den eneste bredt brukte prognosemodellen for boring og sprengning* med data fra datidens teknologi, utstyr og feltstudier (Zare, 2007).

Zares avhandling inneholder fire utgivelser inkludert et utviklet dataprogram; *Drill and Blast Tunnelling – Blast design (2A-05)*, *Drill and Blast Tunneling – Advance Rate (2B-05)*, *Drill and Blast Tunnelling – Costs (2C-05)* og Tunsim, som er et simuleringsverktøy (Zare, 2007). Disse dekker oppdaterte retningslinjer for design av bormønster samt prognoseverktøy for inndrift og kostnader til bruk i planlegging og prosjektering. Modellen er egnet for bruk i alle faser av tunnelprosjekter, og for tverrsnitt i ulike størrelser.

Rapport 2A-05 beskriver sprengharhet for bergmasse og fremgangsmåter for utforming av borplaner for ulike tverrsnitt. Metoden og data brukt i den forbindelse er presentert for bruk av parallellhullkutt med borhullsdiameterer 48 mm og 64 mm. Her fremkommer også nødvendig forbruk for bulk og patronert sprengstoff. (Zare, 2007)

Rapport 2B-05 fremlegger en oppdatert estimeringsmodell for inndrift. Tidsbruk for de største arbeidsoperasjonene slik som boring, lading, skyting, ventilering, lasting, transport, rensk og sikring er presentert for alle tverrsnitt og ulike tunneldrivingsmetoder. Avslutningsvis fremlegger Zare en anbefaling til beste kombinasjon av utstyr og fremgangsmåter for en 3 km lang tunnel boret med 48 mm borhull, med tilhørende estimat for ukentlig inndrift. (Zare, 2007)

I 2C-05 presenterer Zare en detaljert metode for å beregne kostnader for tunnelarbeider. Kostnadene for de ulike aktivitetene i tunnelbygging presenteres grundig, samt at det fremlegges et eksempel med beregning av total byggekostnad for en tunnel, inkludert sikring.

TunSim er et regnearkbasert kalkulasjonsverktøy som legger til rette for enkel bruk av prognosemodellen. Programvaren kan benyttes for kombinasjoner av ulike tverrsnittsstørrelse og maskiner. TunSim kan beskrives av følgende:

- Rask og nøyaktig beregning av tid og kostnader, som et alternativ til papirversjonen
- Mulighet til å variere all input-data
- Paramaterstudier og risikoanalyser for ulike input-data relatert til tid og kostnader
- Beregningsmetoder for design av bormønster og ventilasjonsdimensjonering

Et karaktertrekk ved NTNU-modellen er at den er deterministisk. Input som bergmassekarakteristikk, tunnelens utforming, utstyr og maskiner benyttet og drivernes erfaringsnivå legges inn i modellen, og resultatene som frembringes er direkte avhengig av disse. Ønsker man å ta høyde for usikkerhet må estimeringen gjentas for en rekke parameterverdier, for så å sammenligne resultatene fra hver estimering. Zare skriver at dette kan føre til et visst avvik mellom feltdata og anbefalingene fra modellen, men at analyse av disse gir akseptable korrelasjoner. I avhandlingens konklusjon fremlegges det også at mulig videre arbeid med modellen kan være inkludering av sannsynlighetsforhold. (Zare, 2007)

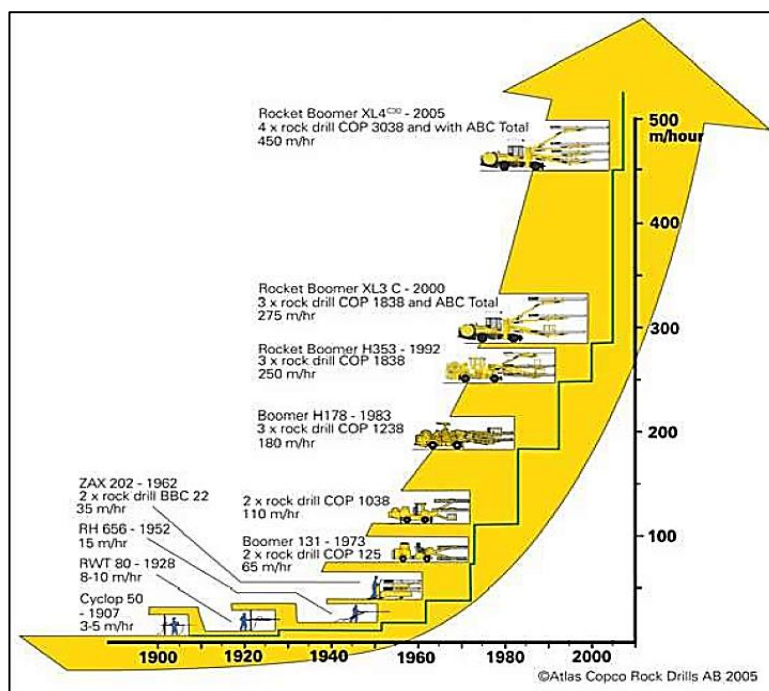
I avsnittene under vil de momenter fra modellen som er relevant for oppgavens problemstilling legges frem. Det vil derfor fokuseres mest på innholdet i Prosjektrapport 2A-05.

3.3.1 Modellens historie

Ettersom teknologi og utførelsesmetoder endrer seg gjennom årene, har modellen blitt revidert for å tilpasse seg dagens standard. Siden 1975 har den blitt fornyet fem ganger frem til siste revisjon av Zare i 2007 (basert på 2005-data). Under følger et sammendrag av modellens utvikling.

- 1975:** Publisert for 34 mm borhull med lengde 2,1 m og 45 mm borhull med 2,7 m lengde, med nødvendig boring og sprengstofforbruk for de to kombinasjonene. Modellen var gjeldende for tverrsnitt opp til 80 m². Nettoinndrift var 30–140 cm/min for middels borbarhet, med borhammeren Cop 1038 som mest effektiv. Lastekapasiteten var da 25 fm³/h for et 16 m² tverrsnitt og 160 fm³/h for et 80 m² tverrsnitt.
- 1979:** Borhulldiameter ble endret til 45 mm hull, med lengder på 2,7–3,4 m. Her ble det også inkludert kurve for spesifikk lademengde med Anolit-sprengstoff. Nettoinndrift for en DRI på 50 var da 70–155 cm/min, fremdeles med Cop 1038 som beste hammer. Toppkapasiteten på lasting var da 180 fm³/h. Det ble her også skilt mellom rensk fra røys og rensk med borrigg.
- 1983:** Standard borlengde endret til 3,7 m. Maks lastekapasitet endret til 235 fm³/h.
- 1988:** Sprengbarhetsindeksen SPR ble introdusert, og det skiltes nå mellom god, medium og dårlig sprengbarhet for gjeldende bergmasse. Nettoinndrift var her 70–200 cm/min for en DRI på 50, hvor maks kapasitet ble levert av Cop 1440 borhammer. Maks lastekapasitet var 250 fm³/h.
- 1995:** Borhulldiameterne 45 og 64 mm ble brukt og standard borlengde ble økt til 5 m. Delen om design av bormønster ble utbedret stort, og emulsjonssprengstoff ble inkludert i modellen. Maks nettoinndrift på 230 cm/min ble nådd (Cop 1838). Maks lastekapasitet var 260 fm³/h. Tidsbruk for sikringsarbeid ble inkludert i modellen.
- 2005:** Modellen blir oppdatert til å passe den nå mest brukte borhulldiameteren på 48 mm. Det regnearksbaserte simuleringsverktøyet TunSim blir også fremstilt, som tar inn verdier som tunnelgeometri, bormønster, geologiske parametere og utstyr, og gir ut tid og kostnad for tunneldriften.

(Zare, 2007)



Figur 14 - Boreutstyrets utvikling, 1905–2005 (Atlas Copco, 2006, p. 8)

3.3.2 Design av bormønster og SPR

Modellen for design av bormønster (eller *blast design*) er beskrevet av Zare i Prosjektrapport 2A-05 (Zare, 2007a). Her deles borhullene i et tunneltverrsnitt inn i følgende grupperinger; kutt, stross, ligg, kontur og andre kontur. For kontur og andre konturrast anbefales det redusert lademengde (henholdsvis 20–25 % og 40–60 % av normal lademengde) for å hindre skade på gjenstående berg. Utforming av hver hulltype avhenger av bergmassens egenskaper og tverrsnittets geometri, som evalueres og fastslås på forhånd. NTNU-modellen benytter følgende parametere som input-verdier, som alle vil påvirke utformingen av borplanen:

- Bergmassens sprengbarhet
- Borhulldiameter
- Salvelengde
- Tunneldrivernes erfaringsnivå

(Zare & Bruland, 2005)

Det er viktig å merke seg at det ikke finnes noe fasitsvar til hvordan bormønster skal utformes. Hver stoff er forskjellig og ulike momenter påvirker sprengningen fra salve til salve. Modellen gir imidlertid et forslag til fremgangsmåte ved utarbeidelse av bormønster.

1. Bergmassens sprengbarhet evalueres.
2. Salvelengde bestemmes. For hydraulisk boring tilsvarer salvelengde borstengenes lengde minus 0,4–0,5 m.
3. Nødvendig borhullsmengde og nødvendig boring bestemmes ut ifra Figur 16 eller Figur 17.
4. Type kutt velges og kutten utformes.
5. Kontur: forsetning, hullavstand og eksentrisitet på bunnen av borhullene bestemmes for kontur og andre kontur
6. Ligg: forsetning, hullavstand og eksentrisitet på bunnen av borhullene bestemmes.
7. Strosshull: forsetning og hullavstand bestemmes. Områdene nærmest kutten gis ekstra oppmerksomhet. Kuttens plassering justeres ut ifra tverrsnittets geometri.
8. Antall borhull i salven (ikke inkludert grovhull) kontrolleres ut ifra punkt 3 over. Et avvik på 5 % aksepteres.
9. Testsprengning og nødvendige justeringer utføres.

(Zare, 2007)

Sprengbarhet i NTNU-modellen (SPR)

Som nevnt ble det fra og med revisjonen av 1988 tatt høyde for sprengbarhet i design av bormønster i NTNU-modellen. Det ble da utviklet en indeks, *SPR*, som tallfester bergets sprengbarhet. I Zares doktorgrad (2007a) defineres sprengbarhetsindeksen som *den mengde sprengstoff (kg/m³) nødvendig for å bryte berget til gitt fragmentering, hvor 50 % av sprengmassen er under 250 mm (d₅₀ = 250 mm)*. *SPR* tallfestes gjennom kombinasjon av et utvalg faktorer som karakteriserer både geologi og sprengstoffet som benyttes. Disse er listet under.

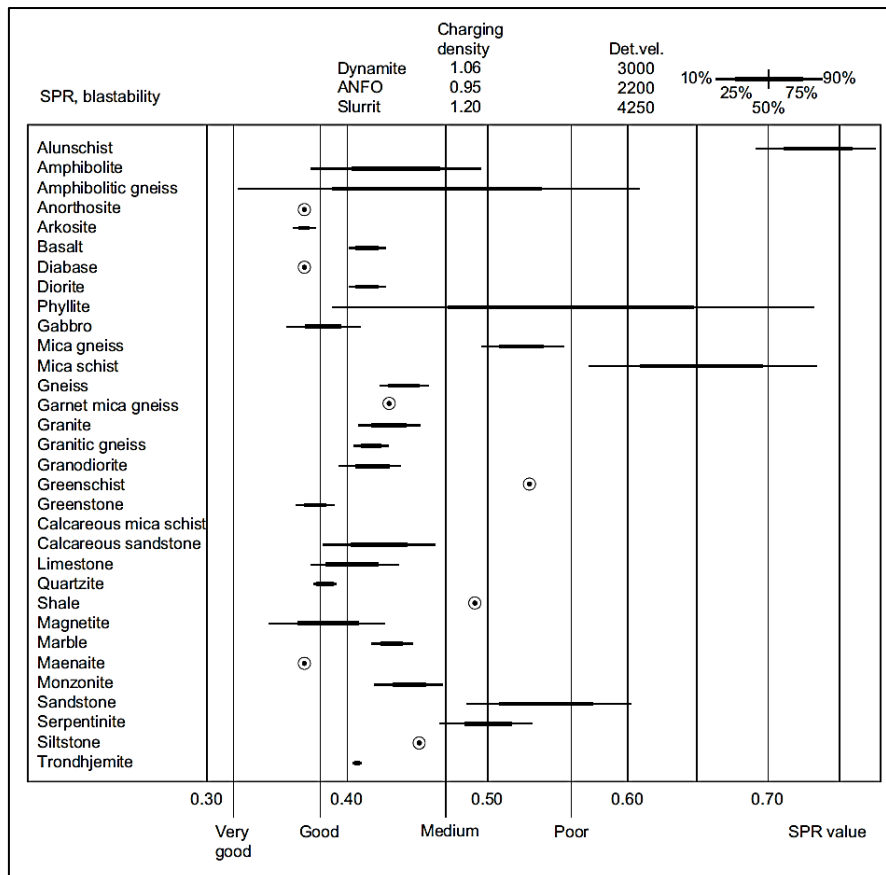
- Tørr lydshastighet normalt på foliasjon: c_n (m/s)
- Tørr lydshastighet parallelt med foliasjon: c_p (m/s)
- Anisotropi: $c_p / c_n = I_a$
- Tørr lydshastighet: $(c_p + c_n) / 2 = c$ (m/s)
- Bergets densitet: ρ (g/cm³)
- Ladetetthet (sprengstoff pr borhull): LT (g/cm³)
- Sprengstoffets detonasjonshastighet: w (m/s)

(Zare, 2007a)

De geologiske faktorene tallfestes gjennom testing av steinprøver på et laboratorium (se fremgangsmåte i kapittel 2.4). Basert på erfaringer fra sprengningsarbeid over jord med bulk og patronert sprengstoff har sprengbarhetsindeksen blitt bestemt til følgende:

$$SPR = \frac{0,736 \cdot I_a^{0,6} \cdot LT^{0,7}}{\left(\frac{c}{1000}\right)^{0,4} \cdot \left(\frac{w}{c}\right)^{0,25} \cdot \rho^{0,2}} \quad \begin{matrix} 3.3.2.1 \\ \text{(Zare, 2007a, p. 14)} \end{matrix}$$

Ettersom *SPR* er utviklet for sprengning over jord vil forholdene ved tunnelsprengning være noe annerledes. Den største forskjellen er antageligvis grad av oppsprekking i bergmassen, og sprekkenes orientering. Når oppsprekkingsgraden er stor vil sprengbarhetsindeksen økes, mens dersom sprekkorienteringen er parallell eller tilnærmet parallell med tunnelens lengdeakse vil sprengbarheten reduseres (Zare, 2007a). Basert på foretatte laboratorietester fremstiller Zare en oversikt over *SPR*-verdier for ulike bergarter. Denne er presentert i Figur 15. I Tabell 4 er det gitt eksempler på hvordan gjennomgangshastigheten for lyd og anisotropi påvirker utfallet for sprengbarheten.



Figur 15 - SPR-verdier fra tidligere gjennomførte laboratorietester ved NTNU (Zare, 2007a, p. 16)

Tabell 4 - Erfaringstall for sprengbarhet av bergarter (Bruland & Olsen, 2016, p. 5)

Bergart	Tørr lydshastighet (c)	Anisotropi (I_a)	Sprengbarhet
Glimmerskifer	2000–3000 m/s	1,5–3,0	Dårlig
Gneis	2500–4500 m/s	1,0–2,0	Medium
Granitt	3000–4500 m/s	1,0–1,3	God
Kalkstein	2800–5000 m/s	1,0–1,2	God/meget god

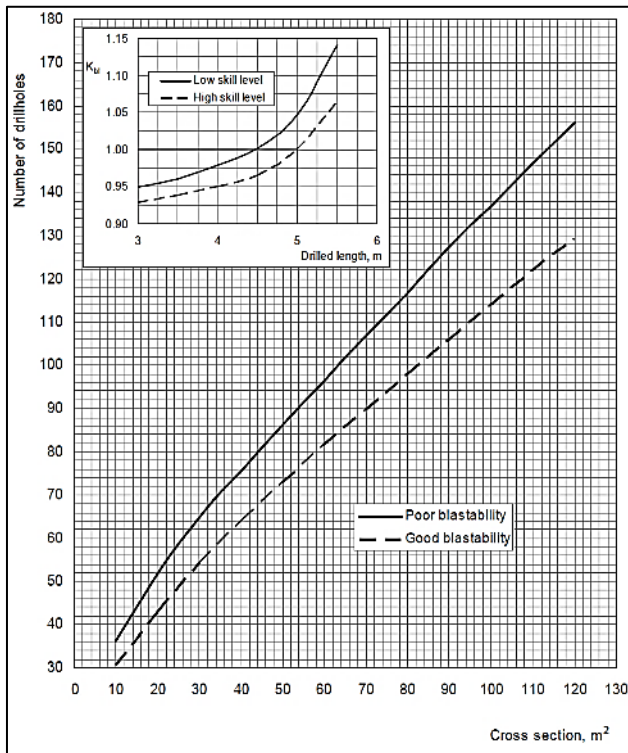
Et viktig moment å huske på i vurdering av en prøves SPR-verdi er at det ikke direkte beskriver bergmassens sprengbarhet er in-situ. Ved bruk av beregningsmetoden for SPR mister man muligheten til å ta høyde for flere faktorer som vil påvirke sprengningsresultatet i felt. Dette er diskutert i usikkerhetsavsnittet for laboratorietestene (se 2.4.4) og vil derfor ikke gjentas her.

Nødvendig mengde borhull

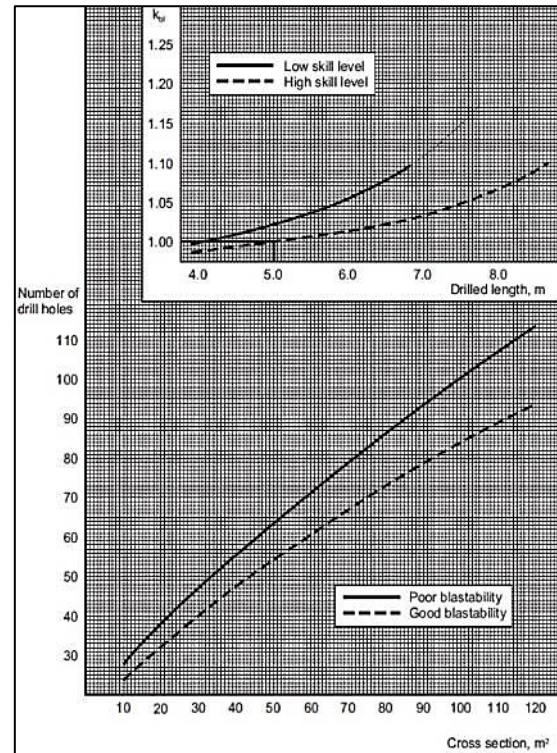
En viktig del av sprengningsarbeid er å utforme en borplan som passer til gitt tverrsnitt og bergmassekvalitet. I NTNUs prognosemodell er det fremstilt empiribaserte grafer hvor sammenheng mellom tverrsnitt, sprengbarhet og borhullsmengde er presentert, se Figur 16 og Figur 17. Disse er basert på felldata fra ulike tunneltverrsnitt innhentet i forbindelse med doktorgraden (Zare, 2007).

Figurene er fremstilt under antagelser om at krav for konturkvalitet gjelder. Zare skriver at dersom det tillates gjenstående berg innenfor den teoretiske profilen kan antall borhull reduseres med 5 %. Dersom spesielle bestemmelser foreligger for kontursprengningen kan dette øke hullmengden med opptil 8 %. Ingen av figurene tar med grovhull i antall hull, og standard salvelengde for begge er 5,0 m.

For begge figurene foreligger det diagrammer for korreksjonsfaktor, k_{bl} , for salvelengde og erfaringsnivå. Høyt erfaringsnivå defineres av Zare som drift hvor datastyrt borrhigg benyttes, hvor driverlaget er motivert og godt opplært samt at organisasjonen er motivert. (Zare, 2007)



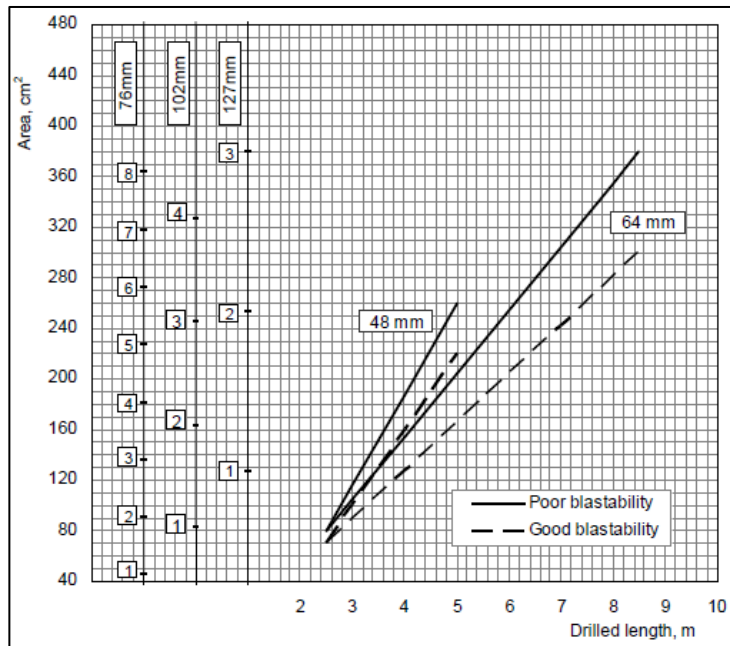
Figur 16 - Nødvendig borhullsmengde (48mm) (Zare, 2007a, p.



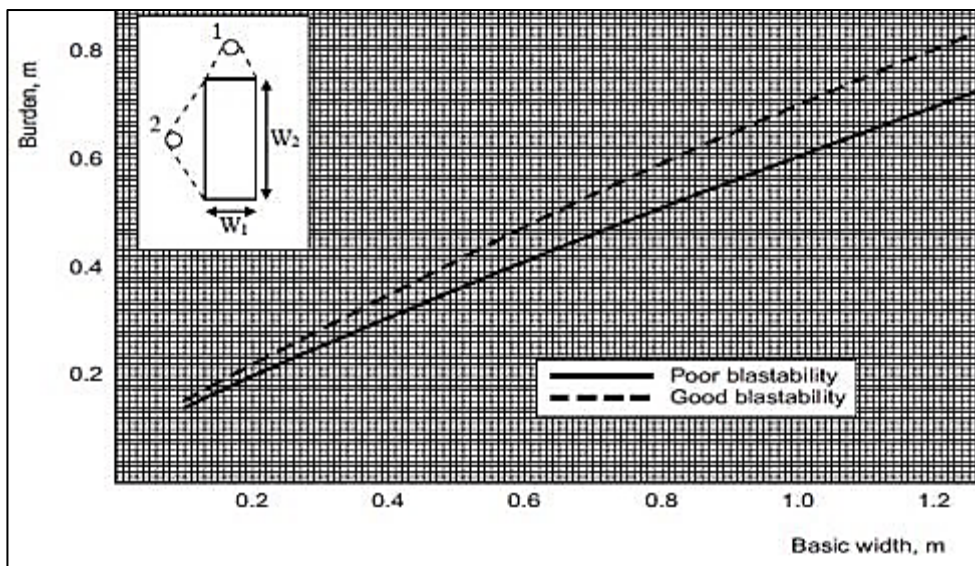
Figur 17 - Nødvendig borhullsmengde (64 mm) (Zare, 2007a, p. 32)

Design av kutt

I den parallellhullkuttet som NTNU-modellen bygger på, benytter man ett eller flere tomme borhull ved initiering av salva. Denne teknikken forutsetter at volumet av de tomme hullene er større eller likt volumet av den utsprengte massen etter første sprengningsintervall. Her foreligger det kurver for nødvendig areal av tomme borhull (Figur 19) samt formler for anbefalt avstand mellom grovhull og ladede hull (se Tabell 5). Ved plassering av resterende borhull i kuttet, bestemmes forsetningen sett ut ifra bredden til den eksisterende åpningen i berget, W_1 for ladet hull nummer 1 og W_2 for nummer to (Figur 18). Denne avstanden må kontrolleres mot nødvendig ekspansjonsvolum. Dette gjøres også for å sikre at de utsprengte massene har tilstrekkelig volum. (Zare, 2007a)

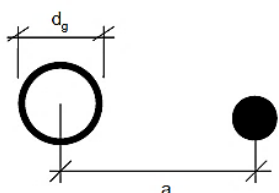


Figur 19 - Nødvendig areal av tomme borhull (Zare, 2007a, p. 26)

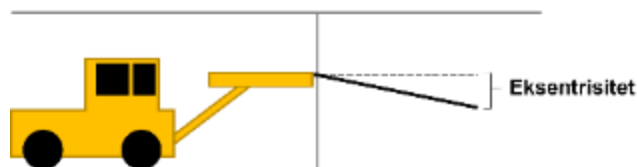


Figur 18 - Anbefalt forsetning som funksjon av åpningens bredde (Zare, 2007a, p. 28)

Tabell 5 - Nødvendig avstand mellom grovhull og ladet hull (Zare, 2007a, p. 27)

	Diameter, ladet hull (d_h)	Diameter, grovhull (d_g)	Avstand (a)
	48 mm	76 mm 102 mm 127 mm	$1,5 - 2,0 \cdot d_g$
64 mm	76 mm 102 mm 127 mm	$1,5 - 2,0 \cdot d_g$	

Etter at kutten er utformet bestemmes resterende bormønster ut ifra dette. Kvaliteten på den gjenstående bergmassen bestemmes ofte ut ifra konturen, og denne må derfor vies ekstra nøyaktighet med tanke på nøyaktig boring og lading. Borutstyret som benyttes bestemmer nødvendig eksentrisitet i bunnen av borhullene. Eksentrisitet beskriver avviket mellom bunnen av et borhull til linjen parallelt tunnelens lengdeakse (Figur 20). For moderne borrhiger er eksentrisitet 0,2–0,4 m. Andre kontur gis samme eksentrisitet som konturen.



Figur 20 - Eksentrisitet

Hullene i ligggen bør ha samme eksentrisitet som konturhullene. Antall ligg hull bestemmes ut ifra formelen presentert i ligning 3.3.2.2 under, hvor W_t er tunnelbredde, e_k er eksentrisitet for konturhullene og E_l er hullavstand i konturen.

$$N_t = \frac{W_t + 2 \cdot e_k}{e_l} + 1 \quad \text{3.3.2.2} \quad (\text{Zare, 2007a, p. 36})$$

Areal av strossområde, F_s , uttrykkes som en funksjon av forsetning (V_s) og hullavstand (E_s), se ligning 3.3.2.3. Hullavstanden settes normalt til 1,2 ganger større enn forsetningen, men kan variere avhengig av geologi og tverrsnittets geometri. Korreksjonsfaktoren, k_{bl} , for salvelengde fra Figur 16 og Figur 17 benyttes også her. For konturen, andre kontur, ligg og stross foreligger det anbefalte verdier til forsetning og hullavstand, samt areal av strossområdet. Disse er presentert i Tabell 6 nedenfor.

$$F_s = \frac{E_s \cdot V_s}{k_{bl}} = \frac{(1,2 \cdot V_s) \cdot V_s}{k_{bl}} \quad \text{3.3.2.3} \quad (\text{Zare, 2007a, p. 37})$$

Tabell 6 - Veiledende verdier for forsetning og hullavstand og strossareal (Zare, 2007a, p. 38)

Hulltype	Sprengbarhet	Ø48 borhull		Ø64 borhull	
		Forsetning (m)	Hullavstand (m)	Forsetning (m)	Hullavstand (m)
Kontur	God	0,8–1,0	0,7–1,0	1,0–1,2	0,9–1,2
	Dårlig	0,7–0,9	0,6–0,9	0,9–1,1	0,8–1,0
2. kontur	God	1,0	1,1	1,3	1,4
	Dårlig	0,9	1,0	1,1	1,2
Ligg	God	1,0	1,0	1,3	1,3
	Dårlig	0,8	0,8	1,1	1,1
Stoss	God	$F_s = 1,8 \text{ m}^2$		$F_s = 2,6 \text{ m}^2$	
	Dårlig	$F_s = 1,3 \text{ m}^2$		$F_s = 1,8 \text{ m}^2$	

3.4 ØVRIGE SPRENGBARHETSINDEKSER

I undersøkelse av bakgrunnsteori ble det oppdaget andre indekser for kvantifisering av beskrivelse av sprengbarhet. I avsnittene under er et utvalg av disse presentert.

3.4.1 Blastability Index (BI) - Lilly

I 1986 presenterte Peter Lilly en sprengbarhetsindeks basert på bergmassers beskrivelse, sprekketetthet og -orientering, spesifikk vekt og hardhet. Denne indeksen henger nøye sammen med en såkalt *Powder Factor*, som representerer mengden berg som brytes dividert med mengden sprengstoff nødvendig (tonn/pund). Lily la frem følgende formel:

$$BI = 0,5 \cdot (RMD + JPS + JPO + SGI + H) \quad 3.4.1.1$$

(Lilly, 1986)

RMD:	Rock Mass Description (<i>Bergmassebeskrivelse</i>)	10 , for pulveraktige og skjøre bergarter 20 , for blokkete bergmasse 50 , for massiv bergmasse
JPS:	Joint Plan Spacing (<i>Sprekkeplanavstand</i>)	10 , for liten avstand (< 0,1 m) 20 , for middels avstand (0,1–1,0 m) 50 , for stor avstand (>1,0 m)
JPO:	Joint Plane Orientaion (<i>Sprekkeplanorientering</i>)	10 , for horisontalt 20 , for fall ut fra fri flate 30 , for strøk normalt på fri flate 40 , for fall inn mot fri flate
SGI:	Specific Gravity Influence (<i>Innflytelse av spesifikk vekt</i>)	= 25 · (bergets spesifikke vekt) – 50
H:	Hardness in Moh's Scale (<i>Hardhet i Mohrs Skala</i>)	1–10

(Dey & Sen, 2003)

3.4.2 Charge Factor (CF)

I 1990 utviklet R.N Gupta et al en sammenheng for å estimere lademengden (kg/m^3) for ulike bergartstyrker. Denne ble basert på en stor mengde innhentet felldata fra dagbrudd Charge Factor ble uttrykt som følger:

$$CF = 0,278 \cdot B^{-0,47} \cdot F^{0,62} \quad 3.4.2.1$$

(Gupta, 1990)

B = Forsetning

F = Protodyakonov styrkeindeks, $C^2/1,06 \cdot E$

C = Bergets trykkstyrke (kg/cm^2)

E = elastisitetsmodulen (kg/cm^3)

(Dey & Sen, 2003)

3.4.3 Blastability Index (BI) – Ghose

I 1988 utga A. K. Ghose bergmekanisk klassifiseringssystem basert på undersøkelser i en kullgruve. Denne kvantifiseringen av sprengbarhet er begrenset dog til bruk i overjordsprengning. Ghose relaterer også indeksen til den tidligere nevnte Powder Factor. Uttrykket for sprengbarhet er presentert under, sammen med begrepsforklaring med tilhørende verdier i Tabell 7:

$$BI = (DR + DSR + PLR + JPO + AF1 + AF2) \quad 3.4.3.1$$

(Ghose, 1988)

Tabell 7 - Parametere med tilhørende verdier for BI (Ghose, 1988)

Parameter		Skalaer				
DR	Density Ratio (<i>tetthet</i>) [t/m ³]	< 1,6	1,6–2,0	2,0–2,3	2,3–2,5	> 2,5
		20	15	12	6	4
DSR	Discontinuity Spacing Ratio [m] (<i>diskontinuitetsavstand</i>)	< 0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6–2,0	> 2,0
		35	25	20	12	8
PLR	Point Load Strength Index Ratio [MPa] (<i>punktlaststyrke</i>)	< 1	1–2	2–4	4–6	> 6
		25	20	15	8	5
JPO	Joint Plane Orientation Ratio (<i>Sprekkeplanorientering</i>)	DIF	SAF	SNF	DOF	HOR
		20	15	12	10	6
AF1	Adjustment Factor 1 (<i>justeringsfaktor 1</i>)	«Highly confined»				-5
		«Reasonably free»				0
AF2	Adjustment Factor 2 (<i>justeringsfaktor 2</i>)	Hulldybde/forsetning > 2				0
		Hulldybde/forsetning 1,5–2				-2
		Hulldybde/forsetning < 1,5				-5

DIF = Fall inn mot fri flate, SAF = Strøk i spiss vinkel fra fri flate, SNF = Strøk normal på fri flate, DOF = Fall ut fra fri flate, HOR = Horisontalt

(Dey & Sen, 2003)

3.4.4 Sprengbarhet gjennom bruk av nevralt nettverk

Jiang Han, Xu Weiya og Xie Shouyi benyttet i 2000 et såkalt *back propagation* (BP) nevralt nettverk for å bestemme en bergmasses sprengbarhet. Nettverket tar inn 6 verdier i inngangslaget, 5 verdier i et skjult lag og har én outputverdi. Grunnet kompleksitet samt oppgavens omfang vil det ikke gås nærmere inn på hvordan slike nettverk fungerer. De parameterne som inngår i bestemmelsen av sprengbarheten er imidlertid som følger:

$$K = \{L, S, R_{cd}, E_d, P_c, d_{cp}\} \quad 3.4.3.1$$

(Han, et al., 2000)

L = Total sprekkelengde i 2x2 m² blokk

S = gjennomsnitt av sprekkelengde i 2x2 m² blokk

R_{cd} = steins dynamisk trykkstyrke

E_d = dynamisk elastisitetsmodul for stein

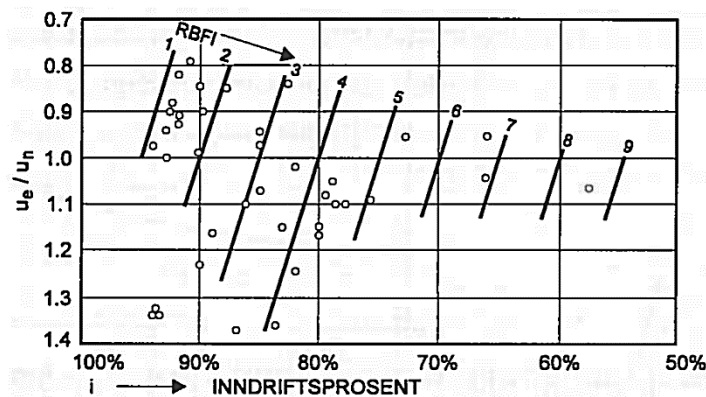
P_c = andel ukvalifisert blokk

d_{cp} = gjennomsnittlig fragmentstørrelse

(Dey & Sen, 2003)

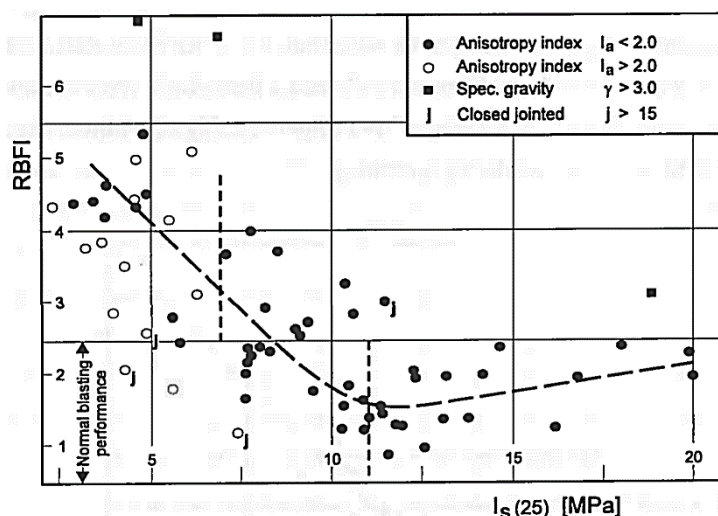
3.4.5 Round Blastage Field Index (RBFi)

For å ha et referansesystem for fjellets vanskelighetsgrad ved tunnelsprengning ble det utviklet en sprengbarhetsindeks kalt RBFi, eller *Resistance to Blasting Field Index*. Denne ble utviklet ved Institutt for geologi og bergteknikk ved NTNU og baserer seg på en kombinasjon av inndriftsprosenten i , regnet i prosent av borlengde), benyttet enhetsladning u_e , regnet i kg/m^3 og normal enhetsladning, u_n , som bestemmes ut ifra diagrammet vist i Figur 21. Økende verdi for RBFi angir dårligere sprengbarhet. RBFi i området 1,9–2,5 angir god sprengbarhet, 2,5–4,0 medium sprengbarhet, 4,0–5,5 dårlig sprengbarhet og verdier over 5,5 indikerer svært dårlig sprengbarhet. (Broch & Nilsen, 1999)



Figur 21 - Diagram for RBFi (Broch & Nilsen, 1999, p. 284)

I arbeid med denne indeksen ble det identifisert en korrelasjon mellom en bergarts punktlaststyrke og RBFi. Disse ble utført på 25 mm kjerneborede prøver på tvers av foliasjonsretningen. Her fremgår det at de bergarter med best sprengbarhet er de med minste punktlaststyrke mellom 9–14 MPa (Broch & Nilsen, 1999). Denne sammenhengen er presentert i Figur 22. Spredningen i diagrammet er stort, men det fremgår likevel at det er de svakeste bergartene som har dårligst sprengbarhet. Det var imidlertid en svakhet at det kun var én laboratorieindeks som ble relatert til felt, med relativt lav korrelasjon. Grunnet dette ble det også senere utviklet en laboratoriebasert indeks kalt RBLI (*Resistance to Blasting Laboratory Index*) med langt bedre korrelasjon (Broch & Nilsen, 1999).



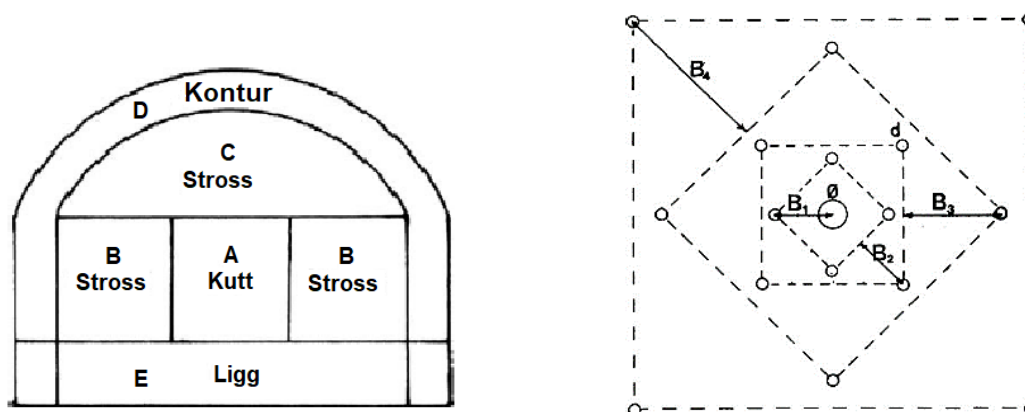
Figur 22 - Korrelasjon mellom RBFi og punktlaststyrke (Broch & Nilsen, 1999, p. 285)

3.5 ØVRIGE PROGNOSEMODELLER

Litteratursøket resulterte i funn av flere andre prognosemodeller for tunnelprosjekter, noen mer relevante enn andre. Disse er presentert i de påfølgende avsnitt.

3.5.1 Svensk modell for design av bormønster

Som nevnt ble det i forbindelse med litteratursøket oppdaget en modell for design av bormønster som var både relevant for og sammenlignbar med slik det presenteres i NTNU-modellen. Denne ble utviklet i Sverige, og ble første gang presentert av Langefors og Kihlström i 1963, for senere å ha blitt videreutviklet frem til siste versjon i 2001 (Persson, et al., 2001). Presentasjonen som følger bygger på den som fremkommer i *Comparison of Tunnel Blast Design Models* (Zare & Bruland, 2005).



Figur 24 - Seksjonering av tverrsnitt (Zare & Bruland, 2005, p. 538) Figur 23 - Firdelt kutt (Zare & Bruland, 2005, p. 538)

I denne modellen deles tunneltverrsnittet inn i fem deler – kutt, kontur, ligg og tre strosseseksjoner (Figur 24). Hver av disse betraktes separat i design av bormønster. Den dominerende måten å konstruere kuttet på er en firedelt seksjonering (Figur 23), som har anbefalte forsetninger $B_1 = 1,5 \cdot \phi$ og for $B_2 - B_4$ bør $0,5 \cdot A < B \leq 2 \cdot A$. I liggeren er hullavstand og forsetning lik, og for begge strosshulltypene (gruppe B og C) er forholdet mellom hullavstand og forsetning $S/B = 1,25$ (Zare & Bruland, 2005).

For ligg og strosshull kalkuleres det etter samme metoder som for pallsprenging, hvor salvelengde settes som «pallhøyde» og det benyttes en fikseringsfaktor som justerer for gravitasjonseffekten samt større tidsintervall mellom borhullene. Her må forsetningen følge kriteriet $B \leq 0,6 \cdot H$, hvor H er borhullslengde. Som for NTNU-modellen benyttes prinsippet om forsiktig sprenging i kontur, noe som innebærer at forholdet mellom hullavstand og forsetning (S/B) settes til 0,8 og at konturhullavstanden beregnes med $S = k \cdot d$, hvor k er en konstant (15–16) og d er borhulldiameter. (Zare & Bruland, 2005)

I en analyse gjort av Zare og Bruland i 2005 ble det konkludert med at NTNUs modell og den svenske prognosemodellen gir tilnærmet like resultater til tross for deres ulike metodikk. I deres sammenligning kom det frem at NTNU-modellen gav anbefaling om bruk av lavere forsetning og derfor høyere antall borhull, men lengre uladet lengde og derfor mindre sprengstofforbruk enn den svenske modellen. (Zare & Bruland, 2005)

3.5.2 Kinesisk prognosemodell

I etterkant av litteraturstudiet ble det klart at det også eksisterer en kinesisk prognosemodell for konvensjonell tunneldrift. Denne er så langt bare publisert på kinesisk, men blitt presentert gjennom en doktorgradsforelesning ved NTNU (Chi, 2018). Utfra denne presentasjonen ble følgende relevante momenter hentet:

Forsetningen for strosshull bestemmes ved hjelp av følgende ligning:

$$B = r_c \cdot \sqrt{\frac{\pi\varphi\rho_0}{mq\eta}}, \quad \begin{array}{l} 3.5.2.1 \\ \text{(Chi, 2018)} \end{array}$$

ρ_0 = ladetetthet

r_c = laderadius

φ = ladekoeffisient (se Tabell 8)

m = forhold mellom hullavstand og forsetning (= $S/B = [0,8-1,9]$)

Tabell 8 - Ladekoeffisienter for strosshull (Chi, 2018)

Én-aksiell trykkfasthet [MPa]	10–20	30–40	50–60	80	100	150–200
Φ for stross	0,4	0,45	0,50	0,55	0,60	0,70

Som for både NTNUs og den svenske prognosemodellen benyttes redusert lademengde i konturen. Konturhullavstanden som benyttes er 10-20 ganger borhullsdiameteren (Chi, 2018).

Chi presenterte også en oversikt over likheter og forskjeller mellom europeisk og kinesisk sprengningsteknikk, disse er presentert i Tabell 9.

Tabell 9 - Sammenligning av kinesisk og europeisk sprengningsteknikk (Chi, 2018)

	Kina:	Europa:
Borhullsdiameter:	35–45 mm	48–64 mm (Norge) Opp til 115 mm (Sverige)
Borhullslengde:	1,5–2,5 m	5,3 m
Utforming av kutt:	Vinkel- og parallellkutt	Vinkel- og parallellkutt
Spesifikk lademengde: (20 m ² tverrsnitt)	Lav, 0,64–1,85 kg/m ³	Høy, 2,0–3,2 kg/m ³

3.5.3 Svensk modell for risikoevaluering

I 2002 publiserte svenske Therese Isaksson ved Kungliga Tekniska högskolan sin doktorgrads-avhandling med tittel *Model for Estimation of Time and Cost Based on Risk Evaluation Applied on Tunnel Projects*. Avhandlingen avdekker og drøfter ulike risikofaktorer med tilhørende påvirkning på kostnad og byggetid for tunnelprosjekter. Isaksson skiller mellom *normalrisiko* (ytelsesbasert) og *uønsket risiko* (knyttet til hendelser som forårsaker store endinger i planer). Estimeringen av dem separat fører til økt klarhet i resultatene, og det fremkommer at normalrisiko ofte har størst påvirkning på tid- og kostnadsbildet. Risikoen kan så fremstilles i følsomhetsanalyser. Ved å benytte stokastiske variabler for input vil for eksempel byggekostnader kunne uttrykkes gjennom en sannsynlighetsfordeling. På denne måten gjør man estimatet mer robust mot usikkerhet, til forskjell fra for eksempel NTNU-modellen som er deterministisk. Tradisjonelt har det blitt benyttet kriterier som *lavest forventede kostand og tidsbruk* i valg av drivemetoder, mens Isaksson argumenterer for at disse beslutningene med fordel kan baseres på sannsynligheten for å overskride byggetid og kostnader. (Isaksson, 2002)

Sett i forhold til oppgavens problemstilling vil ikke Isakssons modell være like aktuell som NTNU-modellen. Utførelsesmetoder nevnes i den grad at det kan relateres til ulik grad av usikkerhet, men det fokuseres mest på sannsynlighetsberegninger for uønskede hendelser generelt, og hvordan dette påvirker estimater for kostand og tidsbruk. Dersom grad av normal- eller uønsket risiko er redusert vil det ikke være profitabelt å innføre fordyrende tiltak for å motvirke disse. Bortsett fra disse momentene fremlegges det lite i forbindelse med planlegging av sprengningsarbeid på samme måte som NTNU-modellen gjør.

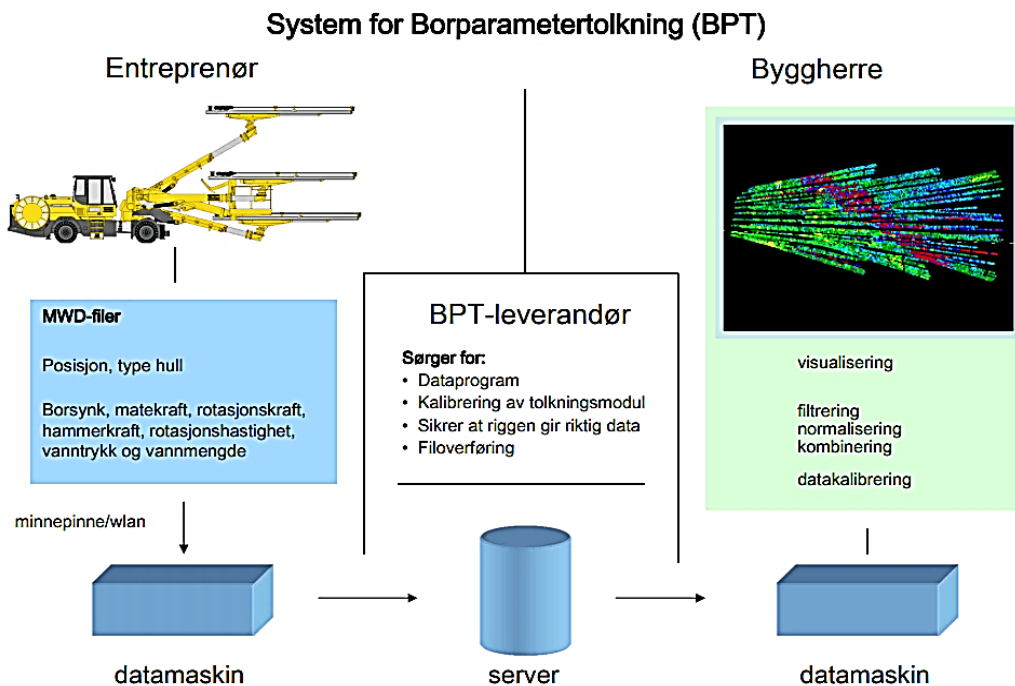
3.5.4 Tsjekkisk prognosemodell

Olga Špačková's doktoravhandling *Risk Management of Tunnel Construction Projects* fra 2012 bygger også på statistiske beregninger. På samme måte som den svenske modellen vektlegger Špačková forskjellen mellom risiko knyttet til normal drift og uønskede hendelser. For å oppnå pålitelige estimat er det nødvendig at parameterne som inngår i sannsynlighetsmodellen bestemmes på en realistisk basis. Dette gjøres tradisjonelt basert på fagvurderinger, som i tilfeller kan være negativt påvirket av subjektivitet. Ifølge Špačková er en hovedårsak til underestimering at usikkerhet ofte bestemmes på kvalitativt grunnlag. Špačková's prognosemodell presenterer to metoder for å statistisk forutse byggetid for tunnelprosjekter på bakgrunn av data fra tidligere prosjekter – gjennom bruk av poissonfordelinger sammen med hendelsestre-analyser og med bruk av bayesiansk nettverk. (Špačková, 2012)

På samme måte som Isakssons modell vektlegger denne prognosemodellen estimering av byggetid og kostnader på bakgrunn av statistiske analyser. Forskjellen mellom modellene er analysene brukt i bestemmelsen av estimatene, men heller ikke her ses det på design av bormønster eller anbefalinger til drivemetoder.

3.6 MWD-DATA

MWD, eller *Measurement While Drilling*, er en teknikk som muliggjør uthenting av data fra boreoperasjonen samtidig som boringen utføres. Teknologien kommer opprinnelig fra oljeindustrien, og har senere blitt tilpasset bruk i anleggsbransjen. Hull som bores logges for ulike parametere, blant annet borsynk, matetrykk, rotasjonskraft, slagtrykk og vannmengde (Jakobsen & van Oosterhout, 2018). I Figur 25 er teknologien som inngår i MWD-målinger visualisert. Som vist overføres rådata fra borrhigen til en programvareleverandør for borparametertolkning, for eksempel det norske selskapet Bever Control AS. Her benyttes det først algoritmer for å luke ut datafeil som stammer fra andre forhold enn geologi. Ved hjelp av programvare analyseres og tolkes disse dataene, for så å produsere modeller som kan studeres visuelt. På denne måten har man mulighet til å benytte dataene til å undersøke blant annet hardhet, vannforhold, ansett av og mengde borhull samt orientering av svakhetssoner (Jakobsen & van Oosterhout, 2018).



Figur 25 - Visualisering av MWD-teknologi (Neby, 2012, p. 37)

MWD-data kan være et godt verktøy dersom det benyttes riktig. For å utnytte dataene best mulig er det viktig at tolkning av disse tilgjengeliggjøres for både byggherre og entreprenør kort tid etter boring av salven. Her kan sonderboring nevnes som et viktig verktøy. Ved tolkning av borparameterdata fra sonderhull har man mulighet til å estimere geologien lengre frem i løpet. Ved rask behandling av data fra borhullet kan man for eksempel forutse om løpet vil krysse en svakhetsone lengre fremme. Informasjonen avdekket kan da benyttes til å innføre forebyggende tiltak, som bruk av utvidet tverrsnitt, for å takle videre utfordringer.

Ettersom MWD-data fremstilles gjennom bruk av programvare vil modellene fremstilt her være tilnærmet objektive, uten påvirkning fra for eksempel en geolog. På denne måten kan det også benyttes som et nøytralt verktøy i tvisteløsning eller sluttoppgjør. I Håndbok R761 beskrives det for øvrig at borrigger benyttet i Statens vegvesens entrepriser skal være utstyrt for automatisk logging av boring (Statens vegvesen, 2018). Disse krav beskrives ytterligere i kapittel 3.7.2.

3.7 HÅNDBØKER

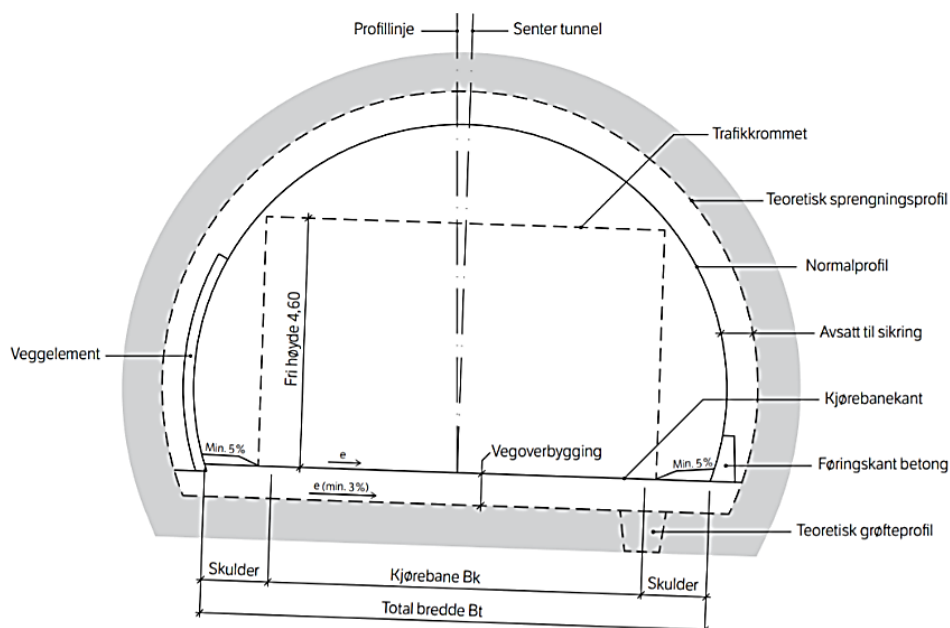
En viktig del av rådgivere og entreprenørers oppgave ved bygging av tunneler er å tilse at arbeidet utføres i tråd med de krav som foreligger. I Norge omfattes tunnelarbeider av håndbøkene som Statens vegvesen er ansvarlige for. Håndbøker deles i to nivåer; *Normaler og retningslinjer* og *Veiledninger*. Førstnevnte fungerer som de øverste kravdokumenter i Statens vegvesens hierarki over håndbøker. Normaler har hjemmel i lovverket og omfatter offentlige veier, samt Statens vegvesen eller øvrige myndigheter. Retningslinjer er bare gjeldende for riksveier og Statens vegvesen, og har hjemmel i lover eller instruksjoner fra Vegdirektøren. Disse er også gjeldende for rådgivere og entreprenører som utfører arbeid på vegne av Statens vegvesen. Veiledninger er tilleggsdokumenter som utdyper innholdet i retningslinjene og normalene, og er ment som støtte ved bruk av disse. (Statens vegvesen, 2019)

I avsnittene under vil teori ansett som relevant fra håndbøkene presenteres.

3.7.1 N500

I håndbok N500 fremgår det blant annet krav til utforming og design av tunnelverrsnitt i ulike dimensjoner. Disse bestemmes ut ifra vegens *dimensjoneringsklasse* som igjen bestemmes av gjeldende fartsgrense, ÅDT og formål (Statens vegvesen, 2019). I tillegg til dette er oppgradering av sikkerhetsutrustning og vann- og frostsikring i eksisterende tunneler beskrevet i N500. I Figur 26 vises skisse med begrepsforklaring til ulike komponenter og geometriske størrelser som kan inngå i et tunnelverrsnitt.

Geometriske mål og arealer er standardisert for de ulike tverrsnittstørrelsene. Disse fremgår også av N500 og er presentert i Tabell 10 og Tabell 11 under. I Figur 27 og Figur 28 er de geometriske størrelsene fremstilt skjematisk for henholdsvis tverrsnittstypene T5,5–T8,5 og T9,5–T14.



Figur 26 - Tunnelprofil (Statens vegvesen, 2016, p. 18)

Tabell 10 - Tverrsnittsdata for de ulike tunnelprofilene (Statens vegvesen, 2016, p. 19)

Tunnelprofil	Teoretisk sprengningsprofil		Normalprofil	
	Areal A_s m ²	Buelengde, B_s m	Areal A_n m ²	Buelengde, B_n m
T4	20,32	12,31	13,57	9,85
T5,5	39,10	17,12	29,72	14,55
T8,5	61,92	20,56	49,66	17,99
T11,5	85,92	23,75	70,89	21,18
T7,5	51,56	18,88	40,46	16,30
T9,5	66,62	21,04	53,61	18,46
T10,5	74,59	22,13	60,64	19,55
T12,5	91,32	24,32	75,49	21,73
T13	95,69	24,86	79,39	22,28
T13,5	100,52	25,46	83,73	22,88
T14	104,58	25,96	87,35	23,88

Data avhenger av valgt vegoverbygging og plass avsatt for sikring. I tabellen er følgende lagt til grunn:

A_s = Areal regnet etter teoretisk sprengningsprofil. I verdiene i tabellen er det forutsatt 0,5 m vegoverbygging og 0,4 m avsatt til sikring

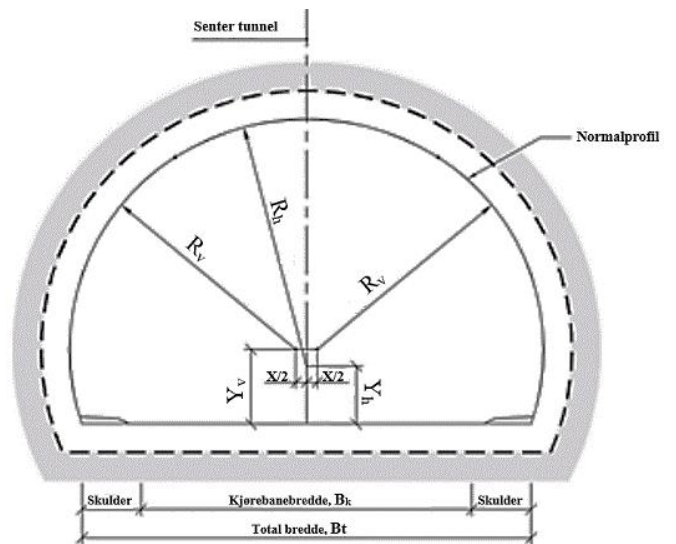
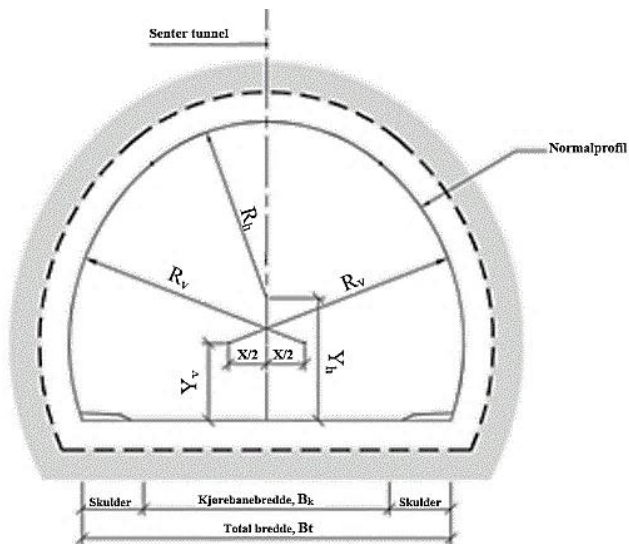
A_n = Areal regnet etter normalprofilen over kjørebane og sideareal, forutsatt 5 % fall på skulder

B_s = Buelengde regnet etter teoretisk sprengningsprofil ned til nivå for planum forutsatt 0,5 m vegoverbygging og 0,4 m avsatt til sikring

B_n = Buelengde regnet etter normalprofil ned til nivå for kjørebane.

Tabell 11 - Mål for ulike tunnelprofiler (alle mål i m) (Statens vegvesen, 2016, p. 18)

Profil	Total bredde B_t	Kjørebane- bredde B_k	Senterhøyde veggradier Y_v	Veggradius R_v	Senter- avstand veggradier X	Senterhøyde hengradius Y_h	Hengradius R_h
T4	4,0	3,00	–	–	–	1,330	2,400
T5,5	5,5	3,50	1,770	4,790	3,402	3,171	2,587
T8,5	8,5	6,50	1,770	4,790	0,402	1,981	4,500
T11,5	11,5	9,50	1,770	4,790	2,598	-0,258	7,199
T7,5	7,5	5,00	1,570	4,790	1,550	2,481	3,594
T9,5	9,5	7,00	1,570	4,790	0,450	1,213	5,212
T10,5	10,5	8,00	1,570	4,790	1,450	0,664	5,950
T12,5	12,5	10,00	1,570	4,790	3,450	-0,466	7,458
T13	13,0	10,50	1,570	4,790	3,950	-0,735	7,825
T13,5	13,5	11,00	1,570	4,790	4,450	-0,817	8,053
T14,0	14,0	11,50	1,570	4,790	4,950	-1,294	8,575

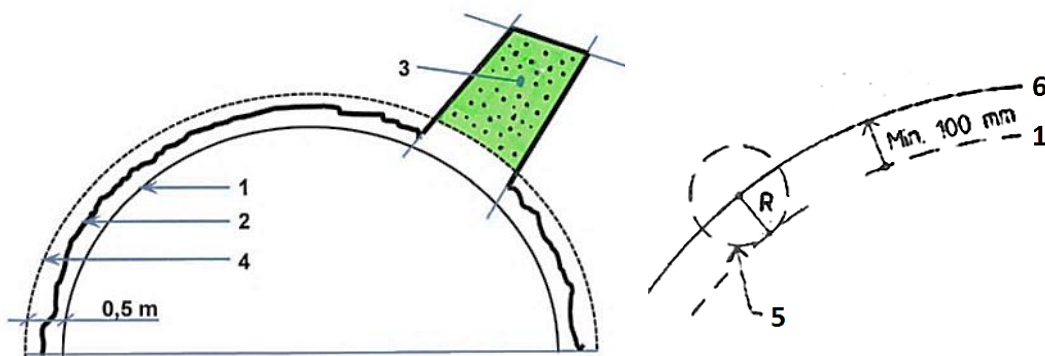


Figur 27 - Geometri for T5,5-8,5 (Statens vegvesen, 2016, p. 19) Figur 28 - Geometri for T9,5-14 (Statens vegvesen, 2016, p. 19)

3.7.2 R761

R761, også kalt Prosesskode 1, inneholder standardbeskrivelser innen anleggsarbeider og drift- og vedlikeholdsarbeider for veikontrakter i Norge. Denne benyttes i entrepriser for Statens vegvesen og skal gi regler og retningslinjer for kontroll, oppmåling og utførelse innen samme arbeidsart. Denne standardiseringen er ment som et virkemiddel for å lette arbeidet både ved formulering av arbeidsgrunnlag, men også ved anbuds-kalkulasjoner for entreprenør og konsulenter. (Statens vegvesen, 2012).

I prosesskodens innledning er de ulike profillinjene, grunnlaget for beregning av geologisk betinget utfall og tillatt ansettavvik for borhull visualisert. Ansett for konturhullene tillates ikke innenfor prosjektert kontur, og skal generelt ha en nøyaktighetsmargin på 100 mm (Statens vegvesen, 2012). Dette med tilhørende begrepsforklaringer er presentert og forklart i Figur 29 under.



Figur 29 - Prinsippskisser for begrepsforklaring av tunnelprofiler (Statens vegvesen, 2018, p. 13)

1. Teoretisk sprengningsprofil, eller prosjektert kontur
2. Utført kontur, det som er skutt
3. Geologisk betinget utfall utover 0,5 m fra prosjektert kontur
4. 0,5 m grense fra prosjektert kontur
5. Tillatt ansettavvik for senter borhull
6. Ansettprofil, linje trukket mellom borhull i startposisjon

De deler av R761 som legger føringer for hvordan entreprenør skal planlegge og utføre sprengningsarbeider under jord er presentert i kapittel 32, *Sprengning av tunnel*. Sammen med mye annet presenteres det her krav til hvordan konturen skal bores og insentiver for dette, krav til lading og sprengstofftyper, regler beregning av overberg og krav til bruk av og tilrettelegging for MWD-teknologi.

Konturkrav

Angående krav til kontur er følgende beskrevet i R761:

Teoretisk sprengningsprofil (prosjektert kontur) skal være som angitt på tegning. Bergsprengningen skal utføres slik at sikkerheten ivaretas, skader unngås, omgivelsene sjeneres minst mulig og slik at unødvendig svekkelse av den endelige bergkontur unngås. Kontursprengning skal utføres slik at en får jevnest mulig vegger og heng. Det benyttes hullavstand c/c 0,7 m. Avstand c/c (forsetning) til nest ytterste hullrast skal være maksimalt 0,9 m. Tiltak ved sprengning med alternativ kontur er medtatt i prosess 32.12. (Statens vegvesen, 2018, p. 98)

Videre stilles det også krav til sprengstofftyper og fremgangsmåter ved lading. Av miljømessige hensyn skal det generelt etterstrebtes bruk av emulsjonssprengstoff ved sprenging under jord. I første kontur, andre kontur og i liggen kan dette derimot bare benyttes dersom det for hvert punkt i ladestrengen kan dokumenteres ladingkonsentrasjon. Ved strenglading skal det benyttes slangetrekk for å oppnå ønsket sprengeffekt. For å minimere skadesonen og dermed skåne gjenstående kontur skal det her benyttes sprengstoff som maks gir en effekt på 3 GW/m. Det stilles også krav til maks bunnladning i konturhull og i andre kontur på henholdsvis 200 g og 400 g i dynamittekvivalenter. (Statens vegvesen, 2018)

Som nevnt i sitatet over kan det ved spesielle behov også være nødvendig å benytte strengere konturkrav enn det den generelle beskrivelsen tilsier. Dette er kjent som *alternativ kontur* og innebærer bruk av innskrenket hullavstand og forsetning på henholdsvis 0,5 m og 0,7 m. I tillegg er det beskrevet at ladningens effekt i konturhull da skal være maks 2,2 GW/m. (Statens vegvesen, 2018)

Beregning av overberg

Som visualisert i Figur 29 tillatter ikke prosesskoden ansett innenfor teoretisk sprengningsprofil. Videre i R761 beskrives det følgende:

Mengden måles som prosjektert fast volum, og det gis ikke tillegg for overberg/utfall.

...

I spesielle soner med geologisk betinget utfall i vegger og heng profileres massene utover 0,5 m fra teoretisk sprengningsprofil, og regnes med i mengdene, se figur i håndbok R761, kap 7.6. Masse fra utfall som beskrevet regnes kun med hvis byggherren er varslet, profilering er utført før tunnelen drives videre og oppgave over beregnet mengde er levert

sammen med ukerapportene. Fjerning av renskemasser måles ikke, men regnes som inkludert i de prosjekterte mengdene.

(Statens vegvesen, 2018, p. 101)

Krav til MWD-utstyr

Det foreligger krav om at borrhiger skal være utstyrt med MWD-teknologi, med følgende bestemmelser og retningslinjer:

- Entreprenør plikter å gi byggherres programleverandør tilgang til utstyr for behandling av innhentet data, slik at disse kan benyttes for videre kalibrering av rigg samt sammenstilling og presentasjon av MWD-dataene
- Alle borhull skal logges til benyttet formål (langhull, boltehull, osv.) og umiddelbart etter endt boring skal data innhentes og overføres over via nett. Minst 90 % av data fra boret lengde for hver riggoppstilling skal være tolkbar, og loggintervall skal ikke overskride 20 mm.
- Ved bytte av borrhigg, borhammer eller borkrone, eller ved endring av andre innstillinger, plikter entreprenør å opplyse om dette slik at MWD-data ikke feiltolkes.
- Hullinformasjon som skal fremgå av dataene er; identifikasjon av rigg og borhammer, hulltype og hullnummer, ansett og hullposisjon.
- Parameterne som kontinuerlig skal logges er; matetrykk, rotasjonstrykk, slagtrykk, borsynk, bordybde, rotasjon, tid, vannmengde og vanntrykk.

(Statens vegvesen, 2012)

4 RESULTAT

Resultatet av forskningsarbeidet foretatt i denne masteroppgaven er todelt. Første del er en presentasjon av funn fra de innhentede dataene beskrevet i kapittel 2.2. Relevant informasjon tatt herfra vil fungere som sammenligningsgrunnlag for en komparative analyse i oppgavens diskusjonsdel. I dette avsnittet presenteres relevante sammenhenger og visualiseringer for videre drøfting av de innsamlede dataene.

Andre del vil omhandle funn avdekket i forbindelse med case-studiet og laboratoriearbeidene fra kapittel 2.3 og 2.4. Momenter som fremgikk av de kvalitative intervjuene vil ikke nevnes i resultatkapittelet, da det ble vurdert uhensiktsmessig å fremlegge disse eksplisitt ute av kontekst. De vil derimot senere trekkes inn i oppgavens diskusjonsdel (kapittel 5).

4.1 FUNN I GJENNOMGANG AV DATA FRA BORPLANER

Som tidligere presentert i Tabell 2 ble innsamlede borplandata fra de totalt 55 tverrsnittene delt i to grupper grunnet stor forskjell i sprengbarhet. For å fremstille en fornuftig sammenligning med NTNUs prognosemodell, har denne inndelingen også blitt benyttet ved gjennomgang, visualisering og tolkning av resultatene som er avdekket.

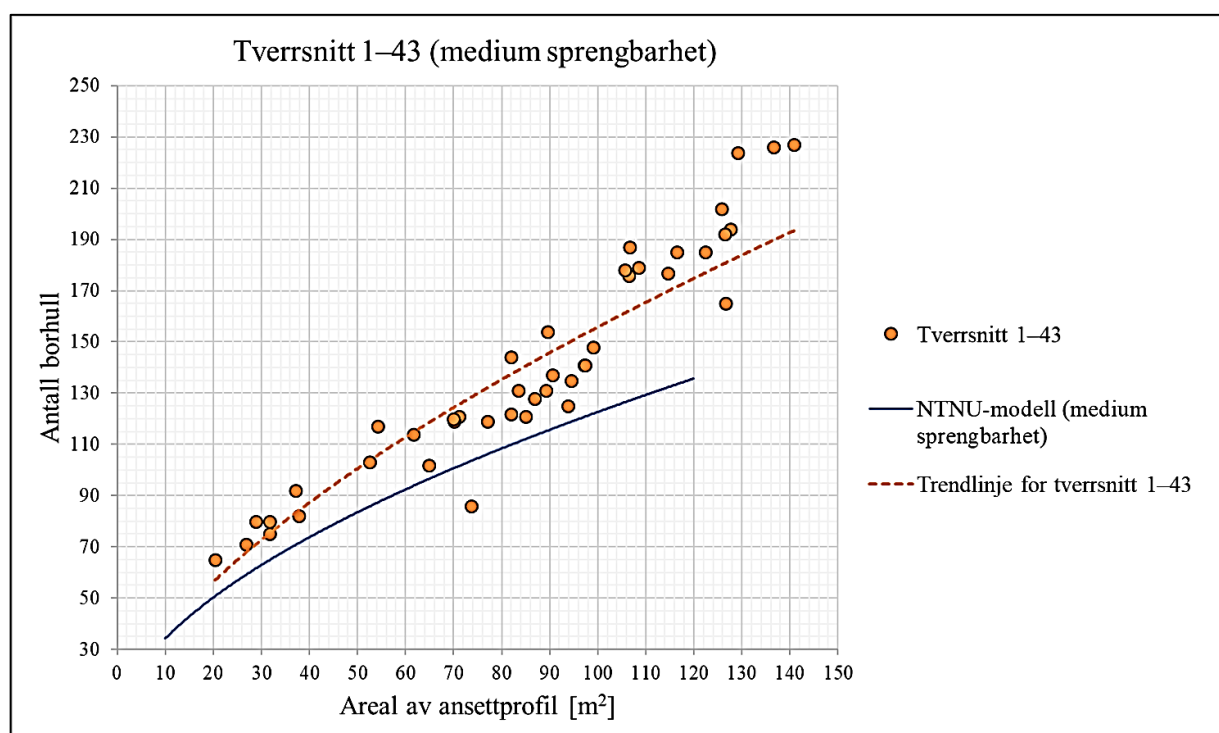
Etter gjennomgang av de bidratt planene ble det fremstilt et datasett som i sin helhet er presentert i matrisen i vedlegg 7.2. Her er alle data vurdert relevant for oppgaven blitt samlet og sortert. Når det i arbeid med datasettet refereres til de ulike tverrsnittene, menes den salven hvor gjeldende borplan er blitt benyttet. Hver borplan er hentet fra et virkelig prosjekt hvor tverrsnittsstørrelse (teoretisk og ansettprofil), buelengde, borhullsmengde og antall borhull i de ulike gruppene har blitt uthentet. I matrisen i 7.2 er også data relevant for sammenligning med NTNU-modellen presentert for de ulike tverrsnittene. Denne informasjonen er avdekket gjennom bruk av Figur 16 hentet fra modellen. Dette gir muligheten til å relatere dataene fra de benyttede borplanene til modellen.

For å visualisere momenter fra datasettet har kombinasjoner av verdier hentet herfra blitt fremstilt gjennom grafer og diagrammer. Figurene presenterer relativt enkle datasammenhenger, men er et godt verktøy for å beskrive momenter fra datasettet på et begripelig vis. I påfølgende avsnitt vil disse figurene presenteres, og informasjonen som fremgår vil redegjøres for.

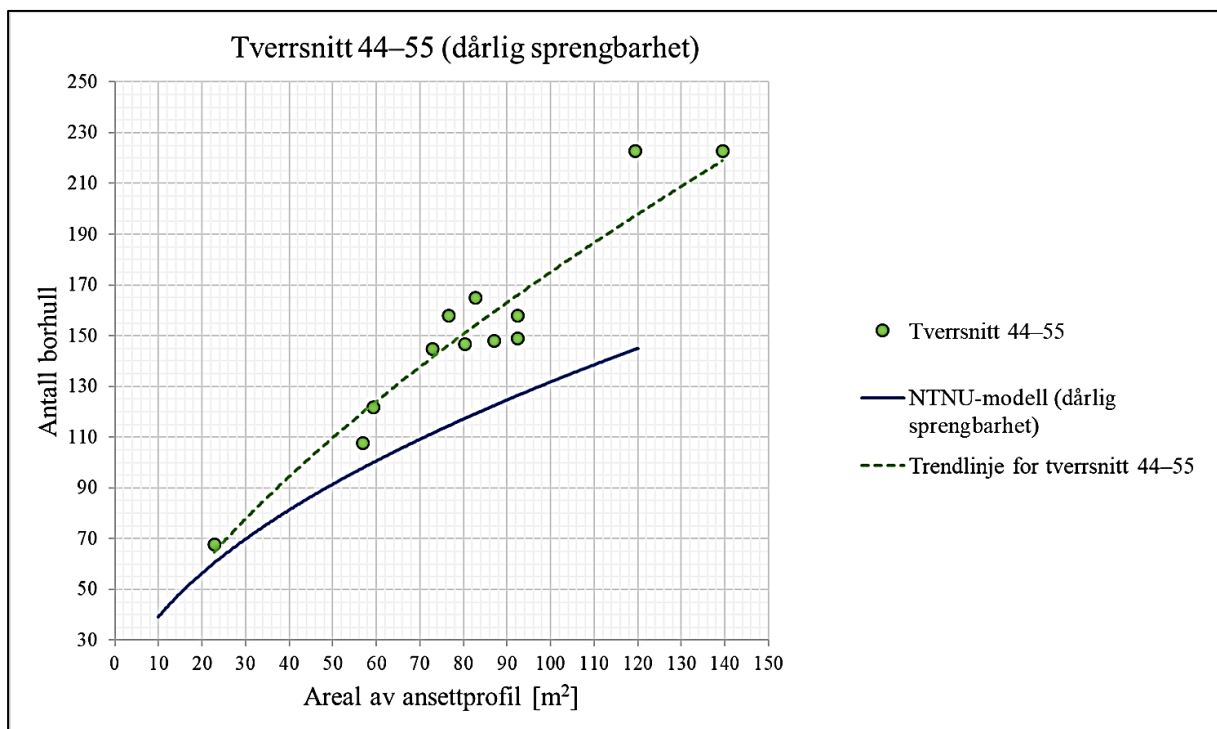
I Figur 30 og Figur 31 er borhullsmengde som funksjon av tverrsnittsstørrelse for henholdsvis tverrsnitt 1–43 og tverrsnitt 44–55 plottet. Hvert punkt representerer ett tverrsnitt fra datasettet, hvor de individuelle tverrsnittenes arealstørrelse fremstilles i relasjon til benyttet borhullsmengde for gjeldende tverrsnitt.

I hvert av diagrammene er også kurven for anbefalte borhullsmengder fra NTNU-modellen plottet (se Figur 16). I Figur 31 kunne kurven for dårlig sprengbarhet hentes direkte fra NTNU-modellen da denne er presentert i Figur 16. Kurven for medium sprengbarhet i Figur 30 ble funnet ved å interpolere verdier mellom god og dårlig sprengbarhet i Figur 16. Denne inndelingen gir en mer realistisk sammenligning, da avviket ville blitt mye større dersom medium sprengbarhet hadde blitt antatt for alle tverrsnittene.

Excels innebygde regresjonsfunksjonen har også blitt benyttet for å fremstille trendlinjer for begge tverrsnittsgruppene. På denne måten kan man estimere en tendens i dataene samlet. Dette gjør sammenligning opp mot NTNU-modellen enklere.



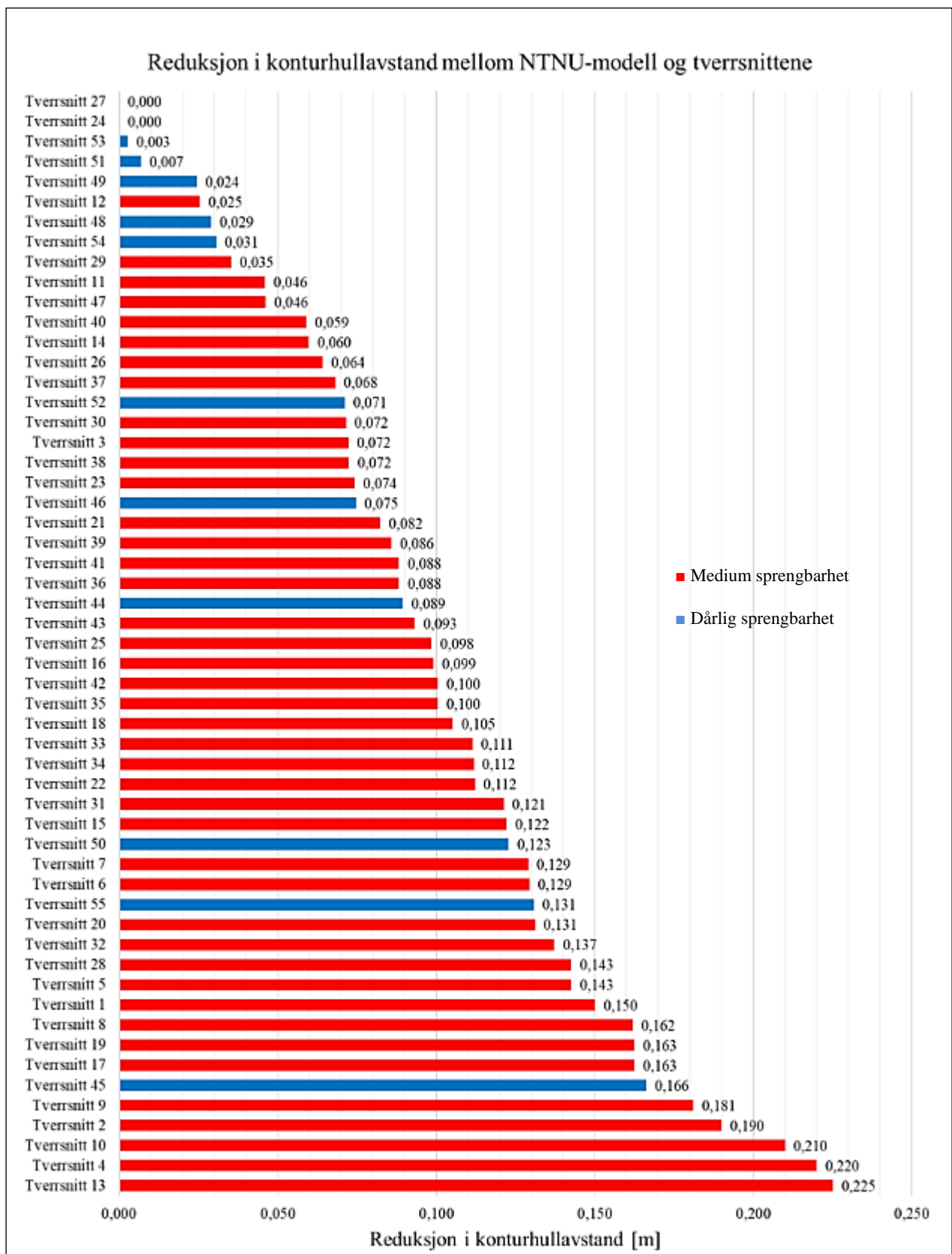
Figur 30 - Sammenligning av data fra NTNU-modell og data fra tverrsnitt 1–43



Figur 31 - Sammenligning av data fra NTNU-modell og data fra tverrsnitt 44-55

For å relatere data fra borplanene til kravene i R761 fremstilt i avsnitt 3.7.2, har konturhullavstanden blitt funnet for de ulike tverrsnittene. Disse ble regnet ut ved å dividere tverrsnittenes buelengde på oppgitt konturhullmengde.

NTNU-modellen anbefaler 0,75 m og 0,8 m konturhullavstand for henholdsvis dårlig og medium sprengbarhet. For nesten alle tverrsnitt forelå det reduksjon i konturhullavstand i forhold til denne anbefalingen. I Figur 32 er denne reduksjonen visuelt fremstilt i et stolpediagram for samtlige tverrsnitt. For å skille mellom hvilke tverrsnitt som tilhører de to grupperingene er det benyttet fargekoder. Dette i kombinasjon med sortering etter reduksjonsverdiens størrelse gjør det enkelt å tolke hvilke tverrsnitt som har størst og minst reduksjon, samt hvilken sprengbarhet som var gjeldende da salven for dette tverrsnittet ble skutt. For eksempel for Tverrsnitt 42 kan det leses at den benyttede konturhullavstanden var 10 cm mindre enn det som fremgår som anbefaling fra NTNU-modellen, gitt medium sprengbarhet. Gjennomsnittlig for alle tverrsnitt innsamlet ble konturhullavstand funnet til å være 0,69 m. Dette tilsvarer en gjennomsnittlig reduksjon i benyttet konturhullavstand sammenlignet med NTNU-modellens anbefalinger på 99 mm.

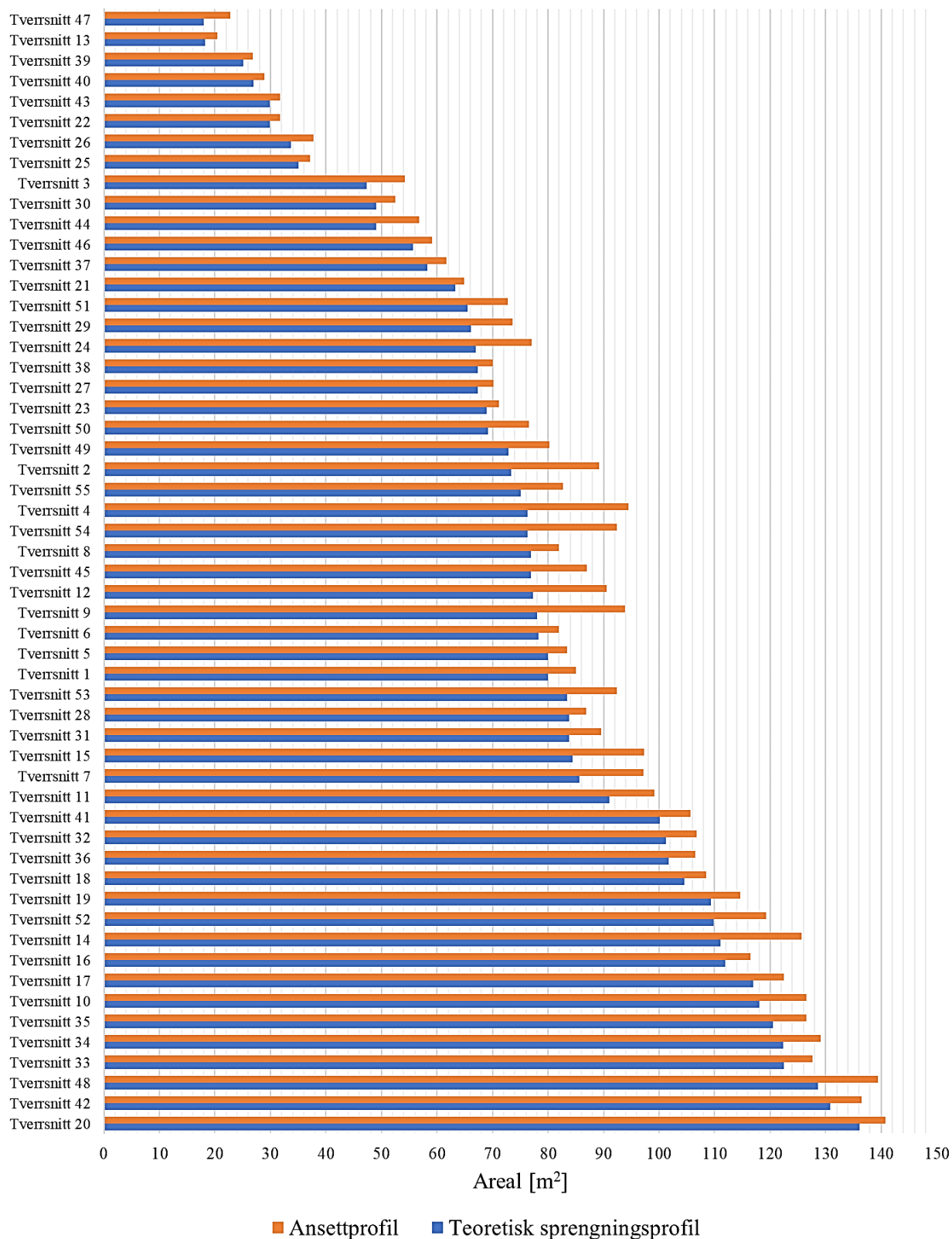


Figur 32 - Reduksjon i konturhullavstand mellom NTNU-modell og tverrsnittene

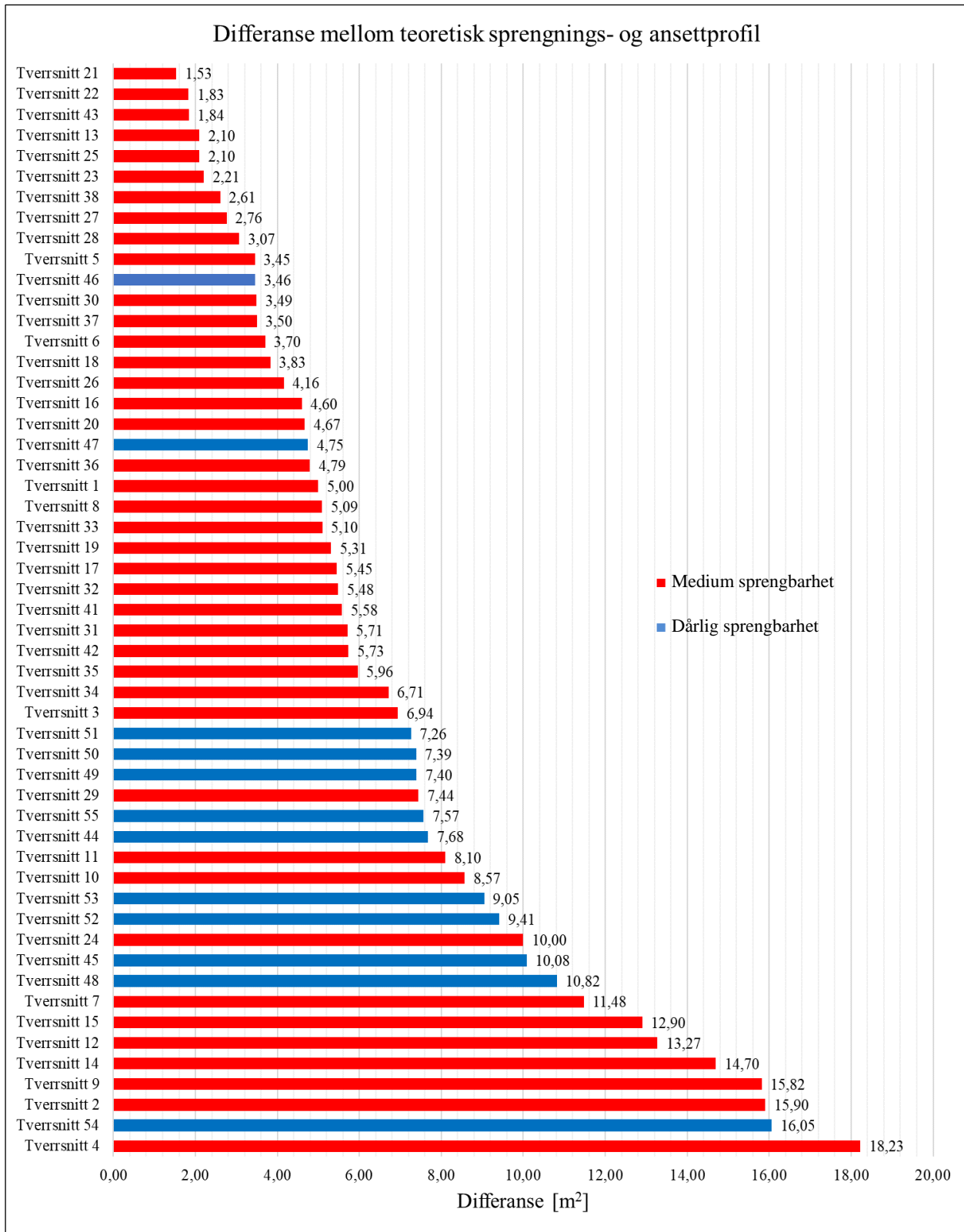
Et annet moment som er interessant å undersøke er teoretisk sprengningsprofil sammenlignet med ansettprofil for ulike tverrsnittstørrelser. I Figur 33 er disse størrelsene presentert for alle tverrsnittene i datasettet, sortert etter størrelse på det teoretiske sprengningsprofilen. Her fremkommer det at differansen mellom ansett- og teoretisk sprengningsprofil har liten sammenheng med økning i tverrsnittstørrelse, og at store og små variasjoner for de to kan forekomme i de fleste størrelser.

For å bedre visualisere differanseverdiene mellom teoretisk sprengnings- og ansettprofil er det også fremstilt et stolpediagram som viser denne forskjellen for samtlige tverrsnitt i Figur 34. Som tidligere skilles det også her mellom de to grupperingene for sprengbarhet ved hjelp av fargekoder. Gjennomsnittsdifferansen for alle de innsamlede tverrsnittene er $6,64 \text{ m}^2$. Dette tilsvarer en prosentvis økning i arealstørrelse mellom ansett og teoretisk sprengningsprofil på 8,2 % for samtlige tverrsnitt i datasettet.

Teoretisk sprengnings- og ansettprofil



Figur 33 - Teoretisk sprengnings- og ansettprofil for innsamlede tverrsnitt



Figur 34 - Differanse mellom teoretisk sprengnings- og ansettprofil

4.2 RESULTATER FRA CASE-STUDIET

Som beskrevet i metodekapittelet ble det gitt tilgang til den geologiske forundersøkelsen samt MWD-data for prosjektet i case-studiet. Funn relevant for oppgaven vil presenteres i avsnittene under. Ettersom steinprøvene testet på laboratorium ble innhentet i forbindelse med case-studiet, vil også resultater fra prøvene beskrevet i avsnitt 2.4 presenteres her. Som nevnt vil aktuelle momenter fra de kvalitative intervjuene først omtales i oppgavens diskusjonsdel.

4.2.1 Funn i den geologiske forundersøkelsen

En geologisk forundersøkelse er en rapport utarbeidet på oppdrag fra byggherre som skal ligge til grunn i konkurransegrunnlaget. Den beskriver geologiske forhold basert på undersøkelser og analyser, eller med bakgrunn i tidligere rapporter. For tunnelprosjekter kan forundersøkelser være en pekepinn på hva slags bergmasse man skal drive gjennom, men i mange tilfeller vil differansen mellom antatt og faktisk geologi langs tunnelen være stor.

I forundersøkelsen ble det presentert et oversiktskart som viser de antatt geologi påvirkende for prosjektet. Her er svakhetssoner, foliasjoner, sprekker og bergartssoner presentert i et topografisk kart, sammen med tunnelens plassering. Kartet i seg selv vil ikke bli presentert, men i Tabell 12 følger en oversikt over de antatte bergartssonene med tilhørende beskrivelse og sprengbarhet fra rapporten.

Tabell 12 - Bergartssoner som krysses av tunnelen

Geologi	Beskrivelse	Sprengbarhet
Grønnstein og grønnskifer	Relativt lav grad av anisotropi, som ofte tilsier medium borbarhet. Markert skifrihet kan gi redusert sprengbarhet, særlig dersom skifriheten har strøk nær parallelt, eller dersom skifriheten er nær flattliggende.	Medium
Amfibolitt og gabbro	Har som regel lav grad av anisotropi, noe som betyr dårligere borbarhet, men noe bedre sprengbarhet enn grønnstein.	Medium/god
Metasedimenter	Har ofte et høyt sprøhetstall som er gunstig for sprengbarheten. Både borbarhet og sprengbarhet vil i stor grad være avhengig av oppsprekkingsgrad og lagdelingens orientering i forhold til driveretningen. Her vil tunnelen skjære lagdeling i disse bergartene nært vinkelrett. Det regnes som gunstig både for borbarhet og sprengbarhet. I formasjonene med metasedimenter kan det også finnes bergarter med stort glimmerinnhold og fyllittisk karakter, som kan være tungsprengt.	Medium
Granittisk og mangerittisk gneis	Stor styrke, et visst kvartsinnhold og relativt høy sprøhet, varierende kornstørrelse og struktur er karakteristisk. Grunnet dette er kan det være store variasjoner i anisotropi og dermed sprengbarhet og borbarhet. Bergartsgruppen har ofte dårligere borsynk, men bedre sprengbarhet enn gjennomsnittet for norske bergarter, men med variasjoner.	Medium
Anortosittisk gneis	Karakteristiske egenskaper for denne bergartsgruppen er høy styrke, stor tetthet, lavt kvartsinnhold og lav sprøhet. Det gir ofte middels til god borbarhet, men noe dårligere sprengbarhet enn normalt (medium til dårlig). Her vil imidlertid også variasjonene være store.	Medium/dårlig

Ut ifra den antatte sprengbarheten fra rapporten vil det være rimelig å karakterisere bergmassens sprengbarhet i prosjektet som *medium*.

I rapporten ble det beskrevet at dårlig bergkvalitet og stor sikringsmengde kunne forventes der løpet krysser svakhetssoner. Utenom svakhetssoner ble bergmassekvaliteten antatt til å variere mellom god og dårlig. I følge Q-systemet, som er et system for klassifisering av bergmassekvalitet, ville Q-verdier hovedsakelig kunne variere mellom 1–40. Stor del av bergmassen kan forventes å være middels god. I forbindelse med kryssing av svakhetssoner ble bergmassekvaliteter antatt varierende fra svært dårlig til eksepsjonelt dårlig ($Q = [0,001-1]$).

Ifølge kartet som viser geologien for de ulike sonene består området hvor steinprøvene er hentet fra av granittisk til diorittisk gneis, hvilket kan stemme bra med karaktertrekkene til steinprøve A (se Figur 5). Det må imidlertid nevnes at bare innad i samme salve kan ulike bergarter forekomme, noe steinprøvene i kapittel 2.4 vitner om. De stipulerte bergartssonene i rapporten er veiledende, og stor variasjon innad i sonene vil være naturlig å forvente.

4.2.2 **Funn i MWD-data**

For å undersøke faktiske forhold fra tunnelen i case-studiet, ble det sett på tolkningen av MWD-data for salven der steinprøvene er hentet fra. I tolkningsmodellene kan borsynk, rotasjonstrykk, slagtrykk og matetrykk visualiseres ved hjelp av fargekoder, hvor fargene representerer ulike verdier innover i borhullet. Ut ifra disse fremstilles visualiseringer for tolket hardhet, tolket oppsprekking og tolket vann.

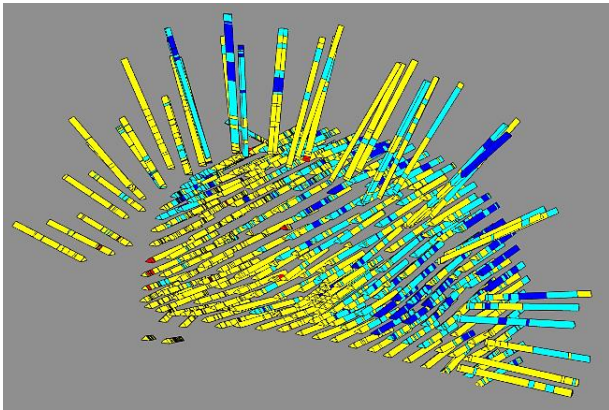
I Figur 35 til Figur 40 er det presentert utdrag fra visualiseringsmodellen basert på MWD-dataene fra tunnelen. Figurene viser en tolkning av borparametere fra den salven som bergprøvene er hentet fra. Det er presentert tolket hardhet og tolket oppsprekkingsgrad fra tre forskjellige vinkler; fra foran stuff, fra over tunnel og fra bak stuff. De radielle borhullene som står ut fra tunnelen som en vifte er boltehull, og er ikke av interesse ettersom det her ikke ble utsprengt masse. I Tabell 13 og Tabell 14 under er fargekodene og deres betydning i modellen presentert. Kolonnene for *Beskrivelse* og *Verdi* uttrykker definerte skalarer fra Bever Control for å tallfeste variasjon i de tolkede parameterne.

Tabell 13 - Tolket hardhet, MWD

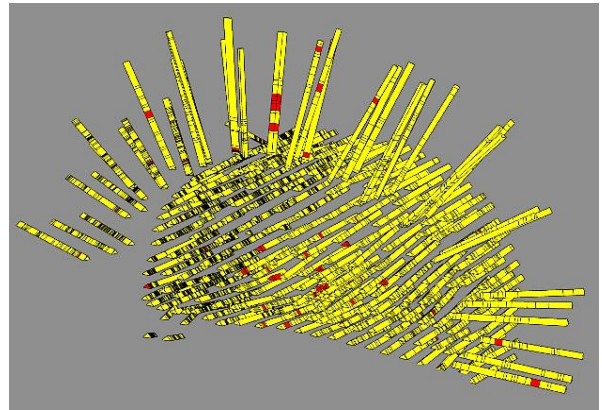
Beskrivelse	Verdi	Fargekode
≤ 1,7 m/min	-40,000	
1,7 – 2,1 m/min	-25,000	
2,1 – 3,0 m/min	5,000	
3,0 – 3,5 m/min	30,000	
3,5 – 4,1 m/min	40,000	
> 4,1 m/min	500,000	

Tabell 14 – Tolket oppsprekking, MWD

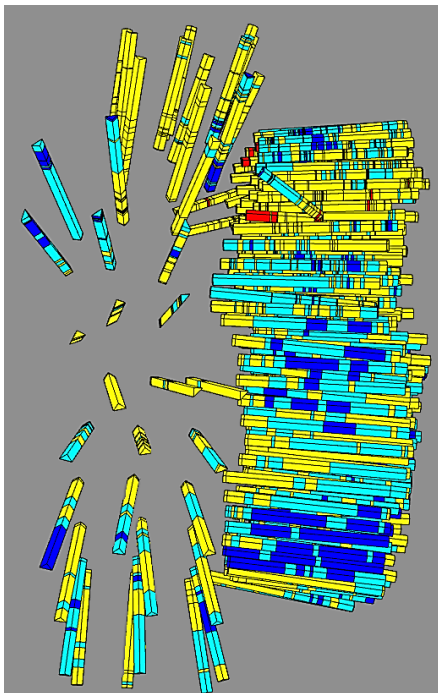
Beskrivelse	Verdi	Fargekode
F0	0,000	
F5	5,000	
F7,5	7,500	
F10	10,000	
F12,5	12,500	
F15	15,000	
F25	25,000	
F35	35,000	



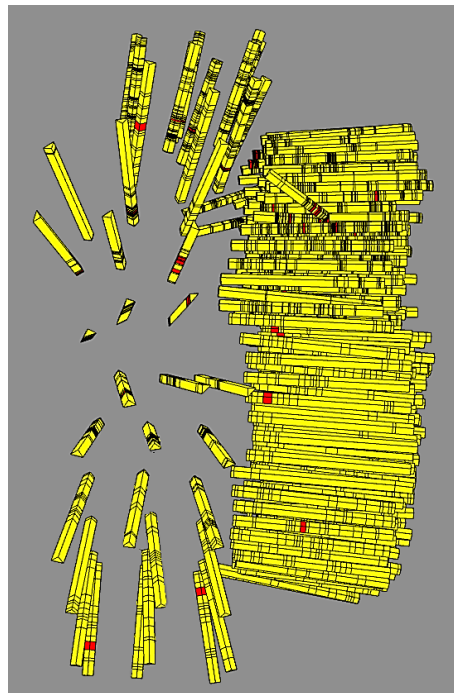
Figur 35 - Tolket hardhet, sett fra stuffside



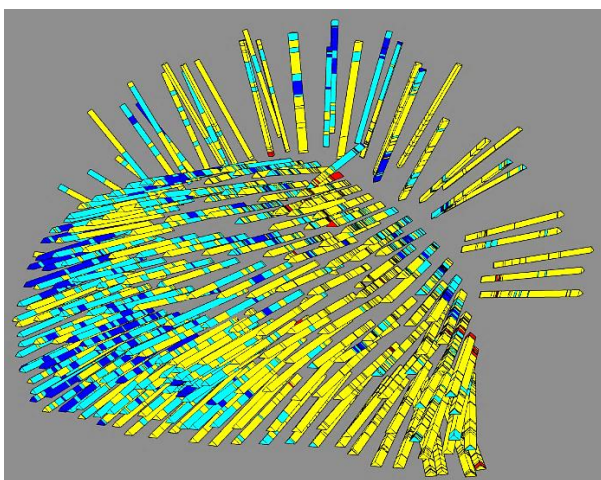
Figur 36 - Tolket oppsprekking, sett fra stuffside



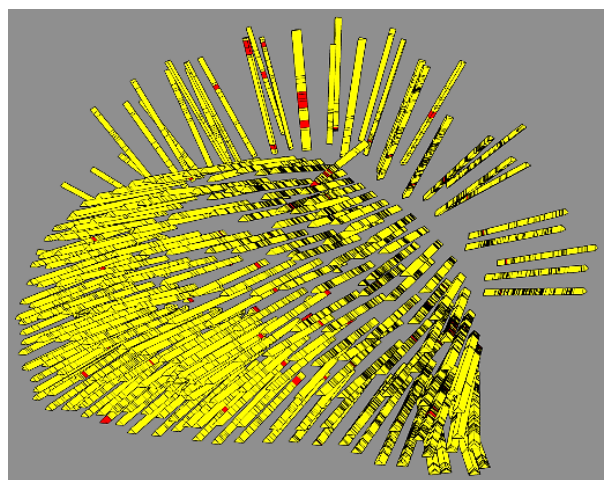
Figur 37 - Tolket hardhet, sett ovenfra



Figur 38 - Tolket oppsprekking, sett ovenfra



Figur 39 - Tolket hardhet, sett fra bak stuff



Figur 40 - Tolket oppsprekking, sett fra bak stuff

4.2.3 Resultater fra laboratorietest

Laboratorietesten presentert i kapittel 2.4 resulterte i verdier for sprengbarhetsindeksen (SPR) for de tre prøvene. Disse verdiene er presentert i Tabell 15 under. Tall og delutregninger for sprengbarhet er i sin helhet vedlagt i 7.3.

Tabell 15 - Steinprøvenes sprengbarhetsindekser

Steinprøve	SRP-verdi
A	0,304
B	0,291
C	0,287

Ut ifra diagrammet tidligere presentert i Figur 15 kan man se at alle tre SPR-verdier beregnet ligger under empirien for samtlige bergarter fra tidligere gjennomførte tester. Det er her trukket en grense for *veldig god* sprengbarhet på 0,32, og dersom denne inndelingen følges kan samtlige steinprøvers sprengbarhet karakteriseres som veldig god.

Som tidligere nevnt gjenspeiler ikke SPR-verdier avdekket på laboratorium sprengbarhet for bergmassen. Momenter som sprekker, foliasjoner og bergtrykk vil også ha innvirkning på hvor mye sprengstoff som er nødvendig for å bryte berget i ønsket grad.

Resultatene fått ved beregning av SPR-verdiene kan sies å ha god reliabilitet. Beregningene er relativt ukompliserte og metoder for laboratoriearbeidene med tilhørende antagelser og usikkerhet er godt beskrevet i avsnitt 2.4.4. Dette medfører enkelhet for å gjenta forsøkene med like forutsetninger, som igjen øker etterprøvnbarheten. Validiteten av funnene avdekket kan også sies å være god, ettersom de er direkte knyttet til momenter i oppgavens problemstilling.

5 DISKUSJON

Oppgavens diskusjonskapittel er tredelt. I avsnitt 5.1 vil de momenter avdekket i undersøkelse av de innhentede borplanene diskuteres i en komparativ analyse, med bakgrunn i avdekket teori og resultater fra de kvalitative intervjuene. I avsnitt 5.3 og 5.2 vil funnene avdekket i gjennomgang av dokumentene fra case-studiet og resultatene fra laboratoriarbeidet bli drøftet. I avsnitt 5.2 vil resultatene også bli knyttet opp mot prognosemodellen ved å benytte disse som input sammen med gitte forutsetninger fra tverrsnittet fokusert på i case-studiet. Avsluttende vil usikkerhet ved prognose-modellen og arbeider med den drøftes i sammenheng med gjeldende oppgave.

5.1 KOMPARATIV ANALYSE AV BORPLANDATA

Dette avsnittet vil ta for seg resultatene som fremkom i avsnitt 4.1, satt i sammenheng med NTNUs prognosemodell presentert i avsnitt 3.3. For å undersøke hvorvidt resultater fra NTNUs prognosemodell stemmer med dagens praksis vil det fremlegges en komparativ analyse av innhentede data og modellens innhold.

Som forventet foreligger det en økning i hullmengde mellom data hentet fra planene sammenlignet med NTNU-modellens anbefalinger. For begge tverrsnittsgruppene (Figur 30 og Figur 31) ligger trendlinjen for datasettet i varierende grad høyere enn for modellen.

I Figur 30 foreligger det en relativt klar tendens for økende differanse mellom kurvene ved økning av tverrsnittsstørrelsen. For tverrsnitt med størrelse rundt 50 m^2 er forskjellen mellom modellkurven og trendlinjen for tverrsnittene omtrent 20 hull, mens i kurvens øvre sjikt er forskjellen nesten 40 hull. Gjennomsnittlig for gruppen med medium sprengbarhet er differansen 42 hull. Prosentvis økning for brukt borhullsmengde i tverrsnittene er gjennomsnittlig 22,8 % sammenlignet med anbefalingen til borhullsmengde fra NTNU-modellen.

I Figur 31 kan det observeres at tendenslinjen for tverrsnittsgruppen med dårlig sprengbarhet er brattere. Differansen mellom denne og modellens kurve i området rundt 50 m^2 er lik som for Figur 30, men på rundt 120 m^2 øker forskjellen til nærmere 60 hull. For denne tverrsnittsgruppen er gjennomsnittlig differanse mellom anbefalt og faktisk brukt borhullsmengde 33 hull. Prosentvis økning for brukt borhullsmengde er gjennomsnittlig 27,3 % sammenlignet med NTNU-modellens anbefaling for de ulike tverrsnittene.

Ettersom det totalt ble samlet inn 55 tverrsnitt, kan det argumenteres for at datamengden er for liten til å kunne trekke konklusjoner for praksisen i Norge generelt. Dette vil spesielt være gjeldende for små og store tverrsnitt da størsteparten av tverrsnittene samlet inn ligger på $60\text{--}80 \text{ m}^2$. Det må også nevnes at datamengden for tverrsnittsgruppen med dårlig sprengbarhet er spesielt liten. Ved endring av bare de to

øverste datapunktene ville forskjellen mellom de innhentede dataene og modellkurven blitt mindre. Generelt kan det sies at bruk av trendlinjer for små datasett kan påvirke til å trekke konklusjoner basert på dårlig grunnlag. Forskjellen i gjennomsnittlig differanse i borhullsmengde vil derfor heller ikke kommenteres.

Grupperingen etter sprengbarhet som først ble presentert i Tabell 2 bør også diskuteres. I de tilfeller der sprengbarheten for tverrsnittet enten ble antatt ut ifra områdets geologi, eller satt til slik prosjekts geologi generelt var, vil det som tidligere nevnt foreligge usikkerhet. Dette underbygges av funnene fra forundersøkelsen, laboratorietestene, og slik berget generelt ble beskrevet i de kvalitative intervjuene i forbindelse med case-studiet. I forundersøkelsen ble det som nevnt antatt at geologien i området rundt der steinprøvene er hentet var middels god, mens laboratorietestene viste veldig god sprengbarhet for samtlige steinprøver. Også i de kvalitative intervjuene kom det frem at berget i gjeldende område holdt god sprengbarhet, foruten der svakhetssoner forekom. Dette viser at det kan være en usikkerhet mellom den sprengbarheten som ble antatt for de ulike tverrsnittene og faktisk gjeldende sprengbarhet.

Underveis i arbeidet med oppgaven har det blitt identifisert mulige årsaker til hvorfor de gjeldende avvikene foreligger. Mange av disse årsakene har gjort seg til kjenne gjennom konsultasjon med veileder, for så å bli bekreftet gjennom informasjonsinnhenting, for eksempel gjennom de kvalitative intervjuene. Disse årsakene antas å være todelt. En grunn kan være at entreprenører av ulike årsaker velger å benytte andre utførelsesmetoder enn de som er anbefalt i modellen. Den andre er at standarder, krav og utstyr på dags dato er endret til den grad at modellens grunnlag ikke lengre er gjeldende. Mulige momenter som bidrar til avvik har blitt identifisert:

- Nye konturkrav
- Praksis for entreprenør
- Mer effektive maskiner og utstyr
- Endrede insentiv for entreprenør

I avsnittene under vil mulige årsaker til dette presenteres og drøftes. Det kan imidlertid sies at avviket for de ulike tverrsnittene vil variere mye i forhold til hverandre, og differansen i avvik for to tverrsnitt vil skyldes forskjellige årsaker, samt usikkerhetsmomenter beskrevet i 2.2.1.

5.1.1 Konturkrav

En av de innledende indikasjonene på endring i dagens mengdebruk for borhull var revisjonen av kravene for kontur fra Statens vegvesen. Denne kom i 2012, noe som tilsier at seneste revisjon av prognosemodellen baserer seg på foreldede premisser (Statens vegvesen, 2012). Som presentert i Tabell 6 varierer anbefalt hullavstand i kontur fra 0,7–1,0 m i Zares modell. Dette kan sammenlignes med innholdet i dagens krav fra Håndbok R761 beskrevet i kapittel 3.7.2, som fastslår hullavstand i kontur på 0,7 m eller mindre dersom spesielle behov tilsier dette.

De innskrenkede standardkravene til hullavstand fører til en generell økning i antall konturhull sammenlignet med NTNU-modellens anbefaling. Større mengde konturhull medfører følgelig en reduksjon av hullavstanden. At konturhullavstanden for tverrsnittene generelt er redusert i forhold til Zares modell, slik det fremgår av Figur 32, gir derfor mening grunnet kravene som i dag foreligger.

Som det kan ses av Figur 32 er det tverrsnittene som tilhører gruppen med medium sprengbarhet som har størst reduksjon i konturhullavstand. Ut ifra tanken om at lettsprengt fjell krever mindre tett bormønster kan det stilles spørsmål ved dette resultatets validitet. Det vil derfor være uklokt å trekke noen konklusjon ut ifra sammenligningene i denne figuren, ettersom tverrsnittgrupperingen ble fastslått på bakgrunn av antagelser forbundet med usikkerhet (se avsnitt 2.2.1).

5.1.2 Praksis for entreprenør

Utført arbeid varierer ofte fra det som er opprinnelig planlagt, og fra aktør til aktør. Eksempel på et slikt moment er hvordan entreprenør velger å ansette borhullene relativt til den teoretiske sprengningsprofilen. Av Håndbok R761 gjelder det som tidligere nevnt at konturhull ikke skal ansettes innenfor prosjektert kontur, og med en nøyaktighet på 100 mm (Statens vegvesen, 2018). Det fremkommer imidlertid ikke noen spesifikk øvre grense på hvor langt utenfor prosjektert kontur entreprenøren skal ansette. Dette reguleres derimot gjennom negative insentiver oppgitt i prosesskoden vedrørende beregning av mengder, hvor det blant annet fastslås at overberg/utfall som skyldes uforsiktig sprenging eller feilboring ikke vil kompenseres (Statens vegvesen, 2018).

I kontakt med en av bidragsyterne kom følgende frem:

Prosesskoden tillater ikke ansett innenfor teoretisk sprengningsprofil. Fjellforholdene og fremdrift bestemmer om en går opp til 20 cm utenfor sprengningsprofilen. I de aktuelle bestemmelser for [gjeldende prosjekt] står det at enden av borpipene ikke skal stikke mer enn 500 mm utenfor teoretisk sprengningsprofil. Siden det er snakk om borpipene og ikke borhull så betyr det at en må legge inn en margin i boreplanen, dvs. at enden av borhullene er prosjektert ca. 40 cm utenfor teoretisk sprengningsprofil. Og da man trenger minimum stikk på 30 cm for å klare salvehakken (kanskje 25 cm i ekstreme tilfeller) er ansett låst til maks 10 cm.

Sitatene over er eksempler på momenter som ligger til grunn for bestemmelse av ansett relatert til sprengningsprofil. Hvor nærme entreprenør velger å ansette konturhull er derfor et spørsmål om hva som til slutt gir best fortjeneste. For å redusere både sprengstoff- og bormeterforbruk vil det være gunstig å ansette så nærme teoretisk kontur som mulig. Dette balanseres på den andre siden av ønske om å opprettholde kontinuerlig inndrift, som forutsetter minst mulig rensk og sikringsarbeid. Grunnet forandringer i kostnadsbildet har mange entreprenører i dag en annen sikringsfilosofi enn før. Bare fra 2006, da Zare samlet data til prognosemodellen, har prisen for arbeidskraft i bygg- og anleggsbransjen økt med 39 %, mens kostnaden for byggematerialer til bruk i fjelltunneler har gått ned med 12,3 %, sett i forhold til dagens kroneverdi (SSB.no, 2018a) (SSB.no, 2018b). Denne utviklingen forsterker

påstanden om at entreprenører i dag legger mer vekt på kontinuerlig fremdrift enn forbruk av sprengstoff og bormeter. Det koster mye å ha folk i arbeid, og gjennom god fragmentering sikrer man fremdrift både i form av en enklere laste- og transportprosess og man slipper omskyting grunnet gjenstående knøler. Samtidig er rask fremdrift selvfølgelig generelt foretrukket. Grunnet forholdene over er ansett av borhull et moment som bør vurderes nøye.

I Figur 33 er det fremstilt en sammenligning av arealene for prosjektert og ansatt profil for samtlige innsamlede tverrsnitt, og differansen mellom de to er presentert i Figur 34. Her kan det leses at differansen mellom sprengnings- og ansettprofil varierer fra 1,53 m² (for Tverrsnitt 21) til 18,23 m² (for Tverrsnitt 4). Gjennomsnittsdifferansen for alle de innsamlede tverrsnittene er 6,64 m², som tilsvarer en prosentvis forskjell i arealstørrelse mellom ansett og teoretisk sprengningsprofil på 8,2 %. Litt uventet er det tverrsnittene som tilhører gruppen med medium sprengbarhet som dominerer i det øvre sjiktet i Figur 34, ettersom det kunne tenkes at lettsprengt fjell ikke krever overdreven utvidelse for ansett. Det vil også her være uklokt å anse denne datasammenligningen som fasit ettersom differansene er påvirket av tverrsnittenes geometriske utforming. Dette kan underbygges av at tverrsnittgrupperingen ble fastslått på bakgrunn av usikre antagelser (se avsnitt 2.2.1).

Det vil alltid foreligge variasjon mellom planlagt arbeid og utført arbeid. Her spiller arbeidskultur en stor rolle, ikke bare mellom ulike entreprenører, men også innad i samme bedrift. I de kvalitative intervjuene ble det lagt vekt på at hvert driverlag har sin måte å arbeide på. Normer og metoder kan variere på bakgrunn av vaner eller ulike meninger, også mellom motgående skift. Ut fra geologi og stoffens utforming kan borrhulloperatører velge å ansette borhull noe annerledes enn det som vises på den prosjekterte borplanen, uten å følge bestemte normer. Grunnet driverlagets tette forhold til berget de arbeider i vil denne subjektive vurderingen, ofte basert på erfaringer fra tidligere salver i tunnelen, bidra til et bedre sprengningsresultat. Det fremgår i *Forskrift om håndtering av eksplosjonsfarlig stoff* at slike endringer er legitime så lenge det beskrives i salverapporten, jf. § 11-8 femte ledd (Lovdata, 2002). Salverapporten er et dokument som skriftlig fylles ut i etterkant av skutt salve, hvor sprengningsresultat og salvedata oppgis, med spesielt hensyn til avvik for den enkelte salve og hvordan disse ble håndtert (NFF, 2013). Det fremkom imidlertid av de kvalitative intervjuene at slik avviksrapportering ikke alltid gjennomføres. Dersom det ikke gjøres er det vanskelig å sammenligne planlagt arbeid opp mot utført, og å eventuelt forbedre fremgangsmåter i fremtiden.

For enkelte av tverrsnittene er det mulig at stedets geologi har blitt tatt høyde for i utarbeidelse av borplanene. Et eksempel på et slikt tilfelle er flytting av kontur, som kom frem i forbindelse med de kvalitative intervjuene. Ved behov for ytterligere plass til sikring kan byggherre bestille at konturen ansettes 30 cm utenfor teoretisk profil. Dette kan forekomme når betongbuer benyttes ved kryssing av svakhetssoner. Slike tiltak vil derfor påvirke konturen med hullavstand og borrhullsmengde sammenlignet med det som er normalt.

5.1.3 Maskiner og utstyr

Selv om det kan sies at teknikkene brukt ved konvensjonell driving av tunneler i Norge er ganske lik i dag som rundt tusenårsskiftet, er det også momenter som har forandret seg. Eksempelvis kan utviklingen av bormaskiner nevnes. En av de mest effektive bormaskinene på markedet da Zare innhentet empirigrunnlag var COP 3038 fra Atlas Copco (Zare, 2007). Denne hadde en effekt på 30 kW (Mining & Construction, 2004), mens en av de bedre borhammerne som leveres i dag (COP 4038) leverer 40 kW (Epiroc Norge AS, 2018). Bormaskiner i dag er altså mer effektive enn de som var tilgjengelig i 2005,



Figur 41 - COP 4038 borhammer (Epiroc Norge AS, 2018)

noe som gir bedre effektivitet og dermed større produksjon. Det samme kan antageligvis sies om hjullastere og transportkjøretøy, med tanke på generell teknologisk utvikling.

Utvikling av utstyr som har mest å si for oppgavens problemstilling er sprengstofftype. Å få til god kontursprengning bygger mye på teorien om skadesonen rundt borhull diskutert i 3.1.1. Ulike typer sprengstoff har ulike virkemåter, og vil ha varierende grad av påvirkning på gjenstående fjell. Dette må tas hensyn til under planlegging av sprengningsarbeider for å hindre overdreven skade på kontur (Bruland & Olsen, 2016).

Som nevnt i avsnitt 3.7.2 spesifiseres det i R761 krav til sprengstoffbruk i tunnelsprengning i form av sprengstofftype og effekt i første og andre konturrast. Dette kan relateres til kravet som forelå i 2007, hvor det kun var krav om sprengstoff med redusert effekt i kontur, tilsvarende maks 22 mm rørladning (Statens vegvesen, 2007). Etersom gjeldende krav for redusert sprengstoffmengde i kontursprengning ikke var spesifisert i 2007, kan dette være en av grunnene til endret praksis. Lavere virkning av sprengstoff i konturen fører til reduksjon av den karakteristiske «klippeeffekten», noe som kan ha ført til at hullavstand måtte reduseres, og dermed hullmengde økes.

5.1.4 Insentiver for entreprenør

En annen faktor som kan påvirke kvaliteten av tunnelarbeider er insentiver som benyttes. Dette er motivasjonsfaktorer som påvirker til valg av adferd ved å gjøre et eller flere alternativ mer hensiktsmessig enn andre (SNL, 2018). Insentiver kan være positive (for eksempel bonuser), negative (for eksempel dagmulker), eller perverse, som virker mot sin hensikt. Insentiver kan også være kontraktsfestet eller skjulte, som tilsier at det foreligger motivasjon til et gitt handlingsmønster som ikke nødvendigvis er tiltenkt.

Generelt er det gjeldende at krav oppgitt i standarder og kontrakt, slik som beskrevet i N500 og R761 (henholdsvis avsnitt 3.7.1 og 3.7.2), skal følges. Dersom krav herfra ikke overholdes, kan byggherre benytte sanksjonsmidler som for eksempel arbeidsstans, hvilket innebærer tapte inntekter for entreprenør. Å unngå slike situasjoner er i seg selv et insentiv til å utføre arbeid etter gitte krav og standarder. Som nevnt i 5.1.2 reguleres blant annet mengdeberegning gjennom negative insentiver hvor det fastslås at utfall som skyldes uforsiktig sprengning eller feilboring ikke vil kompenseres.

I tillegg til kravene for arbeid med tunnelsprengning nevnt i 3.7.1 og 3.7.2, kan det også foreligge rystelseskrav. Dersom sprengningsinduserte vibrasjoner blir for store kan dette medføre skader på infrastruktur og bygningsmasse. Har entreprenør oversteget grenseverdier for tillatt rystelser kan dette utløse krav til entreprenør for kompensasjon av skadene påført. Å unngå slike krav kan også være et insentiv til entreprenør for å bore og lade nøyaktig og slik som planlagt.

En generelt prinsipp er at jo hardere det lades og sprenges, jo større sprengningsindusert skadesone oppstår i det gjenstående berget, og jo høyere sikringsmengde er nødvendig. Forsiktig sprengning kan derfor bidra til å skåne kontur, som vil kunne gi redusert sikringsbehov. Dette kan være gunstig for entreprenør for eksempel i de tilfeller hvor totalentreprise er benyttet kontraktsform. Her får entreprenør betalt for arbeidene som utføres, uavhengig av hvor stor mengde sikring som medgår. På denne måten har entreprenør et insentiv for å bore og lade etter gitte krav – og kanskje enda mer forsiktig – ettersom det kan være kostnadsbesparende for sprengningsarbeidene totalt.

Mange tunnelarbeidere i dag jobber med produksjonsbasert lønn. Før 2003 arbeidet blant annet ansatte i Statens vegvesens produksjonsavdeling på timelønn, og det kan være at deler av Zares datagrunnlag bygger på data fra prosjekter hvor dette ble praktisert. Den nyere ordningen gir ansatte et insentiv til å øke produksjonen i løpet av skiftet sitt, noe som igjen kan påvirke dagens inndrift sammenlignet med tidligere. Det kan tenkes at dette øker presset for å opprettholde effektiv produksjon, som i noen tilfeller vil kunne gå utover kvaliteten på arbeidet.

Det kan med fordel også benyttes positive insentivordninger som for eksempel konturbonus. Dersom stufflaget får direkte gevinst for å oppnå god konturkvalitet gir dette økt motivasjon til å være nøyaktig i utføring av bore- og sprengningsarbeidet (Havik, 2015).

Et annet moment innen sikringstematikken er fremtidsutsikter for fossilfrie anleggsarbeider. Produksjon av byggematerialer som for eksempel stål og betong står i dag for omtrent 2/3 av klimagassutslipp for norske anleggsprosjekt (SINTEF, 2018). Den norske måten å bygge tunneler på baserer seg i dag i stor grad på bruk av sprøytebetong og bolter, og en reduksjon av mengdebruken her vil være gunstig for å nå fremtidige mål. Det finnes allerede i dag prosjekter hvor mengde CO₂-utslipp tas hensyn til i valg av tilbyder (Statens vegvesen, 2019). Om denne utviklingen fortsetter vil det i fremtiden bli aktuelt for entreprenør å se på nye måter å minske utslipp på. Nytenkning i utforming av bormønster for å kunne redusere sikringsmengden kan være en måte å oppnå dette, som da vil gi tilbydere et fortrinn for å møte eventuelle utslippskrav i konkurransegrunnlaget.

5.2 FUNN FRA LABORATORIUM OG FORUNDERSØKELSEN SOM INPUT I MODELLEN

For å relatere NTNUs prognosemodell til et eksempel fra virkeligheten, ble det valgt å benytte funnene avdekket i innsamlinger fra case-studie som input i Figur 16 i modellen. På denne måten vil det være mulig å sammenligne anbefalinger til bormønster med borplanen som faktisk ble benyttet for gjeldende salve. I datasettet er det Tverrsnitt 20 som representerer borplanen benyttet i salven der steinprøvene er fra, og i sammenligning av resultatene innhentet med modellens anbefalinger er det viktig at forutsetningene er de samme. Det vil derfor bli brukt tverrsnittsstorrelse 140,78 m², salvelenge 4,75 m samt høyt erfaringsnivå hos tunnel drivere ved undersøkelse av kurven for nødvendig borhullsmengde, samt korreksjonsfaktoren k_{bl} .

I avsnitt 4.2.1 ble det avdekket at den på forhånd antatte geologien i området hvor prøvene er utsprengt holder en medium sprengbarhet. Da anbefalte verdier fra modellen for gjeldende tverrsnitt allerede er bestemt i forbindelse med den komparative analysen, kan data hentes direkte fra matrisen i vedlegg 7.2. Her fremgår det at for gjeldende tverrsnitt er anbefalt borhullsmengde fra prognosemodellen 160, mot de 227 som faktisk ble brukt på prosjektet. Dette tilsvarer en differanse på 67 borhull.

Laboratoriearbeidene utført konkluderte med at sprengbarheten til alle tre steinprøvene kan karakteriseres som veldig god. Ved å benytte dette som input sammen med de gitte forutsetninger for tverrsnittet nevnt over, vil resultatet bli noe annerledes. Tolkning av kurven for god sprengbarhet samt korreksjonsfaktoren for salvelengde og erfaringsnivå i Figur 16 gir en borhullsmengde på 145. Mot de 227 hullene som ble brukt tilsvarer dette en differanse på hele 82 borhull. Dersom det også hadde eksistert en kurve for *veldig* god sprengbarhet ville denne differansen vært enda større.

Både ved bruk av resultatene hentet fra forundersøkelsen og resultater funnet gjennom laboratoriearbeid som input, får man en betydelig differanse i borhullsmengder sammenlignet med det borplanen for tverrsnittet oppga. Dette kan relateres til avvikene avdekket gjennom tolkning av Figur 30 og Figur 31 i avsnitt 5.1, hvor anbefaling til hullmengde fra modellen også er generelt lavere enn den mengden brukt for samtlige tverrsnitt. Differansen for gjeldende tverrsnitt, både i sammenligning med data fra

forundersøkelse og data fra laboratorietestene, er imidlertid mye høyere enn for de øvrige tverrsnittene. På bakgrunn av tidligere omtalte usikkerhetsmomenter (avsnitt 2.2.1) vurderes det derfor som uklokt å anta at denne differansen er representativ for de fleste situasjoner, men at det allikevel står som et komparativt eksempel.

5.3 MWD-DATA

I utgangspunktet var det tenkt at resultatene fra laboratorietesten skulle sammenlignes med funn i MWD-data. Dette viste seg derimot å bli problematisk av flere grunner.

Som Figur 35 til Figur 40 viser var geologien innad i salven svært varierende, og det er derfor vanskelig å relatere steinprøvene til et bestemt område i salven. Hadde salvens geologi hatt en mer homogen karakteristikk kunne det blitt antatt at steinprøvene var representative for salven generelt. Det er derimot ikke noen måte å vite hvor i salven prøvene er hentet fra, og en forsvarlig sammenligning her vurderes derfor som uopnåelig.

Det andre momentet er at det i skrivende stund ikke foreligger noen direkte sammenheng mellom tolkede MWD-data og en bergmasses sprengbarhet. I forbindelse med de kvalitative intervjuene kom det frem at hardhet og grad av oppsprekking muligens kan relateres til sprengbarhet. Dette gir mening ut ifra de geologiske faktorene som påvirker sprengbarheten identifisert og presentert i Tabell 3 i oppgavens teoridel, hvor blant annet oppsprekingsgrad står sentralt. Også i forbindelse med intervjuene kom det frem at det ikke foreligger noen gjeldende praksis for tolkning av sprengbarhet utfra MWD-data.

På bakgrunn av teorien om RBFi i 0 og Blastability Index i 3.4.3 kan det tenkes at det eksisterer en link mellom sprengbarhet og for eksempel hardhet som logges i MWD-dataene. Dette underbygges av at det på 60- og 70-tallet ble avdekket sammenhenger mellom punktlaststyrke og borsynk, som står i fokus ved tolkning av hardhet. Det ble da vist at bergartsprøver med stor punktlaststyrke gav lav borsynk, og liten punktlaststyrke gav høy borsynk, samt at borsynken avtar nærmest lineært for økende punktlaststyrke større enn omtrent 6 MPa (Broch & Nilsen, 1999). En slik sammenheng vil kunne være interessant å se nærmere på i en fremtidig oppdatering av modellens empirigrunnlag. På denne måten kan man relatere brukte borplaner fra tidligere prosjekter direkte til gjeldende geologi, inkludert sprengbarhet. Ved gjennomføring av fremtidig forskning vil det være gunstig å ha borparameterdata tilgjengelig som datagrunnlag, og det ansees derfor generelt som hensiktsmessig at MWD-data tas vare på, også etter at prosjekter er ferdig (Jakobsen & van Oosterhout, 2018).

Som tidligere nevnt bør både entreprenør og byggherre har tilgang til borparametertolkningene for at bruken av dette skal utnyttes i størst mulig grad. For eksempel ved kryssing av svakhetssoner kan MWD-tolkning av sonderhull forberede driverne på kommende bergmasse. På denne måten kan man innføre motvirkende tiltak som å utvide tverrsnittet for plass til ytterligere sikring (Jakobsen & van Oosterhout, 2018). Av Figur 25 kan det ses at vanlig praksis for bruk av MWD-teknologi i mange tilfeller er at

entreprenør samler inn data nødvendig, for så å overføre disse til byggherre for tolkning. For å hindre tvister omkring hvem som har rettigheter på tilgang og bruk av dataene bør dette avtales på forhånd, eventuelt kontraktfestes. Viktigheten av disse momentene ble også understreket i forbindelse med de kvalitative intervjuene.

5.4 USIKKERHET I PROGNOSEMODELLEN

Som beskrevet i oppgavens teorikapittel er det en viss usikkerhet knyttet til bruk av NTNU modellen. Det er mange parametere som inngår i modellens ulike deler hvor mange av disse er forbundet med usikkerhet. Eksempelvis kan kartlegging av bergmassens karakteristikkk nevnes. Som tidligere nevnt kan dårlig kvalitet på berget forsinke prosjekter betraktelig dersom det ikke er forutsett. Feilantatt bergmasse, blant annet dens sprengbarhet, er utslagsgivende for de resultater en prognosemodell gir. Dette er en stor svakhet ettersom man sjelden er helt sikre på hvilken geologi grunnen skjuler. Et eksempel på dette er den ingeniørgeologiske forundersøkelsens antagelser for sprengbarhet sammenlignet med de resultater laboratorietestene ga i denne oppgaven. På forhånd ble det antatt at geologien holdt en medium sprengbarhet, mens sprengbarheten avdekket i test av samtlige prøver innhentet tilsa at sprengbarheten var veldig god.

NTNUs prognosemodell er som tidligere nevnt deterministisk. Dette innebærer at output man får gjennom bruk av modellen direkte svarer til de input som legges inn. På denne måten blir det ikke tatt høyde for usikkerhet knyttet til estimatet selv, eller usikkerhet knyttet til parameterne man opererer med. Som nevnt i 3.3 inkluderer Zare i sin avhandling at videre arbeid med prognosemodellen kan være inkorporering av statistiske beregninger. En relevant sannsynlighetsfordeling, for eksempel normalfordeling, kan med fordel benyttes. Deretter kan sannsynligheten av verdier knyttet til for eksempel geologi, kostnader eller tidsbruk bestemmes gjennom bruk av en Monte Carlo-simulering. Denne vurderingen sees på som fornuftig tatt i betraktning den mengde antagelser og usikkerheter som har blitt diskutert i oppgaven. Eksempelvis kan prognosemodellene presentert i 0 og 3.5.4 undersøkes nærmere. Isakssons modell benytter stokastiske variabler, som inkorporerer sannsynlighet for ulike verdier i prognosemodellen. Dette kunne for eksempel blitt benyttet for å ta høyde for varierende geologi i beregning av sprengbarhet. Bruk av empiri fra tidligere prosjekter benyttes allerede i NTNU-modellen, og som Špačková's doktorgrad fremlegger kan dette kombineres med for eksempel poissonsfordelinger og hendelsestre-analyser for å inkorporere statistikk og usikkerhetsberegninger.

6 KONKLUSJON OG VIDERE ARBEID

Denne masteroppgaven har tatt for seg deler av NTNUs prognosemodell for konvensjonell tunneldrift, med den hensikt å avdekke forskjeller mellom anbefalinger modellen gir sammenlignet med den praksis bransjen utøver. I dette avsluttende kapittelet vil arbeidende foretatt oppsummeres samt at forslag til videre arbeid med temaene vil fremlegges.

6.1 KONKLUSJON

Basert på gitte antagelser har det gjennom en komparativ analyse blitt konstatert at den borhullsmengde entreprenører benytter i dag generelt er høyere enn anbefalinger fra prognosemodellen.

For innsamlede tverrsnitt i gruppen for medium sprengbarhet har gjennomsnittlig differanse i borhullsmengde blitt funnet til å være 42 hull. Dette tilsvarer en gjennomsnittlig økning på 22,8 % sammenlignet med prognosemodellens anbefalinger. For tverrsnittsgruppen med dårlig sprengbarhet er det avdekket at det gjennomsnittlig foreligger en differanse på 33 borhull, noe som tilsvarer en økning på 27,3 % i forhold til anbefalingen prognosemodellen gir.

Det har også blitt identifisert mulige årsaker til hvorfor disse avvikene foreligger. Endrede konturkrav, forskjell i praksis for entreprenør, utvikling i utstyr og maskiner og endrede insentiver har blitt avdekket og drøftet på grunnlag av bakgrunnsteori, observasjoner og resultater fra kvalitative intervjuer.

For å relatere problemstillingen til et eksempel fra virkeligheten, har det blitt gjennomført et case-studie med et veitunnelprosjekt som forskningsobjekt. Her har det blitt foretatt granskning av ingeniørgeologisk forundersøkelse samt MWD-data fra prosjektet. Fra case-prosjektet har det også blitt hentet inn tre steinprøver for test av sprengbarhetsindeksen SPR på laboratorium. Resultater fra tester og funn i forundersøkelsen har blitt satt opp mot prognosemodellen og drøftet på bakgrunn av funn i den komparative analysen. På bakgrunn av de foreliggende antagelser har det blitt vist at man ved bruk av resultater fra både forundersøkelsen og laboratorietestene som input i modellen, får mye lavere borhullsmengde sammenlignet med det som faktisk ble benyttet for gjeldende salve.

MWD-data fra prosjektet i området hvor steinprøvene er hentet fra har blitt evaluert og forsøkt relatert til sprengbarhet. Det har blitt avdekket at det i dag ikke eksisterer noen direkte link mellom tolkede MWD-data og sprengbarhet. Gjennom undersøkelse av bakgrunnsteori samt resultater fra de kvalitative intervjuer har det blitt identifisert at det muligens kan finnes en sammenheng mellom borparametere, som for eksempel borsynk, og bergmassens sprengbarhet.

I arbeid med oppgaven har det også blitt avdekket at bruk av modellen bygger på antagelser og flere usikre parametere. Det har derfor blitt identifisert et behov for håndtering av usikkerhet i

prognosemodellen som i dag er deterministisk. Gjennomgangen av bakgrunnsteori resulterte i funn av andre prognosemodeller for tunneldrift hvor usikkerhet tas høyde for.

6.2 VIDERE ARBEID

Under arbeid med oppgaven har det dukket opp problemstillinger og ulike momenter som ikke har kunne blitt besvart eller videre undersøkt. Disse vurderingene begrunnes med begrensningen i tid som følge av en masteroppgavens omfang.

Det kan argumenteres for at usikkerheten forbundet med en oppgave av slikt omfang vil ha så stor påvirkning at det blir vanskelig å fatte forsvarlige konklusjoner. I et eventuelt videre arbeid med verifisering vil det derfor være fordelaktig å innhente større og bredere datamengde. Størrelsen på tverrsnittene innsamlet spenner ikke over samme spekter som dataene NTNU-modellen bygger på, noe som fører til at grunnlaget for å si noe om resultater i spekterets ytterkanter blir tynt. De fleste tunneler som drives konvensjonelt i Norge i dag er tunneler for vei og bane med tverrsnitt på ca. 70+ m², noe som gjør seg til kjenne da størsteparten av tverrsnittene samlet inn ligger på 80–90 m². For å øke en konklusjons validitet kan det samles større datamengder, og det kan med fordel legges særlig vekt på å aktivt samle data for tverrsnitt i små og store størrelser. For å bedre sammenligningsgrunnlaget kan det også vurderes å samle data fra andre tunnelprosjekttypen enn bare veitunneler.

Årsakene til avvik drøftet i avsnitt 5.1.1 til 5.1.4 bygger på momenter avdekket gjennom de kvalitative intervjuene, samt hypoteser og antagelser. Videre arbeid med disse momentene vil være høyst aktuelt for å undersøke deres relevans i relasjon til prognosemodellens empiri, samt kvantifisere hvor store de individuelle påvirkningene er.

Som nevnt er det en mulig sammenheng mellom tolkede MDW-data og bergmassens sprengbarhet. Dersom en slik link eksisterer kan fremtidig empiri-innsamling til prognosemodellen sammenkoble faktisk geologi fra borede salver til data fra tilhørende borplaner. Dette vil kunne forsterke det empiriske datagrunnlaget i modellen.

Gjennomgangen av bakgrunnsteori resulterte i funn av to andre prognosemodeller for tunneldrift hvor usikkerhet og risiko tas høyde for gjennom statistiske beregninger. Dersom det i videre arbeid blir aktuelt å undersøke muligheten for, eller å inkorporere sannsynlighetsberegninger i NTNUs modell, vil disse modellene kunne være av interesse.

Avslutningsvis bør det igjen nevnes at denne masteroppgaven hovedsakelig har sett på den delen av prognosemodellen som omhandler design av bormønster for fremstilling av borplaner (Prosjektrapport 2A-05). Modellens øvrige deler vil like fullt ha behov for validering og eventuell oppdatering mot dagens standarder.

BIBLIOGRAFI

- Atlas Copco, 2006. *Drilling Development*. [Internett]
Available at: www.atlascopco.com
[Funnet 16 05 2019].
- Brekkhuis, A., 2019. *Risikobildet endrer anleggsbransjen*. [Internett]
Available at: <http://www.bygg.no/article/1391413>
[Funnet 11 05 2019].
- Broch, E. & Nilsen, B., 1999. *Ingeniørgeologi - fjell*. Trondheim: NTNU.
- Bruland, A., 2013a. Sprengning og masseflytting under jord. I: *Kompendium i anleggsteknikk*. Trondheim: NTNU, p. 9.
- Bruland, A. & Olsen, V., 2016. *Anleggsteknikk GK Kompendium - Del I*. Trondheim: NTNU.
- Chi, L., 2018. *Rock blasting in tunneling in China*. Trondheim: NTNU.
- CIRT, 2018. *Benefits and Limitations Of Experimental Research*. [Internett]
Available at:
https://cirt.gcu.edu/research/developmentresources/research_ready/experimental/benefits_limits
[Funnet 19 03 2019].
- Dalland, O., 2012. *Metode og oppgaveskriving*. 5 red. Oslo: Gyldendal Akademisk.
- Dammyr, Ø., 2018. *Foliasjon og anisotropi*. [Internett]
Available at: <https://bergmekanikk.no/wp-content/uploads/2018/01/4-foliasjon-og-anisotropi.pdf>
[Funnet 05 04 2019].
- Dey, K. & Sen, P., 2003. Concept of Blastability - An Update. *The Indian Mining av Engineering Journal*, Issue 42, pp. 24-31.
- Engbø, A., 2018. *Intro til metode*. Trondheim: NTNU.
- Epiroc Norge AS, 2018. *COP 4038*. [Internett]
Available at: <https://www.epiroc.com/en-no/products/parts-and-services/rock-drills-and-rotation-units/rock-drills/cop-4038>
- Ghose, A. K., 1988. *Design of drilling and blasting subsystems – A rockmass classification approach*. : Balkema.
- Google, 2018. *About Google Scholar*. [Internett]
Available at: <https://scholar.google.com/intl/en/scholar/about.html>
[Funnet 04 11 2018].
- Gupta, R. N., 1990. *A Method to Assess Charge Factor Based on Rock Mass Blastability in Surface Mines*. Bhubaneswar, MINTECH Publications.
- Han, J., Weiya, X. & Shouyi, X., 2000. *GeoComputation 2000*. [Internett]
Available at: <http://www.geocomputation.org/2000/GC060/Gc060.htm>
[Funnet 02 05 2019].
- Havik, E. H., 2015. *Fellesprosjektet E6-Dovrebanen*. [Internett]
Available at: <http://nff.no/wp-content/uploads/2015/05/09-Havik-Fellesprosjektet.pdf>
[Funnet 12 2018].
- Isaksson, T., 2002. *MODEL FOR ESTIMATION OF TIME AND COST BASED ON RISK EVALUATION APPLIED ON TUNNEL PROJECTS*, Stockholm: Division of Soil and Rock Mechanics Royal Institute of Technology.
- Jacobsen, D. I., 2005. *Hvordan gjennomføre undersøkelser? Innføring i samfunnsvitenskapelig metode..* Kristiansand: Høyskoleforlaget.

- Jakobsen, P. D. & van Oosterhout, D., 2018. *Kort innføring i borparametertolkning for anleggsdrift*, : Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk.
- JCR, 2017. *Journals by Rank*. [Internett]
Available at: <https://jcr.incites.thomsonreuters.com/JCRJournalHomeAction.action?>
[Funnet 16 11 2018].
- Kim, Y. & Bruland, A., 2009. Effect of rock mass quality on construction time in road tunnel. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 28. 03., p. .
- Langefors, U. & Kihlstrom, B., 1978. *Modern Techniques of Rock Blasting*. 3 red. New York: Halsted Press.
- LeCompte, M. D. & Goetz, J. P., 1982. Problems of Reliability and Validity in Ethnographic. I: *Review of Educational Research*. : , pp. 31-60.
- Lilly, P., 1986. *An Empirical Method pf Assessing Rockmass blastability*. Newman, Large Open Pit Mine Conference, pp. 89-92.
- Lovdata, 2002. *Forskrift om håndtering av eksplosjonsfarlig stoff*. : Justis- og beredskapsdepartementet.
- Mining & Construction, 2004. The developement of the COP 3038, Mining & Construction No. 3. I: . : , pp. 26-27.
- Neby, A., 2012. *Registrering av geologi og bergsikring i Lørentunnelen*. Sundvolden: Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Tunnel. og betongseksjonen.
- NFF, 2013. *Håndbok for utfører av bergsprengningsarbeid*. [Internett]
Available at: http://nff.no/wp-content/uploads/2014/11/Haandbok_08.pdf
[Funnet 11 26 2017].
- Nilsen, B., 2016. *Ingeniørgeologi - Berg grunnkurskompendium*. Trondheim: Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU.
- NPI, 2016. *Om Norsk Publiseringssindikator*. [Internett]
Available at: <https://npi.nsd.no/informasjon#nivaainndeling>
[Funnet 12 11 2018].
- NSD, 2018. *Publiseringkanaler*. [Internett]
Available at: <https://dbh.nsd.uib.no/publiseringkanaler/Forside>
[Funnet 23 11 2018].
- Olsson, N., 2011. *Praktisk rapportskriving*. Trondheim: Tapir.
- Oria, 2019. *oria.no*. [Internett]
Available at: https://bibsyst-almaprmo.hosted.exlibrisgroup.com/primo-explore/search?vid=NTNU_UB&sortby=rank&lang=no_NO
[Funnet 04 03 2019].
- Orica Norway AS, 2012. *TEKNISK INFORMASJON - Civec™ Control*. [Internett]
Available at:
http://www.oricaminingsservices.com/no/nn/product/products_and_services/bulk_systems/page_bulk_systems/civec_control/1067
[Funnet 15 04 2019].
- Persson, P.-A., Holmberg, R. & Lee, J., 2001. *Rock Blasting and Explosives Engineering*. 6 red. s.l.:CRC Press.
- Samset, K., 2014. *Prosjekt i tidligfasen*. 2 red. Bergen: Fagbokforlaget.
- SINTEF, 2018. *Sprøytebetong skal bli mer miljøvennlig*. [Internett]
Available at: <https://www.sintef.no/siste-nytt/sproytebetong-skal-bli-mer-miljovennlig/>
[Funnet 07 03 2019].
- SNL, 2015. *kvalitativ*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/kvalitativ>
[Funnet 07 02 2018].

- SNL, 2018. *insentiv*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/insentiv>
[Funnet 03 05 2019].
- Špačková, O., 2012. *Risk management of tunnel construction projects*. [Internett]
Available at: http://mech.fsv.cvut.cz/wiki/images/7/7a/PhD_dissertation_Spackova_2012.pdf
[Funnet 18 11 2018].
- Špačková, O., Šejnoha, J. & Straub, D., 2013. *Probabilistic assessment of tunnel construction performance based on data*, Praha: Tunnelling and Underground Space Technology.
- SSB.no, 2018a. *Byggekostnadsindeks for veganlegg*. [Internett]
Available at: <https://www.ssb.no/statbank/table/08658/tableViewLayout1/>
[Funnet 14. desember 2018].
- SSB.no, 2018b. *Arbeidskraftkostnadsindeks*. [Internett]
Available at: <https://www.ssb.no/statbank/table/07251/tableViewLayout1/>
[Funnet 14. desember 2018].
- Statens vegvesen, 2007. *Håndbok 025, Prosesskode 1, Standard beskrivelsestekster for vegkontrakter*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen, 2011. *Sprengningsterminologi Ordliste*. [Internett]
Available at: <https://www.vegvesen.no/attachment/221685/binary/420824>
[Funnet 02 06 2019].
- Statens vegvesen, 2012. *Håndbok R761, Prosesskode 1, Standard beskrivelse for vegkontrakter*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen, 2016. *Håndbok N500, vegtunneler*. s.l.:Statens vegvesen Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen, 2018. *Håndbok R761, Prosesskode 1, Standard beskrivelsestekster for vegkontrakter*. red. Oslo: Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen, 2019. *Om håndbøkene*. [Internett]
Available at: <https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/om-handbokene/om-handbokene>
[Funnet 04 2019].
- Statens vegvesen, 2019. *Veg- og gateutforming*. s.l.:Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen, 2019. *Velger klimavennlig asfalt*. [Internett]
Available at: <https://vegnett.no/2019/04/velger-klimavennlig-asfalt/>
[Funnet 28 04 2019].
- Thagaard, T., 2002. *Systematikk og innlevelse: en innføring i kvalitativ metode*. 3 red. Bergen: Fagbokforlaget.
- Tjora, A., 2012. *Kvalitative forskningsmetoder i praksis*. 2 red. Oslo: Gyldendal .
- VIKO, 2018. *Finne kilder*. [Internett]
Available at: <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/norsk/finne+kilder>
[Funnet 11 11 2018].
- Yin, R. K., 2018. *Case Study Research and Applications - Design and Methods*. 6 red. Singapore: SAGE Publications.
- Zare, S., 2007a. *2A-05 Drill and Blast Tunnelling - Blast design*, Trondheim: NTNU.
- Zare, S., 2007. *Prediction Model and Simulation Tool for Time and Cost of Drill and Blast Tunnelling*, Trondheim: NTNU.
- Zare, S. & Bruland, A., 2005. *Comparison of tunnel blast design models*. s.l.:Tunnelling and Underground Space Technology.

7 VEDLEGG

7.1 HENVENDELSE TIL BIDRAGSYTERE

Følgende er en kopi av første henvendelse til samtlige aktører som har bidratt med informasjon i form av borplaner:

Hei

Mitt navn er Roald Tufte Rødberg og jeg er femteårsstudent ved Bygg- og miljøteknikk på NTNU i Trondheim.

I høst skriver jeg prosjektoppgave med «Verifisering av NTNUs prognosemodell for boring og sprengning av tunneler» som tema. Denne modellen er et empiribasert verktøy som kan brukes til planlegging av sprengningsarbeider i tunnel med tanke på anbefalinger til valg av utstyr og fremgangsmåter, bormeter- og sprengstofforbruk per salve, alternative utførelsesmetoder, kalkulasjon, økonomisk dimensjonering og tidsbruk. Modellen hadde sin siste oppdatering for omtrent 10 år siden, og siden Statens vegvesens økte krav til kontur har det kommet indikasjoner på at modellens validitet ikke er helt i samsvar med slik det gjøres i praksis på tunnelprosjekter.

I arbeidet med prosjektoppgaven vil jeg se på hvor virkelighetsnært resultater og data fra modellen er i sammenligning med tunneldrift i dag. Forskjellene skyldes antageligvis flere faktorer, og disse vil jeg også forsøke å avdekke.

Etter samtale med veileder Pål Drevland Jakobsen ble jeg anbefalt å kontakte deg for etterspørsel av data til prosjektoppgaven. Derfor lurere jeg på om du kunne tenke deg å bidra med borplaner fra ditt prosjekt, eventuelt ferdigstilte prosjekter fra de senere år. Det understrekes at planer for tverrsnitt i alle størrelser er av interesse.

I utarbeidelse av oppgaven vil det legges stor vekt på anonymitet. Jeg er innforstått med at sprengning- og boreplaner legger grunnlaget for deres produksjon, og at det derfor vil kunne betraktes som sensitiv data. Ingen aktører eller prosjekter som oppgaven omhandler vil navngis eller utleveres på noen måte.

Håper du kan hjelpe meg i arbeid med oppgaven min!

Om ikke setter jeg stor pris på anbefalinger til rette folk å kontakte.

Med vennlig hilsen

Roald Tufte Rødberg

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)

Tlf.:

7.3 FULLSTENDIG UTREGNING FRA LABORORIETESTER

Test av sprengbarhetsindeks (SPR)

Mål	Mål 1 [mm]	Mål 2 [mm]	Mål 3 [mm]	Mål 4 [mm]	Mål 5 [mm]	Mål 6 [mm]	Gjennomsnittsmål [mm]	Gjennomgangstid [µs]	Lyd-hastighet [m/s]
A1-1	61,18	61,15	61,96	62,01	61,31	61,45	61,51	11,40	5395,61
A2-2	53,22	52,82	53,50	53,51	52,93	52,86	53,14	9,80	5422,45
A3-3	84,41	84,08	84,80	84,59	84,42	84,39	84,45	14,80	5705,97
B1-1	60,61	62,37	62,53	62,40	61,74	61,83	61,91	10,00	6191,33
B2-2	72,66	72,68	72,83	74,82	73,90	72,37	73,21	11,00	6655,45
C1-1	48,16	47,23	46,23	45,91	45,78	46,82	46,69	7,40	6309,23
C2-2	98,12	97,94	97,81	97,79	97,78	97,84	97,88	15,40	6355,84
C3-3	59,66	59,74	59,96	60,01	60,86	60,65	60,15	10,70	5621,18

Prøve	Vekt av prøve (tørr) [g]	Vekt av prøve (vannmettet) [g]	Vekt av prøve (nedsenket) [g]	Vekt av vann fortrent [g]	Vann tetthet [g/cm ³]	Volum av vann fortrent [cm ³]	Prøvens tetthet (tørr)
A	738,92	739,28	481,72	257,56	1,00	257,56	2,87
B	818,11	818,63	550,83	267,80	1,00	267,80	3,05
C	765,84	766,22	515,68	250,54	1,00	250,54	3,06

Ladetetthet og detonasjonshastighet for sprengstoffet benyttet på gjeldende prosjekt ble funnet til henholdsvis 1 g/cm³ og 4600 m/s på produsentens hjemmesider (Orica Norway AS, 2012).

Parameter	Enhet	Prøve A	Prøve B	Prøve C	
Tørr lydastighet normalt på foliasjon:	c_n	(m/s)	5705,97	6655,45	6309,23
Tørr lydastighet parallelt med foliasjon:	c_p	(m/s)	5395,61	6191,33	5621,18
Anisotropi:	$c_p/c_n = I_a$	(-)	0,95	0,93	0,89
Tørr lydastighet:	$(c_p + c_n)/2 = c$	(m/s)	5550,79	6423,39	5965,21
Bergets densitet:	ρ	g/cm ³	2,87	3,05	3,06
Ladetetthet (sprengstoff pr borhull):	LT	(g/cm ³)	1,00	1,00	1,00
Sprengstoffets detonasjonshastighet:	w	(m/s)	4600,00	4600,00	4600,00

$$SPR = \frac{0,736 \cdot I_a^{0,6} \cdot LT^{0,7}}{\left(\frac{c}{1000}\right)^{0,4} \cdot \left(\frac{w}{c}\right)^{0,25} \cdot \rho^{0,2}}$$

Steinprøve	SRP-verdi
A	0,304
B	0,291
C	0,287

7.4 SPØRSMÅLSLISTE UTARBEIDET I FORKANT AV FORSKNINGSINTERVJUER

Informasjon
<p>Min rolle er masterstudent ved NTNU, og resultater og erfaringer gjort her vil bli benyttet som forskningsgrunnlag og kilde til informasjon i min masteravhandling. Hensikten med å gjennomføre disse intervjuene er å innhente tanker og erfart kunnskap fra personer som arbeider i tunnelbransjen daglig. Formålet med oppgaven min er å undersøke gjeldene praksis i tunnelbransjen i forhold til NTNUs prognosemodell for konvensjonell tunneldrift. Denne modellen er et empiribasert prognoseverktøy for estimering av inndrift og kostnader knyttet til tunneldrift, samt verktøy til planlegging av tunnelarbeider. I oppgaven min skal jeg fokusere på aspekter rundt boreoperasjonen i tunnelbygging, blant annet forskjellen mellom estimert, planlagt og faktisk brukt borhullsmengde. Jeg håper dette intervjuet kan være med å avdekke grunner til disse avvikene.</p> <p>I utarbeidelse av oppgaven vil det legges stor vekt på anonymitet. Jeg er innforstått med at sprengning- og borplaner legger grunnlaget for deres produksjon, og at det derfor vil kunne betraktes som sensitiv data. Ingen aktører eller prosjekter som oppgaven omhandler vil navngis eller utleveres på noen måte.</p> <p>Dersom situasjonen tillater det ønsker jeg å benytte båndopptak (v/samtykke). Det vil i etterkant av hvert intervju bli fremstilt et referat, og de enkelte intervjuobjekter vil få mulighet til gjennomgang av transkripsjonen. Ved uklarheter eller spørsmål til intervjuet oppfordres det til å fremme disse i forkant av intervjuet.</p>
Bakgrunn
<ol style="list-style-type: none">1. Rolle?2. Alder?3. År i bransjen?4. År i gjeldende foretak?
NTNU-modellen
<ol style="list-style-type: none">5. Har du kjennskap til/har benyttet prognosemodeller for tunneldrift ved tidligere anledning?6. Hvilke(n)?7. Hva er ditt forhold til og eventuelle meninger om NTNU modellen?
Prosjekt/forutsetninger
<ol style="list-style-type: none">8. Hvordan vil du karakterisere bergmassen og dens sprengbarhet i berget dere driver gjennom?9. Hva er største utfordring ved geologien for gjeldende tunnel?10. Hvordan tas dette hensyn til ifht utarbeidelse av salveplaner?11. Hvordan tas bergmassens sprengbarhet hensyn til mellom salver i borplanen?12. Hva slags boreutstyr benytter dere her på anlegget/i dette løpet? (borhammer/maskiner)13. Hvilken sprengstofftype benyttes?

<p>14. Hvilken salvelengde benytter dere?</p> <p>15. Hvilken bordiameter benyttes?</p> <p>16. Har dere noen retningslinjer/gjøremåter på hvordan borhull ansettes i forhold til teoretisk profil?</p>
<p>Boring og boreplan</p>
<p>17. Hvilken funksjon har borplanen underveis i driving?</p> <p>18. ... i etterkant av driving?</p> <p>19. Hvem lager borplanen opprinnelig?</p> <p>20. Hvilken myndighet har riggoperatør til å endre på planer, og gjøres dette mye på stuff?</p> <p>21. Hva er dine meninger om de på forhånd utarbeidede borplanene mtp. relevans for boreriggoperatørene?</p> <p>22. Hva synes du om data/erfaringsutvekslingen mellom driverlag og de som utformer borplanen underveis?</p> <p>23. Mener du kommunikasjonen mellom driverlag og de som utformer planene kunne blitt bedre? På hvilken måte?</p> <p>24. Utfører dere kontroller for å sikre at borplanen følges?</p> <p>25. Hvis nei, hvorfor?</p> <p>26. I hvor stor grad blir borplaner endret for hver salve, og hva er årsaker til dette?</p> <p>27. Har sprengstofftype innvirkning på bormønster i kontur?</p> <p>28. Ved store endringer i f.eks. geologi eller andre forutsetninger, endres planene ovenfra eller kun på stuff?</p> <p>29. Bryr byggherre seg om avvik fra borplan i utførelse?</p> <p>30. Hva tror du er grunnen til at borehullmengden entreprenører benytter er høyere enn det prognosemodellen anbefaler?</p> <p>31. Hva tenker du er forskjellen mellom måten borplanen opprinnelig blir utarbeidet, og slik det faktisk bores?</p>
<p>Skift</p>
<p>32. Er det stor forskjell mellom skift/måten deg og dine kollegaer utfører boring?</p>
<p>Avsluttende spørsmål</p>
<p>33. Har du innspill til momenter du synes bør inkluderes i intervjureferatet?</p>