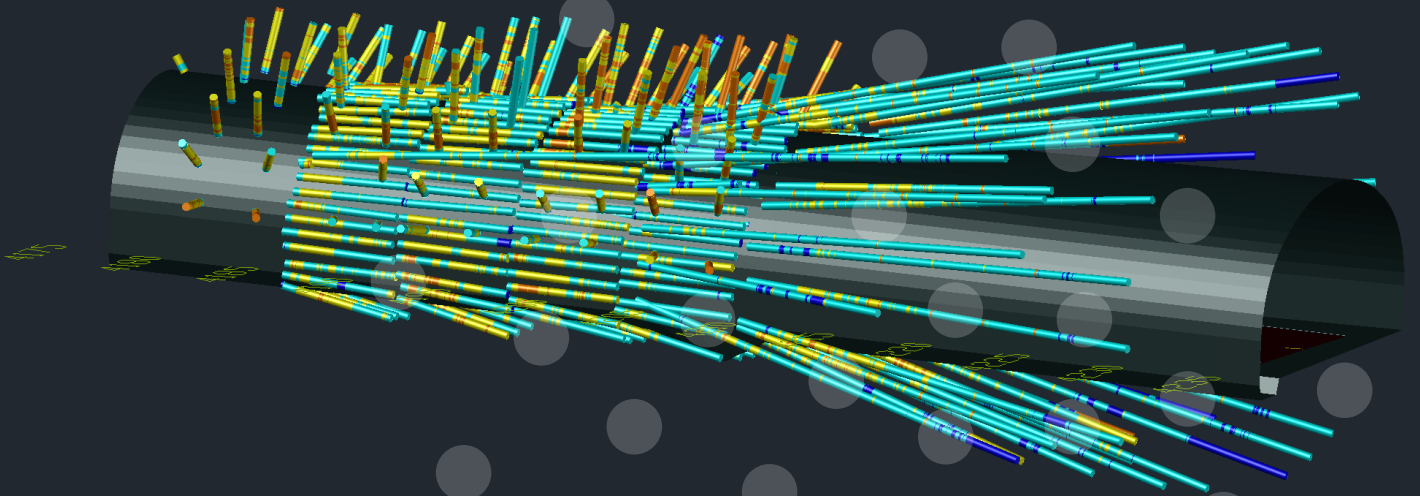




NORSK FORENING FOR
FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK



Teknisk rapport nr. 18

Kort innføring i borparameter- tolkning for anleggsdrift

KORT INNFØRING I BORPARAMETERTOLKNING FOR ANLEGGSDRIFT

Teknisk rapport nr. 18

TEKNISK RAPPORT NR. 18

© Norsk Forening for Fjellsprenningsteknikk - NFF

ISBN 978-82-92641-43-9

Forsidebilde:
Bevercontrol

Layout:
Konsis Grafisk AS
konsis@konsis.no
www.konsis.no

NFFs tekniske rapporter er utarbeidet av fagpersoner oppnevnt av utviklingskomiteen i NFF. Innholdet er i samsvar med kjent viten på det tidspunkt redigering ble avsluttet. Feil eller mangler kan likevel forekomme. NFF, forfattere eller fagkomiteen har intet ansvar for eventuelle feil eller mangler i rapporten og mulige konsekvenser av disse. Det forutsettes at rapporten benyttes av kompetente, fagkyndige personer med forståelse for de begrensninger og forutsetninger som legges til grunn.

Forord

Teknologien utvikler seg med raske skritt og det er mulig å hente ut data på langt flere områder nå enn tidligere. Dette gjelder også ved boring. De fleste borerigger som brukes i tunneldrift i Norge i dag har muligheten for å hente ut ulike målinger mens det bores - Measurement While Drilling (MWD). Utviklingskomiteen i NFF så derfor et behov for å samle de erfaringer vi har så langt på dette området.

Teknisk rapport nr 18 gir en innføring i bruk og muligheter ved bruk med tolkede MWD data. Rapporten er utarbeidet av Pål Drevland Jakobsen (NTNU) og Dirk van Oosterhout (SINTEF).

September 2018

NFF – Utviklingskomiteen

Innhold

Forord	4
1. Introduksjon og formål med rapporten	6
2. Generelt om MWD-teknologi	6
3. Gjennomførte studier av validitet av MWD og borparametertolkning.....	10
4. Krav og bruk av MWD-data fra norske tunnelprosjekter	13
4.1 Ringveg vest, Bergen.....	13
4.2 Lørentunnelen, Oslo.....	15
4.3 Sandvika - Wøyen, Akershus.....	16
4.4 Sørkjosen, Troms	18
5. Oppsummering	19
Referanser.....	20

1. Introduksjon og formål med rapporten

Formålet med denne tekniske rapporten er å gi en kort innføring til temaet Measurement While Drilling (MWD) og videre tolkning av MWD-data omtalt som borerparametertolkning. De seneste årene har det vært gjort mange forsøk på å samle inn MWD-data, tolke disse og videre sammenligne dette med observert geologi i norske tunnelprosjekter.

MWD og borerparametertolkning er aktuelt ved boring av salvehull, sonderboring, injeksjonshull, grunnboring og boring på pall. Per i dag benyttes teknologien først og fremst til dokumentasjon av geologi ved tunneldriving, men i begrenset grad

til kontinuerlig oppfølging av geologi under tunneldriften, slik at potensialet som tolkning av MWD gir, per dags dato ikke er fullt utnyttet i tunnelbransjen.

Formålet med denne tekniske rapporten er å gi en kort gjennomgang av MWD-teknologi, validiteten av MWD med resultater fra et samarbeidsprosjekt mellom Statens vegvesen, NTNU, TU Delft og Bever Control, og praktiske eksempler på bruk av MWD i fra norske tunnelprosjekter. Til slutt gis det anbefalinger til byggherrer og entreprenører om MWD sine muligheter og begrensninger ved tunneldrift.

2. Generelt om MWD-teknologi

Measurement While Drilling, (MWD-teknologi), kommer fra oljeindustrien og var et konsept som ble utviklet med mål om å få en bedre forståelse av oljereservoargeologi. De siste tiårene har teknologien også blitt tilpasset til anleggsindustrien. I anleggsindustrien er målet blant annet å forutse bergmassegenskaper foran stuff. Figur 1 viser en skjematisk oversikt av MWD-teknologi. Ved boring av eksempelvis salve, injeksjon eller sonderhull blir hull-dybde/posisjon og 7 boreparametere registrert. De 7 parameterne som registreres på borerigger er:

- borsynk
- matetrykk
- rotasjonskraft/dreiemoment

- slagtrykk
- rotasjonshastighet
- spyletrykk
- vannmengde

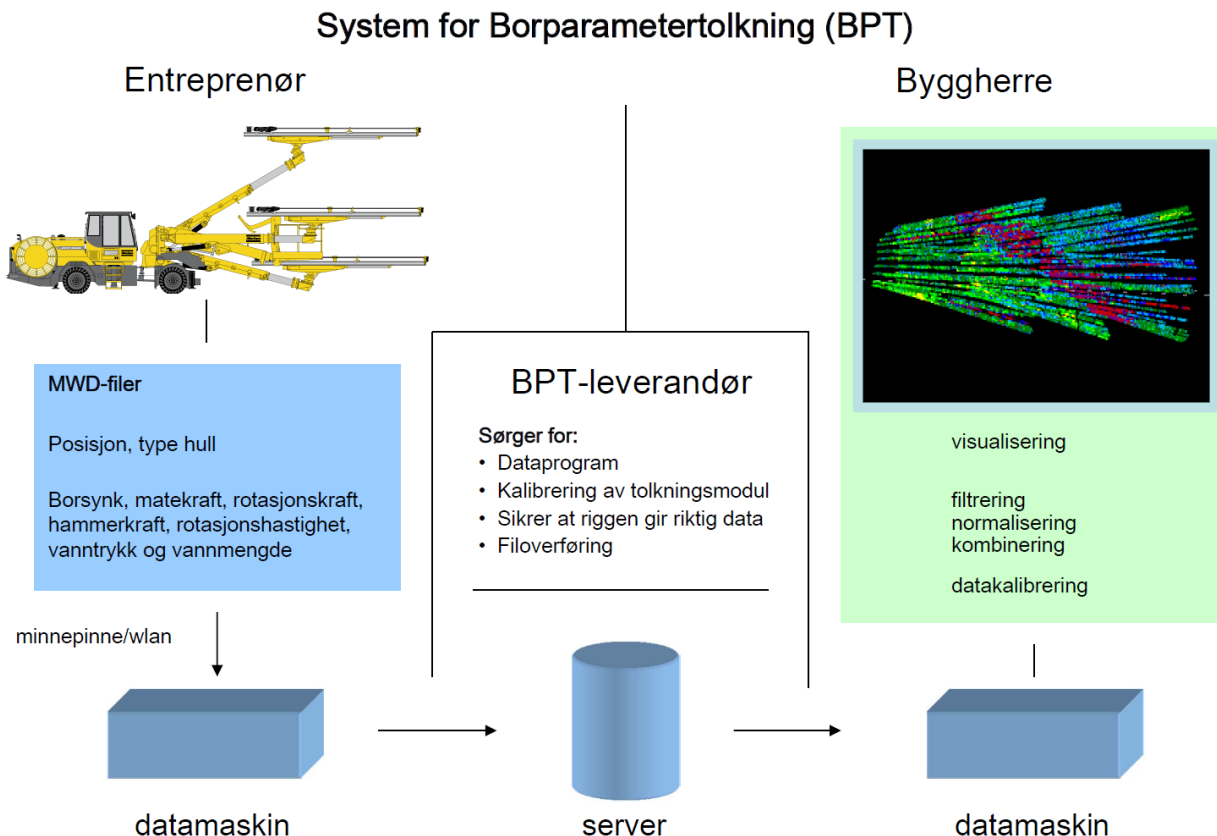
Parametere i form av rådata-filer blir sendt til boreparametertolkning (BPT) som sikrer at riggen gir riktig data, kalibrering og ordner filoverføring. For tunneldrift finnes det flere leverandører av borerparametertolkning, og de mest brukte er Rockma (Figur 2), Bever Control (Figur 3) og Sandvik (Figur 4). Som regel utføres kalibrering i forkant av prosjektet, og noen ganger underveis i prosjektet. Dette avhenger i stor grad på hvor varierende geologien er i prosjektet og hvor lang tunnelen er. Etter kalibrering, datainnhenting og tolkning, har byggherrer

og entreprenører muligheter til å studere visuelle resultater og modeller av tolkede geologiske parametere som relativ hardhet, vannforhold i berget, plassering av borhull og plassering av sprekker og stikk.

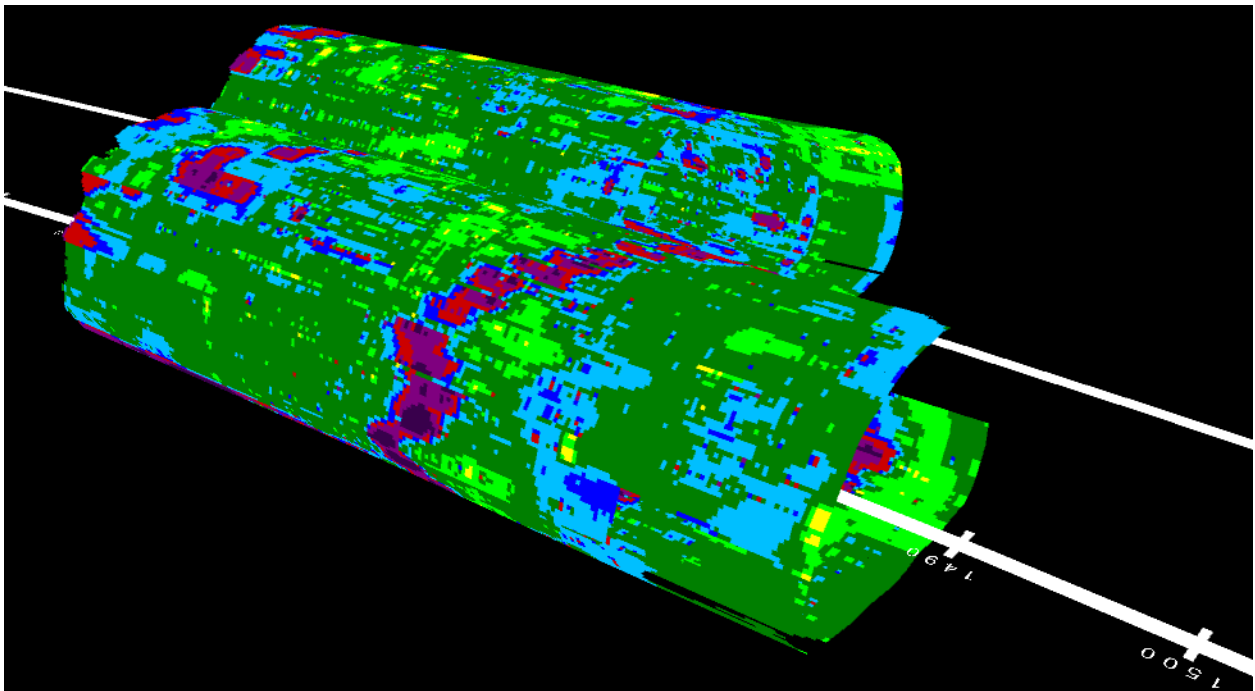
Modeller basert på tolkede sonderborhull kan gi gode indikasjoner på uforutsette, eller bekrefte forventede svakhetssoner, mulige vanninnbrudd og endring i bergmassens relative hardhet foran stuff. Lengden man kan predikere foran stuff, avhenger av borhullets/sonderborhullets lengde.

Tolking av rådata består av filtrering, normalisering og kombinerende av parametere som i prinsippet handler om å eliminere

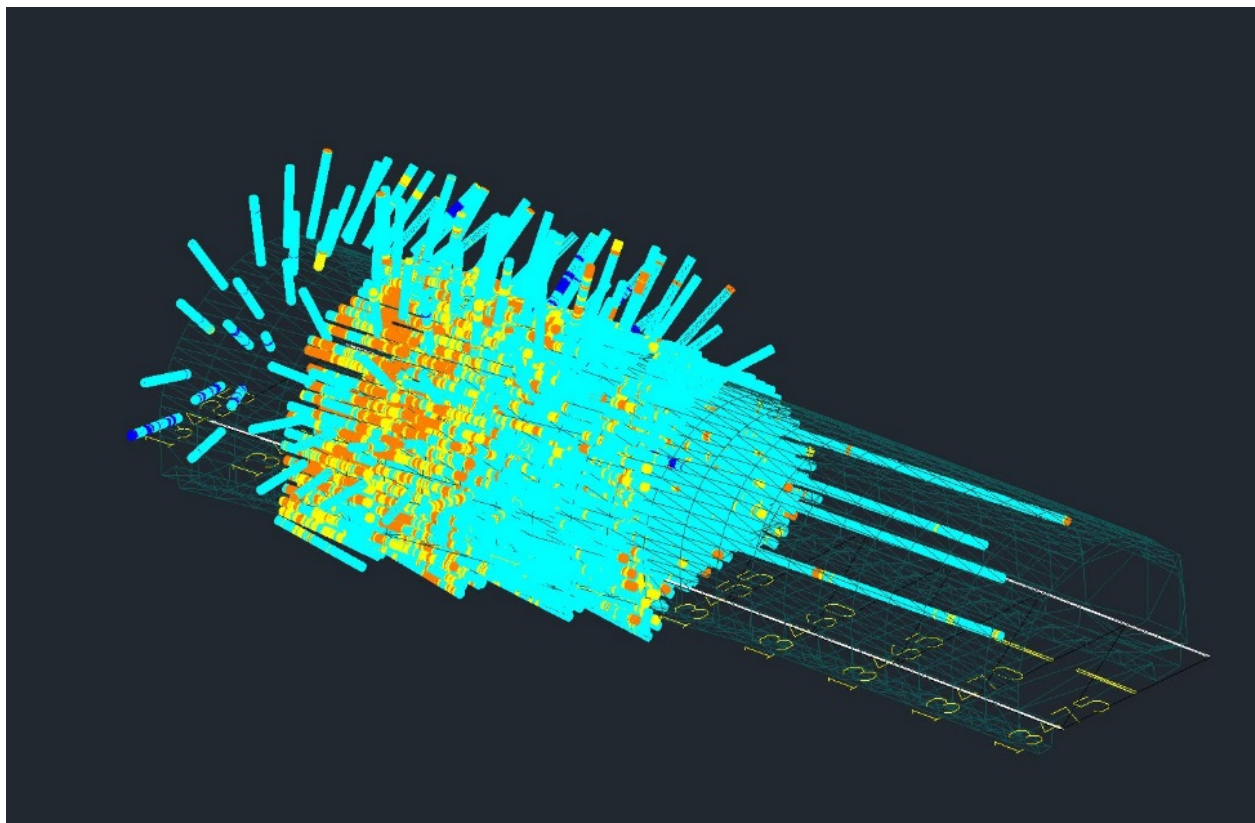
alle innflytelser som ikke følger av geologien. Noen leverandører av algoritmer til borparametertolkning har åpenhet omkring hvordan rådataene blir normalisert, filtrert og kombinert, mens andre hemmeligholder sin algoritme. De tilgjengelige algoritmene presenterer opplysninger om bergets relative hardhet, oppsprekking og vannforhold. Noen BPT-leverandører estimerer hardhet, oppsprekking og vannforhold, mens andre leverandører legger opp til at brukerne skal tolke behandlede data. BPT-programmer gir mulighet til å vise tolkede parametere i tre-dimensjonale figurer. Eksemplet som vises i Figur 2, presenterer en hard syenittintrusjon (markert med lilla farger) i mykere bergmasse (markert med grønt og blått).



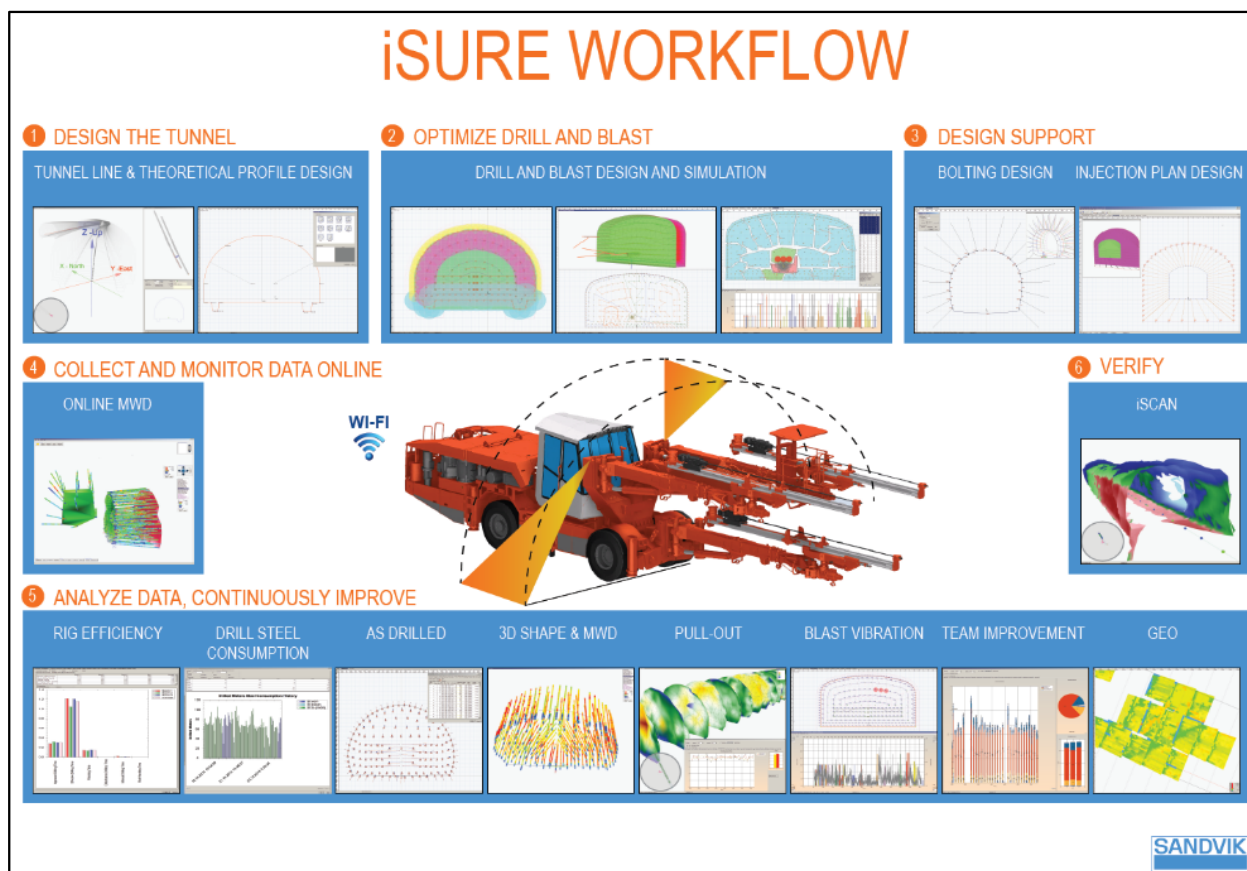
Figur 1. Skjematisk oversikt av MWD teknologi (Rockma) (Neby, 2012).



Figur 2 Tredimensjonal modell fra tolket borsynk (Rockma) (Neby, 2012). Merk at fargeskalaer i Rockma, Bever Control og Sandviks Isure ikke er lik.



Figur 3 Bever Control MWD-tolkning 3 dimensjonal DWG- format.



Figur 4 Oversiktsplansje av Sandviks iSure som inneholder mulighet for tolkning av MWD- data.

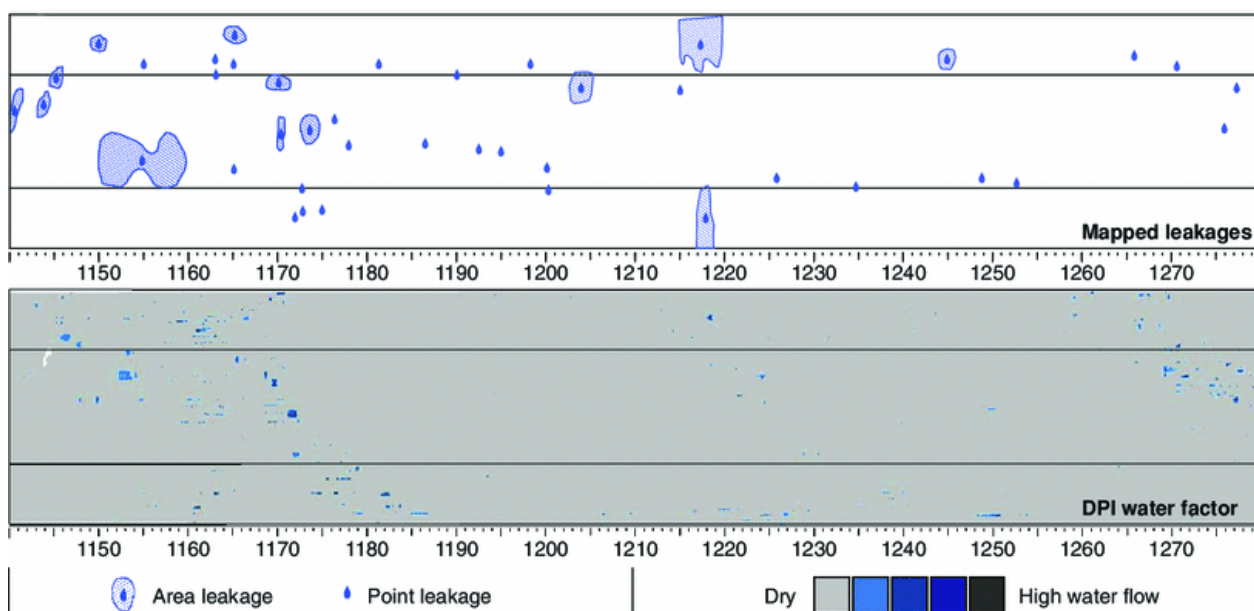
I tillegg til de nevnte bruksområdene, finnes det flere og potensielle måter å bruke MWD-teknologi på, som for eksempel forbedre inn-

stillingen på boreriggen og estimere injeksjonsmengde. Dette studeres blant annet i forskningsprosjektet TIGHT.

3. Gjennomførte studier av validitet av MWD og borparametertolkning

I de siste årene har flere studier blitt utført på forskjellige aspekter av MWD-teknologi. Høien og Nilsen (2014) har sett på sammenheng mellom kartlagt vannlekkasje, vannforhold fra tolkede MWD data og injeksjonsmengde i Lørentunnelen (Høien & Nilsen, 2014). De fant generelt en god korrelasjon mellom kartlagt vann-

lekkasje og tolket boreparametere, selv om kartlegging av lekkasje ble gjort etter injeksjon. Videre ble tolkede vannforhold sammenlignet med injeksjonsmengde over 600 m av tunnelen, og det ble funnet et relativt godt samsvar mellom BPT vannparameter og kartlagt lekkasjer i tunnelen.



Figur 5. Kartlagte lekkasjer (øvre del) og BPT vannlekkasjer (nedre del). (Høien og Nilsen 2014).

Hjele har utført en masteroppgave som blant annet viser til korrelasjon mellom tolkede MWD-data og geologiske grenser, som for eksempel svakhetssoner, og kartlagte spekker (Hjele J., 2010). Hjele fant at svakhetssoner kan bli lokalisert ved å se på normalisert rotasjonsstyrke og borsynk. Ofte ble det funnet en forskjell i plassering mellom kartlagt og tolkede MWD-data, noe som kan tyde på at lokaliseringen av obser-

vert og kartlagt geologi ikke alltid stemmer med lokalisering av borkrone.

Rødseth har utført en masteroppgave som fokuserte på sammenheng mellom bergmekaniske parametere kartlagt på stuff og MWD-parametere fra Eikremtunnelen, Oppdølstranda og Lørentunnelen (Rødseth, 2013). I dette studiet er det generelt gode korrelasjoner mellom Q-verdier og tolket

MWD. Videre fant Røseth at i noen av prosjektene er det en dårlig sammenheng mellom RQD/Jn og tolket oppsprekking, og at estimat av hardhet fra MWD er vanskelig å korrelere med kartlagte bergarter.

Valli har prøvd å se i mer detalj på korrelasjon av tolket hardhet og målt hardhet av bergarter (Valli, 2010). Testresultater fra hardhet målt med Schmidt-hammer og estimert trykkfasthet med punktlast test ble brukt for sammenligningen, uten at en god korrelasjon ble funnet.

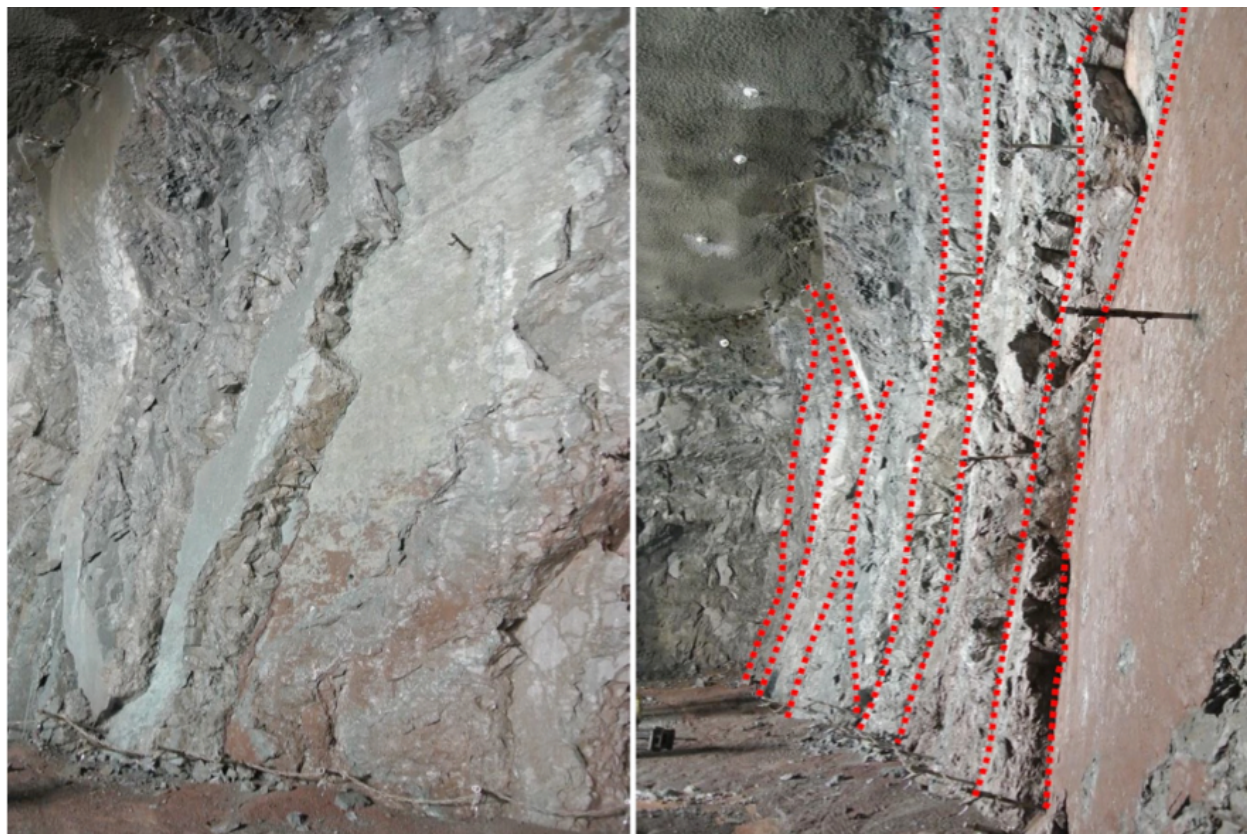
Herfindal har blant annet korrelert Q-verdier og kartlagt vannlekkasje med tolkede MWD-data (Herfindal, 2013). Tolket oppsprekking i Skillingsmyrtunnelen viser like høye verdier til soner med høy og lav kartlagt RQD,

mens gangbergarter viste seg å være godt synlig i tolket hardhet.

Van Oosterhout samlet inn observerte og målt geologisk data i Solbakktunnelen og Bjørnegårdtunnelen (van Oosterhout, 2016). To forskjellige metoder ble brukt for innsamling av data, visuell geologisk kartlegging og borhullinspeksjon med optisk televiewer. Den første metoden baserte seg på å kartlegge en del av stuff og tunnelveggen, samt telle antall sprekker som krysset borepiper (se Figur 6 og 7). Sprekker med en stor åpning, fra 1 cm, og fyll-materiale ga generelt god respons i rådata og prosessert MWD data. Eksempel på respons mellom målte MWD parametere og observert geologi med optisk televiewer er gitt i Figur 12.



Figur 6 Kartlegging av injeksjonsborhullpiper med hvit injeksjonsmasse i Bjørnegårdtunnelen. (van Oosterhout 2016)



Figur 7 Kartlegging av store sprekker i tunnelstufen I Bjørnegårdtunnelen (van Oosterhout 2016)

Som en oppsummering av disse nevnte validitetsstudiene, har flere forfattere nevnt en viktig begrensning; som er den store forskjellen i nøyaktighet mellom MWD-data og geologiske-data. Prøvetakingsintervallet for MWD data er vanligvis mellom 2 og 8

cm, mens kartlagt geologi ved observasjoner ofte presenteres over 5 m lange strekk. I tillegg vil en åpen sprekk eller et stikk med lavere mektighet enn MWD loggeintervall ikke vises i data-registrering, og kan forsvinne i støyen av tolkningen.

4. Krav og bruk av MWD-data fra norske tunnelprosjekter

I Statens vegvesens prosesskode R761 (2015) stilles det krav om følgende når det gjelder Measurement While Drilling: *«Følgende gjelder dersom det er angitt i den spesielle beskrivelsen under prosessene 32 eller 33, at borerigger skal ha utstyr for automatisk logging av boring (Measurement While Drilling, MWD).»*

«Entreprenøren skal gi full tilgang til nødvendig utstyr til byggherrens leverandør av program for videre bearbeiding, sammenstilling og presentasjon av MWD-data, slik at leverandøren kan kalibrere program i forhold til rigger og fjellforhold på anlegget.»

«Tolkningen skal gi bedre grunnlag for vurdering av bore- og injeksjonsopplegget, eventuell utvidelse for tung sikring, spiling etc.»

«All boring skal logges og alle hull skal logges korrekt (dvs. merkes som langhull, salvehull, boltehull, etc.). Minst 90% av boret lengde pr. oppstilling av riggen skal ha data som kan tolkes. Umiddelbart etter endt boring, skal data hentes inn fra riggen og leveres over nett. Maks loggeintervall er 20 mm.»

«Entreprenøren skal opplyse byggherren om bytte av rigg, borkrone, borhammer eller givere som kan påvirke MWD tolkningsprogram, samt om man endrer innstillinger som kan påvirke resultatene.»

«Entreprenørens rigg skal ha fungerende givere slik at den gir brukbare data til byggherrens leverandør av MWD-tolkningsprogram.»

Statens vegvesens prosessbeskrivelse benyttes også i Norge i de fleste jernbanetunneler og vannkrafttunneler hvor boring og sprengning er tunneldrivemetode. Det vil si at de fleste tunneler som drives i dag har et krav til entreprenør om innhenting av MWD-data i fra boreoperasjoner.

Kostnader ved innhenting av MWD-data er stort sett begrenset til innkjøp av boreutstyr med mulighet for innhenting av data, kalibrering av boreutstyr og etablering av datalinje/dataflyt av rådata fra borerigg til tolkning. Tolkningen av MWD data gjøres av programvareleverandører (eksempel Bever Control, Rockma eller Sandvik Isure). Tolkningen koster i størrelsesorden fra 50 000 kr til mange hundre tusen avhengig av tunnelens lengde, størrelse, antall borerigger/stuffer etc.

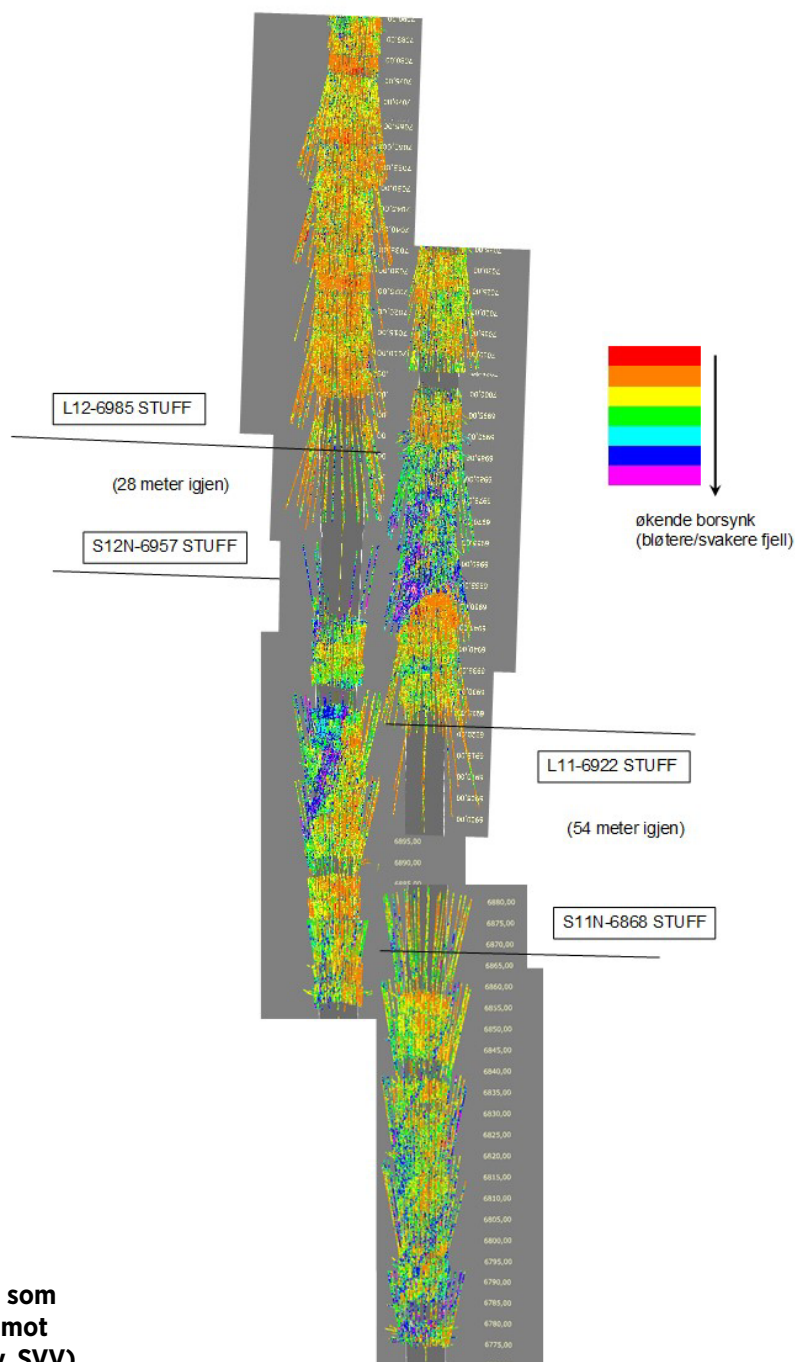
I det følgende vil det gis eksempler i bruk av tolkede data i fra noen norske prosjekter:

- Ringveg vest Bergen
- Lørentunnelen, Oslo
- Sandvika - Wøyen
- Sørkjosen, Troms

I innhenting av eksempler på bruk av data, ble det også funnet prosjekter med krav i kontrakt til samling av MWD-data og tolkning, uten at dette ble gjort. Fra et av disse prosjektene er det opplyst om at entreprenør har fått dispensasjon fra innhenting av MWD-data på grunn av manglende mulighet for datainnsamling på borerigg.

4.1 Ringveg vest, Bergen

For Ringveg vest var datafangsten fra borerigger rapportert som god, og med godt samarbeid mellom byggherre (Statens veg-



Figur 8 Eksempel fra Ringveg vest som viser tolket hardhet i to tunnellop mot gjennomslag. (Figur: Terje Kirkeby, SVV)

vesen) og entreprenør (AF gruppen). I noen partier var det utfordrende å sikre komplett datafangst, slik at deler av tunnelen mangler innhentede data og videre tolkning.

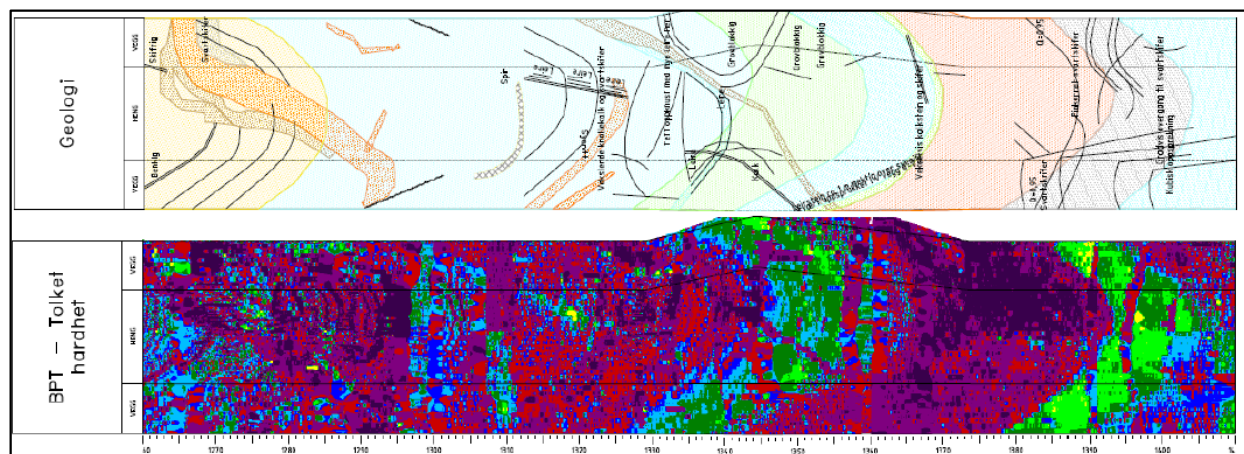
Underveis i prosjektet har entreprenør uttrykt skuffelse over at dataene ikke i større grad ble benyttet. Et eksempel på

dette var i et område hvor tolkede MWD-data ga klare indikasjoner på en svakhetsone, men basert på kunnskapen ble det ikke utført noen tiltak, som for eksempel tverrsnittsutvidelse. I dette tilfellet kunne de tolkede MWD dataene ha blitt benyttet for å forberede og optimalisere forseringen av svakhetssonen.

4.2 Lørentunnelen, Oslo

I Lørentunnelen var det funnet meget god sammenheng mellom borparametertolket berghardhet og kartlagt bergartstype i tun-

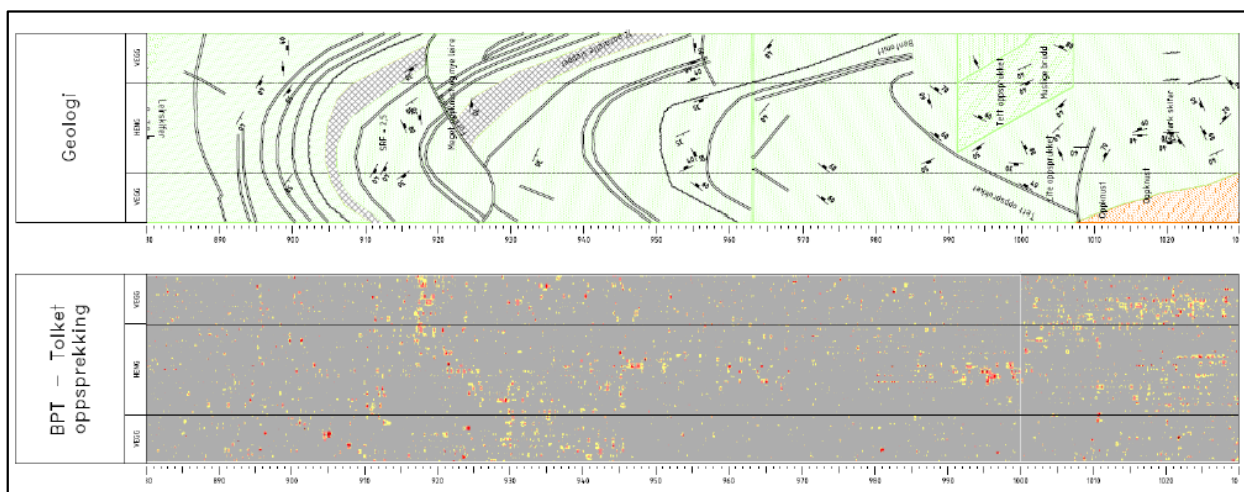
nelen. Borparametertolket hardhet har blitt sammenlignet mellom Schmidhammer testing og enaksiell trykkfasthet målt med punktlastpresse.



Figur 9 Eksempel på god sammenheng mellom bergarter og BPT-tolket hardhet for Lørentunnelen (Neby 2012).

For borparametertolket sprekkeparameter har det vært vanskelig å se sammenheng med kartlagte Q-verdi. Den tolkede sprek-

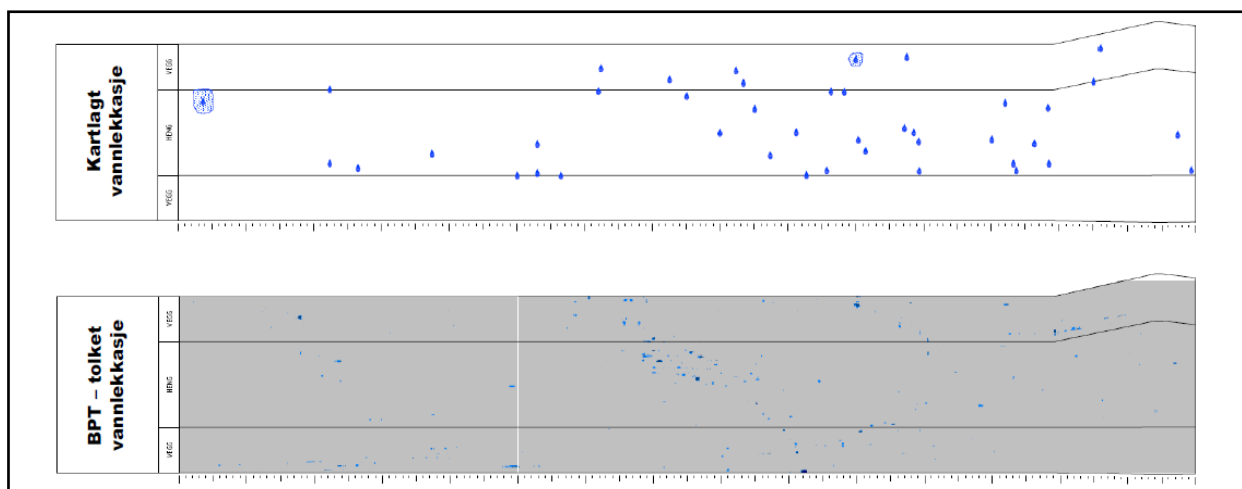
keparameteren følger og viser soner og strukturer i berget langs tunnelen.



Figur10 Eksempel på varierende sammenheng mellom kartlagte sprekker og tolket oppsprekking for Lørentunnelen i en 150 m lang seksjon (Neby 2012).

For borparameter-tolket vannparameter er det også funnet en meget god sammenheng med kartlagte og observerte vannlekkasjer

for Lørentunnelen. Neby (2012) anbefaler å bruke tolket vannparameter aktivt ved injeksjon sammen med trykk/flow-diagram.



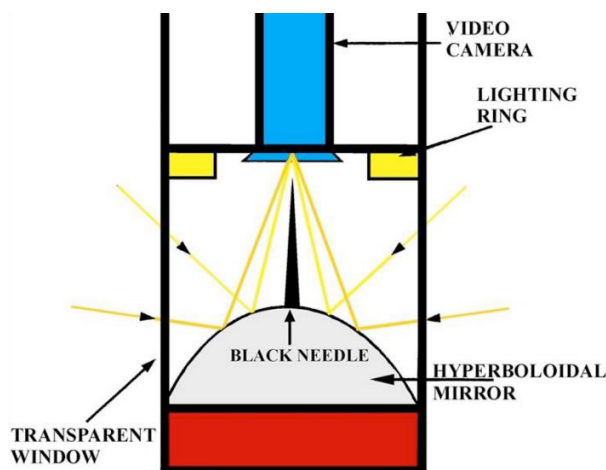
Figur 11 Eksempel på god sammenheng mellom tolkede vannlekkasjer og observerte vannlekkasjer for Lørentunnelen (Neby 2012).

4.3 Sandvika - Wøyen, Akershus

For evaluering av validitet i prosjektet Sandvika – Wøyen, ble det benyttet visuelt kartlagte geologiske data og filming av borhull med optisk televiewer (OTV). OTV benyttes for å filme borhullsveggen via et konvekst speil slik at opptaket er vinkelrett mot veggen (Figur 12). OTV dras ut av borhullet med en lav hastighet for å få et bilde med en høy oppløsning. I motsetning til de fleste vanlige borhullskameraer, gir det vinkelrette opptaket en nøyaktig lokasjon av for eksempel en sprekk, noe som viktig for å korrelere diskontinuiteter med responsen i MWD data.

OTV som metode ble benyttet 25 ganger for å inspisere 5 m lange borhull på 6 forskjellige steder i Bjørnegårdtunnelen ved Sandvika. Målet med OTV målingene var å kartlegge forskjellige diskontinuitetstypene som skjærer gjennom borhullet på ulike steder i tunnelen. OTV-analysen viser godt foliasjon, sprekker og sprekke-åpning med eventuelle sprekkefyllmaterialer.

Figur 13 viser et eksempel på respons i borsynk, en filtrert/behandlet og tolket borsynk.



Figur 12. Illustrasjon av optisk televiewer (NGU, 2015).

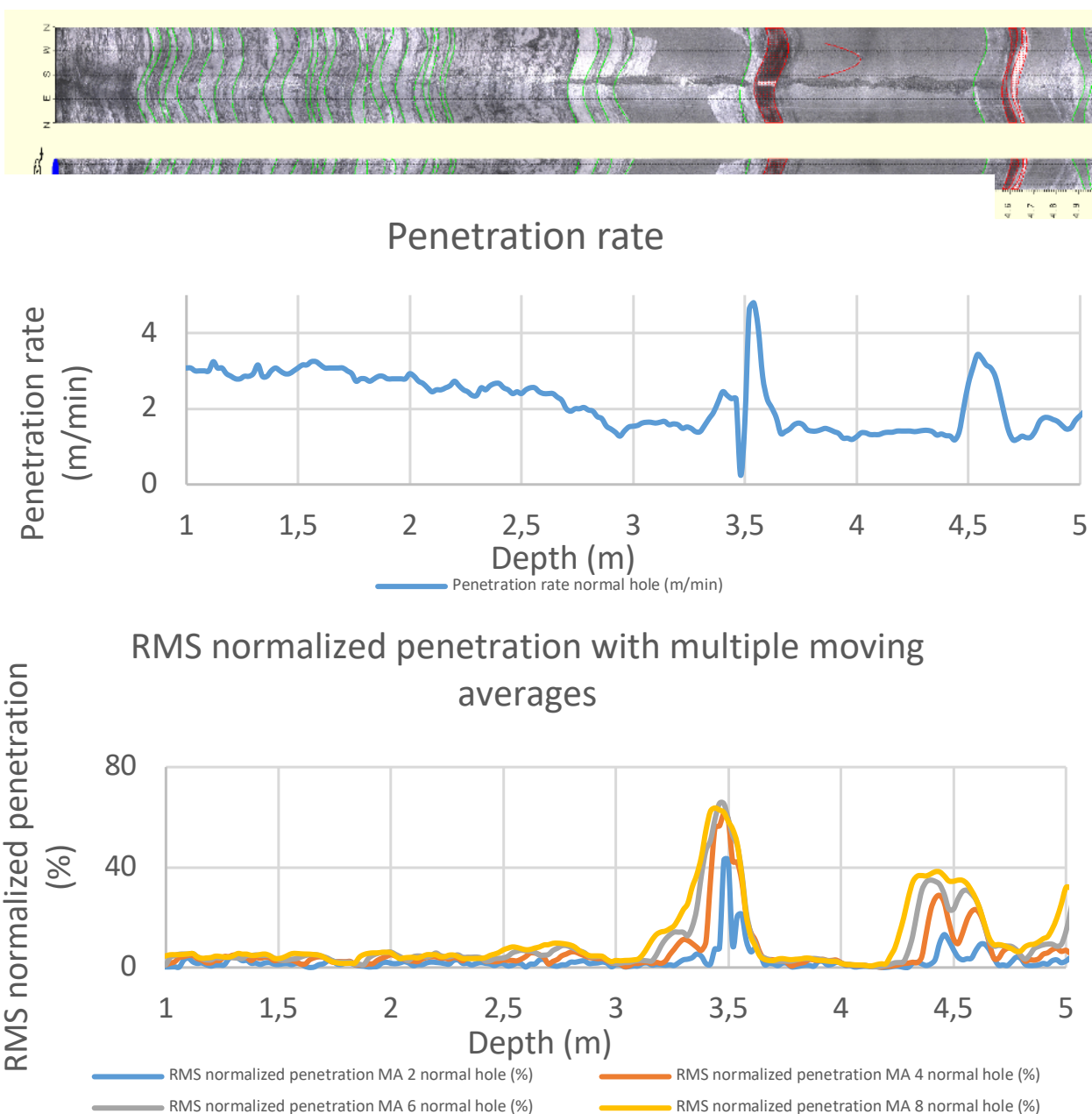
I øverste del av bilde i Figur 12 er foliasjon markert med grønn farge og sprekker uten fylling markert med rød farge. Foliasjonen gir ingen klar synlig respons i parametrene (penetration rate og RMS (normalisert penetration rate)), men i bergmassen for dette prosjektet forekom foliasjonen som spekker uten åpning og lav strekkstyrke.

Figur 13 viser klart at de to sprekke gir en økning i de tolkede parameterne (penetration rate og normalisert penetration rate). Denne

trenden finnes også i fra de andre borhullene som har blitt tolket med OTV. Generelt vil en sprekk med mykt fyllmateriale eller en åpen sprekk uten fyllmateriale, vises i MWD-data som et område med høyere borsynk.

Poenget med den visuelle sammenligningen av MWD-data og televiewer-bilder er

at først og fremst at det kan brukes til å vise bergmassen med samme tetthet og oppløsning som MWD dataloggerintervall. Sammenligninger av for eksempel bergmasseklassifikasjonssystemer og parametere i fra MWD vil ofte føre til sammenligninger av gjennomsnittsverdier på 5 m tunnel og bergmasseegenskaper på cm-nivå.

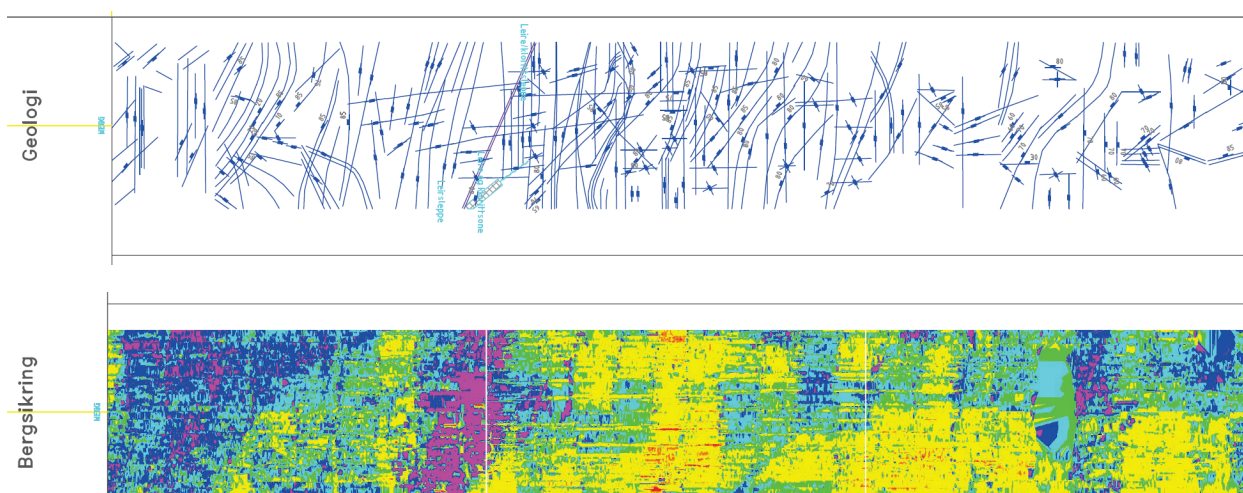


Figur 13 Eksempel på en respons i borsynk for to sprekker som er farget rød på OTV bildet.

4.4 Sørkjosen, Troms

I Sørkjosen, Troms, ble tolkede MWD-data benyttet aktivt av geologer under tunneldrift. Generelt stemte tolkningen godt med kartlagt/observert geologi på anlegget (se eksempel i Figur 14). Analyse av tolkede data var nyttig når det gjaldt å kvantifisere hardheten på berget, og for å vise mektighet på

større svakhetssoner og skyvesoner. Mindre sprekker og slepper kom ikke like godt frem på de tolkede dataene. Men slepper med fyllmateriale i form av leir vist godt på de tolkede dataene. For Sørkjosenprosjektet ble tolkninger av MWD-data for sonderhull brukt aktivt i prosessen med påvisning av dårlig berg og utvidet tunnelprofil for tyngre sikring.



Figur 14 Visning av kartlagt geologi og bergsikring/hardhet (borparametertolket) data fra Novapoint. (Figur fra Skanska).

5. Oppsummering

Ideell bruk av MWD-teknologi for tunneldrift innebærer at tolkede MWD-parametere er tilgjengelig for byggherre og entreprenør i kort tid etter boring av et hull er ferdig. Deretter kan tolkede parametere bli brukt til å estimere forhold foran stoffen med en gang, som gir muligheten til å forutse berget som skal bores, sprenges og sikres. Dette gir igjen mulighet til å forutse eventuelle vanskelige geologiske forhold som svakhetssoner, overganger mellom harde og mykere bergarter, tett oppsprekking eller enkelte store sprekker med åpning og mykt fyllmateriale.

For byggherrer er borparametertolkning nyttig til:

- Dokumentasjon av geologi uten geologens mulige subjektive vurdering
- Et verktøy som kan benyttes til å predikere geologi foran stoff og være med som et verktøy til å f.eks. utvide tunneltverrsnitt for bruk av tyngre bergsikring.
- Et verktøy som kan benyttes til å evaluere stabilitet og sikkerhet foran stoff.

For entreprenører er borparametertolkning nyttig til:

- Geologisk dokumentasjon og predikering av geologi i totalentrepriser
- Et verktøy som kan benyttes til estimering av arbeidssikring, stabilitet og sikkerhet foran stoff.

For både byggherrer og entreprenører anbefales det å ta vare på rådataene til eventuell fremtidig tolkning. Algoritmene som benyttes til å tolke og visualisere rådata er i stadig utvikling, slik at en tolkning fra i dag kan se noe annerledes ut i fremtiden. Dataene kan også benyttes i eventuelle krav og disputer i prosjekt som datagrunnlag og dokumentasjon av geologi og boringens kvalitet og respons til bergmassen.

Fra forskningsperspektiv kan det være interessant å redusere intervallet for registrering av MWD-parametere, for å se om enkelte små sprekker gir en større innflytelse på MWD-parametere. Dessuten er det viktig å se på hvordan man kan implementere automatisk registrering av forhold og data-behandling for å få mest ut av MWD-data. Unnsett hvordan MWD-data blir behandlet og til hvilke formål dataene blir brukt, bør teknologien benyttes som et supplement til geologisk kartlegging.

Referanser

Herfindal, K. (2013). *Studie av korrelasjonen mellom MWD data of kartlagte forhold i skillingsmyrtunnelen for kategorisering av bergmassekvalitet*. Trondheim: NTNU.

Hjele J. (2010). *Drill parameter analysis in Lørentunnel, normalisation and interpretation of automatically collected borehole data*. Oslo: University of Oslo.

Høien, A., & Nilsen, B. (2014). Rock mass grouting in the Lørentunnel: Case study with the main focus on groutability and feasibility of drill parameter interpretation. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47, 967-983.

Neby, A. (2012). *Registrering av geologi og bergsikring i Lørentunnelen*. Sundvolden: Statens vegvesen.

NGU. (2015, juli 16). *Optisk televiewer (OPTV)*. Hentet fra Norges Geologiske Undersøkelse: <https://www.ngu.no/emne/optisk-televiewer-optv>

Rødseth, M. (2013). *Analyse av sammenhenger mellom MWD-data og bergmekaniske parametre*. Trondheim: NTNU.

Valli, J. (2010). *Investigation ahead of the tunnel face by use of a measurement while drilling system at Olkiluoto, Finland*. Olkiluoto: Posiva.

van Oosterhout, D. (2016). *Use of MWD data for detecting*. Delft: TU Delft.



**NORSK FORENING FOR
FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK**

Postboks 2752 – Solli, 0204 Oslo
nff@nff.no | www.nff.no

