

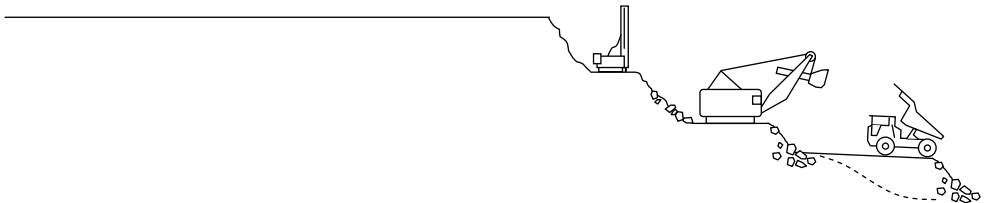
Vitenskaplig artikkel

Undersøkelse av potensialet for bruk av MWD teknikker i kvalitetskartlegging av Gusdal olivforekomst, Åheim.

Roar Sandøy¹¹ Sibelco Nordic, Olav Ingstads vei 5, 1351 Rud (roar.sandoy@sibelco.com)

SAMMENDRAG

Sibelco Nordic startet prosjektet "Materialkarakterisering ved bruk av MWD teknikker" i 2008. Overordnet mål var å undersøke i hvilken grad MWD (measurement while drilling) teknikker kunne benyttes i kvalitetskartlegging og kvalitetskontroll av industrimineralforekomster, dvs. å gå utover MWDs tradisjonelle bruk som en bergmekanisk og ingeniørgeologisk metode. I delprosjektet "Bruk av MWD for direkte kvalitetskarakterisering av styrke", ble potensialet for bruk av MWD teknikker i kvalitetskartlegging av Gusdal olivforekomst, Åheim, undersøkt. Manuell registrering av borsynk fra to borerigger, synes å vise at det er en systematisk forskjell i borsynkverdiene for de to riggene, men at denne er for liten til å skjule den reelle forskjellen i borsynk som skyldes de underliggende styrkevariasjonene i berget. Når borsynkverdiene plottes geografisk vises det i hovedsak en god overensstemmelse mellom områdene med lav borsynk og områder en erfaringsmessig vet har sterke bergarter. Registrering av MWD parametre ventes dermed å kunne gi et bidrag i kvalitetskartlegging av variasjoner i bergartsstyrke ved Gusdal olivforekomst, under forutsetning av at innsamlingen og datahåndteringen automatiseres, og at en kan komme til å måtte korrigere borsynkregistreringene med de variasjoner en kan ha i de andre boreparametrene under vanlige driftsforhold.



I. FORMÅL – POTENSIAL FOR BRUK AV MWD TIL KVALITETSKARTLEGGING

Boreparametertolkning, MWD (measurement while drilling), slik det er benyttet i bergindustrien, er en teknikk der ulike boreparametere måles kontinuerlig under boring. Boreparametrene som registreres kontinuerlig under boring er gjerne borsynk (penetration rate [m/min]), matetrykk (feed pressure [bar]), rotasjonstrykk (rotation pressure [bar]), rotasjonshastighet (rotation speed [rpm]) og slagverkstrykk (percussion pressure [bar]). Av disse boreparametrene er borsynk, definert som inndrift per tidsenhet, den mest sentrale.

Ut fra en antakelse om at det er en sammenheng mellom borsynk og bergmassens mekaniske egenskaper benyttes borsynk alene eller i en kombinasjon med de andre boreparametrene for å gi et bilde av bergmassens styrke, oppsprekking og vanninntrengning (Schunnesson 2009, Pedersen et al. 2010). Studier fra gruvedrift (malm), tunneldrift og ingeniørgeologi viser at MWD data kan gi god korrelasjon mot styrke (enaksiell trykkfasthet og Schmidthammertester) og oppsprekning (RQD verdier fra diamantborehull) (for eksempel Mårthensson 2000). Metoden er utbredt på tunnelborerigger, for salve-, sonde-, bolte-, eller injeksjonsboringer, men er mindre utbredt på dagbruddsrigger, for eksempel benyttet ved produksjon av industrimineraler.

Datainnsamling relatert til produksjonsboring, vil imidlertid være en enkel og effektiv måte å samle inn store datamengder på, også i dagbrudd. Hvis en kan finne en sammenheng mellom de registrerte boreparametrene og kvalitetsparametrene som karakteriserer en mineralforekomst vil MWD teknikker ha potensial til å være et godt verktøy for kvalitetskartlegging. Dette vil kunne forbedre planlegningsgrunnlaget for forekomsten og føre til bedre ressursutnyttelse. En slik bruk av MWD er imidlertid mindre utbredt og utprøvd enn MWD som en bergmekanisk og ingeniørgeologisk metode. Sibelco Nordic ønsket derfor å undersøke potensialet for bruk av MWD teknikker som et verktøy for kvalitetskartlegging for noen av sine industrimineralforekomster, og startet i 2008 opp flere prosjekt med dette som overordnet mål (Sandøy 2011).

Et av delprosjektene, "Bruk av MWD for direkte kvalitetskarakterisering av styrke", ble gjennomført ved Gusdal olivinforekomst drevet av Sibelco Nordic, avd. Åheim, fordi bergmassens styrke her er en kvalitetsparameter for industrimineralforekomsten. Produktene fra denne forekomsten har kvalitetskrav på kjemi og kornfordeling. Dette gjenspeiles i krav til rågodset på kjemi og bergartens evne til å motstå påkjenninger i forbindelse med behandling og transport frem til bruk hos kunde. Denne siste egenskapen er relatert til bergartens styrke, definert som materialets evne til å motstå mekanisk påkjenning i form av slag, abrasjon eller kompresjon. Målet for delprosjektet var å benytte MWD parametre, i første rekke borsynk, for å kunne gi et bilde av styrkevariasjonene i forekomsten, som består av ulike peridotittvarianter med innslag av gråberg som eklogitt og serpentinit. Delprosjektet var delt i to. Første del var en undersøkelse av potensialet for bruk av MWD parametre i kvalitetskartlegging. Hvis denne undersøkelsen ga positive resultater var neste steg å starte registrering av MWD parametre og benytte disse i kvalitetskartleggingen av forekomsten.

Kartleggingen av soner med sterke og løse bergarter i Gusdal olivinforekomst, er delvis gjort tidligere basert på visuell inspeksjon av diamantborekjerner og bergartene i bruddet, koblet mot erfaringsdata for hvordan ulike typer rågods

oppfører seg på knuseverket (Rekkedal 1998). Ulempen ved denne fremgangsmåten er at den i stor grad er subjektiv, og bare vil fungere hvis det er åpenbart ut fra en visuell betraktning hva som er sterkt rågods, men der grensene mot middels og løs stein ikke er viktig å få bedre definert. Registrering av MWD data i forbindelse med produksjonsboring vil kunne være et mer detaljert og objektivt supplement til den visuelle inspeksjonen i brudd.

For Sibelco Nordic, avd. Åheim, var målet for styrkekarakteriseringen av rågodsprøver todelt:

- For driftsoppfølging og produksjonsstyring: Å gi et mål på styrken av bergarten i salven som bores opp, slik at en kan estimere hvilken utvinning denne salven vil gi av produksjon av stein i grovere fraksjoner.
- For driftsplanlegging: Ved innsamling av styrkedata over tid fra ulike deler av bruddet å gi et bilde av den romlige fordelingen av styrkevariasjonene i bruddet slik at dette kan tas hensyn til i driftsplanene.

2. FREMGANGSMÅTE – MANUELL REGISTRERING AV BORSYNKDATA

For at bruk av MWD data skulle ha et potensial som verktøy for kvalitetskartlegging måtte:

- variasjoner i borsynk kunne skille ut ulike kontinuerlige soner i bruddet
- disse sonene kunne relateres til bergartens styrke, eller evne til å motstå trykkpåkjenninger.
- dette målet på bergartens styrke samsvare med det inntrykket en har fra visuell inspeksjon om hvor sonene med "hardstein" opptrer i bruddet, og den erfaring en har med rågodsets nedknusningsgrad på verket.

Resultater fra registreringer med Schmidhammer tydet på at styrkeforskjellene i bergartene i GUSDALSBRUDDET var store nok til at en registrering av borsynkverdier ville vise variasjoner i bruddet som kunne knyttes til bergmassens styrke (Sandøy & Ellefmo 2008). For videre å undersøke om bruk av MWD data hadde et potensial som verktøy for kvalitetskartlegging ble det foretatt registreringer av borsynk under boring med produksjonsriggene.

På Åheim benyttes to produksjonsrigger (BV001 og BV002), begge av type Atlas Copco ROC F7, som begge normalt borer med 4 tommers krone. Den ene riggen har mulighet for avlesning av borsynk på en dataskjerm i førerhytta, den andre viser bare matetrykk, slagverkstrykk etc. analogt. Det ble undersøkt om tapping av

signal med informasjon om borsynk ved innsetting av en datalogger el. kunne være en mulighet for riggen med avlesning av borsynk på dataskjerm. Dette ble sjekket ut med leverandør, og det kunne ikke la seg gjøre datateknisk siden riggens system ikke var forberedt for dette, siden den ikke var en såkalt C-rigg (computerised).

Siden automatisk registrering av borsynk ikke var mulig på de to boreriggene ble det satt i gang manuell registrering av borsynk, definert som den tiden det tar å bore 1 m kakshull. Siden borsynken for stang 1 ble antatt å være for mye influert av løst fjell i dagen, ble borsynk målt for stang 2 (Hatlenes 2007a og 2007b). For å minimere den mulige innvirkningen av andre boreparametere enn bergartens styrke på borsynken ble stang 2 boret med tilnærmet konstant slagverks- og matetrykk. I tillegg ble skadde borkroner skiftet ut. Registreringene som ble gjort var:

- hvilken borerigg som ble benyttet
- kronetype
- borelengde for kronen
- salvenummer og hullnummer
- slagverkstrykk og matetrykk.

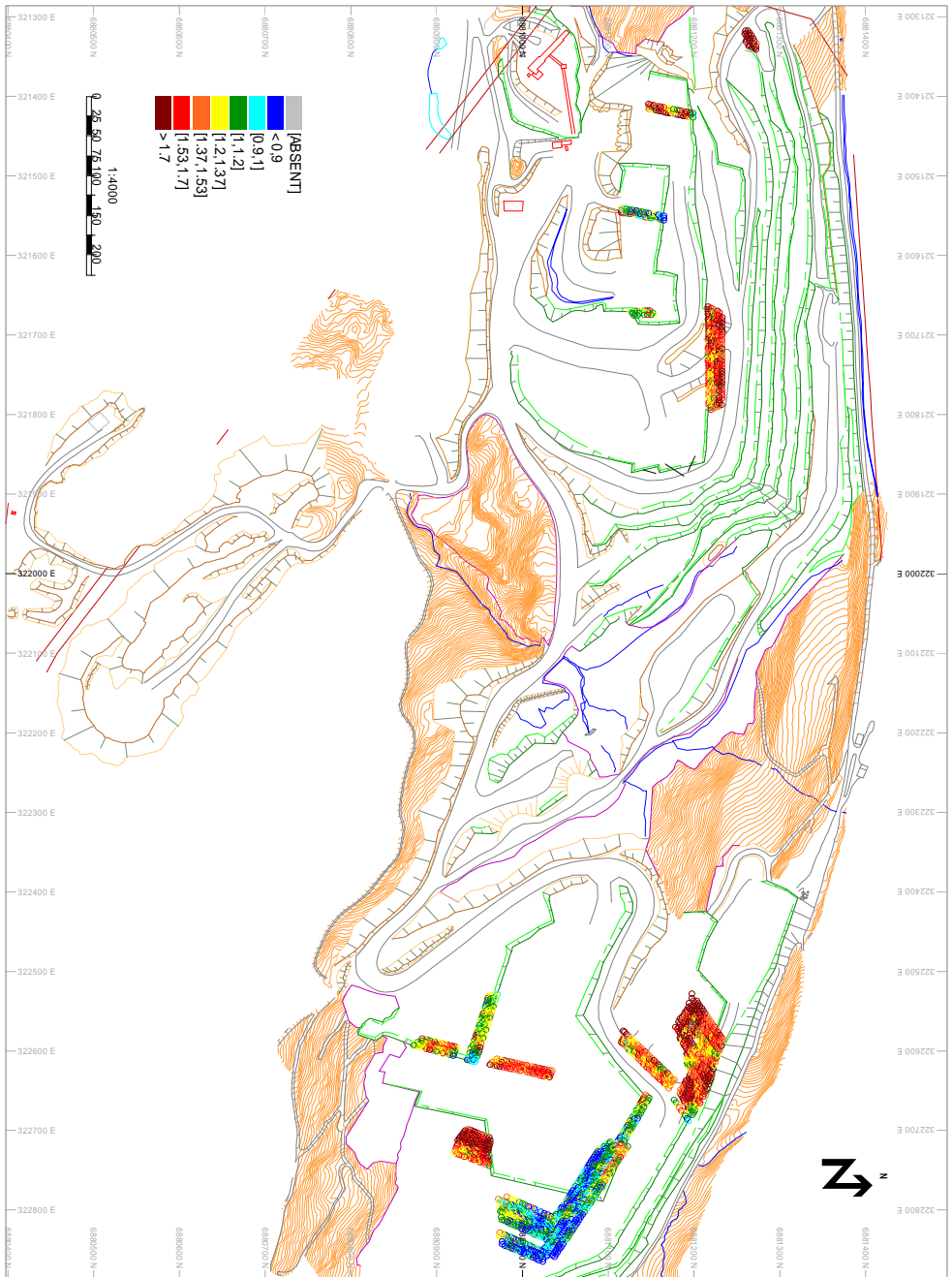
Registreringene ble deretter overført til Datamine, geologi og gruveplanleggingssystemet, som benyttes i Sibelco Nordic, og plottet som borehull i det digitale bruddkartet.

3. RESULTATER – MANUELLE BORSYNKDATA

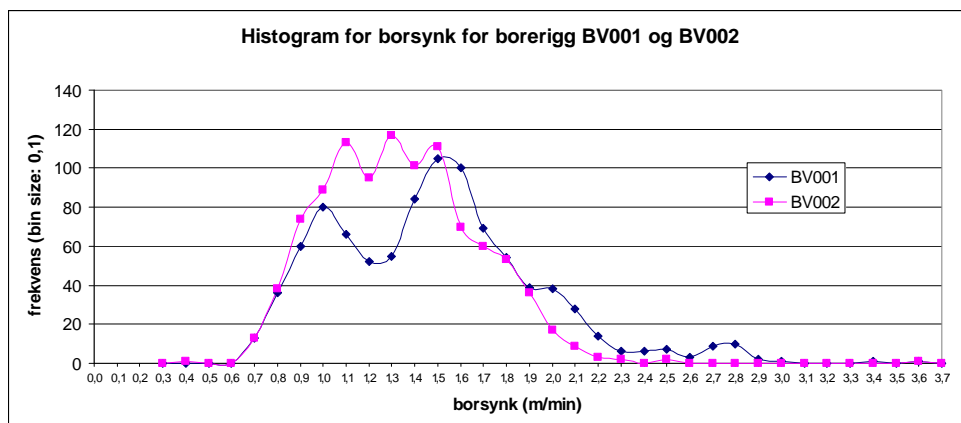
Totalt ble det samlet inn 1944 manuelle borsynkregistreringer fra de to boreriggene, henholdsvis 939 og 1005 målinger fra rigg BV001 og BV002.

I figur 1 ser en at borsynkregistreringene viser klare romlige variasjoner. Rød farge viser høy borsynk, mens blå er lav. Grønn og gul er middels borsynk.

Fordelingene for borsynkverdi, gitt som histogrammene for de to riggene separat, er vist i figur 2. Histogrammet for rigg BV001 har en bimodal karakter, med to toppe rundt henholdsvis 1,0 og 1,5 m/min, mens fordelingen for BV002 enten kan karakteriseres som unimodal eller som en trimodal fordeling med toppe ved 1.1, 1.3 og 1.5 m/min.



Figur 1 Borsynkregistreringer GUSDAL. Varme farger tilsvarer høy borsynk. Kalde farger tilsvarer lav borsynk.



Figur 2. Histogram for borsynkregistreringer for borerigg BV001 og BV002. Histogramintervall: 1/10.

Ser en på gjennomsnitt for borsynkregistreringene samlet og for de to boreriggene separat (tabell 1) vises en klar forskjell i gjennomsnittlig borsynk mellom de to boreriggene.

Tabell 1. Statistiske data for borsynkmålinger samlet og sortert etter rigg.

Borerigg	#	Gjennomsnitt	Standardavvik	Median	Minimum	Maksimum
Begge	1944	1.36	0.40	1.34	0.39	3.59
BV001	939	1.43	0.45	1.43	0.63	3.59
BV002	1005	1.29	0.34	1.27	0.39	3.59

Brukes bare data fra de to riggene separat og splittes opp på det som erfaringsmessig har blitt betegnet harde og løse bergartstyper får en følgende resultat (tabell 2):

Tabell 2. Differanse i borsynkverdier fordelt på bergartskategori pr. rigg.

Bergartskategorier	BV001	BV002	Snitt begge rigger
løs – hard	0,94	0,82	0,88
løs - hard, høy LOI / alkalier	0,10	0,13	0,11
hard, høy LOI / alkalier - hard	0,84	0,69	0,77

Den reelle gjennomsnittlige forskjellen i borsynk mellom løs og tradisjonell hard peridotitt synes å ligge rundt 0,9 m/min. Det er imidlertid interessant å merke seg at bergarter betegnet som harde med høy LOI/alkalier har tilnærmet den samme borsynk som løs peridotitt (LOI: *Loss On Ignition*).

4. VURDERING AV RESULTATENE

Siden borsynkregistreringene ikke er tatt fra borehull med et tilfeldig eller systematisk mønster, men er et resultat av hvilke salver som skulle produseres, kan en ikke si at prøvetakingen har gitt et representativt prøveutvalg for de to boreriggene. Differensen i gjennomsnittlig borsynk for de to boreriggene kan derfor skyldes den reelle styrkeforskjell for bergartene i de områdene riggene boret i, og/eller systematiske forskjeller i borsynk mellom riggene, Slike systematiske forskjeller kan for eksempel skyldes at (Hatlenes 2007b):

- Matetrykket for de to riggene var forskjellig under boringen. Dette skyldes at den maksimale matingen på borerigg BV001 er 55 bar, mot 60 på borerigg BV002. Gjennomsnittlig matetrykk /slagverkstrykk for rigg BV001 og BV002 var henholdsvis 51.9 / 193.2 og 59.1 / 193.3. Disse verdiene er noe usikre siden det ikke ble gjort regelmessige målinger av disse parametrene, men de ble kun forsøkt holdt konstante for hver rigg.
- BV 001 er en eldre borerigg, og kan derfor ha mer utslitte pumper og hammer.
- Borekronen på BV001 er en annen enn kronen på BV002, og i tillegg har den boret færre bormeter enn borekronen på rigg BV002.

For å undersøke en mulig systematisk variasjon i borsynk mellom de to boreriggene ble naborader fra salver boret med ulike borerigger sammenlignet. Naborader som ligger parallelt strøkretning ble ikke tatt med, siden det her er vanskelig å ha kontroll på hvordan geologien vil innvirke, og det er fare for at en ikke sammenligner boring i samme bergart i de to radene. Av denne grunn ble bare hull fra naborader som ligger vinkelrett, eller i stor vinkel, med strøket tatt med. Disse kriteriene ekskluderte hull fra salver i den vestlige delen av GUSDALSBRUDDET, men det antas at dette likevel er det beste sammenligningsgrunnlaget en har for å kunne se systematiske forskjeller i borsynk mellom de to boreriggene.

Sammenligningen av naborader vinkelrett eller i stor vinkel på strøket er gitt i tabell 3. Dette datasettet gir en entydig høyere borsynkverdi for borerigg BV001 i forhold til BV002, og differensen varierer fra 0,11 til 0,32 m/min. Gjennomsnittlig forskjell for alle borehullene i datasettet er 0,2 m/min høyere borsynk for rigg BV001 enn BV002, noe som tilsvarer at BV001 systematisk viser ca 15 % høyere borsynkverdier enn BV002. Splittes dette opp på det en fra erfaring vet er hard og løs bergart vises de samme trendene, og en forskjell som ligger rundt 15 % for alle kategoriene.

Tabell 3. Sammenligning av naborader boret med ulike borerigg.

Bergart	BV001	Snitt borsynk	BV002	Snitt borsynk	BV001-BV002	%
Hard, høy LOI	0817 (A01-A23)	1,77	0803 (E01-E21)	1,45	0,32	22,1
Hard, høy LOI	0730 (D01-D20)	1,80	0803 (A01-A26)	1,61	0,19	11,8
Løs	0807 (G01-G11)	1,88	0818 (A03-A14)	1,65	0,23	14,0
Hard	0814 (A01-A19)	0,94	0815 (A58-75)	0,83	0,11	13,1
Snitt		1,58		1,38	0,20	14,8
Snitt, hard, høy LOI /alkalier		1,78		1,53	0,25	16,6
Snitt, løs		1,88		1,65	0,23	14,0
Snitt, hard		0,94		0,83	0,11	13,1

En ulempe med valgt fremgangsmåte for å vurdere en mulig systematisk forskjell i borsynk mellom de to boreriggene er at en ofte vil sammenligne den første raden i en salve med den bakerste i en annen. Dermed vil den ene av radene være påvirket av sprengning av den foranliggende salven, mens den andre ikke er det. Hvis borsynken systematisk påvirkes av sprekke-dannelser på grunn av sprengning av foranliggende salve, vil denne testfremgangsmåten gi feil konklusjon siden all variasjon i borsynk mellom de to radene tillegges systematiske forskjeller i de to boreriggene. For å undersøke denne mulige feilkilden ble de to første radene i salver, som inngikk i datasettet, sammenlignet under antagelsen om at den dominerende forskjellen mellom gjennomsnittlig borsynk for disse radene vil skyldes innvirkning av sprengningsskader og ikke geologi. Siden disse to radene i samme salve var boret av samme borerigg vil heller ikke en forskjell som skyldes bruk av ulike borerigg spille inn. Denne sammenligningen viste små forskjeller i gjennomsnittlig borsynk mellom de to radene, og i snitt for de salvene som var med i datasettet var forskjellen -0,03 m/min. Dette tyder på at det ikke var noen sprengningsskader som påvirket borsynken i den første raden i salvene, slik at den benyttede fremgangsmåten for å vurdere en mulig systematisk forskjell i borsynk mellom de to boreriggene var gyldig. Resultatet som ga rundt 15 % høyere borsynkverdi for borerigg BV001 i forhold til BV002 virker dermed rimelig.

Et annet interessant resultat fra disse manuelle borsynkregistreringene er at de to bergartstypene som ut fra erfaring er betegnet som harde; "hard peridotitt" og harde bergarter med høy LOI/alkalier" har svært ulike borsynk, den siste mer på linje med "løs peridotitt". Det er imidlertid vanskelig å konkludere med årsaken til den høye borsynken for salvene som har fått betegnelsen "hard, høy LOI/alkalier" siden disse salvene ligger i et område med smale soner av ulike bergarter som serpentinitisert peridotitt / serpentinit og eklogitt / amfibolitt som forventes å trekke i ulike retninger for alkalier (høy for eklogitt, amfibolitt), LOI (høy for serpentinit) og bergartsstyrke. Uansett årsak synes det som om disse salvene med

antatt harde bergarter ikke kan skilles fra løs peridotitt (lav i alkalier og LOI) basert på borsynk målinger alene.

5. KONKLUSJON

Følgende konklusjoner kan gjøres fra undersøkelsen av potensialet for bruk av MWD parametre i kvalitetskartlegging i Gusdal olivinbrudd:

- Registreringene av borsynk ble forsøkt utført med konstant slagverks- og matetrykk, og kronediameter, slik at borsynkverdiene i størst mulig grad skulle gjenspeile de underliggende geologiske variasjonene i berget, og ikke boreparametere. Dette var ikke mulig siden det ble registrert målinger fra to rigger, som ble kjørt med hvert sitt sett med konstante boreparametere.
- Forskjellen på de to boreriggene ble forsøkt undersøkt ved å sammenligne naborader boret av de to boreriggene. Det ble ikke påvist noen effekter av eventuelle sprengningsskader som kunne påvirket borsynken i den første raden i salvene, og dermed gjøre en slik fremgangsmåte for å vurdere en mulig systematisk forskjell i borsynk mellom de to boreriggene ugyldig. Ut fra disse undersøkelsene synes det å være en systematisk forskjell i borsynkverdiene fra de to boreriggene, der verdiene fra rigg BV001 ligger ca 15 % høyere enn BV002.
- Den systematiske forskjellen mellom de to riggene er likevel ikke stor nok til å skjule den reelle forskjellen i borsynk som skyldes de underliggende styrkevariasjonene i berget, dvs. forskjellen i borsynk mellom løs og hard peridotitt. Den reelle gjennomsnittlige forskjellen i borsynk mellom disse synes å ligge rundt 0,9 m/min.
- Når borsynkverdiene plottes i bruddkartet vises det en god overensstemmelse mellom områdene med lav borsynk og områder en erfaringsmessig vet, fra produksjonen, kartlegging i brudd og av diamantkjerner, samt registrering av Schmidthammermålinger i brudd, har sterke bergarter. Dette gjelder ikke for sonene med erfaringsmessig sterk bergart med høyere LOI / alkali verdier pga. serpentinitisering av peridotitten og innhold av eklogitt / amfibolitt, som ligger i forekomstens randsone mot omliggende gneisbergarter. Disse bergartene med høy LOI og alkalier gir de samme høye borsynk verdiene som løse peridotitter (lav LOI), og kan følgelig ikke skilles fra disse ved hjelp av borsynk registreringer alene. Her må videre undersøkelser gjøres for å skille ut

borsynksignaturen til de ulike bergartene, for å vurdere om kjemiske analyser må benyttes som supplement for å skille rågods som gir ulik andel grovfraksjon i disse områdene.

De manuelle borsynkregistreringene ble gjort under forhold som avviker fra normale driftsforhold, siden det ble forsøkt boret med konstant matetrykk, slagverkstrykk, og kronediameter, samt at skadde borekroner ble skiftet. Under vanlige driftsforhold er det ventet at spesielt endringer i slagverkstrykk vil påvirke borsynken, selv om det er rapportert ulike erfaringer på dette (Løwø 1987, Mårthensson 2000). Hvis en slik påvirket borsynk viser geografiske variasjoner som kan relateres til bergets erfaringsmessige styrke vil det være tilstrekkelig å registrere borsynk fra boreriggene, hvis ikke må alle MWD parametrene samles inn og påvirkningene på borsynken må korrigeres. Manuell registrering og håndtering av borsynkverdier er heller ikke hensiktsmessig, men må automatiseres for å bli et effektivt verktøy for kvalitetskartlegging.

6. RAMMEVERK FOR PROSJEKTET

Sibelco Nordic sine prosjekter med formål å undersøke potensialet for bruk av MWD teknikker som et verktøy for kvalitetskartlegging, inkludert delprosjektet "Bruk av MWD for direkte kvalitetskarakterisering av styrke", ble tatt inn i MinBas II programmet, programområde 1.1. "Nya förundersökningsmetoder, materialkarakterisering och täktplanering" fra november 2008, hvor det fikk tittel "Utveckling av MWD-tekniken", og prosjektnummer 1.1.2. Bidragsytere i prosjektet har vært: Catrine Hatlenes, Steinar Ellefmo, John Natvik, Roar Sandøy, Anders Bakkebø, Magne Hellebust og Roger Hellebust.

REFERANSER

Hatlenes, C., 2007a: Borsynktesting – salve 20, Gusdal olivinbrudd. Intern rapport NCM, NCM Georapport 63, 6 s.

Hatlenes, C., 2007b: Borsynktesting – salve 24, Gusdal olivinbrudd. Intern rapport NCM, NCM Georapport 64, 5 s.

Løwø, V., 1987: Selektiv bryting i pukkverk. Hovedoppgave, Institutt for gruvedrift, NTH

Mårthensson, P., 2000: Bergmekanisk och ingenjörsgelogisk förundersökning av MWD-teknik i Petiknäsgruvan. Examensarbete, Luleå Tekniska Universitet, Institutionen för Väg och Vatten. 2006:06:25

Pedersen, K.B, Kompen, R. og Kveen, A., 2010: Arbeider foran stuff og stabilitetssikring i vegtunneler. Teknologirapport nr. 2538, Vegdirektoratet, Teknologivdelingen. 38 s. + 3 vedlegg

Rekkedal, J., 1998: Diamantboringer i Gusdal 1998. Intern rapport AS Olivin, Cardbox nummer 3841, 23.12.1998.

Sandøy, R., 2011: Materialkarakterisering (kvalitetskartlegging og kvalitetskontroll) ved bruk av MWD teknikker. MinBaS II område nr 1 Produksjons- og Processutveckling. Delområde nr 1.1. Nya förundersökningsmetoder, materialkarakterisering och täktplanering. Projekt/Delprojektnamn nr 1.1:2 Materialkarakterisering ved bruk av MWD teknikker. Rapport 1.1.2, 63 s.

Sandøy, R., og Ellefmo, S., 2008; Hardsteinsproblematikk, Åheim. Intern rapport NCM, NCM Georapport 70, 44 s.

Schunnesson, H. 2009: Modern tools and equipment for tunnelling and drifting. SRDM 2009 - P. Dight (ed). s.139-148. Australian Centre for Geomechanics, Perth.