DAGBRUDDSSTABILITET I NORCEM KJØPSVIK

OPEN PIT SLOPE STABILITY IN NORCEM KJØPSVIK

Sverre Paulsen Thoresen, Rambøll Norge AS Steinar Løve Ellefmo, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) Charlie Chunlin Li, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)

SAMMENDRAG

Dagbrudd vil i store deler av gruvas livstid operere med en lav totalvinkel av dagbruddsveggen for å gi brede pallnivå og dermed øke produksjonskapasiteten. Når uttak i dagbruddet nærmer seg forekomstens grense, blir det ofte aktuelt å legge dagbruddsveggen langs grensen av forekomsten for å optimalisere uttaket av mineral og minimalisere uttaket av gråberg. I situasjoner hvor forekomstens grense er steil forsøkes det å legge dagbruddsveggen parallelt eller så bratt som mulig etter denne. Direktoratet for Mineralforvaltning med bergmesteren for Svalbard setter krav til at det utføres nødvendige undersøkelser for endelig vegg i alle dagbrudd.

Dagbruddsområdet til Norcem Kjøpsvik er i en situasjon hvor en optimalisering av dagbruddets vegg er ønskelig. Forekomsten er drevet i kalsittmarmor med bergartsgrense til granatglimmerskifer. Stabilitetsanalyse er utført med hensyn på total- og detaljstabilitet og fordelt i ulike geotekniske domener i dagbruddets område. Numerisk modellering med UDEC og RS2 er benyttet for å optimalisere totalvinkelen av dagbruddsveggen, avhengig av bruddforløpet i bergmassen. Kinematisk analyse i Dips 7.0 er brukt for å identifisere og evaluere bruddmekanismer i bergmassen på pallnivå. I tillegg er det laget en 3D-modell av dagbruddets Q-verdi for å evaluere anisotropi i bergmassen med hensyn på stabilitet og variasjon i bergmasseparametere. Resultatene av stabilitetsanalysene viser at «toppling» eller utvelting kan forekomme på pallnivå i alle geotekniske domener. Kileutglidning og plan utglidning vil også kunne inntreffe i nordlig og sørlig del av dagbruddsområdet. Optimalisert totalvinkel for dagbruddsveggen i alle geotekniske domener har vist seg å variere mellom 38°-72°. 3D-modellen av dagbruddsområdet viser lave tegn til anisotropi i bergmassen og en Q-verdi som befinner seg i området 10-100. Det er ikke identifisert tydelige svake områder med lav Q-verdi som truer detalj- eller totalstabiliteten.

SUMMARY

During the lifespan of an open pit mine, the slope of the pit is mostly optimized to increase the production of ore. When the pushbacks in the mine is close to the constraints of the deposit, an optimization of the stripping-ratio must be done by adjusting the overall pit wall angle parallel or as close as possible to the constrain of ore deposit. When planning closure of mines, proper examination of the rock mass stability must be done according to the Norwegian directorate of mining with commissioner of mines at Svalbard.

The open pit mine in Norcem Kjøpsvik is assessing the final pit slope angle. The stability analyses are performed in defined geotechnical domains with regards to overall and detail stability. Numerical modelling in UDEC or RS2 is used to assess the stability of the overall pit angle, depending on rock failure processes. Kinematic analysis in Dips 7.0 is used to

identify and evaluate failure modes in the rock mass at bench scale level. In addition, a 3Dmodell of the Q-value in the open pit is made to assess the anisotropy in the rock mass with regards to stability and variation in rock mass parameters. The results of the stability analyses show that toppling can occur in all geotechnical domains. Wedge and planar failure can also occur in the northern and southern parts of the pit. Optimized overall pit angle in the geotechnical domains varies between 38°-72°. The 3D-model of Q-values in the pit mine shows low signs of anisotropy in the rock mass and a Q-value which is in the interval of 10-100. It is not identified any low Q-value areas which can threaten the detail or overall stability.

INNLEDNING

Denne studien er utført som masteroppgave ved studieprogrammet Tekniske Geofag på NTNU, og strakte seg fra sommeren 2018 til 2019.

I store deler av livstiden til dagbrudd er det vanlig å operere med en lavere totalvinkel enn hva som blir sett på som optimalt for endelig dagbruddsvegg. Dette skyldes en økt pallbredde for å gi tilstrekkelig produksjonskapasitet eller hvor det ikke er innhentet nødvendige designparametere. Når uttak i dagbruddet nærmer seg forekomstens grense, blir det ofte aktuelt å legge dagbruddsveggen langs grensen av forekomsten for å optimalisere uttaket av mineral og minimalisere uttaket av gråberg. I situasjoner hvor forekomstens grense er steil forsøkes det å legge dagbruddsveggen parallelt eller så bratt som mulig etter denne. For å hindre ustabilitet i dagbrudd som setter menneskeliv og materielle verdier i fare, har Direktoratet for Mineralforvaltning med Bergmesteren for Svalbard anbefalt at den totale dagbruddsvinkelen ikke overstiger 50-52° (DMF, 2016). I løpet av livstiden til gruva vil det ofte være aktuelt å gjennomføre en stabilitetsanalyse for å vurdere den maksimale totalvinkelen for endelig dagbruddsvegg, slik at risiko for ansatte og materielle verdier blir redusert, men også for å forvalte mineralressursen på best mulig måte.

Hensikten med denne studien er å undersøke stabilitet av endelig dagbruddsvegg grunnet kvalitetsvariasjoner i forekomsten og en produksjon som nærmer seg forekomstens yttergrense.

TEKNISK BAKGRUNNSDATA

I forbindelse med studiet har det blitt innhentet følgende nødvendige designparametere:

- Bergspenningsmålinger (Hanssen, 1998, Larsen et al., 2007, Mork, 2019)
- Bergmekaniske egenskaper
- Sprekkeorientering
- Overflateforhold på sprekkesett
- Bergmasseklassifisering
- Loggførte borkjernehull (Norcem, 2019)

Dagbruddsområdet består av to brudd, Sentralbruddet (domene 1-8) og Kikvikbruddet (domene 9-11). Med bakgrunn i at ulike sprekkesett kan opptre i områder med ulik orientering på dagbruddsveggen og i ulik litologi, har dagbruddsområdet blitt inndelt i geotekniske domener, se Figur 1. Sprekkesystem i domene 2, 3, 10 og 11 er kartlagt digitalt ved hjelp av fotogrammetri, mens resterende domener er kartlagt fra feltarbeid.



Figur 1: Inndeling av geotekniske domener i dagbruddsområdet med tilhørende sprekkekartlegging presentert i stereoplott.

METODE

Kinematisk analyse

Kartlagte sprekker er presentert i Dips 7.0 (Rocscience, 2016). I hvert geotekniske domene har gjennomsnittlig orientering på sprekkesettene blitt definert. I den kinematiske analysen har det blitt benyttet en friksjonsvinkel på 27° og 28° for henholdsvis kalsittmarmor og granatglimmerskifer, fallvinkel på pallfronten er satt til 79°.

Numerisk analyse

Grovt deles numeriske metoder inn i kontinuum og diskrete metoder. Kontinuum-baserte metoder analyserer i hovedsak bergmassen som en sammenhengende enhet og hvor sprekkeplan har relativt lite deformasjon. Diskrete metoder deler bergmassen inn i et geometrisk problem basert på sprekkenes orientering og analyserer deres relative bevegelse. I denne studien er det valgt å bruke diskret element-metoden UDEC og den kontinuum baserte metoden RS2, med bakgrunn i antatt bruddforløp og deformasjon til bergmassen (Rocscience, 1998, Itasca, 2011). UDEC vil være fordelaktig i områder hvor strukturkontrollert brudd i bergmassen er sannsynlig og at intakt berg ikke går i brudd. Metoden er godt egnet til å beskrive oppførselen til en blokkdannet bergmasse og dens relative bevegelse. Dette forutsetter at bergmassen er moderat oppsprukket og at høydeforskjellen i området er begrenset. RS2 vil være foretrukket i områder hvor brudd i intakt berg er sannsynlig. Metoden er derfor godt egnet til å beskrive oppførselen til en homogen bergmasse, med andre ord en lite oppsprukket eller veldig oppsprukket bergmasse. Dagbruddsområdet til Norcem Kjøpsvik er orientert parallelt med Lifjellet og Storbotnholtan. Dette innebærer nær 800 og 200 meter med høydeforskjell som vil kunne påvirke stabiliteten i sentrale deler av endelig dagbrudd. Bergmassen i området er antatt homogen. Det er derfor valgt å gjennomføre stabilitetsanalyse med RS2 i profil B-B' og C-C', se Figur 2. Resterende områder rundt dagbruddet har relativt lav høydeforskjell hvor det er antatt strukturkontrollerte brudd i bergmassen. Disse områdene har dermed blitt analysert med UDEC.

Ved stabilitetsanalyse er det tatt utgangspunkt i design av endelig dagbruddsvegg fra Norcem Kjøpsvik og en optimalisert dagbruddsvegg med 25 meter høye paller. Det henvises til Thoresen (2019) for oppsett og verifisering av modellene.

3D-modellering

3D-modellering av Q-verdi er utført i programmet LeapFrog Geo med utgangspunkt i loggførte borkjernehull fra Norcem Kjøpsvik (Aranz Geo, 2014, Norcem, 2019). Topografiske data er også gitt fra bedriften.

For å beskrive den romlige variasjonen av Q-verdi har det blitt definert en søkeellipsoide basert på antatt sammenheng i loggførte data. Største akse er parallelt med strøket på forekomsten, minste akse vinkelrett på forekomstens strøk og intermediære akse i vertikalretning.



Figur 2: Oversiktskart over nåværende og endelig brudd. Plassering av vertikalsnitt for utarbeidelse av numeriske modeller i UDEC og RS2 er vist. Profil B-B' og C-C' er analysert i RS2 mens resterende er utført i UDEC.

RESULTAT

Kinematisk analyse

Hvert domene i dagbruddsområdet har blitt kinematisk analysert med bruddmekanismene bøyelig og blokkutvelting samt plan og kileutglidning. Tabell 1 viser virkningsgraden hver bruddmekanisme har i hvert domene med tilhørende veggorientering. Kinematisk analyse som er fremhevet med farget rute i Tabell 1 indikerer dominerende eller sensitiv bruddmekanisme i domenet.

Første kolonne i Tabell 1 ved plan utglidning og utvelting viser % av totale poler i den kinematiske analysen som er kritiske for bruddmekanismen. Andre kolonne beskriver % av totale poler for et bestemt sprekkesett som er kritiske. Graden av kileutglidning beskrives gjennom % av totale krysninger som forekommer i kritisk område.

Domene	Veggorientering [Fallretning]	Plan utglidning		Kileutglidning	Utvelting	
	Asimut	% kritisk total	% kritisk sprekk	% totale kritiske krysninger	% kritisk total	% kritisk sprekk
1	N020	3.65	0.00	25.55	12.50 ^b	41.82 ^b
2	N080	14.29	83.33	28.39	21.12ª	91.67ª
3	N130	6.17	9.52	14.60	17.28 ^b	30.95 ^b
4	N130	12.96	20.00	13.84	37.04 ^a	87.50ª
5	N180	0.00	0.00	0.48	14.29 ^a	25.00ª
6	N260	2.67	0.00	8.72	15.11 ^b	33.33 ^b
7	N260	8.00	0.00	21.39	22.00 ^b	32.14 ^b
8	N285	1.52	2.56	7.88	1.52 ^a	2.56ª
9	N110	37.50	50.00	42.86	62.50 ^a	100.00 ^a
10	N230	5.77	0.00	26.92	3.85 ^b	4.35 ^b
11	N290	10.0	4.76	19.62	27.50 ^b	83.30 ^b

Tabell 1: Oversikt over dagbruddsområdets bruddmekanismer og deres virkning

^aBlokkutvelting.

^bBøyelig utvelting

Numerisk analyse

Det er følgende presentert resultat fra vertikalsnitt A-A', C-C', F-F' og H-H' for å illustrere bruddmekanismene i dagbruddsområdet. For resterende resultat henvises det til Thoresen (2019).

For vertikalsnitt A-A' er det utført stabilitetsanalyse i UDEC for optimalisert dagbruddsvinkel ved 38° (Figur 3). Hastighetsvektorer indikerer bevegelse langs et bruddplan med utgående på pallnivå. Sikkerhetsfaktor er beregnet til 1.44. En ytteligere økning av totalvinkelen til 42° vil resultere i en sikkerhetsfaktor på 1.20 og et glideplan som gir utglidning for hele dagbruddsveggen.



Figur 3: Stabilitetsanalyse i vertikalsnitt A-A' av optimalisert endelig dagbruddsvegg. Totalvinkelen er 38°

Figur 4 viser stabilitetsanalyse av planlagt endelig dagbruddsvegg etter design fra Norcem Kjøpsvik i vertikalsnitt C-C'. Endelig dagbrudd designet av Norcem Kjøpsvik har resultert i en SRF = 1.9, med maksimal skjærbevegelse på omtrent 0.031 meter i bunnen av dagbruddet. Potensiell bruddkurve har utgående fra Storbotnholtan og nedre del av endelig dagbruddsvegg. Bunnen av dagbruddet er ved 37 m.o.h. Optimalisert dagbruddsvinkel er beregnet til å være 57° med en sikkerhetsfaktor på over 1.5.



Figur 4: Numerisk stabilitetsanalyse i RS2 for planlagt endelig dagbruddsvegg i vertikalsnitt C-C'. Potensiell sirkulær bruddkurve er vist med utløp i dagbruddsveggen og toppen av Storbotnholtan. Designet er fra Norcem Kjøpsvik.



Figur 5: Stabilitetsanalyse i UDEC for optimalisert endelig dagbruddsvegg i vertikalsnitt F-F'. Totalvinkelen er 64°. Hastighetsvektorene viser en sirkulær bevegelse av bergmassen inn mot dagbruddet.

For vertikalsnitt F-F' er det utført stabilitetsanalyse i UDEC for optimalisert dagbruddsvegg med totalvinkel på 64° (Figur 5). Modellen viser to sprekkesett og en bergartsgrense mellom kalsittmarmor (lilla) og granatglimmerskifer (rød). Hastighetsvektorene indikerer bevegelse i bergmassen ved brudd som følger begge sprekkesett gjennom en sirkulær bevegelse som har utgående i overkant og fronten av dagbruddsveggen. Sikkerhetsfaktor er beregnet til 1.78. For vertikalsnitt H-H' er det utført stabilitetsanalyse i UDEC for optimalisert dagbruddsvegg med totalvinkel på 63° (Figur 6). Modellen viser et steiltstående sprekkesett og en bergartsgrense mellom kalsittmarmor (rød) og granatglimmerskifer (lilla). Hastighetsvektorer beskriver en nær horisontal bevegelse av bergmassen, hvor toppen av dagbruddsveggen faller inn mot dagbruddet. Sikkerhetsfaktor er beregnet til å være lik 2.78. En ytterligere økning av dagbruddsvinkelen til 66° vil resultere i en sikkerhetsfaktor på 1.23.



Figur 6: Stabilitetsanalyse i UDEC for endelig dagbruddsvegg i vertikalsnitt H-H'. Totalvinkelen er 63°. Hastighetsvektorene beskriver en nær horisontal bevegelse av bergmassen hvor toppen av dagbruddsveggen faller inn mot dagbruddet.

5.11

3D-modellering

3D-modellen av Sentralbruddet i Figur 7 viser en langstrakt fordeling av bergmassekvalitetene Q > 100.0 (rød), Q = 40.0 – 100.0 (brun) og Q = 10.0 – 40.0 (grå) parallelt med strøket på forekomsten. Bergmassekvalitetene fremstår vekselvis på tvers av forekomstens strøk. Figur 8 og Figur 9 viser tverrsnitt i 3D-modellen, og det er tydelig tegn på at Q-verdien har lav anisotropi og grensen mellom bergmassekvalitet er nær vertikal.



Figur 7: Blokkmodell av Sentralbruddet hvor det vises en langstrakt fordeling av Q-verdi i bergmassen parallelt med strøket på forekomsten. Vertikalsnitt B-B' og F-F' er vist.



Figur 8: Vertikalsnitt B – B' med soner av bergmassekvalitet Q > 100.0 og Q = 10.0 - 40.0 i en grunnmasse av Q-verdi = 40.0 - 100.0.



Figur 9: Vertikalsnitt F – F' med dominerende bergmasse Q = 40.0 - 100.0 med enkelte soner av bergmassekvalitet Q = 10.0 - 40.0.

DISKUSJON

Detaljstabilitet

Grunnen til at utvelting er den dominerende bruddmekanismen skyldes dagbruddsveggens orientering i forhold til et nært vertikalt foliasjonssprekkesett og et svakt fallende eksfoliasjonssprekkesett som danner et blokksystem i bergmassen. I store deler av dagbruddsområdet til Norcem Kjøpsvik er det indikert et sørøstlig fall på eksfoliasjonssprekkene (med unntak av domene 2 og 3). For den vestlige veggen (domene 4 og 9) vil dette innebære et plan som har fall inn mot dagbruddet og som resulterer i blokkutvelting og et mulig glideplan. Eksfoliasjonssprekkene har dermed et fall inn mot den østlige veggen (domene 6, 7, 8 og 11) og vil kunne fungere som et stabiliserende fundament for en blokkformet bergmasse. Faren for utvelting av blokkformet bergmasse vil mest sannsynlig være i den vestlige veggen.

I domene 2, 3, 4, 8, og 9 er foliasjonssprekkesettet orientert i samme fallretning som pallfront, og utfra en dominerende del av analysene vil en økning i pallfrontens fallvinkel føre til økt risiko for utglidning. Dette kommer av at foliasjonssprekkesettet danner en utgående i bunnen og i overkant av pallfronten. En fordelaktig situasjon for å øke fallvinkelen til det maksimale, vil være å innrette pallvinkel parallelt med foliasjonssprekkesettets fallvinkel, slik at sprekkesettet ikke krysser pallfronten. For granatglimmerskiferen vil dette være spesielt aktuelt med tanke på dens tydelige lagdeling. En avslutning av et dagbrudd vil kreve et stabilt design av dagbruddsveggen, som i tillegg er estetisk og fremstå som naturlig i forhold til miljø og omgivelser. Utfra analysene vil en fallvinkel i område av 70°-74° redusere faren for ustabilitet i betydelig grad. Samtidig fremstår det som naturlig i forhold til naturen og miljøet rundt, og det vil være lettere for vegetasjon å etablere seg etter avsluttet produksjon og ved tilbakeføring. Utfra orientering av horisontale bergspenninger i Kjøpsvik og den avlastende effekten lokale forhøyninger i terrenget og konveks design har på bergspenningene, så er det mest sannsynlig at ustabilitet forekommer i nordlig og sørlig ende av dagbruddsområdet. For domene 1, som er en del av en lokal forhøyning i terrenget, vil topografien fungere avlastende for omslutningstykket. Dette gjør spesielt øvre del av domenet utsatt. Slik det fremstår av den numeriske stabilitetsanalysen i UDEC for vertikalsnitt A-A' (Figur 3) og kinematisk analyse for domene 1, så er utglidning på pallnivå mest kritisk grunnet krysning av svakhetsplan (kileutglidning).

Totalstabilitet

Stabilitetsanalysen i vertikalsnitt A-A' (Figur 3) indikerer at totalstabiliteten ikke er kritisk for brukt totalvinkel. En ytterligere økning til 42.0° vil derimot være truende for totalstabiliteten av dagbruddsveggen. Ved optimalisert totalvinkel 38.0° (Figur 3) vil det være mulig for S2 å danne utgående i bunnen og i overkant av dagbruddsveggen med en annen plassering, noe som kan redusere sikkerhetsfaktoren betydelig. Samtidig er det usikkert i hvilken grad det er gyldig å analysere S2 som plan utglidning når det er et resultat av krysning av to sprekkesett, S1 og S3 (kileutglidning, se Figur 10). Krysningen av sprekkesett S1 og S3 er opprinnelig i tre dimensjoner, men projiseres i planet (2D) ved analyse i UDEC som krysningslinjen mellom sprekkesettene. Ved analyse som plan utglidning i 2D vil et eventuelt stabiliserende omslutningstrykk neglisjeres. Stabilitetsanalyse i 3D (3DEC) vil kunne gi en mer realistisk stabilitetsvurdering for en slik situasjon.



Figur 10: Illustrering av kileutglidning (wedge failure) langs skjæringslinjen S2, som et resultat av krysningen mellom sprekkesett S1 og S3. S2 analysert som plan utglidning i UDEC. Modifisert etter Hoek and Bray (1981).

Ved stabilitetsanalyse for optimaliserte dagbruddsvinkler i vertikalsnitt D-D', E-E', F-F' og H-H', er det registrert at sikkerhetsfaktoren har økt med økende totalvinkel i forhold til dagbruddsvegg designet av Norcem Kjøpsvik. For vertikalsnitt G-G' er det registrert en nedgang i sikkerhetsfaktor og totalvinkel sammenlignet med design fra Norcem Kjøpsvik. En optimalisert dagbruddsvegg for vertikalsnitt D-D' og H-H' gir imidlertid et tydelig fall i

sikkerhetsfaktor med ytterligere økning i totalvinkel. Parallelt med økning av totalvinkel er det også registrert økning i maksimal hastighetsvektor og tetthet av hastighetsvektorer i bergmassen. Dette kan gi indikasjon på at økende totalvinkel og reduksjon i dagbruddveggens dybde gir større bevegelse i bergmassen, noe som er forventet.

For å vurdere stabilitet for et bestemt område, er det i mange sammenhenger benyttet gjennomsnittlig verdi for bergmassekvaliteten som helhet. Om dette er representerbart for stabiliteten vil i stor grad avhenge av fordelingen av bergmassekvalitet. Det er naturlig å anta at ustabile bergmasser vil følge minste motstands vei slik at lavest estimerte verdi vil være gjeldende for stabiliteten. Dette kommer tydelig frem i tilfeller hvor bergmassekvaliteten er sammenhengende, f. eks i en større forkastningssone eller i svake bergartslag. I tilfellet hos Norcem Kjøpsvik er det naturlig å tro at en potensiell bruddkurve krysser en rekke definerte soner av bergmassekvalitet som er vekslende og har markante skiller i vertikal retning. Dette begrenser tydelige svakheter i bergmassen. Å definere bergmassekvaliteten med en gjennomsnittlig verdi for det analyserte området vil være ansett som gyldig for storskala stabilitet. I tillegg er en dominerende del av bergmassen definert med Q-verdi i området 10.0 – 100.0 og dermed kvalifisert som god til veldig god kvalitet. Det er ikke identifisert tydelige svake områder med lav Q-verdi som truer detalj- eller totalstabiliteten.

5.15

KONKLUSJON

Blokkmodell av Q-verdi har ikke identifisert bergmekaniske utfordringer som truer stabiliteten av planlagt endelig dagbruddsvegg. Store deler av bergmassen i dagbruddet er klassifisert med Q-verdi i området 10.0-100.0 og ansees som god til veldig god kvalitet.

Bøyelig og blokkutvelting er den dominerende bruddmekanismen i dagbruddsveggene orientert parallelt med strøket på forekomsten, grunnet kryssende foliasjons- og eksfoliasjonssprekkesett. I områder hvor eksfoliasjonssprekkesettet faller ut av dagbruddsveggen er blokkutvelting ansett som bruddmekanisme, mens hvor det faller inn i dagbruddsveggen er bruddmekanisme sett på som bøyelig utvelting. Kileutglidning og plan utglidning forekommer med størst sannsynlighet i sørlig og nordlig ende av dagbruddsområdet. Det er dermed anbefalt å tilpasse bredden av pallnivået og orienteringen av pallveggen på en måte at utgående av kryssende sprekkesett ikke er lokalisert i pallens front. For pallnivå lokalisert i granatglimmerskifer anbefales det å tilpasse pallfrontens fallvinkel etter foliasjonens fallvinkel. I resterende områder er det anbefalt å benytte en verdi for pallvinkel i intervallet 70°-74°, som samtidig muliggjør at endelig dagbrudd etter avsluttet brudd vil kunne tilbakeføres på en fornuftig måte som er i samsvar med omgivelsene og miljøet rundt.

Totalvinkelen for alle vertikalsnitt designet av Norcem Kjøpsvik er ansett som stabile. En optimalisering av dagbruddets totalvinkel har vist seg å være mulig i alle vertikalsnitt med unntak av G-G'. Tabell 2 viser anbefalte totalvinkler for tilhørende geotekniske domene i dagbruddsområdet. Vinklene er anbefalt med utgangspunkt i dybde av endelig dagbrudd fra Norcem Kjøpsvik.

Domene	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Anbefalt											
totalvinkel	38.0	72.0	57.0	57.0	52.0	50.0	50.0	63.0	64.0	52.0	63.0
[°]											

Tabell 2: Anbefalte totalvinkler for geotekniske domener i dagbruddsområdet

REFERANSER

- ARANZ GEO 2014. User Manual for Leapfrog Geo version 2.1. P O Box 3894, Christchurch 8140, New Zealand: ARANZ Geo Limited.
- DMF 2016. Driftsplanveileder. N-7441, Trondheim: Direktoratet for mineralforvaltning med bergmesteren for Svalbard.
- HANSSEN, T. H. 1998. Fjellspreningskonferansen. Fjellspreningskonferansen. Oslo.
- HOEK, E. & BRAY, J. 1981. Graphical presentation of geological data. *Rock Slope Engineering.* 3. ed. London: Institute of Mining and Metallurgy.
- ITASCA 2011. User Manual. Minneapolis, Minnesota, USA: Itasca Consoulting Group Inc.
- LARSEN, T., JAKOBSEN, P. D. & DAHLE, H. 2007. 2D spenningsmåling i takhull ved Akselberg, Brønnøy Kalk AS. Sintef Byggforsk, Berg og geoteknikk.
- MORK, H. 2019. RE: Bergspenningsmålinger fra Franzefoss Minerals AS, Ballangen.
- NORCEM 2019. Database, Geovia Surpac.
- ROCSCIENCE 1998. Phase2 Users Guide. Rocscience Inc.
- ROCSCIENCE 2016. Dips v.7.0 Graphical & Statistical Analysis of Orientation Data (Tutorial Manual) In: ROCSCIENCE (ed.).
- THORESEN, S. P. 2019. *Dagbruddsstabilitet i Norcem Kjøpsvik.* Master Sivilingeniør, Norges teknisknaturvitenskapelige universitet (NTNU).