

Sarah Mari Sande

Bergmasseklassifisering – en undersøkelse for systematisering av sikringsarbeidet for bergskjæringer langs norske veier

Masteroppgave i Geologi

Veileder: Eivind Grøv, Stig Lillevik

Januar 2021



Foto fra feltarbeidet

Sarah Mari Sande

Bergmasseklassifisering – en undersøkelse for systematisering av sikringsarbeidet for bergskjæringer langs norske veger

Masteroppgave i Geologi
Veileder: Eivind Grøv, Stig Lillevik
Januar 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for geovitenskap og petroleum



Kunnskap for en bedre verden



MASTEROPPGAVEN- oppgavebeskrivelse

Kandidatens navn: Sarah Mari Sande

Oppgavens tittel: Bergmasseklassifisering – en undersøkelse for systematisering av sikringsarbeidet for bergskjæringer langs norske veier

English title: Rock mass classification – an investigation on a systematic approach for rock slopes for Norwegian main roads

Utfyllende tekst:
1. Langs norske hovedveger er det kilometervis med bergskjæringer der hvor man enten velger bort tunnel, eller ikke kan følge den varierende topografien der veiene føres frem. For bestemmelse av bergmassekvalitet i tunneler har bransjen en rekke etablerte og gode systemer, de samme systemene benyttes for å bestemme av nødvendig sikring av tunnelene. Denne MSc-oppgaven skal undersøke i hvilken grad de samme eller andre klassifiseringssystemer er egnet for å benyttes i sammenheng med bergskjæringer. Situasjonen knyttet til stabile bergskjæringer langs norske veier fikk et sterkt fokus etterfølgende raset ved E18 ved Larvik den 19. desember 2019.

Kandidaten skal i sin besvarelse:

- Identifisere og diskutere ulike klassifiseringssystemer og egnethet for bergskjæringer
- Hvordan implementere slike systemer i Statens vegvesen
- Evaluere om det er samsvar mellom sikringsbehovet som fremkommer gjennom slike klassifiseringssystemer og estimert omfang for prosjekter i regi av Statens vegvesen

Kandidaten vil benytte reelle prosjekter som er pågående i Statens vegvesen i Trøndelag og trekke på disse i besvarelsen.

2. Oppgaven gjennomføres i samarbeid med Statens vegvesen, med Sjefingeniør Stig Lillevik som kontaktperson. Ansvarlig faglærer og hovedveileder for oppgaven er Prof. II Eivind Grøv, institutt for geovitenskap og petroleum. Stig Lillevik har også vært medveileder.

Studieretning: Geologi

Hovedprofil: Miljø- og geoteknologi

Tidsrom: 15.01.2020-01.02.2021

Eivind Grøv
Faglærer

Forord

Denne oppgaven er utarbeidet som del av et 2-årig masterprogram i geologi realfag ved Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet (NTNU). Masteroppgaven har emnekode GEOL3090, med et omfang på 60 studiepoeng.

Tema for oppgaven ble til da jeg jobbet som sommervikar hos Statens vegvesen ved Berg- og geoteknisk seksjon i Trondheim, sommeren 2019. Den gang jobbet jeg med stabilitetsvurderinger og utforming av sikringstiltak for vegstrekker i Trøndelag. Stabilitetsvurderinger for bergskjæringer var den gang et nytt fagfelt for min del, et fagfelt hvor jeg ønsket å tilegne meg mer kunnskap. Hovedinteressen bak fagfeltet, var opplevelsen av at sikringstiltak og stabilitetsvurderinger ble relativt ulike, avhengig av hvilken geolog som reiste i felt for å gjøre vurderinger, samt hvilken bakgrunn, erfaring og fokus den enkle geolog hadde. I denne oppgaven tar jeg derfor for meg hvordan sikringsprosjektering og sikringsfilosofi langs veien er i dag, hvilke bergmasseklassifiserings-systemer som finnes spesifikt for bergskjæringer, og hvordan disse kan være nyttige for å systematisere arbeidet med sikring av bergskjæringer.

Jeg har tidligere hørt at det krever en hel landsby for å oppdra et barn, og når jeg ser tilbake på min studietid, trengs det nok også en landsby for å utdanne en ingeniørgeolog. Følgelig er det en hel rekke mennesker som fortjener en stor takk for å ha vært gode støttespillere gjennom mitt masterarbeid.

Først og fremst vil jeg takke Stig Lillevik og Vegard Utstøl Jakobsen som hadde ideen til temaet i masteroppgaven og tok initiativet for at jeg kunne skrive oppgaven i samarbeid med Statens vegvesen. Spesiell takk til Stig Lillevik som også var min veileder på vegne av Statens vegvesen, og innhar uvurderlig kunnskap og erfaring innenfor fagfeltet ingeniørgeologi. Jeg vil spesielt takke deg for spennende samtaler om ingeniørgeologi og fagfeltet.

Jeg vil også benytte anledningen til å takke min hovedveileder Eivind Grøv, for gode og konstruktive innspill til oppgaven, og for at du på slutten av oppgaven pushet meg til å stå for mine meninger og tørre å skrive dem ned.

Jeg ønsker spesielt å takke min gode studievenninne Tonje Eidset for at jeg alltid kan spørre de dummeste spørsmål innenfor fagfeltet og for alle de flotte minnene vi har fra ekskursjoner verden rundt. Min studietid hadde ikke vært den samme uten deg. Til slutt vil jeg takke venner og familie, spesielt min kjære samboer, Jon Kristian Rakstang, for gode faglige diskusjoner og stort engasjement i mitt arbeid, men aller mest vil jeg takke deg for den ekstra driven og tålmodigheten du har hatt når det har stått på som verst.

Tusen takk alle sammen!



Trondheim

31. januar 2021

Sammendrag

Hvert år registreres det over 1000 flom- og skredhendelser på vegnettet i Norge. Statistikken viser at nedfallshendelser fra bergskjæringer er dominerende. Steinskredet på E18 utenfor Larvik i 2019, viser at også nye veger kan rammes. Flere ting tyder på at dagens stabilitetsberegninger for bergskjæringer enten blir regnet som for tidkrevende, for komplisert, eller lite relevant. Det kan tenkes at bruk av bergmasseklassifiseringer vil senke terskelen for beregninger, slik at det blir utført enklere beregninger fremfor ingen beregninger.

Hovedformålet med oppgaven var å ta for seg hvordan bergmasseklassifiseringer kan benyttes i prosjektering av bergskjæringer, samt undersøke hvor nøyaktige disse er sammenlignet med dagens praksis. Dette er undersøkt ved å gjøre kartlegging med bruk av 4 bergmasseklassifiseringssystemer langs 16 bergskjæringer, i forbindelse med vegprosjektet Fosenvegene i Indre Fosen, Trøndelag. Kartleggingen inkluderte de to mest brukte klassifiseringssystemene i dag, Q-systemet og RMR, originalt utviklet for bergrom og tunneler. I tillegg ble det gjort kartlegging med Q-slope og SMR tilpasset skrånninger og bergskjæringer. Resultater viste stor forskjell mellom systemene utviklet for bergskjæringer og systemene utviklet for undergrunnsanlegg. En viktig forklaring er at bergsikring i dagen kan være mer omfattende, avhengig av bl.a. sprekkorientering og klimatiske forhold.

Sammenligning av antatte sikringmidler fra konkurransegrunnlag og endelige sikringsmengder, viser større avvik enn de økonomiske avviksmål satt i vegvesenets anslagsmetode. Basert på litteraturstudiet og resultater ved bruk av systemene, kan ikke bergmasseklassifiseringer utviklet for bergrom benyttes direkte til angivelse av sikring i bergskjæringer. For dette må det benyttes tilpassede klassifiseringssystemer med tilpassede angivninger av sikring. Det letteste systemet å implementere for bruk vil trolig være Q-slope, som er en modifikasjon av et godt implementert og brukt system i Statens vegvesen, Q-systemet. For å kunne benytte Q-slope må det utvikles et tilpasset sikringsdiagram. Det må nevnes at bergmasseklassifiseringer uansett ikke kan erstatte erfarne ingeniørgeologer på anleggsplassen, men kan fungere som kvalitetssikring for at alle vurderinger som skal ligge til grunn for sikringsutforming er utført på forhånd.

Som følge av samfunnets avhengighet av et pålitelig veg- og jernbanenett, er det nødvendig å stille strenge krav til prosjektering og sikring av bergskjæringer langs norske veier. Da denne oppgaven ble utarbeidet, eksisterte det ikke en egen vegnormal for bergskjæringer. Det anbefales å sette tydeligere skille mellom prosjektering av tunneler og bergskjæringer, ved at det lages en egen vegnormal som omfatter bergskjæringer. En slik vegnormal kan minske spillerommet for tolkning av lover og regler som kan oppstå ved henvisning til vegnormalen og veiledning for vegtunneler. Det er ikke alle føringer for vegtunneler som direkte er anvendbare for bergskjæringer. Det bør da utvikles strengere og klarere føringer enn det som praktiseres i dag, og innføringen av disse må starte allerede på skolebenken hvor det utdannes ingeniørgeologer. Bergmasseklassifiseringer kan være et godt bidrag i en strengere føring av dagens praksis, og bidra til å senke terskelen for å gjøre beregninger for sikring og sikringsomfang, slik at færre bevisst velger å unngå beregninger.

Nøkkelord

Bergmasseklassifisering, bergskjæringer, sikring, norske veier

Abstract

Each year, more than 1000 flooding and landslide events are recorded in the Norwegian road network. In this statistic, rockfall incidents from rock-cuttings are predominant. The rock-slide event that occurred on the E18 highway outside Larvik in 2019, showed that also modern roads can be struck by such events. It has also been found that stability analyses for rock-cuts are in many cases considered by professionals as too time consuming, complicated, or not relevant enough to be used in geotechnical engineering projects. On the other hand, rock mass classification systems are proving themselves useful in this respect, because their increasing ease of use may lower the threshold for professionals to actually perform empirical analyses as part of solving geotechnical problems.

The main purpose of this Master's thesis was to explore the potential of rock mass classification systems as tools in the designing and securing of rock-cuts. Another important goal was to compare the accuracy of these systems with methods that are widely practiced today, by using them to analyze real rock-cuts. This was done by using four different rock mass classification systems to map and analyze 16 rock-cuts, which had been recently constructed in the road project "Fosenvegene" in Trøndelag, Norway. The mapping included the two most widely used systems today, the Q-system and RMR, originally developed for tunnels and other underground constructions. In addition, the Q-slope and SMR-system, targeting slopes and rock-cuts, were used. Results showed a considerable differentiation between systems developed for underground applications, and above-ground applications. An important explanation for this is that several other factors, such as climate and joint orientation, must be taken into account for above-ground applications.

A comparison of the estimated amounts of stabilization measures calculated in this thesis, versus the amounts previously calculated by the road project consultants, showed a deviation in terms of cost that was too large with respect to threshold values set by the Norwegian public road administration. This, as well as findings in the literature review, shows that rock mass classification systems intended for tunnels and underground applications should not be used directly for above-ground rock-cuts. On the other hand, Q-slope would be more suitable for implementation, given that a more appropriate support chart is developed. Such systems cannot replace the on-site geological expertise of professionals, but rather function as systems ensuring that stability assessments are performed with appropriate extent and quality.

The Norwegian society is highly dependent on reliable and robust transportation systems, and it is therefore necessary to implement stricter requirements for the safety and stability of rock-cuts. At the time of writing this thesis, Norway did not have a separate technical norm that regulates the securing of rock cuts. If made in the future, that technical norm could reduce discrepancies in the interpretation of laws and regulations that apply to rock-cuts. Furthermore, several findings indicate that it would be a good idea to establish a more clear division between technical norms for tunnels and technical norms for rock-cuts. In order to have an effect, this should be implemented in the education of geotechnical engineers, and rock mass classification systems could serve as useful tools in this respect.

Keywords

Rock mass classification, rock-cuts, support technology, Norwegian roads

Innhold

| | |
|--|------------|
| Forord | i |
| Sammendrag | ii |
| Abstract | iii |
| Liste over forkortelser | vi |
| Figurliste | vi |
| Tabelliste | vii |
| 1 Introduksjon | 1 |
| 1.1 Formål, metode og forskningsspørsmål | 2 |
| 1.2 Oppgavens oppbygning | 2 |
| 1.3 Oppgavens begrensninger | 2 |
| 2 Introduksjon til bergskjæringer, stabilitetsvurderinger og sikring for norske forhold | 3 |
| 2.1 Statens vegvesens visjon og krav | 4 |
| 2.2 Stabilitet i bergskjæringer | 6 |
| 2.3 Stabilitetsanalyser, feltundersøkelser og krav til disse | 13 |
| 2.4 Ulike typer bruddmekanismer for utrasning og stabilitetsberegning av bergskjæringer | 14 |
| 2.5 Sikringmetoder for bergskjæringer | 20 |
| 3 Introduksjon til bergmasseklassifisering og anvendelse | 22 |
| 3.1 Hva er bergmasseklassifisering? | 23 |
| 3.2 Rock Quality Designation (RQD) | 25 |
| 3.3 Q-systemet | 26 |
| 3.4 Rock mass rating (RMR)-systemet | 37 |
| 3.5 Fordeler og begrensninger ved bruk av bergmasseklassifiseringssystemer | 41 |
| 4 Bergmasseklassifiseringer for bergskjæringer | 42 |
| 4.1 Tilpasning av bergmasseklassifisering og parametere for bergskjæringer | 42 |
| 4.2 Slope Mass Rating (SMR) | 44 |
| 4.3 Q-slope | 48 |
| 5 Prosjektet Fosenvegene og oppgradering av fylkesveg 715 | 52 |
| 5.1 Regionalgeologi i Indre Fosen | 53 |
| 5.2 Geologi og bergarter | 54 |
| 5.3 Kort om de kartlagte delprosjektene | 55 |
| 5.4 Tidligere undersøkelser og rapporter | 60 |
| 6 Metode og utstyrsanvendelse | 61 |
| 6.1 Forskningsdesign | 61 |
| 6.2 Litteraturstudie | 63 |
| 6.3 Feltundersøkelser | 64 |
| 6.4 Lab-undersøkelser | 66 |
| 6.5 Bergmasseklassifisering og utregning | 67 |
| 6.6 Berginger for brukte og estimerte sikringsmengder | 71 |
| 6.7 Arbeid med statistikk og fremvisning av resultater | 71 |
| 6.8 Styrker og svakheter ved anvendt metode | 72 |
| 7 Resultater | 74 |
| 7.1 Bergmasseklassifiseringer | 74 |
| 7.2 Registrert og estimert sikring | 79 |
| 8 Diskusjon | 81 |
| 8.1 Vurdering av de benyttede bergmasseklassifiseringssystemene | 81 |
| 8.2 Sammenligning av brukte og estimerte sikringsmengder | 82 |
| 8.3 Dagens sikringspraksis, lover og regler | 83 |

| | |
|--|------------|
| 8.4 Mulighet for bruk av bergmasseklassifiseringer | 86 |
| 9 Konklusjon | 88 |
| 10 Forslag til videre arbeid for Statens vegvesen og Vegdirektoratet | 89 |
| Referanser | 90 |
| Vedlegg A Resultater fra prosjektet Skola-Olsøy | 94 |
| Vedlegg B Resultater fra prosjektet Olsøysvingene | 102 |
| Vedlegg C Resultater fra prosjektet Osavatnet-Rødsjø | 105 |
| Vedlegg D Resultater fra prosjektet Nordsetervatnet | 115 |
| Vedlegg E Resultater (input-parametere for bergmasseklassifiseringer) | 129 |
| Vedlegg F Kinematiske analyser | 135 |
| Vedlegg G Eksempelskjema for feltkartleggingen | 156 |

Liste over forkortelser

| | |
|-------------|--|
| ESR | Excavation support ratio |
| NFF | Norsk forening for fjellsprengningsteknikk |
| NGI | Norges geologiske institutt |
| NGU | Norges geologiske undersøkelse |
| NVDB | Nasjonal vegdatabank |
| NVE | Norges vassdrags- og energidirektorat |
| RMR | Rock mass rating |
| RQD | Rock quality designation |
| SMR | Slope mass rating |
| UCS | Uniaxial compressive strength |

Figurer

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Skredstatistikk for vegnettet i Norge 2000-2019 | 3 |
| 2 | Angivelse av total- og detaljstabilitet | 6 |
| 3 | Retningslinjer for empirisk vurdering av intakt bergartsstyrke | 8 |
| 4 | Felt-estimat av intakt bergartsstyrke | 11 |
| 5 | Hovedtyper utfall og utglidninger fra bergskjæringer | 15 |
| 6 | Geometriske betingelser for planutglidninger | 16 |
| 7 | Geometriske betingelser for kileutglidninger | 17 |
| 8 | Geometriske betingelser for utvelting | 18 |
| 9 | Hengende blokker | 19 |
| 10 | Eksempelutregning av RQD | 25 |
| 11 | Angivelse av antall sprekkeseett | 28 |
| 12 | Vurdering av sprekkeruhet for Q-systemet | 29 |
| 13 | Bergsikringsdiagram tilhørende Q-systemet | 35 |
| 14 | Sikringskategorier for Q-systemet | 35 |
| 15 | Dimensjonering av sikring i henhold til beskrivelser i N500, Vegtunneler | 36 |
| 16 | Sikringsanbefalinger for RMR-systemet | 40 |
| 17 | Oversikt over parametere i SMR i tilfeller med planutglidning. | 44 |
| 18 | Parametere i Slope mass rating (SMR)-systemet i tilfeller med kileutglidning | 45 |
| 19 | Q-slope stabilitetsdiagram | 51 |
| 20 | Oversiktskart over Fosenvegene | 52 |
| 21 | Oversiktskart reginoalgeolgoi i Indre Fosen | 53 |
| 22 | Oversiktskart over kartlagte delprosjekter | 55 |
| 23 | Profil høyeste bergskjæringer Skola-Olsøy | 56 |
| 24 | Profil høyeste bergskjæring Olsøysvingene | 57 |
| 25 | Profil utforming bergskjæring delprosjekt Osavatnet-Rødsjø | 58 |
| 26 | Profil utforming bergskjæring delprosjekt Nordsetervatnet | 59 |
| 27 | Resultater for Q-systemet og Q-slope i sikringsdiagram | 74 |
| 28 | Resultater for Q-systemet og Q-slope i prosjektet Skola-Olsøy | 75 |
| 29 | Resultater for Q-systemet og Q-slope i prosjekt Nordsetervatnet | 76 |
| 30 | Resultater for RMR og SMR-systemet i prosjektet Skola-Olsøy | 78 |
| 31 | Resultater for RMR og SMR-systemet i prosjektet Nordsetervatnet | 78 |
| 32 | Angiving av sikring NFF | 87 |

Tabeller

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Funksjonskrav for skråninger og bergskjæringer langs norske veger | 5 |
| 2 | Empirisk estimat for intakt bergartsyrke | 7 |
| 3 | Eksisterende systemer for klassifisering av bergmasser | 24 |
| 4 | RQD-verdier i Q-systemet | 27 |
| 5 | Parameterverdi J_n i Q-systemet | 27 |
| 6 | Sprekkeruhetstall (J_r) for Q-systemet | 30 |
| 7 | Tall for sprekketrylling for Q-systemet | 31 |
| 8 | Sprekkevannstall(J_w) for Q-systemet | 32 |
| 9 | SRF-verdier for Q-systemet | 33 |
| 10 | ESR-verdier for ulike typer undergrunnsanlegg | 34 |
| 11 | Estimering av intakt bergartsyrke for RMR-systemet | 37 |
| 12 | Parameterverdier for RQD i RMR-systemet | 37 |
| 13 | Verdisetting i forhold til sprekkavstander for RMR-systemet | 38 |
| 14 | Estimering av sprekketilstand med RMR-systemet | 38 |
| 15 | Parametersetting for sprekketilstand i RMR-systemet | 38 |
| 16 | Empirisk verdisetting av grunnvannspåvirkning i RMR-systemet | 39 |
| 17 | Empirisk verdisetting av grunnvannspåvirkning i RMR-systemet | 39 |
| 18 | Bergmassekvaliteter i henhold til RMR-systemet | 40 |
| 19 | Faktorjustering for drivemetode i SMR-systemet | 45 |
| 20 | Verdisetting parametere i SMR-systemet | 45 |
| 21 | Stabilitetsklasser for SMR | 46 |
| 22 | Stabilitetsklasser for SMR | 46 |
| 23 | Bergsikring i forhold til SMR-stabilitetsklasser | 47 |
| 24 | O-faktor for Q-slope | 48 |
| 25 | Verdier parameteren J_{wice} i Q-slope | 49 |
| 26 | Verdier for SRF_a i Q-slope | 49 |
| 27 | Verdier for SRF_b i Q-slope | 50 |
| 28 | Verdier for SRF_c i Q-slope | 50 |
| 29 | Bergarter for de ulike delprosjektene i Fosenvogene | 54 |
| 30 | Estimerte Q-verdier for prosjektet Skola-Olsøy | 60 |
| 31 | Friksjonsvinkel for ulike bergarter | 68 |
| 32 | Resultater for medianverdi og kvartilbredde for hhv. RMR, RMR mhp. sprekkorientering og SMR | 77 |
| 33 | Sammenligning av mengder sikring i forprosjekt og faktiske mengder | 79 |
| 34 | Sammenligning av registrert og estimert antall bolter | 79 |
| 35 | Sammenligning av registrert og estimert antall bolter pr. meter | 80 |
| 36 | Undersøkte rapporter for prosjekteringsmetode | 85 |

1 Introduksjon

Infrastruktur er kritisk for at et samfunn skal fungere og utvikle seg (FN-sambandet, 2020). For å ha bærekraftig utvikling i samfunnet generelt, er det en forutsetning at infrastrukturen også utvikles på en bærekraftig måte. Veg- og jernbanenettet leverer flere samfunnskritiske funksjoner, hele døgnet, året rundt. Rådgivende ingeniørers forening (RIF) har estimert at det vil koste omtrent 900 milliarder kroner å oppgradere norske kommunale veger og fylkesveger til det de betegner som "god standard, nivå 4" (Rådgivende ingeniørers forening, 2020). I Norge ser vi hvert år eksempler på uønskede hendelser der veganlegg rammes alvorlig av ras og skred (Statens vegvesen, 2020c). Små lokalsamfunn med dårlige vegforbindelser kan bli fullstendig isolerte over lengre tid, slik for eksempel tre bygder på Osterøy ble etter at et steinskred tok bort den eneste vegforbindelsen 23. juli 2020 (NRK, 2020). Det er ikke bare gamle veier som er utsatt, også nye og moderne vegstrekninger har blitt rammet av steinskred. Dette skjedde for eksempel på E18 ved Larvik i desember 2019, der et stort steinskred stengte to kjørefelt på en nylig åpnet motorveg, som en konsekvens av mangelfull prosjektering og utførelse av sikring i en bergskjæring (Nilsen *mfl.*, 2020).

Skred kan ha mange ulike former og årsaker, men forekomst og konsekvens kan reduseres gjennom systematisk sikringsarbeid (Statens vegvesen, 2020b). Det kan argumenteres for at dagens metoder i stor grad består av empiriske vurderinger uten et gitt system, påvirket av geologers subjektive mening. Dagens gjeldende vegnormal N200 *Vegbygging* og veileder V225 *Bergskjæringer* henviser til vegnormal N500 *Vegtunneler*. Granskingsrapporten etter E18-skredet viser at bergskjæringer ble lite omtalt i rapporter, og "overskygget" av tunnelplanlegging i vurderinger tilknyttet dette vegprosjektet (Nilsen *mfl.*, 2020). Det kan også argumenteres for at bergsikring i dagen og bergsikring i grunnen krever ulike tilnærminger, men likevel ser det ut til at tunnelsikring har høyere status og derfor får adskillig mer oppmerksomhet fra offentlige etater (Craetsens, 2021). Nilsen *mfl.* (2020) konkluderer med at bergskjæringer bør få en tydeligere "status" i planlegging og beskrivelser av vegprosjekter.

Denne oppgaven tar for seg bruken av bergmasseklassifiseringssystemer, for å undersøke om disse kan sette empirien i system og minske subjektivitet og påvirkningen av ulike praksis mellom ulike geologer og ulike firma som utformer sikringen. Ved å bruke bergmasseklassifiseringssystemene Q-systemet, RMR, Q-slope og SMR i et case-studie av utvalgte bergskjæringer i vegprosjektet "Fosenvegene", har forholdet mellom estimerte sikringmengder og brukte sikringmengder blitt studert. To av systemene er opprinnelig ment for tunnel og to er ment for skjæringer i dagen. I tillegg ble det for to prosjekter sammenlignet avvik mellom brukte mengder sikring og estimerte mengder i konkurransegrunnlag.

1.1 Formål, metode og forskningsspørsmål

Hovedformålet med oppgaven var å ta for seg hvordan bergmasseklassifiseringer kan benyttes i prosjektering av bergskjæringer, samt undersøke hvor nøyaktige disse er sammenlignet med dagens praksis. Metoden for denne oppgaven var å benytte bergmasseklassifiseringssystemer i et case-studie for å undersøke deres egnethet for bergskjæringer. Dette er forskningsspørsmålene:

1. Hvordan kan bergmasseklassifiseringssystemer brukes og tilpasses for bergskjæringer?
2. Hvor forskjellig er sikringsmengder estimert med bergmasseklassifisering, sammenlignet med tradisjonelt estimerte sikringsmengder for Fosenvegene?
3. Hvordan kan bergmasseklassifiseringer implementeres i Statens vegvesen, og hvordan vil dette være i forhold til dagens praksis?

1.2 Oppgavens oppbygning

Denne oppgaven starter med en innføring i den teoretiske basisen som trengs for å diskutere stabilitet i bergskjæringer, gjeldende lovverk og standarder i Norge, samt aktuelle sikringstiltak som benyttes for bergskjæringer. Deretter presenteres bergmasseklassifisering og anvendelse av to av de fire brukte systemene i case-studien. Teoridelen avsluttes med litteratur om bruk av bergmasseklassifisering i bergskjæringer og de to siste systemene brukt i case-studien. Etter dette blir oppgavens case-studie lagt frem, etterfulgt av de benyttede metodene. Tilslutt blir resultater presentert og diskutert, før oppgaven avrundes med en konklusjon.

1.3 Oppgavens begrensninger

Hovedfokuset for oppgaven er bergskjæringer som prosjekteres i nærhet til vegnettet, hvor ingeniørgeologiske vurderinger er nødvendige. Følgelig er det i denne oppgaven ikke lagt vekt på hvordan klassifiseringssystemene fungerer for løsmasseskrånninger og skråningsstabilitet, eller geoteknisk innvirkning.

Bergskjæringskartleggingen i masteroppgaven er spesiell, da den er utført på bergskjæringer som allerede er ferdig bygget. Dataene tilgjengelig for studenten og oppgaven, er derfor ikke helt tilsvarende typisk informasjon og data tilgjengelig for prosjektering av bergskjæringer. En viktig begrensning for denne oppgaven er at case-studien kun omfatter prosjekter innenfor ett geografisk område, og ett overordnet større prosjekt. I tillegg kan bruken av sikringshyller i prosjektet ha påvirket det endelige sikringsomfanget. For å kunne ta bergmasseklassifiseringer i bruk må det gjøres flere slike studier for å kunne sammenligne forskjeller.

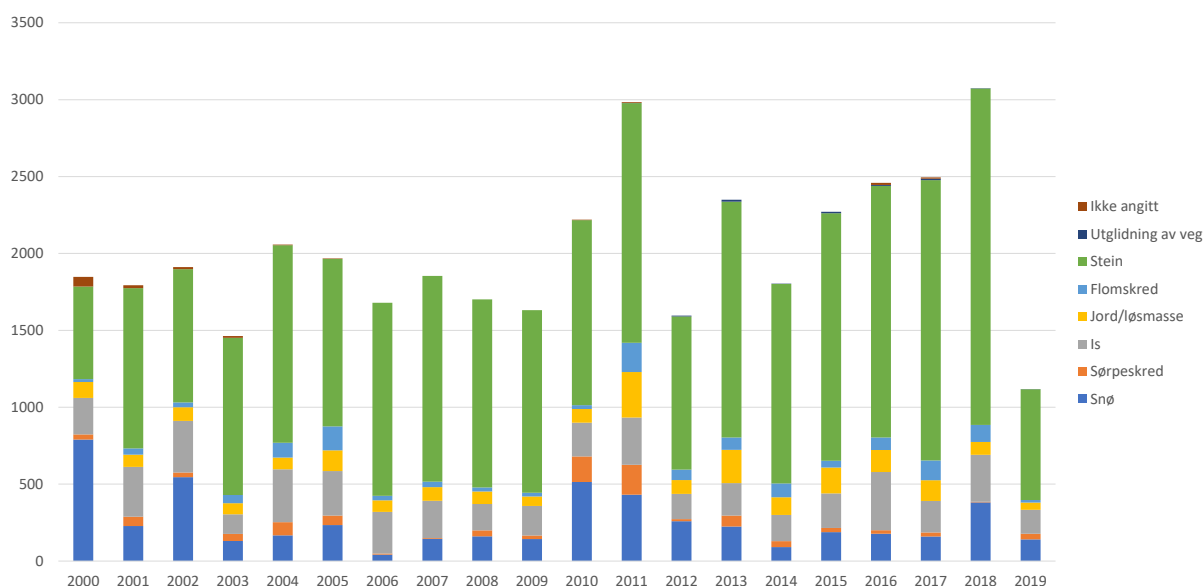
Et tydelig budskap fra Hoek (2006) er at bergmasseklassifiseringer må brukes med forsiktighet utenfor sin tiltenkte bruk. Dette er en av hovedbegrensningene med denne oppgaven. For å gjøre en tilpasning og sammenligning av bergmasseklassifiseringer for bergskjæringer, må en benytte enkelte av systemene utenfor sin tiltenkte bruk, for å utfordre systemet og for utvikling innen fagområdet.

2 Introduksjon til bergskjæringer, stabilitetsvurderinger og sikring for norske forhold

Nedfall av stein og skred deles ofte inn i betegnelsene steinsprang, steinskred og berg/fjellskred avhengig av volumet av nedfallsmassene eller volumet av potensielle nedfallsmasser (Vegdirektoratet, 2011b). Steinsprang er regnet som nedfall av masser med volum inntil 100 m^3 . Steinskred beskriver bevegelse av volumer mellom 100 og $10\,000 \text{ m}^3$, mens bergskred eller fjellskred har volumer $>10\,000 \text{ m}^3$ (Norges geologiske institutt (NGI), 2014; Vegdirektoratet, 2011b).

På det norske vegnettet blir det årlig registrert mer enn 1000 flom- og skredhendelser (Statens vegvesen, 2020c). I rapporter fra Nasjonal vegdatabank (NVDB) er nedfallshendelser i forbindelse med steinsprang og steinskred statistisk dominerende, og har vært dominerende for nedfallsstatistikken helt siden rapporteringen startet (Vegdirektoratet, 2011a).

Statistikken i Figur 1 viser registrerte nedfallshendelser som de siste 10 årene har truffet vegnettet i Norge. 45% av rapporterte hendelser skyldes nedfall fra bergskjæringer (Statens vegvesen, 2020c). Størsteparten av nedfallene var steinsprang, med volum mindre enn 1 m^3 . Bare 5% av totale rapporterte hendelser kan karakteriseres som steinskred (Statens vegvesen, 2020c). Videre i masteroppgaven brukes derfor uttrykkene utfall eller utglidning i stedet for skred, da hovedfokuset er steinsprang og utfall av enkeltblokker fra bergskjæringer langs norske veger, samt hvordan slike hendelser kan unngås.



Figur 1: Skredstatistikk for vegnettet i Norge 2000-2019 (Statens vegvesen, 2020c)

2.1 Statens vegvesens visjon og krav

Oppgavearbeidet er en mulighetsstudie for bruk av bergmasseklassifiseringer for bergskjæringer. Følgelig har det vært viktig å studere de overordnede lovverk og krav for å gjøre en vurdering av hvorvidt bergmasseklassifiseringer kan brukes og implementeres ut fra dagens lovverk. Dette underkapittelet tar derfor for seg funksjons- og sikkerhetskrav for bergskjæringer i lys av dagens lovverk.

2.1.1 Lover og regelverk

All planlegging av veg skal foregå i tråd med den overordnede vegloven. Vegdirektoratet angir føringer (vegnormaler) for anlegg av offentlig veg, slik at vegloven blir overholdt (Samferdselsdepartementet, 2020). Vegnormaler er en samlebetegnelse for normaler i Statens vegvesens håndbokserie som inneholder krav til vegbygging, vegutforming, tunneler, bruer og ferjekaier, rekkverk og trafiksikkerhetsutstyr (Statens vegvesen, 2020d). Normalene for vegbygging danner grunnlaget for alle som planlegger, dimensjonerer og bygger veg (Statens vegvesen, 2018).

I tillegg til vegnormalene er det publisert utfyllende håndbøker for veiledninger og retningslinjer underlagt vegnormalene (Statens vegvesen, 2020d).

Videre krever vegloven at all planlegging av riksveg, fylkesveg og kommunal veg skal skje etter reglene om planlegging i plan- og bygningsloven (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2020; Samferdselsdepartementet, 2020).

Håndbok N200 (Statens vegvesen, 2018) er den grunnleggende tekniske standarden for vegbygging i Norge. Normalens krav og anbefalinger bygger i stor grad på erfaring, samt helhetlige vurderinger av de totale kostnadene for samfunnet, trafiksikkerhet, helse og arbeidsmiljø, ytre miljø, klimapåvirkning, jordvern, trafikkberedskap og fremkommelighet (Statens vegvesen, 2018).

Håndbok N200 angir at prosjektering av bergskjæringer dermed må følge krav etter:

- Vegloven
- Plan- og bygningsloven, TEK 17
- Eurokode 0, NS-EN 1990 "Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner"
- Eurokode 7, NS-EN 1997-1 "Geoteknisk prosjektering del 1"
- Eurokode 7, NS-EN 1997-2 "Geoteknisk prosjektering del 2"

2.1.2 Funksjons- og sikkerhetskrav til bergskjæringer

Håndbok N200 krever at utvidelser av eksisterende veger og bergskjæringer skal prosjekteres som nye. Innsats i plan- og byggefasen skal gjenspeile og tilpasses prosjekters geotekniske kategori, i henhold til Eurokode 7 (Statens vegvesen, 2018). Håndbok N200 gir beskrivelser og krav til forundersøkelser og geologisk dokumentasjon i de ulike byggefasene, samt hvert plannivå for byggeprosjekter. For krav til ingeniørgeologisk kartlegging viser håndbok N200 til håndbok R211, *Feltundersøkelser* (Statens vegvesen, 2018).

Under etablering av bergskjæringer skal berget fortløpende kartlegges og stabilitetsforholdene skal vurderes slik at driftmetoder, helningsvinkel, metode og omfang av permanent sikring vil kunne bestemmes og utføres på forsvarlig vis (Statens vegvesen, 2018). Bergskjæringers helning og utforming skal tilpasses geologiske-, grunnvanns- og landskapsforhold. Valg av sikringsmetoder skal vurderes basert på risiko, skredfare, behov for vedlikehold og økonomi (Statens vegvesen, 2018). Definerte funksjonskrav satt for berg og skrån timer er gitt i Tabell 1.

Tabell 1: Funksjonskrav for skråninger og bergskjæringer gitt i håndbok N200 i henhold til Vegloven (Statens vegvesen, 2018)

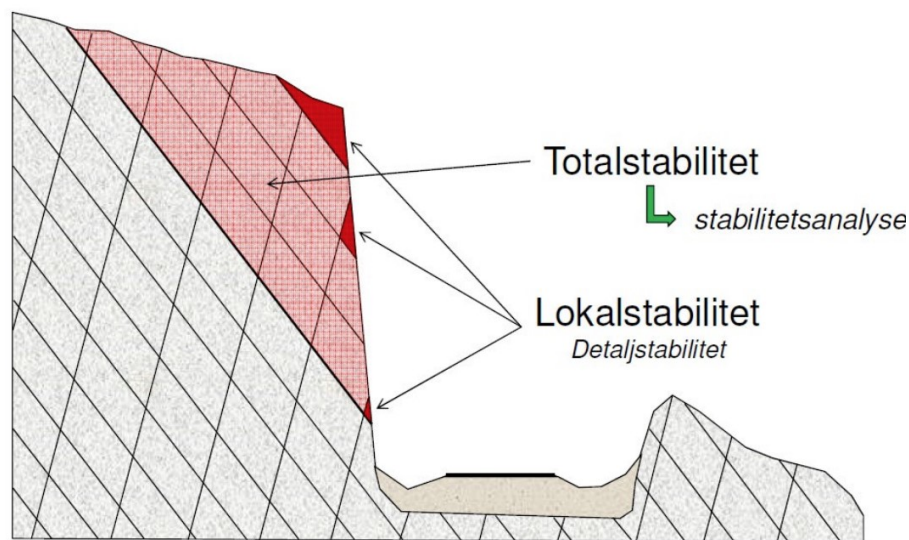
| Krav til | Krav |
|--|--|
| Stabilitet, sikkerhet mot utfall og skred | Bergskjæringer skal etableres slik at det ikke er fare for nedfall av stein og is på veg. Bergskjæringer bør etableres slik at man unngår rensk og annen sikring de første 20 årene. Det samme gjelder rensk og sikring av løsmasse på skjæringstopp. |
| Sikkerhetsnivå Skjæringstopp/ skråning | Inngjerding bør vurderes for å hindre fall av dyr eller mennesker fra skjærings- eller skråningstopp. |
| Trafikksikkerhetsnivå/ Grunnlag for prosjektering | Sikkerhetsnivået i skråninger/skjæringer bør være likt for hele vegstrekningen som bygges ut. |

2.2 Stabilitet i bergskjæringer

Ustabiliteter og steinsprangfare i bergskjæringer er en funksjon av bergarters iboende egenskaper, tilstand og hvordan de påvirkes av ytre triggende faktorer (Hoek, 2006). Følgelig er det en lang liste med faktorer som kan påvirke stabiliteten til en bergskjæring. Noen av de viktigste er (Whyllie og Mah, 2004):

- Bergart og bergartens materialtekniske egenskaper
- Bergmassens oppsprekking
- Tilstedeværelsen av svakhetssoner og forkastninger
- Vannforhold og klimatiske forhold
- Bergspenninger og spenningsforhold i bergskjæringen
- Bergskjæringens geometri og utforming
- Utførelsen av sprengning og boring, samt sprengningsrystelser
- Ytre triggende faktorer

For bergskjæringer skilles det ofte mellom totalstabilitet og detaljstabilitet (Nilsen *mfl.*, 2011). Med totalstabilitet menes helhetlig stabilitet med hensyn til hele bergskjæringen. Detaljstabiliteten defineres som lokal stabilitet av et mindre element, hvor eventuell deformasjon, brudd eller forskyvning ikke påvirker totalstabiliteten for hele bergskjæringen (Nilsen *mfl.*, 2011), se Figur 2. Eksempelvis kan detaljstabilitet omhandle en blokk eller en bergshylle i bergskjæringen (Nilsen *mfl.*, 2011). For å kunne utføre analyser for bergskjæringsstabilitet og utføre bergmasseklassifiseringer, er det viktig å ha god kjennskap til hvordan de ulike faktorene påvirker både total- og detaljstabilitet i bergskjæringer. Følgelig er det videre i dette underkapittelet gitt en kort gjennomgang av de ulike faktorene og deres påvirkning.



Figur 2: Angivelse av betydningen av total- og detaljstabilitet i bergskjæringer. Hentet fra Statens Vegvesen (2020a)

2.2.1 Bergarter og bergartsstyrke

Bergmasser har iboende egenskaper som påvirker sannsynligheten for ustabiliteter (NGI, 2014). Både bergartens materialtekniske- og sprekkeegenskaper er påvirket av bergartenes opprinnelse og strukturgeologiske historie (NGI, 2014). Det omliggende geologiske landskapet er ofte en god indikasjon på bergartsstyrken, hvilke materialtekniske egenskaper bergarten har, samt hvordan den er oppsprukket. Derfor er det viktig å forstå det geologiske landskapet for å kunne forutse og vurdere skredproblematikk (NGI, 2014).

Bergartsstyrken er avhenging av porøsitet, mineralsammensetning, mineralorientering, foliasjon, skifrihet, samt bergartens forvitningsgrad og evne til å motstå forvitring. Harde bergarter vil motstå forvitring, mens svake bergarter vil erodere og forvitres bort (NGI, 2014). Bergartsstyrken gir også indikasjon på hvordan bergarter knuses langs diskontinuitetsplan. Svake bergarter vil lettere knuses til finkonet materiale, som kan påvirke stabiliteten ved å redusere skjærmotstanden langs sprekke- og sleppeplan (NGI, 2014).

Intakt bergartsstyrke kan brukes til å anslå skjærstyrken langs irregulære diskontinuitetsplan, og er ofte brukt i stabilitetsberegninger (Whyllie og Mah, 2004). Intakt bergartsstyrke kan estimeres ved hjelp av enaksial trykkfasthets-test (UCS), bruk av Schmidts hammer i felt, eller empiriske vurderinger basert på erfaring (Singh og Goel, 2011).

Fordi borekjerne ikke alltid er tilgjengelig for prosjekter, og det ikke alltid er muligheter for å gjøre målinger i felt, eller medbringe prøver til lab, er det i senere tid gjort flere forsøk på å empirisk estimere enaksial trykkfasthet (Aladeje, 2020). Målinger av enaksial trykkfasthet er i tillegg tidkrevende og kostbart, og dermed ofte ikke prioritert i små til mellomstore prosjekter eller tidlig prosjektfase (Aladeje, 2020).

Aladeje (2020) og Thomas (2014) har gjort undersøkelser for empirisk verdsetting av intakt bergartsstyrke og UCS. Begge konkluderer med at bruk av slike vurderinger er nyttige hvor testing av bergprøver ikke er tilgjengelig, men at de må benyttes med forsiktighet da det som oftest er avvik mellom målt og estimert UCS. Thomas (2014) beskriver at når empiriske vurderinger som angitt i Tabell 2, brukes i lag med retningslinjer vist i Figur 3, oppnås de mest nøyaktige resultatene.

Tabell 2: Metode for å empirisk estimere intakt bergartsstyrke i felt (ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1978)(oversatt)

| Bergartsbeskrivelse | Intervall C_o (MPa) | Felt estimat med Lommekniv | Felt estimat med Geologisk hammer |
|---------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Ekstremt sterk | 250 | ingen innriss | bare hjørner bryter |
| Veldig sterk | 100-250 | ingen innriss | flere slag før brudd |
| Sterk | 100-250 | ingen innriss | mange slag før brudd |
| Middels sterk | 25-50 | ingen innriss | et bestemt slag før brudd |
| Svak | 5-25 | vanskelig å risse | prøven brytes i mindre biter |
| Veldig svak | 1-5 | lett å risse | smuldrer |

| Index Tests | Procedure |
|---|---|
| Thumbnail Scratch | Using moderate pressure attempt to scratch side of core – record as Easy – a deep indentation Difficult – surface damage only Fail – no mark made on core |
| Crumble | Using a hand size specimen attempt to crush the core in one hand – record as: Easy: specimen breaks into small chips Difficult: requires two hands Fail: Cannot be broken by hand |
| Penknife Peel | Using a penknife with a hardened blade attempt to peel off a corner of the core at its end – record as: Pass: a deep incision made Fail: cannot be cut or core chips break off |
| Penknife Scratch | Using the hardened point of a penknife blade cut into the sides of the core – record as: Easy: a deep (1mm) incision is made usually with little rock dust and ridging either side of the cut Mod: a shallow but sharp-sided incision usually with rock dust Hard: only just scratches surface creating lots of rock dust |
| Point of Geological Pick (approx. 5mm diameter point) | Holding a specimen in one hand let the point of a geological pick fall freely onto the flat edge of the specimen from a height of approximately 100mm (4 inches) record from five repeat tests: record approximate average diameter of indentation: 5 mm full diameter indentation usually 2-3mm deep and with ridges at rim of indentation 2 mm shallow half-diameter indentation, may be associated with surface cracking of specimen 1 mm well defined indentation 0.5 mm surface damage in a small point, no indentation may be evident 0 mm no effect |
| Hammer Blow | Holding a specimen, whose length is equal to the core diameter, in one hand strike across a diameter of the core aiming for a solid section of core, i.e. away from core ends. Hardest hit should not sting the hand. Record number of blows to crack the sample across the diameter |

Figur 3: Retningslinjer til bruk av felt-indekstest for å estimere intakt bergartsstyrke (Miller *mfl.*, 1986; Thomas, 2014)

2.2.2 Bergmassens oppsprekking

Ved feltkartlegging er det avgjørende å kunne vurdere sprekker og sprekkeegenskaper for å gjøre stabilitetsvurderinger (Whyllie og Mah, 2004). Hvorvidt stabiliteten i bergskjæring er påvirket av bergartens oppsprekking er avhengig av følgende faktorer (Whyllie og Mah, 2004):

- Antall sprekkesett
- Sprekkeorientering
- Sprekkeavstand
- Sprekkenes utholdenhet og kontinuitet
- Sprekkeplansruhet
- Sprekkeåpning
- Sprekkefylling
- Vann langs sprekkeplan

Blokker dannes av ulike sprekkesett med ulike orienteringer. Sprekkeavstander vil derfor gi en antydning til bergmassens kvalitet, samt uttrykke tettheten til mulige bruddflater (Whyllie og Mah, 2004). I harde bergarter er det sprekkenes orientering i forhold til bergskjæringen som avgjør om det er muligheter for steinsprang og utfall fra bergskjæringen (NGI, 2014). Sprekkenes utholdenhet vil avgrense blokkstørrelser og lengder på eventuelle glideplan. Dersom de geometriske romlige betingelsene for utfall og steinsprang er på plass (introdusert i Avsnitt 2.4), er det skjærstyrken langs sprekkeplan som bestemmer stabiliteten til hver enkelt blokk i bergskjæringen (NGI, 2014).

En bergskjæring som består av en massiv hard bergart, uten sprekker, vil kunne stå nærmest vertikalt over lang tid, uten at steinsprang blir utløst. Dersom bergskjæringen er gjennomslått med sprekker, er det stor sannsynlighet for at steinsprang og utglidninger kan forekomme, så lenge de romlige betingelsene for utfall er på plass (NGI, 2014).

Bergarten i bergskjæringen vil ha innvirkning på hvordan bergmassen sprekker opp. Intrusive bergarter vil danne kubiske blokker, mens ekstrusive bergarter vil være oppsprukket med flere sprekkesett. Sedimentære bergarter vil ha oppsprekking langs lagdelingen og foliasjon. I metamorfe bergarter er det dannelseshistorien som avgjør hvordan oppsprekking opptrer (NGI, 2014).

2.2.3 Svakhetssoner og forkastninger

Stabilitet er avhengig av friksjonsforhold mellom sprekker. Sprekkeruhet og sprekkefylling vil ha stor innvirkning på mulige skjærbevegelser og friksjonsforhold langs glideplan. Ruhet gir et mål på mengden stabiliserende ujevnheter på sprekkeoverflater. Ru sprekker vil være mere stabile og ha større friksjon enn sprekkeplan med få ujevnheter (Whyllie og Mah, 2004). Ved forkastninger er disse ruhetene ofte glattet ut og fremtrer som glideplan med mindre friksjon. I tillegg vil svake bergarter knuses langs sprekkeflatene og danne sprekkefyll som kan redusere friksjon (NGI, 2014).

Det er registrert tilfeller hvor sprekkeplan heller nære 80° , uten at blokker har glidd ut fra bergskjæringen (NGI, 2014). I disse tilfeller er det en meget stor ruhet eller fortanning som hindrer blokker fra å gli. Noen steder finnes også bruer (intakt bergmasse) som forhindrer utglidninger (NGI, 2014). Generelt vil ras og utglidninger finne sted når skjærspenningen langs sprekkeplanet overskrider skjærfastheten. Svakhetssoner med ugunstig orientering vil kunne opptre som utglidningsplan (Whyllie og Mah, 2004).

2.2.4 Vann og klimatiske forhold

Vannproblematikk er en vanlig årsak til utløsninger av blokker og steinsprang fra bergskjæringer (NGI, 2014). Vanntrykk på sprekkflater kan direkte utløse steinsprang, eller gjøre større partier i bergskjæringer ustabile.

Poretrykket i porøse og svake bergarter øker ved tilførsel av vann, og kan medføre at tidligere stabil bergmasse blir ustabil (NGI, 2014). Permeabiliteten i norske bergarter er som regel lav, dermed er det den sekundære permeabiliteten som er avgjørende for hvor mye vann som finnes i bergmassen og eventuelt fører til stabilitetsutfordringer (Nilsen, 2016). Sekundærpermeabilitet er avhengig av bergmassens oppsprekking, samt hvor åpne sprekke er (Nilsen, 2016). Årsaker til økt vanttillførsel er videre diskutert i Avsnitt 2.2.8.

Noen destabiliserende effekter som følge av tilstedeværelse av vann i bergskjæringer (NGI, 2014; Whyllie og Mah, 2004):

- Økt forvitring kan redusere bergartsstyrken og styrken til uregelmessigheter på sprekkoverflater ved å redusere skjærfastheten
- Vanntrykk i tensjonssprekker vil redusere normal- og skjærspenningen til sprekkplan og øke drivende krefter
- Vann kan erodere selve bergmassen eller sprekkplan. Erosjon i forvitrede bergarter kan føre til utgravninger av bergskjæringer og lokale ustabile partier i bergmassen. I tillegg kan overflatevann erodere og vaske ut sprekkfyll, som reduserer skjærfasthet og løsner blokker
- Bløting av sprekkfyll vil minske friksjonen mot sprekkplan og øke de drivende krefter
- Tilførsel av vann kan føre til svelling i enkelte typer sprekke materiale og danne svelletrykk som virker destabiliserende
- Når vann i sprekker fryser vil vannet føre til volumutvidelse, som kan forårsake frostspreng. Frossent vann kan også blokkere drenering i bergmassen og resultere i vanttillførsel

2.2.5 Bergspenninger

Bergspenninger, eller bergtrykk, er de spenninger som finnes i bergmassen. Størrelsen og retningen på spenninger vil ha betydning for ingeniørgeologiske utfordringer med skråningsstabilitet. Både store og små spenninger kan gi stabilitetsproblemer, i form av brudd eller manglende innspenning av blokker (Nilsen, 2016).

Topografi har innvirkning på hvordan spenninger fordeler seg i grunnen. Spenningsstørrelse og retning vil ha størst påvirkning på stabilitet i høye bergskjæringer, eller fjord- og dalsider (Nilsen, 2016). Utglidninger av bergskjæringer kan forekomme dersom spenningskonsentrasjonen etter sprengning overskrider bergartsstyrken. Spenningskonsentrasjoner er størst i skjæringsfoten, og denne er derfor spesielt utsatt for skjærbrudd og bergslag (Nilsen, 2016).

2.2.6 Bergskjæringers geometri og utforming

Vanligvis vil bergskjærings plassering være bestemt ut fra vegens geometri, og det er lite en kan endre ved lokale bergmasse- og sprekkeegenskaper. Derfor vil utformingen av bergskjærings geometri ha stor betydning for stabilitet (Statens vegvesen, 2019). Oftest er det snakk om å minske bergskjæringshøyden (avlaste skjæringsen) eller fallvinkelen for bergskjæringsen (Statens Vegvesen, 2020a).

For enhver bergmasse finnes en kritisk helningsvinkel som vil føre til utglidning eller utvelting fra bergskjæringer (NGI, 2014). Dersom helningsvinkelen for bergskjæringsen er mindre enn kritisk helningsvinkel, vil det være mindre sannsynlig at bergsprang og skred forekommer (NGI, 2014). Kritisk helningsvinkel varierer betydelig mellom ulike bergarter og deres tilhørende sprekkeegenskaper (NGI, 2014). Enkelte bergskjæringer med moderate helninger kan oppleve stadige steinsprang, mens noen bergskjæringer med brattere helning kan være stabile over lang tid, avhengig av kritisk helning i de ulike tilfellene (NGI, 2014). Følgelig har utformingen av helningen til bergskjæringsen mye å si for stabilitet.

2.2.7 Boring og sprengning

Nøyaktig boring er viktig for å få en jevn og fin kontur for bergskjæringsen. Unøyaktig boring og uforsiktig ladning kan resultere i bakbrytning og dannelser av overheng, som medfører økt behov for sikringsomfang (Norsk forening for fjellsprengningsteknikk, 2020).

Sprengning fører til vibrasjoner, som kan virke destabiliserende for bergmassen. Vibrasjoner medfører sekundær oppsprekking og riss i bergmassen og eksisterende diskontinuiteter, som kan føre til avvik mellom planlagt og utsprengt bergskjæringsgeometri (Whyllie og Mah, 2004). Utførelse av sprengning har dermed innvirkning på stabilitet og sikringsomfanget for bergskjæringer. Bruk av forsiktig sprengning og reduserte ladinger, i konturhull og nest ytterste rad, kan redusere bolteomfanget (Norsk forening for fjellsprengningsteknikk, 2020). Statens Vegvesen (2020a) anbefaler bruk av skånsomme driftsmetoder som pre-splitt, slettsprengning, og sømboring for å få slette bergskjæringsflater og oppnå bedre stabilitet, samt redusert sikringsomfang og fremtidig vedlikehold. Figur 4 demonstrerer hvor viktig utførelse av sprengning er for sikringsomfang.



Figur 4: Nøyaktig utført sprengning kontra uforsiktig sprengning (Hoek, 2006)

2.2.8 Ytre triggende faktorer

Stabilitetsproblemer og utfall fra bergskjæring skjer som regel grunnet en initiert hendelse som fører til endring i krefter som påvirker bergmassen (Hoek, 2006). Faktorer som kan påvirke stabilitet, er diskutert i de tidligere delkapitlene. Eksempelvis vil endring av vannmengder og spenninger kunne føre til ustabiliteter. Ytre faktorer og hendelser som kan trigge endringer av spenninger og vannforhold kan eksempelvis være (Whyllie og Mah, 2004; NGI, 2014):

- Økt nedbør
- Snøsmelting
- Temperatur (svingninger rundt frysepunktet fører til fryse- og tinesyklus som kan jekke ut blokker og løst berg)
- Rotsprengning fra trær (røtter skyver ut blokker og løst berg)
- Jordskjelv (rystelser som fører til utfall)
- Menneskelig aktivitet og inngrep i terreng

Vann som triggende faktor

Stabilitetspåvirkningen for vann er gitt i Avsnitt 2.2.4. Som regel er de nevnte effektene en følge av endring av vannmengde, forårsaket av (NGI, 2014):

- Store nedbørmengder over kort tid
- Økt vannmengde ved rask snøsmelting på grunn av mildvær, kombinert med nedbør og teleløsning
- Svingninger i temperatur, som forårsaker tining og frysing

Frostsprenging skjer ved at vann fryser i sprekker nærme overflaten. Ved gjentatt tining og frysing kan blokker og bergmasser bli forskjøvet, slik at de kommer i en ustabil posisjon (NGI, 2014). Frysing kan også tette utløpet for drenering av sprekker slik at vanntrykket øker. Fryse- og tinesykluser er en viktig årsak til at steinsprang forekommer. Historikk viser at størstedelen av steinsprang forekommer på høsten og våren, når temperaturen svinger rundt frysepunktet, eller ved ekstra mye nedbør (NGI, 2014).

Rotsprengning

Kapillærkrefter i røtter kan føre stor en sprengkraft, som kan utvide sprekker, forskyve blokker og hele blokkpartier (NGI, 2014). Rotsprengning er en vanlig årsak til steinsprang, og forekommer ofte som en problematikk i vekstsesongen mai-juni når røtter utvider seg mest (NGI, 2014).

Kjemisk forvitring foregår som en langsom prosess, både på overflaten av bergskjæringen, men også i sprekker og svakhetssoner. Forvitring skjer også ved omvandling av kjemisk ustabile mineraler langs sprekkeplan (NGI, 2014). Noen steder er det gjennom lang tid forvitret langs svakhetssoner til store dyp. Forviting kan føre til at opprinnelig harde bergarter blir til leire. For eksempel kan det harde mineralet feltspatt bli omdannet til kaolinit (NGI, 2014).

Jordskjelv

I Norge er jordskjelv svake og sjeldne, og Vegdirektoratet (2011b) angir at jordskjelv i liten grad vil være årsak til steinsprang og steinskred. Likevel kan ikke jordskjelv utelukkes som faktor. Statens Vegvesen (2020a) skriver at regelverket for beregninger av seismisk aktivitet ikke er konsekvent, og henviser til Eurokode 8 (NS-EN 1998 *Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning*).

2.3 Stabilitetsanalyser, feltundersøkelser og krav til disse

Stabilitetsanalyser er basert på utførte undersøkelser av de ovenfornevnte faktorer, og anvendes for å kunne utforme og gjøre vurderinger av bergskjæringers utforming, samt tilhørende sikringstiltak. Det finnes flere måter å gjøre stabilitetsanalyser for bergskjæring på (Nilsen, 2016; Nilsen *mfl.*, 2011):

- Analytisk modell: Matematiske beregninger, f.eks. likevektsberegning og partialfaktormetoden
- Numeriske analyser: Simulering av bergmekaniske problemstillinger
- Empirisk modell: For eksempel bergmasseklassifiseringer

I denne oppgaven er hovedfokuset empiriske stabilitetsvurderinger og det blir ikke gjort en videre utgreiing for de andre metodene.

VD rapport nr. 32 *Sikring av veger mot steinskred*, gir en veiledning for hvordan man bør gå fram for å gjøre forarbeid og feltarbeid, samt utførelse av stabilitetsanalyser. Føringer i rapporten er ikke et overordnet krav, men en anbefaling om hvordan man bør gå fram for sikring av veger mot skred (Vegdirektoratet, 2011b). VD-rapporten anbefaler skredfarevurdering og utredning av sikring på følgende måte:

1. Innhenting av eksisterende informasjon, studier av topografiske og geologiske kart (flyfoto, skredkart ol.)
2. Befaring: Registreringer bør være:
 - Retning på selve bergskjæringen
 - Bergart
 - Eventuelle svakhetssoner og forkastninger
 - Vanntilgang og dreneringsforhold
 - Antall sprekkesett
 - Overheng, spesielt etter utfall

For hvert sprekkesett bør følgende registreres:

- Sprekkeorientering
- Midlere sprekkeavstand
- Midlere blokkvolum
- Sprekkeutholdenhet
- Sprekkeruhet
- Forvitningsgrad
- Sprekkefylling
- Kritisk helningsvinkel for ugunstige sprekkesett

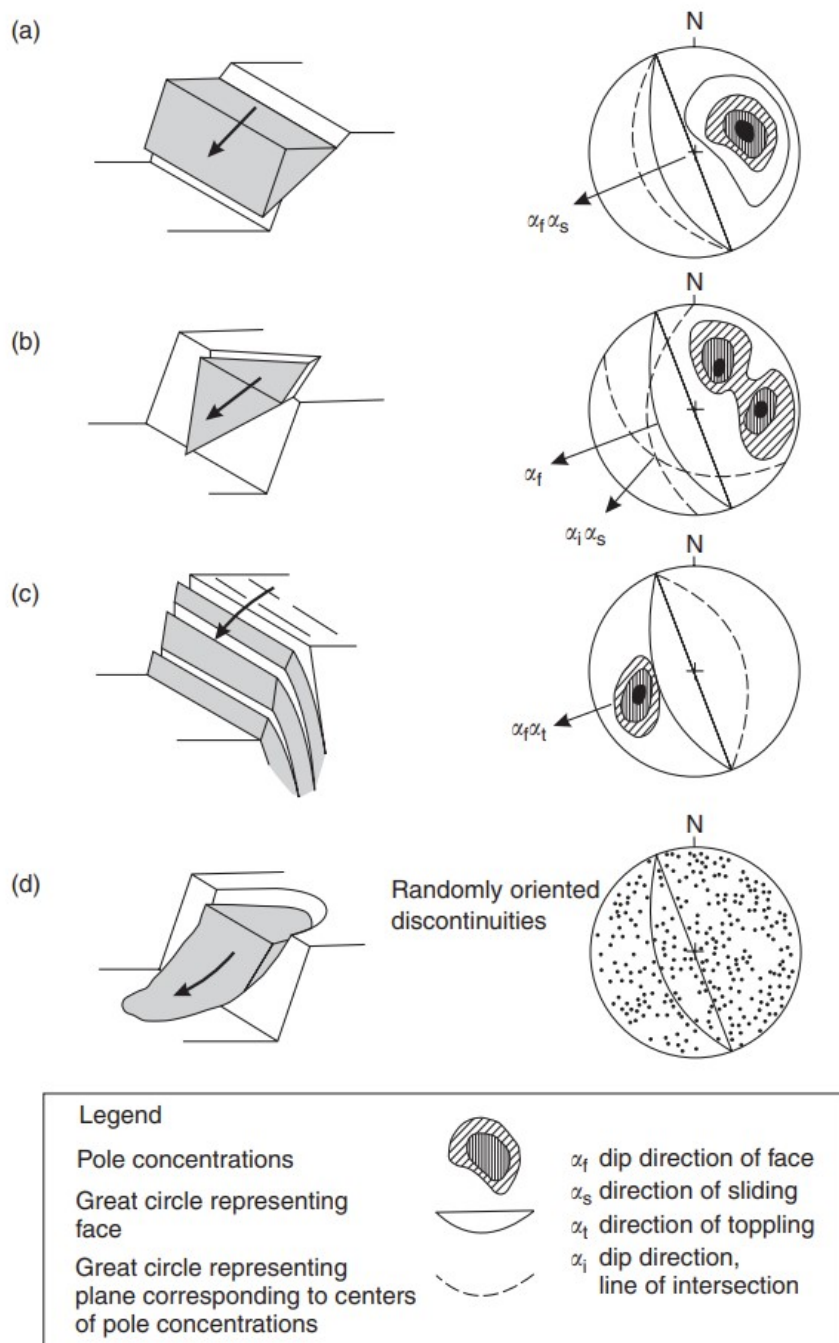
3. Definere potensielt stabilitetsproblem: Vurdere problematikk over kort eller lang tidsperiode, samt om det er detaljstabilitet eller totalstabilitet som er problemet
4. Parameterbestemmelse
5. Stabilitetsanalyse
6. Utforming av sikringstiltak

2.4 Ulike typer bruddmekanismer for utrasning og stabilitetsberegning av bergskjæringer

I hovedsak er det orienteringen til sprekker, slepper og svakhetssoner som avgjør hvilken bruddflate en utrasning fra en bergskjæring vil få (Nilsen, 2016). Ut fra mengder og masser involvert, samt bevegelsesmønster, deles utrasninger fra bergskjæringer inn i fem hovedgrupper (Nilsen, 2016; NGI, 2014):

- Planutglidning: Gliding av en blokk langs en sprekkeflate, Figur 5 (a)
- Kileutglidning: Utglidning av en bergkile langs et eller to sprekkesett, Figur 5 (b)
- Utvelting: Utvelting som følge av tilnærmet vertikale sprekker, Figur 5 (c)
- Utfall av hengende blokk uten fot, Figur 9
- Utrasning langs krumme flater: Glidning langs flere sprekkeflater eller krumme flater i sterkt oppsprukket eller svak bergart, Figur 5 (d)

Ved hjelp av kinematiske analyser og stereografisk projeksjon, kan potensialet for planutglidninger, utvelting og kileutglidning vurderes. Stereografisk projeksjon er en analysemetode der tredimensjonale data for sprekkesett- og bergskjæringsorienteringer, presenteres todimensjonalt. Ved hjelp av kinematiske analyser kan det også vurderes hvilken retning utvelting vil ha fra bergskjæringen (Whyllie og Mah, 2004). Til høyre i Figur 5 vises eksempler på kinematiske analyser utført ved hjelp av polplott for sprekkemålinger i tilfellene planutglidning, kileutglidning, utvelting og utrasning langs krumme flater. Figur 5 angir også bevegelsesretningen til de ulike utfall og utglidninger basert på analysen.

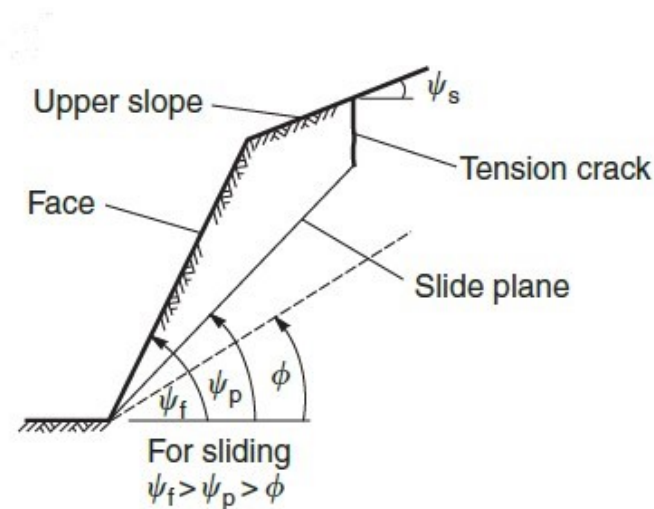


Figur 5: Oversikt over hovedtypene utfall og utglidninger fra bergskjæringer, og strukturgeologiske forhold som fører til utfall. Figurene er vist med polplott og kinematisk analyse for bruddmekanismen. (a) Planutglidning; (b) Kileutglidning ved sammenfellingen av to sprekkeplan; (c) Utvelting; (d) Sirkulært brudd (Whyllie og Mah, 2004)

2.4.1 Planutglidning

Planutglidninger forekommer når utrasing skjer langs et svakhetsplan, eller en bruddflate sammensatt av flere parallelle svakhetsplan, vist i Figur 6 (Whyllie og Mah, 2004; Nilsen, 2016). Planutglidning er regnet som en relativt sjelden utrasing, fordi det kreves flere geometriske betingelser. Alle de følgende betingelsene må være oppfylt for at planutglidning skal forekomme (Whyllie og Mah, 2004; NGI, 2014):

- Glideplanets strøk må være tilnærmet parallelt med strøket til bergskjæringen ($\pm 20^\circ$)
- Glideplanet må være utgående på skjæringsoverflaten
- Fallet til glideplanet (ψ_p) må være slakere enn fallet til bergskjæringsoverflaten (ψ_f). Dvs. $\psi_p < \psi_f$. Se Figur 6
- For å overvinne friksjonsmotstanden og skjærfastheten langs glideplanet, må glideplanets fall (ψ_p) være større enn friksjonsvinkelen ϕ , Dvs. $\psi_p > \phi$. Se Figur 6
- Glideplanet må enten tangere toppen av bergskjæringen, eller kobles til skjæringstoppen med en tensjonssprekk
- Bergmassen må være avløst i sidene, med enten sprekkplan eller diskontinuiteter, slik at bergmassen ikke er innspent i sidene



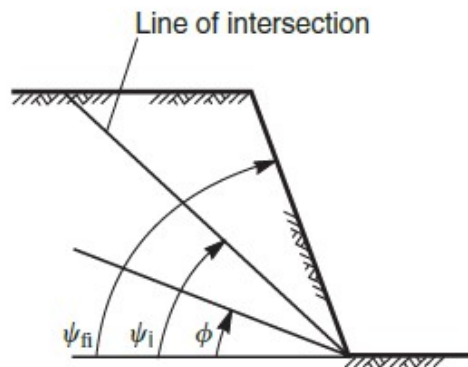
Figur 6: Geometriske betingelser og parametere for planutglidninger. ψ_p er glideplanets fall, ψ_f er bergskjæringens fall, og ϕ er friksjonsvinkelen (Whyllie og Mah, 2004)

2.4.2 Kileutglidning

Kileutglidning er, grunnet orienteringsbetingelser, vanligere enn planutglidinger (Whyllie og Mah, 2004). For at en kileutglidning skal utvikles, må følgende betingelser være oppfylt (Whyllie og Mah, 2004; NGI, 2014):

- To sprekkeplan må danne en tangeringslinje som går ut i dagen på bergskjæringsoverflaten
- Tangeringslinjen må ha fall ut av bergskjæringen
- Tangeringslinjens fall (ψ_i) må være mindre enn fallvinkelen til bergskjæringsoverflaten (ψ_{fi})
- Tangeringslinjens fall (ψ_i) må også være brattere enn friksjonsvinkelen (ϕ), slik at de drivende kreftene er større enn friksjonen og den samlede skjærmotstanden. Totalt: $\psi_{fi} > \psi_i > \phi$

Ved kileutglidning kan bergkilen, formet av sprekkesett, enten skli langs et av sprekkesettene, eller langs tangeringslinjen formet av begge sprekkesett. Da vil det ene sprekkeplanet fungere som en avløsningsflate og friggi bergkilen, mens det andre fungerer som et glideplan (Whyllie og Mah, 2004). Stabilitetsanalyser av kileutglidninger er derfor mer komplekse enn andre bruddmekanismer. Forholdene langs de to sprekkeplan er sjelden like, og analyser må inneholde kohesjon og friksjonsvinkel til begge plan for å anslå hvilket sprekkeplan bergkilen vil gli langs (Whyllie og Mah, 2004).

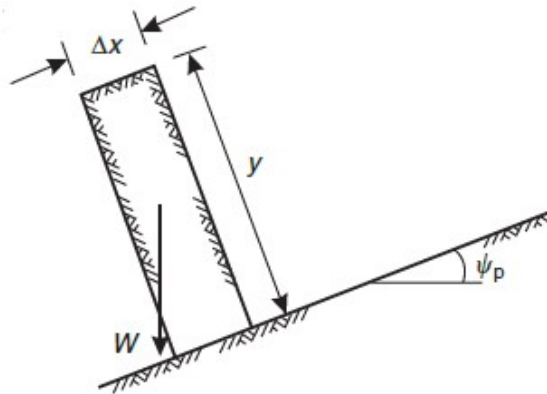


Figur 7: Geometriske betingelser og parametere for kileutglidninger (Whyllie og Mah, 2004)

2.4.3 Utvelting

Utvelting er en følge av steiltstående sprekkeseitt eller diskontinuitetsflater som danner tavleformede blokker eller flak som enten roterer eller tipper ut av bergskjæringen (Whyllie og Mah, 2004). For at utvelting skal være mulig må de steiltstående diskontinuiteter ha strøk nærmest parallelt med bergskjæringen, samt fall inn mot bergskjæringen. Utvelting forekommer idet gravitasjonsenteret til en blokk flyttes utenfor blokkens base, avhengig av blokkens høyde (y) og bredde (Δx), se Figur 8. Følgelig vil smale og høye blokker velte ut, mens brede og lave blokker vil gli (Whyllie og Mah, 2004). Skjæringsstabiliteten kan bestemmes ut fra forholdet mellom blokkens bredde og høyde ($\Delta x/y$), skjæringens fall (ψ_p), samt friksjonsvinkelen langs blokkens base og skjæringsoverflaten (ϕ_p). Da gjelder følgende forutsetninger for stabilitet (Whyllie og Mah, 2004):

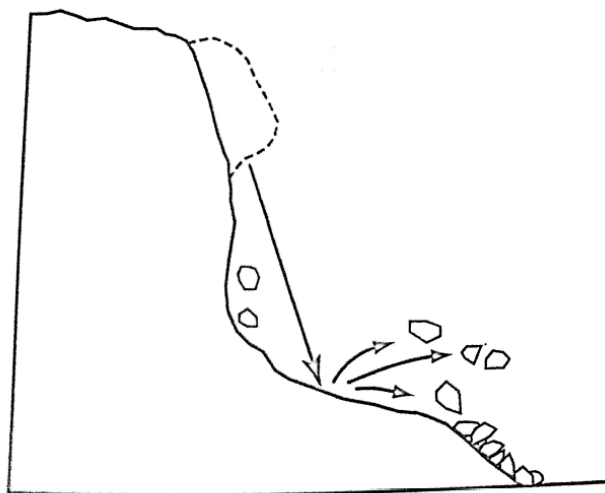
- Blokken er stabil dersom $\psi_p < \phi_p$ og $\Delta x/y > \tan \psi_p$
- Blokken vil gli dersom $\psi_p > \phi_p$ og $\Delta x/y > \tan \psi_p$
- Blokken vil velte ut dersom $\psi_p < \phi_p$ og $\Delta x/y < \tan \psi_p$
- Blokken kan både gli og velte ut dersom $\psi_p > \phi_p$ og $\Delta x/y < \tan \psi_p$



Figur 8: Geometriske betingelser og parametere for å avgjøre om blokker vil skli eller velte ut av bergskjæring (Whyllie og Mah, 2004)

2.4.4 Utfall av hengende blokker (blokker uten fot)

Etter sprengning kan det stå igjen blokker som danner overheng i bergskjæringen. Følgelig kan det dannes blokker som mangler understøtte, eller fot (NGI, 2014). Dersom blokken med overheng er avløst med sprekkesett i bakkant, kan det føre til utfall fra bergskjæringen, se Figur 9. Hengende blokker dannes ofte som følge av ugunstige sprekkesett og deres orientering, i kombinasjon med boreavvik eller dårlig sprengningsresultat, som beskrevet i Avsnitt 2.2.7.



Figur 9: Illustrasjon av hengende blokk, uten understøtte. Basert på figur fra NGI (2014)

2.4.5 Utglidning langs flere sprekker eller krumme flater

Dersom bergmassen er svak eller tett oppsprukket, kan utglidning forekomme uavhengig av de enkelte sprekkeplan i bergskjæringen og oppføre seg som løsmasser (NGI, 2014). Utglidninger vil følgelig forekomme langs flere sprekker eller en dobbeltkrum utglidningsflate som vist i Figur 5. Utglidninger langs krumme flater er mer vanlig for kohesjonsmasser og leire, men kan forekomme der bergarter er sterkt forvitret eller i knusingssoner, hvor bergarter er sterkt foldet og foliert (NGI, 2014).

2.5 Sikringmetoder for bergskjæringer

Håndbok N200 sier at skjæringsstabilitet skal sees i sammenheng med hele veganlegget. Ustabile bergskjæringer skal sikres med hensyn til stabilitet, sikkerhet, vedlikehold og økonomi (Statens vegvesen, 2018).

Målet med sikringstiltak er å sikre løснеområdet slik at utfall og utglidninger blir forhindret. Tiltak kan være å fjerne det ustabile partiet, eller å sikre løснеområdet slik at det oppnår tilstrekkelig sikkerhet (Vegdirektoratet, 2011b). Målet med bruk av sikring er å hjelpe bergmassene til å bli mest mulig selv bærende. Norsk sikringspraksis har i stor grad vært basert på gjøre vurderinger og foreta beslutninger etterhvert som bergmasser avdekkes, ofte omtalt som "design as you go" (Vegdirektoratet, 2014c; Norsk forening for fjellsprengningsteknikk, 2020).

Rensk, spyling eller bruk av luftputer er vanlige metoder som brukes for å fjerne ustabile bergparti. For sikring av løснеområdet og forhindring av utglidninger brukes nett, bolter, bergbånd og/eller sprøytebetong (Vegdirektoratet, 2011b; NGL, 2014). For valget av sikringsmetode er det viktig at man klarer å fjerne det ustabile bergpartiet, uten å skape nye ustabiliteter, eller forhold som i fremtiden kan føre til utglidninger og steinsprang (Vegdirektoratet, 2011b).

2.5.1 Rensk og spyling

Rensk og fjerning av ustabile blokker og partier er en viktig del av sikringsarbeidet. Godt utført rensk gir økt sikkerhet under boltearbeidet, og reduserer muligheten for nedfall og behovet for fysiske sikringsmidler. Håndrensk eller sprettrensk gir mulighet til å bli kjent med bergmassen, mens spylerensk avdekker bergmassen og vil gjøre det lettere å vurdere sikringsomfanget. Rensk kan utføres mekanisk med f.eks. gravemaskin med påmontert hydraulisk pigghammer, bergfres, osv. Generelt bør maskinrensk kontrolleres med manuell sprettrensk (Statens Vegvesen, 2020a).

Spettrensk kan karakteriseres som den enkleste og rimeligste formen for fjellsikring. Metoden brukes i tilfeller der det finnes avløste steinblokker og bergpartier. Metoden er best egnet for partier med begrenset størrelse, da det er en metode basert på manuelt "håndarbeid" fra sikringspersonell. Metoden krever erfaring fra sikringspersonellet, da vanskelighetsgraden av arbeidet varierer mye. Dette kan innebefatte alt fra små steiner som er lette å jekke ned, til store blokker og bergparti som krever bruddmekanisk innsikt for å løses på best mulig måte (Vegdirektoratet, 2011b).

Bruk av luftputer eller sprengning kan benyttes for vanskelige partier hvor det ikke kan brukes spettrensk, forutsatt at det kan utføres uten konsekvenser for omgivelser som senere kan føre til ustabiliteter (NGL, 2014; Vegdirektoratet, 2011b).

2.5.2 Bolting

Bergpartier, stein og steinblokker som ikke lar seg fjerne med rensk, sikres ofte med fjellbolter og stag. Bolting er en effektiv sikringsform og i de fleste tilfeller en rimelig sikringsmetode (Statens Vegvesen, 2020a).

Til permanent sikring av bergskjæringer angir V225, *Bergskjæringer*, at det skal brukes fullt innstøpte bolter, enten som kombinasjonsbolter eller vanlige gysebolter som presses inn i mørtelfylte borhull. Bolter som har øyeblikkelig virkning, brukes som arbeidssikring. Bergsikring i Norge er i stor grad basert på at arbeidssikring også inngår i permanent sikring. Valg av bolter gjøres derfor i stor grad ut fra krav til lang levetid (Statens Vegvesen, 2020a).

Bolter benyttes ofte i kombinasjon med andre sikringsmidler som nett, fjellbånd og sprøytebetong (Statens Vegvesen, 2020a). Ved å bruke flere sikringsmidler i kombinasjon med bolter, oppnås en samvirkeeffekt, der boltene sikrer de større, ustabile blokkene og forankrer de andre sikringmidler i stabilt berg (Vegdirektoratet, 2011b). Målet er at boltene skal ivareta totalstabiliteten, mens nett og bånd ivaretar detaljstabiliteten og hindrer nedfall av mindre stein mellom boltene (Vegdirektoratet, 2014c).

Når det gjelder sikringspraksis finnes det flere metoder som kan tas i bruk (Norsk forening for fjellsprengningsteknikk, 2020)

- Spredt bolting: Hver bolt plasseres for å sikre en antatt ustabil blokk eller blokkansamling, uten at boltene settes i et spesielt forutsatt mønster
- Systematisk bolting: Boltene settes i bestemte mønster. Det er vanlig å bruke lik avstand mellom boltene og de ulike bolterastene, med typisk c/c 1-2,5 m. Systematisk bolting brukes vanligvis ved vanskelige forhold, eller der berget er moderat til tett oppsprukket
- Forbolting: Kan benyttes for å bevare skjæringsprofilen, kontur og unngå utrasning som følge av sprengning

2.5.3 Sikring med nett

Bergpartier med tettere oppsprekking og mindre blokkstørrelser kan sikres med ulike typer nett og bergbånd (Statens Vegvesen, 2020a). Sikring med nett kan brukes på alt fra skjæringer med småfallent, oppsprukket berg til partier med blokker, naturlige skrenter og urmasser. De vanligste typene nett er steinsprangnett, flettverksnett, wirenett og wireforsterket steinsprangnett, eller kombinasjoner av disse (Statens Vegvesen, 2020a). Krav til steinsprangnett er gitt i håndbok R761, *Prosesskode 1, Standard beskrivelser for vegkontrakter* (Statens Vegvesen, 2020a).

2.5.4 Sprøytebetong i bergskjæringer

Sprøytebetong er egnet som sikring i bergskjæringer der berget er oppsprukket, løst eller forvitret. Eventuelt også der sikring med nett ikke vil kunne stoppe nedfall fra bergskjæringen (Statens Vegvesen, 2020a). Fiber- eller netttarmert sprøytebetong sprøytes direkte på skjæringsoverflater. Ved installasjon bores drenshull gjennom sprøytebetongen og inn i bergmassen, dette er for å hindre oppbygging av vanntrykk mellom sprøytebetongen og skjæringsoverflaten. Ved fare for utvasking av materialer, som f.eks. leire, kan det også være gunstig med bruk av sprøytebetong for å forsinke prosessen (NGI, 2014; Statens Vegvesen, 2020a).

Sprøytebetong med riktig utførsel kan i praksis være vedlikeholdsfri i flere år, spesielt der det er tørre bergmasser (Statens Vegvesen, 2020a). Håndbok V225 angir at sprøytebetong skal benyttes med fasthetsklasse B35 og bestandighetsklasse M45, E700 eller E100, med stålfiberarmering og minimum tykkelse på 8 cm (Statens Vegvesen, 2020a).

2.5.5 Bergbånd

Bergbånd brukes for å bedre detaljstabilitet og samvirke mellom bolter. Bergbånd kan benyttes for å sikre en enkel ustabil blokk, eller et lokalt ustabilt bergparti, hvor det ikke er egnet å plassere bolter. Dette utføres ved å plassere bergbåndet over blokken eller partiet, og feste båndet med bolter i intaktberg på hver side. I noen tilfeller kan bruk av bergbånd redusere behovet for antall bolter (Vegdirektoratet, 2011b).

2.5.6 Bruk av sikringshyller

Etablering av berghyller eller nedtrapping har vært vanlig praksis i dagbrudd i mange år, og blir stadig vanligere å se langs veger. Etablering av berghyller vil redusere bergskjæringshøyden og potensielle rasvolum som kan skli ut (Whyllie og Mah, 2004). Whyllie og Mah (2004) skriver også at bruk av sikringshyller må dimensjoneres med forsiktighet, da bruk av sikringshyller også kan øke stabilitetsutfordringer ved bakbryting og ved at steinsprang spretter videre fra berghyller, fremfor å samles på hyllen. Følgelig må berghyllers bredde dimensjoneres i samsvar med hyllens høyde (Whyllie og Mah, 2004).

Håndbok V225, *Bergskjæringer*, angir at det kan være nødvendig å etablere berghyller og avsatter for å unngå ras og høye sikringskostnader, ved etablering av høye bergskjæringer (Statens Vegvesen, 2020a).

3 Introduksjon til bergmasseklassifisering og anvendelse

Hovedfokuset for dette kapittelet er å redegjøre hva bergmasseklassifisering egentlig er, og hvordan det fungerer i dag. I slutten av dette kapittelet introduseres to av de benyttede klassifiseringssystemene i feltkartleggingen, Q-systemet og RMR-systemet. Disse systemene er laget for tunnel og bergrom. Følgelig er det i Avsnittene 3.3 og 3.4 valgt å ta med informasjon om bergrom og tunneler der det er relevant for forståelsen av systemene, samt at de danner bakgrunnen for bergmasseklassifiseringssystemene og er forløperne til Q-slope og SMR, klassifiseringssystemer tilpasset for bergskjæringer og introdusert i Avsnitt 4.

I dette kapittelet er det nyttig å være kjent med følgende faguttrykk:

- Å beskrive: Fortelle, skrive om, eller gi en detaljert redegjørelse med ord (Palmstøm og Stille, 2010). Selv om tekniske ord er inkludert i beskrivelser, vil den enkelte geolog kunne beskrive bergmassen slik som han/hun selv ønsker. Dette gjør at det i bergmassebeskrivelser kan være tilfeldig hva som blir beskrevet og vurdert, hvilke ord som blir brukt, samt at rekkefølgen for beskrivelser blir tilfeldig (Palmstøm og Stille, 2010). Palmstøm og Stille (2010) skriver at "*slike beskrivelser sjeldent er nyttig for andre ingeniørgeologer.*"
- Å karakterisere: Fremstille særpreget ved noe (Språkrådet, 2020), eller fremstille kvaliteteter, egenskaper og ulike trekk ved noe (Palmstøm og Stille, 2010). Bergmassekarakterisering er en betegnelse på bergmassekvaliteter basert på tall og verdier med tilhørende beskrivende begreper for gitte trekk ved bergmassen (Palmstøm og Stille, 2010).
- Å klassifisere: Arrangere grupper eller klasser i forhold til et gitt system eller prinsipper (Palmstøm og Stille, 2010). Bergmasseklassifisering er prosessen der en kombinerer gitte trekk for bergmassen og fordeler disse i grupper eller klasser (Palmstøm og Stille, 2010). Bergmasseklassifiseringer har en gitt rekkefølge og et gitt system, hvor informasjon blir fastsatt og kartlagt i bestemt rekkefølge. Bergmasseklassifiseringer gjør det mulig å bruke matematiske uttrykk for å kombinere flere ulike trekk for bergmasser. De gjør det også mulig å sammenligne arbeid utført av ulike ingeniørgeologer (Palmstøm og Stille, 2010).

I praksis er det ofte liten forskjell mellom det å karakterisere og klassifisere en bergmasse (Palmstøm og Stille, 2010). I denne oppgaven er uttrykkene benyttet som i Palmstøm og Stille (2010), der karakterisering vil være å indikere strukturer, komposisjon og styrken til bergmasser, og klassifisering vil være å sette disse egenskaper i system eller grupper.

3.1 Hva er bergmasseklassifisering?

Bergmasseklassifisering er en empirisk metode for evaluering og kvantifisering av egenskaper til bergmasser (Palmstøm og Stille, 2010). For bergmasser er det ofte utfordrende, og i noen tilfeller nærmest umulig, å inkludere alle variabler som påvirker stabiliteten når beregninger utføres. I bergmasseklassifiseringer benyttes derfor et utvalg av de relevante parametere, slik at den kompliserte realiteten for bergmasser kan forenkles, og det kan lages anvendbare sikringssystemer og modeller for ulike bergmassesituasjoner (Palmstøm og Stille, 2010). Målet er å evaluere ytelsen til bergmassen, basert på viktige parametere som beskriver bergartens styrke, formbarhet og stabilitet (Pantelidis, 2009). Bergmasseklassifiseringer har, grunnet sin enkelhet og pålitelighet, vært brukt i mange tiår, med stor suksess for konstruksjon og dimensjonering av sikring i bergrom, gruver og tunneler. Mange av klassifiseringssystemene originalt utviklet for undergrunnsprosjekter, har i senere år blitt brukt eller modifisert til å passe for bergskjæringer (Pantelidis, 2009). En detaljert liste over bergmasseklassifiseringssystemer finnes i Tabell 3.

Generelt gjør bruk av bergmasseklassifiseringer det lettere å (Bieniawski, 1989; Singh og Goel, 2011):

1. Identifisere de mest signifikante parameterne som påvirker bergmassens oppførsel. Følgelig blir ingeniørers observasjoner, erfaring og dømmekraft korrelert og konsolidert av et klassifiseringssystem
2. Dele opp bestemte bergformasjoner i seksjoner med lik oppførsel eller ulike bergmassekvaliteter. Klassifiseringssystemer hjelper å organisere kunnskap
3. Få en grunnleggende forståelse for karakteristikken til de ulike bergmassekvaliteter tilstede
4. Relatere erfaringer med like bergmassekvaliteter i andre prosjekter og områder til det aktuelle prosjektet
5. Utlede kvantitativ informasjon og retningslinjer for ingeniørdesign og prosjektutforming
6. Lage et felles grunnlag og øke kommunikasjonen mellom planleggere, geologer, designere, entreprenører og ingeniører. *“Ingeniører foretrekker å jobbe med tall og nummer framfor beskrivelser”* (Bieniawski, 1973)

Hoek (2006) skriver at selv om bergmasseklassifisering er hensiktsmessige for sin opprinnelige anvendelse, må det utvises betydelig forsiktighet ved bruk av bergmasseklassifisering til andre bergtekniske problemstillinger, utenfor det opprinnelige bruksområdet. Dette er videre diskutert i Avsnitt 4.1 og Avsnitt 3.5, som tar for seg hhv. hvordan bergmasseklassifisering må tilpasses bergskjæringer, fordeler og begrensinger ved bergmasseklassifiseringssystemer.

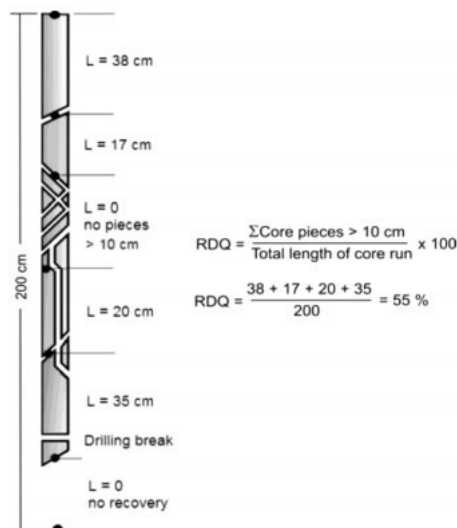
Tabell 3: Eksisterende systemer for klassifisering av bergmasser. (Modifisert og oversatt) Basert på Pantelidis (2009)

| Systemnavn | Forkortelse | Forfattere | Anvendelse | Kommentarer |
|--|-------------|--|------------------------------|--|
| - | - | Ritter | Tunnel | Første formalisering av empirisk metode for tunneldesign |
| Rock load | - | Terzaghi | Tunnel | Tidligste bruk av bergm.klass.system |
| Stand-up time | - | Lauffer | Tunnel | Stående tid for en usikret tunnel |
| Rock Quality Designation | RQD | De Deer | Generell | komponent i flere systemer. |
| Rock Structure Rating | RSR | Wickham et al. | Mindre tunneller | Første system, bergmasser |
| Rock Tunneling Quality Index | Q-systemet | Barton et al. | Tunnel | Et av de meste brukte systemene for tunnel |
| Rock Mass Rating | RMR | Bieniawski | Tunneler og bergskjæringer | Vurdering for tilpasning til diskontinuiteters orientering |
| Mining Rock Mass Rating | MRMR | Laubscher | Gruver | Basert på RMR (1973). |
| Rock Mass Strength | RMS | Selby Moon and Selby | bergskjæringer skjæringer | Naturlige skjæringer |
| Slope Mass Rating | SMR | Ramona Ramona et al. | Bergskjæringer | Basert på RMR. Vanligste system for skjæringer |
| Slope Rock Mass Rating | SRMR | Robertson | Bergskjæringer | Basert på RMR. Svake bergarter med omvandlet materiale fra borehullkjerner |
| Chinese Slope Mass Rating | CSMR | Chen | Bergskjæringer | Justeringsfaktorer lagt til SMR for diskontinuitets-tilstand og Skjæringshøyde |
| Geological Strength Index | GSI | Hoek et al. | Generell | Basert på RMR |
| Modified Rock Mass Rating | M-RMR | Ûnal | Gruver | For svake, lagdelte, anisotrope og leirrike bergmasser |
| Geological Strength Index | GSI | Hoek et al. Marinos et al. | Generell | Ikke-strukturelle kontrollerte brudd |
| Rockslope Deterioration Assessment | RDA | Nicholson and Hacher, Nichololon et al. | Bergskjæringer | For grunne, nedbrutte utgravde bergskjæringer |
| Slope Stability Probability Classification | SSPC | Nicholson Hack, Hack et al. | Generell | Sannsynlighetsanalyse av uavhengige bruddmekanismer |
| Volcanic Rock Face Safety Rating | VRFSR | Singh og Connolly | Bergskjæringer | Skjæringer med vulkanske bergarter. Bestemme utgravningssikkerhet |
| Falling Rock Hazard Index | FRHIa | Singh | Bergskjæringer | Stabile utgravninger. Bestemme faregrad for arbeidere |
| - | - | Mazzaccola og Hudson | Naturlige skjæringer | Metode, indikere ustabiliteter i naturlige skjæringer |

3.2 Rock Quality Designation (RQD)

Rock quality designation (RQD) ble lansert av Deere (1963), og var i utgangspunktet tenkt som et enkelt klassifiseringssystem for bergmasser. Opprinnelig er beregninger for RQD-verdier basert på sprekkekartlegging av borekjerne, der summen av kjernebiter med lengder >10 cm, dannet av naturlige sprekker, blir dividert med den totale borekjernelengden, som gir RQD-verdien. Se Likning (1) og Figur 10. RQD uttrykkes som en verdi mellom 0 % og 100 % (Deere, 1963).

$$RQD = \frac{\sum_{kjernebiter > 10cm}}{Totalborekjernelengde} \cdot 100 \quad (1)$$



Figur 10: Prinsipp for utregning av RQD (Deere, 1963)

Fordi RQD kun tar hensyn til bergmassens oppsprekking, er RQD ikke regnet som et komplett bergmasseklassifiseringssystem (Bieniawski, 1984). Likevel er RQD, grunnet sin relative enkelhet og hurtige beregningsmetode, brukt som inngående parameter i flere av dagens mest brukte bergmasseklassifiseringssystem, deriblant Q-systemet og Rock mass rating (RMR) (Palmstrøm og Broch, 2006). I senere år har det kommet frem at RQD-beregninger og sprekkekartlegging av borekjerne utføres ulikt, i ulike deler av verden. Pells *mfl.* (2017) begynner dette funnet med ulik praksis for analyser av borekjerne, avhengig av personen som utfører sprekkekartleggingen og analysen. Dette kan føre til ulike RQD-verdier ved målinger og vurderinger for samme borekjerne, og er ikke gunstig når den generelle forståelsen av bergmasseegenskaper skal undersøkes. Følgelig har Pells *mfl.* (2017) foreslått at RQD bør fases ut som parameter i bergmasseklassifiseringer.

I tillegg til usikkerheter ved kartlegging av sprekker, har både Hoek (2006) og Zhang (2016) diskutert hvordan RQD-verdier påvirkes av boreretning og lengde på borehull, ved opptak av borekjerne. Fordi usikkerheten ved bruk av RQD-verdier har vært mye omdiskutert, er det opp gjennom årene gjort flere forsøk på å redusere usikkerheten. Palmstrøm (1982) og Palmstrøm (2005) har, ved hjelp av volumetisk sprekketelling og definering av parameteren J_v , utledet Likningene (2) og (3), hvor J_v utgjør summen av antall sprekker per kartlagte enhetslengde. Volumetrisk sprekketelling er regnet for å være nyttig i prosjekter der borekjerne ikke er tilgjengelige (Palmstrøm, 2005).

$$RQD = 115 - 3.3 \cdot J_v \quad (\text{Palmstrøm, 1982}) \quad (2)$$

$$RQD = 110 - 2.5 \cdot J_v \quad (\text{Palmstrøm, 2005}) \quad (3)$$

Bergmassens oppsprekking kan variere mye mellom ulike lokaliteter, men også internt i den enkelte bergskjæring. Det bør derfor utføres flere beregninger av RQD-verdi, og brukes et gjennomsnitt for den kartlagte strekningen (Palmstrøm, 2005).

3.3 Q-systemet

Q-systemet er et velkjent klassifiseringssystem for bergmasser, med hensyn til stabilitet for tunneler og undergrunnsanlegg (Norges Geologiske Institutt, 2015). Systemet ble utviklet tidlig på 1970-tallet av NGI (Norges Geologiske Institutt, 2015), og ble først lansert av Barton *mfl.* (1974). Q-systemet klassifiserer bergmasser og bergmassekvaliteter kvantitativt med en Q-verdi. Q-verdien er basert på seks inngående parametere som beskriver bergtekniske egenskaper, som til sammen angir bergmassens kvalitet. Q-verdien uttrykkes som en verdi mellom 0,001 og 1000, der 1000 er "eksepsjonelt god bergmasse" og 0,001 er "eksepsjonelt dårlig bergmasse". Målet med Q-systemet er å karakterisere bergmassen og gi en veiledende anbefaling for hvordan berget bør sikres, ut fra tidligere erfaringer for lignende forhold (Norges Geologiske Institutt, 2015).

Q-verdien beregnes med Likning (4). Q-verdier relateres til forskjellige typer permanent sikring, gjennom et skjematisk sikringsdiagram (Figur 13), sammensatt basert på erfaringsdata (Norges Geologiske Institutt, 2015). Følgelig gjør bruk av Q-systemet og Q-verdier det mulig å finne typer og mengder bergsikring tidligere brukt for bergmasser av lignende kvaliteter og forhold. Q-systemet kan derfor benyttes som retningslinje for valg av type og mengde sikring, samt være gunstig for å dokumentere bergmassekvalitet i ulike prosjekter (Norges Geologiske Institutt, 2015).

Formelen for Q-verdi (Likning (4)), er uforandret siden 1974. Derimot har bergsikringsdiagrammet (Figur 13) og sikringsanbefalinger som tilhører Q-systemet, gjennomgått en rekke oppgraderinger. Bakgrunnen for dette er at sikringfilosofien og teknologien innen tunneldriving har hatt en betydelig utvikling etterhvert som sikringsmidler har utviklet seg (Norges Geologiske Institutt, 2015). Systemet er i hovedsak utviklet og basert på erfaringsdata fra norske tunneler og bergrom. I den siste oppdateringen fra 2002, ble det også inkludert erfaringsdata fra Sveits og India. Erfaringsdata fra nærmere 2000 prosjekter er inkludert i siste versjon av sikringsdiagrammet (Norges Geologiske Institutt, 2015).

Formelen for Q-verdi (Barton *mfl.*, 1974):

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF} \quad (4)$$

der

- RQD = Oppsprekningstall (Rock Quality Designation)
- J_n = Tall for sprekkesett
- J_r = Sprekkeruhetstall
- J_a = Tall for sprekkefylling
- J_w = Sprekkevannstall
- SRF = Bergspenningsfaktor (stress reduction factor)

Hvert ledd i formelen uttrykker de 3 hovedfaktorene som beskriver stabiliteten i en tunnel eller et bergrom:

$$\frac{RQD}{J_n} = \text{Oppsprekningsgrad eller blokkstørrelse}$$

$$\frac{J_r}{J_a} = \text{Bergmassens minimale skjærfasthet}$$

$$\frac{J_w}{SRF} = \text{Opptredende spenning}$$

Videre i dette underkapittelet gis det en innføring i hvordan de ulike parameterne blir verdisatt og vurdert ut fra Q-systemet, før det blir vist hvordan en beregner sikring ut fra endelige utregnende Q-verdier.

3.3.1 RQD i Q-systemet

For RQD-verdier er det definert 5 bergklasser (A-E) i Q-systemet, vist i Tabell 4. Originalt er RQD-verdier satt etter den opprinnelige definisjonen og prosentverdien, angitt i Avsnitt 3.2. RQD kan parametriseres med sprekketelling som definert i Tabell 4, eller beregnes med Likningene (2) og (3) i Avsnitt 3.2. Dersom verdien for RQD-parametere blir satt til null, vil den endelige Q-verdien også bli lik null. Dette vil gi en ugyldig verdi. Minimumsverdien for RQD i Q-systemet er derfor satt til 10, per definisjon (Barton *mfl.*, 1974).

Tabell 4: Parameterverdier for RQD i henhold til Q-systemet, verdi satt enten ved empirisk beskrivelse, sprekketelling eller original utregning i Avsnitt 3.2 (Norges Geologiske Institutt, 2015)

| | Kvalitativ beskrivelse | Sprekker pr.m ³ | RQD verdi |
|---|------------------------|----------------------------|-----------|
| A | Svært dårlig | <27 | 0-25 |
| B | Dårlig | 20-27 | 25-50 |
| C | Middels | 13-19 | 50-75 |
| D | God | 8-12 | 75-90 |
| E | Utmerket | 0-7 | 90-100 |

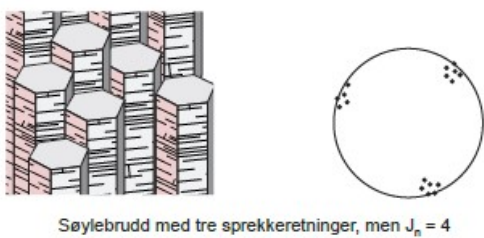
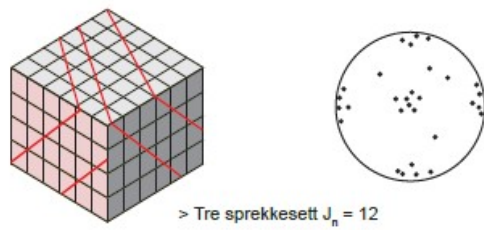
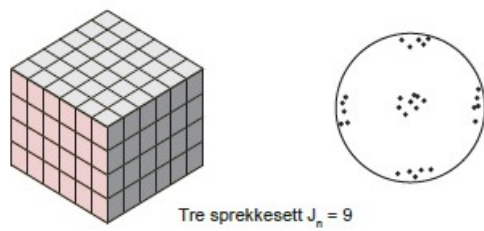
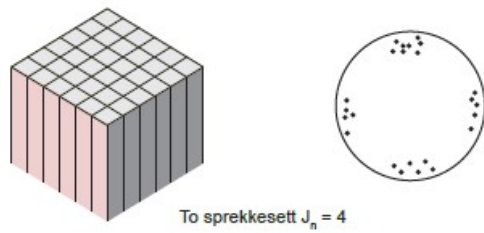
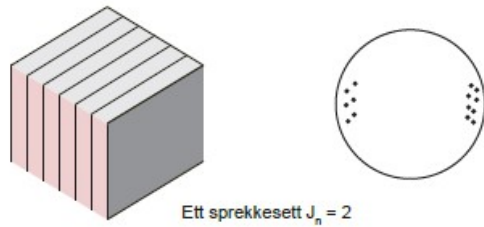
3.3.2 Tall for sprekkeseett (J_n)

Tall for sprekkeseett er avhengig av antall opptredende sprekkeseett i områdeseksjonen som kartlegges. Når verdien J_n settes, skal bare sprekkene på samme lokalitet tas med i verdisettingen (Norges Geologiske Institutt, 2015). Tall for sprekkeseett settes ut fra 9 bergklasser (A-J), med tilhørende verdier gitt i Tabell 5.

Tabell 5: Fastsettelse av tall for sprekkeseett, J_n i henhold til Q-systemet (Norges Geologiske Institutt, 2015)

| | Kvalitativ beskrivelse | Parameterverdi |
|---|--|----------------|
| A | Massivt, ingen eller få sprekker | 0.5-1.0 |
| B | Ett sprekkeseett | 2 |
| C | Ett sprekkeseett pluss tilfeldige sprekker | 3 |
| D | To sprekkeseett | 4 |
| E | To sprekkeseett pluss tilfeldige sprekker | 6 |
| F | Tre sprekkeseett | 9 |
| G | Tre sprekkeseett pluss tilfeldige sprekker | 12 |
| H | Fire eller flere sprekkeseett, tilfeldige og sterkt oppsprukket "sukkerbitberg" osv. | 15 |
| J | Knust berg, jordaktig | 20 |

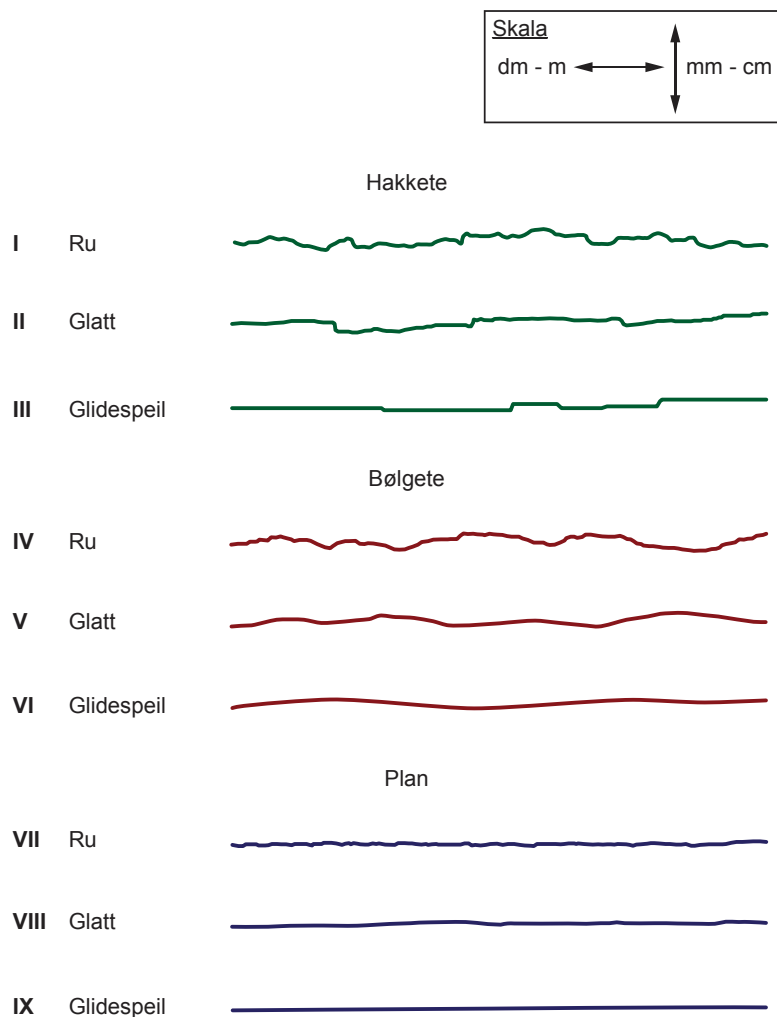
Norges Geologiske Institutt (2015) skriver at det er lurt å gjøre målinger for et visst antall sprekkeseett, og plote disse i stereoplott for å avgjøre hvor mange sprekkeseett som faktisk er tilstede. Når sprekkene plottes vil polene fremstå som konsentrasjoner i stereonettet. Når en observerer sprekkeseett i felt, kan en fort bli forvirret av hvor mange sprekkeseett som er tilstede, som vist i Figur 11. Antall sprekker er ikke bestandig det samme som antall sprekkeseett (Norges Geologiske Institutt, 2015).



Figur 11: Eksempel som viser hvordan antall sprekkesett kan fremstå ulikt ut fra feltobservasjoner og plott (Norges Geologiske Institutt, 2015)

3.3.3 Sprekkeruhetstall (J_r)

Friksjon langs sprekkplan er avhenging av sprekkoverflatens struktur og karakter. Sprekkeruhetstall (J_r) angir sprekkoverflatens karakter, og bestemmes ut fra sprekkoverflatens utseende i stor og liten skala, se Figur 12. I liten skala vurderes sprekkoverflaten som ru, plan, glatt eller som et glidespeil. Dette referer til små strukturer på sprekkoverflaten, med lengde i størrelsesorden centimeter eller millimeter. I stor skala vurderes sprekkeene som bølget, plane eller hakket, i størrelsesorden meter og desimeter. Storskala ruhet må også vurderes relativt til blokkstørrelser og sannsynlig glideretning (Norges Geologiske Institutt, 2015).



Figur 12: Eksempler på klassifisering av ulike sprekkoverflater med forskjellige J_r - verdier i Q-systemet

Sprekkeruhetstallet blir kvantifisert ut fra Tabell 6. Alle de ulike sprekkesettene på hver lokalitet må vurderes i henhold til sprekkeruhet (Norges Geologiske Institutt, 2015). I beregninger benyttes det minst gunstige sprekkesettet med hensyn til stabilitet. Altså sprekkesettet der det er størst sjanse for skjærdeformasjon, eller der sannsynligheten for utgliding er størst (Norges Geologiske Institutt, 2015).

Tabell 6: Estimering av parameterverdi for sprekkeruhetstall (J_r) i henhold til Q-systemet (Norges Geologiske Institutt, 2015)(Modifisert)

| Kvalitativ beskrivelse | Parameterverdi |
|---|----------------|
| a) Bergveggkontakt, og b) Bergveggkontakt før skjærbevegelsen har gått 10 cm | |
| A Diskontinuerlige sprekker | 4 |
| B Ru eller ujevn, bølgete | 3 |
| C Glatt, bølgete | 2 |
| D Glidespeil, bølgete | 1.5 |
| E Ru, ujevn, plan | 1.5 |
| F Glatt, plan | 1 |
| G Glidespeil, plan | 0.5 |
| Merk: Beskrivelse henviser til hhv. småskala og storskala egenskaper | |
| c) Ingen bergkontakt ved skjærbevegelse | |
| H Sone som inneholder leirfylling tykk nok til å forhindre bergkontakt ved skjærdeformasjon | 1 |

3.3.4 Tall for sprekkefylling (J_a)

Tilstedeværelsen av sprekkefyll er, sammen med sprekkeruhet, avgjørende for friksjonsmotstand mellom sprekkeoverflater. Følgelig bruker Q-systemet parameteren J_a (tall for sprekkefylling), for å ta hensyn til tykkelsen og styrken til eventuelle fyllmaterial i sprekker (Norges Geologiske Institutt, 2015; Barton *mfl.*, 1974).

Tabell 7 viser hvordan kvantifiseringen av tall for sprekkefylling gjøres. Alle opptredende sprekkesett på hver kartlagte lokasjon må evalueres i henhold til Tabell 7. J_a -verdien for det sprekkesettet som regnes som mest ugunstig med hensyn til stabilitet, benyttes i beregninger for Q-verdi (Norges Geologiske Institutt, 2015).

Tabell 7: Estimering av tall for sprekkefylling (J_a -verdi) i Q-systemet (Norges Geologiske Institutt, 2015).

| | Kvalitativ beskrivelse | ϕ_r | J_a |
|---|--|----------|-------|
| a) Bergkontakt (ingen mineralfylling, bare belegg) | | | |
| A | Sammenvokste sprekker med harde mineraler som kvarts og epidot. | - | 0.75 |
| B | Uomvandlede sprekkeflater, bare overflateoksidasjon. | 25-50° | 1 |
| C | Svakt omvandlede sprekkeflater. Uoppbløtelig mineralbelegg, sandpartikler, oppknust berg uten leir. | 25-30° | 2 |
| D | Siltig eller sandig sprekkebelegg, litt leir (ikke svellende). | 20-25° | 3 |
| E | Oppløtelig leirbelegg med lav friksjon, f.eks kaolinitt eller glimmer. Også kloritt, talk gips, grafitt osv. og små mengder svelleleire | 8-16° | 4 |
| b) Bergkontakt før skjærdeformasjon (tynn mineralfylling) | | | |
| F | Sandige partikler, oppknust berg, ikke leir. | 20-30° | 4 |
| G | Sterkt overkonsolidert, uoppbløtelig fylling av oppbløtelig leirmateriale (kontinuerelig, men <5 mm tykkelse) | 6-12° | 6 |
| H | Middels eller litt overkonsolidert fylling av oppbløtelig leirmateriale (kontinuerelig, men <5 mm tykkelse) | 12-16° | 8 |
| J | Fylling av svelleleire, dvs. montomorillonitt (kontinuerelig, men <5 mm tykkelse) J_a -verdien avhenger av prosentvis innhold av svelleleire. | 6-12° | 8-12 |
| c) Ingen bergkontakt ved skjærdeformasjon (tykk mineralfylling) | | | |
| K | Soner og bånd av desintegert eller knust berg. Sterkt overkonsolidert, uoppbløtelig fylling. | 16-24° | 6 |
| L | Soner og bånd av knust eller desintegert berg og leir. Middels til litt overkonsolidert uoppbløtelig fylling. | 12-16° | 8 |
| M | Soner og bånd av leir eller knust eller desintegert berg. Middels til litt overkonsolidert uoppbløtelig fylling. | 6-12° | 8-12 |
| N | Tykke kontinuerelige soner eller bånd med leir. Sterkt overkonsolidert. | 12-16° | 10 |
| O | Tykke kontinuerelige soner eller bånd med leir. Middels-til-lav overkonsolidert | 12-16° | 13 |
| P | Tykke kontinuerelige soner eller bånd med leir. Svelleleire. J_a avhenger av prosentvis innhold av svelleleire. | 6-12° | 13 |

3.3.5 Sprekkevannstall (J_w)

Vann har stor påvirkning på stabilitet, som beskrevet i Avsnitt 2.2.4. De omtalte faktorene gjelder i stor grad også tunneler og bergrom. Derfor er sprekkevannstall (J_w) den siste parameteren som inngår i Q-systemet. Sprekkevannstall (J_w) kvantifiseres ut fra vanntrykk og vannlekkasje-observasjoner i bergrom (Norges Geologiske Institutt, 2015). Parameterverdier for sprekkevannstall settes ut fra Tabell 8.

Tabell 8: Estimering av sprekkevannstall (J_w) i Q-systemet (Norges Geologiske Institutt, 2015)

| | Kvalitativ beskrivelse | Sprekkevannstall |
|-------|--|------------------|
| A | Tørre bergrom eller mindre innsig (fuktig eller noen få drypp) | 1.0 |
| B | Middels innsig, av og til utvasking av sprekkefyllinger (mange drypp/“regn”) | 0.66 |
| C | Vannstråler eller høyt trykk i kompetent berg med utfylte sprekker | 0.5 |
| D | Stort tilsig eller høyt trykk, betydelig utvasking av sprekkefyllinger | 0.33 |
| E | Usedvanlig høy innstrømming eller vanntrykket avtar med tid Forårsaker utvasking av materialer og kanskje utrasinger | 0.2-0.1 |
| F | Usedvanlig høy innstrømming eller vanntrykket fortsetter uten merkbar reduksjon. Forårsaker utvasking av materialer og kanskje utrasinger | 0.1-0.06 |
| Merk: | i) Faktorene C til F er grove estimater. Øk J hvis berget dreneres eller det utføres injeksjon ii) Spesielle problemer forårsaket av isdannelse er ikke tatt med i betraktning | |

3.3.6 Bergspenningsfaktor SRF (stress reduction factor)

Bergspenningsfaktoren (SRF) beskriver forholdet mellom spenninger og bergartsstyrken (Norges Geologiske Institutt, 2015). For å estimere SRF-verdien må kategorien med hensyn til spennings situasjon fastslås før parameterverdien kan bestemmes ut fra Tabell 9.

Tabell 9: Angivning av SRF-verdier for Q-systemet (Norges geologiske institutt (NGI), 2014) (Modifisert)

| | | | SRF | |
|--|--|--------------------------|--------------------------|---------|
| a) Svakhetssoner som krysser tunnelen eller bergrommet, som kan føre til at bergmasse løsner | | | | |
| A | Hyppig opptreden av svakhetssoner som inneholder leire eller kjemisk forvitret berg, avspent berg (uansett dybde), eller lange seksjoner med inkompetent (svakt) berg (uansett dybde). For skvising, se L og M | | 10 | |
| B | Flere skjærsoner innenfor en kort seksjon i kompetent avspent sideberg (uansett dybde) | | 7,5 | |
| C | Enkeltstående svakhetssoner med eller uten leire eller kjemisk forvitret berg (dybde ≥ 50 m) | | 5 | |
| D | Ukonsoliderte, åpne sprekker, mange sprekker eller "sukkerbit" ol. (uansett dybde) | | 5 | |
| E | Enkeltstående svakhetssoner med eller uten leir, eller kjemisk forvitret berg (dybde ≥ 50 m) | | 2,5 | |
| Merk: I) Reduser SRF med 25-50 % hvis svakhetssoner påvirker, og ikke krysser, den underjordiske åpningen | | | | |
| b) Kompetent, hovedsaklig massivt berg, spenningsproblemer | | σ_c/σ_1 | σ_θ/σ_c | SRF |
| F | Lave spenninger, nære overflaten, åpne sprekker | >200 | $<0,01$ | 2,5 |
| G | Middels spenninger, gunstige spenningsforhold | >200 | $<0,01$ | 2,5 |
| H | Høye spenninger, svært tett struktur. Vanligvis gunstig for stabiliteten. Kan også være gunstig for stabiliteten, avhengig av retningen på spenningene | 10-5 | 0,3-0,4 | 0,5-2 |
| | sammenlignet med sprekkdannelse/svakhetsplan | | | 2-5* |
| J | Moderat avskalling etter >1 time i massivt berg | 5-3 | 0,5-0,65 | 5-50 |
| K | Avskalling og bergslag etter noen minutter i massivt berg | 3-2 | 0,65-1 | 50-200 |
| L | Intenst bergslag, umiddelbar dynamisk deformasjon, massivt berg | <2 | >1 | 200-400 |
| Merk: II) For sterkt anisotropiske urørte spenningsfelt (ved måling): når $5 \leq \sigma_3/\sigma_1 \leq 10$, reduser σ_c til $0,75 \sigma_c$. Når $\sigma_3/\sigma_1 > 10$, reduser σ_c til $0,5 \sigma_c$, der $\sigma_c =$ fri trykkfasthet, σ_1 og σ_3 er de primære og sekundære spenningene, og $\sigma_\theta =$ maksimum tangential spenning (estimert fra elastisk teori) | | | | |
| Merk: III) Når dybden av hengt under overflaten er mindre enn spennet, foreslås det at SRF økes fra 2,5 til 5 for slike tilfeller (se F) | | | | |
| c) Skviserberg: plastisk deformasjon, ikke-kompetent, påvirkning av høyt trykk | | σ_θ/σ_c | | SRF |
| M | Moderat skvisende bergtrykk | 1-5 | | 5-10 |
| N | Intenst skvisende bergtrykk | >5 | | 10-20 |
| d) Svellende berg: Kjemisk svelleaktivitet ved tilgang på vann | | | | SRF |
| O | Moderat svelling | | | 5-10 |
| P | Intens svelling | | | 10-15 |

3.3.7 Estimering av sikring ut fra Q-systemet

I tillegg til Q-verdi bruker Q-systemet en faktor for sikkerhetskrav (Excavation support ratio (ESR)) og en faktor for dimensjonene til tunnelen eller bergrommet (dvs. spennet eller høyden av rommet) for å vurdere sikringsbehovet (Norges Geologiske Institutt, 2015). Sikkerhetsbehovet er avhengig av anleggets bruksformål, og er økende med spennvidden eller høyden på bergrommet. En lav ESR-verdi angir et høyt sikkerhetsbehov, høy ESR indikerer aksept for lavere sikkerhetsnivå (Norges Geologiske Institutt, 2015). ESR-verdier for ulike bruksformål er vist i Tabell 10.

Tabell 10: Krav til ESR-verdier i ulike typer undergrunnsanlegg (Norges Geologiske Institutt, 2015)(Modifisert)

| Typen undergrunnsanlegg | ESR |
|--|--------------------|
| A Massivt, midlertidige gruveåpninger osv. | ca. 3-5 |
| B Vertikalsjakter i) sirkelformede seksjoner ii) rektangulære/firkantede seksjoner | ca. 2.5 ca. 2.0 |
| C Permanente gruveåpninger, vanntunneler for vannkraft (unntatt høytrykk), vannfordrøynings-tunneler, pilottunneler, drivinger og innganger til store bergrom | 1.6 |
| D Mindre veg- og tog-tunneler, trykkammer, tilkomst-tunneler, kloakktunneler osv. | 1,3 |
| E Kraftstasjoner, lagringsrom, vannbehandlingsanlegg, større veg- og tog-tunneler, sivilforsvarkammer, portaler, krysninger, osv. | 1 |
| F Underjordiske atomkraftverk, togstasjoner, offentlige anlegg og sportsanlegg, fabrikker, osv. | 0.8 |
| G Svært viktige bergrom og tunneler med lang levetid, (100 år), eller uten tilgang for vedlikehold. | 0.5 |

Når alle seks parameterne for Q-systemet er kvantifisert, kan Q-verdien beregnes ut fra Likning (4). Når Q-verdien er beregnet, kan bergsikringsdiagrammet (Figur 13) benyttes til å vurdere sikringsomfanget i gitt prosjekt, ut fra ekvivalent prosjektdimensjon.

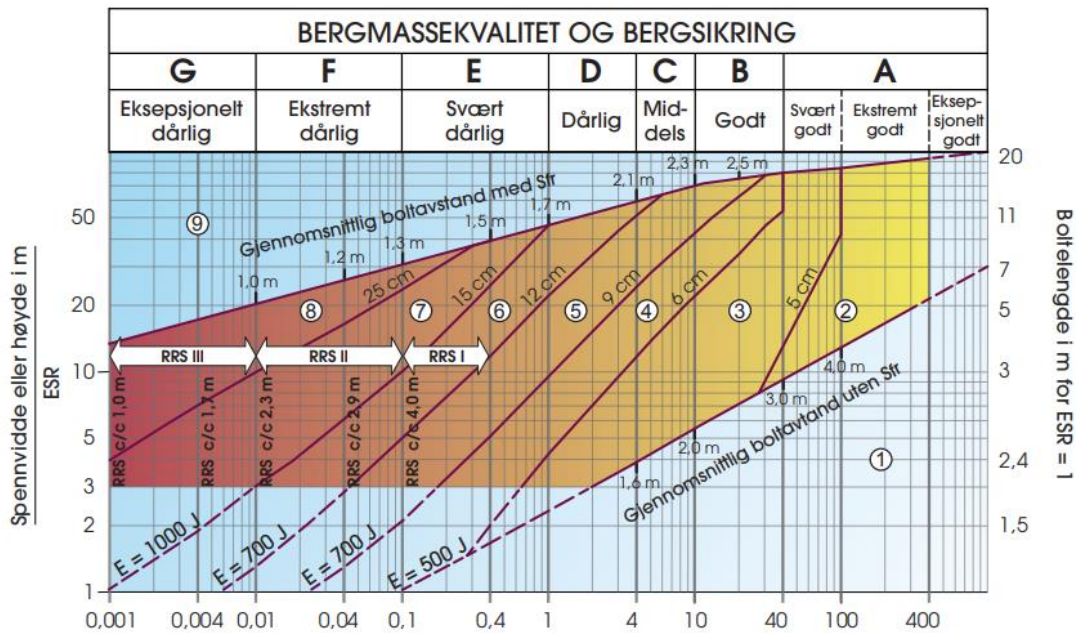
Fordi stabilitetsproblemer kan være svært alvorlige ved lave Q-verdier, bør ESR = 1,0 benyttes ved Q-verdier <0.1, og ved dimensjonering av anleggstypene A, B og C, vist i Tabell 10 (Norges Geologiske Institutt, 2015).

Spennvidden eller veggghøyden for et berganlegg dividert med ESR gir "den ekvivalente dimensjonen" (Norges Geologiske Institutt, 2015):

$$\frac{\text{Spennvidde}}{\text{ESR} \cdot \text{høyde}} = \text{Ekvivalentdimensjon} \quad (5)$$

Bergsikringsdiagrammet har Q-verdiene langs den horisontale akse og ekvivalent dimensjon langs vestre vertikal akse. Sikringsdiagrammet er basert på gjennomsnittsbetraktninger fra analyserte undergrunnsprosjekter og angir anbefalte bolteavstander, boltelengder og tykkelse på sprøytebetong. Sikringsomfanget i diagrammet må betraktes som veiledende, da spesielle problemstillinger vil kreve en egen vurdering for å bestemme hvilken bergsikring som er nødvendig (Norges Geologiske Institutt (2015)).

Figur 13 viser at Q-systemet deler bergmasser inn i syv kategorier (A-G), der A er eksepsjonelt godt berg og G er eksepsjonelt dårlig berg. Anbefalte metoder for sikring er delt inn i 9 kategorier gitt i Figur 14.



Figur 13: Bergsikringsdiagram for dimensjonering av sikring i henhold til Q-systemet (Norges Geologiske Institutt, 2015)

Sikringskategorier

- ① Usikret eller spredt bolting
- ② Spredt bolting, **SB**
- ③ Systematisk bolting, fiberforsterket sprøytebetong, 5-6 cm, **B+Sfr**
- ④ Fiberforsterket sprøytebetong og bolting, 6-9 cm, **Sfr (E500)+B**
- ⑤ Fiberforsterket sprøytebetong og bolting, 9-12 cm, **Sfr (E700)+B**
- ⑥ Fiberforsterket sprøytebetong og bolting, 12-15 cm + forsterkede ribber med sprøytebetong og bolting, **Sfr (E700)+RRS I +B**
- ⑦ Fiberforsterket sprøytebetong >15 cm + forsterkede ribber med sprøytebetong og bolting, **Sfr (E1000)+RRS II+B**
- ⑧ Støpt betongforing, **CCA** eller **Sfr (E1000)+RRS III+B**
- ⑨ Spesiell vurdering

Boltavstand er hovedsaklig basert på Ø20 mm

E = Energiabsorpsjon i fiberforsterket sprøytebetong

ESR = Utgravingens sikringsgrad

Områder med prikkede linjer har ingen empiriske data

RRS - avstand relatert til Q-verdi

RRS I Si30/6 Ø16 - Ø20 (spennvidde 10m)
D40/6+2 Ø16-20 (spennvidde 20m)

RRS II Si35/6 Ø16-20 (spennvidde 5m)
D45/6+2 Ø16-20 (spennvidde 10m)
D55/6+4 Ø20 (spennvidde 20m)

RRS III D40/6+4 Ø16-20 (spennvidde 5m)
D55/6+4 Ø20 (spennvidde 10 m)
Spesiell vurdering (spennvidde 20 m)

Si30/6 = Enkelt lag med 6 armeringsjern, 30 cm tykkelse med sprøytebetong

D = Dobbelt lag med armeringsjern

Ø16 = Armering diameter er 16 mm

c/c = RSS avstand, senter - senter

Figur 14: Sikringskategorier og sikringsmetoder tilhørende bergsikringsdiagrammet, Figur 13 (Norges Geologiske Institutt, 2015)

3.3.8 Bruk av Q-systemet i Statens vegvesen

Det er angitt i håndbok N500, *Vegtunneler* at det skal utføres bergmasseklassifiseringer med bruk av Q-metoden i forundersøkelse (Statens vegvesen, 2020a). Håndbok N500 angir at geologisk kartlegging skal utføres for hele tunnelens lengde, og i hele tunnelprofilen. Bergarter, strukturer, sprekkegeometri, bruddsoners orientering og bredde, vannlekkasjer og spenningsforhold, samt eventuell leire, skal registreres, evalueres og vurderes (Statens vegvesen, 2020a).

I tillegg har håndbok N500 definert en egen tabell for sammenhengen mellom bergmasseklasser og sikringsklasser for permanent sikring (Statens vegvesen, 2020a):

| Bergmasse klasse | Bergforhold Q-verdi (sprengt berg) | Sikringsklasse Permanent sikring |
|------------------|---|---|
| A/B | Lite oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand > 1m. Q = 100 – 10 | Sikringsklasse I - Spredt bolting - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm |
| C | Moderat oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand 0,3 – 1 m Q = 10 – 4 | Sikringsklasse II - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm - Systematisk bolting c/c 2 m |
| D | Tett oppsprukket bergmasse eller lagdelt skifrig bergmasse. Midlere sprekkeavstand < 0,3 m. Q = 4 - 1 | Sikringsklasse III - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 100 mm - Systematisk bolting c/c 1,75 m |
| E | Svært dårlig bergmasse. Q = 1 - 0,2 ----- Q = 0,2 - 0,1 | Sikringsklasse IV - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm - Systematisk bolting, c/c 1,5 m ----- - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm - Systematisk bolting, c/c 1,5 m - Armerte sprøytebetongbuer. Buedimensjon E30/6 \varnothing 20 mm, c/c buer 2–3 m, Buene boltes systematisk, c/c bolt = 1,5 m, boltelengde 3–4 m - Sålestøp vurderes |
| F | Ekstremt dårlig bergmasse. Q = 0,1 - 0,01 | Sikringsklasse V - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150–250 mm - Systematisk bolting, c/c 1,0 – 1,5 m - Armerte sprøytebetongbuer Buedimensjon D60/6+4, \varnothing 20 mm, c/c buer 1,5– 2 m Buene boltes systematisk, c/c 1,0 m, boltelengde 3–6 m Doble buer kan erstattes med gitterbuer. - Armert sålestøp, pilhøyde min. 10 % av tunnelbredden |
| G | Eksepsjonelt dårlig bergmasse, stort sett løsmasse, Q < 0,01 | Sikringsklasse VI - Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt |

Figur 15: Dimensjonering av sikring i henhold til Q-systemet og håndbok N500, *Vegtunneler*. Figuren gjelder kun sikring i tunneler med utsprengt tverrsnitt T8,5-T12,5 (Statens vegvesen, 2020a)

3.4 RMR-systemet

The Rock Mass Rating System (RMR), tidligere kjent som "Geomechanics Classification" ble lansert av Bieniawski (1973). RMR-systemet ble, i likhet med Q-systemet, utviklet over flere år i takt med utviklingen til internasjonale standard-prosedyrer, samt at flere erfaringsdata fra ingeniørgeologiske prosjekter ble tilgjengelig (Bieniawski, 1989). Fordi det finnes flere versjoner av systemet, er det viktig å oppgi hvilken versjon av systemet som benyttes (Singh og Goel, 2011).

For å kunne kvantifisere bergmassegenskaper bruker RMR-systemet seks ulike parametere (Bieniawski, 1979):

1. Styrken til intakt bergart
2. RQD
3. Sprekkeavstand
4. Sprekkekarakter (ruhet, åpning, belegg osv.)
5. Grunnvannsforhold
6. Orientering for sprekker og diskontinuiteter

Den siste parameteren (parameter 6) ble først introdusert i 1979, og før dette ble det regnet at RMR-systemet hadde 5 parametere. I dag benyttes fremdeles RMR-systemet uten korrigering for sprekkeorienteringer i enkelte prosjekter, og som inngående parameter for andre klassifiseringssystemer, ofte omtalt som RMR_{basic} (Romana, 1985). Eksempelvis bruker Slope mass rating (SMR)-systemet, som introduseres i Avsnitt 4.2, RMR_{basic} som inngående parameter.

3.4.1 Styrken til intaktbergart

RMR-systemet bruker punktlaststyrke eller enaksial trykkfasthet til å estimere styrken til intakt bergartstyrke. Parameterverdi settes ut fra Tabell 11.

Tabell 11: Estimering av styrken til intakt bergmasse i RMR-systemet (Bieniawski, 1979; Bieniawski, 1984). (Modifisert og oversatt)

| Kvalitativ beskrivelse | UCS (MPa) | Point load index (MPa) | Rating |
|------------------------|-----------|------------------------|--------|
| Svært sterk | >250 | 8 | 15 |
| Veldig sterk | 100-250 | 4-8 | 12 |
| Sterk | 50-100 | 2-4 | 7 |
| Medium sterk | 25-50 | 1-2 | 4 |
| Svak | 5-25 | USC er foretrukket | 2 |
| Veldig svak | 1-5 | – | 1 |
| Ekstremt svak | <1 | – | 0 |

3.4.2 RQD

RQD og beregninger av RQD, er diskutert i Avsnitt 3.2. Parametersetting i RMR-systemet blir satt ut fra beregnede RQD-verdier og Tabell 12.

Tabell 12: Verdisetting av parameter i forhold til RQD i RMR-systemet (Bieniawski, 1979)(oversatt)

| Kvalitativ beskrivelse | RQD (%) | Rating |
|------------------------|---------|--------|
| Utmerket | 90-100 | 20 |
| God | 75-90 | 17 |
| Middels | 50-75 | 13 |
| Dårlig | 25-50 | 8 |
| Svært dårlig | <25 | 3 |

3.4.3 Sprekkeavstand

Som beskrevet i Avsnitt 2.2.2 har sprekkavstander stor innvirkning på bergmassens bergtekniske egenskaper og stabilitet. Parameterverdier satt for sprekkavstander er gitt i Tabell 13.

Tabell 13: Estimering og verdisetting i forhold til sprekkavstander i RMR-systemet (Bieniawski, 1979)(oversatt)

| Kvalitativ beskrivelse | Avstand (m) | Rating |
|------------------------|-------------|--------|
| Veldig bredt | >2 | 20 |
| bredt | 0.6 - 2 | 15 |
| Moderat | 0.2 - 0.6 | 10 |
| Nærme | 0.06 - 0.2 | 8 |
| Veldig Nærme | <0.06 | 5 |

3.4.4 Sprekkekarakter

Som tidligere nevnt i Avsnitt 2.2, har sprekkers ruhet, åpning, forvitring og eventuelle belegg stor påvirkning på stabilitet. I RMR-systemet blir sprekkarakter vurderet ut fra Tabell 14. For å lette parametersettingen kan Tabell 15 brukes, men da må mest ugunstige forhold, altså laveste verdi, brukes i beregninger.

Tabell 14: Estimering av sprekketilstand i RMR-systemet (Bieniawski, 1979)(oversatt)

| Beskrivelse | Sprekkeavstand (mm) | Rating |
|--|---------------------|--------|
| Veldig ru og uforvitret, bergveggen er innspent og diskontinuerlig, ingen separasjon | 0 | 30 |
| Ru og noe forvitret, noe overflateseparasjon <1mm | <1 | 25 |
| Noe ru og moderat forvitret til veldig forvitret, overflateseparasjon <1 mm | <1 | 20 |
| Glideplan på sprekkoverflaten, eller 1 - 5 mm tykk sprekkfylling med knust material, eller 1 - 5 mm bred kontinuerlig diskontinuitet | 1-5 | 10 |
| 5 mm tykk myk sprekkfylling med nedknust materiale, 5 mm bred kontinuerlig diskontinuitet | >5 | 0 |

Tabell 15: Estimering av verdi i forhold til sprekketilstand i RMR-systemet (Bieniawski, 1989)(oversatt)

| Parameter | Rater | | | | |
|--|-----------------|--------------------------|-----------------|---------------------------|------------------|
| Diskontinuitetslengder (utholdenhet/kontinuitet) | <1 m 6 | 1-3 m 4 | 3-10 m 2 | 10-20 m 1 | >20 m 0 |
| Separasjon | Ingen 6 | <0,1 mm 5 | 0,1-1,0 mm 4 | 1-5 mm 1 | >5 mm 0 |
| Ruhet til dikontinutetsflaten | Veldig ru 6 | Ru 5 | Noe ru 3 | Glatt 1 | Glideflate 0 |
| Sprekkfylling | Ingen 6 | Hardt fyll <5 mm 4 | >5 mm 2 | Myk fylling <5 mm 2 | >5 mm 0 |
| Forvitring av sprekkoverflater | Uforvitret 6 | Noe forvitret 5 | Moderat 3 | Veldig Forvitret 1 | Dekomponert 0 |

3.4.5 Grunnvannsførhold

Stabilitetspåvirkningen av vann er nærmere beskrevet i Avsnitt 2.2.4. Empiriske verdier for grunnvannspåvirkninger fastsettes ut fra Tabell 16.

Tabell 16: Rater for grunnvannspåvirkning i RMR-systemet (Bieniawski, 1979)(Modifisert og oversatt)

| Faktor | Ingen | <10 | 10-25 | 25-125 | >125 |
|--|-----------|--------|---------|-----------|----------|
| Tilslig av vann pr. 10 m tunnallengde (L/min) | Ingen | <10 | 10-25 | 25-125 | >125 |
| Forhold mellom sprekkevanntrykk og hovedspenninger | 0 | 0-0.1 | 0.1-0.2 | 0.2-0.5 | >0.5 |
| Generell beskrivelse | helt tørr | Fuktig | Våt | Dryppende | Flytende |
| Rate | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 |

3.4.6 Justeringer for sprekkeorienteringer

Hvordan sprekkeorienteringer kan påvirke stabilitet, enten ved å være stabiliserende eller destabiliserende, er presentert i Avsnitt 2.4. Kvantifisering av justeringsfaktoren for sprekkeorienteringer er satt ut fra Tabell 17.

Tabell 17: Parameterverdier for grunnvannspåvirkning i RMR-systemet (Bieniawski, 1979)(oversatt)

| Konstruksjonstype | Veldig gunstig | Gunstig | God | Ugunstig | Veldig ugunstig |
|-------------------|----------------|---------|-----|----------|-----------------|
| Tunneler | 0 | -2 | -5 | -10 | -12 |
| Fundamenter | 0 | -2 | -7 | -15 | -25 |
| Bergskjæringer | 0 | -5 | -25 | -50 | -60 |

3.4.7 Estimering av sikring i henhold til RMR-systemet

Når alle parameterne i RMR-systemet er kvantifisert, kan RMR-verdien finnes ved å summere alle parameterverdier. Bieniawski (1989) har definert fem bergklasser, med tilhørende RMR-verdier, og beskrivelser av bergmassekvalitet, vist i Tabell 18.

Tabell 18: Definerte bergmassekvaliteter for RMR-systemet (Bieniawski, 1989)(oversatt)

| Total RMR-verdi | 100-81 | 80-61 | 60-41 | 40-21 | <21 |
|-----------------|------------------|-----------|-------------------|-------------|--------------------|
| Klasse | I | II | III | IV | V |
| Beskrivelse | Veldig godt berg | Godt berg | Middels godt Berg | Dårlig berg | Veldig dårlig berg |

Ut fra de fem angivelsene for bergmassekvalitet, utviklet Bieniawski anbefalinger for sikring og sikringsomfang, basert på erfaring fra tidligere prosjekter. Sikringsanbefalinger er vist i Figur 16:

| Rock mass class | Excavation | Rock bolts (20 mm diameter, fully grouted) | Shotcrete | Steel sets |
|-----------------------------------|---|---|--|---|
| I - Very good rock RMR: 81-100 | Full face, 3 m advance. | Generally no support required except spot bolting. | | |
| II - Good rock RMR: 61-80 | Full face , 1-1.5 m advance. Complete support 20 m from face. | Locally, bolts in crown 3 m long, spaced 2.5 m with occasional wire mesh. | 50 mm in crown where required. | None. |
| III - Fair rock RMR: 41-60 | Top heading and bench 1.5-3 m advance in top heading. Commence support after each blast. Complete support 10 m from face. | Systematic bolts 4 m long, spaced 1.5 - 2 m in crown and walls with wire mesh in crown. | 50-100 mm in crown and 30 mm in sides. | None. |
| IV - Poor rock RMR: 21-40 | Top heading and bench 1.0-1.5 m advance in top heading. Install support concurrently with excavation, 10 m from face. | Systematic bolts 4-5 m long, spaced 1-1.5 m in crown and walls with wire mesh. | 100-150 mm in crown and 100 mm in sides. | Light to medium ribs spaced 1.5 m where required. |
| V – Very poor rock RMR: < 20 | Multiple drifts 0.5-1.5 m advance in top heading. Install support concurrently with excavation. Shotcrete as soon as possible after blasting. | Systematic bolts 5-6 m long, spaced 1-1.5 m in crown and walls with wire mesh. Bolt invert. | 150-200 mm in crown, 150 mm in sides, and 50 mm on face. | Medium to heavy ribs spaced 0.75 m with steel lagging and forepoling if required. Close invert. |

Figur 16: Anbefalinger for sikring og sikringsmetoder for RMR-systemet (1989 versjon), basert på tidligere erfaringer (Hoek, 2006)

3.5 Fordeler og begrensninger ved bruk av bergmasseklassifiseringssystemer

Det har lenge vært vurdert hvor nøyaktig bruken av bergmasseklassifisering egentlig er, hvilke parametere som inngår, og om parameterne er vektet riktig i forhold til de aktuelle problemstillinger (Palmstrøm *mfl.*, 2002; Palmstrom og Broch, 2006). Palmstrøm *mfl.* (2002) tok opp temaet på norsk bergsprengingskonferanse i 2002. En av hovedbekymringene den gang var inntrykket av at bergmasseklassifikasjonssystemer, eksempelvis Q-metoden, kunne brukes for alle bergforhold, og til tider ble brukt som et generelt klassifiseringssystem, fremfor sin opprinnelige anvendelse. Hoek (2006) har også gjort denne observasjonen, og skriver at bergmasseklassifiseringer er hensiktsmessige for deres opprinnelige anvendelse og bruk innenfor lignende prosjekter, men at det må utvises betydelig forsiktighet når det gjelder å benytte bergmasseklassifiseringer til andre bergtekniske problemstillinger utenfor sitt formål. Palmstrøm *mfl.* (2002) skriver at lanseringen av Q-systemet hadde dårlige beskrivelser av systemets begrensninger og forutsetninger for å kunne benytte det. Palmstrøm *mfl.* (2002) og Palmstrom og Broch (2006) konkluderte med at bruk av klassifikasjonssystemer krever god ingeniørgeologisk forståelse, samt innsikt i klassifiseringssystemets oppbygging, de tilhørende begrensninger, og forutsetningene som finnes for det enkelte klassifiseringssystemet.

Palmstøm og Stille (2010) skriver at fordi bergmasseklassifiseringer er basert på gjennomsnittsverdier av sikringsmidler, avstander og geologiske forhold, kan klassifiseringssystemer aldri erstatte, eller nøyaktig angi, de spesifikke forholdene i et prosjekt. Det må derfor tas hensyn til at angitte sikringsmidler i et sikringsdiagram har spredning i erfaringsdata som har definert sikringsdiagrammet. Et viktig poeng er at klassifikasjonssystemer kan beskrive totalstabilitet for et ingeniørgeologisk prosjekt eller problemstilling, men de kan ikke brukes direkte i uttalelser om detaljstabilitet (Nilsen *mfl.*, 2011). Følgelig kan ikke klassifiseringssystemer angi nøyaktig utforming av endelige sikringsmengder og bolteplasseringer, men heller gi grunnlag for anbefalinger om hva som kan forventes i prosjekteringsfase, samt fungere som god dokumentasjon dersom det i etterkant av prosjekter blir tvister mellom f.eks. entreprenør og byggherre om forventede og reelle forhold (Palmstrøm *mfl.*, 2002).

Bergmasseklassifiseringer sies å være mest nøyaktig når de gjøres i umiddelbar nærhet til anleggsområdet. Større avvik forventes eksempelvis når det kartlegges i dagen på blotninger, når det egentlig skal estimeres parametere for bergmassekvaliteter langt nede i grunnen (Palmstrøm *mfl.*, 2002). Nøyaktigheten til verdier for bergmassekvalitet øker når kartlegging gjøres langs prosjekt-traseen (Norges Geologiske Institutt, 2015). Verdier fra feltkartlegging og borehull vil ofte være begrenset med en større usikkerhet knyttet til bergmassen og bergmassekvaliteten på stoff (Norges Geologiske Institutt, 2015).

Hoek (2006) tar opp viktigheten av å ikke kun registrere parameterverdier når en er ute i felt, da påliteligheten og etterprøvbareheten for prosjektet vil reduseres. Hoek (2006) foreslår at kartlegging utføres med en metodikk slik at resultater fra kartleggingen kan settes inn i hvilket som helst bergmasseklassifiseringssystem. Ved å bruke Hoek (2006) sin metodikk øker nøyaktigheten for feltkartlegging, samtidig som påvirkning fra subjektivitet minker. Bieniawski (1984) foreslår i tillegg at det bør kartlegges med minst to systemer, eksempelvis både Q-systemet og RMR-metoden, for å hindre subjektivitet og fremme nøyaktighet.

4 Bergmasseklassifiseringer for bergskjæringer

4.1 Tilpasning av bergmasseklassifisering og parametere for bergskjæringer

Pantelidis (2009) regnet Bienawskis oppdatering av RMR-systemet i 1979 som det første systemet som ble introdusert for bergskjæringer. I Bieniawski (1979) sitt arbeid ble det lagt til en justeringsfaktor for sprekkesett-orienteringer i tillegg til de fem allerede eksisterende parametrene som inngikk i systemet. Siden den tid har det blitt lansert flere bergmasseklassifiseringssystemer for bergskjæringer (Pantelidis, 2009).

Flere bergmasseklassifiseringer, originalt utformet for tunneler og bergrom, har vært forsøkt brukt for bergskjæringer (eksempelvis Q-metoden og RMR-systemet), eller er blitt modifisert slik at de passer for bergskjæringer (eksempelvis SMR og Q-slope) (Pantelidis, 2009). På grunn av dette er flere av parametrene som inngår i dagens klassifikasjonssystemer for bergskjæringer "arvet" fra tidligere klassifikasjonssystemer, originalt beregnet for undergrunnskonstruksjoner (Pantelidis, 2009). Pantelidis (2009) tar for seg denne diskusjonen og skriver deriblant at flere av parametrene som inngår i bergmasseklassifiseringer, enten ikke er passende for bergskjæringer, eller er vektet feil i forhold til stabilitetsutfordringer i forbindelse med bergskjæringer. Blant parametrene Pantelidis (2009) tar for seg, er intakt bergartstyrke Uniaxial compressive strength (UCS)), RQD og grunnvannsinfiltrasjon.

4.1.1 Intakt bergartstyrke

Estimat og målinger av bergartstyrke er mye brukt i bergmasseklassifikasjonssystemer for å estimere intakt bergartstyrke og spenninger i grunnen (Pantelidis, 2009). Når bergrom utformes i grunnen, vil det skje en endring av spenningsfordelingen. Spenningsfordelingen er avhengig av intakt bergartstyrke, som kan indikere hvordan spenninger vil fordele seg rundt et bergrom eller en tunnelåpning (Li, 2017). Omfordelingen av spenninger i forbindelse med tunneler kan danne et omhyllingstrykk som øker bergets bærekapasitet. Følgelig regnes informasjon om intakt bergartstyrke og spenninger som kritisk informasjon i mange ingeniørgeologiske prosjekter (Li, 2017).

Pantelidis (2009) argumenterer for at forvitring og erosjon av bergskjæringsoverflaten har større innvirkning på stabilitet enn intakt bergartstyrke. Begrunnelsen er at sprekker som regel allerede er åpne, og at berget ikke vil være selv bærende på samme måte som en tunnel, som opplever spenninger i 3 dimensjoner. Pantelidis (2009) skriver at stabilitet i bergskjæringer heller er avhengig av bergkontakten i sprekker og friksjonsmotstand. Bergkontakten vil være mer påvirket av vær, vind og overflateforvitring enn selve bergmassestyrken til løse blokker, samt hvordan bergmasseforhold og spenninger er lengre inn i fjellet (Pantelidis, 2009). Pantelidis (2009) konkluderer med at det heller bør benyttes intakt styrke til diskontinuitets-overflater i bergmasseklassifiseringer for bergskjæringer.

4.1.2 Tilpasning av RQD-verdi

I utgangspunktet skal det i RQD-verdier bare tas med naturlige sprekker i beregninger. For en tunnel eller bergskjæring vil alle sprekker, uansett opprinnelse, ha en viss betydning for endelig stabilitet. Sprengningsriss vil vanligvis opptre nærme overflaten til bergskjæringer. For enkeltblokker og utfall fra bergskjæringer vil sprengningsriss ha betydning (Norges Geologiske Institutt, 2015; Pantelidis, 2009). Pantelidis (2009) skriver at det er vanskelig å skille mellom naturlige sprekker og sprekker som er dannet ved boring og uttak av borkjernen. Følgelig kan RQD-verdier ofte bli lavere enn den egentlige oppsprekningen, da naturlige sprekker fort kan neglisjeres i beregninger (Pantelidis, 2009).

Pantelidis (2009) skrev at RQD ikke gir informasjon for kjernebiter mindre enn 0,1 m. Hvorvidt materialet er "jordaktig" eller en hard bergart, har stor påvirkning på stabiliteten og stabilitetsberegninger. Spesielt med tanke på forvitring og hvordan diskontinuiteter vil påvirkes av forvitring i dagen (Pantelidis, 2009). I tillegg påpeker Pantelidis (2009) at bruk av RQD i tillegg til sprekkeavstand, fører til en dobbelvektning av bergmassens oppsprekking, som igjen påvirker den endelige raten som angir bergmassekvalitet.

4.1.3 Grunnvann og grunnsvannsinnsig

Pantelidis (2009) argumenterer for at vann og vannproblematikk, diskutert i Avsnittene 2.2.4 og 2.2.8, har større påvirkning på stabilitet og stabilitetsutfordringer enn det dagens klassifiseringssystemer tar hensyn til. Pantelidis (2009) skriver også at effekten av grunnvann og overflatevann er tilnærmet neglisjert i klassifiseringssystemer utviklet for tunnel og bergrom. Pantelidis (2009) tar også for seg hvordan enkelte klassifiseringssystemer som SMR, GSI, SPCC og FRHI (Tabell 3) helt eller delvis har sett bort fra vann som inngående parameter.

Pantelidis (2009) påpeker hvordan vanninnsig observert på bergskjæringsoverflater ikke nødvendigvis direkte kan relateres til vanntrykkoppbygging i sprekker. For en lite permeabel bergmasse kan det bygge seg opp et høyere vanntrykk i sprekker enn det vil gjøre i en bergmasse med høy permeabilitet, der vannet renner gjennom bergarten uten å danne trykk. Pantelidis (2009) tar videre for seg hvordan vann som parameter til nå hovedsakelig handler om tilstedeværelsen av vann, uten at det er tatt hensyn til hvordan vann danner hydrostatisk trykk som kan føre til utvasking av mineral, utglidning eller utvelting.

Barton og Bar (2015) har også omtalt dette, og skrev i tillegg at vannparametere burde være tilpasset miljøet og klimaet bergskjæringen befinner seg i (f.eks. ørken, kalde klima, tropisk klima osv.), siden klimamet kan medføre ulike triggermekanismer. Eksempler på dette er frostspreng og erosive intense nedbørsbyger. Å ta hensyn til det stedlige klima er spesielt viktig med tanke på at bergskjæringene "*står åpent for alltid*" (Barton og Bar, 2015).

4.1.4 Driftsmetode

Som diskutert i Avsnitt 2.2.7, har sprengning stor påvirkning på stabilitet og det endelige sikringsbehovet. Flere bergmasseklassifiseringssystemer som SMR, CSMR, FHRI og VRFSR (se Tabell 3), har inkludert driftsmetode som faktor i beregninger for bergmassekvalitet. Pantelidis (2009) nevner hvordan dette kan være uheldig, da man ikke nødvendigvis vet eksakt hvilket sprengningsresultat en vil ha under drift. Pantelidis (2009) skriver at det å ta hensyn til et godt sprengningsarbeid, før arbeidet er utført, fører til verdier som ikke nødvendigvis blir representative i ettertid.

4.1.5 Tidligere hendelser og vurdering av mulige bruddmekanismer

Pantelidis (2009) skriver at før enhver bergmasseklassifisering utføres, burde analyser for hvilket stabilitetsproblem (planutglidning, kileutglidning eller utvelting) som er aktuelt, utføres. Studier av tidligere skred- og utfallshendelser har også stor verdi når det skal vurderes ytelse og kvalitet av bergmasser i samme område. Derimot er ikke alltid slik informasjon tilgjengelig (Pantelidis, 2009).

4.2 Slope Mass Rating (SMR)

For å evaluere stabilitet for skråninger og bergskjæringer innførte Romana (1985) klassifikasjonssystemet SMR. SMR ble utviklet fra RMR-systemet (se Avsnitt 3.4) ved å legge til justeringsfaktorer (F_1, F_2, F_3) for sprekkers orientering i forhold til bergskjæringen, med hensyn til mulige bruddmekanismer (Romana, 1985). I tillegg ble det lagt til en faktor for driftsmetode eller resultat av driftsmetode ved utbygging (F_4), da dette har påvirkning på stabilitet som omtalt i Avsnitt 2.2.7. SMR-verdi beregnes ut fra Likning (6) (Romana, 1985).

$$SMR = RMR_{basic} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4 \quad (6)$$

der

RMR_{basic} er utregnet RMR-verdi uten hensyn til sprekkorientering, i henhold til Avsnitt 3.4

F_1 er faktor for parallelliteten mellom sprekker og bergskjæringens strøk

F_2 er faktor for sprekkers fall med hensyn til planutglidninger

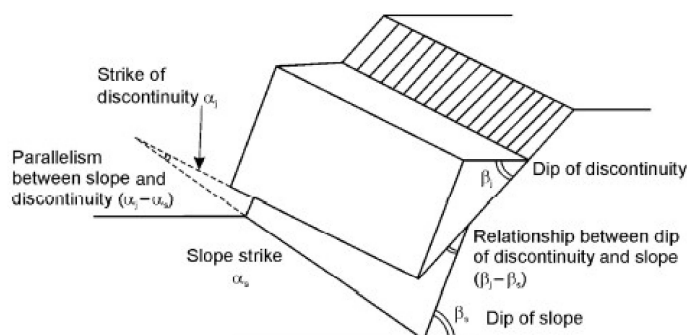
F_3 er faktor for sprekkers fall i forhold til bergskjæringens fall

F_4 er korreksjonsfaktor for driftsmetode under utbygging, eller resultat av utbygging

Faktor F_1 er avhengig av parallelliteten mellom sprekkers strøk (α_s) og bergskjæringens strøk (α_j), vist i Figur 17 (Romana, 1985). Antallet grader mellom strøkene ($\alpha_s - \alpha_j$) og Tabell 20, bestemmer verdien til F_1 . F_1 -verdien settes lik 0,15 når vinkel mellom strøkene for kritisk sprekkplan og bergoverflaten er mer enn 30° og sjansen for utglidninger er "veldig lav". Verdien settes lik 1.0 når sprekker og bergskjæringsoverflaten er nærmest parallelle (Romana, 1985).

SMR-verdier ble først bestemt empirisk ut fra Tabell 20. Senere har Ramona *mfl.* (2003) foreslått at verdier for F_1 tilnærmet følger forholdet:

$$F_1 = (1 - \sin|\alpha_s - \alpha_j|)^2 \quad (7)$$



Figur 17: Oversikt over forholdet til parameterne β, α i et tilfelle med planutglidning (Singh og Goel, 2011).

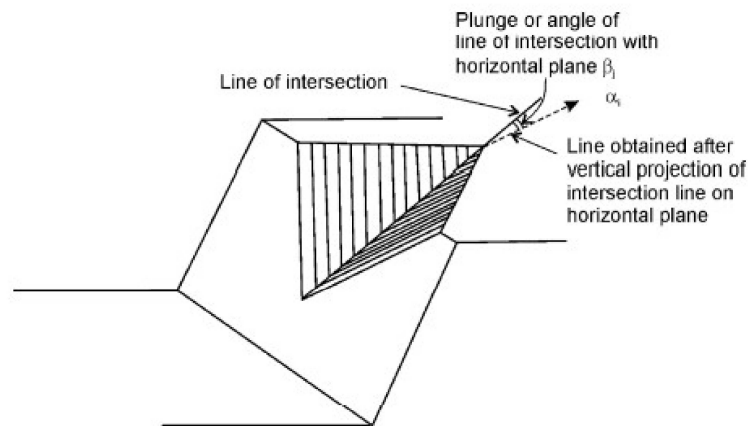
F_2 referer til fallvinkelen til kritiske sprekkese (β_j), med hensyn til planutglidninger, vist i Figur 17 (Romana, 1985). Empirisk verdi settes ut fra Tabell 20. Verdien for F_2 er 0.15 når fallvinkelen (β_j) for et kritisk sprekkese er mindre enn 20° og 1.0 når kritiske sprekkese har fallvinkel større enn 45° . Ved utfallsproblematikk settes F_2 lik 1.

Ramona *mfl.* (2003) har foreslått at verdien for F_2 tilnærmet følger forholdet:

$$F_2 = \tan^2(\beta_j) \quad (8)$$

F_3 referer til forholdet mellom bergskjæringens fall (β_s) og fallet til kritisk sprekkese (β_j) (Romana, 1985). De geometiske betingelsene for planutglidninger (presentert i Avsnitt 2.4.1) sier at kritiske sprekkese må utgå på bergskjæringsoverflaten for at planutglidninger skal være mulig. Ved å vurdere forholdet $\beta_j - \beta_s$, refererer F_3 til hvorvidt sprekkene vises i dagen på bergskjæringsoverflaten (Romana, 1985). Forholdene beskrives som "middels" når fallet for bergskjæringsoverflaten og kritiske sprekker er parallelle. Dersom bergskjæringen heller 10° mer enn kritisk sprekkese, blir forholdene referert til som "veldig ugunstige". I forbindelse med utvelting er forholdene avhengig av summen av fallet til kritisk sprekkese og bergskjæring ($\beta_j + \beta_s$) (Romana, 1985).

Romana (1985) brukte i hovedsak planutglidninger og utvelting som bruddmekanismer i SMR-analyser. Kileutglidninger må derfor betraktes som et spesielt fenomen, hvor hver bruddflate analyseres, og den minst gunstige flaten benyttes i beregninger. Figur 18 viser en oversikt over gitte forhold og parametere. I tilfeller hvor kileutglidninger er mulig, bør fallet og fallretningen til skjæringslinjen, dannet av bergkilens sprekkeplan (β_i og α_i) betraktes som β_j and α_j . Altså at $\alpha_i = \alpha_j$ og $\beta_i = \beta_j$ der kileutglidning er sannsynlig.



Figur 18: Oversikt over parameterne β og α i forhold til kileutglidning og bergskjæringsoverflatens orientering (Singh og Goel, 2011)

F_4 er en justeringsfaktor som tar hensyn til valg av drivemetode, eller resultat av drift og sprengning (Romana, 1985). Vurdering av F_4 inkluderer naturlige bergskjæringer, eller bergskjæringer drevet med pre-splitt, god sprengning, normal sprengning, dårlig sprengning eller mekanisk utgravning. Tabell 19 viser en oversikt over de ulike driftsmetodene og tilhørende verdier for F_4 .

Tabell 19: Faktorverdier for drivemetode (F_4) i SMR-systemet (Romana, 1985)(oversatt)

| Driftsmetode | Verdi F_4 |
|---|-------------|
| Naturlig bergskjæring | +15 |
| Pre-splittning | +10 |
| God utsprengning | +8 |
| Normal sprengning eller mekanisk utskjæring | 0 |
| Dårlig sprengning | -8 |

Tabell 20: Estimering av justeringsfaktorene F_1, F_2 og F_3 med hensyn på forholdet mellom sprekke- og bergskjæringsorientering i henhold til SMR-systemet (oversatt) (Romana, 1985)

| Tilfeller av utglidninger | Veldig gunstig | Gunstig | Middels | Ugunstig | Veldig ugunstig |
|---------------------------------------|----------------|----------|--------------|----------|-----------------|
| P $ \alpha_j - \alpha_s $ | $>30^\circ$ | 30-20° | 20-10° | 10-5° | $<5^\circ$ |
| T $ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $ | | | | | |
| W $ \alpha_j - \alpha_s $ | | | | | |
| P/W/T F_1 | 0.15 | 0.40 | 0.70 | 0.85 | 1.00 |
| P $ \beta_j $ | $<20^\circ$ | 20-30° | 30-35° | 35-45° | $>45^\circ$ |
| W $ \beta_i $ | | | | | |
| P/W F_2 | 0.15 | 0.40 | 0.70 | 0.85 | 1.00 |
| T F_2 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| P $ \beta_j - \beta_s $ | $>10^\circ$ | 10-0° | 0° | 0-(-10°) | $<-10^\circ$ |
| W $ \beta_i - \beta_s $ | | | | | |
| T $ \beta_j + \beta_s $ | $<110^\circ$ | 110-120° | $>120^\circ$ | - | - |
| P/W/T F_3 | 0 | -6 | -25 | -50 | -60 |

4.2.1 Stabilitetsklasser for SMR

I noen tilfeller vil SMR-verdien være høyere enn RMR-verdien for samme kartlagte skjæring. Dette fordi SMR tar hensyn til sprekkeorienteringer og bruddmekanismer i stabilitetsberegninger (Romana, 1985). Eksempelvis vil parameter F_4 legge til verdien 15 for naturlige bergskjæringer, selv om det finnes ugunstige sprekkeorienteringer i bergskjæringen (Singh og Goel, 2011).

Romana (1985) knyttet 5 ulike bergklasser til de forskjellige SMR-verdiene, vist i Tabell 21. Bergskjæringer med SMR-verdier <20 er beskrevet til å kunne få stabilitetsproblemer veldig raskt etter utbygging (Romana, 1985). Bergskjæringer må sikres ut fra akseptable sikkerhetskrav, og følgelig bør det utføres detaljstudier og beregninger for områder hvor SMR-verdien er lavere enn 40 (Singh og Goel, 2011). Dersom det ikke er mulig å utføre sikringstiltak for bergskjæringen, bør bergskjæringens helning endres slik at SMR-verdien øker til over 60 (Singh og Goel, 2011).

Tabell 21: Stabilitetsklasser for SMR. (oversatt) (Romana, 1985)

| Klasse nr. | V | IV | III | II | I |
|---------------------------------------|---|--------------------------------------|--|-----------------------|----------------|
| SMR-verdi | 0-20 | 21-40 | 41-60 | 61-80 | 81-100 |
| Bergmasse- beskrivelse | Veldig dårlig | Dårlig | Delvis stabil | Stabil | Helt stabil |
| Bruddmekanisme | Stort planart brudd, eller jord-aktig eller sirkulært brudd | Planar, eller kileutglidninger | Planar utglidning langs noen sprekker og mange kiler | Noen blokk -utfall | Ingen brudd |
| Sannsynlighet for utglidning/brudd | 0.9 | 0.6 | 0.4 | 0.2 | 0 |

4.2.2 Sikring i henhold til SMR

Både detaljstudier og god ingeniørsans er nødvendig for å kunne utføre sikring av bergskjæringer (Singh og Goel, 2011). Bergklassifiseringene kan bare uttrykke hvordan bergskjæringer for lignende tilfeller er sikret, innenfor de gitte sikringsklassene. Grovt sett sikrer SMR de ulike bergklassene i henhold til Tabell 23 (Singh og Goel, 2011):

Tabell 22: Stabilitetsklasser for SMR. (Modifisert og oversatt) (Singh og Goel, 2011)

| SMR-verdi | Sikringstiltak |
|-----------|-----------------------------------|
| 65-100 | Ingen sikring, rensk |
| 30-75 | Bolting og forankring |
| 20-60 | Sprøytebetong, betong |
| 10-30 | Betongvegg, re-design av skjæring |

Videre er detaljert informasjon om sikring, utformet av Romana (1985) i henhold til SMR-systemet, gitt i Tabell 23.

Tabell 23: Sikring i forhold til stabilitetsklasser for SMR. Merk: Mindre populære sikringstiltak er gitt i parentes. (Modifisert og oversatt) (Romana, 1985)

| SMR-klasse | SMR-verdi | Foreslått sikring |
|------------|-----------|---|
| Ia | 90-100 | Ingen sikring |
| Ib | 80-90 | Ingen sikring, rensk kan være nødvendig |
| IIa | 71-80 | (Ingen, tilpasset fanggrøft eller sikringsnett), spredt bolting |
| IIb | 61-70 | (tilpasset fanggrøft, eller sikringsnett), spredt eller systematisk bolting, sporadisk sikring med sprøytebetong |
| IIIa | 51-60 | (tilpasset fanggrøft og/eller sikringsnett), spredt eller systematisk bolting, sporadisk sikring med sprøytebetong |
| IIIb | 41-50 | (tilpasset fanggrøft og/eller sikringsnett), systematisk bolting/forankring, systematisk sikring, bruk av sprøytebetong støttemur eller forstøpning |
| IVa | 31-40 | Anker, systematisk sprøytebetong, støttemur og/eller betongmur (eller endring av skjæringsutforming), drenering |
| IVb | 21-30 | systematisk forsterket sprøytebetong, støttemur og/eller betongmur, redesign av skjæring, dyp drenering |
| Va | 11-20 | Støttemur eller forankret vegg, redesign av skjæring |

4.3 Q-slope

Q-slope er utviklet som et utspring av Q-systemet, beskrevet i Avsnitt 3.3. Q-slope ble utviklet slik at ingeniørgeologer og bergingeniører kan vurdere stabiliteten for utsprengte bergskjæringer og skrånninger i felt, samt utføre justeringer for bergskjæringshelning etter hvert som bergmassetilstander blir synlige under bygging og avdekking (Barton og Bar, 2015). Barton og Bar (2015) mener at det nærmest er umulig å gjøre stabilitetsberegninger ved bruk analytiske metoder, som f.eks. kinematisk analyse, likevektsberegninger og partialfaktor-metoder i felt. Utgravning og sprengning av bergskjæringer er som regel en hurtig prosess, noe som gjør det vanskelig å benytte analytiske vurderinger, da de krever lengre tid enn anleggsarbeidet (Barton og Bar, 2015). Barton og Bar (2017) skriver at empiriske metoder sjeldnere er brukt for bergskjæringer, og at enten kinematisk analyse, numerisk modellering eller ingen modellering blir brukt i stedet. Som følge av dette blir ofte bergskjæringshelningen bestemt med mekanisk utstyr, eller av utstyrsoperatører, fremfor ingeniører (Barton og Bar, 2017). Flere metoder er utviklet for å beregne stabilitet for bergskjæringer, men ingen av dem gir direkte anbefalinger for passende, langtidsstabile bergskjæringer hvor bergsikring bevisst er redusert, som følge av skjærings utforming. Usikrede bergskjæringer er i dag svært dominerende i flere prosjekter innenfor f.eks. veg og åpen gruvedrift (Barton og Bar, 2017).

Q-slope benytter de samme 6 parameterne (RQD , J_n , J_r , J_a , J_w og SRF) som Q-systemet, med enkelte tilpasninger for bergskjæringer (Barton og Bar, 2015). De fire første parameterne i Q-slope blir empirisk fastsatt, på samme måte som i det originale Q-systemet beskrevet av Barton *mfl.* (1974). Parameterne er beskrevet i detalj i Avsnitt 3.3, og tilhørende verdier blir fastsatt ut fra Tabellene 4, 6 og 7.

Formelen for Q-slope (Barton og Bar, 2015):

$$Q_{slope} = \frac{RQD}{J_n} \cdot \left(\frac{J_r}{J_a}\right)_0 \cdot \frac{J_{wice}}{SRF_{slope}} \quad (9)$$

der

RQD = Oppsprekningsfaktor (Rock Quality Designation)

J_n = Tall for sprekkesett

J_r = Sprekkeruhetstall

J_a = Tall for sprekkefylling

J_{wice} = Vann og miljøtilstand

SRF_{slope} = Spenningsfaktor (Stress Reduction Factor) for bergskjæringer

og

$\frac{RQD}{J_n}$ = størrelsen på blokker

$\frac{J_r}{J_a}$ = minst gunstige skjærstyrke. Dersom kileutglidning er mulighet skal $\left(\frac{J_r}{J_a}\right)_1 \cdot \left(\frac{J_r}{J_a}\right)_2$ brukes i stedet

$\left(\frac{J_{wice}}{SRF_{slope}}\right)$ = eksterne faktorer og spenninger

Ved fare for kileutglidninger er det i Q-slope muligheter for å modifisere friksjonsreduksjonsparet (J_r/J_a) med en O-faktor, for å ta hensyn til de individuelle sprekkeplanene (Barton og Bar, 2015). Diskontinuitetsorienteringsfaktoren (O-faktor) er beskrevet i Tabell 24. Orienteringsfaktor (*sett A*) fastsettes for det mest ugunstige sprekkesettet i bergkilen. Dersom det er nødvendig skal orienteringsfaktor (*sett B*) fastsettes for det nest mest ugunstige sprekkesettet hvor det er fare for kileutglidninger (Barton og Bar, 2015). Videre skal friksjonsreduksjonsparet (J_r/J_a) ganges med *sett A* og *sett B*, vist i Likning (10).

Tabell 24: Verdier for diskontinuitetsorienteringsfaktor (O-faktor) (Barton og Bar, 2015)(oversatt)

| O-faktor beskrivelse | <i>Sett A</i> | <i>Sett B</i> |
|--------------------------|---------------|---------------|
| Veldig gunstig orientert | 2.0 | 1.5 |
| Ganske gunstig | 1.0 | 1.0 |
| Ugunstig | 0.75 | 0.9 |
| Veldig ugunstig | 0.5 | 0.8 |
| Fører til utfall | | |
| dersom usikret | 0.25 | 0.5 |

Formel for modifisering av friksjonsreduksjonsparet (J_r/J_a):

$$\left(\frac{J_r}{J_a}\right)_0 = \left(\frac{J_r}{J_a}\right) \cdot SettA \cdot \left(\frac{J_r}{J_a}\right) \cdot SettB \quad (10)$$

der

$\left(\frac{J_r}{J_a}\right)_0$ = Totalen som inngår i Likning (9)

$\left(\frac{J_r}{J_a}\right) \cdot sett A$ = Verdier for den mest ugunstige sprekkene i en bergkile

$\left(\frac{J_r}{J_a}\right) \cdot sett B$ = Verdier for nest mest ugunstige sprekkesett i bergkilen

Parameteren J_w fra det originale Q-systemet er i Q-slope utviklet til J_{wice} , som tar hensyn til vannproblematikk i åpent terreng (Barton og Bar, 2015). Siden bergskjæringer i dagen utsettes for ulikt miljø og vanntilstand, i motsetning til tunneler og bergrom (omtalt i Avsnitt 4.1), er faktoren J_{wice} utformet for å være mer robust enn den originale J_w i Q-systemet (Barton og Bar, 2016). Effekten av miljø og vann har en helt annen langtidspåvirkning på en bergskjæring. Fremtidige klimaendringer vil også påvirke bergskjæringer, hvor bergrom ikke vil ha samme miljøendring (Barton og Bar, 2016). Tabell 25 viser ratene for parameteren J_{wice} , inkludert justeringer for sikringstiltak og drenering.

Parameteren J_{wice} tar hensyn til miljøet hvor skjæringen er konstruert. J_{wice} bør settes ut fra det mest ugunstige og dynamiske miljøforholdet skjæringen opplever (Barton og Bar, 2017). Norge har fuktig klima og kalde vintre, og skred inntreffer vanligvis i forbindelse med tilførsel av vann eller fryse- og tinesykluser (NGI, 2014). Det mest dynamiske miljøforholdet for Norge er dermed frostspreng, og parameterne bør settes ut fra kolonnen for frostspreng i Tabell 25.

Tabell 25: Verdier for miljø og geologisk tilstand i Q-slope (Barton og Bar, 2015)(oversatt)

| J_{wice} | Ørkenmiljø | Vått miljø | Tropiske stormer | Frostspreng |
|---|--------------------------------|------------|------------------|-------------|
| Stabil struktur; stabilt berg | 1.0 | 0.7 | 0.5 | 0.9 |
| Stabil struktur; inkompetent berg | 0.7 | 0.6 | 0.3 | 0.5 |
| Ustabil struktur; kompetent berg | 0.8 | 0.5 | 0.1 | 0.3 |
| Ustabil struktur; inkompetent berg | 0.5 | 0.3 | 0.05 | 0.2 |
| Merk: | | | | |
| Når drenering er installert skal | $J_{wice} \cdot 1.5$ | | | |
| Når det benyttes sikring skal | $J_{wice} \cdot 1.3$ | | | |
| Når drenering og sikring er installert skal | $J_{wice} \cdot 1.5 \cdot 1.3$ | | | |

Spenningsfaktoren SRF_{slope} fastsettes ut fra den mest ugunstige verdien av SRF_a , SRF_b eller SRF_c . Det vil si den største parameterverdien fra Tabellene 26 til 28. SRF_a (Tabell 26) beskriver spenningsfaktoren for bergskjæringsoverflatens fysiske tilstand (nå eller forventet over tid) grunnet vann- og erosjonspåvirkning (Barton og Bar, 2016).

Tabell 26: Spenningsfaktor, fysisk tilstand (SRF_a) (Barton og Bar, 2015)(oversatt)

| Beskrivelse | SRF_a | |
|-------------|--|-----|
| A | Noe utløsning grunnet utforming, forstyrrelse fra sprengning eller utgravning | 2.5 |
| B | Løse blokker, tegn på tensjonsprekker og skjærsprekker, mottakelig for forvitring, mye forstyrrelse fra sprengning | 5 |
| C | Som B, men sterk påvirkning av forvitring | 10 |
| D | Skjæringen er i avansert stadium av erosjon, og løs på grunn av periodisk erosjon av vann og/eller frostspreng | 15 |
| E | Resthelning og signifikante mengder transporterte materialer nedstrøms | 20 |

SRF_b (Tabell 27) beskriver spenningsfaktoren for ugunstige spenningsområder i bergskjæringen. SRF_b blir mer kritisk for svake, lavstyrke-bergarter som f.eks. sterkt forvitrede bergarter eller kjemisk forvitrede bergarter (sapolitiske bergarter) (Barton og Bar, 2017). SRF_b blir også mer kritisk for økende spenningsforhold og dermed også høyden på bergskjæringen (Barton og Bar, 2016). Maksimal hovedspenning (σ_1) kan estimeres ut fra in-situ spenning, materialtyngde og bergskjæringsgeometri (Barton og Bar, 2017).

Tabell 27: Spenningsfaktor som angir spenning-styrkeforhold (SRF_b) (Barton og Bar, 2015)(oversatt)

| Beskrivelse | $\sigma_c/(\sigma_1^a)$ | | SRF_b |
|-------------|---------------------------------------|--------|---------|
| E | Moderate spenning-styrke-forhold | 50-200 | 2.5-1 |
| G | Høyt spenning-styrke-forhold | 10-50 | 5-2.5 |
| H | Lokalt intakt bergbrudd | 5-10 | 10-5 |
| J | Knusing og plastisk deformasjon | 2.5-5 | 15-10 |
| K | Plastisk flyt av stekkmynet materiale | 1-2.5 | 20-15 |

SRF_c , fra Tabell 28, beskriver spenningsfaktoren for store diskontinuiteter som forkastninger, svakhetssoner og sprekkesvermer, som kan inneholde leirematerial (Barton og Bar, 2016). Store diskontinuiteter kan ha lik orientering som sprekkesett eller foliasjonsplan, men er typisk uavhengige strukturer med betydelig annerledes geometriske egenskaper enn sprekkesett og foliasjonsplan (Barton og Bar, 2017).

Tabell 28: spenningsfaktor- store diskontinuiteter (SRF_c) (Barton og Bar, 2015)(oversatt)

| Beskrivelse | Gunstig | Ugunstig | Veldig ugunstig ugunstig | Fører til utfall dersom usikret |
|---|---------|----------|-----------------------------|------------------------------------|
| L Stor diskontinuitet med lite/ingen leire | 1 | 2 | 4 | 8 |
| M Stor diskontinuitet med $RQD_{100} = 0^a$ grunnet leire og knust bergmasse | 2 | 4 | 8 | 16 |
| N Stor diskontinuitet med $RQD_{300} = 0^b$ grunnet leire og knust bergmasse | 4 | 8 | 12 | 24 |

^a RQD_{100} = 1 m vinkelrett på prøve av diskontinuitet

^b RQD_{300} = 3 m vinkelrett på prøve av diskontinuitet

4.3.1 Forhold mellom Q-slope og bergskjæringshelning

Barton og Bar (2015) foreslo en enkel formel for forholdet mellom Q_{slope} -verdi og bratteste bergskjæringshelning (β) som ikke krever sikringstiltak. Barton og Bar (2015) antok først at formelen bare var gyldig for bergskjæringer med høyder mindre enn 30 m. Barton og Bar (2017) skrev at Likning (11) ble oppdatert for å gjelde alle bergskjæringshøyder.

Formel for forholdet mellom Q_{slope} -verdi og bergskjæringshelning (Barton og Bar, 2015):

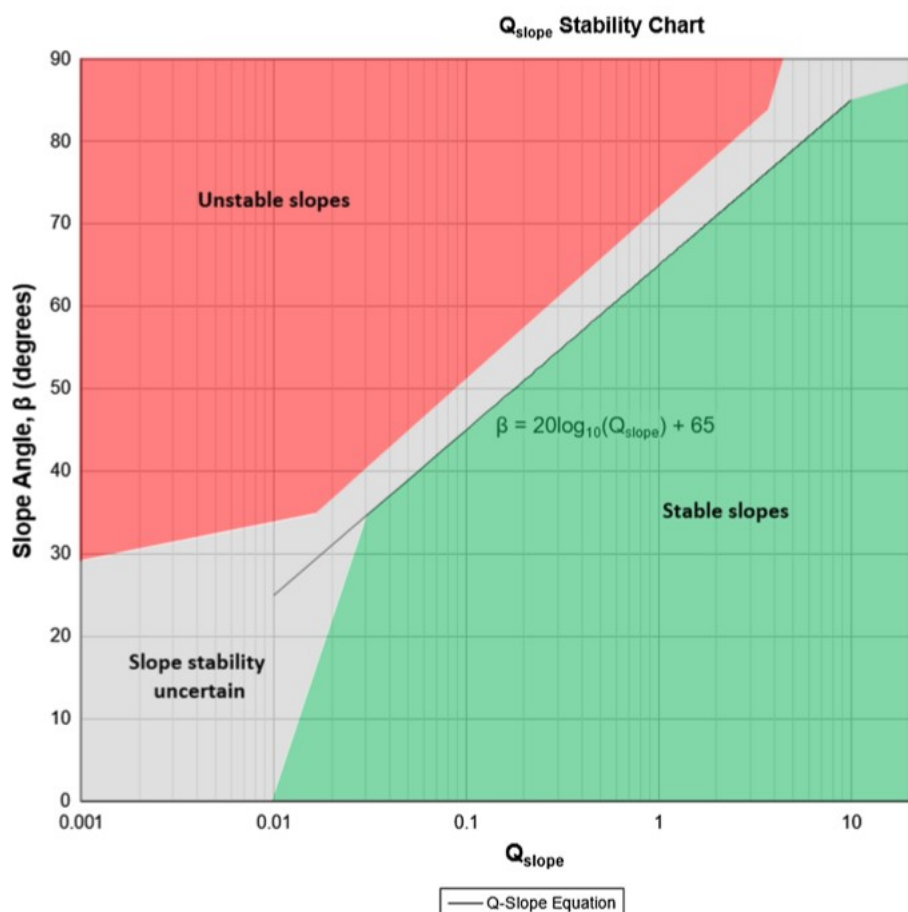
$$\beta = 20 \log_{10} Q_{slope} + 65^\circ \quad (11)$$

der

β er bratteste skjæringsvinkel uten sikring

Q_{slope} er beregnet verdi ut fra Likning (9)

Barton og Bar (2017) skriver at Likning (11) stemmer overens med data for stabile skjæringer med helning mer enn 35° og mindre enn 85° . Figur 19 viser bergskjæringsstabilitetsdiagram for bergskjæringer med høyder mindre enn 30 m. Diagrammet (Figur 19) er basert på en database med nærmere 400 individuelle skråningsanalyser (Barton og Bar, 2017).

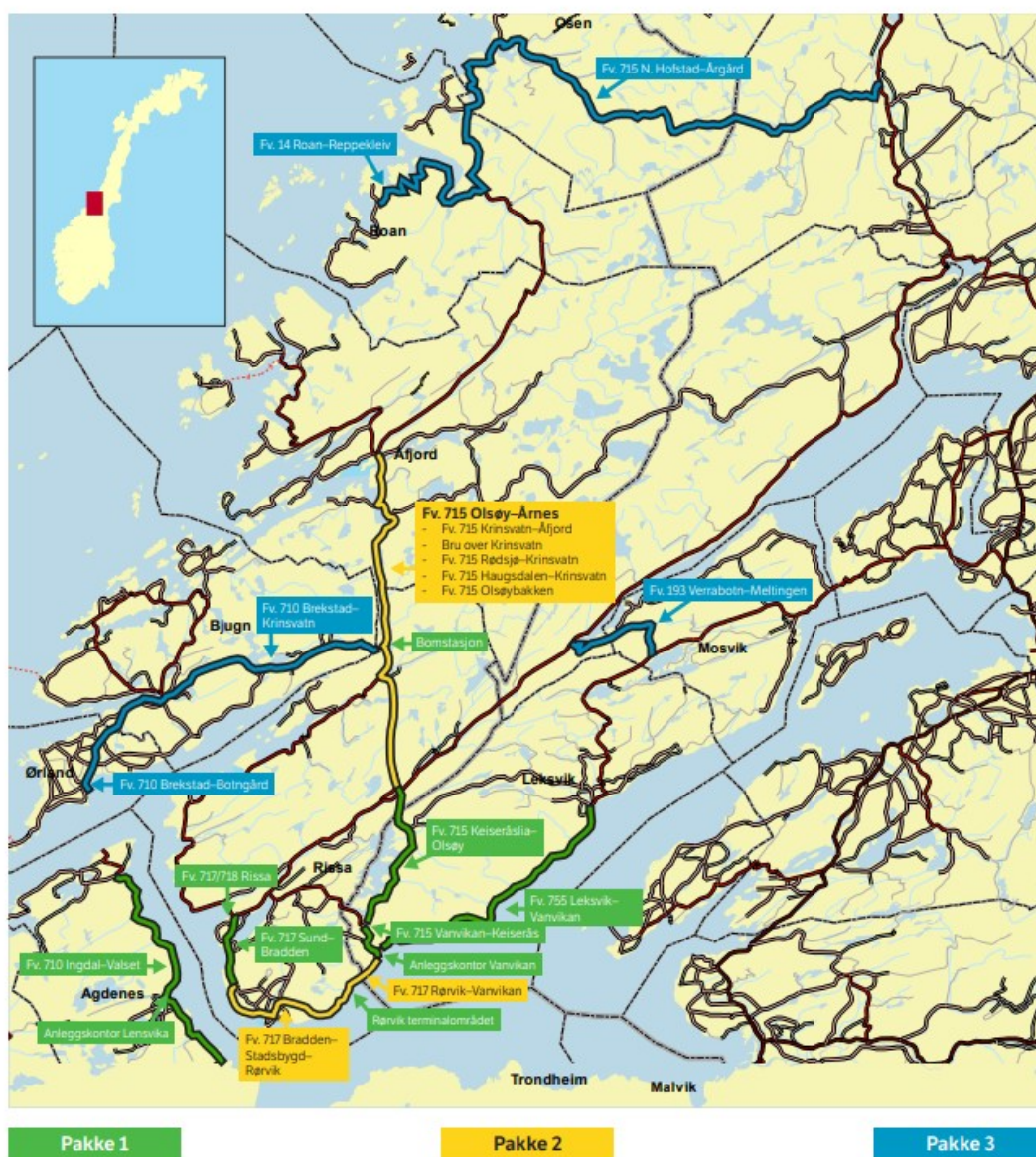


Figur 19: Q-slope stabilitetsdiagram, angir stabil bergskjæringshelning ut fra Q_{slope} -verdi (Barton og Bar, 2017)

5 Prosjektet Fosenvegene og oppgradering av fylkesveg 715

I denne oppgaven er det brukt informasjon, data og kartlegging fra fire ingeniørgeologiske delprosjekter tilknyttet Fosenvegene. De fire valgte prosjektene ligger langs fylkesveg 715 som strekker seg fra Ila i Trondheim, over Fosenhalvøya, til Årgård i Namsos. Prosjektene tilhører det som er omtalt som "delpakke 1 og 2", og ble i 2012 estimert til å koste 1,375 milliarder kroner (Statens vegvesen, 2016).

Utbyggingpakken "Fosenvegene" betsår av 18 delprosjekter fordelt i 3 delpakker, vist i Figur 20. Hensikten med utbyggingen var å bedre vegstandarden i regionen og korte ned reisetiden til Trondheim, for å fremme videre vekst i regionen. Utbyggingen startet i 2010 og er antatt ferdig i 2025 (Statens vegvesen, 2016).



Figur 20: Oversiktskart over hele utbyggingsprosjektet Fosenvegene (Statens vegvesen, 2016)

Videre i dette kapittelet blir det gitt en utredning for regionalgeologien og bergarter på Indre Fosen, samt en kort innføring i de kartlagte delprosjektene og tidligere undersøkelser utført i forbindelse med prosjektering og undersøkelser for vegprosjektene langs Fv.715. Informasjonsgrunnlaget er basert på informasjon gitt av Statens vegvesen, samt utført litteraturstudie.

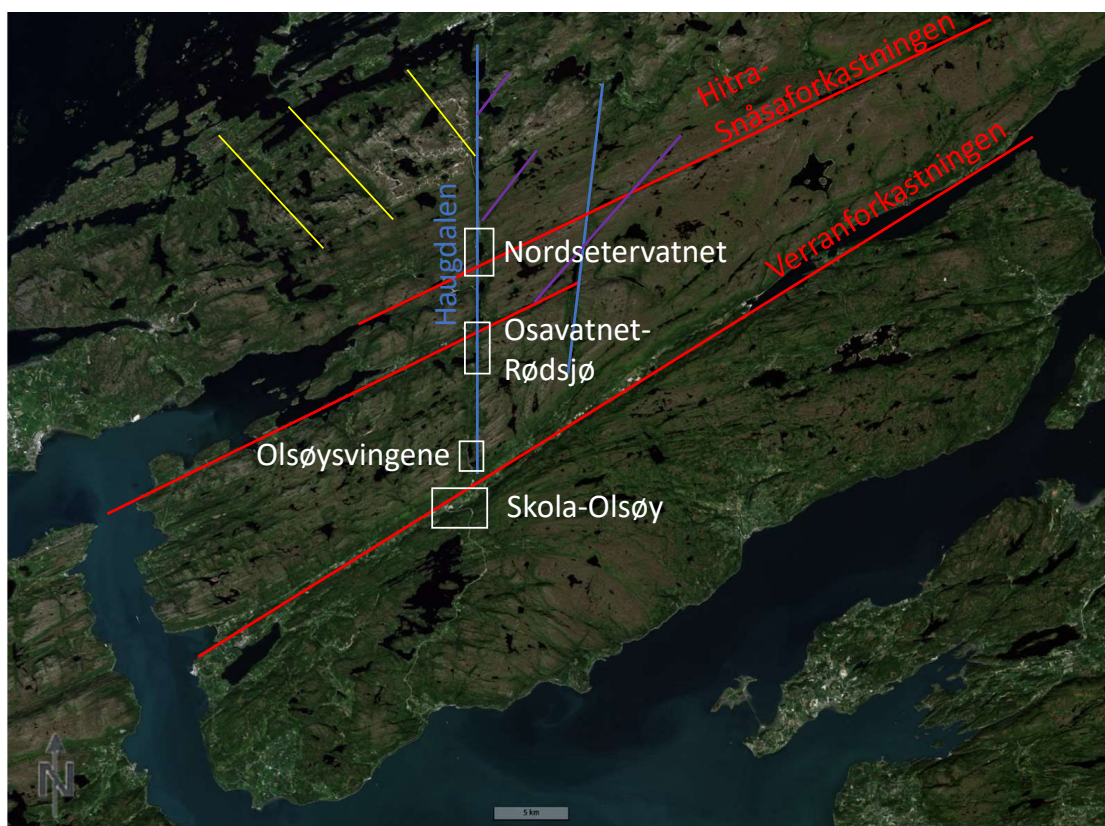
5.1 Regionalgeologi i Indre Fosen

Regionale forkastninger og lineamenter kan observeres som tydelige strukturer i terrenget og studeres på flyfoto og topografiske kart, slik som vist i Figur 21. Kart over Trøndelag viser at orienteringen på fjordene ikke er vilkårlig. De er arrangert i et visst system som følge av deres geologiske historie (Dahl *mfl.*, 1997). Sør på Fosen har alle de største fjordene retning sørvest-nordøst. De største fjordarmene og bassengene i Trondheimsfjorden har også denne orienteringen. Regelmessigheten av fjordmønstrene skyldes hovedtrekkene i grunnen (Dahl *mfl.*, 1997), disse er viktige å forstå for å kunne utføre best mulig kartlegging og forutse bergmassekvaliteter og stabilitetsutfordringer.

De fleste bergartsonene sør på Fosen har strøk i samme retning som fjordene (nordøst-sørvest). Under fjellkjedefoldingen ble det dannet et bergartsmønster, som gjør at en på Fosen, nesten uten unntak, vil finne belter med glimmerskifer, marmor, amfibolitt og andre lettvitrende bergarter i fjorder og daler, og harde gneiser i høydedragene mellom fjordene (Dahl *mfl.*, 1997).

I forbindelse med fjellkjedefoldingen er jordskopen presset sammen og de bløtere sedimenter ble skjøvet inn over de harde grunnfjellbergartene. Deretter ble de foldet og presset ned i gneisene i dype trau (Dahl *mfl.*, 1997). Fordi kreftene virket i en sørøstlig retning i fjellkjedefoldingen, fikk foldingene retningen nordøst-sørvest (rettvinklet på strøket). 400 millioner år med nedbrytende krefter og isskuring har ført til utgraving av de mykere bergartsonene, slik at det ble dannet fjorder hvor gneiser står opp som rygger i fjordlandskapet. Genisene på Fosen har typisk utviklet en skifrihet og flere svakhetsoner som følge av foldning, trykk og bevegelser i grunnen (Dahl *mfl.*, 1997).

De to største forkastningene på Fosen er Verranforkastningen og Hitra-Snåsa-forkastningen, vist i Figur 21. Forkastningene inngår i det som kalles Møre-Trøndelag-forkastningssonen, som stekker seg i et bredt belte på cirka 20-40 km, med flere forkastninger hele veien fra Møre til Snåsa (Dahl *mfl.*, 1997). De største forkastningssonene kan sees via satellittbilder og er vist med rødt i Figur 21. Fordi bergartene og forkastningene er parallelle er det vanskelig å vite hvor stor den totale bevegelsen langs forkastningene var. I Snåsa hvor Hitra-Snåsa forkastningen ser ut til å dø ut, vises det at bevegelsen sidelengs minst må ha vært 6 km. Trolig har totalbevegelsen vært mye større (Dahl *mfl.*, 1997).



Figur 21: Oversiktskart over regionalgeologi i Indre Fosen. Basert på informasjonen i Rødset (2014), Aal (2014), Aal (2015), Aal (2016) og Dahl *mfl.* (1997) Kartgrunnlag: Norgeskart

På Fosen finnes også sprekkedaler med strøkretning nordvest-sørøst, vist med gult i Figur 21. Disse er spesielt karakteristiske på Nord-Fosen, og regnes som relativt korte daler (Dahl *mfl.*, 1997). Årsaken til disse fjordformasjonene er sprekker i dalbunnene, uten at det har vært særlig store bevegelser i sprekke. Bare noen få plasser er det påvist at bergartene er flyttet noen titalls meter i forhold til hverandre på ulike sider av dalene. De tilhørende bergartene der er ikke like oppknuste som i Møre-Trøndelag-forkastningssonen. Bergartene regnes derfor som mer stabile selv om de danner bratte fjellvegger hvor det ofte går steinsprang og ras (Dahl *mfl.*, 1997).

Det finnes også lengre sprekkedaler med andre orienteringer. Den mest markerte er Haugsdalen, som strekker seg fra Årnes i Åfjord og nesten helt til Vanvikan. Haugsdalen er en typisk sprekkedal med bratte dalsider og ur ved foten av fjell. Fylkesveg 715 strekker seg hele veien langs dalbunnen til Haugsdalen (Dahl *mfl.*, 1997). De kartlagte prosjektene Olsøysvingene, Osavatnet-Rødsjø og Nordsetervatnet er lokalisert innenfor denne sprekkedalen.

I rapporter for prosjektene Osavatnet-Rødsjø og Nordsetervatnet omtales spesielt møtet med forkastningssoner som tangerer Haugsdalen. For disse er det under tidligere kartlegging registrert svakhetssoner og slepper med mektigheter på 1-30 meter, med orientering langs foliasjonsplanet til gneiser. Periodevis skal det også finnes tynnere slepper med oppknust materiale (Aal, 2016; Aal, 2015).

5.2 Geologi og bergarter

Tilgjengelig informasjon fra Statens vegvesen beskriver stor variasjon i geologi og bergarter for de ulike kartlagte prosjektene. I grove trekk består bergartene av granodioritiske eller magmatiske gneiser, hvor man tidvis kan finne grønnstein, grønnskifer, amfibolitt og hornblendeskifer (Rødset, 2014; Aal, 2014; Aal, 2015; Aal, 2016). Bergartene har blitt til i forskjellige miljø og er dannet som dypbergarter, vulkanitter og av marine sedimenter. Felles for bergartene er at de har prekambrisk opprinnelse, og i senere tid har vært utsatt for flere faser med deformasjon og metamorfose. Den største påvirkningen er trolig fra den kaledonske fjellkjedefoldingen i kambrosilur for 420-550 millioner år siden (Dahl *mfl.*, 1997; Rødset, 2014).

Dahl *mfl.* (1997) beskriver hvordan bergartene langs Haugsdalen, ikke er like nedknuste som de bergartene som tilhører Møre-Trøndelag-forkastningssonen som eksempelvis prosjektet Skola-Olsøy som ligger langs Veranforkastningen. Som tidligere introdusert i Avsnitt 5.1 beskriver litteraturen også hvordan det er naturlig at en finner glimmerskifer og amfibolitt i daler og gneiser i høydedragene som følge av fjellkjedefoldingen. Dette stemmer overens med prosjektrapporter, der størst geologisk mangfold skal være registrert for prosjektet Skola-Olsøy (Rødset, 2014). En oversikt over bergarter, basert på prosjektrapporter, er gitt i Tabell 29.

Tabell 29: Oversikt over bergarter for de ulike delprosjektene i Fosenvegene (Rødset, 2014; Aal, 2014; Aal, 2015; Aal, 2016)

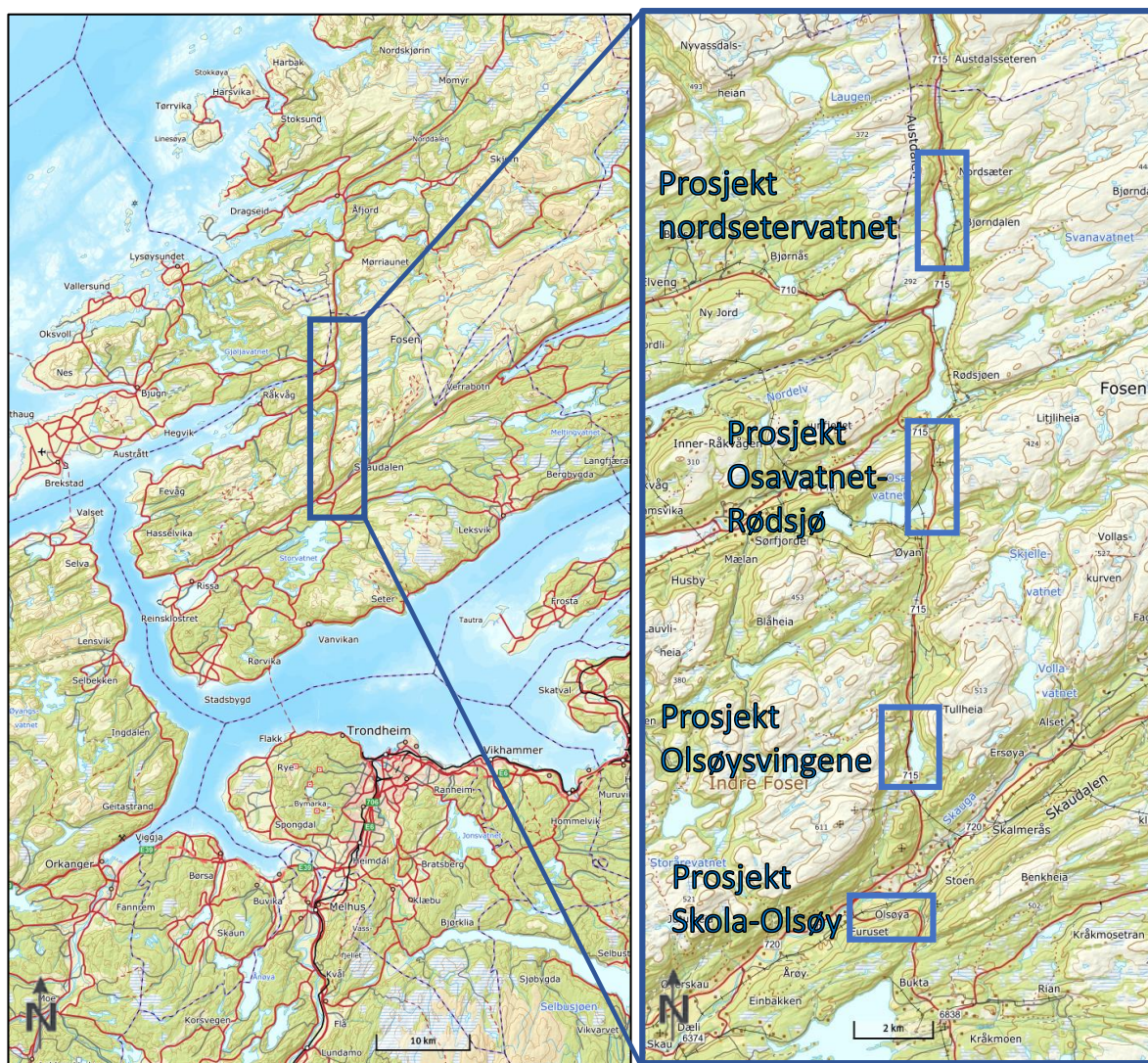
| Prosjekt | Bergarter |
|------------------|---|
| Skola-Olsøy | I hovedsak muskovittskifer, grønnstein og grønnsteinskifer med mindre mengder amfibolitt og tonalittgneis. |
| Olsøysvingene | Granodioritisk og migmatisk gneis. |
| Osavatnet-Rødsjø | Bergarten består i hovedsak av migmatisk gneis med innslag av glimmergneis, granodioritisk gneis og amfibolitter. |
| Nordsetervatnet | Hovedsaklig granodioritisk gneis, noen partier med amfibolitt og hornblendeskifer. |

5.3 Kort om de kartlagte delprosjektene

Dette er delprosjektene som det ble valgt å gjøre kartlegging av bergskjæringer for:

- Fv 715 Skola-Olsøy
- Fv 715 Olsøysvingene
- FV 715 Osavatnet-Rødsjø
- FV 715 Nordsetervatnet

Prosjektene plassering er vist i Figur 22. Videre gis en kort innføring i de ulike kartlagte delprosjektene.



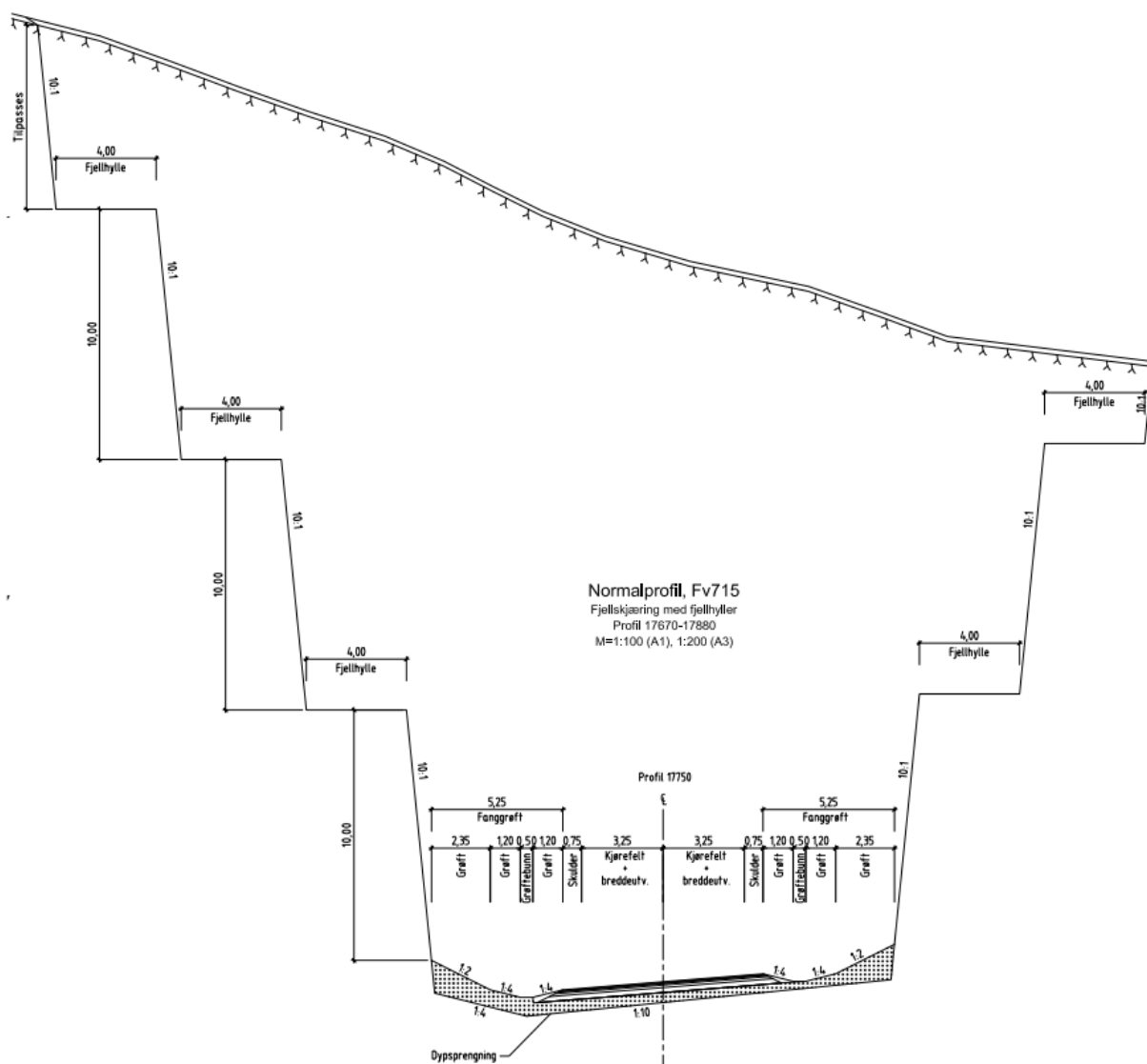
Figur 22: Oversiktskart over Fosenvegene og kartlagte delprosjekter tilhørende masteroppgaven. Kartgrunnlag: norgeskart

5.3.1 Skola-Olsøy

Sikring av bergskjæringene Skola-Olsøy er et ingeniørgeologisk delprosjekt tilhørende vegprosjektet "Kråkmo II". Vegen ble offisielt åpnet for trafikk juni 2016 (Fosenvegene A/S, 2016b). Prosjektet var ferdig 9 måneder før det opprinnelig skulle være klart (Fosenvegene A/S, 2016a).

Plasseringen til prosjektet er vist i Figur 22. Den nye vegen skulle delvis følge traseen til tidligere fylkesveg 82 og delvis langs ny trasé. Tiltaket omfattet derfor både utbedring av eksisterende veg, samt veg i ny trasé. Totallengde på veggstrækningen er cirka 3,2 km. I hovedsak var det planlagt 3 bergskjæring, hvor den ene er tosidig. For prosjektet ville deler av strækningen være bergskjæring med høyder på over 30 m. Her var bergskjæringen prosjektert med tre paller og berghyller som sikringstiltak, se Figur 23 (Rødset, 2014).

Prosjekteringen ble gjort i henhold til Eurokode 7 (versjon 2010). Prosjektet ble satt i geoteknisk kategori 3. Videre ble det anbefalt i rapport for byggeplan at personell for utførelse av geologisk kartlegging og bergsikringsanbefaling for de høye skjæringene, hadde mer enn 10 års erfaring fra lignende arbeid (Rødset, 2014).

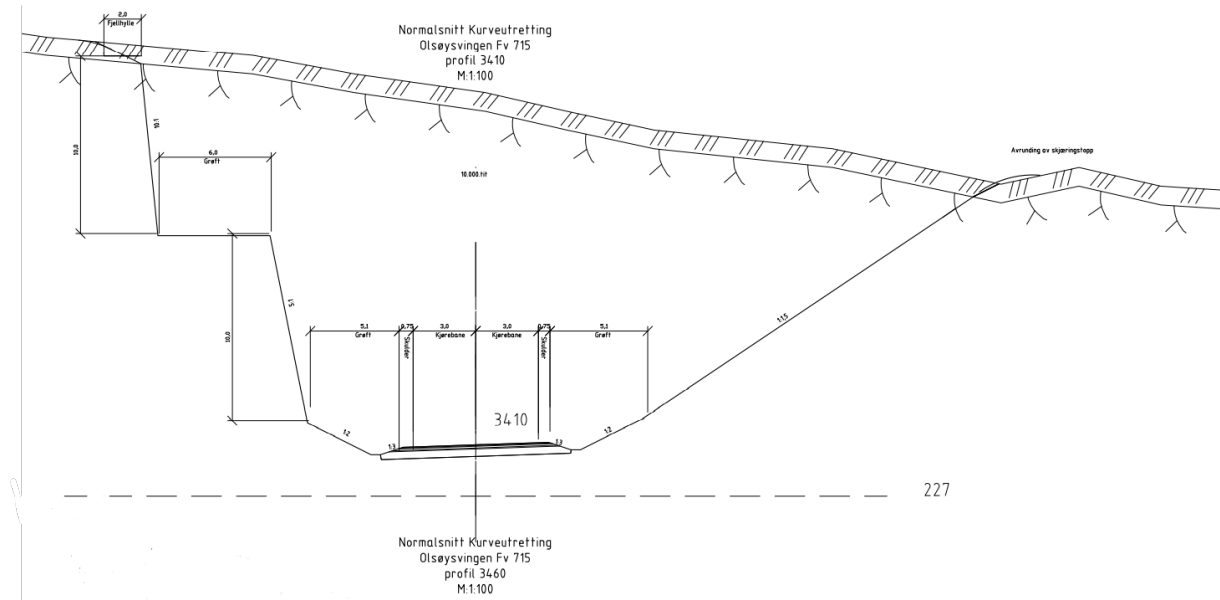


Figur 23: Profil for å demonstrere utforming for de høyeste bergskjæringene i prosjektet Skola-Olsøy (Rødset, 2014)

5.3.2 Olsøysvingene

Plasseringen til delprosjektet er vist i Figur 22. Prosjektet var en utbedring av fylkesveg 715, og gikk delvis langs eksisterende veg og delvis som veg i ny trasé. Vegprosjektet hadde en lengde på cirka 2 km (Aal, 2014). Vegstrekningen ble offisielt åpnet for trafikk juni 2016 (Fosenvegene A/S, 2016a)

Høyeste bergskjæring langs traseen er i overkant av 20 m og det ble planlagt sikring med 3 permanente sikringshyller med 6 m bredde, se Figur 24. Arbeidet ble klassifisert og satt i geoteknisk kategori 2 grunnet oversiktlige forhold i henhold til Eurokode 7 (2010 versjon) (Aal, 2014).

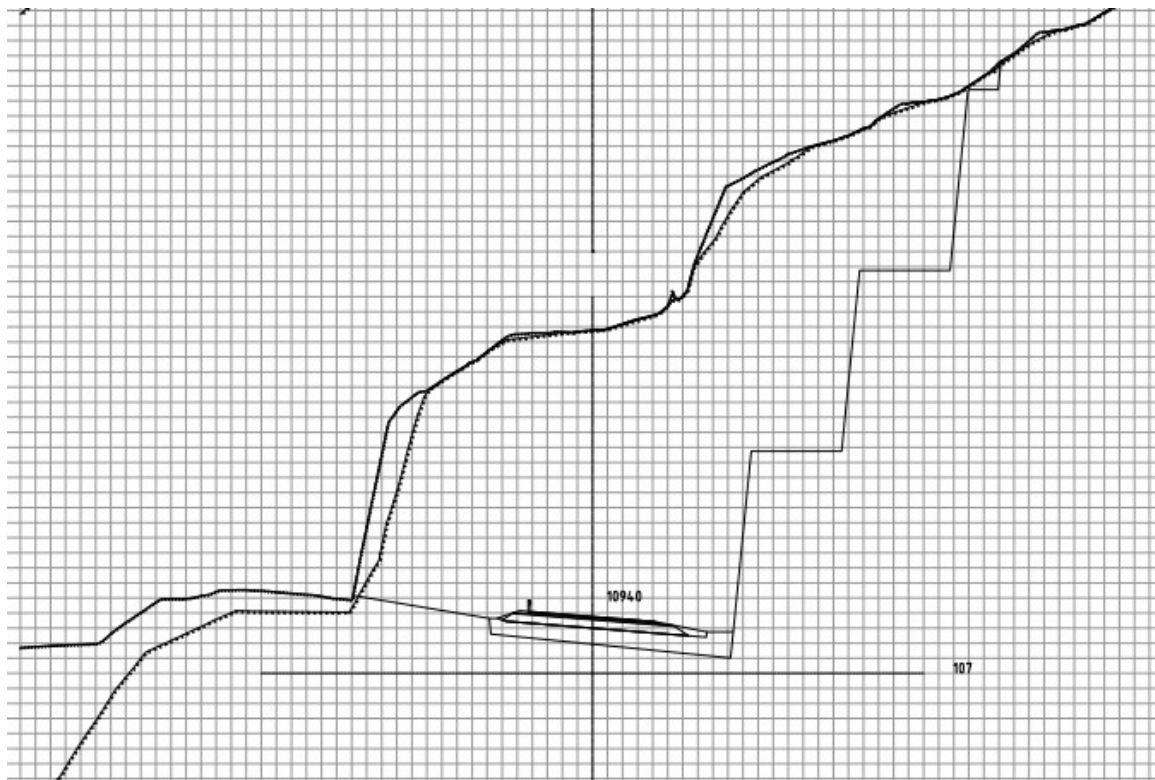


Figur 24: Profil for å demonstrere utforming for høyeste bergskjæring i prosjektet Olsøysvingene (Aal, 2014)

5.3.3 Osavatnet-Rødsjø

Delprosjektet Osavatnet-Rødsjø ble planlagt langs eksisterende veg eller i nærføring til eksisterende veg (Aal, 2015). Strekningen som skulle forbedres er omtrentlig 3 km lang og ble åpnet for trafikk Juli 2017 (Fosenvegene A/S, 2017; Aal, 2015)

Det var planlagt etablering av nye bergskjæringer, samt sikring av eksisterende bergskjæringer og fjell. Delprosjektet har flere svært høye bergskjæringer, med høyder rundt 36 m. Alle bergskjæringer høyere enn 12 m ble planlagt med permanente sikringshyller med bredde 6 meter. I tillegg ble det utført sikring av fjellside i nærføring til veg med høyder opp mot 36 m. Prosjektet ble klassifisert som geoteknisk kategori 3 i henhold til Eurokode 7 (versjon 2010) (Aal, 2015).

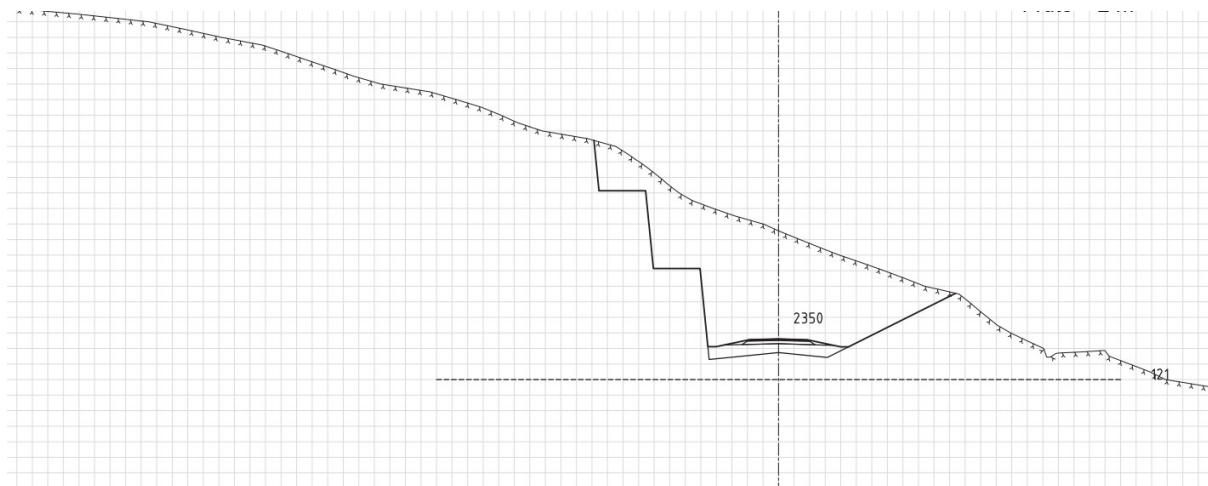


Figur 25: Profil for å demonstrere utforming for de høyeste bergskjæringene i prosjektet Osavatnet-Rødsjø (Aal, 2015)

5.3.4 Nordsetervatnet

Delprosjektet Nordsetervatnet var en del av oppgradering av fylkesveg 715, der ny vegtrasé ble planlagt langs eller i nærføring til eksisterende veg (Aal, 2016). Total veglengde for utbedringen var ca. 2450 m og ble åpnet for trafikk november 2018 (Fosenvegene A/S, 2018; Aal, 2015).

Over halvparten av strekningen var planlagt med ensidig bergskjæring mot vest, stedvis i bratt sideterreng. Bergskjæringer ble planlagt med høyder i overkant av 28 m. Alle bergskjæringer >15 m høyde var planlagt med 6 m bred sikringshulle, se Figur 26. Prosjektet ble satt i geoteknisk kategori 3, i henhold til Eurokode 7 (versjon 2010). Det var foreslått i rapport for byggeplan at ansvarlig ingeniørgeolog skulle ha minimum 3 års erfaring (Aal, 2016).



Figur 26: Profil for å demonstrere utforming for de høyeste bergskjæringene i prosjektet Nordsetervatnet (Aal, 2016)

5.4 Tidligere undersøkelser og rapporter

I alle fire prosjektene er det lagt stor vekt på studier av satellittbilder, flyfoto, oversiktskart, berggrunnskart, skredkart osv. før kartlegging langs de nye vegtraseene. Det ble utført berggrunsskartlegging av blotninger i terreng, samt bergskjæringer i nærlinjeføring til de nye planlagte vegtraseene (Rødset, 2014; Aal, 2014; Aal, 2015; Aal, 2016).

5.4.1 Skred

Det er i alle fire prosjektene gjort detaljerte sprekkekartlegginger med tilhørende kinematiske analyser for å vurdere skredfare med hensyn til nye vegtraseer. Nesten alle prosjekter ligger innenfor eller delvis innenfor faresonekart og soner Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har kartlagt som løsne- og utløpssoner for steinskred og steinsprang, samt snøskred (Rødset, 2014; Aal, 2014; Aal, 2015; Aal, 2016).

5.4.2 Lab og prøver

I forbindelse med prosjektet Olsøysvingene ble det tatt en bergartsprøve av granodioritisk gneis for å undersøke om bergarten kunne være en egnet masse for bære- og forsterkningslag. I 1986 gjorde NGU prøvetaking av migmatittisk gneis ved et tynnslipstudie. Analysen viste at den migmatittiske gneisen inneholdt 50 % feltspat, 25 % kvarts, 12% glimmer, 5% epidot, amfibol og svovelkis og 8% andre mineraler (Aal, 2014). Det er ellers ikke gjort grunnboringer eller prøver i forbindelse med ingeniørgeologiske problemstillinger, utenom sondering for å finne dybde til fjell (Rødset, 2014; Aal, 2014; Aal, 2015; Aal, 2016).

5.4.3 Bruk av bergmasseklassifisering

Det ble i rapporten til byggeplan for Skola-Olsøy valgt å kartlegge berget og sette Q-verdier ut fra ingeniørgeologisk tolkning og observasjoner, samt tidligere vegnormaler og håndbok 021 Vegtunneler (tilsvarende dagens N500 Vegtunneler) (Rødset, 2014).

Følgende tabell er hentet fra rapporten:

Tabell 30: Estimerte Q-verdier for prosjektet Skola-Olsøy (Rødset, 2014)

| Bergklasse | Q-verdier | Kartlagt i %-vis fordeling langs veglinjen |
|------------|-----------|--|
| A/B | 10 - 40 | 20 % |
| C | 4 -10 | 30 % |
| D | 1-4 | 30 % |
| E | 0,1 - 1 | 20 % |

6 Metode og utstyrsanvendelse

Dette kapitlet beskriver anvendte metoder for å kunne besvare de satte forsknings spørsmål. På slutten av kapitlet er styrker og svakheter med metoden diskutert. Metoden for masteroppgaven kan deles inn i tre deler:

- Litteraturstudier av bergmasseklassifiseringer
- Feltarbeid
- Studier av bergmasseklassifiseringer som resultat av feltkartleggingen tilhørende prosjektet Fosenvegene

Målet med litteraturstudiet var å bli kjent med bergmasseklassifiseringer og undersøke deres egnethet for bergskjæringer, med tanke på gjennomførbarhet, lovverk og regelement. Målet med bruk av en case-oppgave var å underbygge litterære funn, for å kunne gjøre vurderinger om det både er praktisk og teoretisk mulig å implementere bergmasseklassifiseringer i vegprosjekter.

6.1 Forskningsdesign

Metodekapitlet i en oppgave beskriver hvordan forskningsprosessen og studier ble utført, slik at leseren selv kan bestemme realiteten og validiteten ved oppgaven (MacCombes, 2020). Før man begynner å designe en studie, må man bestemme seg for hvilket forskningsdesign man skal benytte. Alternativene er kvalitativ metode, kvantitativ metode, eller en kombinasjon (MacCombes, 2020).

Kvantitative metoder går ofte ut på å studere store datasett, innsamlet som tall og analysert statistisk. I kvalitative metoder er fokuset å studere én eller få observasjoner i detalj. Informasjonen i kvalitative metoder er som regel innsamlet i tekstformat (Dahlum, 2020a). Derfor har ofte kvalitative studier færre observasjoner, men mer innhold å analysere (MacCombes, 2020).

For denne oppgaven er det valgt å utføre innsamling av et stort datasett, gjøre beregninger og studere resultater statistisk for å kunne svare på de satte forskningsspørsmålene. Oppgaven inkluderer feltarbeid hvor parametere er blitt beskrevet kvalitativt, for hver kartlagte delstrekning. Data fra feltarbeidet inkluderte derfor geologiske beskrivelser, lokalitetsbeskrivelser og estimerte parametere som senere ble brukt i beregninger og statistisk analyse. Metoden for å besvare de gitte forskningsspørsmålene er derfor en kombinasjon av kvalitativ og kvantitativ metode. MacCombes (2020) skriver at dette kan gi rom for innsamling av et stort datasett, og samtidig gi en detaljert forståelse av de ulike prosjektene.

6.1.1 Validitet for benyttet metode

Validitet beskriver i hvilken grad en studie eller et forsøk, kan dra en gyldig konklusjon relatert til de gitte forskningsspørsmålene (Dahlum, 2020b). I forbindelse med feltarbeidet var deler av bergskjæringer ikke tilgjengelige eller vanskelig å visuelt inspisere, grunnet bergskjæringens høyde, trafikkmengder, eller vegetasjonsdekke. Dette gjør at målinger og visuell inspeksjon kunne være vanskelig å utføre. Dette kunne ført til antagelser, som reduserer validiteten av feltstudier og vurderinger gjort i felt. Tatt i betraktning at det sjeldent er mulighet til å utføre detaljert kartlegging av hele bergskjæringen før den er ferdig utbygd, er feltforsøket i denne oppgaven gyldig. I kartlegging før prosjektering blir det ofte gjort observasjoner på mindre blotninger i dagen. Som diskutert i Avsnitt 3.5, fører dette til den samme typen usikkerhet.

Målinger for hver bergskjæringsseksjon har blitt behandlet som ett datasett, selv om det kan være inhomogeniteter innad i bergskjæringen og den gitte bergseksjonen. For å motvirke reduksjonen i metodens validitet, var hovedfokuset å gjøre målinger og parameterbeskrivelser som best representerte bergmassekvaliteten for den gitte seksjonen.

6.1.2 Pålitelighet for benyttet metode

Dersom en konsekvent kan oppnå samme resultat ved bruk av lik metode, under like omstendigheter, blir metoden regnet som pålitelig MacCombes (2020). Geologisk kartlegging har i mange år blitt omtalt som mottagelig for subjektivitet (Curtis, 2012). Det har derfor blitt gjort flere studier, hvor geologer har kartlagt samme strekker eller områder for så å studere forskjellene. Curtis (2012) gjør en sammenligning av slike forsøk, og beskriver at det observeres ulikheter i resultater mellom de ulike geologene, hvilken utdanning de har og hvilke fagfelt de tilhører. Curtis (2012) konkluderer med at subjektivitet tydelig påvirker geologers tolkninger, enten som individer eller i grupper, men at det ikke nødvendigvis betyr at eksistensen av subjektivitet i dannelsen av hypoteser er en mangel på vitenskapelig strenghet, eller manglende vitenskapelige grenser for tolkninger. Videre skriver Curtis (2012) at *"når det er anerkjent eksplisitt, kan subjektivitet påvirke vitenskapelige slutninger riktig, og kan også føre til nye hypoteser. Forskere bør derfor ikke skamme seg over subjektivitet, men vi bør streve for å utvikle metoder for å kvantifisere og noen ganger for å redusere effekten"*.

Tiltak for å øke påliteligheten i oppgavens metode var at kartleggingseskjemaet i Vedlegg G skulle fylles ut flere ganger dersom det oppstod usikkerheter. Det var ikke satt maksbegrensning for hvor lang tid kartleggingen skulle ta og det var viktig for studenten å gjøre det riktig og grundig, med gode beskrivelser. Studentens innsikt i manglende erfaring og usikkerhet som følge av sin erfaring, er med på å øke reliabiliteten i oppgaven, da det hele tiden ble lagt opp til å gjøre det enklest mulig og bruke god tid til å gjøre vurderinger. Prosjekt Skola-Olsøy, som var det første kartlagte prosjektet, tok for eksempel mye lengre tid å kartlegge enn de andre prosjektene. Etter hvert som studenten ble tryggere på forholdene, ble det lettere å gjøre vurderinger.

Studenten har ingen tilknytning til de som har utført tidligere kartlegging og prosjektering av bergskjæringene, og er ikke betalt for arbeidet. Ønsket om å gjøre ting så nøyaktig som mulig og gi gode beskrivelser av forholdene, uavhengig av andre og hvor lang tid det tok, styrker påliteligheten til feltarbeidet. Seo *mfl.* (2018) har gjort et forsøk hvor flere geologer kartla samme tunneltrasé, for å se ulikhetene. Seo *mfl.* (2018) beskriver at der kartleggingen ble gjort av to geologer i lag, minsket subjektiviteten. Dette kunne også vært gjort for feltkartleggingen i denne oppgaven, men kunne ikke gjennomføres på grunn av Covid-19-pandemien som herjet i store deler av 2020.

Kartleggingen ble utført etter lærte prinsipper i Statens vegvesen, for å minske avhengigheten av personen som utfører feltkartleggingen og øke etterprøvbareheten til datainnsamlingen. Oppbyggingen av metoden er videre gitt i Avsnitt 6.3.

6.2 Litteraturstudie

6.2.1 Forstudie til masteroppgaven

Gjennom faget TBA4151, *Anleggsteknikk vidergående kurs*, ble det gjort et litteraturstudie som et forstudie- eller mulighetsstudie til masteroppgaven. Rapporten har vært viktig for masteroppgaven, da den la grunnlaget for problemstillingen og de tilhørende forskningsspørsmålene til masteroppgaven. Grunnen til dette var oppdagelsen av at det allerede finnes en del tilnæringer for bruk av bergmasseklassifisering i forbindelse med planlegging av sikring av bergskjæringer. Dette ble en viktig nøkkel for det videre arbeidet med oppgaven, samt at det ble funnet viktig informasjon og viktige artikler for masteroppgaven.

6.2.2 Metode for litteratursøk og kriterier for litteratur

Under litteraturstudiet i faget TBA4151, *Anleggsteknikk vidergående kurs*, ble gode metoder for å samle nøkkellitteratur gjennomgått og undersøkt. Arbeidet med litteraturen og metoden for samling av litteratur ble videreført da arbeidet med selve mesteroppgaven startet.

Den benyttede metoden for evaluering av litteratur er basert på å finne litteratur i pålitelige databaser, for så å evaluere de aktuelle kilder og litteratur i lys av kriterier før de ble benyttet i oppgaven. Metodikken TONE (troverdighet-objektivitet-nøyaktighet-egenhet) er brukt i litteraturvurderinger (Overland, 2020):

- Troverdighet: Evaluering av forfatter og publiseringens troverdighet. Er kilden sikker? For å kunne skrive en oppgave er det viktig at en kan stole på den informasjonen kilden frembringer. Spesielt ble det lagt vekt på forfatterens bakgrunn i fagfeltet, hvor mye de har publisert og hvor mye litteraturen var blitt referert til av andre i fagfeltet. Hvor velkjent er forfatteren og publikasjonskanalen?
- Objektivitet: Er informasjonen i litteraturen fremstilt på en nøytral måte? Stemmer innholdet overens med tidligere kjent litteratur? Og hva har forfatteren prøvd å fortelle da teksten ble skrevet?
- Nøyaktighet: Er metoden for forsøk og begrunnelse av konklusjon god? Er det mulig å bekrefte resultatet fra andre kilder? Evaluering av kildene litteraturen har brukt. Alder på publikasjonen og om den er oppdatert. Om artikkelen er uavhengig kontrollert?
- Egnethet: Det er viktig at kilden passer til sitt bruk og er relevant for det som skal skrives om. Det er viktig å få et inntrykk av om informasjonen som leses er nyttig før man går i detalj og leser hele informasjonen. Det er også viktig å vite om man selv har den riktige kunnskapen og forutsetningene som skal til for å kunne forstå det litterære innholdet.

Følgende søkemotorer og databaser ble brukt for å finne litteratur i denne oppgaven:

- Google Scholar
- Oria (Universitetsbiblioteket)
- NTNU open
- Scopus
- NTNU Blackboard - gjennomgang av tidligere faglitteratur
- Statens vegvesen sine publikasjonssider

Ved å evaluere litteratur i forhold til TONE-metoden, styrkes validiteten til litteraturstudiet utført i oppgaven. Påliteligheten til et slikt litteraturstudie er også høy, så sant kildeføringen og kildekritikk er utført med god metodikk.

6.3 Feltundersøkelser

I forbindelse med masteroppgaven er det utført geologisk kartlegging av bergskjæringer langs fire utbyggingsprosjekt tilhørende vegprosjektet Fosenvegene, lokalisert i Indre Fosen i Trøndelag. Lokasjoner til de ulike prosjektene er vist i Figur 22. Den geologiske kartleggingen er utført i flere steg, basert på Statens vegvesens retningslinjer for feltundersøkelser (Vegdirektoratet, 2018), samt VD rapport nr. 32 (Vegdirektoratet, 2011b). I tillegg kommer opplæringen gitt i forbindelse med sommerjobb hos Statens vegvesen sommeren 2019.

I kartleggingen ble det kvantifisert parametere i forhold til materialtekniske egenskaper for bergmasser, for å kunne utføre beregning av verdier for bergmasseklassifiseringssystemene Q-metoden, RMR, SMR og Q-slope. Dette inkluderte grundig kartlegging av geologi og materialtekniske egenskaper for berget, synlig langs bergskjæringene. Parameterne for bergmasseklassifiseringene er presentert i Avsnittene 3 og 4

Oppbyggingen av feltkartleggingen er gjort på følgende måte:

- Forstudier av vegprosjekter og tilhørende geologi
- Planlegging av metode for kartlegging
- Prøvekartlegging
- Justering av metode
- Endelig kartlegging av prosjektene

Videre gis en kort gjennomgang av punktene i denne listen.

6.3.1 Forstudie av vegprosjektene

I forkant av kartleggingen var det viktig for studenten å ha god oversikt over de ulike prosjektene, hvor de befinner seg, samt geologien i områdene. Forstudiet til prosjektene gikk ut på å studere mottatte dokumenter fra Statens vegvesen, samt at det ble gjort litteratur- og kartstudie for geologien i området. Flere kart fra NVE (skredfarekart og kart over tidligere skredhendelser) og NGU (berggrunns- og løsmassekart) ble studert for å få et inntrykk av området, samt at *Google Maps Street View* og *Google Earth Pro* ble benyttet for å digitalt befare områdene langs vegen og fra lufta før kartlegging.

6.3.2 Digitale løsninger for kartleggingen

Siden bergskjæringene skulle kartlegges ut fra flere klassifiseringssystemer, var det ønskelig å finne metoder for å utføre kartleggingen enkelt og effektivt. Det var også ønskelig at bearbeiding av data i etterkant av kartleggingen skulle være oversiktlig, for å få best mulig resultat. Med dette som basis, ble det valgt å ha mest mulig digitale løsninger både i feltkartleggingen, samt i databehandlingen i etterkant.

Digital dataregistrering av feltinformasjon

Det ble laget et digitalt spørreskjema som inneholdt de nødvendige parametere for å kunne gjøre klassifisering og parametersetting basert på de 4 valgte klassifiseringssystemene, vist i Vedlegg G. Spørreskjemaet kunne fylles ut i felt på mobil, etter hvert som observasjoner ble gjort. Hver gang spørreskjemaet ble besvart, ble informasjon lagret som en ny rad i et regneark, hvor all kartlagt informasjon ble samlet. Når skjemaet ble fylt ut, kom det fram en automatisk statistikk over allerede registrert informasjon, slik at det var enkelt å ha oversikt over kartlagt informasjon, samt et inntrykk av sammenhengen i det som ble kartlagt.

Digitalt kompass, måling og analyse av geologiske strukturer

I tillegg til bruk av konvensjonelt Brunton kompass ble applikasjonen "GeoID" for mobil brukt til sprekkemålinger, målinger for forkastninger, svakhetssoner og deres orientering. Bruken av GeoID-applikasjonen åpnet for digital informasjonsregistrering og målinger, samt utførelse av kinematisk analyse digitalt på mobil både i felt, og i etterkant. Målingene kan også sendes til PC og kinematisk analyseres med andre programvarer, som f.eks. "Dips" fra rocscience-pakken. Grunnen til valg av digitalt kompass for denne oppgaven kommer fra opplæringen i bruk av *GeoID* i sommerjobben hos Statens vegvesen i 2019. Det har lenge vært et mål for Statens vegvesen å utvikle metoder og programmer for å kunne utføre digitale målinger og analyser (Vegdirektoratet, 2014b). Det var viktig at målingene ble så nøyaktige som mulig, og GeoID-målingene ble derfor jevnlig kontrollert med Brunton-kompasset. Ved innmålinger var *GeoID* applikasjonen innstilt til at hver sprekkemåling er basert på utregninger av 15 målinger gjort med 0,1 s mellomrom.

Lasermåling

Det ble benyttet en Leica Disto D8 lasermåler for å måle høyder på bergskjæringer og grøftebredder for de ulike prosjektene. Laseren har en oppgitt nøyaktighet på ± 0.1 mm/m når måleavstanden er under 30 meter (Leica geosystems, 2020).

VegViseren

Applikasjonen VegViseren levert av Triona, er beregnet for å dokumentere arbeid langs vegen. VegViseren viser fortløpende posisjon i form av vegreferanse, vegnavn, koordinater, samt at det kan tas bilder som stemples med posisjon i form av koordinater, vegnavn og vegreferanse. Vegviseren gir muligheter til å navigere til bestemte plasser langs vegnettet ut fra gitt vegreferanse (Triona, 2020). Vegviseren ble brukt til å orientere seg langs vegen og for å grovt måle omtrentlige avstander langs bergskjæringer. Siden dokumentasjonen til prosjektene langs Foservegene ble prosjektert, har referansesystemet i NVDB endret seg. Tidligere hadde europaveger og riksveger vegnummer på landsbasis, med ulik parsellnummerering for hvert fylke (Statens Vegvesen, 2020b). Referansesystemet er endret som følge av regionreformen, som trådte i kraft 01.01.2020. Nå er referansesystemet uavhengig av administrativ inndeling (Statens Vegvesen, 2020b). Ulikheten i referansesystemet har ført til noen utfordringer i sammenligning av informasjon i tidligere dokumenter og observasjoner i felt, da nye observasjoner i felt ble registrert med det nye referansesystemet.

6.3.3 Prøvekartlegging og tilpasning av metode

For å teste kartleggingsmetoden, ble det utført en prøvekartlegging i et område hvor studenten var relativt geologisk kjent fra tidligere, og det ikke var trafikk som forstyrret kartleggingen. Prøvekartleggingen ble derfor lagt til Ormen Langes vei på Ladehammeren, Trondheim. Her ble bergskjæringer studenten tidligere har studert, kartlagt med metodene tiltenkt feltarbeidet. Erfaringer for hva som fungerte/ikke, både i spørreskjemaet og regnearket/databehandling, ble notert. Senere ble tilpasninger gjort basert på dette. Etter justeringer, ble det gjort en ny test, hvor det ble puttet inn tilfeldige parametere et par ganger, for å sjekke at justeringene fungerte.

6.3.4 Den endelige kartleggingen

Den endelige kartleggingen ble utført av studenten selv i månedsskiftet september/oktober 2020. Beskjæringene ble systematisk kartlagt i seksjoner ut fra bergskjæringens størrelse og lengde, hvor store geologiske endringer og inhomogeniteter som fantes i områdene, samt studentens usikkerhet på de geologiske forholdene. Dette ble typisk intervaller mellom 30-100 meter.

Det var viktig at registreringene av observasjoner og parametere i skjemet ble representativt for den aktuelle bergskjæringsseksjonen. Skjemet i Vedlegg G, ble derfor fylt ut for hver kartlagte bergskjæringsseksjon. I tillegg til utfylling av skjemaet ble det gjort systematiske målinger av sprekker, svakhetssoner og forkastninger for hele skjæringen, etterfulgt av kinematisk analyse i etterarbeidet. For dokumentasjon og etterprøvnbarhet ble det rutinemessig tatt bilder av hele skjæringsprofilene.

Feltkartleggingen ble utført med følgende fremgangsmåte:

- Befaring av bergskjæring med bil for oversikt over bergskjæring, geologi og tilgjengelighet til bergskjæringen, samt sikkerheten til studenten i forhold til opphold langs veg og i nærhet til skjæring
- Befaring av bergskjæring til fots, for oversikt over bergskjæring og geologi
- Kartlegging av bergskjæringer i seksjoner, med utfylling av tilhørende spørreskjema for hver seksjon. Dette omfattet:
 - Registrering av bergskjæringsseksjonens plassering og lengde, med VegViseren
 - Bergskjæringens orientering med kompass
 - Bergskjæringshøyden, målt med laser
 - Grøftebredden, målt med laser
 - Mengde sikring ved telling
 - Sprekketelling
 - Registrering, måling og vurdering av parametere i Q-systemet, Q-slope, RMR og SMR metoden, som i skjematet i Vedlegg G
- Sprekkekartlegging for hele bergskjæringen med GeolD
- Systematiske bildetakinger av hele bergskjæringene for dokumentasjon å gå tilbake til
- Notatføring av inntrykket av bergskjæring, bergarter, svakhetssoner, oppsprekking, stabilitetsutfordringer osv. på PC medbrakt i felt

6.4 Lab-undersøkelser

Det er i masteroppgaven ikke utført laboratorieundersøkelser. Avgjørelsen for dette, kommer av ønsket at metodikken for masteroppgaven skulle være så lik som mulig det som gjøres i prosjektering for bergskjæringer. Som tidligere diskutert er det ikke alltid borekjerne tilgjengelig, ei heller mulighet for å utføre tester i laboratorium eller felt. Ingen av masteroppgavens kartlagte prosjekter hadde tilgjengelig informasjon om materialtekniske målinger eller laboratorie-data, hverken før eller etter utbygging. Det ble derfor vurdert at det ikke var relevant å samle laboratoriedata eller målinger i prosessen, når målinger ikke ville bli benyttet senere og det i tillegg ville vært utenfor det som er normalt å ha av tilgjengelig informasjon i prosjektering.

6.5 Bergmasseklassifisering og utregning

Etter geologisk kartlegging og kinematisk analyse, ble det regnet ut verdier for bergmassekvaliteter i henhold til Q-metoden, Q-slope, RMR og SMR utledet i Avsnittene 3 og 4. For å unngå feil i utregninger ble det benyttet innebygde formler i regnearket for å gjøre beregninger. Formelen i regnearket valgte dermed det mest ugunstige sprekkesettet og det mest ugunstige forholdet (laveste i verdier), i hver rad (hver kartlagte seksjon) i regnearket. Dette ble gjort for å minimere menneskelige feil, som lett kan forekomme ved "manuell utvelgning" i store regneark.

6.5.1 Parametersetting for RQD

Ingen borekjerner var tilgjengelige for vegprosjektene, og RQD kunne derfor ikke bestemmes ut fra tradisjonell metode, beskrevet i Avsnitt 3.2. RQD ble derfor utregnet ved hjelp av Likning (2) og Likning (3), med volumetrisk telling. Volumetrisk sprekketelling ble gjort i felt, hvor antall sprekker pr. m², på et representativt areal for bergskjæringsseksjonen ble registrert i skjema i Vedlegg G. Sprekketelling ble utført 2-3 ganger for hver seksjon, før det ble bestemt hvilken som var representativ.

Det ble gjort utregninger med både Likning (2) og Likning (3). Senere ble det gjort en sammenligning av resultater for disse to formlene. I utregninger ble RQD-verdier mindre en null korrigert til 10. Verdier over 100 ble korrigert til 100. Dette ble gjort av hensyn til retningslinjene til Q-systemet, beskrevet i Avsnitt 3.3, der hele Q-verdien blir lik null dersom RQD er lik null. RMR-systemet bruker betegnelsen *svært dårlig* for alle verdier <25, og er dermed ikke påvirket av dette.

Resultatet av sammenligningen for de ulike formlene er vist i Vedlegg E. Det ble ut fra denne sammeligningen bestemt at RQD-verdier utregnet med Likning (3) skulle benyttets videre i beregninger for bergmasseklassifiseringer, da forskjellen ikke var så stor, og Likning (3) var den mest oppdaterte formelen.

6.5.2 Kinematiske analyser

For vurderinger og parametersetting i henhold til Avsnittene 3 og 4, var det behov for å vurdere hvilke bruddmekanismer som er aktuelle i de ulike bergskjæringene. Det er derfor utført kinematiske analyser i oppgavearbeidet, da Q-slope og SMR-systemet tar hensyn til sprekkeorienteringer og mulige bruddmekanismer i vurderingen av bergmassekvalitet.

Sprekkemålinger fra feltarbeidet, ble eksportert fra GeolD og analysert i analyseverktøyet *Dips*, versjon 8.009, levert av Rocscience. *Dips* plottet automatisk både sprekkerose-diagram og vektorkontur-plott. Konturplott er en av hovedverktøyene i *Dips*, og kan brukes til måle gjennomsnitt og maksimum konsentrasjon av poler (Rocscience, 2020). Verktøyet er spesielt nyttig der orientering av sprekkesett ikke er like tydelig ved konvensjonelt polplott og spredningsplott (Rocscience, 2020). Konturen av plottene representerer pol-konsentrasjoner, statistisk utregnet ved hjelp av Fisher-metoden. I analyser ble det definert hovedsprekkesett ved hjelp av klynge-analyse (*Cluster analysis*). Funksjonen bruker algoritmen *fuzzy cluster* for å velge ut poler og beregne hovedsprekkesett, ut fra et manuelt approksimert senter med poler. Når polene for sprekkesettet har blitt valgt, opprettes et gjennomsnittsplan utregnet med Fisher-metoden (Rocscience, 2020).

For å kunne gjøre kinematiske analyser trengs også et estimat av friksjonsvinkelen til bergarten og bergskjæringsorientering målt i felt. Barton *mfl.* (1974) har foreslått en tilnærming til friksjonsvinkelen ved å bruke parameterene J_a og J_r fra Q-systemet, som vist i Likning (12). Noen erfaringsdata fra laboratorieanalyser med ulike bergarter, presentert av Whyllie og Mah (2004) er vist i Tabell 31. Det ble bestemt å bruke Likning (12) og Tabell 31 som en tilnærming til friksjonsvinkel i utførelse i kinematiske analyser, som følge av bortvalget av laboratorieundersøkelser. Dette gav føringer for at friksjonsvinkelen maksimalt skulle settes til 34° for gneiser og 27° for glimmerskifer og amfiboler, selv om det teoretisk sett er mulig å ha friksjonsvinkler på inntil 45° . Dersom utregnet friksjonsvinkel ble lavere enn verdiene i Tabell 31, skulle utregnet verdi brukes, fordi lav friksjonsvinkel ikke har annen konsekvens enn at det sikrer at tangeringspunkter nærmere sentrum av stereoplottet, havner innenfor bruddkriterier for de ulike bruddmekanismene. Dersom friksjonsvinkelen blir satt for høyt, kan en derimot risikere å ikke ha med alle de kritiske tangeringspunktene i analysen.

Friksjonsvinkelen ble regnet ut fra formel (Barton *mfl.*, 1974):

$$\phi = \arctan\left(\frac{J_r}{J_a}\right) \quad (12)$$

der

ϕ = Friksjonsvinkelen

J_r = Sprekkeruhetstall

J_a = Tall for sprekkefylling

Tabell 31: Typiske friksjonsvinkler for ulike bergarter (oversatt) (Whyllie og Mah, 2004)

| Bergklasse | Friksjonsvinkel | Berarter |
|-----------------|-----------------|---|
| Lav friksjon | $20 - 27^\circ$ | Skifer, skifrig leirstein & marmor |
| Medium friksjon | $27 - 34^\circ$ | Sandstein, siltstein, gneis & leiskifer |
| Høy friksjon | $34 - 40^\circ$ | Basalt, granitt, kalk & konglomerat |

I *Dips* er det gjort vurderinger av muligheter for planutglidning, kileutglidninger eller utvelting. Det vises også hvilket sprekkesett som er mest og minst ugunstig, samt hvilket sprekkesett det er mest sannsynlig at det forekommer utglidninger langs. Resultater for de kinematiske analysene er vedlagt i Vedlegg F. Det er lagt ved polplott og roseplott for hvert prosjekt i Vedlegg A, Vedlegg B, Vedlegg C og Vedlegg D.

6.5.3 Parametersetting for verdier i Q-systemet

Q-systemet er i utgangspunktet laget for tunneler og bergrom. Som tidligere nevnt må klassifiseringssystemer brukes forsiktig og aktsomt utenfor sine opprinnelige anvendelsesområder, omtalt Avsnitt 3. Følgelig er det gjort en del vurderinger for hvordan parameterne skal settes, for å være relevante for bergskjæringer. Dette gjelder spesielt parameterne J_w og SRF-verdier, hvor parameterbestemmelse blir gjort ut fra Tabellene 8 og 9. I forkant av feltarbeidet hadde det vært en uke med oppholdsvær og ingen større regnbyger. Derfor ble parameteren J_w satt til 0,66 tilsvarende "*Middels innsig, av og til utvasking av sprekketryllinger (mange drypp/"regn")*", definert i Tabell 8, der det ble observert fuktig berg.

Parameteren SRF er i de fleste tilfeller satt til kategorier F og G, definert i Tabell 9 som *Lave spenninger, nære overflaten, åpne sprekker*, verdi 2,5 og *Middels spenninger, gunstige spenningsforhold*, verdi 2,5. Disse verdiene ble fastsatt slik fordi bergskjæringer ikke har stabiliserende innspenninger og omhyllingstrykk som i tunneler og bergrom, som beskrevet i Avsnitt 3.3.6.

Resterende parametere i Q-systemet ble verdisatt ut fra originalmetoden, presentert i Avsnitt 3.3 med de tilhørende tabellene. Parametervurderinger ble gjort for alle tilstedeværende sprekkesett på hver kartlagte seksjon, og originaldata for utregninger finnes i Vedlegg E.

Ved utregninger av Q-verdier ble Likning (4) og parameterne for det mest ugunstige sprekkesettet (J_r/J_a) benyttet. Innebygde formler i regnearket ble benyttet til velge ut det minste verdien for J_r/J_a i hver rad/bergskjæringsseksjon. Det ble regnet ut Q-verdier for alle kartlagte seksjoner for hver bergskjæring, før det tilslutt ble gjort statistiske beregninger for å gi bedre visualisering av resultatene i oppgaven.

6.5.4 RMR-systemet

Det ble valgt å regne ut 2 forskjellige RMR-verdier. Den første RMR-verdien var uten vektning for ugunstige sprekkeseett, ofte omtalt som RMR_{basic} . Den andre RMR-verdien tok med alle 6 parameterne, beskrevet i Avsnitt 3.4, i beregningene.

Parameterne for sprekkeseender og sprekkarakter ble fastsatt ut fra sine tilhørende beskrivelser i Tabellene 13 og 14, basert på vurderinger fra felt og målinger utført med tommestokk. Parameteren for grunnvannsforholdet ble fastsatt ut fra vurderingene *helt tørr, fuktig, våt, dryppende eller flytende*, som vist i Tabell 16. For å få relevante verdier for vannforholdene i bergskjæringer, ble parametere verdisatt ut fra beskrivelser, fremfor vurderinger av tilsig og sprekkvannstykk.

RQD-verdi ble benyttet i henhold til Avsnitt 6.5.1. Fastsetting av parameter for bergartsstyrke/Uniaxial compressive strength (UCS) ble det derimot mer komplisert. Originalt var det bestemt å følge den empiriske metoden som beskrevet i tabell i kartleggingsskjemaet vist i Vedlegg G, for så å empirisk estimere bergartsstyrken. Tanken var å bruke empirisk metode, da lignende prosjekter sjelden har tilgang eller tid nok til å ta inn bergprøver og utføre tester eller laboratorieundersøkelser. Som tidligere nevnt, har Barton og Bar (2017) beskrevet at prosjekter sjeldent har tid eller budsjett til å stoppe driften, for å utføre undersøkelsene. I tillegg til at slike undersøkelser er kostbare.

Å sette verdier empirisk viste seg å bli utfordrende i felt, da flere av bergartene opplevdes å kunne bli skrapet med kniv, samtidig som det tok flere slag med geologhammer for å "knuse" bergarten. For å kunne sette parameterverdier for UCS, ble det derfor gjort en sammenligning med erfaringsdata fra SINTEF bergmekanisk laboratorium. I disse sammenligningene ble lagt spesielt fokus på målinger fra like bergarter med geografisk nærhet til Indre Fosen, og som muligens kunne tilhøre samme geologiske dekke, og dermed også ha tilnærmet like egenskaper. Sammen med feltbeskrivelser av bergartsstyrken, og lånte erfaringsdata fra SINTEF, ble dermed UCS parametersatt.

6.5.5 Q-slope

For å se på hvordan sprekkeseett enten kan være stabiliserende eller destabiliserende, ble det valgt å regne ut Q-slope-verdier på tre ulike måter. Én hvor Q-slope-verdi er utregnet uten vektning av sprekkeseorienteringer, én Q-slope-verdi vektet for planutglidninger og én vektet for kileutglidninger. Friksjonsparet (J_r/J_a) ble multiplisert med orienteringsfaktor A, for planutglidninger, og orienteringsfaktor A og B for kileutglidninger, i henhold til beskrivelser i Avsnitt 4.3.

I beregninger av Q-slope-verdier er det brukt de samme RQD , J_n , J_r og J_a som for beregningene i henhold til Q-systemet. Derimot brukes parameterne J_{wice} og en tilpasset SRF faktor, i siste leddet av Likning (9). Verdiene for parameterne J_{wice} og SRF ble fastsatt i felt, i henhold til beskrivelsene i Tabellene 25 til 28. Senere plukket regnearket ut de laveste verdiene for J_{wice} og SRF for beregninger.

6.5.6 SMR

For utregninger av SMR-verdier ble RMR_{basic} , omtalt i Avsnitt 6.5.4, benyttet. Dette ble gjort for at sprekkeseorienteringen ikke skulle tas hensyn til to ganger. Verdier for F_4 ble fastsatt i felt under kartlegging og vurdering av resultatet av sprengning og kontur. Verdier F_1, F_2, F_3 ble bestemt via kinematiske analyser og studier av sprekkeseett i forhold til bergskjæringsorienteringer, og verdi satt ut fra Tabell 20 og mulige bruddmekanismer. Bruddmekanismen som ga lavest verdi ble benyttet i beregninger. Til slutt ble SMR-verdi kalkulert med Likning (6).

6.6 Berginger for brukte og estimerte sikringsmengder

For å kunne undersøke estimerte mengder sikring i forhold til brukte mengder, er det regnet ut omtrentlige overflateareal av bergskjæringer basert på målte bergskjærings høyder og lengder på kartlagte seksjoner og regnet ut hvor mange bolter som brukes basert på lik C/C og bolteavstander fra de ulike bergmasseklassifiseringssystemene. Det angitte avvik er basert på avviket i antall bolter mellom bergmasseklassifiseringssystemene og faktisk brukte mengder.

I tillegg er det gjort en sammenligning av angitte bolteavstander ved å regne ut brukte bolteavstander, med antatt lik C/C, brukt boltemengde og estimerte overflateareal. Avviket er basert på bolteavstanden i de ulike klassifiseringssystemene sammenlignet med beregnet brukt bolteavstand.

Det gjøres oppmerksom på at estimatene er grove, og inneholder antagelser. Det er heller ikke tatt hensyn til at flere av bergskjæringerne er anlagt med sikringshyller, fordi det ikke finnes noe system som tar hensyn til det. Bruken av sikringshyller kan for enkelte av prosjektene ha ført til mindre sikringsbehov. Det antas likevel at beregninger kan gi en god indikasjon på hvor godt bergmasseklassifiseringssystemer fungerer.

6.7 Arbeid med statistikk og fremvisning av resultater

I statistisk beregning er det, for å vise den sentrale tendensen i resultater, valgt å bruke medianer fremfor gjennomsnitt, da *“gjennomsnitt kan gi ekstreme verdier stor vekt i statistisk fremvisning”* (Store norske leksikon, 2020). Informasjon innsamlet fra feltarbeidet var ikke tydelig normalfordelt. Dermed var det fare for at bruk av gjennomsnitt ville ha glattet ut forskjellene i bergmassekvaliteter innad i bergskjæringerne, men også innad i den enkelte kartlagte bergskjæringsseksjon.

Medianen er variabelen som ligger midt i det statistiske materialet (Store norske leksikon, 2020). Når antall observasjoner er partall, er medianen gjennomsnittet av de to midterste verdiene. Ved oddetall, er medianen den midterste verdien i datasettet. Det vil da være like mange parametere/verdier over medianen som under medianen i datasettet (Store norske leksikon, 2020). Statistiske bergninger er utført i regneark, hvor de innebygde funksjonene for median og kvartilbredder er benyttet. Kvartilbredden er differansen mellom første og tredje kvartil. 25% av verdiene er lavere enn første kvartil, og 75% av verdiene er lavere enn tredje kvartil (Nasjonal digital læringsarena (NDLA), 2020).

6.8 Styrker og svakheter ved anvendt metode

Denne seksjonen tar opp følgende momenter for å drøfte styrker og svakheter ved metoden:

- Studentens erfaring
- Metoden og materialer brukt i feltkartlegging
- Arbeid med innsamlet informasjon fra feltarbeid
- Hvordan bergmasseklassifiseringer fremstilles i resultatkapittelet.

6.8.1 Studentens erfaring

Studentens erfaring med geologisk kartlegging og geologiske vurderinger var i hovedsak fra ekskursjoner i forbindelse med fag ved NTNU. Kartlegging av strukturgeologiske egenskaper ble gjennomgått i feltkurs i strukturgeologi grunnkurs og videregående kurs (TGB 4150 og TGB 4165). Faget "skredprosesser TGB 4290" har gitt opplæring i utførelse av stabilitetsanalyser. I tillegg kommer opplæringen med stabilitetsanalyser og utførelse/dimensjonering av sikringstiltak for bergskjæringer, fra opplæringen i Statens vegvesen og sommerjobb. Opplæring fant sted på det tidligere kontoret for berg- og geoteknisk seksjon i Trondheim.

Studenten hadde kun begrenset erfaring med bergmasseklassifisering før arbeidet med denne oppgaven. Derfor ble det bestemt at på steder der det var tvil, skulle kartlagte bergskjæringsseksjoner være kortere. Dersom det fremdeles var tvil, skulle også spørreskjemaet (Vedlegg G) fylles ut flere ganger. Spørreskjemaet var også noe "overdimensjonert" med tanke på nødvendig informasjon, for å gjøre bergmasseklassifiseringer i ettertid. Det ble for eksempel registrert like parametere flere ganger. Det ble spurt om sprekkeavstander for både SMR- og RMR-systemet, selv om parameterverdien for disse skal være lik. Kartlagt informasjon er også nøye sammenlignet med tidligere kartlegginger og tilgjengelig informasjon fra Statens vegvesen, utført i forbindelse med forstudier og byggeplanrapporter. Dette ble utført i etterkant av feltarbeidet, slik at studenten ikke skulle bli for påvirket av andres vurdering.

Da studenten ikke hadde betydelig erfaring med bergmasseklassifisering fra før, er det grunn til å tro at det vil finnes feil i vurderinger, og at verdier noen plasser kanskje var for kritiske, eller omvendt. Siden det ble gjort to sammenligninger av systemer som er bygget på hverandre (Q-systemet/Q-slope og RMR/SMR) og har flere like parametere, kan det regnes som at feilen i de to sammenlignende systemene vil være like stor. Derfor kan sammenligningen av systemer og hvordan bergmasseklassifiseringssystemer oppfører seg, regnes som gyldig.

6.8.2 Metoden og utstyr brukt i feltkartlegging

Forstudier

Palmstrøm *mfl.* (2002) diskuterte viktigheten av å ha god kjennskap til det geologiske området som skal kartlegges. Tilgang til eksisterende rapporter og kartlegginger, utført av andre, kan ha påvirket studenten til å se det som er beskrevet i rapporter, framfor å gjøre egne vurderinger. Forstudier gjør at man på forhånd danner seg et inntrykk av det geologiske bildet, men det kan gjøre at man blir litt "blind" for observasjon av realiteten i felt. For å motvirke dette, har studenten forsøkt å få et så godt inntrykk av geologien som mulig, uten å bli påvirket av stabilitet og tiltaksvurderinger som er beskrevet i rapporter.

Målinger med digitalt kompass

Det ble benyttet mobil-kompass under kartleggingen, og kompasskursene ble jevnlig kontrollert mot et analogt Brunton-kompass for å se etter avvik. Novakova og Pavlis (2019) konkluderte med at så lenge man gjør målinger med mobilen, og vet omtrent hvor stor unøyaktigheten er, så vil det regnes som trygt å bruke digitalt kompass.

Tilgjengelighet til bergskjæringer for vurdering og måling av sprekkesett

Bergskjæringer ble under feltarbeidet kun befart fra bakkenivå, langs veg og grøftekanter. Følgelig øker usikkerheten for kartleggingen og kvantifiseringen av parametere med høyden på bergskjæringene. Målinger ble bare utført i nederste del av bergskjæringer tilgjengelig ut fra studentens høyde. I tillegg ble sprekkemålinger ikke utført der grøftebredder ikke var brede nok for sikkert personopphold. Dette gjelder eksempelvis bergskjæring 1, i prosjektet Osavatnet-Rødsjø, der grøften var for smal til personopphold, og parametrisering av verdier ble gjort på avstand fra andre siden av veien.

Høyden til bergskjæringer utgjorde usikkerheter i registrering av sikringstiltak. Flere av bergskjæringene var høye og hadde sikringshyller som skjulte noen av boltene når det skulle telles. En kan også regne med at usikkerheten i antall telte bolter øker med antallet. En kan forvente at usikkerheten øker i det man har passert 50 bolter for en kartlagt bergseksjon, med begrenset sikt og tilgjengelighet til bergskjæringen.

Registrering av felldata

For å fange opp mest mulig informasjon under kartleggingen, ble PC medbrakt i felt slik at nye data kunne registreres direkte i digitalt format fortløpende. En fordel med dette, sammenlignet med f.eks. notater på papir, er at alle data ble registrert på samme måte. Under kartleggingen var det også viktig at ingeniørgeologiske vurderinger skulle gjøres mest mulig in-situ, i stedet for å basere vurderingene mest på studier av bilder i etterkant. En ulempe med studier av bilder er at det ikke nødvendigvis fanger opp like mange detaljer som en kan observere i felt.

7 Resultater

Totalt ble 16 bergskjæringer kartlagt, med en sammenlagt lengde på 4200 m. Under oppgavearbeidet ble det lagt stor vekt på forskjellene mellom å beskrive, kvantifisere og klassifisere, omtalt i Avsnitt 3. I beregninger for bergmasseklassifiseringer er det gjort en rekke vurderinger, utledet i Avsnitt 6, basert på beskrivelser og kvantifiseringer fra feltarbeidet. Beregninger og deltaljinformasjon som ligger bak resultatene for bergmasseklassifiseringene, er vedlagt som Vedlegg A til Vedlegg F. Følgelig tar dette resultatkapittelet for seg de overordnede resultater for bergmasseklassifiseringer og hvordan de varierer i forhold til hverandre.

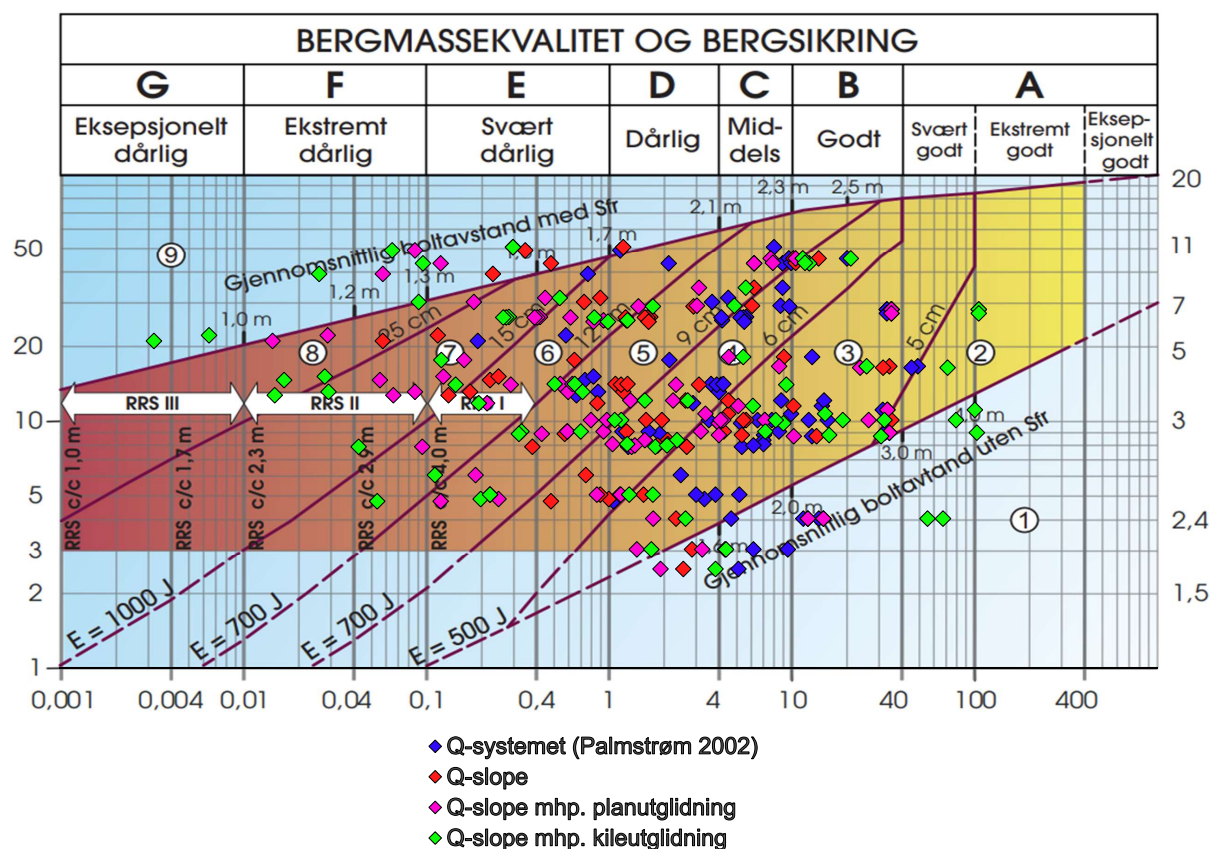
Følgende resultater er gitt i vedlegg:

- Geologiske beskrivelser for hver bergskjæring i hvert prosjekt, polplott og oversiktskart over kartlagt informasjon
- Kinematiske analyser
- Inngående parametere i bergmasseklassifiseringssystemene.

7.1 Bergmasseklassifiseringer

7.1.1 Q-systemet og Q-slope

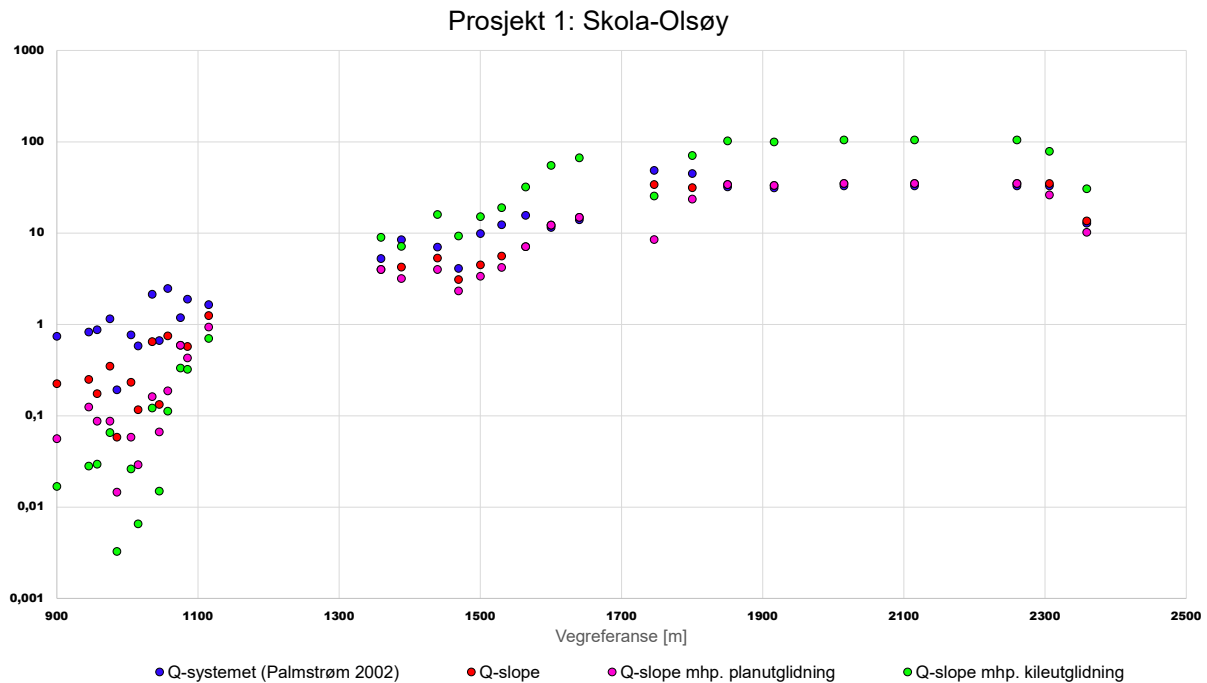
Figur 27 viser plott av beregnede Q- og Q-slopeverdier i sikringsdiagrammet tilhørende Q-systemet. Generelt kan en i Figur 27 observere en tendens der Q-systemet trekker lengst til høyre i sikringsdiagrammet. Q-slope uten vektning, samt Q-slope for planutglidning, trekker lengre til venstre i diagrammet. Dette indikerer en tendens der verdier for bergmasseklassifiseringssystemer blir lavere når det vektet for sprekkeorienteringer, samt tilpasses for miljø og klima. Følgelig trengs det også mer sikringstiltak når verdier trekkes mot venstre i sikringsdiagrammet. Verdier for Q-slope-verdier med vektning for kileutglidninger trekker i stor grad også til venstre, med enkelte unntak, hvor Q-slope verdier blir høyere enn Q-verdier og følgelig trekker lengst til høyre i Figur 27.



Figur 27: Resultater for alle utregnede verdier i henhold til Q-systemet og Q-slope, plottet i sikringsdiagrammet tilhørende Q-systemet

I Figurene 28 og 29 er det plottet Q-verdier og Q-slope-verdier langs vegprofilene til 2 av de 4 ulike prosjektene

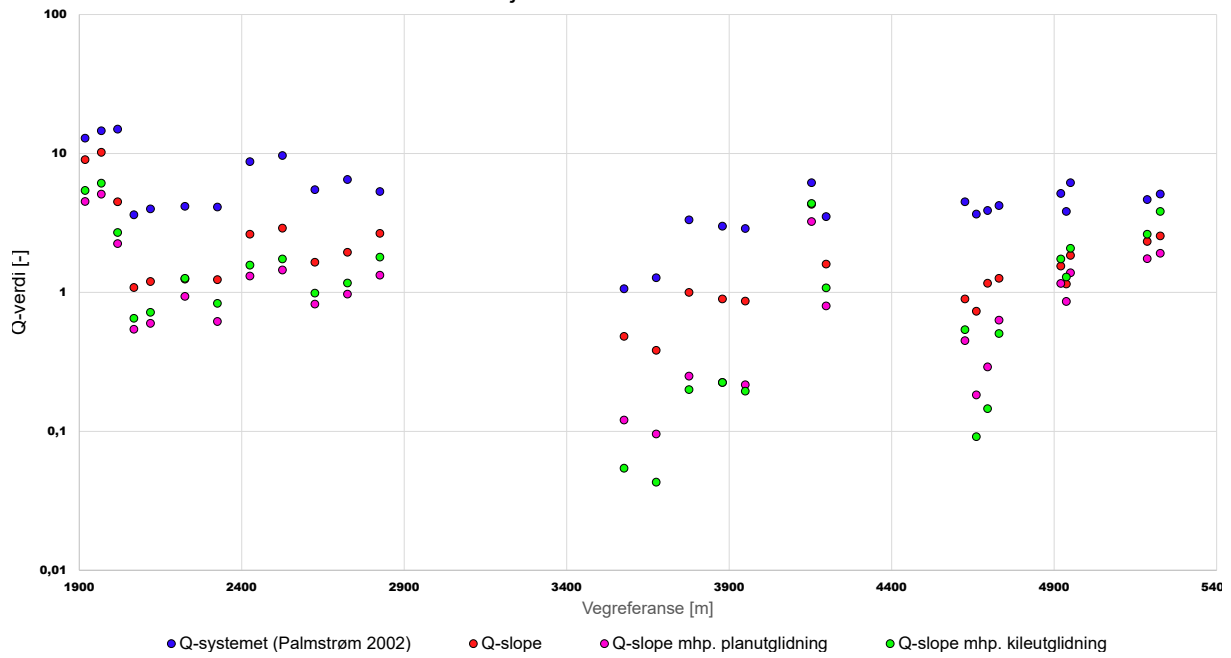
kartlagt i oppgaven. I plottet til prosjektet Skola-Olsøy (Figur 28), vises det at Q-systemet har de høyeste verdiene for bergskjæring 1 og 2 langs profil 900-1115. Deretter følger verdier for Q-slope og Q-slope med vekting for både ett og to sprekkesett. For de resterende bergskjæringene i Skola-Olsøy-prosjektet har Q-slope med vekting for kileutglidning blitt høyere som følge av gunstige sprekkeorienteringer. Mellom profil 1900 og 2115 er verdier for Q-systemet, Q-slope uten vektig og Q-slope med vektig for planutglidning tilnærmet like. Q-slope mhp. kileutglidning er høyere i verdi. Akkurat denne skjæringsstrekken opplevdes under kartleggingen som godt tilpasset til sprekkeorienteringer. Bergskjæringen opplevdes å være gunstig orientert både med tanke på strøk og fall, slik at konturen til bergskjæringen stod igjen som slett, med lite sikringsbehov.



Figur 28: Resultater for Q-systemet og Q-slope langs vegprofilet til prosjektet Skola-Olsøy

Verdier langs profilet til Nordsetervatnet (Figur 29) derimot, viser store sprang mellom Q-systemet og verdier for Q-slope, særlig ved vekting av sprekkesett. Bergskjæringene langs Nordsetervatnet har sprekkesett som er ugunstig orientert i forhold til vegprofilet. Det ble observert flere flak og kiler under kartleggingen, der det var gjort tett bolting. Spranget i verdier vil føre til hopp både opp og ned, en og to klasser i bergmassekvalitet. Følgelig er det stort sprang i sikringsbehov. Dette understreker viktigheten av at sprekkeorienteringer tas med i beregninger for bergmasseklassifiseringer, da sprekkesett både kan være stabiliserende og destabiliserende, og kan skyve verdier for bergmassekvalitet opp og ned både én og to sikringsklasser.

Prosjekt 4: Nordsetervatnet



Figur 29: Resultater for Q-systemet og Q-slope langs profilet til prosjekt Nordsetervatnet

7.1.2 RMR og SMR

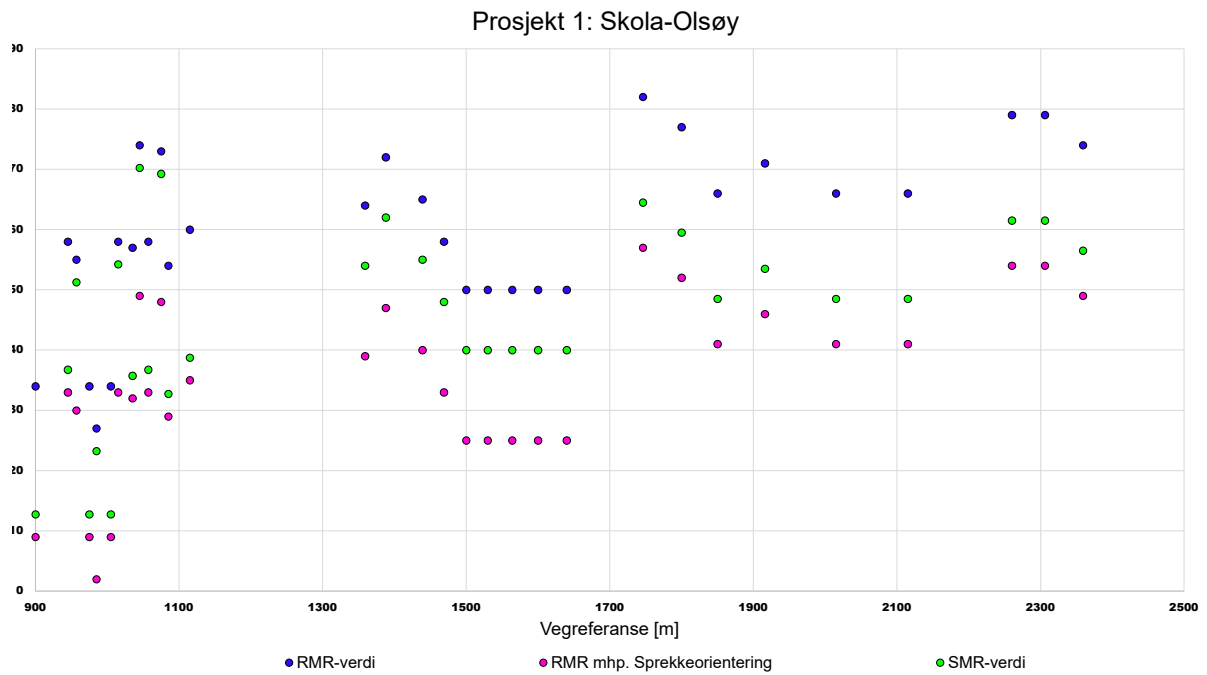
Resultater for beregnede medianverdier og kvartilbredder for RMR- og SMR-verdier i alle fire prosjektene er gitt i Tabell 32. Resultatene er ikke tydelig normalfordelt, dette indikerer at det finnes ulikheter selv innad i den enkelte bergskjæring. Generelt er RMR-verdiene høyest, og SMR-verdiene nest høyest. Verdiene til RMR med vekting for sprekkese sett fikk de aller laveste verdiene.

Tabell 32: Resultater for medianverdier og kvartilbredde (i parentes) for hhv. RMR, RMR mhp. sprekkorientering og SMR, til hver enkelt bergskjæring som ble undersøkt

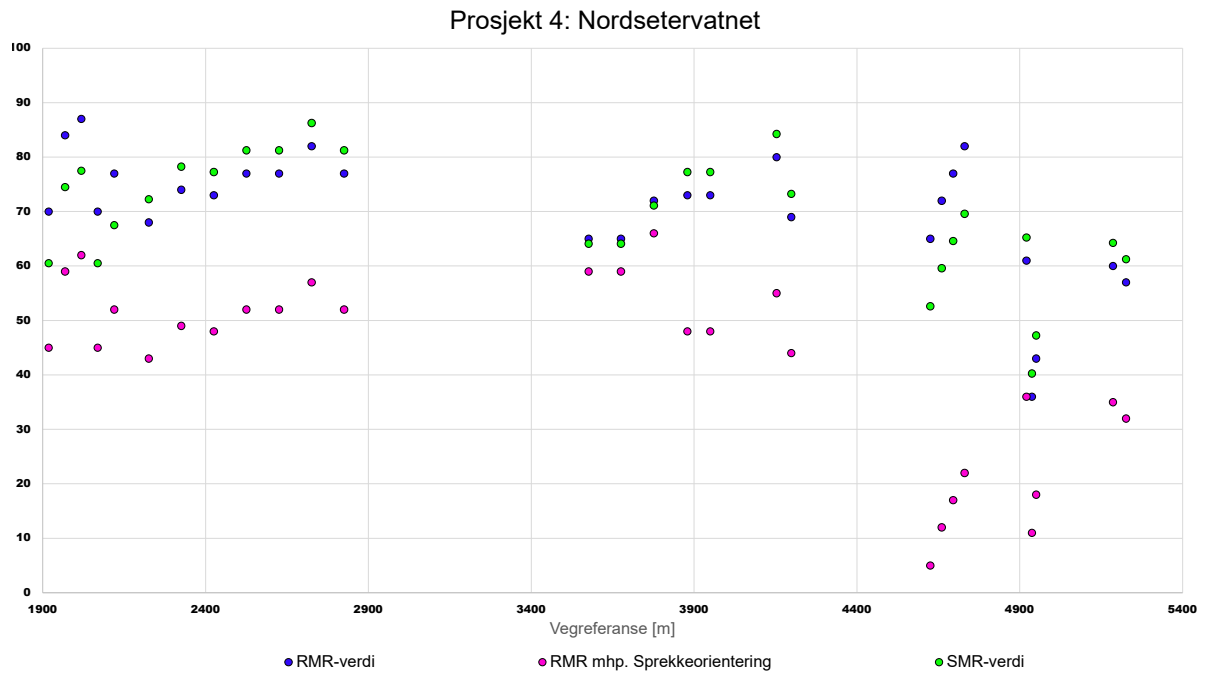
| Prosjekt | Skjæring nr. | RMR | RMR mhp. sprekkorientering | SMR |
|------------------|--------------|---------|----------------------------|---------|
| Skola-Olsøy | 1 | 58 (18) | 33 (18) | 54 (18) |
| | 2 | 56 (24) | 31 (24) | 34 (24) |
| | 3 | 50 (14) | 25 (14) | 40 (14) |
| | 4 | 74 (13) | 49 (13) | 57 (13) |
| Olsøysvingene | 1 | 75 (3) | 25 (3) | 74 (3) |
| Osavatnet-Rødsjø | 1 | 77 (10) | 52 (10) | 82 (10) |
| | 2 | 84 (4) | 59 (4) | 82 (4) |
| | 3 | 75 (3) | 50 (3) | 62 (3) |
| | 4 | 73 (9) | 48 (9) | 73 (9) |
| Nordsetervatnet | 1 | 77 (14) | 52 (14) | 68 (14) |
| | 2 | 77 (4) | 52 (4) | 81 (4) |
| | 3 | 72 (8) | 59 (11) | 71 (13) |
| | 4 | 75 (6) | 50 (6) | 79 (6) |
| | 5 | 75 (8) | 15 (8) | 62 (8) |
| | 6 | 43 (13) | 18 (13) | 47 (13) |
| | 7 | 59 (2) | 34 (2) | 63 (2) |

I Figurene 30 og 31 er RMR-verdier plottet langs vegprofilen i prosjektene Skola-Olsøy og Nordsetervatnet. Figur 30 viser at RMR-verdier stort sett alltid er høyere enn SMR-verdier. Verdier i prosjektet Nordsetervatnet (Figur 31) er litt mer varierende. Der stabilitetsutfordringene i bergskjæringer ikke er så store, er SMR- og RMR-verdier tilnærmet like (se Figur 31 profil 3400-3900). Der sprekkese tene er ugunstig orientert, er SMR-verdiene lavere enn RMR-verdier uten vekting. Dette bekrefter forskjellen som oppstår når det vektet for sprekkese sett, men indikerer samtidig at RMR-verdi med vekting muligens er for kritisk til å brukes for bergskjæringer, sammenlignet med SMR som er tilpasset for bergskjæringer.

I noen få tilfeller er SMR-verdien høyere enn RMR-verdien.. Dette gjelder spesielt Nordsetervatnet (Figur 31) langs profil 2225-2825 og 3879-4198. Akkurat disse strekkene har fått lagt til en verdi på 8 grunnet god utsprenning i henhold til Tabell 19, selv om det er utført god utsprenning er sprekkese sett ugunstig orientert slik at det er stabilitetsutfordringer som krever sikring. Dette indikerer at faktor F_4 er noe for tungt vektet i slike tilfeller. I litteraturen er det funnet at sprekkese sett kan være stabiliserende ved gunstige orienteringer, men at parameteren F_4 kan gi høyere SMR-verdier fordi det legges til en høy verdi ved god utsprenning. Ut fra datasettet kan det sees at F_4 er noe for tungt vektet i utregninger for bergmassekvalitet.



Figur 30: Resultater for RMR- og SMR-systemet langs vegprofilet til prosjektet Skola-Olsøy



Figur 31: Resultater for RMR- og SMR-systemet langs vegprofilet til prosjektet Nordsetervatnet

7.2 Registrert og estimert sikring

7.2.1 Estimerte sikringsmengder i konkurransegrunnlag versus brukte mengder

I Tabell 33 er det vist en oversikt over estimerte sikringsmengder i rapport for konkurransegrunnlag, og mengder sikring registrert under feltkartleggingen for prosjektene Skola-Olsøy og Nordsetervatnet. For prosjektet Skola-Olsøy viser Tabell 33 at det var antatt 85% flere bolter enn benyttet, og benyttet 30% mer steinsprangnett enn antatt. I tillegg var det antatt å bruke 220 m³ sprøytebetong, uten at sprøytebetong ble benyttet som endelig sikring.

I prosjektet Nordsetervatnet var både boltmengder og antall kvadratmeter steinsprangnett underestimert med hhv. 24% og 48%, se Tabell 33. Nordsetervatnet ble også planlagt med sprøytebetong som sikringsmiddel. Mengde sprøytebetong var estimert til omtrentlig 30 m³, likevel ble ikke sprøytebetong benyttet.

Tabell 33: Sammenligning av mengder sikring i forprosjekt og faktiske mengder. Avvik mellom planlagte og faktiske mengder i parentes

| Prosjekt | Ant. bolter | Boltetetthet | Areal nett | Volum sprøytebetong | |
|------------------------------|-------------|--------------------|-------------------|---------------------|---|
| | [-] | [m ⁻¹] | [m ²] | [m ³] | |
| MENGDER I FORPROSJEKT | | | | | |
| Skola-Olsøy | 2200 | | 3750 | 220 | |
| Nordsetervatnet | 820 | | 1400 | 30 | |
| FAKTISKE MENGDER | | | | | |
| Skola-Olsøy | 1186 | (+86%) | 2,76 | 5329 (-30%) | 0 |
| Nordsetervatnet | 1081 | (-24%) | 9,12 | 2680 (-48%) | 0 |

7.2.2 Brukte boltmengder versus beregnede med klassifiseringssystemer

I Tabell 34 vises antall benyttete bolter sammen med beregninger for antall bolter basert på de fire ulike klassifiseringssystemene. Tabell 34 viser også avviket mellom registrerte og benytter antall bolter for hver av berskjæringene. I Tabell 35 er estimert bolteavstand for de ulike bergskjæringene sammenlignet med bolteavstand angitt i de ulike klassifiseringssystemene. Tabellene 34 og 35 antyder at Q-systemet og RMR med vektning overestimerer antallet bolter, ved å angi kortere bolteavstander enn det som ble benyttet i bergskjæringene. RMR-systemet både under- og overvurderer boltmengder. Dersom man benytter SMR-verdier i sikringsdiagrammet for RMR-systemet (Figur 16), ser det ut til at det oppnås lavest avvik for boltelengder og bolteavstander. De stedene der RMR-systemet har angitt sporadisk bolting i stedet for systematisk, er det satt strek i tabellene, da det ikke går an å sammenligne.

Tabell 34: Sammenligning av registrert og estimert antall bolter for alle fire prosjekt. Tall i parentes viser avvik mellom det som er estimert og det som er registrert antall

| Prosjekt | Skjær. | Reg. | Q | RMR | RMR-s | SMR |
|------------------|--------|------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Skola-Olsøy | 1 | 216 | 497 (+130%) | 162 (-25%) | 318 (+47%) | 162 (-25%) |
| | 2 | 773 | 652 (-16%) | 448 (-42%) | 877 (+14%) | 877 (+14%) |
| | 3 | 0 | 236 | 279 | 546 | 379 |
| | 4 | 197 | 304 (+54%) | 344 (+75%) | 701 (+256%) | 344 (+75%) |
| Olsøysvingene | 1 | 180 | 245 (+36%) | 120 (-33%) | 480 (+167%) | 120 (-33%) |
| Osavatnet-Rødsjø | 1 | 68 | 295 (+334%) | 153 (+125%) | 312 (+359%) | - |
| | 2 | 109 | 407 (+274%) | - | 368 (+237%) | - |
| | 3 | 59 | 333 (+464%) | 182 (+209%) | 372 (+530%) | 182 (+209%) |
| | 4 | 53 | 90 (+69%) | 46 (-13%) | 95 (+79%) | 46 (-13%) |
| Nordseter-vatnet | 1 | 183 | 200 (+9%) | 162 (11%) | 331 (-81%) | 162 (-11%) |
| | 2 | 582 | 1147 (+97%) | 562 (-3%) | 1147 (+97%) | - |
| | 3 | 86 | 489 (+470%) | 132 (+54%) | 207 (+141%) | 132 (+54%) |
| | 4 | 17 | 61 (+257%) | 28 (+65%) | 57 (+237%) | 28 (+65%) |
| | 5 | 190 | 1179 (+836%) | 139 (-27%) | 872 (+359%) | 139 (-27%) |
| | 6 | 23 | 32 (+37%) | 43 (+87%) | 62 (+169%) | 32 (+37%) |
| | 7 | 0 | 22 | 17 | 30 | 11 |
| Sum | | 2736 | 6789 | 2818 | 6776 | 2616 |

Tabell 35: Sammenligning av registrert og estimert antall bolter pr. meter i lengderetning og høyderetning

| Prosjekt | Skjær. | Est. | Q | | RMR | | RMR-s | | SMR | |
|------------------|--------|------|------|--------|------|--------|-------|--------|------|--------|
| Skola-Olsøy | 1 | 1,52 | 1 | (-34%) | 1,75 | (+15%) | 1,25 | (-18%) | 1,75 | (+15%) |
| | 2 | 1,33 | 1,45 | (+9%) | 1,75 | (+31%) | 1,25 | (-6%) | 1,25 | (-6%) |
| | 3 | - | 1,9 | | 1,75 | | 1,25 | | 1,5 | |
| | 4 | 3,3 | 2,66 | (-19%) | 2,5 | (-24%) | 1,75 | (-53%) | 2,5 | (-24%) |
| Olsøysvingene | 1 | 2,04 | 1,75 | (-14%) | 2,5 | (+22%) | 1,25 | (-39%) | 2,5 | (+22%) |
| Osavatnet-Rødsjø | 1 | 3,75 | 1,8 | (-23%) | 2,5 | (+7%) | 1,75 | (-25%) | - | |
| | 2 | 3,67 | 1,9 | (-48%) | - | | 2 | (-46%) | - | |
| | 3 | 4,39 | 1,85 | (-58%) | 2,5 | (-43%) | 1,75 | (-60%) | 2,5 | (-43%) |
| | 4 | 2,34 | 1,8 | (-23%) | 2,5 | (+7%) | 1,75 | (-25%) | 2,5 | (+7%) |
| Nordsetervatnet | 1 | 2,35 | 2,25 | (-4%) | 2,5 | (+6%) | 1,75 | (-26%) | 2,5 | (+6%) |
| | 2 | 2,46 | 1,75 | (-29%) | 2,5 | (+2%) | 1,75 | (-29%) | - | |
| | 3 | 3,10 | 1,3 | (-58%) | 2,5 | (-19%) | 2 | (-36%) | 2,5 | (-19%) |
| | 4 | 3,21 | 1,7 | (-47%) | 2,5 | (-22%) | 1,75 | (-46%) | 2,5 | (-22%) |
| | 5 | 2,14 | 0,7 | (-67%) | 2,5 | (+17%) | 1 | (-53%) | 2,5 | (+17%) |
| | 6 | 2,05 | 1,75 | (-15%) | 1,5 | (-27%) | 1,25 | (-39%) | 1,75 | (-15%) |
| | 7 | - | 1,75 | | 2 | | 1,5 | | 2,5 | |

8 Diskusjon

Dette kapitlet er strukturert rundt forskningsspørsmålene:

1. Hvordan kan bermasseklassifiseringssystemer brukes og tilpasses for bergskjæringer?
2. Hvor forskjellig er sikringsmengder estimert med bermasseklassifisering, sammenlignet med tradisjonelt estimerte sikringsmengder for Fosenveggen?
3. Hvordan kan bermasseklassifiseringer implementeres i Statens vegvesen, og hvordan vil dette være i forhold til dagens praksis?

8.1 Vurdering av de benyttede bermasseklassifiseringssystemene

8.1.1 Q-systemet versus Q-slope

Generelt er det i resultater observert høyere verdier for Q-systemet enn for Q-slope. Når det videre tas hensyn til vektning av sprekkeplan, var Q-slope verdier med vektning enda lavere, med enkelte unntak hvor sprekkesystemer virker stabiliserende.

Det ble i Figur 27 valgt å plote verdier for Q-systemet og Q-slope i sikringsdiagrammet tilhørende Q-systemet. Det er flere ganger i oppgaven nevnt at bruk av bermasseklassifiseringer utenfor sine tiltenkte bruksområder, må gjøres med forsiktighet. Dette gjelder nok også i dette tilfellet. Det ble bevisst valgt å gjøre det slik for å kunne se om Q-slope-verdier, som er tilpasset bergskjæringer, konsekvent ville ha lavere verdier enn Q-systemet, og følgelig også kreve strengere sikringstiltak, da det i dag ikke finnes noen sikringsangivelser for Q-slope.

Q-slope angir originalt en verdi som skal brukes for utregning av helning for stabil bergskjæring, med minimalt sikringsbehov. Her kan det påpekes at Q-slope er tilsvarende for Q-systemet, med enkle justeringer for klima og miljøfaktor, samt vektning for sprekkeorientering. Sammenligningen av Q-slope og Q-systemet som mulige bermasseklassifiseringssystemer er følgelig gyldig. Argumentasjonen for at Q-slope vil føre til økt sikringstiltak er også gyldig, men for å kunne bruke Q-slope for sikring, må det gjøres en del tilpasning på sikringsdiagrammet slik at det også er tilpasset for bergskjæringer. Det kan argumenteres for at Q-slope-verdier vil være en god tilpasning av et allerede mye brukt og kjent klassifiseringssystem, som er godt implementert og brukt i Statens vegvesen. De fleste geologer kjenner til Q-systemet og det vil være lettere å implementere bruk av Q-slope enn eksempelvis SMR.

8.1.2 RMR versus SMR

Generelt er det i resultater observert at RMR-verdiene uten vektning for sprekkesett, er høyere enn SMR-verdiene. På en annen side er RMR-verdiene vektet med sprekkeorientering langt lavere igjen. Hovedforskjellen mellom RMR- og SMR-systemet er at SMR-systemet er vektet med hensyn til sprekkes og bergskjæringens orientering i forhold til hverandre. I litteratur fremgår det at sprekker har egenskaper til å være stabiliserende dersom de er gunstig orientert. Dersom de geometiske betingelsene for planutglidninger, utvelting eller kileutglidning er tilstede, vil sprekker ha destabiliserende egenskaper. SMR-systemet virker å være en god tilnærming til å ta hensyn til dette, foruten at parameteren F_4 er noe for tungt vektet hvor det er lagt til verdi for "god utsprengning" selv om sprekkes orientering fører til stabilitetsutfordringer.

For RMR med vektning for sprekkeorientering, er det ikke tatt hensyn til at sprekkes orientering kan være stabiliserende, ved at det alltid trekkes fra en verdi eller ikke legges til verdi på totalsummen som angir bermassekvalitet. Selv for "veldig gunstige" orienteringer trekkes det fra en verdi på 5. Dermed vil vektet RMR-verdi alltid være lavere enn SMR og RMR uvektet. Denne oppgavens observasjoner samsvarer med funn i litteraturstudiet når det gjelder hvordan sprekkes orienteringer er svært viktig for angivelse av bermassekvaliteter. Resultatene viser at bermassekvaliteten generelt går ned én til to kvalitetsklasser hvor sprekker er vektet for systemet, noe som vil føre til strengere sikringstiltak.

8.2 Sammenligning av brukte og estimerte sikringsmengder

I Statens vegvesen brukes anslagsmetoden, beskrevet i håndbok R764, for å estimere kostnaden for vegprosjekter. Det er satt et krav om at kostnader i forbindelse med oversiktsplaner skal vurderes med en nøyaktighet på $\pm 40\%$. For kommunedelplan skal kostnader angis med nøyaktighet på $\pm 25\%$, for utredninger $\pm 40\%$ nøyaktighet. For reguleringsplaner skal kostnader utregnes med nøyaktighet $\pm 10\%$. Kostnadsoverslag skal ha minimum 70% sannsynlighet for å ligge innenfor intervallet for nøyaktighetsgrense (Vegdirektoratet, 2014a). Følgelig er det viktig å ha nøyaktige estimat for sikringsmengder, da avvik i sikringsmengder fører til avvik i kostnader, og har påvirkning på hvorvidt bergmasseklassifiseringer kan benyttes til slike anslag.

8.2.1 Sammenligning av estimert sikring i prosjektering og brukte mengder sikring

Det er ikke gjort nok sammenligninger i denne oppgaven til å si om prosjektene Skola-Olsøy og Nordsetervatnet er representative for majoriteten av sikringsprosjekter i Norge. Ingen av de beregnede avvik i sikringsmengder angitt i Tabell 33 er innenfor tilfredsstillende krav for nøyaktighet, hverken for utredning, kommunedelplan eller reguleringsplan. Som nevnt i Avsnitt 6, kan det ikke utelukkes feil i registrerte mengder sikring, særlig hvor det er flere sikringshyller og det er angitt over 100 bolter pr. kartlagte seksjon. Det kan derfor ikke gjøres konkluderende vurderinger for hvor store disse unøyaktighetene vanligvis er. Følgelig bør det i fremtidig arbeid undersøkes hvordan avviket mellom estimert sikringsmengde, basert på erfaring, er i forhold til brukte mengder. Dette for å kunne gjøre en sammenligning med avviket mellom estimerte sikringsmengder basert på klassifiseringssystemer.

8.2.2 Sammenligning av brukte mengder sikring og mengder sikring angitt av bergmasseklassifiseringer

Det er ikke valgt å gjøre vurderinger i forhold til Q-slope verdier, da Q-slope ikke har et tilhørende system som angir sikring i dag. Generelt viser resultater at Q-systemet er for konservativt og overvurderer antall bolter, ved å angi kortere bolteavstander. Som vist i Avsnitt 8.1.1, vil sikring ut fra Q-slope føre til strengere sikringstiltak, som igjen vil være for konservativt til å kunne benyttes.

Resultater fra sammenligning av sikring viser at RMR-systemet er nærmere antall brukte bolter enn Q-systemet, men likevel ikke nøyaktig nok i henhold til anslagsmetoden. Angitte bolteavstander er i stor grad innenfor anslagsmetodens nøyaktighetskrav til både utredninger, kommunedelplan og reguleringsplan. Det er i Tabellene 34 og 35 angitt sikring basert på SMR-verdier i RMR-sikringstabell. Det er i grenseland å gjøre en slik sammenligning, da det fører til sikring utenfor SMR-systemet sitt bruksområde, men overraskende nok er det den beste tilpasningen for hvilket sikringsystem som burde benyttes. SMR-resultatet tilfredstiller nøyaktighetskravet til avvik i antall bolter både for utredning, kommunedel- og reguleringsplan i flere tilfeller, samt at alle avvik for bolteavstander er innenfor kravet til utredning, eller strengere.

Resultater i sammenligning antyder at bruk av bergmasseklassifisering med et passende utformet sikringssystem, kan tilfredstille kravene til antatte/angitte mengder i prosjektering. Bruken av bergmasseklassifiseringssystemer tilpasset for tunneler og bergrom for å estimere sikring i bergskjæringer, er ikke tilfredsstillende slik det fremgår i denne oppgaven, men må vurderes nærmere med mer nøyaktige tall for sikring.

8.3 Dagens sikringspraksis, lover og regler

For å kunne diskutere om det er mulig å implementere bruk av bergmasseklassifiseringer for bergskjæringer, må det undersøkes om det er mulig i forhold til dagens gjeldende regelverk og standarder. Følgelig er det relevant å diskutere to momenter:

(1): Hva som har blitt oppdradert i de gjeldende føringer de siste årene, og

(2): Hvilke føringer trenger fremdeles forbedring for å muliggjøre bruk av bergmasseklassifiseringer for bergskjæringer

Det vil alltid, i en viss grad, være rom for tolkning av lover og regler. Som angitt i Avsnitt 6 er ikke subjektivitet et ukjent fenomen i ingeniørgeologi. Det finnes sjeldent to streker under svaret, og to geologer kan f.eks. kartlegge samme tunnelseksjon eller bergskjæring, svært ulikt. Derfor tar slutten av dette kapittelet for seg hvordan regelverk blir og har blitt tolket ulikt av forskjellige geologer, og hvilke følger det kan ha, samt hvordan bruk av bergmasseklassifiseringer kan påvirkes av dette.

8.3.1 Utvikling i føringer og krav i vegnormaler

Føringer for geologiske undersøkelser og prosjektering har over tid endret seg i vegnormaler. Siste versjon av vegnormal N200 *Vegbygging*, fra 2018, har oppgradert kravet til innhold i geologiske forundersøkelser (med omtalelse av bergskjæringer) i tidlig planfase, kommunedelplan, fylkesdelplan og reguleringsplan, samt geologiske rapporter for konkurransegrunnlag. Tidligere henviste N200 (2014-versjonen) til håndbok V500, *Vegtunneler* for vurdering av undersøkelsesomfang. For sikring mot skred er det fremdeles henvist til VD rapport nr. 32, *Sikring av veger mot steinskred*. Rapporten tar i hovedsak for seg sikring av naturlig terreng, og ikke bergskjæringer (Vegdirektoratet, 2011b). Det eneste som omtaler sikring av bergskjæringer er følgende: *“Bergskjæringer skal renskes for løst berg og sikres mot nedfall i vege”* (Statens vegvesen, 2018)

Tunneler har fått tildelt en egen vegnormal, N500 *Vegtunneler*, som gir føringer for prosjektering og krav til bygging av tunneler, i henhold til gjeldende forskrifter. Normalen tar for seg utføring av geologisk kartlegging, samt vurderinger i alle anleggs- og prosjekteringsfaser for tunnel. Det har under dette oppgavearbeidet vært savnet en tilsvarende vegnormal for bergskjæringer, som gir tydeligere føringer for hvordan sikring av bergskjæringer skal utføres og prosjekteres, særlig i forhold til Eurokode 7. I desember 2020, på slutten av masterarbeidet ble veilederen V225, *Bergskjæringer* publisert. Denne er veiledende for føringer gitt i vegnormal N200, *Vegbygging*.

Veilederen V225, *Bergskjæringer* tar for seg flere av de ting som var savnet i N200, deriblant:

- En tydeligere definisjon/begrensning for hvilke undersøkelser som skal utføres ved prosjektering av bergskjæringer og sikringstiltak
- En grundig innføring i driftsmetode for bergskjæringer, fremfor henvisning til håndbok V500, *Tunneler*, der føringer ikke nødvendigvis er relevante/anvendbare for bergskjæringer
- Beskrivelse av sikring som er tilpasset for bergskjæringer, og krav til sikringsmetoder i dagen

Veilder V225 tar for seg en del utsagn som kan regnes som “vage” i vegnormal N200, og forklarer enkelte utsagn nærmere. Blant disse utsagnene er:

- *“Det skal gjennomføres tilstrekkelig med stabilitetsanalyser til å dokumentere at sikkerheten er ivaretatt for vege, tilstøtende terreng og bebyggelse”* - Hva er tilstrekkelig med stabilitetsanalyser, hvilke analyser er det snakk om? Er det opp til den enkelte geolog å bestemme?
- *“En vurdering av skredfaren i prosjektet skal beskrives, sammen med forslag til sikringstiltak og tilhørende restrisiko for skred på veg”* - Hva skal en slik vurdering inneholde?
- *“Bergskjæringer skal renskes for løst berg og sikres mot nedfall i vege”* - Hvilke retningslinjer skal føres for utforming/prosjektering av sikringstiltak?

Det er gitt mange nyttige beskrivelser i V225 *Bergskjæringer*, likevel vil det her påpekes noen mangler. For å sikre veger mot steinsprang viser V225 *Bergskjæringer*, til R211, *Feltundersøkelser* og V520, *Tunnelveiledning* når det gjelder forundersøkellesmetoder, geologisk kartlegging og dokumentasjon. I Håndbok V520 skives det at *“For alle faser utføres bergmasseklassifisering langs traseen med Q-metoden”*. Følgelig angir V225 indirekte at det skal brukes bergmasseklassifisering med Q-metoden ved kartlegging. Funn i denne oppgaven viser at klassifiseringsystemer for tunnel ikke direkte kan brukes for å angi sikring av bergskjæringer, uten at det gjøres tilpasninger.

Det skrives i V225 at det stort sett ikke gjøres stabilitetsberegninger i forbindelse med prosjektering av sikring, med mindre det er avdekket er problem med totalstabiliteten for bergskjæringen. Denne problemstillingen er såpass stor at den har fått sitt eget delkapittel (Avsnitt 8.3.2) hvor dette diskuteres nærmere.

De kartlagte prosjektene i denne oppgaven bærer preg av å være høye bergskjæring med 1-3 sikringshyller. Følgelig har det vært savnet en angivelse for hvorfor de er utformet som de er. I Tabell 36 er det gitt et utvalg av ingeniørgeologiske prosjekter som er tilgjengelig på internett og tildelt av Statens vegvesen. I 9 av 12 prosjekteringer har det blitt anbefalt sikring med bruk av berghyller. V225 oppfordrer til bruk av sikringshyller der terreng og plass tillater det, for å minske skjæringshøyder. Likevel tar ikke V225 for seg trenden for sikring med berghyller, og gir ikke noen tydelige grenser for hvordan vurderinger og utforming av slike sikringshyller skal utføres. Whyllie og Mah (2004) skriver at etablering av sikringshyller kan føre til både forbedring og forverring av stabiliteten, avhengig av om de prosjekteres korrekt eller ikke.

Det er tydelig at både oppgraderingen av håndbok N200 i 2018, samt publiseringen av V225 i 2020, har gitt tydeligere føringer for innhold i ingeniørgeologiske undersøkelser for bergskjæring. Likevel er det noen mangler i at det fortsatt henvises til føringer og vegnormal for tunneler. Som innledet i Avsnitt 4 er det ikke alltid heldig at bergskjæring "arver" føringer fra tunneler. Et annet argument er at vurderinger og beregninger for bergskjæring ofte kan bli overskygget av tunneler i planleggingsfaser. Følgelig bør bergskjæring og tunneler skiller som separate prosjekter med separate vegnormaler. Et av hovedfunnene i granskningsrapporten etter E18-skredet i Larvik i 2019 var at det allerede i tidlig planfase har vært betydelig større fokus på problemstillinger knyttet til tunnelene, sammenlignet med bergskjæringene (Nilsen *mfl.*, 2020). Henvisning til vegnormaler og føringer for tunnel åpner også for flere tolkninger, videre diskutert i neste delkapittel.

8.3.2 Manglende krav til beregninger

Vegnormal N200 angir at Eurokode 7 skal følges i all geologisk prosjektering. Eurokode 7 angir at grensetilstander i geoteknikk prosjektering bør kontrolleres ved hjelp av én eller flere av følgende metoder (Standard Norge, 2016):

1. Bruk av beregninger
2. Anvendelse av konstruktive tiltak
3. Modellprøvinger og prøvebelastninger
4. Observasjonsmetoden

Nilsen *mfl.* (2011) skriver om problemstillingen at "*Eurokode 7 er i stor grad utarbeidet av eksperter innenfor jordmekanikk*". Derfor er det mange ord og uttrykk i eurokoden som kan regnes som "*noe unøyaktige i forhold til berg og ingeniørgeologi*" (Nilsen *mfl.*, 2011). Barton og Bar (2017) omtaler også problemstillingen og hvordan analyser og krav til beregninger, beskrevet i eurokode 7, som oftest tar for lang tid å utføre til at de kan benyttes i anleggsperioden. Følgelig skriver Barton og Bar (2017) at blant annet partialfaktormetoden ikke er gunstig for stabilitetsberegninger.

Norsk sikringspraksis har i stor grad vært basert på gjøre vurderinger og foreta beslutninger etterhvert som bergmasser avdekkes, ofte omtalt som "design as you go" (Vegdirektoratet, 2014c; Norsk forening for fjellsprenningsteknikk, 2020). Veileder V225 beskriver at "*Ofte ivaretas lokalstabiliteten med punktsikring av blokker med bolter og bergbånd, og da lukkes oppsprukket berg og svakhetssoner inn med nett eller sprøytebetong for å hindre skade fra nedfall. Som regel gjøres dette uten beregninger – kanskje med unntak av å regne vekt på blokker for å være sikker på riktig antall bolter. For totalstabiliteten derimot gjøres som regel beregninger for å være sikker på at skjæringen er stabil. I de fleste tilfeller benyttes analytiske metoder, men ved komplekse eller større arbeider er det også aktuelt å benytte numeriske metoder*" (Statens Vegvesen, 2020a). Videre skrives det at "*Som indikert tidligere er prosjektering ved bruk av beregninger hovedsakelig nødvendig der et potensielt problem med totalstabiliteten er avdekket*" (Statens Vegvesen, 2020a). Ved å ordlegge seg på denne måten, angis det nærmest direkte at det stort sett ikke gjøres beregninger, eller er behov for beregninger uten videre føring på hva som faktisk kreves i stedet.

I Tabell 36 finnes en liste over prosjekter hvor bergskjæring er prosjektert. Ingen av de 12 rapportene har brukt, eller henviser til bruk av partialfaktormetoden eller av beregninger/analytiske metoder. Kun 1 av de 12 rapportene henviser til prosjektering av sikring med observasjonsmetoden i henhold til eurokode 7, ellers er det kun henvist til Eurokode 7 for angivelse av geoteknikk kategori, kontrollklasse og pålitelighetsklasse. Flere av rapportene angir at sikring er utformet på bakgrunn av observasjoner, men ingen av rapportene går i detalj, slik at ulike arbeid kan sammenlignes eller korreleres. "Observasjoner" vil være veldig avhengig av den enkelte geolog.

Veileder V225 argumenterer for utelatelsen av beregninger på følgende måte: “Eurokode 7 tillater bruk av konstruktive tiltak dersom beregningsmodeller ikke er tilgjengelige eller ikke er nødvendige. Dette kan f.eks. være enkel sikring av blokker som nevnt over, der enkle/forsiktede prosjekteringsregler med høy sikkerhet brukes” (Statens Vegvesen, 2020a). Det er stor forskjell på å angi en og annen bolt i felt, og basere all sikring på feltobservasjoner. I praksis vil det være å ivareta totalstabiliteten med observasjon, uten beregninger. Manglende bruk av beregninger for angivelse av sikring var en av hovedpunktene som ble påpekt i granskningen av E18-skredet (Nilsen mfl., 2020)

Tabell 36: Oversikt over rapporter hvor metode for prosjektering har blitt undersøkt i denne oppgaven

| Prosjekt | Bedrift | Type rapport | År | Henvisning til Eurokode 7 |
|------------------------------|------------------|--------------------------------|------|---------------------------|
| Fv 717 Sund-Bradden | Norconsult | Reguleringsplan | 2020 | Ingen |
| Tilførselsvei Greipsland-lme | Nye Veier | Detaljregulering | 2020 | Ingen |
| E6 Ranheim-Værnes | Nye veier | Rapport for reguleringsplan | 2019 | Observ.met. |
| Fv. 704 Røddekryset-Tanem | Statens vegvesen | Ingeniørgeologisk sluttrapport | 2019 | Ingen |
| Ulsberg-Vindåsliene | Nye Veier | Detaljregulering | 2019 | Ingen |
| Fv 17 Kvarving-Østvik | Asplan Viak | Reguleringsplan | 2018 | Ingen |
| Arealplan Breivika Svelgen | Norconsult AS | Arealplan | 2018 | Ingen |
| Fv. 715 Nordsetervatnet | Statens vegvesen | Byggeplan | 2016 | Ingen |
| Fv. 715 Osavatnet-Rødsjø | Statens vegvesen | Rapport til konk.grunnlag | 2015 | Ingen |
| Fv. 705 Stigamølen | Statens vegvesen | rapport til konk.grunnlag | 2014 | Ingen |
| Fv. 715 Skola-Olsøy | Rambøll | Byggeplan | 2014 | Ingen/Q-met. |
| Fv.715 Olsøysvingene | Statens vegvesen | Rapport konk.grunnlag | 2014 | Ingen |

Ofte reiser det ut en geolog til et sted hvor det har skjedd en skredhendelse og gjør vurderinger for sikring i felt der og da. Det samme gjelder planlegging av sikringer for nye bergskjæringer, hvor det ofte er maskiner eller maskinoperatører som bestemmer endelig utforming av bergskjæringen og sikringstiltak (Barton og Bar, 2017). Dette kan føre til at stabilitetsvurderinger og anvendelser av bergsikring praktiseres ulikt fra ulike kontorer innad i Statens vegvesen, fylkeskommuner, samt ulike konsulentfirma innleid for å gjøre stabilitetsvurderinger og prosjektere sikringsutforming. Angivelse av sikring er også svært ulik fra geolog til geolog, og avhengig av den enkelte geologens erfaring og bakgrunn. Manglende føringer for beregninger og vurderinger kan ha store konsekvenser, og i verste fall føre til at beregninger utelates.

Det er mange grunner til at manglende føringer for prosjektering kan føre til problemer. Ved manglende føringer må en nyutdannet geolog utelukkende opplæres av en erfaren geolog for å kunne utføre sikringstiltak, men hva om den erfarne geologen konsekvent søker å unngå beregninger? Dette illustrerer nytten av en føring som vil sikre at alle geologer, uavhengig av erfaring, har de rette verktøyene som skal til for å gjøre slike vurderinger. En slik føring kan fungere som et minstekrav for bransjen for hvordan slike vurderinger gjøres. Dersom det ikke finnes noe spesifikt system for å gjøre slike vurderinger, hindrer det også utviklingen i fagfeltet. For hvordan skal en utvikle et fagfelt hvor det ikke finnes føringer på beregninger?

8.4 Mulighet for bruk av bergmasseklassifiseringer

Nilsen *mfl.* (2011) angir at "halvempirisk modell" kan være basert på innsamlet data som er systematisert og inngår i ligninger som kan anvendes for analytiske eller numeriske beregninger. Input til slike modeller kan ofte være visuell beskrivelse av parametere som inngår i klassifikasjonssystemer som Q, RMR, R_{Mi} etc. (Nilsen *mfl.*, 2011). Følgelig åpner Nilsen *mfl.* (2011) for bruk av klassifikasjonssystemer som beregningsmetode.

Veileder V225, viser til R211 og V520 for geologisk kartlegging. I veileder V520, *Tunnelveiledning*, angis det at geologisk kartlegging skal foregå ved bruk av Q-metoden. Bruk av Q-systemet har funnet sin vei inn i anbuds- og planleggingsfaser for Statens vegvesen (Palmstrøm *mfl.*, 2002). Dette gjelder både for tunnel og bergskjæringer. For bergskjæringer er det observert flere rapporter som kartlegger Q-verdier for bergskjæringer og sikrer ut fra Figur 15, originalt angitt i vegnormal N500, *Vegtunneler*. Blant annet er dette gjort i konkurransegrunnlaget for prosjektet Skola-Olsøy. Funn diskutert i Avsnitt 8.1, angir at verdier for tilpassede bergmasseklassifiseringssystem for bergskjæringer gir lavere verdier og krever ulik sikring og sikringsomfang, sammenlignet med systemene laget for tunnel og undergrunnsanlegg. Forholdene for bergskjæringer og tunneler er ulike og bør også sikres ulikt.

Nylig har Norsk forening for fjellsprengningsteknikk (NFF) gitt ut en håndbok om bergbolting (Norsk forening for fjellsprengningsteknikk, 2020). I denne finnes en tabell, vist i Figur 32, som angir sikring for bergskjæringer med Q-metoden. Dette tyder på at NFF også har observert trenden og gjort en egen tilpasning for bergskjæringer, fremfor å henvise til det originale Q-systemet eller håndbok N500.

Funn i Avsnitt 8.1 antyder at Q-systemet ikke kan brukes for bergskjæringer uten tilpasninger. I hovedsak burde det benyttes klassifiseringssystemer tilpasset bergskjæringer. Følgelig burde det som et minimum fastsettes retningslinjer og føringer for hvordan Q-systemet eventuelt skal benyttes for bergskjæringer slik systemet er i dag. Det kan med dette argumenteres for at vegvesenet burde gå over til å bruke og lage føringer for et system tilpasset for bergskjæringer.

Avslutningsvis i denne diskusjonen ønskes det å oppsummere med at det selv etter utgivelsen av V225, *Bergskjæringer* er flere manglende føringer til krav for prosjektering av sikring. Slik det er i dag, er det fremdeles mulighet for den enkelte geolog til å subjektivt velge sikringmetoder og omfang. Her påpekes også viktigheten av at Statens vegvesen har klare og tydelige føringer, da eksempelvis boligbransjen vil kunne vende seg mot vegvesenets føringer. Med dette menes at det at boligbransjen, i takt med fortetting av byer, vil ønske å bygge boliger i tett nærhet til bergskjæringer og søke erfaring fra eksempelvis Statens vegvesen og deres føringer. Statens vegvesen, sammen med Bane NOR, er en av de byggherrene som sikrer flest bergskjæringer i året. Det er derfor naturlig at andre bransjer vil snu seg etter disse, og følge deres tolkninger og føringer av lovverk. Dette vil antageligvis bli enda mer aktuelt etter at vegvesenet har gitt ut en egen håndbok med veiledning for bergskjæringer og punktlistor for innhold i prosjektering.

| | Strukturer, bergforhold | Eksempler på sikringsmetode i tunnel | Eksempler på sikringsmetode i skjæring |
|--|--|--|---|
| Lite oppsprukket berg (Q = 100-10) | Midlere sprekkeavstand > 1 m | <ul style="list-style-type: none"> - spredt bolting - sprøytebetong for å slippe fremtidig rensk | <ul style="list-style-type: none"> - spredt bolting (av låseblokker) |
| Moderat oppsprukket berg (Q = 10-4) | Midlere sprekkeavstand 0,3-1 m | <ul style="list-style-type: none"> - systematisk bolting - sprøytebetong | <ul style="list-style-type: none"> - spredt bolting - ev. bergbånd og steinsprangnett |
| Tett oppsprukket berg (Q = 4-1) | Midlere sprekkeavstand < 0,3 m | <ul style="list-style-type: none"> - systematisk bolting - sprøytebetong | <ul style="list-style-type: none"> - spredt eller systematisk bolting - bergbånd og steinsprangnett eller sprøytebetong (i høye skjæringer) |
| Lagdelt/skifrig berg (Q = 4-1) | Ett dominerende sprekkesystem | <ul style="list-style-type: none"> - systematisk bolting - sprøytebetong | <ul style="list-style-type: none"> - spredt eller systematisk bolting - bergbånd og steinsprangnett eller sprøytebetong (i høye skjæringer) - selvborne steg |
| Høye bergspenninger | Høye bergspenninger Bergtrykksproblemer | <ul style="list-style-type: none"> - systematisk bolting med endeforankrede bolter - sprøytebetong | <ul style="list-style-type: none"> - spredt eller systematisk bolting - ev. sprøytebetong - selvborne steg |
| Slepper og svakhetssoner | Oppknust berg med/uten svelleire | <ul style="list-style-type: none"> - systematisk innstøpte bolter - forbolter og radielle bolter kombinert med sprøytebetong - armerte sprøytebetong-buer eller utstøping | <ul style="list-style-type: none"> - innstøpte bolter - sprøytebetong - bergbånd - ev. utstøping - selvborne steg |

Figur 32: Angiving av sikring i håndbok bergbolting (Norsk forening for fjellsprenningsteknikk, 2020)

9 Konklusjon

Av litteraturen fremgår det at stabilitet i bergskjæringer og stabilitet i tunneler har ulik påvirkning fra forhold som vann, miljø, spenning og triggende faktorer. Resultater fra kartlegging av bergskjæringer og bruk av bergmasseklassifiseringer i prosjektet Foservegene viser at det blir satt høyere tall for bergmassekvaliteter når systemer, originalt tiltenkt bergrom, benyttes på bergskjæringer. Følgelig trengs det også en annen utforming av sikringstiltak dersom en benytter systemer tiltenkt tunnel og bergrom.

Oppgavenens resultater viser at de tilhørende sikringssystemene for bergmasseklassifiseringene er noe for konservative for å kunne anvendes til å forutsi sikringsmengder per i dag. Det vil være behov for å gjøre en større undersøkelse for å sammenligne om det likevel kan være en bedre tilnærming enn dagens erfaringsbaserte praksis.

Det finnes i dag en rekke systemer for bergmasseklassifisering for bergskjæringer, deriblant SMR og Q-slope, undersøkt i denne oppgaven. I diskusjonen fremgår det at Q-slope med hensyn til bergskjæringer er en god tilpasning av Q-systemet. Fordi Q-systemet allerede er et velkjent system for ingeniørgeologer, godt implementert i Statens vegvesen og de tilhørende håndbøker, vil Q-slope trolig være lettere å implementere og ta i bruk, sammenlignet med eksempelvis SMR.

Selv om Q-slope er en god tilpasning av dagens Q-system til bergskjæringer, kan det ikke direkte benyttes for angivelse av sikring for bergskjæringer i dag. Det må utføres en del tilpasninger for å lage et tilhørende sikringsdiagram som er egnet for sikring av bergskjæringer. Barton og Grimstad (2014) skrev at det originale Q-systemet "*ble utviklet i løpet av 6 hektiske måneder i 1973*". Statens vegvesen er i dag, sammen med BaneNOR, en av de virksomhetene som foretar og prosjekterer flest bergskjæringer i Norge. Følgelig besitter de mye erfaringsdata, som kan benyttes til å fremstille og utvikle et slikt sikringssystem. En tilpasning av et slikt sikringsdiagram, basert på Q-slope og erfaringsdata i Statens vegvesen, bør undersøkes videre.

Målet med oppgaven var å undersøke bergmasseklassifiseringer. Likevel er et av de store hovedfunnene i oppgaven at det ikke er klare føringer for hvordan beregninger for sikring skal utføres for bergskjæringer. Beregninger blir ofte utelatt, eller overskygget av beregninger for tunneler innenfor de samme prosjektene.

Det fremgår i oppgaven at bruken av bergmasseklassifiseringer har sine begrensninger, men likevel kan bergmasseklassifiseringer være et nyttig verktøy for å redusere subjektivitet når bergmassekvalitet og endelig sikring skal vurderes.

Bruk av bergmasseklassifiseringer vil aldri kunne erstatte erfarne ingeniørgeologer som foretar detaljsikring på anleggsplassen, men det vil kunne være et nyttig verktøy i prosjektering og kartlegging, og kan på mange måter fungere som en sjekklister for at alle nødvendige vurderinger er tatt med i betraktning.

Bruk av bergmasseklassifiseringer vil kunne redusere subjektivitet hos den enkelte geolog, og føre til mer systematisk utførelse av arbeidet i kartlegging og prosjektering. På mange måter kan man si at det setter dagens empiri og "basert på erfaring" i et system hvor arbeid kan sammenlignes og utvikles. Trolig vil implementering av enklere beregninger og bergmasseklassifiseringer fremme at beregninger faktisk blir gjort og ikke hoppet over fordi de tar for lang tid, ikke regnes som relevante, eller er for tungt teoretiske.

Litteraturstudiet viser at bruk av bergmasseklassifisering kan fremme kommunikasjonen mellom utbyggere, entreprenører og ingeniører. Det konkluderes med at bergmasseklassifiseringer er et nyttig vurderingsverktøy som kan kvalitetssikre valg og sikringsvurderinger som gjøres basert på erfaring og observasjon. For å kunne vurdere sikring for bergskjæringer etter de faktiske stabilitetsmessige forhold, er det viktig å bruke klassifiseringssystemer tilpasset sine respektive anvendelsesområder med godt utarbeidede sikringsanbefalinger.

10 Forslag til videre arbeid for Statens vegvesen og Vegdirektoratet

I likhet med konklusjonen fra ekspertutvalgets rapport etter E18-skredet, anbefales det at bergskjæringer og sikkerheten i dagen på norske veger i større grad tas på alvor og oppnår en høyere status i planlegging, beskrivelser og beregninger. Prosjekter hvor det utformes bergskjæringer bør behandles som separate delprosjekter i prosjektering og geologiske vurderinger. I tillegg bør det utarbeides egne håndbøker og tydeligere føringer for bergskjæringer, slik at spillerommet for tolkning reduseres. Tunneler har i dag seks egne håndbøker for å ivareta sikkerhet. Disse er:

- N500 *Vegtunneler*
- R510 *Vann og frostsikring i tunneler*
- R511 *Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler*
- R512 *HMS (Helse, miljø og sikkerhet) ved arbeid i vegtunneler,*
- V520 *Tunnelveiledning,*
- V630 *Elektroveileder - Nødstrømforsyning i vegtunneler,*

Etter desember 2020 har bergskjæringer én veileder, V225 *Bergskjæringer*. Bergmasseklassifiseringer kan være med og senke terskelen for å beregne sikring og sikringsomfang, slik at færre velger å bevisst unngå beregninger. Det bør da utvikles strengere og klarere føringer enn det som praktiseres idag, og innføringen av disse må starte allerede på skolebenken hvor det utdannes ingeniørgeologer.

Videre anbefales det at praksisen med sikring i henhold til N500, *Vegtunneler* brukes med særlig forsiktighet, og at det i fremtiden etterstrebes systemer tilpasset for bergskjæringer og deres miljø. Det er positivt at ønsket om bergmasseklassifiseringer har nådd fagfeltet i prosjekteringssammenheng, men det må brukes i tråd med sin hensikt. Litteratur beskriver at bruk av bergmasseklassifisering kan fremme kommunikasjonen mellom utbyggere, entreprenører og ingeniører, slik at flere hendelser som E18-skredet kan forhindres i fremtiden.

Referanser

- Aladeje A. (2020). Evaluation of empirical estimation of uniaxial compressive strength of rock using measurements from index and physical tests. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* **12**, 256–268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2019.08.001>.
- Barton N. og Bar N. (2015). *Introducing the Q-slope method and its intended use within civil and mining engineering projects*. I: *ISRM Regional Symposium EUROCK 2015- Future development of Rock Mechanics*. International Society for Rock Mechanics og Rock Engineering. ISBN: 978-3-9503898-1-4.
- Barton N. og Bar N. (2016). *Empirical slope design for hard and soft rock using Q-slope*. I: *50th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*. American Rock Mechanics Association.
- Barton N. og Bar N. (2017). The Q-slope Method for Rock Slope Engineering. *Rock Mechanics and Rock Engineering* **50**, 3307–3322. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00603-017-1305-0>.
- Barton N. og Grimstad E. (2014). *Førti år med Q-systemet i Norge og i utlandet*. I: *Fjellsprengningsdagen 2014*. NFF, s. 4.1–4.25.
- Barton N., Lien R. og Lunde J. (1974). Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. *Rock Mechanics and Rock Engineering* **6**, 189–236.
- The geomechanics classification of rock engineering applications* (1979). Bd. 2. In proceedings of the 4th Congress of the International Society for Rock Mechanics, s. 41–48.
- Bieniawski Z. (1984). *Rock mechanics design in mining and tunnelling*. Rotterdam, A.A. Balkema.
- Bieniawski Z. (1973). Engineering Classification of Jointed Rock Masses. *Civil Engineer in South Africa* **15**.
- Bieniawski Z. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering*. John Wiley Sons, Inc. ISBN: 0-471-60172-1.
- Crastens H. (2021). *Fjellsikring tas ikke på alvor*. URL: <https://geo365.no/ingeniorgeologi/fjellsikring-tas-ikke-pa-alvor/> (sjekket 2021-01-26).
- Curtis A. (2012). The science of subjectivity. *Geology* **40**, 95–96. DOI: <https://doi.org/10.1130/focus012012.1>.
- Dahl R., Sveian H. og Thoresen M. (1997). *Nord-Trøndelag og Fosen- Geologi og Landskap*. Norges Geologiske Undersøkelse. ISBN: 82-7385-170-2.
- Dahlum S. (2020a). *Kvantitativ metode*. URL: https://snl.no/kvantitativ_metode (sjekket 2020-10-21).
- Dahlum S. (2020b). *Validitet, Store norske leksikon*. URL: <https://snl.no/validitet> (sjekket 2020-10-21).
- Deere D. (1963). Technical description of rock cores for engineering purposes. *Rock Mech Eng *Geol* **1**, 17–22.
- Fosenvegene A/S (2016a). *Vegåpning av Kråkamo II ved Olsøykrysset*. URL: <https://www.fosenvegene.no/vegapning-olsoy-av-krakmo-ii/> (sjekket 2021-01-22).
- Fosenvegene A/S (2016b). *Velkommen til offisiell åpning av Kråkamo II*. URL: <https://www.fosenvegene.no/wp-content/uploads/2016/05/%5C%5C%85pningsfest-Kr%5C%5C%5C%A5kmo-del-II-30-06-16-Innbyggere.pdf> (sjekket 2021-01-22).
- Fosenvegene A/S (2017). *Fv. 715 Osavatnet-Rødsjø åpnet*. URL: <https://www.fosenvegene.no/fv-715-osavatnet-rodsjo-apnet/> (sjekket 2021-01-22).
- Fosenvegene A/S (2018). *Åpning av parsell ved Nordsetern, Austdalen*. URL: <https://www.fosenvegene.no/apning-av-parsell-ved-nordsetern-austdalen/> (sjekket 2021-01-22).
- Hoek E. (2006). *Practical Rock Engineering*. URL: <https://www.rocscience.com/assets/resources/learning/hoek/Practical-Rock-Engineering-Full-Text.pdf>.

- ISRM (International Society for Rock Mechanics) (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Geomechanics Abstracts* **15**, 319–368.
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet (2020). *Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven)*. URL: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71?q=plan%5C%20og%5C%20byggningsloven> (sjekket 2020-11-26).
- Leica geosystems (2020). *Disto D8*. URL: https://w3.leica-geosystems.com/downloads123/cp/disto/d8/manuals/01-en_UM_DistoD8_767718_web_en.pdf (sjekket 2020-12-14).
- Li C. (2017). *TGB 4210 Rock Mechanics*. NTNU.
- MacCombes S. (2020). *How to write a research methodology*. URL: <https://www.scribbr.com/dissertation/methodology/> (sjekket 2020-10-19).
- Miller D., Barrett J. og W.E B. (1986). A field classification of uniaxial strength of diamond drill core using simple field index tests. *Australian Geomechanics News*, 14–18.
- Nasjonal digital læringsarena (NDLA) (2020). *Spredningsmål*. URL: <https://ndla.no/subject:29/topic:1:164958/resource:1:91820?filters=urn:filter:38bc9538-63fd-48f3-9085-c2142dafd64c> (sjekket 2020-12-19).
- Norges geologiske institutt (NGI) (2014). *Skred: skredafare og sikringstiltak- praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper*. NGI og Universitetsforlaget. ISBN: 978-82-15-02391-5.
- Nilsen B. (2016). *Ingeniørgeologi-berg grunnkurskompendium*. NTNU.
- Nilsen B., Beitnes A., Kvelsvik V. og Okstad E. (2020). *Raset på E18 ved Larvik 13. desember 2019 Ekspertutvalgets rapport*. Tekn. rapp. URL: https://www.vegvesen.no/_attachment/2926381/binary/1362564?fast_title=Rapport+-+Raset+pC3%5C%A5+E18+ved+Larvik+13.+desember+2019+-+27.02.2020.pdf.
- Nilsen B., Lindstrøm M., Mathiesen T., Holmøy K., Olsson R. og Palmstrøm A. (2011). Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering. *Norsk Bergmekanikkgruppe*.
- Norges Geologiske Institutt (2015). *Håndbok- Bruk av Q-systemet*. NGI.
- Norsk forening for fjellsprenningsteknikk (2020). *Håndbok 11- Bergbolting*. NFF håndbøker. NFF. ISBN: 978-82-92-641-46-0.
- Novakova L. og Pavlis T.L. (2019). *Modern Methods in Structural Geology of Twenty-first Century: Digital Mapping and Digital Devices for the Field Geology*. I: *Teaching Methodologies in Structural Geology and Tectonics*. Red. av Mukherjee S. Singapore: Springer Singapore, s. 43–54. ISBN: 978-981-13-2781-0. DOI: [10.1007/978-981-13-2781-0_3](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2781-0_3). URL: https://doi.org/10.1007/978-981-13-2781-0_3.
- NRK (2020). *Bygder isolert av ras i fem måneder*. URL: <https://www.nrk.no/vestland/bygder-isolert-av-ras-i-fem-manader-1.15243110> (sjekket 2020-12-07).
- Overland J. (2020). *TONE-strategi for kildekritikk*. URL: <https://ndla.no/nb/subjects/subject:14/topic:1:185701/resource:1:169774/2286?filters=urn:filter:80f10045-2faa-4f6f-be0f-4c7ec9618186> (sjekket 2020-12-06).
- Palmstrom A. og Broch E. (2006). Use and misuse of rock mass classification systems with particular reference to the Q-system. *Tunneling and Underground Space Technology* **21**, 575–593. DOI: [10.1016/j.tust.2005.10.005](https://doi.org/10.1016/j.tust.2005.10.005).
- Palmstrøm A. (1982). *The volumetric joint count — a useful and simple measure of the degree of rock mass jointing*. I: *International Association of Engineering Geology. International congress. 4*, s. 221–228.

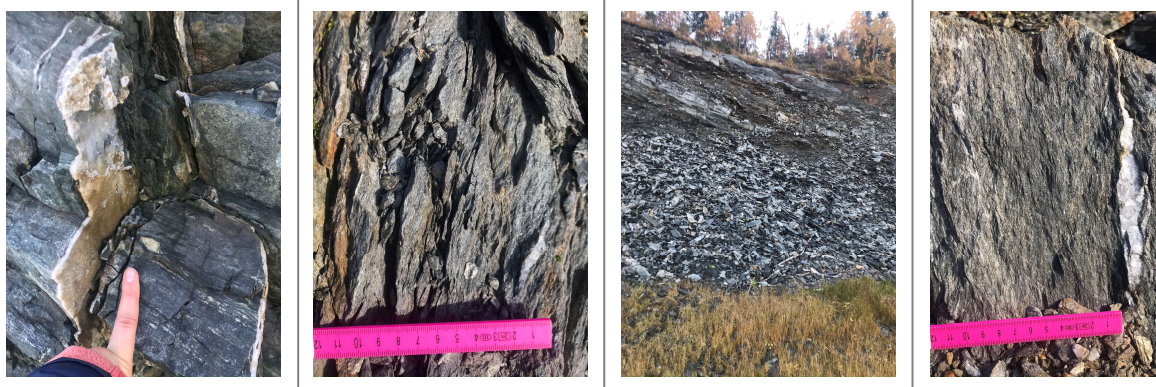
- Palmstrøm A. (2005). Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). *Tunnelling and Underground Space Technolog* **20**, 362–377. DOI: [10.1016/j.tust.2005.01.005](https://doi.org/10.1016/j.tust.2005.01.005).
- Palmstrøm A., Blindheim O. og Broch E. (2002). *Q-systemet- Muligheter og begrensninger. I: Fjellsprengingsteknikk og bergmekanikk/geoteknikk 2002*. Konferansepublikasjoner. Norsk forening for fjellsprengingsteknikk, s. 41.1–41.44.
- Palmstøm A. og Stille H. (2010). *Rock engineering*. Thomas Telford Limited. ISBN: 978-0-7277-4083-0.
- Pantelidis L. (2009). Rock slope stability assessment through rock mass classification systems. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* **46**, 315–325. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2008.06.003>.
- Pells P., Z.T B., Hencher S. og Pells S. (2017). Rock quality designation (RQD): Time to rest in peace. *Canadian Geotechnical Journal* **54**, 825–834. DOI: <https://doi.org/10.1139/cgj-2016-0012>.
- Ramona M., Serbòn J. og Montalat E. (2003). *SMR Geomechanics classification: Application, experience and validation. I: 10th ISRM Congress*. International Society for Rock Mechanics og Rock Engineering.
- Rocscience (2020). *Getting Started with Dips*. URL: https://www.rocscience.com/help/dips/dips/getting_started.htm (sjekket 2020-12-09).
- Romana M. (1985). New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. *International Symposium on the Role of Rock Mechanics*, 49–53.
- Rødset S. (2014). *Fv. 715 Skola-Olsøy, ingeniørgeologisk rapport for byggeplan*. Tekn. rapp.
- Rådgivende ingeniørers forening (2020). *State of the nation - kommunale og fylkesveier*. URL: <https://rif.no/wp-content/uploads/2019/08/Vei.pdf> (sjekket 2020-12-07).
- FN-sambandet (2020). *FNs bærekraftsmål nr. 9*. URL: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/industri-innovasjon-og-infrastruktur> (sjekket 2020-12-07).
- Samferdselsdepartementet (2020). *Lov om vegar (veglova)*. URL: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1963-06-21-23> (sjekket 2020-11-26).
- Seo Y., Macias F. og Jakobsen P. (2018). Influence of Subjectivity in Geological Mapping on the Net Penetration Rate Prediction for a Hard Rock TBM. *Rock Mech Rock Eng* **51**, 1599–1613. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00603-018-1408-2>.
- Singh B. og Goel R. (2011). *Engineering Rock Mass Classification - Tunneling, foundations, and Landslides*. Elsevier Inc. ISBN: 978-0-12-385878-8.
- Språkrådet (2020). *Bokmålsordboka*. URL: https://ordbok.uib.no/perl/ordbok.cgi?OPP=karakterisere&ant_bokmaal=5&ant_nynorsk=5&bokmaal=+&ordbok=bokmaal (sjekket 2020-10-28).
- Standard Norge (2016). *Geoteknisk prosjektering, Del 1: Allmenne regler. NS-EN 1997- 1:2004+A1:2013+NA:2016 Eurokode 7. I*. Oslo.
- Statens Vegvesen (2020a). *V225 - Bergskjæringer*. Statens vegvesen håndbokserie. Vegdirektoratet. ISBN: 978-82-7207-762-3.
- Statens Vegvesen (2020b). *Referenssystemet i NVDB fra 2020*. URL: https://www.vegvesen.no/_attachment/2912425/binary/1360253?fast_title=Faktaark+-+Vegreferansesystemet+i+NVDB.pdf (sjekket 2020-12-11).
- Statens vegvesen (2016). *Fosenvegene*. URL: <https://fosenvegene.no/wp-content/uploads/2016/02/13-0381-Fosenvegene-2-oppslag.pdf> (sjekket 2020-10-02).
- Statens vegvesen (2018). *Håndbok N200 - Vegbygging*. Normaler for vegbygging. Statens vegvesen. ISBN: 978-82-7207-723-4.

- Statens vegvesen (2019). *V130 - Veggen i landskapet*. Staten vegvesens håndbokserie. Vegdirektoratet. ISBN: 978-82-7704-150-6.
- Statens vegvesen (2020a). *N500 – Vegtunneler*. Håndbokserie for vegnormaler. Vegdirektoratet. ISBN: 978-82-7207-756-2.
- Statens vegvesen (2020b). *Rassikring av vegnettet*. URL: <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/geofag/skred/skredsikring> (sjekket 2020-12-07).
- Statens vegvesen (2020c). *Registrerte nedfall på veg, hele Norge, perioden 2000-2019*. URL: https://www.vegvesen.no/_attachment/1110343/binary/1337825?fast_title=Skredstatistikk+2000%5C%E2%5C%80%5C%932019.pdf (sjekket 2020-10-29).
- Statens vegvesen (2020d). *Vegnormalene*. URL: <https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/om-handbokene/vegnormalene> (sjekket 2020-11-27).
- Store norske leksikon (2020). *Median*. URL: <https://snl.no/median> (sjekket 2020-12-19).
- Thomas R. (2014). *Characterizing Intact Rock Strength using Field Estimates and the Point Load Index Test*. I: *48th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*.
- Triona (2020). *Triona Vegviseren*. URL: https://www.triona.no/globalassets/global/documents/pdf/products/no/produktblad_triona_vegviseren.pdf (sjekket 2020-12-11).
- Vegdirektoratet (2011a). *Flom og skred på veg- Statistiske betraktninger*. Tekn. rapp.
- Vegdirektoratet (2011b). *Vd. rapport nr. 32 Sikring av veger mot steinskred*. Tekn. rapp.
- Vegdirektoratet (2014a). *Anslagsmetoden*. Statens vegvesen Retningslinjer. Statens vegvesen. ISBN: 978-82-7207-671-8.
- Vegdirektoratet, red. (2014b). *Digitale geologiske kompass- Nøyaktighet av strøk- og fallmålinger med smart-telefon og nettbrett*. Bd. Nr.322. Statens Vegvesen rapporter. Statens vegvesen.
- Vegdirektoratet (2014c). *Håndbok V224, Fjellbolting*. Statens vegvesen Håndbøker. Statens vegvesen. ISBN: 82-7207-495-8.
- Vegdirektoratet (2018). *Håndbok R211- Feltundersøkelser*. Statens vegvesen retningslinjer. Statens vegvesen. ISBN: 82-7207-439-7.
- Whyllie D. og Mah C. (2004). *Rock Slope Engineering -Civil and mining, 4th edition*. 4th. Spon Press, Taylor Francis Group. ISBN: 0-415-28000-5.
- Zhang L. (2016). Determination and applications of rock quality designation (RQD). *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* **8**, 389–397. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.11.008>.
- Aal A. (2014). *Geologi- Fv.715 Olsøysvingene- bergskjæringer, ingeniørgeologisk rapport for konkurransegrunnlag*. Tekn. rapp.
- Aal A. (2015). *Ingeniørgeologi- Fv.715 Osavatnet-Rødsjø, bergskjæringer, Ingeniørgeologisk rapport til konkurranse grunnlag*. Tekn. rapp.
- Aal A. (2016). *Geologi- FV.715 Nordsetervatnet, bergskjæringer ingeniørgeologisk rapport til byggeplan*. Tekn. rapp.

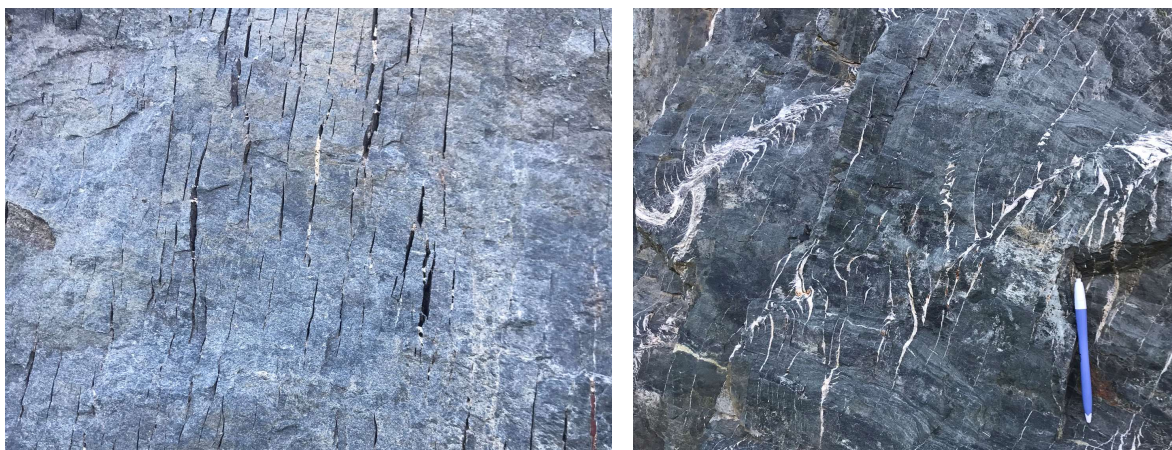
Vedlegg A Resultater fra prosjektet Skola-Olsøy

Det er kartlagt 4 bergskjæringer i forbindelse med utbyggingsprosjektet Skola-Olsøy. Bergskjæring 1 og 2 ligger ovenfor hverandre på hver sin side av vegen, mens de to resterende ligger som ensidige bergskjæringer på sørsiden av vegen. Bergskjæringenes plassering, samt informasjon og tolkninger gjort i felt er vist i Figur 36

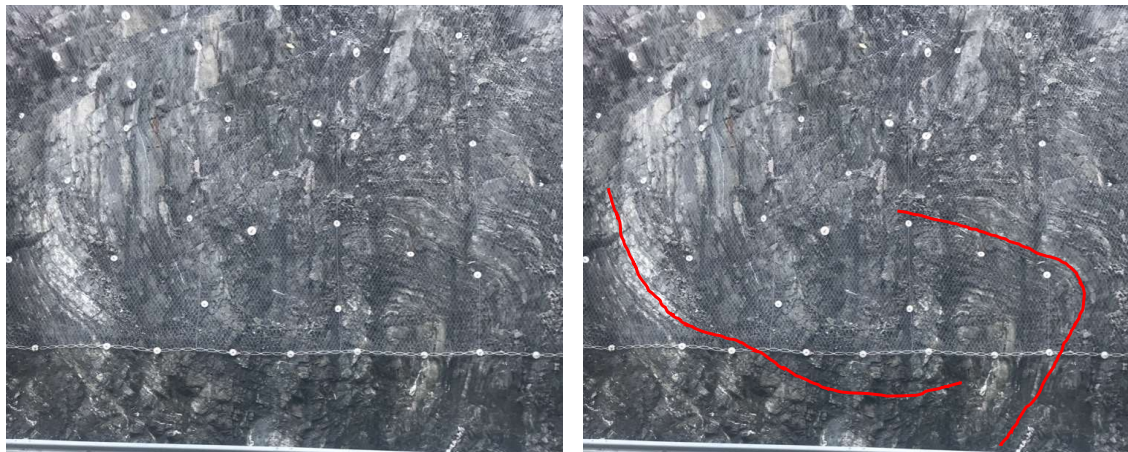
Under feltkartleggingen for prosjekt Skola-Olsøy ble det registrert bergarter glimmerskifer til gneis, grønnsteinskifer, grønnstein og amfibolitt. Bergartene hadde typisk 2-3 sprekkesett, og bar preg av folding og foliasjon, som følge av forkastningssoner i området. I Figurene 33 til 35 er det vist en oversikt over bergarter, strukturgeologiske registreringer og folder.



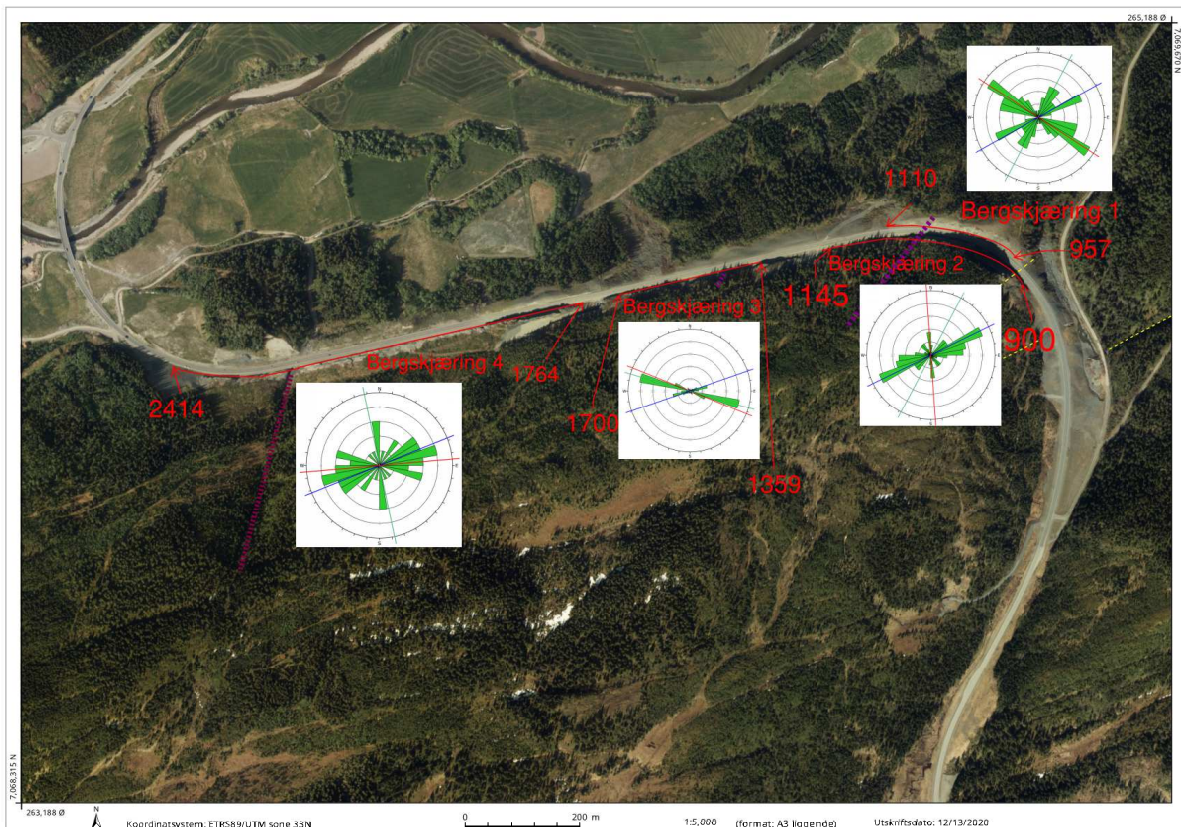
Figur 33: Inntrykksbilder av bergarter i prosjektet Skola-Olsøy



Figur 34: Strukturgeologiske registreringer ved prosjektet Skola-Olsøy



Figur 35: Eksempel på fold ved prosjektet Skola-Olsøy



Figur 36: Oversiktskart med feltinformasjon tilknyttet prosjektet Skola-Olsøy. Kilde: Norgeskart. Markeringer basert på informasjon og observasjoner i felt, samt NGU berggrunnskart og de tilhørende rapporter fra Statens vegvesen

Bergskjæring 1, profil S7D1 900-1110

Bergskjæringen ligger i yttersving og begynner med en svakhetssone (markert gul i Figur 36), svakhetssonen finnes igjen på andre siden av vegen i bergskjæring 2. Bergarten er tett oppsprukket, men det er ikke like lett å se at den er foldet som i bergskjæring 2. Bergskjæringen er ca. 150 m lang og er mellom 3-22 meter høy. Størstedelen av bergskjæringen er over 12 m høy og anlagt med sikringshulle, som skal være 6 m bred i henhold Rødset (2014). Bergarten begynner som en glimmerrik skifer, før den har overgang til gneis uten tydelige bergartsskiller som kan observeres. Figur 37 gir et inntrykk av bergskjæring 1 og 2.

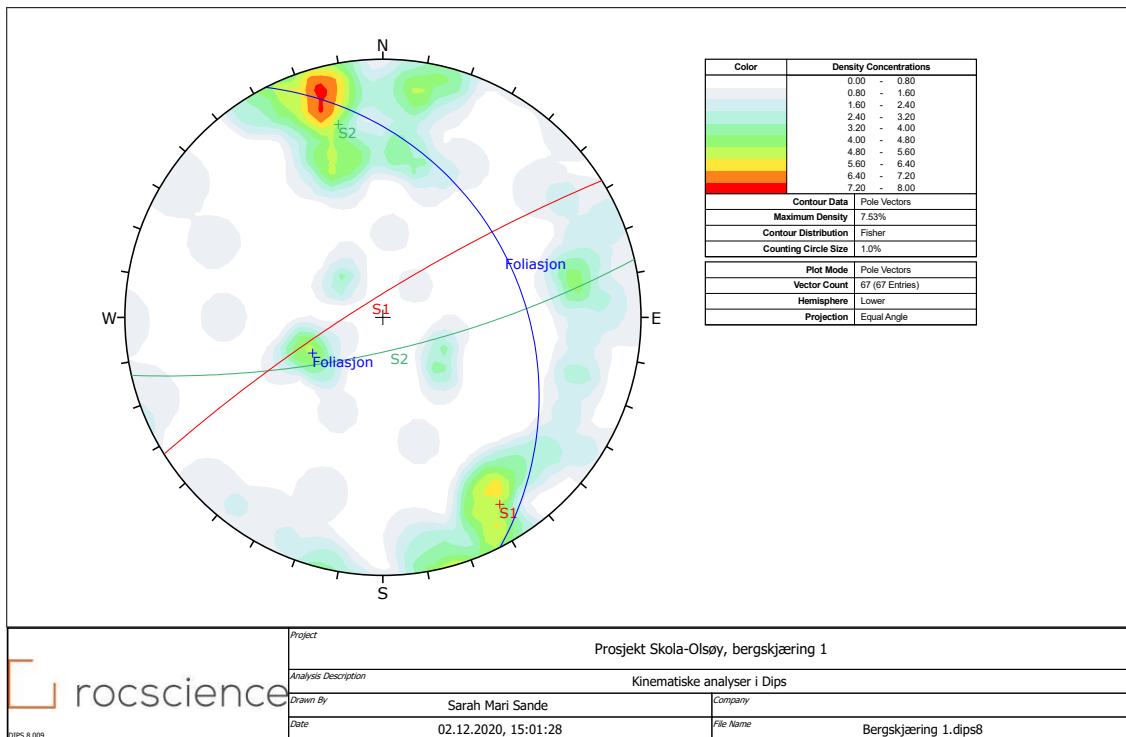
Bergskjæringen er sikret med steinsprangnett og systematisk bolting med C/C 0,5-1,5 meter. Bergskjæringen ble ferdigstilt i 2016, men har allerede lommer i steinsprangnettet som er fylt med mindre steinmasser. Det oppleves som at det grunnet den tette oppsprekkingen ryr jevnlig med mindre stein i fra bergskjæringen og det vil være behov for vedlikehold og tømming av steinsprang nett før det er gått 20 år, som pålagt i N200 (Statens vegvesen, 2018).



Figur 37: Inntrykksbilde fra bergskjæring 1 og 2 tilhørende prosjektet Skola-Olsøy

Sprekkemålinger og sprekkanalyse bergskjæring 1

Totalt er det gjort 67 sprekkemålinger for bergskjæring 1. Sprekkesediagrammer, basert på sprekkemålinger for de ulike bergskjæringene er inntegnet i Figur 36. Polplott med konturer for pol-konsentrasjoner er vist i Figur 38, hvor gjennomsnittet av hovedsprekkesettene er fremvist med blå for foliasjon, rød for hovedsprekkesett 1 og grønn for hovedsprekkesett 2.



Figur 38: Polplott med kontur for pol-fordelinger og hovedsprekkesett for bergskjæring 1, Skola-Olsøy

Bergskjæring 2, profil S7D1 900 - 1145

Bergskjæringen er omtrentlig 250 m lang, med høydevariasjon mellom 3- >45 m. Der bergskjæringen er >10 m, er bergskjæringen utformet med sikringshyller. Bergskjæringen er sikret med inntil 3 hyller.

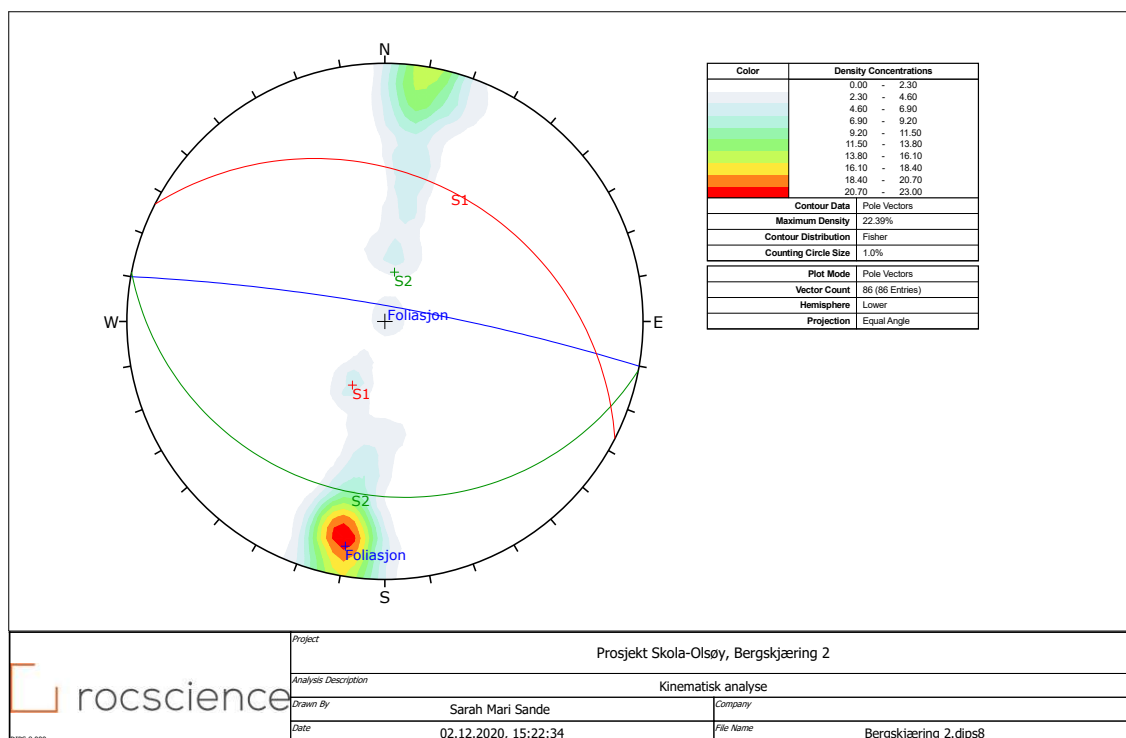
Bergskjæringen starter med en svakhetszone på 5-10 meters bredde. Svakhetssonen er antatt som en del av forkastningen som er markert i området av Norges geologiske undersøkelse (NGU) og vist med gult i Figur 36. De påfølgende bergartene etter svakhetssonen er foldet i nærområdet til svakhetssonen og blir mindre og mindre foldet når man beveger seg i nordvestlig retning. Foliasjonen i bergarten er det mest fremtredende sprekkesettet i området. Sprekkeavstander er mellom 0,1 - 1 meter. Sprekkeene er i hovedsak ru og har sprekkebelegg bestående av sand og silt langs foliasjonsplan. Bergskjæringen ligger i en skyggedal, enkelte plasser er det observert vann i bergskjæringen som ikke får tørket opp grunnet plasseringen i skyggedalen.

Der bergarten er foldet, er bergskjæringen sikret med steinsprangnett og systematisk bolting, med avstander på omtrentlig 1-1,5 meter. Øverste hyllen i bergskjæringen er kledd med geonett. På slutten av bergskjæringen hvor berget er mindre oppsprukket og foldet, er det sikret med sporadisk bolting og bergbånd, samt et mindre steinsprangnett over en mindre steiltstående svakhetszone med ca. 2 meter bredde.

Det er ingen tydelige bergartsgrenser i bergskjæringene. I øst ved bergskjærings start er berget glimmerrikt, skifrig med innslag av gneis. Bergarten flaker seg, slik at bergarten kan knuses for hånd. Etterhvert som man beveger seg lengre vest begynner å bergarten å ligne mer på gneis før den går over til grønnstein og glimmerskifer med antydninger til amfibol. Bergarten er svært foldet og svak i begynnelsen av bergskjæringen og blir hardere og hardere etter hvert som man beveger seg nordvestover. Figur 37 gir et inntrykk av bergskjæring 1 og 2.

Sprekkemålinger og sprekkeanalyse bergskjæring 2

Totalt er det utført 86 sprekkemålinger for bergskjæringen. Sprekkerosediagram, basert på sprekke­målinger for de ulike bergskjæringene er inntegnet i Figur 36. Polplott med konturer for pol-konsentrasjoner er vist i Figur 39, hvor gjennomsnittet av hovedsprekkesettene er fremvist med blå for foliasjon, rød for hovedsprekkesett 1 og grønn for hovedsprekkesett 2.



Figur 39: Polplott med kontur for pol-fordeling og hovedsprekkesett for bergskjæring 2, Skola-Olsøy

Bergskjæring 3, profil S7D1 1359-2414

Bergskjæringen er ca. 300 m lang, med høyder mellom 10-13 meter. Det er observert 2 svakhetsoner i området. Følgelig er bergarten tett oppsprukket, med sprekkeavstander 0,1 - 1 meter. Svakhetssonene utgjør ikke ekstra fare for nedfall fra bergskjæringene, da de kutter seg ned i terrenget.

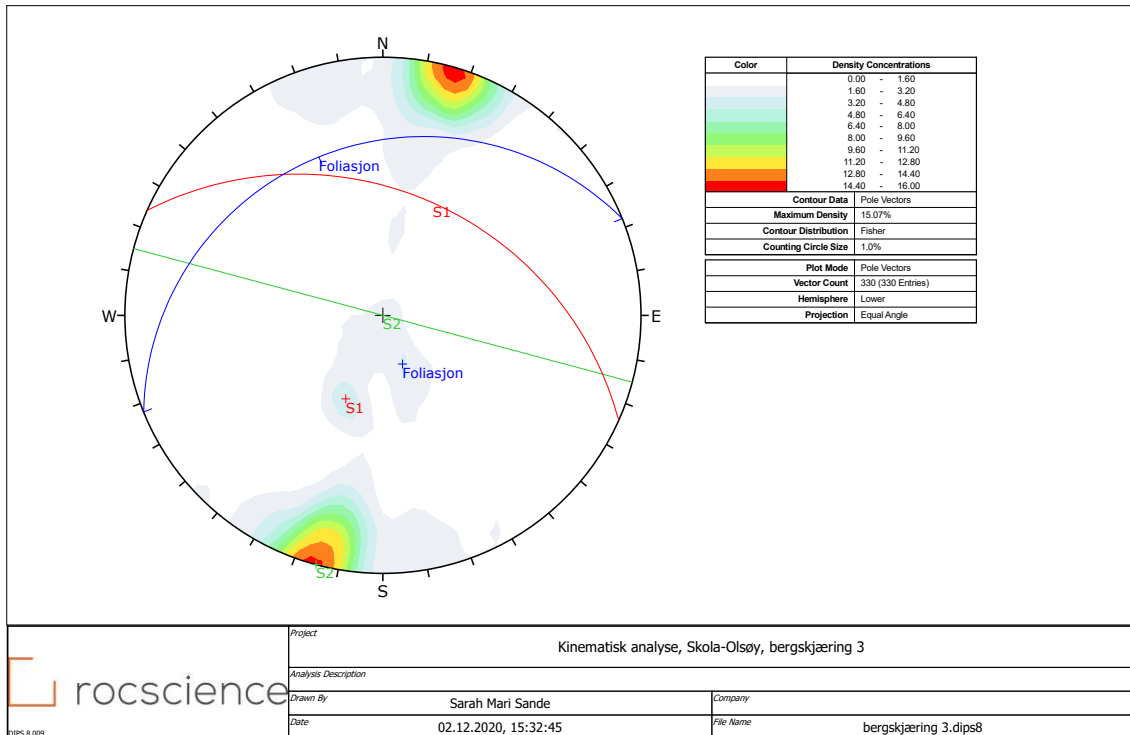
I nordøst er bergskjæringen steiltstående og formet etter skifriheten til bergarten. På slutten når man beveger seg i nordvestlig retning er bergskjæringen slakket ut til 45° før den blir steiltstående igjen. Det ser ut som det er gjort god utforming av bergskjæringen for å gjøre tilpasninger i forhold til sprekkesett, slik at det er minsket behov for sikringstiltak, det er ikke noe sikring i bergskjæringen. Ut fra observasjon ser det ut som bergskjæringen er mekanisk utskjært, hvor helningsvinkelen er slakkere, og utsprengt hvor bergskjæringen er steiltstående. Bergarten er tonalitt gneis med mindre mengder grønskifer og grønnstein. Figur 40 gir et inntrykk av bergskjæring 3 og 4.



Figur 40: Inntrykksbilder bergskjæring 3 og 4

Sprekkemålinger og sprekkanalyse bergskjæring 3

Totalt er det utført 99 sprekkemålinger for bergskjæringen. Sprekkerosediagram, basert på sprekkemålinger for de ulike bergskjæringene er inntegnet i Figur 36. Polplott med konturer for pol-konsentrasjoner er vist i Figur 41, hvor gjennomsnittet av hovedsprekkesettene er fremvist med blå for foliasjon, rød for hovedsprekkesett 1 og grønn for hovedsprekkesett 2.



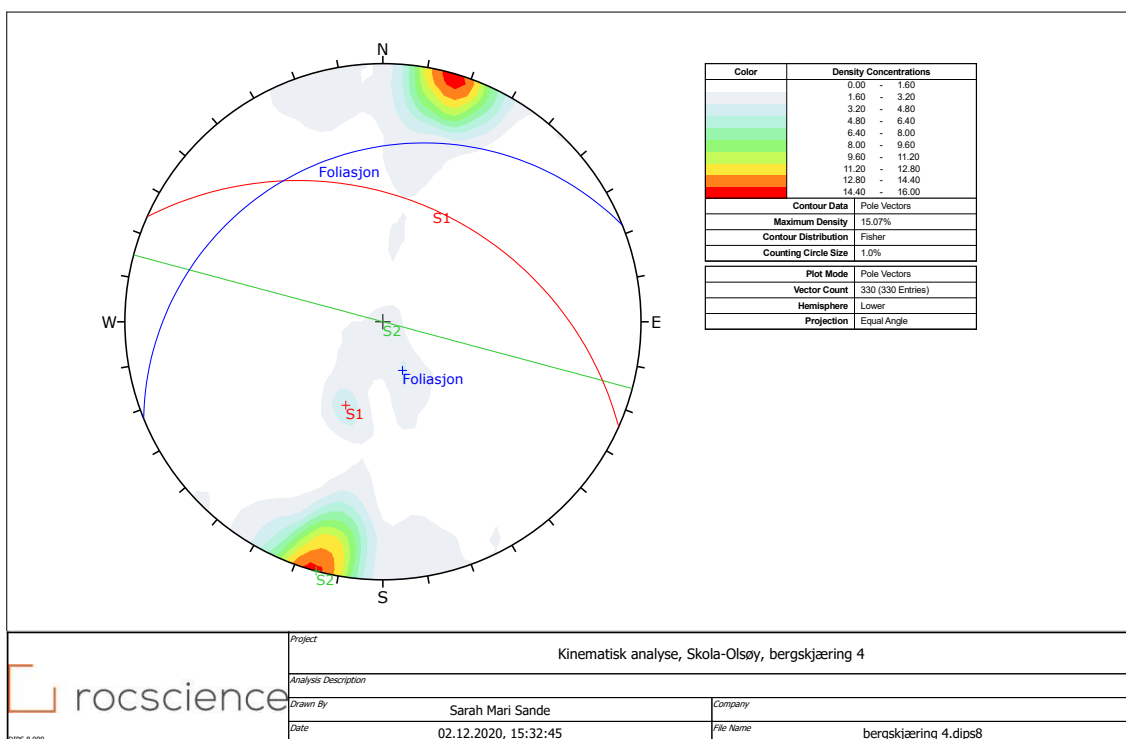
Figur 41: Polplott med kontur for pol-fordelinger og hovedsprekkesett for bergskjæring 3, Skola-Olsøy

Bergskjæring 4, profil S7D1 1746-2414

Bergskjæringen er ca. 650 m og har høyder mellom 8-28 meter hvor bergskjæringen er høyest i nordvest. Bergskjæringen består av tonalittisk gneis med 2-3 sprekksett. Der bergskjæringen er over 10 m er bergskjæringen utformet med sikringshyller. Bergskjæringen er steiltstående (tilnærmet 90°) formet langs med skifriheten til bergarten. Det er sprengt ut fin kontur som vises godt langs hele bergskjæringen. Større svakhetssoner kysser beskjæringen, vist i Figur 36. Følgelig er det også observert mindre forkastninger øst for den største svakhetssonen. Disse har diameter på ca. 15 cm og utgjør ikke noen stabilitetsfare, men det er observert at det knuste materialet vaskes ut av vannføring. Det er tidvis rennende vann i bergskjæringen. Figur 40 gir et inntrykk av bergskjæring 3 og 4.

Sprekkemålinger og sprekkanalyse bergskjæring 4

totalt er det utført 78 sprekkemålinger for bergskjæringen. Sprekkerosediagram, basert på sprekkemålinger for de ulike bergskjæringene er inntegnet i Figur 36. Polplott med konturer for pol-konsentrasjoner er vist i Figur 42, hvor gjennomsnittet av hovedsprekkesettene er fremvist med blå for foliasjon, rød for hovedsprekkesett 1 og grønn for hovedsprekkesett 2.

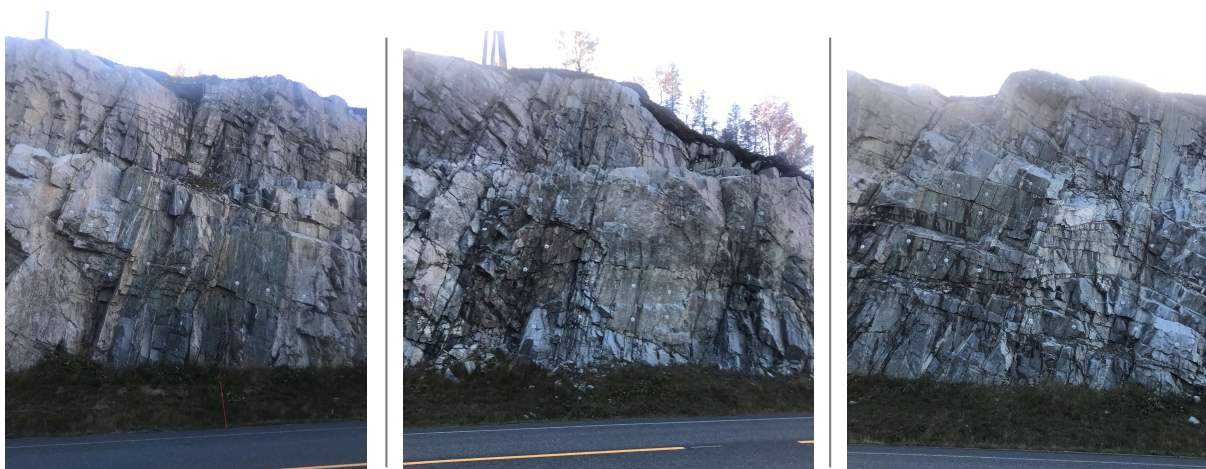


Figur 42: Polplott med kontor for pol-foredelinger og hovedsprekkesett for bergskjæring 4, Skola-Olsøy

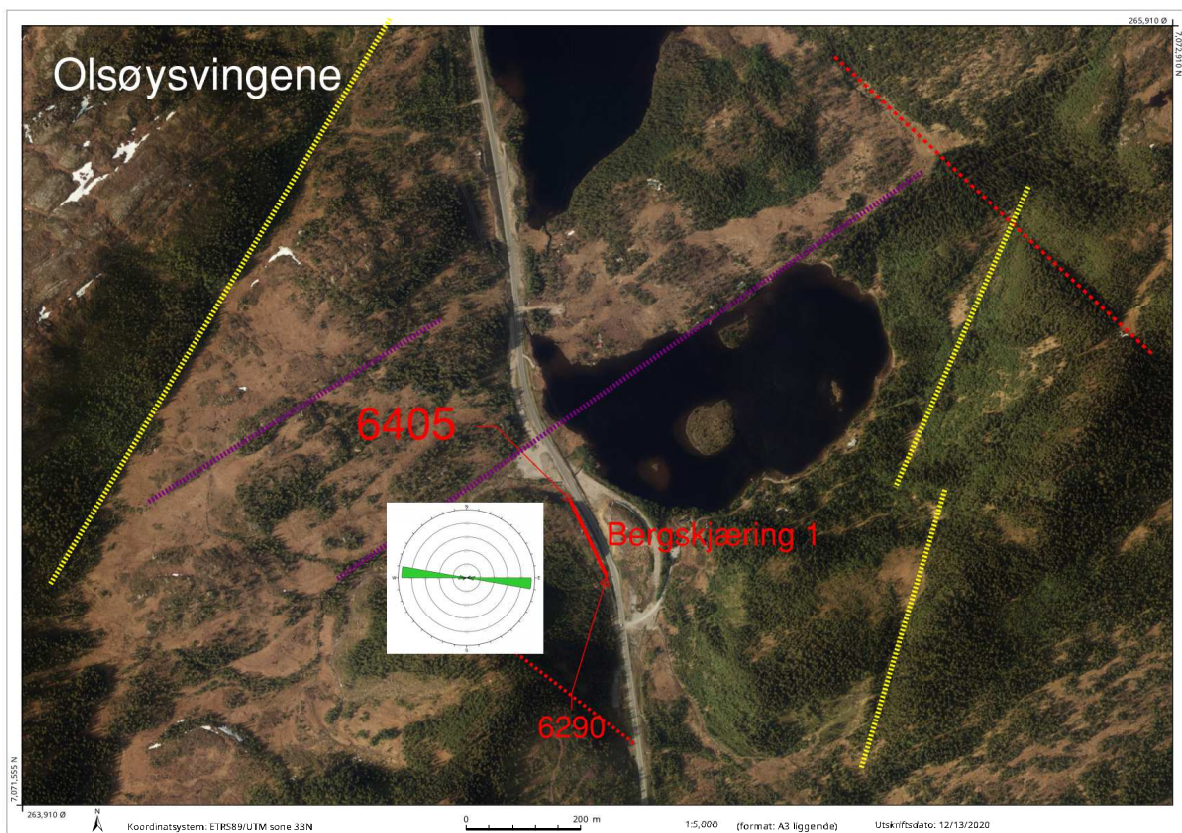
Vedlegg B Resultater fra prosjektet Olsøysvingene

Bergskjæring, profil S7D1 6290-6328

Bare én bergskjæring i prosjektet Olsøysvingene ble ansett som relevant å kartlegge for oppgaven. Bergskjæringen er ca. 120 m lang og høyde ca. 26 m. Bergarten er granodiorittslik gneis oppsprukket med 2-3 sprekkesett. Bergskjæringen er utformet med en sikringshülle, og det er utført sporadisk bolting etter behov, samt stedvis sikret med steinsprangnett og bolter. Det er ikke tegn til svakhetssoner i bergskjæringen, men den er lokalisert i bunnen av Haugsdalen, hvor det går en forkastningssone. Generelt kan det observeres flere blokker uten fot/understøtte, som utgjør fare for steinsprang. Bergarten er mest oppsprukket langs foliasjonen, som går parallelt med årer i bergarten. De gjennomsettende sprekkene er generelt veldig åpne. Figur 43 gir et inntrykk av bergarten, sprekker og bergskjæringene generelt. Figur 44 viser oversikt over kartlagt informasjon i området og registrerte sprekkesett ved hjelp av sprekkerose.



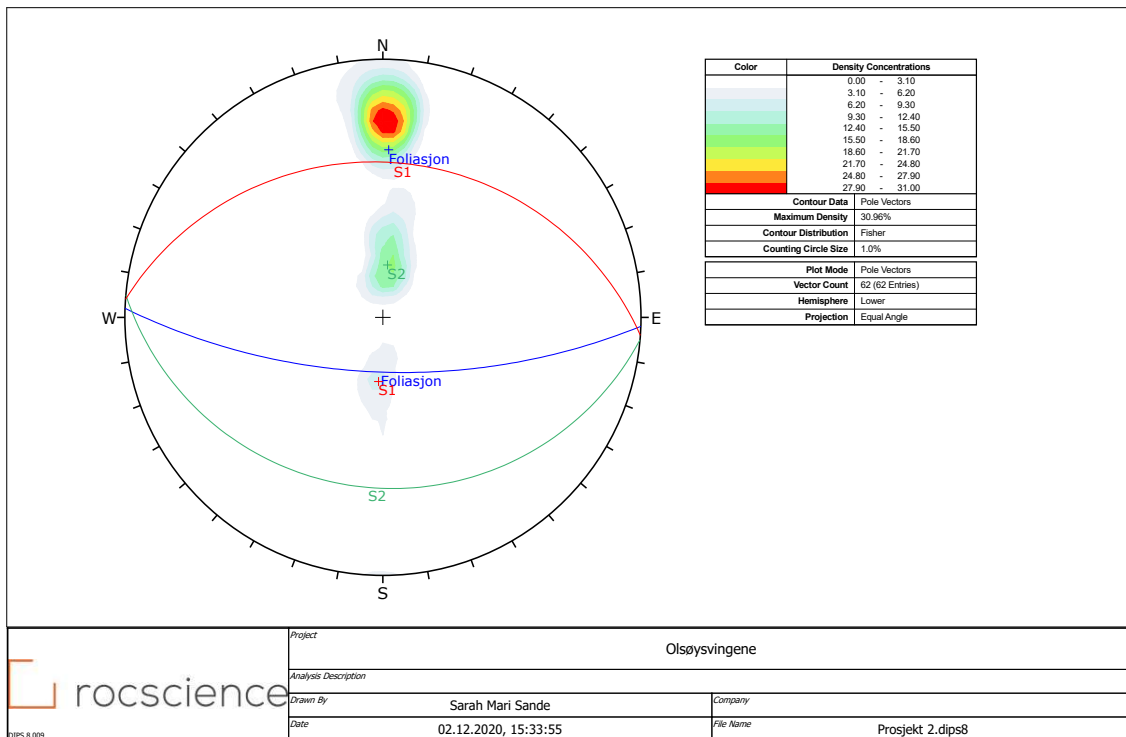
Figur 43: Intrykksbilder av bergart og bergskjæring tilhørende prosjektet Olsøysvingene



Figur 44: Oversiktskart over Fosenvegane og prosjekter tilhørende masteroppgaven. Kartgrunnlag: Norgeskart

Sprekkemålinger og sprekkanalyse Olsøysvingene

Totalt er det gjort 62 sprekkemålinger for bergskjæringen. Sprekkerosediagram, basert på sprekkemålinger for de ulike bergskjæringene er inntegnet i Figur 44. Polplott med konturer for pol-konsentrasjoner er vist i Figur 45, hvor gjennomsnittet av hovedsprekkesettene er fremvist med blå for foliasjon, rød for hovedsprekkesett 1 og grønn for hovedsprekkesett 2.

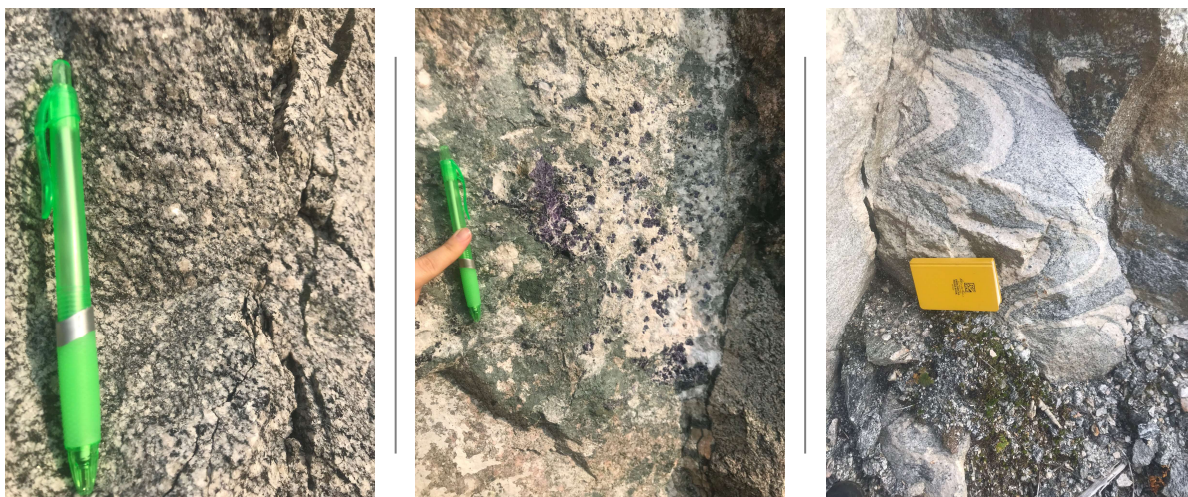


Figur 45: Polplott med kontur for pol-fordelinger og hovedsprekkesett for bergskjæring, Olsøysvingene

Vedlegg C Resultater fra prosjektet Osavatnet-Rødsjø

Det er kartlagt 4 bergskjæringer i forbindelse med utbyggingsprosjektet Osavatnet-Rødsjø. Alle skjæringene er ensidige og alle, utenom den siste, ligger på østsiden av veien. Bergskjæringenes plassering, samt informasjon og tolkninger gjort i felt, er vist i Figur 48.

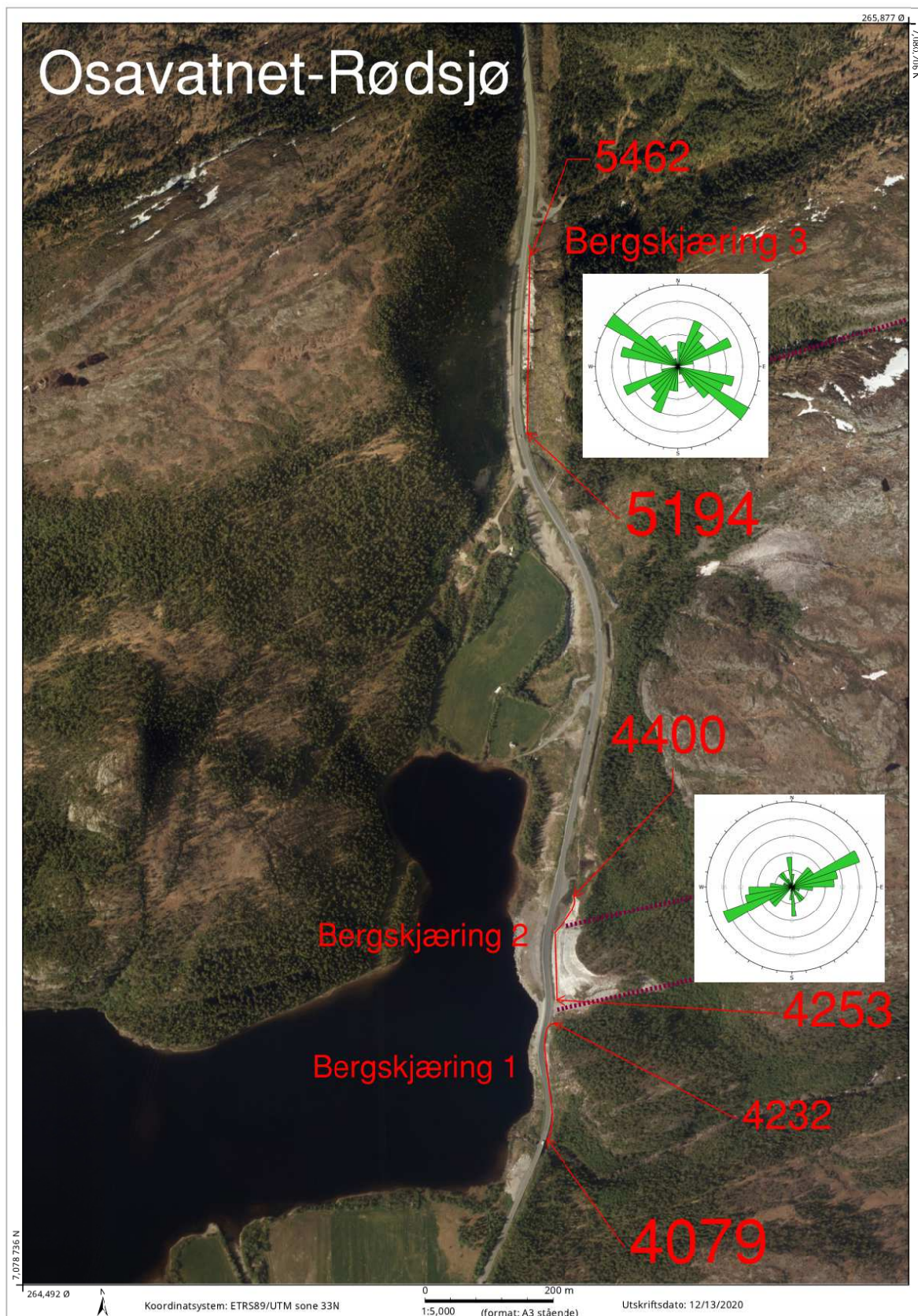
Under feltkartleggingen for prosjekt Osavatnet-Rødsjø ble det registrert ulike gneiser som områdets bergarter. Bergartene er mindre foliert og foldet enn for de øvrige kartlagte prosjektene, og har i stor grad nærmest granittisk sammensetning flere steder. Bergartene hadde typisk 2-3 sprekkesett, i Figur 46 er det gitt et inntryksbilde av bergart, strukturgeologisk folding og ametyst mineraler. I tillegg til at det observeres et par lengre forkastninger, med smale forkastningskjerner, som vist i Figur 47.



Figur 46: Inntryksbilde bergart, strukturgeologisk folding og ametyst mineraler



Figur 47: Inntryksbilde lengre forkastning med smal forkastningskjerne

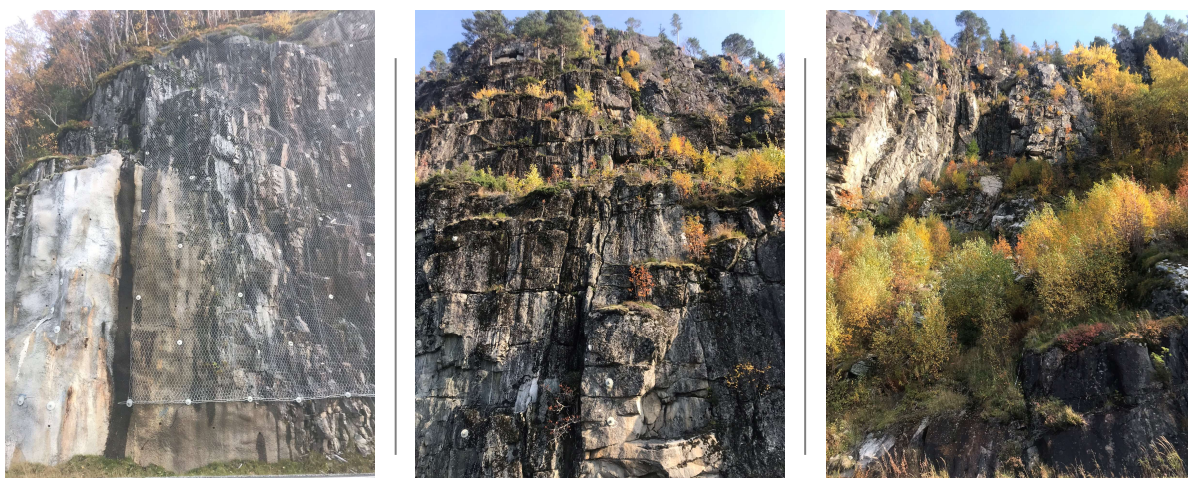


Figur 48: Oversiktskart over Fosenevegene og prosjekter tilhørende masteroppgaven. Kartgrunnlag: norgeskart

Bergskjæring 1, profil S8D1 4079-4232

Bergskjæringen er ca. 150 m hvor halve bergskjæringen er tidligere utsprengt skjæring og andre halvdel er bestående av bratt terreng med fjell lengre oppe hvor det kan forekomme steinsprang. Hvor fjellet er naturlig var det for høyt for laseren å måle, dvs. at fjellet er >50 m. Der bergskjæring er utsprengt var det ca. 22 m opp til der fjellet er utformet naturlig. Grøftebredden langs bergskjæringen var <1 m. Følgelig ble det ikke gjort sprekkemålinger på bergskjæringen. I stabilitetsanalyser er det valgt å bruke sprekke målt for bergskjæring 2 med orienteringen til bergskjæring 1. Grunnen til dette er at de så ut til å ha samme gjennomsettende sprekker.

Bergarten i området består av migmatittisk gneis og virker å være lite deformert. Sprekkeavstander 0,2 - >2 meter. Der bergskjæringen er naturlig, er blokker som mangler understøtte sikret med bolter. I første halvdel av den utsprengte bergskjæringen er det utført sporadisk sikring med bolter, mens siste del er kledd med steinsprangnett og noen få kvadratmeter med sprøytebetong. Figur 49 viser inntryksbilder av bergskjæring, oppsprekking og bergart.



Figur 49: Inntryksbilder fra bergskjæring 1 tilhørende prosjektet Osavetnet-Rødsjø

Bergskjæring 2, profil S8D1 4253-4400

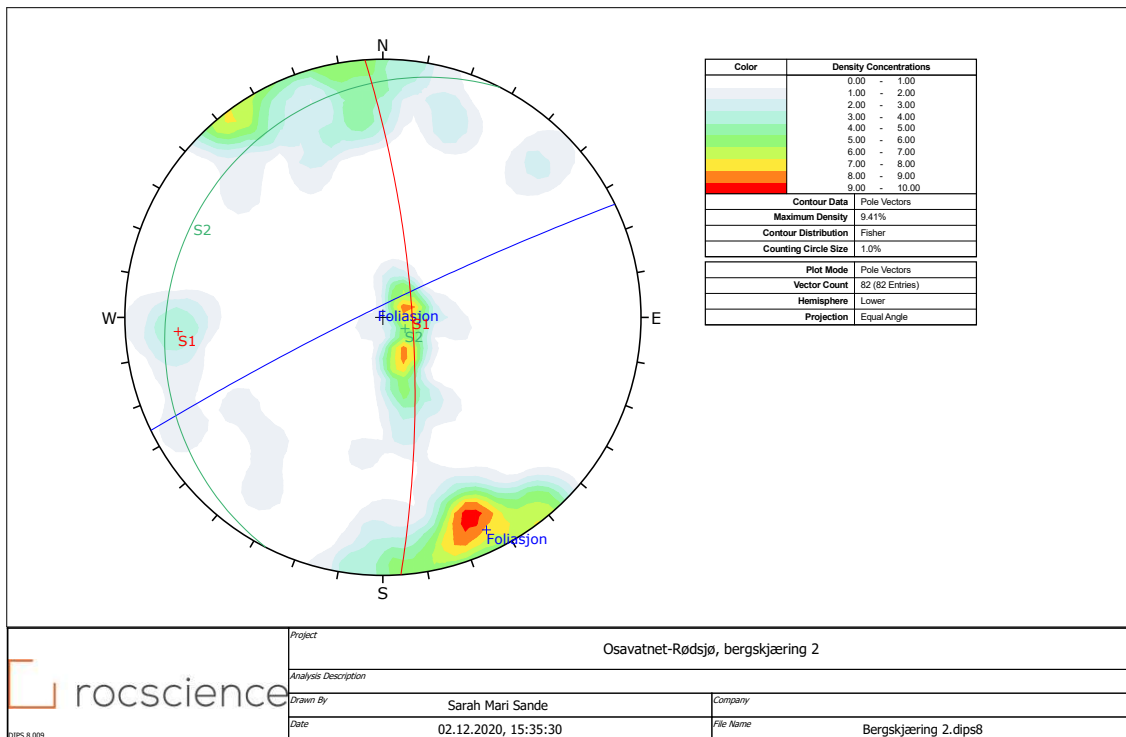
Det er en liten dal som skiller bergskjæring 1 og 2 fra hverandre. Bergskjæringene har derfor samme bergart og samme sprekkesett. Bergskjæringen er ca. 150 m lang, og har høyde mellom 9-43 m. Bergskjæringen er i største del >40 m høy, og utformet med 3 sikringshyller hvor det er ca. 15 m opp til første sikringshylle. Det er kun de to første hyllene i bergskjæringen som det er utført sikringstiltak, her er det utført sporadisk sikring med bolter og steinsprangnett. Noen plasser i bergskjæringen er det fuktig. Det er observert en forkastning med forkatningskjerne ca. 5 cm i diameter. Forkastningen strekker seg fra første hylle og kan observeres hele veien til toppen, men har igrunn ikke påvirkning på stabiliteten til bergskjæringen, da den er tilnærmet lukket.



Figur 50: Inntrykksbilder fra bergskjæring 2 tilhørende prosjektet Osavetnet-Rødsjø

Sprekkemålinger og sprekkedanalyse bergskjæring 2

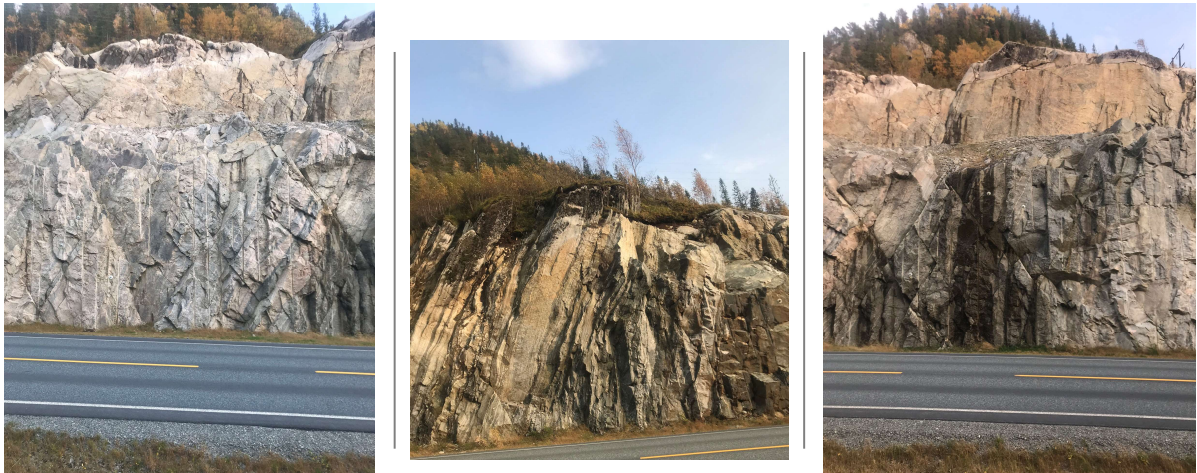
Totalt er det gjort 82 sprekkemålinger for bergskjæring 2. Sprekkesediagrammer, basert på sprekkemålinger for de ulike bergskjæringene er inntegnet i Figur 48. Polplott med konturer for pol-konsentrasjoner er vist i Figur 51, hvor gjennomsnittet av hovedsprekkesettene er fremvist med blå for foliasjon, rød for hovedsprekkesett 1 og grønn for hovedsprekkesett 2.



Figur 51: Polplott med kontur for pol-fordelinger og hovedsprekkesett for bergskjæring 2, Osavatnet-Rødsjø

Bergskjæring 3, profil S8D1 5194-5462

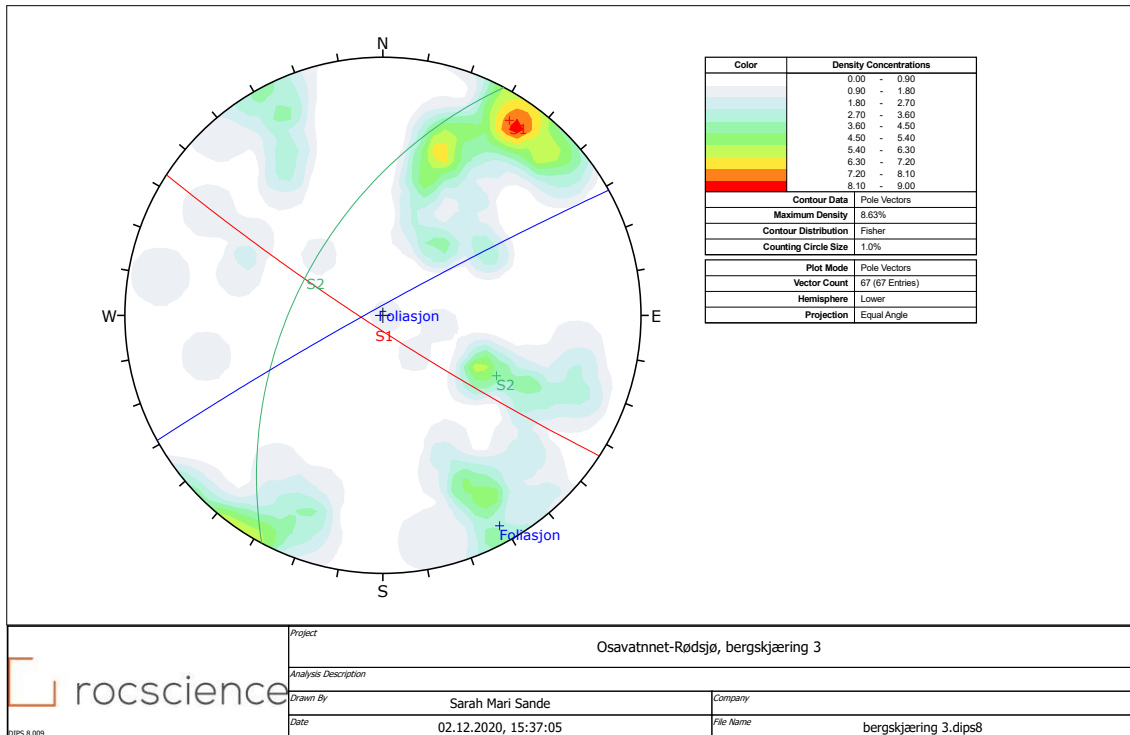
Bergskjæringen er ca. 270 m lang og har høyder 1- 34 m. Bergskjæringen begynner som lav i sør og stiger i høyde når man beveger seg nordover. Bergskjæringen er utformet med en sikringshulle hvor bergskjæringen er over 10 m. Bergarten er migmatittisk gneis, oppsprukket med 2-3 sprekkesett. Bergskjæringen er sikret med sporadisk bolting, generelt lite sikringsbehov. Figur 52 gir et inntrykk av bergskjæringen.



Figur 52: Inntrykksbilder fra bergskjæring 3 tilhørende prosjektet Osavetnet-Rødsjø

Sprekkemålinger og sprekkedanalyse bergskjæring 3

Totalt er det gjort 82 sprekkemålinger for bergskjæring 3. Sprekkerosediagram, basert på sprekkemålinger for de ulike bergskjæringene er inntegnet i Figur 48. Polplott med konturer for pol-konsentrasjoner er vist i Figur 53, hvor gjennomsnittet av hovedsprekkesettene er fremvist med blå for foliasjon, rød for hovedsprekkesett 1 og grønn for hovedsprekkesett 2.



Figur 53: Polplott med kontur for pol-fordelinger og hovedsprekkesett for bergskjæring 3, Osavatnet-Rødsjø

Bergskjæring 4, profil S8D1 6030-065

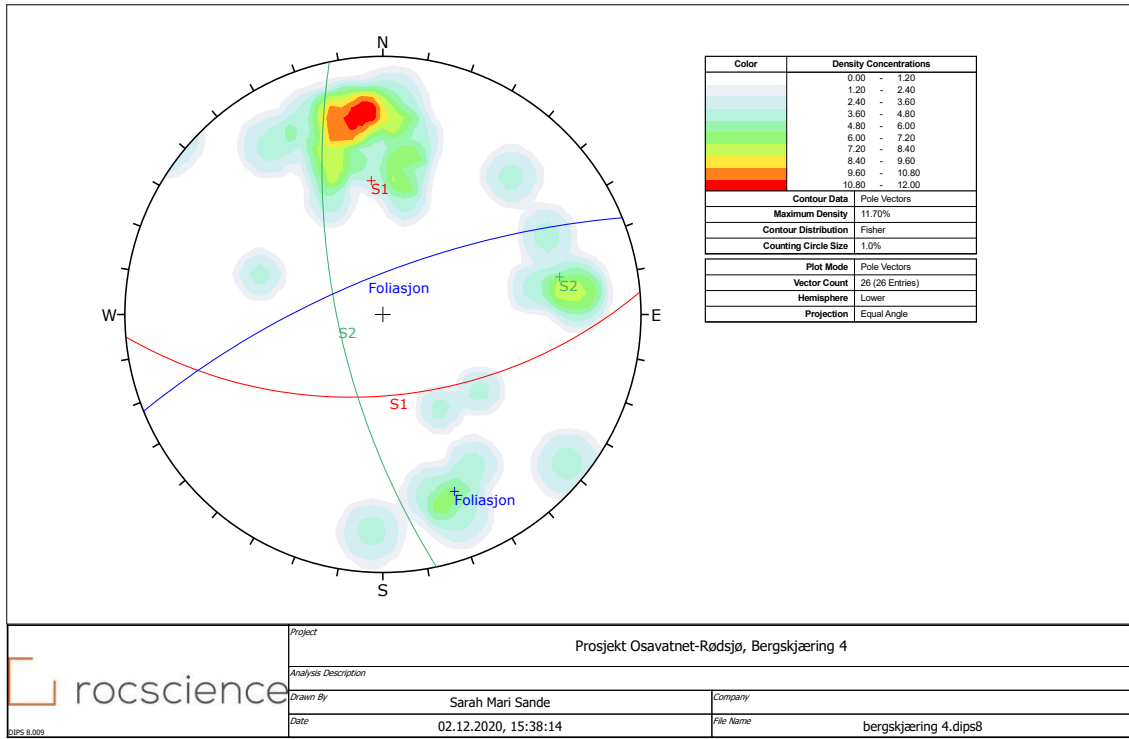
Bergskjæringen er omtrent 232 meter lang og har høyder mellom 2 og 8 m. Granitten for siste bergskjæring skiller seg fra de 3 første i dette delprosjektet. Det er antatt å være granodiorittisk gneis som er lys grå og inneholder kvarts, feltspatt, biotitt og stedvis hornblende. Flere plasser er det observert kvartsårer i bergarten. Bergarten er gjennomvannet med 2-3 sprekkesett, der bergarten oppleves som til nærmet skifrig. Sprekkeavstander er typisk <1 cm- 0,5 m. Sprekkene er i stor grad plane og lite ru. Bergskjæringen er sikret med sporadisk bolting hvor av det enkelte plasser er mindre enn 0,5 meter mellom boltene. Figur 54 viser inntrykk av bergart og oppsprekningen i bergskjæringen.



Figur 54: Inntrykksbilder fra bergskjæring 4 tilhørende prosjektet Osavetnet-Rødsjø

Sprekkemålinger og sprekkanalyse bergskjæring 4

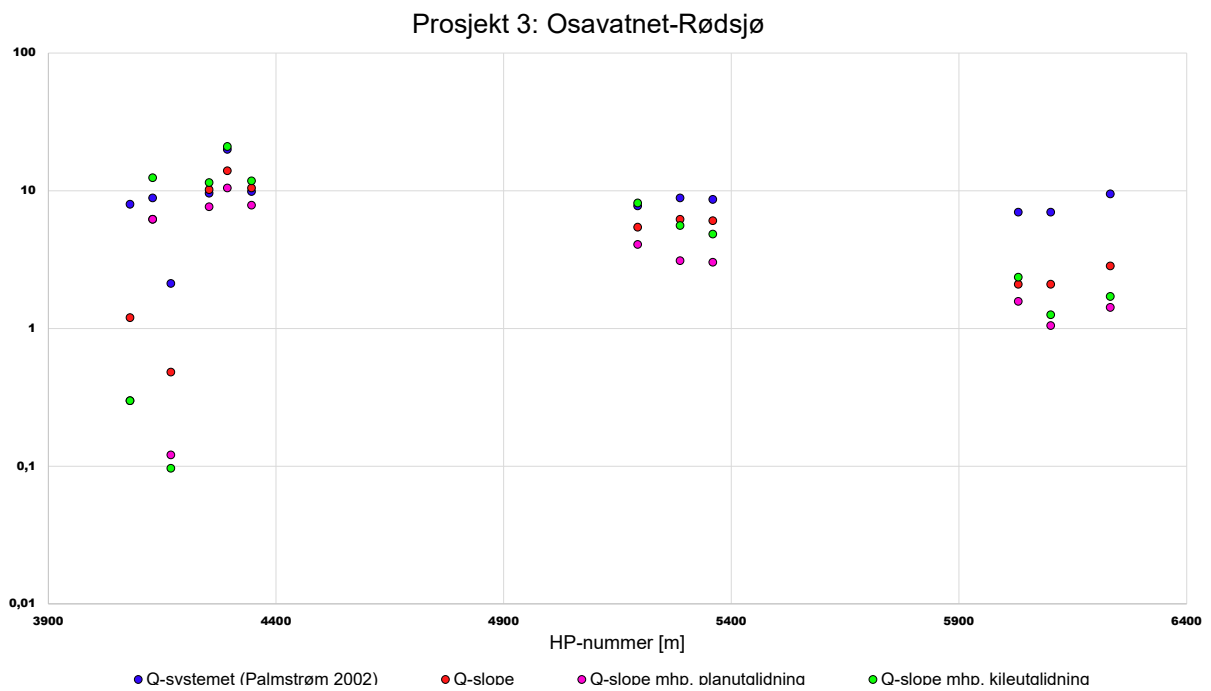
Totalt er det gjort 22 sprekkemålinger for bergskjæring 4. Polplott med konturer for pol-konsentrasjoner er vist i Figur 55, hvor gjennomsnittet av hovedsprekkesettene er fremvist med blå for foliasjon, rød for hovedsprekkesett 1 og grønn for hovedsprekkesett 2.



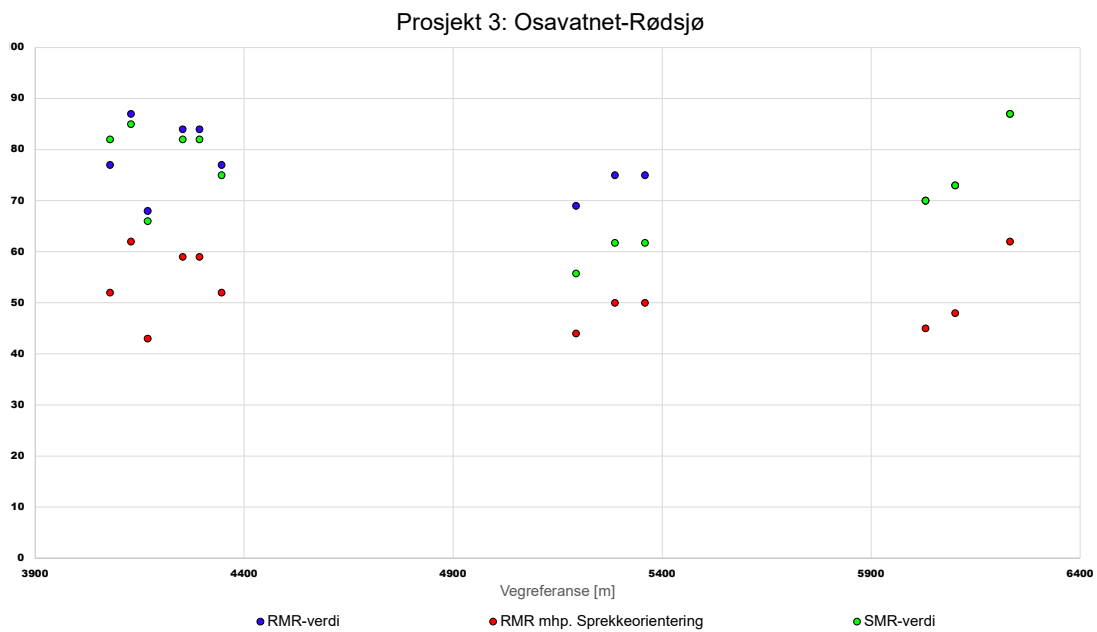
Figur 55: Polplott med kontur for pol-fordelinger og hovedsprekkesett for bergskjæring 4, Osavatnet-Rødsjø

Bergmasseklassifiseringer prosjekt Osavatnet-Rødsjø

Figur 56 viser en oversikt over plott for beregnede verdier for Q-systemet og Q-slope langs vegprofilet til prosjektet Osavatnet-Rødsjø. Figur 57 viser oversikt over resultater for beregnet RMR og SMR langs vegprofilet til prosjektet Osavatnet-Rødsjø



Figur 56: Resultater for Q-systemet og Q-slope langs vegprofilet til prosjekt 3, Osavatnet-Rødsjø



Figur 57: Resultater for RMR og SMR langs vegprofilet til prosjekt 3, Osavatnet-Rødsjø

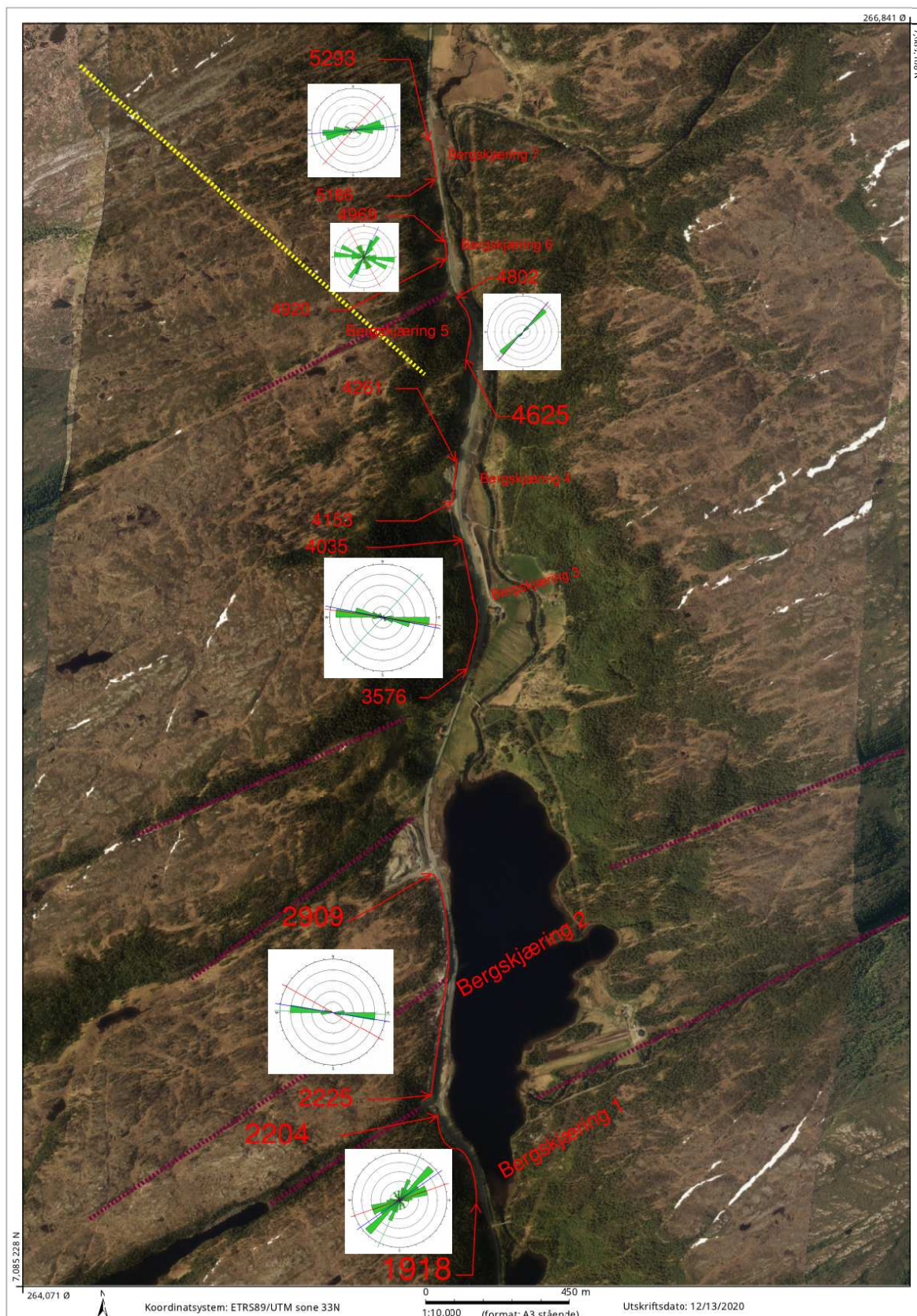
Vedlegg D Resultater fra prosjektet Nordsetervatnet

Det er kartlagt 7 bergskjæringer i forbindelse med utbyggingsprosjektet Nordsetervatnet. Alle bergskjæringene ligger på vestsiden av veien. Bergskjæringenes plassering, samt informasjon og tolkninger gjort i felt er vist i Figur 59

Under feltkartleggingen for prosjekt Nordsetervatnet ble det registrert bergarter granodiorittisk gneis og amfibolitt/amfibolittskifer. Bergartene hadde typisk 3-4 sprekkesett, og bar preg av folding og foliasjon, som følge av forkastningssoner i området. Figur 58 gir et inntrykk av bergartene og hvordan de er gjennomslått av struktur-geologiske trekk både i stor og liten skala.



Figur 58: Inntrykksbilde bergarter og hvordan de er gjennomslått av struktur-geologiske trekk



Figur 59: Oversiktskart over Fosenvegene og prosjekter tilhørende masteroppgaven. Kilde: norgeskart

Bergskjæring 1, profil S10D1 1918-2204

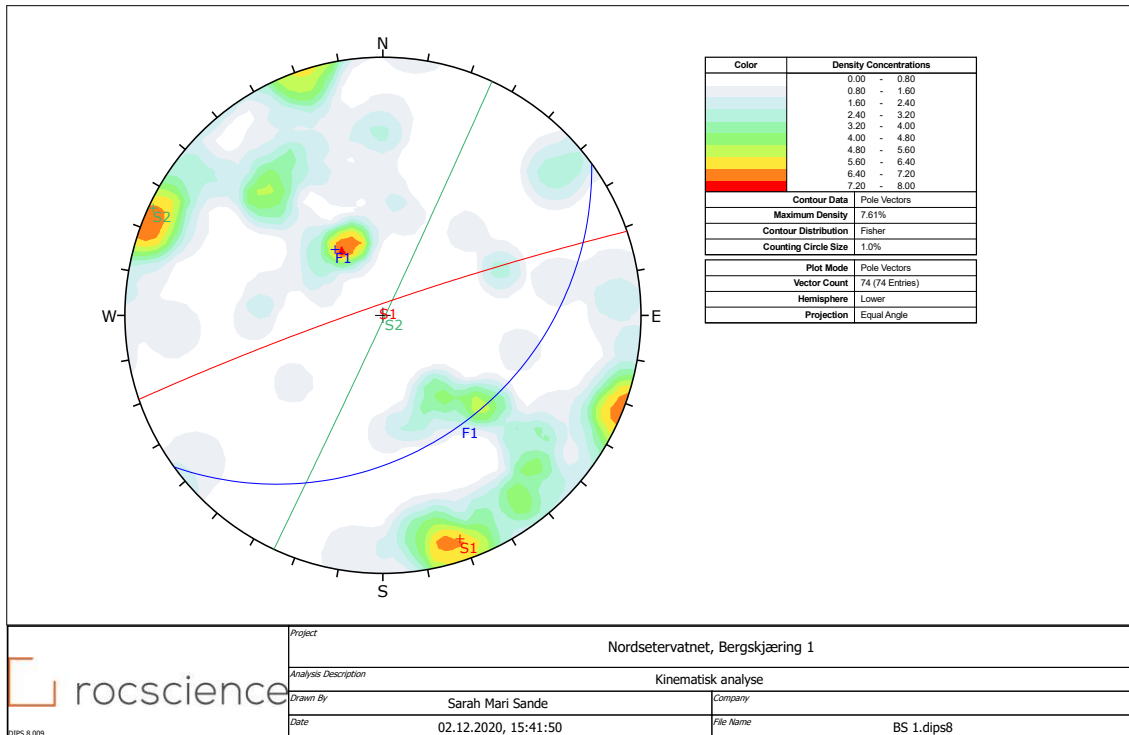
Beskjæringen er ca. 300 m lang og mellom 11-18 m høy. Bergarten i området består av granodiorittisk gneis, og berget viser tydelig strukturer av folding og foliasjon. I hovedsak er det 3 sprekkesett tilstede, sprekkeavstander er typisk mellom 0,5-2 m. Bergarten er mest oppsprukket i nordvest når en beveger seg mot forkastningssonen som skiller bergskjæring 1 og 2. Figur 60 gir et inntrykk av bergskjæring 1 og hvordan gneisen i området er sterkt påvirket av foldning.



Figur 60: Intrykksbilde av bergskjæring 1 og hvordan granitten er foldet

Sprekkemålinger og sprekkanalyse bergskjæring 1

Totalt er det gjort 74 sprekkemålinger for bergskjæring 1. Sprekkerosediagram, basert på sprekkemålinger for de ulike bergskjæringene er inntegnet i Figur 59. Polplott med konturer for pol-konsentrasjoner er vist i Figur 61, hvor gjennomsnittet av hovedsprekkesettene er fremvist med blå for foliasjon, rød for hovedsprekkesett 1 og grønn for hovedsprekkesett 2.



Figur 61: Polplott med kontur for pol-fordeling og hovedsprekkesett for bergskjæring 1, Nordsetervatnet

Bergskjæring 2, profil S10D1 2225-2909

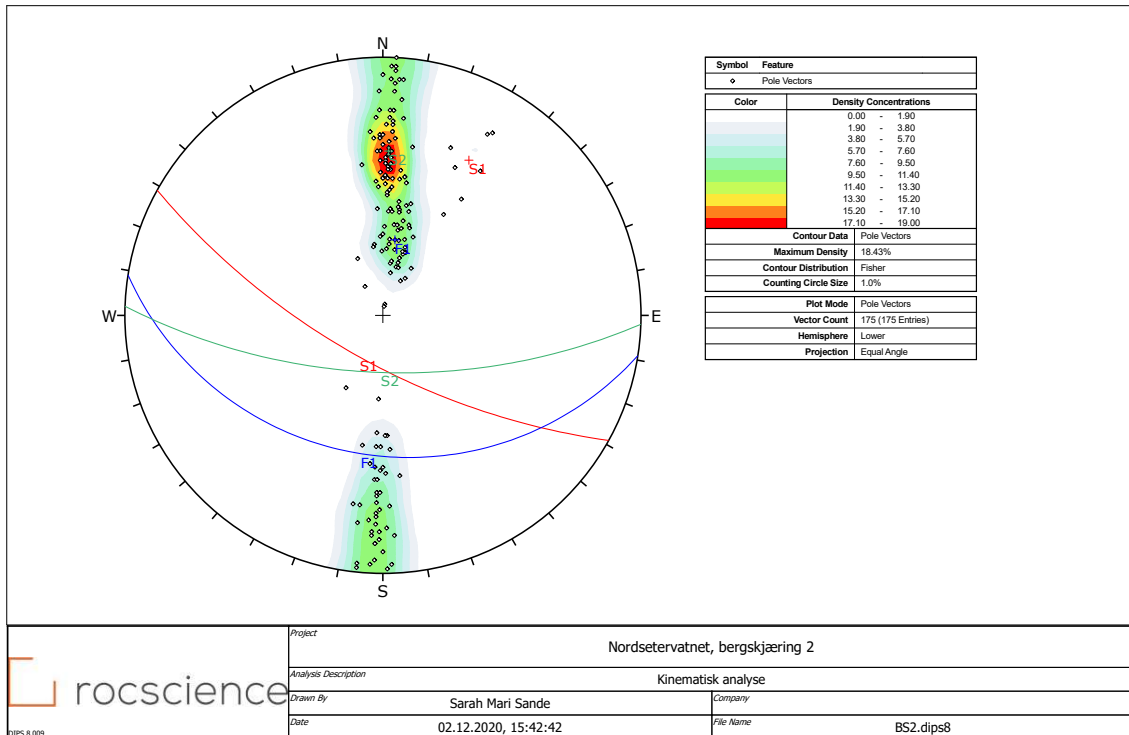
Bergskjæring 2 er ca. 700 m lang, og har høyde mellom 8 -28 m. Der bergskjæringen er over 12 m er det utformet sikringshyller. Bergarten er granodiorittisk gneis oppsprukket langs 3 sprekkesett. Bergarten er mest oppsprukket i sør nærme forkastningen som skiller bergskjæring 1 og 2. Det er observert mindre forkastninger med kjernebredde ca. 5 cm-1 meter som strekker seg fra bunn til topp av bergskjæringen, og har strøk langs foliasjonen, nordøst-sørvest retning. Bergskjæringen er sikret med bolter og steinsprangnett i begynnelsen, for så å være sporadisk sikret med bergbånd og bolter resten av strekningen. Figur 62 viser et inntrykk av bergskjæring 2



Figur 62: Intrykksbilder fra bergskjæring 2 tilhørende prosjektet Nordsetervatnet

Sprekkemålinger og sprekkanalyse bergskjæring 2

Totalt er det utført 175 sprekkemålinger for bergskjæring 2. Sprekkerosediagram, basert på sprekkemålinger for de ulike bergskjæringene er inntegnet i Figur 59. Polplott med konturer for pol-konsentrasjoner er vist i Figur 63, hvor gjennomsnittet av hovedsprekkesettene er fremvist med blå for foliasjon, rød for hovedsprekkesett 1 og grønn for hovedsprekkesett 2.



Figur 63: Polplott med kontur for pol-fordelinger og hovedsprekkesett for bergskjæring 2, Nordsetervatnet

Bergskjæring 3, profil S10D1 3576-4035

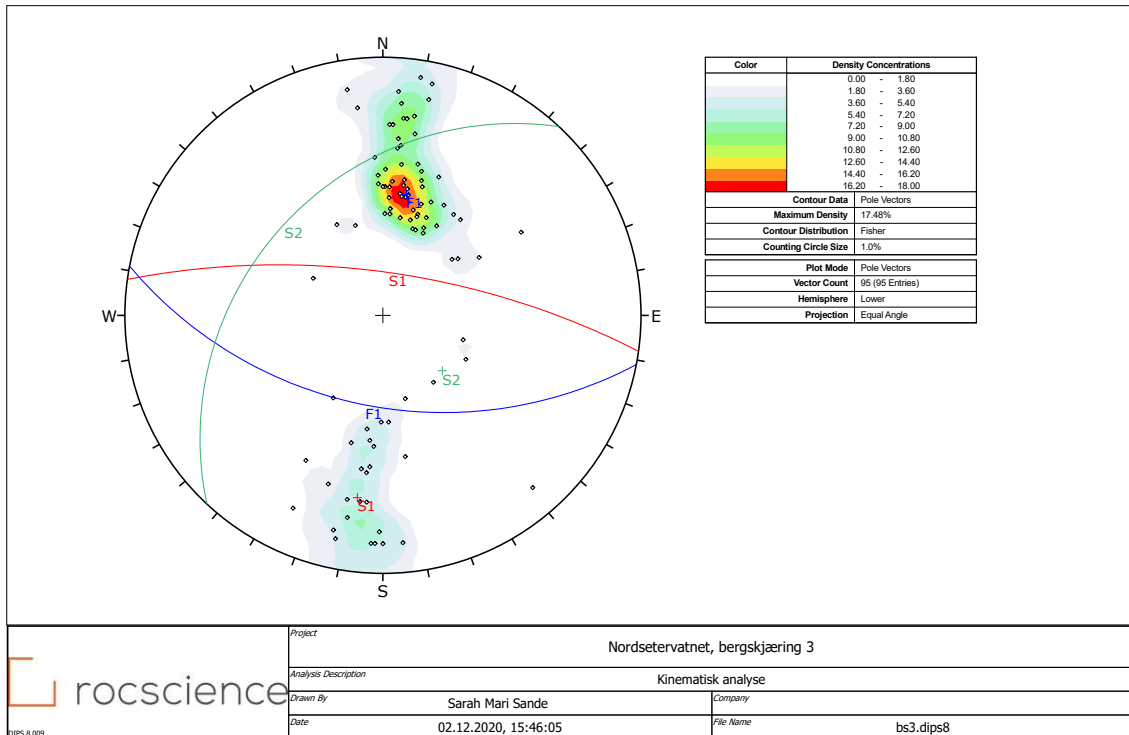
Bergskjæringen er ca. 460 m lang, og har høyde mellom 2-11 m. Bergarten er granodiorittisk gneis oppsprukket langs 3 sprekkesett, samt noen sporadiske sprekkesett som følge av forkastningen øst for bergskjæringen. I starten er bergskjæringen ca. 1,5 m og svært oppsprukket. Selve bergskjæringen som er utsprengt er ikke så høy, men det ovenforliggende terrenget er hellende med ca. 45°. Etter hvert som man beveger seg bort fra forkastningen er det kun de 3 sprekkesettene som er fremtredene. Det er sikret sporadisk med bolter etter behov, flest bolter finnes i starten av bergskjæringen. Figur 64 gir inntrykk av bergskjæring og oppsprekking.



Figur 64: Inntrykksbilder fra bergskjæring 3 tilhørende prosjektet Nordsetervatnet

Sprekkemålinger og sprekkanalyse bergskjæring 3

Totalt er det utført 145 sprekkemålinger for bergskjæring 3. Sprekkerosediagram, basert på sprekkemålinger for de ulike bergskjæringene er inntegnet i Figur 59. Polplott med konturer for pol-konsentrasjoner er vist i Figur 65, hvor gjennomsnittet av hovedsprekkesettene er fremvist med blå for foliasjon, rød for hovedsprekkesett 1 og grønn for hovedsprekkesett 2.



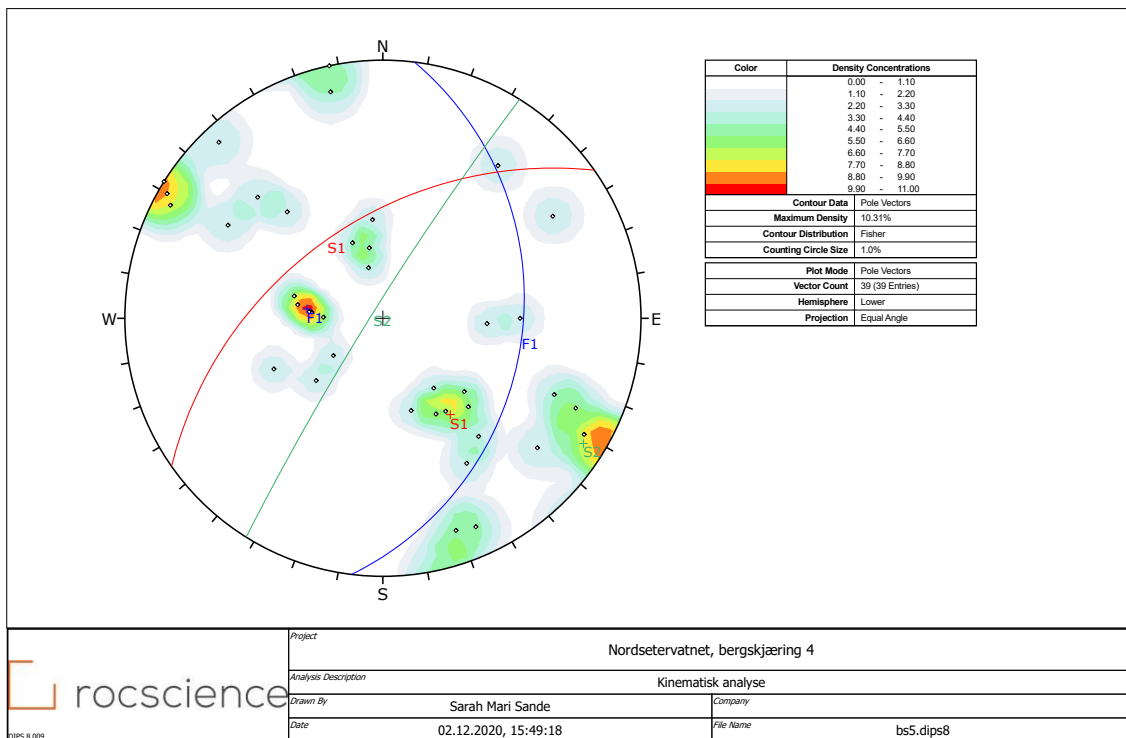
Figur 65: Polplott med kontur for pol-fordeling og hovedsprekkesett for bergskjæring 3, Nordsetervatnet

Bergskjæring 4, profil S10D1 4153-4261

Bergskjæringen er ca. 110 m lang, og høyden på utsprengt bergskjæring nederst er ca. 3-4 m og ca. 85°. Over den utsprengte delen strekker bergoverflaten seg videre med ca. 45°. Bergarten er granodiorittisk gneis oppsprukket langs 3 sprekkesett. Bergskjæringen er sikret med sporadisk bolting.

Sprekkemålinger og sprekkanalyse bergskjæring 4

Totalt er det utført 39 sprekkemålinger for bergskjæring 4. Sprekkerosediagram, basert på sprekkemålinger for de ulike bergskjæringene er inntegnet i Figur 59. Polplott med konturer for pol-konsentrasjoner er vist i Figur 66, hvor gjennomsnittet av hovedsprekkesettene er fremvist med blå for foliasjon, rød for hovedsprekkesett 1 og grønn for hovedsprekkesett 2.



Figur 66: Polplott med kontur for pol-fordelinger og hovedsprekkesett for bergskjæring 4, Nordsetervatnet

Bergskjæring 5, profil S10D1 4625-4802

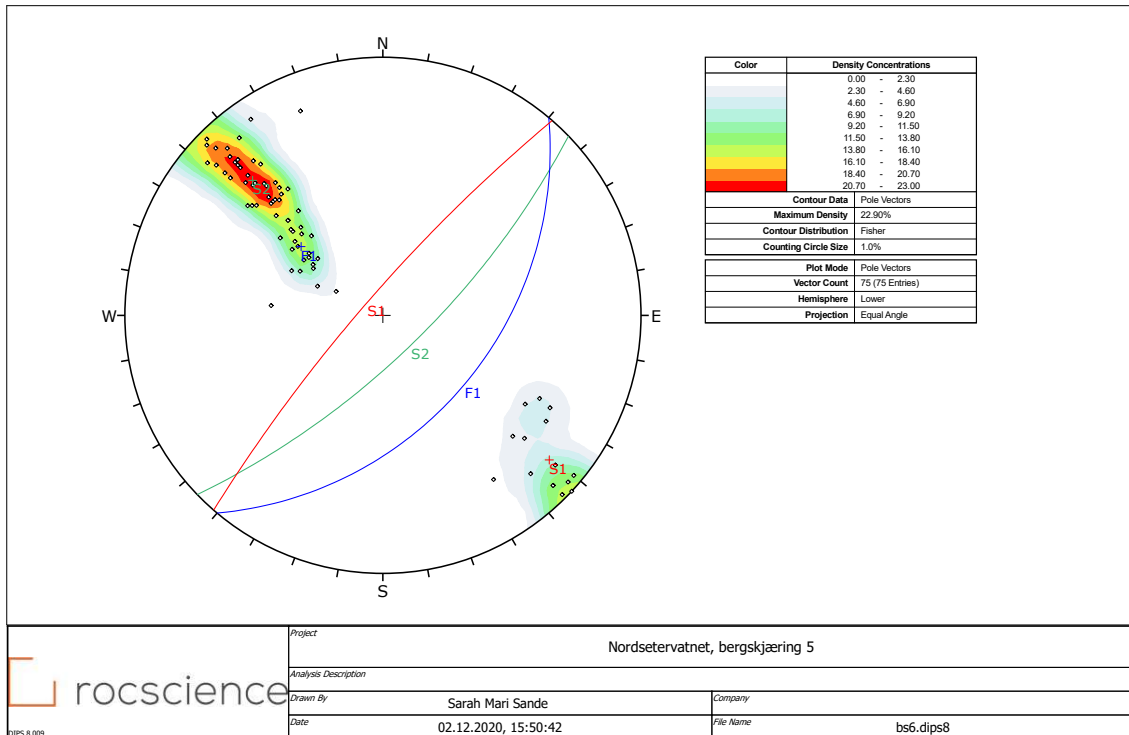
Bergskjæringen er ca. 180 m lang og mellom 14-31 m høy. Det skjer endring i geologien fra bergskjæring 1-4 og starten av bergskjæring 5. Øverst i bergskjæringen observeres den granodiorittiske gneisen med 3 hovedsprekesett, slik som i bergskjæring 1-4, men nederst opptrer en mørkere, grønn bergmasse med samme foliasjon som gneisen som i sør ser ut til å være foldet. Bergmassen er tett oppsprukket og nærmest melete noen plasser. Skillet mellom de to geologiene kan se ut til å stemme overens med forkastningen kartlagt av NGU på andre siden av elven som går langs Juvasselva et godt stykke. Gneisen blir mindre oppsprukket av tilfeldige sprekker etterhvert som man beveger seg nordover og det antas derfor å være et resultat av forkastningen. Gneisen er i siste del av bergskjæringen oppsprukket langs sine 3 hovedsprekesett, samt enkelte smale forkastninger. Bergskjæringen er sikret med sporadisk bolting, samt sikringsnett øverst hvor det er antatt forkastning. Figur 67 gir et inntrykk av bergskjæringen.



Figur 67: Inntrykksbilder fra bergskjæring 5 tilhørende prosjektet Nordsetervatnet

Sprekkemålinger og sprekkanalyse bergskjæring 5

Totalt er det utført 75 sprekkemålinger for bergskjæring 5. Sprekkesediagrammer, basert på sprekkemålinger for de ulike bergskjæringene er inntegnet i Figur 59. Polplott med konturer for pol-konsentrasjoner er vist i Figur 68, hvor gjennomsnittet av hovedsprekkesettene er fremvist med blå for foliasjon, rød for hovedsprekkesett 1 og grønn for hovedsprekkesett 2.



Figur 68: Polplott med kontur for pol-fordeling og hovedsprekkesett for bergskjæring 5, Nordsetervatnet

Bergskjæring 6, profil S10D1 4920-4969

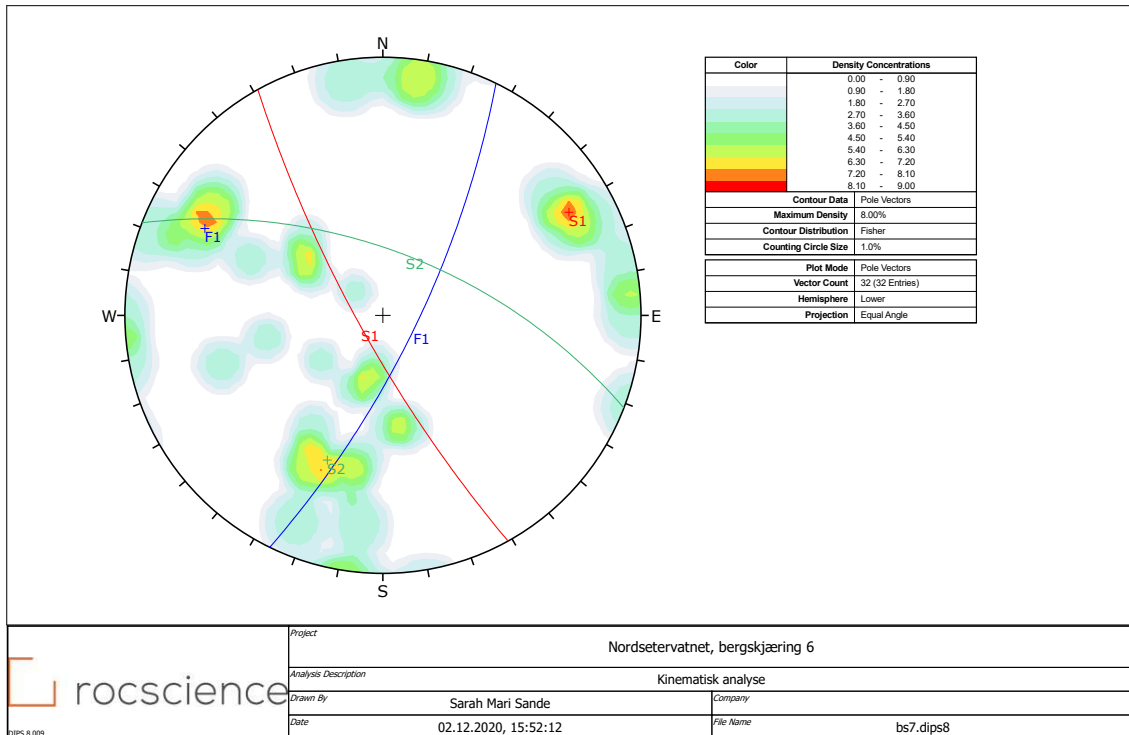
Bergskjæringen er ca.50 m lang og har høyde ca. 8 m. Bergarten er amfibolitt og oppsprukket langs 3 sprekke-sett. Bergarten bærer preg av å være foldet. Bergskjæringen er sikret med sporadisk bolting. Figur 69 vier et inntrykk av bergskjæringen og hvordan den er sterkt påvirket av foldning.



Figur 69: Inntrykksbilder fra bergskjæring 6 tilhørende prosjektet Nordsetervatnet

Sprekkemålinger og sprekkanalyse bergskjæring 6

Totalt er det utført 32 sprekkemålinger for bergskjæring 6. Sprekkerosediagram, basert på sprekkemålinger for de ulike bergskjæringene er inntegnet i Figur 59. Polplott med konturer for pol-konsentrasjoner er vist i Figur 70, hvor gjennomsnittet av hovedsprekkesettene er fremvist med blå for foliasjon, rød for hovedsprekkesett 1 og grønn for hovedsprekkesett 2.



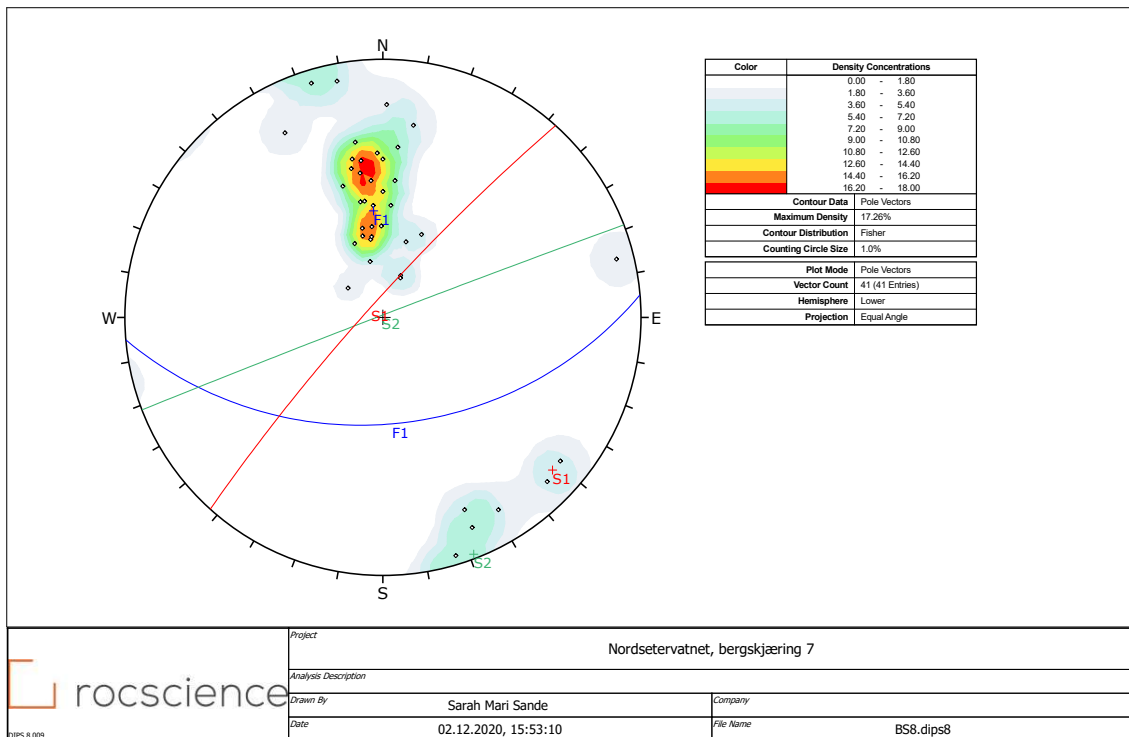
Figur 70: Polplott med kontur for pol-fordeling og hovedsprekkesett for bergskjæring 6, Nordsetervatnet

Bergskjæring 7, profil S10D1 5186-5293

Bergskjæringen er ca. 110 m lang, men er relativt lav med høyder 1-3 m. Bergarten er amfibol og er oppsprukket langs 2-3 sprekkesett. I sør er bergskjæringen en fold som stikker opp fra terrenget. Bergskjæringen er usikret.

Sprekkemålinger og sprekkedanalyse bergskjæring 7

Totalt er det utført 41 sprekkemålinger for bergskjæring 7. Sprekkerosediagram, basert på sprekkemålinger for de ulike bergskjæringene er inntegnet i Figur 59. Polplott med konturer for pol-konsentrasjoner er vist i Figur 71, hvor gjennomsnittet av hovedsprekkesettene er fremvist med blå for foliasjon, rød for hovedsprekkesett 1 og grønn for hovedsprekkesett 2.



Figur 71: Polplott med kontur for pol-fordelinger og hovedsprekkesett for bergskjæring 7, Nordsetervatnet

Vedlegg E Resultater (input-parametere for bergmasseklassifiseringer)

Bergarter og geologi

Detaljerte beskrivelser av bergarter og observert geologi langs hver bergskjæring i de ulike prosjektene er gitt i Vedlegg A til Vedlegg D. Generelt stemmer feltobservasjoner overens med stedlig relevant litteratur, gjengitt i Avsnitt 5 og NGU berggrunnskart. Det er stor variasjon mellom bergarter ved de ulike prosjektene, men også innad i den enkelte bergskjæring.

Generelt oppleves området på indre Fosen som veldig geologisk spennende. Bergarter består i hovedsak av gneiser med variasjon i sammensetning, med innslag av glimmerskifer og amfibolitt. Oppsprekningen til bergarter oppleves å ha sammenheng mellom forkastningssoner og folding av bergarter i området. Langs bergskjæringene har det vært en generell trend at bergarter er mer oppsprukket når man nærmer seg en forkastningssone. I ettertid har observasjoner med forkastningssoner og svakhetssoner samsvart godt med hvordan terrenget er utformet i landskapet. I litteraturen er det beskrevet en del svakhetssoner, som spesielt i prosjektene Osavatnet-Rødsjø og Nordsetervatnet utgjorde en del usikkerhet før utbygging (Aal, 2015; Aal, 2016). Flere av svakhetssonene er observert i felt, generelt er det en trend at bergarter er mer oppsprukket nærme svakhetssoner og forkastninger, men at selve svakhetssonene ikke har utgjort en stabilitetsfare for bergskjæringene, da de kutter seg ned i terrenget og er rensket for masser. I Figurene 36, 44, 48 og 59, vises antatte svakhetssoner og forkastninger tolket ut fra litteratur, berggrunnskart, flyfoto og feltobservasjoner.

Kinematiske analyser

Kinematiske analyser er vist i detalj i Vedlegg F. De kinematiske analysene har fått et eget vedlegg grunnet omfanget av informasjon. De blir ikke gjennomgått i detalj videre, da de ble utført som en nødvendighet for å utføre bergmasseklassifiseringer for bergskjæringene, som var masteroppgavens hovedfokus.

RQD

Tabell 37 viser resultatene for beregnede RQD verdier basert på Likningene (2) og (3) og sprekketelling utført i felt. Resultatene viste at det ikke var så store forskjeller mellom resultatene basert på de ulike likningene. Det ble valgt å bruke Likning (3) videre fordi forskjellene ikke var så store, samt at dette var den mest oppdaterte formelen.

Tabell 37: Medianverdier for RQD-verdier og kvartilbredder beregnet iht. hhv. Palmstrøm 1982 og Palmstrøm 2005 til hver enkelt bergskjæring som ble undersøkt

| Prosjekt | Skjæring nr. | RQD (Palmstrøm 1982) | RQD (Palmstrøm 2005) |
|------------------|--------------|----------------------|----------------------|
| Skola-Olsøy | 1 | 16 (7) | 35 (5) |
| | 2 | 41 (33) | 54 (25) |
| | 3 | 26 (33) | 43 (25) |
| | 4 | 99 (2) | 98 (3) |
| Olsøysvingene | 1 | 66 (7) | 73 (3) |
| Osavatnet-Rødsjø | 1 | 89 (17) | 90 (14) |
| | 2 | 89 (2) | 90 (1) |
| | 3 | 99 (7) | 98 (6) |
| | 4 | 62 (17) | 70 (13) |
| Nordsetervatnet | 1 | 75 (13) | 80 (10) |
| | 2 | 75 (12) | 80 (9) |
| | 3 | 59 (10) | 68 (8) |
| | 4 | 84 (8) | 86 (6) |
| | 5 | 82 (14) | 85 (11) |
| | 6 | 72 (23) | 78 (18) |
| | 7 | 54 (8) | 64 (6) |

Parametere i bergmasseklassifiseringssystemer

For etterprøvnbarhet er registrerte parametere for Q-systemt, Q-slope , RMR og SMR gitt i Figurene 72 til 76. Parametere er brukt for å gjøre beregninger for klassifiseringssystemene.

| Bergskjæring nummer | Hp fra: | Hp til: | Antall sprekker pr. m.2 | RQD (Q-sys) | Antall sprekksett + tilfeldige (Jn) | Sprekke ruhetstall (Jr) [F1] | Sprekke ruhetstall (Jr) [S1] | Sprekke ruhetstall (Jr) [S2] | Tall sprekkedyllin | | | Sprekkevannstall (Jw) | SRF | O-factor [A] | | | | | | | | | |
|---------------------|---------|---------|-------------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|-------------|-------------|-----------------------|------|--------------|------|------|-----|-----|------|------|------|---|------|
| | | | | | | | | | g (ja) [F1] | g (ja) [S1] | g (ja) [S2] | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 957 | 985 | 30 B: 25-50 | E | 6 | B | 1,5 | B | 3 | C | 4 | C | 4 | A | 1 | E | 2,5 | A | 0,5 | | | | |
| | 985 | 1015 | 37 A: 0-25 | E | 6 | B | 1,5 | B | 3 | C | 6 | C | 4 | B | 0,66 | F | 2,5 | A | 0,25 | | | | |
| | 1015 | 1045 | 30 B: 25-50 | E | 6 | F | 1 | B | 3 | C | 4 | C | 4 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,25 | | | | |
| | 1045 | 1075 | 28 B: 25-50 | E | 6 | F | 1 | B | 3 | C | 4 | C | 4 | A | 1 | E | 2,5 | A | 0,5 | | | | |
| | 1075 | 1110 | 25 B: 25-50 | E | 6 | B | 1,5 | B | 3 | C | 4 | C | 4 | A | 1 | E | 2,5 | A | 1 | | | | |
| 2 | 900 | 945 | 26 B: 25-50 | E | 6 | B | 1,5 | E | 1,5 | F | 4 | F | 4 | E | 0,66 | F | 2,5 | A | 0,25 | | | | |
| | 945 | 975 | 14 C: 50-75 | E | 6 | B | 1,5 | B | 3 | K | 6 | F | 4 | B | 0,66 | F | 2,5 | A | 0,5 | | | | |
| | 975 | 1005 | 30 A: 0-25 | E | 6 | C | 2 | B | 3 | C | 2 | F | 4 | B | 0,66 | F | 2,5 | A | 0,25 | | | | |
| | 1005 | 1035 | 30 A: 0-25 | E | 6 | D | 1,5 | B | 3 | D | 3 | F | 4 | B | 0,66 | F | 2,5 | A | 0,25 | | | | |
| | 1035 | 1057 | 18 C: 50-75 | E | 6 | B | 1,5 | B | 3 | F | 2 | F | 4 | B | 0,66 | F | 2,5 | A | 0,25 | | | | |
| | 1057 | 1085 | 14 C: 50-75 | E | 6 | B | 1,5 | B | 3 | F | 2 | F | 4 | B | 0,66 | F | 2,5 | A | 0,25 | | | | |
| | 1085 | 1115 | 21 B: 25-50 | E | 6 | B | 3 | B | 3 | F | 2 | F | 4 | B | 0,66 | E | 2,5 | A | 0,75 | | | | |
| | 1115 | 1145 | 24 B: 25-50 | E | 6 | B | 3 | B | 3 | F | 2 | F | 4 | B | 0,66 | E | 2,5 | A | 0,75 | | | | |
| | 3 | 1359 | 1389 | 12 D: 75-90 | E | 6 | E | 1,5 | B | 3 | F | 1,5 | B | 1 | B | 0,66 | F | 2,5 | A | 1 | | | |
| 1388 | | 1428 | 10 B: 25-50 | E | 6 | E | 1,5 | B | 3 | F | 1,5 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,75 | | |
| 1439 | | 1469 | 20 B: 25-50 | E | 6 | C | 2 | B | 3 | B | 3 | A | 0,75 | B | 1 | B | 1 | B | 0,66 | F | 2,5 | A | 0,75 |
| 1469 | | 1500 | 30 A: 0-25 | E | 6 | C | 2 | B | 3 | B | 3 | A | 0,75 | B | 1 | B | 1 | B | 0,66 | F | 2,5 | A | 0,75 |
| 1500 | | 1530 | 32 A: 0-25 | E | 6 | B | 3 | B | 3 | B | 3 | A | 0,75 | B | 1 | B | 1 | B | 0,66 | G | 1 | A | 0,75 |
| 1530 | | 1564 | 29 A: 0-25 | E | 6 | B | 3 | B | 3 | B | 3 | A | 0,75 | B | 1 | B | 1 | B | 0,66 | G | 1 | A | 0,75 |
| 1564 | | 1600 | 25 A: 0-25 | E | 6 | B | 3 | B | 3 | B | 3 | A | 0,75 | B | 1 | B | 1 | B | 0,66 | G | 1 | A | 1 |
| 1600 | | 1640 | 30 A: 0-25 | E | 6 | B | 3 | B | 3 | B | 3 | A | 0,75 | B | 1 | B | 1 | B | 0,66 | G | 1 | A | 1 |
| 1640 | | 1700 | 27 A: 0-25 | E | 6 | B | 3 | B | 3 | B | 3 | A | 0,75 | B | 1 | B | 1 | B | 0,66 | G | 1 | A | 1 |
| 4 | | 1746 | 1800 | 5 E: 90-100 | E | 6 | B | 3 | B | 3 | B | 3 | A | 0,75 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | G | 1 | A |
| | 1800 | 1850 | 8 D: 75-90 | E | 6 | B | 3 | B | 3 | B | 3 | A | 0,75 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | G | 1 | A | 0,75 |
| | 1850 | 1916 | 5 E: 90-100 | E | 6 | B | 3 | B | 3 | B | 3 | A | 0,75 | B | 1 | B | 1 | B | 0,66 | G | 1 | A | 1 |
| | 1916 | 2015 | 6 A: 0-25 | E | 6 | B | 3 | B | 3 | B | 3 | A | 0,75 | B | 1 | B | 1 | B | 0,66 | G | 1 | A | 1 |
| | 2015 | 2135 | 4 E: 90-100 | E | 6 | B | 3 | B | 3 | B | 3 | A | 0,75 | B | 1 | B | 1 | B | 0,66 | G | 1 | A | 1 |
| | 2115 | 2235 | 4 E: 90-100 | E | 6 | B | 3 | B | 3 | B | 3 | A | 0,75 | B | 1 | B | 1 | B | 0,66 | G | 1 | A | 1 |
| | 2260 | 2306 | 3 E: 90-100 | E | 6 | B | 3 | B | 3 | B | 3 | A | 0,75 | B | 1 | B | 1 | B | 0,66 | G | 1 | A | 1 |
| | 2306 | 2359 | 3 E: 90-100 | E | 6 | B | 3 | B | 3 | B | 3 | A | 0,75 | B | 1 | B | 1 | B | 0,66 | G | 1 | A | 0,75 |
| | 2359 | 2414 | 5 E: 90-100 | E | 6 | B | 3 | B | 3 | B | 3 | A | 0,75 | B | 1 | B | 1 | B | 0,66 | F | 2,5 | A | 0,75 |
| | 1 | 6290 | 6328 | 14 E: 90-100 | D | 4 | B | 3 | B | 3 | F | 4 | F | 4 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,25 | | | |
| 6328 | | 6358 | 15 E: 90-100 | D | 4 | B | 3 | B | 3 | F | 4 | F | 4 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,25 | | | | |
| 6358 | | 6405 | 16 C: 50-75 | D | 4 | B | 3 | B | 3 | F | 4 | F | 4 | A | 1 | H | 2,5 | A | 0,25 | | | | |
| 1 | 4079 | 4129 | 8 D: 75-90 | F | 9 | B | 3 | B | 3 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,25 |
| | 4129 | 4169 | 3 E: 90-100 | F | 9 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 1 |
| | 4169 | 4232 | 15 C: 50-75 | F | 9 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | B | 1 | B | 0,66 | F | 2,5 | A | 0,25 |
| 2 | 4253 | 4293 | 9 D: 75-90 | F | 9 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 0,66 | G | 1 | A | 0,75 |
| | 4293 | 4346 | 8 D: 75-90 | G | 9 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | G | 1 | A | 0,75 |
| | 4346 | 4400 | 8 B: 25-50 | F | 9 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 0,66 | G | 1 | A | 0,75 |
| 3 | 5194 | 5287 | 9 D: 75-90 | F | 9 | B | 3 | B | 3 | C | 2 | A | 0,75 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,75 |
| | 5287 | 5359 | 4 E: 90-100 | F | 9 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,5 |
| | 5359 | 5462 | 5 E: 90-100 | F | 9 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,5 |
| 4 | 6030 | 6101 | 16 C: 50-75 | F | 6 | B | 3 | B | 3 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,75 |
| | 6101 | 6188 | 16 C: 50-75 | F | 6 | B | 3 | B | 3 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,5 |
| | 6232 | 6306 | 6 E: 90-100 | F | 6 | B | 3 | B | 3 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,5 |
| 1 | 1918 | 1968 | 13 C: 50-75 | F | 9 | B | 3 | E | 1,5 | B | 3 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | G | 1 | A | 0,5 |
| | 1968 | 2018 | 9 D: 75-90 | F | 9 | B | 3 | E | 1,5 | B | 3 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | G | 1 | A | 0,5 |
| | 2018 | 2068 | 8 D: 75-90 | F | 9 | B | 3 | E | 1,5 | B | 3 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | G | 1 | A | 0,5 |
| | 2068 | 2119 | 15 C: 50-75 | G | 12 | B | 3 | E | 1,5 | B | 3 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,5 |
| | 2119 | 2204 | 12 D: 75-90 | G | 12 | B | 3 | E | 1,5 | B | 3 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,5 |
| 2 | 2225 | 2325 | 19 C: 50-75 | F | 9 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | D | 2,5 | A | 0,75 |
| | 2325 | 2425 | 11 D: 75-90 | G | 12 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | D | 2,5 | A | 0,5 |
| | 2425 | 2525 | 16 C: 50-75 | G | 12 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | D | 1 | A | 0,5 |
| | 2525 | 2625 | 13 C: 50-75 | F | 12 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | D | 1 | A | 0,5 |
| | 2625 | 2725 | 11 D: 75-90 | F | 9 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | D | 2,5 | A | 0,5 |
| | 2725 | 2825 | 5 E: 90-100 | F | 9 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | D | 2,5 | A | 0,5 |
| | 2825 | 2909 | 12 D: 75-90 | F | 9 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,5 |
| 3 | 3576 | 3675 | 15 C: 50-75 | F | 9 | C | 2 | C | 2 | B | 3 | C | 4 | B | 1 | B | 1 | B | 0,66 | F | 2,5 | A | 0,25 |
| | 3675 | 3776 | 21 D: 75-90 | F | 9 | C | 2 | C | 2 | B | 3 | C | 4 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,25 |
| | 3776 | 3877 | 14 C: 50-75 | F | 9 | C | 2 | C | 2 | B | 3 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,25 |
| | 3879 | 3949 | 17 C: 50-75 | F | 9 | C | 2 | C | 2 | F | 1 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,25 |
| | 3949 | 4035 | 18 C: 50-75 | F | 9 | C | 2 | C | 2 | F | 1 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,25 |
| 4 | 4153 | 4198 | 7 E: 90-100 | F | 9 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,75 |
| | 4198 | 4261 | 12 B: 25-50 | F | 9 | B | 3 | C | 2 | C | 2 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | B | 0,66 | F | 2,5 | A | 0,5 |
| 5 | 4625 | 4660 | 17 C: 50-75 | F | 9 | B | 3 | C | 2 | B | 3 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,5 |
| | 4660 | 4695 | 11 B: 25-50 | F | 9 | C | 2 | E | 1,5 | E | 1,5 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,25 |
| | 4695 | 4730 | 9 B: 25-50 | F | 9 | C | 2 | E | 1,5 | E | 1,5 | C | 2 | B | 1 | B | 1 | A | 1 | F | 2,5 | A | 0,25 |
| | 4730 | 4802 | 6 E: 90-100 | F | 9 | C | 2</ | | | | | | | | | | | | | | | | |

| O-factor [A] | | O-factor [B] | | Jw [Vatt milje] | Jw [Is-spran g] | SRFa | SRFb | SRFc [L] | USC i RQD, RMR RMR | Sprekke avstand [F1] | Sprekke avstand [S1] | Sprekke avstand [S2] | Sprekke tilstand [F1] | Sprekke tilstand [S1] | Sprekke tilstand [S2] | | | | | |
|--------------|------|--------------|-----|-----------------|-----------------|------|------|----------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|----|----|----|----|
| A | 0,5 | B | 0,9 | 0,3 | 0,2 | A | 2,5 | | 8 | 2 | 13 | <60mm | 5 | 60-200mm | 8 | 20 | 25 | | | |
| A | 0,25 | B | 0,9 | 0,3 | 0,2 | A | 2,5 | | 8 | 4 | 8 | <60mm | 5 | 60-200mm | 8 | 0 | 25 | | | |
| A | 0,25 | B | 0,9 | 0,3 | 0,2 | A | 2,5 | | | 7 | 8 | 60-200mm | 8 | 200-600mm | 10 | 20 | 25 | | | |
| A | 0,5 | B | 0,9 | 0,3 | 0,2 | A | 2,5 | | | 7 | 17 | 200-600mm | 10 | 200-600mm | 10 | 25 | 30 | | | |
| A | 1 | B | 1,5 | 0,6 | 0,5 | A | 2,5 | | | 7 | 13 | 60-200mm | 8 | 0,6-2m | 15 | 30 | 30 | | | |
| A | 0,25 | B | 0,8 | 0,3 | 0,2 | A | 2,5 | | 4 | 2 | 8 | | | | | 20 | 20 | | | |
| A | 0,5 | B | 0,9 | 0,3 | 0,2 | A | 2,5 | | | 4 | 17 | 60-200mm | 8 | 0,6-2m | 15 | 25 | 25 | | | |
| A | 0,25 | B | 1 | 0,3 | 0,2 | A | 2,5 | | 2 | 7 | 8 | <60mm | 5 | 0,6-2m | 15 | 10 | 25 | | | |
| A | 0,25 | B | 0,9 | 0,3 | 0,2 | A | 2,5 | | 2 | 7 | 8 | <60mm | 5 | 200-600mm | 10 | 10 | 25 | | | |
| A | 0,25 | B | 1 | 0,3 | 0,2 | A | 2,5 | | | 7 | 13 | 60-200mm | 8 | 200-600mm | 10 | 25 | 25 | | | |
| A | 0,25 | B | 0,8 | 0,3 | 0,2 | A | 2,5 | | | 4 | 17 | 60-200mm | 8 | 0,6-2m | 15 | 25 | 25 | | | |
| A | 0,75 | B | 1 | 0,3 | 0,2 | A | 2,5 | | | 4 | 13 | 60-200mm | 8 | 60-200mm | 8 | 25 | 25 | | | |
| A | 0,75 | B | 1 | 0,6 | 0,5 | A | 2,5 | | | 7 | 13 | <60mm | 5 | 0,6-2m | 15 | 25 | 25 | | | |
| A | 1 | B | 1,5 | 0,6 | 0,5 | A | 2,5 | | | 4 | 17 | 60-200mm | 8 | 200-600mm | 10 | 60-200mm | 8 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,75 | B | 1,5 | 0,6 | 0,5 | A | 2,5 | | | 7 | 17 | 60-200mm | 8 | 0,6-2m | 15 | 0,6-2m | 15 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,75 | B | 1,5 | 0,6 | 0,5 | A | 2,5 | | | 7 | 13 | <60mm | 5 | <60mm | 5 | 60-200mm | 8 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,75 | B | 1,5 | 0,6 | 0,5 | A | 2,5 | | | 7 | 8 | 60-200mm | 8 | 60-200mm | 8 | 60-200mm | 8 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,75 | B | 1,5 | 0,5 | 0,3 | E | 1 | | | 7 | 8 | <60mm | 5 | <60mm | 5 | <60mm | 5 | 20 | 20 | 20 |
| A | 0,75 | B | 1,5 | 0,5 | 0,3 | E | 1 | | | 7 | 8 | <60mm | 5 | <60mm | 5 | <60mm | 5 | 20 | 20 | 20 |
| A | 1 | B | 1,5 | 0,5 | 0,3 | E | 1 | | | 7 | 8 | <60mm | 5 | <60mm | 5 | <60mm | 5 | 20 | 20 | 20 |
| A | 1 | B | 1,5 | 0,7 | 0,9 | E | 1 | | | 7 | 8 | <60mm | 5 | <60mm | 5 | <60mm | 5 | 20 | 20 | 20 |
| A | 1 | B | 1,5 | 0,7 | 0,9 | E | 1 | | | 7 | 8 | <60mm | 5 | <60mm | 5 | <60mm | 5 | 20 | 20 | 20 |
| A | 0,25 | B | 1 | 0,7 | 0,9 | E | 1 | | | 7 | 20 | 0,6-2m | 15 | 0,6-2m | 15 | 0,6-2m | 15 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,75 | B | 1 | 0,7 | 0,9 | E | 1 | | | 7 | 20 | 200-600mm | 10 | 0,6-2m | 15 | 0,6-2m | 15 | 25 | 25 | 25 |
| A | 1 | B | 1 | 0,7 | 0,9 | E | 1 | | | 7 | 20 | 200-600mm | 10 | 0,6-2m | 15 | 0,6-2m | 15 | 25 | 25 | 25 |
| A | 1 | B | 1 | 0,7 | 0,9 | E | 1 | | | 7 | 20 | 0,6-2m | 15 | 0,6-2m | 15 | >2m | 20 | 25 | 25 | 25 |
| A | 1 | B | 1 | 0,7 | 0,9 | E | 1 | | | 7 | 20 | 200-600mm | 10 | 0,6-2m | 15 | >2m | 20 | 25 | 25 | 25 |
| A | 1 | B | 1 | 0,7 | 0,9 | E | 1 | | | 7 | 20 | 200-600mm | 10 | 0,6-2m | 15 | >2m | 20 | 25 | 25 | 25 |
| A | 1 | B | 1 | 0,7 | 0,9 | E | 1 | | | 7 | 20 | >2m | 20 | >2m | 20 | >2m | 20 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,75 | B | 1 | 0,7 | 0,9 | E | 1 | | | 7 | 20 | >2m | 20 | >2m | 20 | >2m | 20 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,75 | B | 1 | 0,7 | 0,9 | A | 2,5 | | | 7 | 20 | >2m | 20 | 0,6-2m | 15 | 0,6-2m | 15 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,25 | B | 0,9 | 0,5 | 0,3 | A | 2,5 | | | 12 | 17 | 200-600mm | 10 | 0,6-2m | 15 | | | 25 | 25 | |
| A | 0,25 | B | 0,9 | 0,5 | 0,3 | A | 2,5 | | | 12 | 13 | 200-600mm | 10 | 0,6-2m | 15 | | | 25 | 25 | |
| A | 0,25 | B | 0,9 | 0,5 | 0,3 | A | 2,5 | | | 12 | 13 | 60-200mm | 8 | 200-600mm | 10 | | | 25 | 25 | |
| A | 0,25 | B | 0,5 | 0,5 | 0,3 | E | 5 | G | 5-2,5 | 12 | 20 | 0,6-2m | 15 | 200-600mm | 10 | 200-600mm | 10 | 20 | 20 | 20 |
| A | 1 | B | 1 | 0,7 | 0,9 | B | 2,5 | G | 5-2,5 | 12 | 20 | 0,6-2m | 15 | >2m | 20 | >2m | 20 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,25 | B | 0,8 | 0,7 | 0,3 | B | 5 | G | 5-2,5 | 12 | 13 | 60-200mm | 8 | 0,6-2m | 15 | | | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,75 | B | 1 | 0,7 | 0,9 | C | 1 | G | 5-2,5 | 12 | 17 | >2m | 20 | 0,6-2m | 15 | 0,6-2m | 15 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,75 | B | 1 | 0,7 | 0,9 | C | 1 | G | 5-2,5 | 12 | 17 | >2m | 20 | 0,6-2m | 15 | 0,6-2m | 15 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,75 | B | 1 | 0,7 | 0,9 | B | 1 | G | 5-2,5 | 12 | 17 | 0,6-2m | 15 | 200-600mm | 10 | 60-200mm | 8 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,75 | B | 1 | 0,7 | 0,9 | B | 2,5 | F | 2,5-1 | 7 | 17 | 0,6-2m | 15 | 0,6-2m | 15 | <60mm | 5 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,5 | B | 0,9 | 0,7 | 0,9 | B | 2,5 | F | 2,5-1 | 7 | 20 | 200-600mm | 10 | 0,6-2m | 15 | 60-200mm | 8 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,5 | B | 0,8 | 0,7 | 0,9 | B | 2,5 | F | 2,5-1 | 7 | 20 | 0,6-2m | 15 | 200-600mm | 10 | 60-200mm | 8 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,75 | B | 1 | 0,5 | 0,3 | D | 2,5 | | | 12 | 13 | <60mm | 5 | 0,6-2m | 15 | 200-600mm | 10 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,5 | B | 0,8 | 0,5 | 0,3 | B | 2,5 | | | 12 | 13 | 60-200mm | 8 | 0,6-2m | 15 | 0,6-2m | 15 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,5 | B | 0,8 | 0,5 | 0,3 | B | 2,5 | | | 12 | 20 | 0,6-2m | 15 | 0,6-2m | 15 | 0,6-2m | 15 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,5 | B | 0,8 | 0,7 | 0,9 | B | 1 | | | 12 | 13 | <60mm | 5 | 0,6-2m | 15 | 0,6-2m | 15 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,5 | B | 0,8 | 0,7 | 0,9 | B | 1 | | | 12 | 17 | 0,6-2m | 15 | 0,6-2m | 15 | 0,6-2m | 15 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,5 | B | 0,8 | 0,5 | 0,3 | C | 1 | | | 12 | 20 | 0,6-2m | 15 | 0,6-2m | 15 | >2m | 20 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,5 | B | 0,8 | 0,5 | 0,3 | B | 2,5 | | | 12 | 13 | 60-200mm | 8 | <60mm | 5 | 200-600mm | 10 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,5 | B | 0,8 | 0,5 | 0,3 | B | 2,5 | | | 12 | 17 | 200-600mm | 10 | 60-200mm | 8 | 0,6-2m | 15 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,75 | B | 0,9 | 0,5 | 0,3 | B | 2,5 | G | 5-2,5 | 12 | 13 | 60-200mm | 8 | 60-200mm | 8 | 60-200mm | 8 | 20 | 20 | 20 |
| A | 0,5 | B | 0,9 | 0,5 | 0,3 | C | 2,5 | | | 12 | 17 | 200-600mm | 10 | 200-600mm | 10 | 200-600mm | 10 | 20 | 20 | 20 |
| A | 0,5 | B | 0,8 | 0,5 | 0,3 | B | 1 | | | 12 | 13 | 60-200mm | 8 | 60-200mm | 8 | 200-600mm | 10 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,5 | B | 0,8 | 0,5 | 0,3 | B | 1 | G | 5-2,5 | 12 | 17 | 200-600mm | 10 | 60-200mm | 8 | 200-600mm | 10 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,5 | B | 0,8 | 0,5 | 0,3 | B | 2,5 | | | 12 | 17 | 200-600mm | 10 | 0,6-2m | 15 | 60-200mm | 8 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,5 | B | 0,8 | 0,5 | 0,3 | B | 2,5 | | | 12 | 20 | >2m | 20 | 0,6-2m | 15 | 200-600mm | 10 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,5 | B | 0,9 | 0,6 | 0,5 | B | 2,5 | | | 12 | 17 | 60-200mm | 8 | 200-600mm | 10 | 60-200mm | 8 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,25 | B | 0,9 | 0,5 | 0,3 | D | 2,5 | | | 12 | 13 | <60mm | 5 | 60-200mm | 8 | 60-200mm | 8 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,25 | B | 0,9 | 0,5 | 0,3 | B | 2,5 | | | 12 | 13 | <60mm | 5 | 0,6-2m | 15 | 60-200mm | 8 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,25 | B | 0,8 | 0,5 | 0,3 | B | 2,5 | | | 12 | 17 | 60-200mm | 8 | >2m | 20 | 0,6-2m | 15 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,25 | B | 1 | 0,5 | 0,3 | B | 2,5 | | | 12 | 13 | 60-200mm | 8 | 200-600mm | 10 | 60-200mm | 8 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,25 | B | 0,9 | 0,5 | 0,3 | B | 2,5 | | | 12 | 13 | 60-200mm | 8 | 0,6-2m | 15 | 60-200mm | 8 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,75 | B | 0,9 | 0,7 | 0,9 | A | 2,5 | | | 12 | 20 | 60-200mm | 8 | 200-600mm | 10 | 200-600mm | 10 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,5 | B | 0,9 | 0,7 | 0,9 | B | 2,5 | | | 12 | 17 | 200-600mm | 10 | 200-600mm | 10 | 60-200mm | 8 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,5 | B | 0,8 | 0,3 | 0,2 | D | 2,5 | | | 7 | 13 | <60mm | 5 | 60-200mm | 8 | 60-200mm | 8 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,25 | B | 0,5 | 0,3 | 0,2 | B | 2,5 | G | 5-2,5 | 7 | 17 | 200-600mm | 10 | 0,6-2m | 15 | 60-200mm | 8 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,25 | B | 0,5 | 0,3 | 0,2 | B | 2,5 | | | 12 | 17 | 60-200mm | 8 | 200-600mm | 10 | 60-200mm | 8 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,5 | B | 0,8 | 0,5 | 0,3 | A | 2,5 | | | 12 | 20 | 200-600mm | 10 | 200-600mm | 10 | 200-600mm | 10 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,75 | B | 1 | 0,5 | 0,3 | B | 2,5 | | | 7 | 17 | 60-200mm | 8 | 0,6-2m | 15 | 200-600mm | 10 | 25 | 25 | 25 |
| A | 0,75 | B | 1 | 0,5 | 0,3 | B | 2,5 | | | 4 | 13 | <60mm | 5 | 60-200mm | 8 | <60mm | 5 | 10 | 25 | 25 |
| A | 0,75 | B | 1 | 0,5 | 0,3 | B | 2,5 | | | 4 | 20 | <60mm | 5 | 60-200mm | 8 | <60mm | 5 | 10 | 25 | 25 |
| A | 0,75 | B | 1 | 0,6 | 0,5 | B | 2,5 | | | 4 | 13 | 60-200mm | 8 | 200-600mm | 10 | 0,6-2m | 15 | 20 | 20 | 20 |
| A | 0,75 | B | 1 | 0,6 | 0,5 | E | 2,5 | K | 20-15 | 4 | 13 | <60mm | 5 | 60-200mm | 8 | 0,6-2m | 15 | 20 | 20 | 20 |

Figur 73

Vedlegg F Kinematiske analyser

Friksjonsvinkler

Metoden for utregning og kriterier for endring av friksjonsvinkel er gitt i Avsnitt 6.5.2. Resultat av utregninger og korreksjon er gitt i Tabell 38.

Tabell 38: Estimering og korreksjon for friksjonsvinkel, basert på metoden i Avsnitt 6.5.2

| Proskjet/bergskjæring | Minste utregnet friksjonsvinkel med Likning (12) | Korrigert friksjonsvinkel |
|-----------------------|--|---------------------------|
| Skola-Olsøy | | |
| Bergskjæring 1 | 14° | 14° |
| Bergskjæring 2 | 14° | 14° |
| Bergskjæring 3 | 56° | 30° |
| Bergskjæring 4 | 72° | 30° |
| Olsøysvingene | 37° | 30° |
| Osavatnet-Rødsjø | | |
| Bergskjæring 1 | 45° | 30° |
| Bergskjæring 2 | 56° | 30° |
| Bergskjæring 3 | 63° | 30° |
| Bergskjæring 4 | 56° | 30° |
| Nordsetervatnet | | |
| Bergskjæring 1 | 56° | 30° |
| Bergskjæring 2 | 56° | 21° |
| Bergskjæring 3 | 27° | 21° |
| Bergskjæring 4 | 56° | 21° |
| Bergskjæring 5 | 45° | 30° |
| Bergskjæring 6 | 56° | 21° |
| Bergskjæring 7 | 56° | 30° |

Kinematisk analyse prosjekt Skola - Olsøy

Dips Analysis Information

Prosjekt Skola-Olsøy, bergskjæring 1

Project Summary

File Name: Bergskjæring 1
 Last saved with Dips version: 8.009
 Project Title: Prosjekt Skola-Olsøy, bergskjæring 1
 Analysis: Kinematisk analyse i Dips
 Author: Sarah Mari Sande
 Date Created: 02.12.2020, 15:01:28

General Settings

Data Format: Dip / Dip Direction
 Magnetic Declination (E pos): 0°
 Multiple Data Flag (Quantity): OFF
 Distance Column: OFF
 Extra Data Columns: 0
 Units: Metric
 Poles: 67
 Entries: 67

Traverses

No traverse information available.

Global Mean

| | Dip | Dip Direction |
|------------|-------|---------------|
| Unweighted | 16.99 | 201.24 |
| Weighted | 16.99 | 201.24 |

Global Best Fit

| Unweighted | | | |
|------------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 83.53 | 164.98 | 0.492074 |
| S2 | 87.62 | 74.71 | 0.272028 |
| S3 | 6.89 | 324.63 | 0.235898 |

Woodcock S1 / S3 = 2.086
 Woodcock K = 4.159
 Woodcock C = 0.735

| Weighted | | | |
|----------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 83.53 | 164.98 | 0.492074 |
| S2 | 87.62 | 74.71 | 0.272028 |
| S3 | 6.89 | 324.63 | 0.235898 |

Woodcock S1 / S3 = 2.086
 Woodcock K = 4.159
 Woodcock C = 0.735

Mean Set Planes

| ID | Dip | Dip Direction | Label |
|----|-------|---------------|-----------|
| 1m | 74.51 | 167.37 | S2 |
| 2m | 81.03 | 327.62 | S1 |
| 3m | 34.05 | 62.91 | Foliasjon |

Set Statistics

Set: 1m: S2

Poles: 15
 Entries: 15
 Fisher's K: 35.502

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 14.6077° | 24.0735° | 33.6601° | 11.3405° |
| Confidence Limit | 3.81263° | 6.25597° | 8.68976° | 2.96287° |

Set: 2m: S1

Poles: 9
 Entries: 9
 Fisher's K: 61.442

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 11.0912° | 18.2418° | 25.4282° | 8.61443° |
| Confidence Limit | 3.71893° | 6.10213° | 8.47587° | 2.89006° |

Set: 3m: Foliasjon

Poles: 7
 Entries: 7
 Fisher's K: 66.689

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 10.6446° | 17.5036° | 24.3913° | 8.26799° |
| Confidence Limit | 4.0444° | 6.63653° | 9.21891° | 3.14295° |

Set Windows

| Set ID | Window | Type | Wrapped |
|--------|--------|------------------|---------|
| 1 | 1a | Cluster Analysis | No |
| 1 | 1b | Cluster Analysis | Yes |
| 2 | 2a | Cluster Analysis | No |
| 2 | 2b | Cluster Analysis | Yes |
| 3 | 3a | Cluster Analysis | No |

Intersections

| Intersection Type | Number |
|---------------------------------------|--------|
| Grid Data Planes | 2210 |
| All Set Planes | 303 |
| Set 1: S2 vs Set 2: S1 Planes | 135 |
| Set 1: S2 vs Set 3: Foliasjon Planes | 105 |
| Set 2: S1 vs Set 3: Foliasjon Planes | 63 |
| User and Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |
| User Planes | 0 |
| Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |

Kinematic Analysis

Slope Dip: 80
 Slope Dip Direction: 202
 Friction Angle: 14°
 Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 9 | 13.43% | 67 |
| Set 1: S2 | 2 | 13.33% | 15 |

Planar Sliding (No Limits)

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 20 | 29.85% | 67 |
| Set 1: S2 | 8 | 53.33% | 15 |

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
 Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|-------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 650 | 29.41% | 220 | 9.95% | 2210 |
| All Set Planes | 110 | 36.30% | 6 | 1.98% | 303 |
| Set 1: S2 vs Set 2: S1 Planes | 110 | 81.48% | 6 | 4.44% | 135 |
| Set 1: S2 vs Set 3: Foliasjon Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 105 |
| Set 2: S1 vs Set 3: Foliasjon Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 63 |
| All Set Planes (Weighted) | 110 | 36.30% | 6 | 1.98% | 303 |
| Set 1: S2 vs Set 2: S1 Planes (Weighted) | 110 | 81.48% | 6 | 4.44% | 135 |
| Set 1: S2 vs Set 3: Foliasjon Planes (Weighted) | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 105 |
| Set 2: S1 vs Set 3: Foliasjon Planes (Weighted) | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 63 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 1 | 33.33% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 1 | 33.33% | 0 | 0.00% | 3 |

Flexural Toppling

| Flexural Toppling | Critical | % | Total |
|-------------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 7 | 10.45% | 67 |
| Set 3: Foliasjon | 1 | 14.29% | 7 |

Direct Toppling

| Base Plane | Critical | % | Total |
|-------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 9 | 13.43% | 67 |
| Set 1: S2 | 2 | 13.33% | 15 |

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
 Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|-------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 215 | 9.73% | 60 | 2.71% | 2210 |
| All Set Planes | 29 | 9.57% | 2 | 0.66% | 303 |
| Set 1: S2 vs Set 2: S1 Planes | 0 | 0.00% | 2 | 1.48% | 135 |
| Set 1: S2 vs Set 3: Foliasjon Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 105 |
| Set 2: S1 vs Set 3: Foliasjon Planes | 29 | 46.03% | 0 | 0.00% | 63 |
| All Set Planes (Weighted) | 29 | 9.57% | 2 | 0.66% | 303 |
| Set 1: S2 vs Set 2: S1 Planes (Weighted) | 0 | 0.00% | 2 | 1.48% | 135 |
| Set 1: S2 vs Set 3: Foliasjon Planes (Weighted) | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 105 |
| Set 2: S1 vs Set 3: Foliasjon Planes (Weighted) | 29 | 46.03% | 0 | 0.00% | 63 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 1 | 33.33% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 1 | 33.33% | 0 | 0.00% | 3 |

Figur 77: Skola-Olsøy kinematisk analyse bergskjæring 1

Dips Analysis Information

Prosjekt Skola-Olsøy, Bergskjæring 2

Project Summary

File Name: Bergskjæring 2
 Last saved with Dips version: 8.009
 Project Title: Prosjekt Skola-Olsøy, Bergskjæring 2
 Analysis: Kinematisk analyse
 Author: Sarah Mari Sande
 Date Created: 02.12.2020, 15:22:34

General Settings

Data Format: Dip / Dip Direction
 Magnetic Declination (E pos): 0°
 Multiple Data Flag (Quantity): OFF
 Distance Column: OFF
 Extra Data Columns: 0
 Units: Metric
 Poles: 86
 Entries: 86

Traverses

No traverse information available.

Global Mean

| | Dip | Dip Direction |
|------------|-------|---------------|
| Unweighted | 17.31 | 11.96 |
| Weighted | 17.31 | 11.96 |

Global Best Fit

| Unweighted | | | |
|------------|---------------|------------|----------|
| Dip | Dip Direction | Eigenvalue | |
| S1 | 85.90 | 10.41 | 0.698525 |
| S2 | 4.21 | 176.95 | 0.292182 |
| S3 | 89.02 | 280.34 | 0.009293 |

Woodcock S1 / S3 = 75.167
 Woodcock K = 0.253
 Woodcock C = 4.320

| Weighted | | | |
|----------|---------------|------------|----------|
| Dip | Dip Direction | Eigenvalue | |
| S1 | 85.90 | 10.41 | 0.698525 |
| S2 | 4.21 | 176.95 | 0.292182 |
| S3 | 89.02 | 280.34 | 0.009293 |

Woodcock S1 / S3 = 75.167
 Woodcock K = 0.253
 Woodcock C = 4.320

Mean Set Planes

| ID | Dip | Dip Direction | Label |
|----|-------|---------------|-----------|
| 1m | 83.16 | 10.46 | Follasjon |
| 2m | 22.02 | 190.66 | S2 |
| 3m | 30.88 | 27.12 | S1 |

Set Statistics

Set: 1m: Follasjon

Poles: 47
 Entries: 47
 Fisher's K: 40.8134

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 13.6192° | 22.4306° | 31.333° | 10.5746° |
| Confidence Limit | 2.0062° | 3.29113° | 4.56997° | 1.55914° |

Set: 2m: S2

Poles: 17
 Entries: 17
 Fisher's K: 16.9994

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 21.1733° | 35.0795° | 49.4693° | 16.418° |
| Confidence Limit | 5.25546° | 8.62586° | 11.9866° | 4.08384° |

Set: 3m: S1

Poles: 7
 Entries: 7
 Fisher's K: 124.352

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 7.79003° | 12.795° | 17.7991° | 6.05237° |
| Confidence Limit | 2.95261° | 4.84419° | 6.7275° | 2.29459° |

Set Windows

| Set ID | Window | Type | Wrapped |
|--------|--------|------------------|---------|
| 1 | 1a | Cluster Analysis | No |
| 1 | 1b | Cluster Analysis | Yes |
| 2 | 2a | Cluster Analysis | No |
| 3 | 3a | Cluster Analysis | No |

Intersections

| Intersection Type | Number |
|---------------------------------------|--------|
| Grid Data Planes | 3653 |
| All Set Planes | 1247 |
| Set 1: Follasjon vs Set 2: S2 Planes | 799 |
| Set 1: Follasjon vs Set 3: S1 Planes | 329 |
| Set 2: S2 vs Set 3: S1 Planes | 119 |
| User and Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |
| User Planes | 0 |
| Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |

Kinematic Analysis

Slope Dip: 80
 Slope Dip Direction: 22
 Friction Angle: 14°
 Lateral Limit Angle: 20°

Planar Sliding

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|------------------|----------|---------|-------|
| All Vectors | 28 | 32.56% | 86 |
| Set 1: Follasjon | 17 | 36.17% | 47 |
| Set 3: S1 | 7 | 100.00% | 7 |

Planar Sliding (No Limits)

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|------------------|----------|---------|-------|
| All Vectors | 32 | 37.21% | 86 |
| Set 1: Follasjon | 18 | 38.30% | 47 |
| Set 2: S2 | 1 | 5.88% | 17 |
| Set 3: S1 | 7 | 100.00% | 7 |

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
 Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|-------|------------|--------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 349 | 9.55% | 847 | 23.19% | 3653 |
| All Set Planes | 3 | 0.24% | 465 | 37.29% | 1247 |
| Set 1: Follasjon vs Set 2: S2 Planes | 1 | 0.13% | 87 | 10.89% | 799 |
| Set 1: Follasjon vs Set 3: S1 Planes | 2 | 0.61% | 311 | 94.53% | 329 |
| Set 2: S2 vs Set 3: S1 Planes | 0 | 0.00% | 67 | 56.30% | 119 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 2 | 66.67% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 2 | 66.67% | 3 |

Flexural Toppling

| Flexural Toppling | Critical | % | Total |
|-------------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 30 | 34.88% | 86 |
| Set 1: Follasjon | 14 | 29.79% | 47 |
| Set 2: S2 | 7 | 41.18% | 17 |

Direct Toppling

| Base Plane | Critical | % | Total |
|------------------|----------|---------|-------|
| All Vectors | 32 | 37.21% | 86 |
| Set 1: Follasjon | 18 | 38.30% | 47 |
| Set 2: S2 | 3 | 17.65% | 17 |
| Set 3: S1 | 7 | 100.00% | 7 |

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
 Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|-------|------------|-------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 16 | 0.44% | 19 | 0.52% | 3653 |
| All Set Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 1247 |
| Set 1: Follasjon vs Set 2: S2 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 799 |
| Set 1: Follasjon vs Set 3: S1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 329 |
| Set 2: S2 vs Set 3: S1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 119 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |

Figur 78: Skola-Olsøy kinematisk analyse bergskjæring 2

Dips Analysis Information

Kinematisk analyse, Skola-Olsøy, bergskjæring 3

Project Summary

File Name: bergskjæring 3
 Last saved with Dips version: 8.009
 Project Title: Kinematisk analyse, Skola-Olsøy, bergskjæring 3
 Author: Sarah Mari Sande
 Date Created: 02.12.2020, 15:32:45

General Settings

Data Format: Dip / Dip Direction
 Magnetic Declination (E pos): 0°
 Multiple Data Flag (Quantity): OFF
 Distance Column: OFF
 Extra Data Columns: 0
 Units: Metric
 Poles: 330
 Entries: 330

Traverses

No traverse information available.

Global Mean

| | Dip | Dip Direction |
|------------|------|---------------|
| Unweighted | 8.65 | 353.72 |
| Weighted | 8.65 | 353.72 |

Global Best Fit

| Unweighted | | | |
|------------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 81.14 | 12.10 | 0.606066 |
| S2 | 8.96 | 200.52 | 0.284249 |
| S3 | 88.71 | 102.30 | 0.109685 |

Woodcock S1 / S3 = 5.526
 Woodcock K = 0.795
 Woodcock C = 1.709

| Weighted | | | |
|----------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 81.14 | 12.10 | 0.606066 |
| S2 | 8.96 | 200.52 | 0.284249 |
| S3 | 88.71 | 102.30 | 0.109685 |

Woodcock S1 / S3 = 5.526
 Woodcock K = 0.795
 Woodcock C = 1.709

Mean Set Planes

| ID | Dip | Dip Direction | Label |
|----|-------|---------------|-----------|
| 1m | 89.53 | 15.15 | S2 |
| 2m | 39.28 | 24.05 | S1 |
| 3m | 22.68 | 337.69 | Foliasjon |

Set Statistics

Set: 1m: S2

Poles: 108
 Entries: 108
 Fisher's K: 75.7737

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|-----------|
| Variability Limit | 9.9844° | 16.4132° | 22.8614° | 7.75573° |
| Confidence Limit | 0.96588° | 1.5844° | 2.19984° | 0.750655° |

Set: 2m: S1

Poles: 23
 Entries: 23
 Fisher's K: 109.755

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 8.29273° | 13.6231° | 18.956° | 6.44268° |
| Confidence Limit | 1.73529° | 2.84665° | 3.95265° | 1.3488° |

Set: 3m: Foliasjon

Poles: 24
 Entries: 24
 Fisher's K: 78.3642

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 9.81757° | 16.1378° | 22.4754° | 7.62627° |
| Confidence Limit | 2.01401° | 3.30395° | 4.58777° | 1.56521° |

Set Windows

| Set ID | Window | Type | Wrapped |
|--------|--------|------------------|---------|
| 1 | 1a | Cluster Analysis | No |
| 1 | 1b | Cluster Analysis | Yes |
| 2 | 2a | Cluster Analysis | No |
| 3 | 3a | Cluster Analysis | No |

Intersections

| Intersection Type | Number |
|---------------------------------------|--------|
| Grid Data Planes | 54268 |
| All Set Planes | 5628 |
| Set 1: S2 vs Set 2: S1 Planes | 2484 |
| Set 1: S2 vs Set 3: Foliasjon Planes | 2592 |
| Set 2: S1 vs Set 3: Foliasjon Planes | 552 |
| User and Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |
| User Planes | 0 |
| Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |

Kinematic Analysis

Slope Dip: 90
 Slope Dip Direction: 340
 Friction Angle: 30°
 Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|------------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 54 | 16.36% | 330 |
| Set 1: S2 | 13 | 12.04% | 108 |
| Set 2: S1 | 1 | 4.35% | 23 |
| Set 3: Foliasjon | 4 | 16.67% | 24 |

Planar Sliding (No Limits)

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|------------------|----------|---------|-------|
| All Vectors | 154 | 46.67% | 330 |
| Set 1: S2 | 60 | 55.56% | 108 |
| Set 2: S1 | 23 | 100.00% | 23 |
| Set 3: Foliasjon | 4 | 16.67% | 24 |

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
 Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

| Intersection Type | Critical1 | % | Critical2 | % | Total |
|--|------------|--------|-----------|--------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 7509 | 13.84% | 8275 | 15.25% | 54268 |
| All Set Planes | 46 | 0.82% | 695 | 12.35% | 5628 |
| Set 1: S2 vs Set 2: S1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 2484 |
| Set 1: S2 vs Set 3: Foliasjon Planes | 0 | 0.00% | 647 | 24.96% | 2592 |
| Set 2: S1 vs Set 3: Foliasjon Planes | 46 | 8.33% | 48 | 8.70% | 552 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |

Flexural Toppling

| Flexural Toppling | Critical | % | Total |
|-------------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 44 | 13.33% | 330 |
| Set 1: S2 | 8 | 7.41% | 108 |

Direct Toppling

| Base Plane | Critical | % | Total |
|------------------|----------|---------|-------|
| All Vectors | 93 | 28.18% | 330 |
| Set 1: S2 | 13 | 12.04% | 108 |
| Set 2: S1 | 1 | 4.35% | 23 |
| Set 3: Foliasjon | 24 | 100.00% | 24 |

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
 Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|-------|------------|-------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 2659 | 4.90% | 3412 | 6.29% | 54268 |
| All Set Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 5628 |
| Set 1: S2 vs Set 2: S1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 2484 |
| Set 1: S2 vs Set 3: Foliasjon Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 2592 |
| Set 2: S1 vs Set 3: Foliasjon Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 552 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |

Figur 79: Skola-Olsøy kinematisk analyse bergskjæring 3

Dips Analysis Information

Kinematisk analyse, Skola-Olsøy, bergskjæring 4

Project Summary

File Name: bergskjæring 4
 Last saved with Dips version: 8.009
 Project Title: Kinematisk analyse, Skola-Olsøy, bergskjæring 4
 Author: Sarah Mari Sande
 Date Created: 02.12.2020, 15:32:45

General Settings

Data Format: Dip / Dip Direction
 Magnetic Declination (E pos): 0°
 Multiple Data Flag (Quantity): OFF
 Distance Column: OFF
 Extra Data Columns: 0
 Units: Metric
 Poles: 330
 Entries: 330

Traverses

No traverse information available.

Global Mean

| | Dip | Dip Direction |
|------------|------|---------------|
| Unweighted | 8.65 | 353.72 |
| Weighted | 8.65 | 353.72 |

Global Best Fit

| Unweighted | | | |
|------------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 81.14 | 12.10 | 0.606066 |
| S2 | 8.96 | 200.52 | 0.284249 |
| S3 | 88.71 | 102.30 | 0.109685 |

Woodcock S1 / S3 = 5.526
 Woodcock K = 0.795
 Woodcock C = 1.709

| Weighted | | | |
|----------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 81.14 | 12.10 | 0.606066 |
| S2 | 8.96 | 200.52 | 0.284249 |
| S3 | 88.71 | 102.30 | 0.109685 |

Woodcock S1 / S3 = 5.526
 Woodcock K = 0.795
 Woodcock C = 1.709

Mean Set Planes

| ID | Dip | Dip Direction | Label |
|----|-------|---------------|-----------|
| 1m | 89.53 | 15.15 | S2 |
| 2m | 39.28 | 24.05 | S1 |
| 3m | 22.68 | 337.69 | Foliasjon |

Set Statistics

Set: 1m: S2

Poles: 108
 Entries: 108
 Fisher's K: 75.7737

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|-----------|
| Variability Limit | 9.9844° | 16.4132° | 22.8614° | 7.75573° |
| Confidence Limit | 0.96588° | 1.5844° | 2.19984° | 0.750655° |

Set: 2m: S1

Poles: 23
 Entries: 23
 Fisher's K: 109.755

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 8.29273° | 13.6231° | 18.956° | 6.44268° |
| Confidence Limit | 1.73529° | 2.84665° | 3.95265° | 1.3488° |

Set: 3m: Foliasjon

Poles: 24
 Entries: 24
 Fisher's K: 78.3642

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 9.81757° | 16.1378° | 22.4754° | 7.62627° |
| Confidence Limit | 2.01401° | 3.30395° | 4.58777° | 1.56521° |

Set Windows

| Set ID | Window | Type | Wrapped |
|--------|--------|------------------|---------|
| 1 | 1a | Cluster Analysis | No |
| 1 | 1b | Cluster Analysis | Yes |
| 2 | 2a | Cluster Analysis | No |
| 3 | 3a | Cluster Analysis | No |

Intersections

| Intersection Type | Number |
|---------------------------------------|--------|
| Grid Data Planes | 54268 |
| All Set Planes | 5628 |
| Set 1: S2 vs Set 2: S1 Planes | 2484 |
| Set 1: S2 vs Set 3: Foliasjon Planes | 2592 |
| Set 2: S1 vs Set 3: Foliasjon Planes | 552 |
| User and Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |
| User Planes | 0 |
| Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |

Kinematic Analysis

Slope Dip: 80
 Slope Dip Direction: 5
 Friction Angle: 30°
 Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|------------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 61 | 18.48% | 330 |
| Set 1: S2 | 10 | 9.26% | 108 |
| Set 2: S1 | 21 | 91.30% | 23 |
| Set 3: Foliasjon | 2 | 8.33% | 24 |

Planar Sliding (No Limits)

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|------------------|----------|---------|-------|
| All Vectors | 77 | 23.33% | 330 |
| Set 1: S2 | 10 | 9.26% | 108 |
| Set 2: S1 | 23 | 100.00% | 23 |
| Set 3: Foliasjon | 4 | 16.67% | 24 |

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
 Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|-------|------------|--------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 3424 | 6.31% | 8002 | 14.75% | 54268 |
| All Set Planes | 47 | 0.84% | 868 | 15.42% | 5628 |
| Set 1: S2 vs Set 2: S1 Planes | 0 | 0.00% | 133 | 5.35% | 2484 |
| Set 1: S2 vs Set 3: Foliasjon Planes | 0 | 0.00% | 553 | 21.33% | 2592 |
| Set 2: S1 vs Set 3: Foliasjon Planes | 47 | 8.51% | 182 | 32.97% | 552 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |

Flexural Toppling

| Flexural Toppling | Critical | % | Total |
|-------------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 94 | 28.48% | 330 |
| Set 1: S2 | 52 | 48.15% | 108 |

Direct Toppling

| Base Plane | Critical | % | Total |
|------------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 106 | 32.12% | 330 |
| Set 1: S2 | 14 | 12.96% | 108 |
| Set 2: S1 | 21 | 91.30% | 23 |
| Set 3: Foliasjon | 22 | 91.67% | 24 |

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
 Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|-------|------------|-------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 1567 | 2.89% | 3907 | 7.20% | 54268 |
| All Set Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 5628 |
| Set 1: S2 vs Set 2: S1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 2484 |
| Set 1: S2 vs Set 3: Foliasjon Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 2592 |
| Set 2: S1 vs Set 3: Foliasjon Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 552 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |

Figur 80: Skola-Olsøy kinematisk analyse bergskjæring 4

Kinematisk analyse prosjekt Olsøysvingene

Dips Analysis Information Olsøysvingene

Project Summary

File Name: Prosjekt 2
Last saved with Dips version: 8.009
Project Title: Olsøysvingene
Author: Sarah Mari Sande
Date Created: 02.12.2020, 15:33:55

General Settings

Data Format: Dip / Dip Direction
Magnetic Declination (E pos): 0°
Multiple Data Flag (Quantity): OFF
Distance Column: OFF
Extra Data Columns: 0
Units: Metric
Poles: 62
Entries: 62

Traverses

No traverse information available.

Global Mean

| | Dip | Dip Direction |
|------------|-------|---------------|
| Unweighted | 37.33 | 182.04 |
| Weighted | 37.33 | 182.04 |

Global Best Fit

| Unweighted | | | |
|------------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 51.82 | 182.32 | 0.681152 |
| S2 | 38.20 | 0.18 | 0.315022 |
| S3 | 88.96 | 91.50 | 0.003826 |

Woodcock S1 / S3 = 178.016
Woodcock K = 0.175
Woodcock C = 5.182

| Weighted | | | |
|----------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 51.82 | 182.32 | 0.681152 |
| S2 | 38.20 | 0.18 | 0.315022 |
| S3 | 88.96 | 91.50 | 0.003826 |

Woodcock S1 / S3 = 178.016
Woodcock K = 0.175
Woodcock C = 5.182

Mean Set Planes

| ID | Dip | Dip Direction | Label |
|----|-------|---------------|------------|
| 1m | 65.70 | 181.59 | Follaasjon |
| 2m | 23.48 | 184.93 | S2 |
| 3m | 28.25 | 4.22 | S1 |

Set Statistics

Set: 1m: Follaasjon

Poles: 32
Entries: 32
Fisher's K: 6.98932

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 33.3° | 56.0682° | 81.4669° | 25.7329° |
| Confidence Limit | 6.25682° | 10.272° | 14.2794° | 4.86168° |

Set: 2m: S2

Poles: 21
Entries: 21
Fisher's K: 76.8043

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 9.91701° | 16.3019° | 22.7055° | 7.70344° |
| Confidence Limit | 2.17503° | 3.56815° | 4.95473° | 1.69034° |

Set: 3m: S1

Poles: 7
Entries: 7
Fisher's K: 85.8495

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 9.37881° | 15.4137° | 21.461° | 7.28575° |
| Confidence Limit | 3.55928° | 5.84002° | 8.11151° | 2.76601° |

Set Windows

| Set ID | Window | Type | Wrapped |
|--------|--------|------------------|---------|
| 1 | 1a | Cluster Analysis | No |
| 2 | 2a | Cluster Analysis | No |
| 3 | 3a | Cluster Analysis | No |

Intersections

| Intersection Type | Number |
|---------------------------------------|--------|
| Grid Data Planes | 1890 |
| All Set Planes | 1043 |
| Set 1: Follaasjon vs Set 2: S2 Planes | 672 |
| Set 1: Follaasjon vs Set 3: S1 Planes | 224 |
| Set 2: S2 vs Set 3: S1 Planes | 147 |
| User and Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |
| User Planes | 0 |
| Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |

Kinematic Analysis

Slope Dip: 80
Slope Dip Direction: 54
Friction Angle: 30°
Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 0 | 0.00% | 62 |

Planar Sliding (No Limits)

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|-------------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 6 | 9.68% | 62 |
| Set 1: Follaasjon | 2 | 6.25% | 32 |
| Set 3: S1 | 3 | 42.86% | 7 |

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|-------|------------|-------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 29 | 1.53% | 1 | 0.05% | 1890 |
| All Set Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 1043 |
| Set 1: Follaasjon vs Set 2: S2 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 672 |
| Set 1: Follaasjon vs Set 3: S1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 224 |
| Set 2: S2 vs Set 3: S1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 147 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |

Flexural Toppling

| Flexural Toppling | Critical | % | Total |
|-------------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 0 | 0.00% | 62 |

Direct Toppling

| Base Plane | Critical | % | Total |
|-------------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 5 | 8.06% | 62 |
| Set 1: Follaasjon | 1 | 3.13% | 32 |
| Set 3: S1 | 4 | 57.14% | 7 |

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)

Critical 2 = Oblique Topping (Intersection)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|-------|------------|-------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 146 | 7.72% | 11 | 0.58% | 1890 |
| All Set Planes | 18 | 1.73% | 0 | 0.00% | 1043 |
| Set 1: Follaasjon vs Set 2: S2 Planes | 18 | 2.68% | 0 | 0.00% | 672 |
| Set 1: Follaasjon vs Set 3: S1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 224 |
| Set 2: S2 vs Set 3: S1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 147 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |

Figur 81: Olsøysvingene kinematisk analyse

Kinematisk analyse prosjekt Osavatnet-Rødsjø

Dips Analysis Information

Osavatnet-Rødsjø, Bergskjæring 1 (2)

Project Summary

File Name: Bergskjæring 1 (2)
 Last saved with Dips version: 8.009
 Project Title: Osavatnet-Rødsjø, Bergskjæring 1 (2)
 Analysis: Kinematisk analyse
 Author: Sarah Mari Sande
 Date Created: 02.12.2020, 15:35:30

General Settings

Data Format: Dip / Dip Direction
 Magnetic Declination (E pos): 0°
 Multiple Data Flag (Quantity): OFF
 Distance Column: OFF
 Extra Data Columns: 0
 Units: Metric
 Poles: 82
 Entries: 82

Traverses

No traverse information available.

Global Mean

| | Dip | Dip Direction |
|------------|-------|---------------|
| Unweighted | 14.83 | 341.26 |
| Weighted | 14.83 | 341.26 |

Global Best Fit

| Unweighted | | | |
|------------|---------------|------------|----------|
| Dip | Dip Direction | Eigenvalue | |
| S1 | 68.65 | 342.75 | 0.528290 |
| S2 | 22.68 | 183.49 | 0.314834 |
| S3 | 82.69 | 75.63 | 0.156876 |

Woodcock S1 / S3 = 3.368
 Woodcock K = 0.743
 Woodcock C = 1.214

| Weighted | | | |
|----------|---------------|------------|----------|
| Dip | Dip Direction | Eigenvalue | |
| S1 | 68.65 | 342.75 | 0.528290 |
| S2 | 22.68 | 183.49 | 0.314834 |
| S3 | 82.69 | 75.63 | 0.156876 |

Woodcock S1 / S3 = 3.368
 Woodcock K = 0.743
 Woodcock C = 1.214

Mean Set Planes

| ID | Dip | Dip Direction | Label |
|----|-------|---------------|-----------|
| 1m | 85.30 | 334.38 | Follasjon |
| 2m | 11.34 | 297.38 | S2 |
| 3m | 77.14 | 85.57 | S3 |

Set Statistics

Set: 1m: Follasjon

Poles: 22
 Entries: 22
 Fisher's K: 45.2061

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 12.9377° | 21.2996° | 29.7347° | 10.0463° |
| Confidence Limit | 2.78226° | 4.56462° | 6.33904° | 2.16222° |

Set: 2m: S2

Poles: 19
 Entries: 19
 Fisher's K: 45.6851

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 12.8694° | 21.1863° | 29.5749° | 9.99341° |
| Confidence Limit | 2.9776° | 4.88521° | 6.7845° | 2.31402° |

Set: 3m: S3

Poles: 5
 Entries: 5
 Fisher's K: 101.475

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 8.62507° | 14.1708° | 19.7217° | 6.70068° |
| Confidence Limit | 3.86962° | 6.34954° | 8.81985° | 3.00715° |

Set Windows

| Set ID | Window | Type | Wrapped |
|--------|--------|------------------|---------|
| 1 | 1a | Cluster Analysis | No |
| 1 | 1b | Cluster Analysis | Yes |
| 2 | 2a | Cluster Analysis | No |
| 3 | 3a | Cluster Analysis | No |

Intersections

| Intersection Type | Number |
|---------------------------------------|--------|
| Grid Data Planes | 3321 |
| All Set Planes | 623 |
| Set 1: Follasjon vs Set 2: S2 Planes | 418 |
| Set 1: Follasjon vs Set 3: S3 Planes | 110 |
| Set 2: S2 vs Set 3: S3 Planes | 95 |
| User and Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |
| User Planes | 0 |
| Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |

Kinematic Analysis

Slope Dip: 85
 Slope Dip Direction: 280
 Friction Angle: 30°
 Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 1 | 1.22% | 82 |

Planar Sliding (No Limits)

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|------------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 14 | 17.07% | 82 |
| Set 1: Follasjon | 4 | 18.18% | 22 |

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
 Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|-------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 390 | 11.74% | 118 | 3.55% | 3321 |
| All Set Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 623 |
| Set 1: Follasjon vs Set 2: S2 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 418 |
| Set 1: Follasjon vs Set 3: S3 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 110 |
| Set 2: S2 vs Set 3: S3 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 95 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |

Flexural Toppling

| Flexural Toppling | Critical | % | Total |
|-------------------|----------|---------|-------|
| All Vectors | 5 | 6.10% | 82 |
| Set 3: S3 | 5 | 100.00% | 5 |

Direct Toppling

| Base Plane | Critical | % | Total |
|-------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 21 | 25.61% | 82 |
| Set 2: S2 | 18 | 94.74% | 19 |

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
 Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|--------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 332 | 10.00% | 328 | 9.88% | 3321 |
| All Set Planes | 29 | 4.65% | 84 | 13.48% | 623 |
| Set 1: Follasjon vs Set 2: S2 Planes | 5 | 1.20% | 0 | 0.00% | 418 |
| Set 1: Follasjon vs Set 3: S3 Planes | 24 | 21.82% | 84 | 76.36% | 110 |
| Set 2: S2 vs Set 3: S3 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 95 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 1 | 33.33% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 1 | 33.33% | 3 |

Figur 82: Osavatnet-Rødsjø kinematisk analyse bergskjæring 1

Dips Analysis Information

Osavatnet-Rødsjø, bergskjæring 2

Project Summary

File Name: Bergskjæring 2
 Last saved with Dips version: 8.009
 Project Title: Osavatnet-Rødsjø, bergskjæring 2
 Author: Sarah Mari Sande
 Date Created: 02.12.2020, 15:35:30

General Settings

Data Format: Dip / Dip Direction
 Magnetic Declination (E pos): 0°
 Multiple Data Flag (Quantity): OFF
 Distance Column: OFF
 Extra Data Columns: 0
 Units: Metric
 Poles: 82
 Entries: 82

Traverses

No traverse information available.

Global Mean

| | Dip | Dip Direction |
|------------|-------|---------------|
| Unweighted | 14.83 | 341.26 |
| Weighted | 14.83 | 341.26 |

Global Best Fit

| Unweighted | | | |
|------------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 68.65 | 342.75 | 0.528290 |
| S2 | 22.68 | 183.49 | 0.314834 |
| S3 | 82.69 | 75.63 | 0.156876 |

Woodcock S1 / S3 = 3.368
 Woodcock K = 0.743
 Woodcock C = 1.214

| Weighted | | | |
|----------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 68.65 | 342.75 | 0.528290 |
| S2 | 22.68 | 183.49 | 0.314834 |
| S3 | 82.69 | 75.63 | 0.156876 |

Woodcock S1 / S3 = 3.368
 Woodcock K = 0.743
 Woodcock C = 1.214

Mean Set Planes

| ID | Dip | Dip Direction | Label |
|----|-------|---------------|-----------|
| 1m | 85.30 | 334.38 | Follasjon |
| 2m | 11.34 | 297.38 | S2 |
| 3m | 77.14 | 85.57 | S1 |

Set Statistics

Set: 1m: Follasjon

Poles: 22
 Entries: 22
 Fisher's K: 45.2061

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 12.9377° | 21.2996° | 29.7347° | 10.0463° |
| Confidence Limit | 2.78226° | 4.56462° | 6.33904° | 2.16222° |

Set: 2m: S2

Poles: 19
 Entries: 19
 Fisher's K: 45.6851

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 12.8694° | 21.1863° | 29.5749° | 9.99341° |
| Confidence Limit | 2.9776° | 4.88521° | 6.7845° | 2.31402° |

Set: 3m: S1

Poles: 5
 Entries: 5
 Fisher's K: 101.475

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 8.62507° | 14.1708° | 19.7217° | 6.70068° |
| Confidence Limit | 3.86962° | 6.34954° | 8.81985° | 3.00715° |

Set Windows

| Set ID | Window | Type | Wrapped |
|--------|--------|------------------|---------|
| 1 | 1a | Cluster Analysis | No |
| 1 | 1b | Cluster Analysis | Yes |
| 2 | 2a | Cluster Analysis | No |
| 3 | 3a | Cluster Analysis | No |

Intersections

| Intersection Type | Number |
|---------------------------------------|--------|
| Grid Data Planes | 3321 |
| All Set Planes | 623 |
| Set 1: Follasjon vs Set 2: S2 Planes | 418 |
| Set 1: Follasjon vs Set 3: S1 Planes | 110 |
| Set 2: S2 vs Set 3: S1 Planes | 95 |
| User and Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |
| User Planes | 0 |
| Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |

Kinematic Analysis

Slope Dip: 85
 Slope Dip Direction: 312
 Friction Angle: 30°
 Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|------------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 11 | 13.41% | 82 |
| Set 1: Follasjon | 7 | 31.82% | 22 |

Planar Sliding (No Limits)

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|------------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 20 | 24.39% | 82 |
| Set 1: Follasjon | 9 | 40.91% | 22 |

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
 Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|--------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 351 | 10.57% | 211 | 6.35% | 3321 |
| All Set Planes | 0 | 0.00% | 34 | 5.46% | 623 |
| Set 1: Follasjon vs Set 2: S2 Planes | 0 | 0.00% | 23 | 5.50% | 418 |
| Set 1: Follasjon vs Set 3: S1 Planes | 0 | 0.00% | 11 | 10.00% | 110 |
| Set 2: S2 vs Set 3: S1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 95 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |

Flexural Toppling

| Flexural Toppling | Critical | % | Total |
|-------------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 7 | 8.54% | 82 |
| Set 1: Follasjon | 3 | 13.64% | 22 |

Direct Toppling

| Base Plane | Critical | % | Total |
|------------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 30 | 36.59% | 82 |
| Set 1: Follasjon | 8 | 36.36% | 22 |
| Set 2: S2 | 17 | 89.47% | 19 |

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
 Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|-------|------------|--------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 187 | 5.63% | 296 | 8.91% | 3321 |
| All Set Planes | 2 | 0.32% | 66 | 10.59% | 623 |
| Set 1: Follasjon vs Set 2: S2 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 418 |
| Set 1: Follasjon vs Set 3: S1 Planes | 2 | 1.82% | 66 | 60.00% | 110 |
| Set 2: S2 vs Set 3: S1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 95 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 1 | 33.33% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 1 | 33.33% | 3 |

Figur 83: Osavatnet-Rødsjø kinematisk analyse bergskjæring 2

Dips Analysis Information

Osavatnnet-Rødsjø, bergskjæring 3

Project Summary

File Name: bergskjæring 3
 Last saved with Dips version: 8.009
 Project Title: Osavatnnet-Rødsjø, bergskjæring 3
 Author: Sarah Mari Sande
 Date Created: 02.12.2020, 15:37:05

General Settings

Data Format: Dip / Dip Direction
 Magnetic Declination (E pos): 0°
 Multiple Data Flag (Quantity): OFF
 Distance Column: OFF
 Extra Data Columns: 0
 Units: Metric
 Poles: 67
 Entries: 67

Traverses

No traverse information available.

Global Mean

| | Dip | Dip Direction |
|------------|-------|---------------|
| Unweighted | 35.89 | 238.66 |
| Weighted | 35.89 | 238.66 |

Global Best Fit

| Unweighted | | | |
|------------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 73.18 | 196.90 | 0.474695 |
| S2 | 65.37 | 294.86 | 0.376201 |
| S3 | 30.48 | 76.01 | 0.149103 |

Woodcock S1 / S3 = 3.184
 Woodcock K = 0.251
 Woodcock C = 1.158

| Weighted | | | |
|----------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 73.18 | 196.90 | 0.474695 |
| S2 | 65.37 | 294.86 | 0.376201 |
| S3 | 30.48 | 76.01 | 0.149103 |

Woodcock S1 / S3 = 3.184
 Woodcock K = 0.251
 Woodcock C = 1.158

Mean Set Planes

| ID | Dip | Dip Direction | Label |
|----|-------|---------------|-----------|
| 1m | 84.41 | 213.13 | S1 |
| 3m | 53.22 | 297.77 | S2 |
| 4m | 85.63 | 330.80 | Foliasjon |

Set Statistics

Set: 1m: S1

Poles: 16
 Entries: 16
 Fisher's K: 36.2576

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 14.4539° | 23.8176° | 33.2972° | 11.2214° |
| Confidence Limit | 3.65203° | 5.99229° | 8.32318° | 2.83807° |

Set: 3m: S2

Poles: 8
 Entries: 8
 Fisher's K: 59.0009

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 11.319° | 18.6187° | 25.9579° | 8.79118° |
| Confidence Limit | 4.02616° | 6.60657° | 9.17725° | 3.12878° |

Set: 4m: Foliasjon

Poles: 10
 Entries: 10
 Fisher's K: 35.6495

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|---------|
| Variability Limit | 14.5773° | 24.0229° | 33.5883° | 11.317° |
| Confidence Limit | 4.65776° | 7.64388° | 10.62° | 3.6195° |

Set Windows

| Set ID | Window | Type | Wrapped |
|--------|--------|------------------|---------|
| 1 | 1a | Cluster Analysis | No |
| 1 | 1b | Cluster Analysis | Yes |
| 3 | 3a | Cluster Analysis | No |
| 4 | 4a | Cluster Analysis | No |
| 4 | 4b | Cluster Analysis | Yes |

Intersections

| Intersection Type | Number |
|---------------------------------------|--------|
| Grid Data Planes | 2211 |
| All Set Planes | 368 |
| Set 1: S1 vs Set 3: S2 Planes | 128 |
| Set 1: S1 vs Set 4: Foliasjon Planes | 160 |
| Set 3: S2 vs Set 4: Foliasjon Planes | 80 |
| User and Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |
| User Planes | 0 |
| Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |

Kinematic Analysis

Slope Dip: 85
 Slope Dip Direction: 290
 Friction Angle: 30°
 Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|------------------|----------|---------|-------|
| All Vectors | 13 | 19.40% | 67 |
| Set 3: S2 | 8 | 100.00% | 8 |
| Set 4: Foliasjon | 1 | 10.00% | 10 |

Planar Sliding (No Limits)

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|------------------|----------|---------|-------|
| All Vectors | 25 | 37.31% | 67 |
| Set 3: S2 | 8 | 100.00% | 8 |
| Set 4: Foliasjon | 4 | 40.00% | 10 |

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
 Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|---------|------------|--------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 745 | 33.70% | 340 | 15.38% | 2211 |
| All Set Planes | 222 | 60.33% | 82 | 22.28% | 368 |
| Set 1: S1 vs Set 3: S2 Planes | 71 | 55.47% | 57 | 44.53% | 128 |
| Set 1: S1 vs Set 4: Foliasjon Planes | 96 | 60.00% | 5 | 3.13% | 160 |
| Set 3: S2 vs Set 4: Foliasjon Planes | 55 | 68.75% | 20 | 25.00% | 80 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 3 | 100.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 3 | 100.00% | 0 | 0.00% | 3 |

Flexural Toppling

| Flexural Toppling | Critical | % | Total |
|-------------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 5 | 7.46% | 67 |
| Set 4: Foliasjon | 1 | 10.00% | 10 |

Direct Toppling

| Base Plane | Critical | % | Total |
|------------------|----------|---------|-------|
| All Vectors | 16 | 23.88% | 67 |
| Set 3: S2 | 8 | 100.00% | 8 |
| Set 4: Foliasjon | 1 | 10.00% | 10 |

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
 Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|--------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 262 | 11.85% | 154 | 6.97% | 2211 |
| All Set Planes | 12 | 3.26% | 30 | 8.15% | 368 |
| Set 1: S1 vs Set 3: S2 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 128 |
| Set 1: S1 vs Set 4: Foliasjon Planes | 12 | 7.50% | 30 | 18.75% | 160 |
| Set 3: S2 vs Set 4: Foliasjon Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 80 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |

Figur 84: Osavatnnet-Rødsjø kinematisk analyse bergskjæring 3

Dips Analysis Information

Prosjekt Osavatnet-Rødsjø, Bergskjæring 4

Project Summary

File Name: bergskjæring 4
 Last saved with Dips version: 8.009
 Project Title: Prosjekt Osavatnet-Rødsjø, Bergskjæring 4
 Author: Sarah Mari Sande
 Date Created: 02.12.2020, 15:38:14

General Settings

Data Format: Dip / Dip Direction
 Magnetic Declination (E pos): 0°
 Multiple Data Flag (Quantity): OFF
 Distance Column: OFF
 Extra Data Columns: 0
 Units: Metric
 Poles: 26
 Entries: 26

Traverses

No traverse information available.

Global Mean

| | Dip | Dip Direction |
|------------|-------|---------------|
| Unweighted | 42.55 | 210.83 |
| Weighted | 42.55 | 210.83 |

Global Best Fit

| Unweighted | | | |
|------------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 76.81 | 168.23 | 0.623628 |
| S2 | 59.83 | 266.06 | 0.280758 |
| S3 | 33.49 | 57.50 | 0.095613 |

Woodcock S1 / S3 = 6.522
 Woodcock K = 0.741
 Woodcock C = 1.875

| Weighted | | | |
|----------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 76.81 | 168.23 | 0.623628 |
| S2 | 59.83 | 266.06 | 0.280758 |
| S3 | 33.49 | 57.50 | 0.095613 |

Woodcock S1 / S3 = 6.522
 Woodcock K = 0.741
 Woodcock C = 1.875

Mean Set Planes

| ID | Dip | Dip Direction | Label |
|----|-------|---------------|-----------|
| 1m | 55.39 | 174.57 | S1 |
| 2m | 69.56 | 257.80 | S2 |
| 3m | 72.56 | 337.74 | Foliasjon |

Set Statistics

Set: 1m: S1

Poles: 15
 Entries: 15
 Fisher's K: 4.35919

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 42.5454° | 73.0434° | 111.435° | 32.755° |
| Confidence Limit | 12.1314° | 19.9634° | 27.8504° | 9.42127° |

Set: 2m: S2

Poles: 4
 Entries: 4
 Fisher's K: 55.7563

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 11.6448° | 19.1577° | 26.7161° | 9.04387° |
| Confidence Limit | 5.85443° | 9.61034° | 13.3575° | 4.54913° |

Set: 3m: Foliasjon

Poles: 3
 Entries: 3
 Fisher's K: 72.527

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|---------|
| Variability Limit | 10.206° | 16.7791° | 23.3746° | 7.9277° |
| Confidence Limit | 5.91451° | 9.70912° | 13.4951° | 4.5958° |

Set Windows

| Set ID | Window | Type | Wrapped |
|--------|--------|------------------|---------|
| 1 | 1a | Cluster Analysis | No |
| 2 | 2a | Cluster Analysis | No |
| 3 | 3a | Cluster Analysis | No |

Intersections

| Intersection Type | Number |
|---------------------------------------|--------|
| Grid Data Planes | 325 |
| All Set Planes | 117 |
| Set 1: S1 vs Set 2: S2 Planes | 60 |
| Set 1: S1 vs Set 3: Foliasjon Planes | 45 |
| Set 2: S2 vs Set 3: Foliasjon Planes | 12 |
| User and Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |
| User Planes | 0 |
| Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |

Kinematic Analysis

Slope Dip: 85
 Slope Dip Direction: 72
 Friction Angle: 30°
 Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 0 | 0.00% | 26 |

Planar Sliding (No Limits)

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 2 | 7.69% | 26 |
| Set 1: S1 | 2 | 33.33% | 15 |

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
 Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|-------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 36 | 11.08% | 9 | 2.77% | 325 |
| All Set Planes | 3 | 2.56% | 0 | 0.00% | 117 |
| Set 1: S1 vs Set 2: S2 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 60 |
| Set 1: S1 vs Set 3: Foliasjon Planes | 3 | 6.67% | 0 | 0.00% | 45 |
| Set 2: S2 vs Set 3: Foliasjon Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 12 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |

Flexural Toppling

| Flexural Toppling | Critical | % | Total |
|-------------------|----------|---------|-------|
| All Vectors | 5 | 19.23% | 26 |
| Set 2: S2 | 4 | 100.00% | 4 |

Direct Toppling

| Base Plane | Critical | % | Total |
|-------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 0 | 0.00% | 26 |

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
 Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|--------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 125 | 38.46% | 49 | 15.08% | 325 |
| All Set Planes | 46 | 39.32% | 23 | 19.66% | 117 |
| Set 1: S1 vs Set 2: S2 Planes | 10 | 16.67% | 15 | 25.00% | 60 |
| Set 1: S1 vs Set 3: Foliasjon Planes | 33 | 73.33% | 0 | 0.00% | 45 |
| Set 2: S2 vs Set 3: Foliasjon Planes | 3 | 25.00% | 8 | 66.67% | 12 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 1 | 33.33% | 1 | 33.33% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 1 | 33.33% | 1 | 33.33% | 3 |

Figur 85: Osavatnet-Rødsjø kinematisk analyse bergskjæring 4

Kinematisk analyse prosjekt Nordsetervatnet

Dips Analysis Information Nordsetervatnet, Bergskjæring 1

Project Summary

File Name: BS_1
Last saved with Dips version: 8.009
Project Title: Nordsetervatnet, Bergskjæring 1
Analysis: Kinematisk analyse
Author: Sarah Mari Sande
Date Created: 02.12.2020, 15:41:50

General Settings

Data Format: Dip / Dip Direction
Magnetic Declination (E pos): 0°
Multiple Data Flag (Quantity): OFF
Distance Column: OFF
Extra Data Columns: 0
Units: Metric
Poles: 74
Entries: 74

Traverses

No traverse information available.

Global Mean

| | Dip | Dip Direction |
|------------|------|---------------|
| Unweighted | 5.89 | 238.86 |
| Weighted | 5.89 | 238.86 |

Global Best Fit

| Unweighted | | | |
|------------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 83.99 | 138.68 | 0.560089 |
| S2 | 27.71 | 240.25 | 0.253596 |
| S3 | 63.06 | 45.61 | 0.186314 |

Woodcock S1 / S3 = 3.006
Woodcock K = 2.570
Woodcock C = 1.101

| Weighted | | | |
|----------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 83.99 | 138.68 | 0.560089 |
| S2 | 27.71 | 240.25 | 0.253596 |
| S3 | 63.06 | 45.61 | 0.186314 |

Woodcock S1 / S3 = 3.006
Woodcock K = 2.570
Woodcock C = 1.101

Mean Set Planes

| ID | Dip | Dip Direction | Label |
|----|-------|---------------|-------|
| 1m | 89.48 | 114.58 | S2 |
| 2m | 85.46 | 340.90 | S1 |
| 3m | 34.57 | 144.24 | F1 |

Set Statistics

Set: 1m: S2

Poles: 10
Entries: 10
Fisher's K: 66.138

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 10.689° | 17.577° | 24.4943° | 8.30242° |
| Confidence Limit | 3.39895° | 5.57682° | 7.74566° | 2.64143° |

Set: 2m: S1

Poles: 10
Entries: 10
Fisher's K: 73.2875

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 10.1528° | 16.6912° | 23.2513° | 7.88639° |
| Confidence Limit | 3.22669° | 5.29405° | 7.35266° | 2.50757° |

Set: 3m: F1

Poles: 11
Entries: 11
Fisher's K: 50.4289

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 12.2467° | 20.1543° | 28.1194° | 9.51063° |
| Confidence Limit | 3.71982° | 6.10359° | 8.4779° | 2.89075° |

Set Windows

| Set ID | Window | Type | Wrapped |
|--------|--------|------------------|---------|
| 1 | 1a | Cluster Analysis | No |
| 1 | 1b | Cluster Analysis | Yes |
| 2 | 2a | Cluster Analysis | No |
| 2 | 2b | Cluster Analysis | Yes |
| 3 | 3a | Cluster Analysis | No |

Intersections

| Intersection Type | Number |
|---------------------------------------|--------|
| Grid Data Planes | 2701 |
| All Set Planes | 320 |
| Set 1: S2 vs Set 2: S1 Planes | 100 |
| Set 1: S2 vs Set 3: F1 Planes | 110 |
| Set 2: S1 vs Set 3: F1 Planes | 110 |
| User and Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |
| User Planes | 0 |
| Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |

Kinematic Analysis

Slope Dip: 85
Slope Dip Direction: 45
Friction Angle: 30°
Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 1 | 1.35% | 74 |

Planar Sliding (No Limits)

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 11 | 14.86% | 74 |
| Set 2: S1 | 1 | 10.00% | 10 |
| Set 3: F1 | 1 | 9.09% | 11 |

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|-------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 472 | 17.48% | 92 | 3.41% | 2701 |
| All Set Planes | 64 | 20.00% | 4 | 1.25% | 320 |
| Set 1: S2 vs Set 2: S1 Planes | 59 | 59.00% | 0 | 0.00% | 100 |
| Set 1: S2 vs Set 3: F1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 110 |
| Set 2: S1 vs Set 3: F1 Planes | 5 | 4.55% | 4 | 3.64% | 110 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 1 | 33.33% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 1 | 33.33% | 0 | 0.00% | 3 |

Flexural Toppling

| Flexural Toppling | Critical | % | Total |
|-------------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 5 | 6.76% | 74 |

Direct Toppling

| Base Plane | Critical | % | Total |
|-------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 3 | 4.05% | 74 |
| Set 3: F1 | 1 | 9.09% | 11 |

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|--------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 799 | 29.58% | 170 | 6.29% | 2701 |
| All Set Planes | 108 | 33.75% | 11 | 3.44% | 320 |
| Set 1: S2 vs Set 2: S1 Planes | 12 | 12.00% | 11 | 11.00% | 100 |
| Set 1: S2 vs Set 3: F1 Planes | 86 | 78.18% | 0 | 0.00% | 110 |
| Set 2: S1 vs Set 3: F1 Planes | 10 | 9.09% | 0 | 0.00% | 110 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 1 | 33.33% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 1 | 33.33% | 0 | 0.00% | 3 |

Figur 86: Nordsetervatnet kinematisk analyse bergskjæring 1

Dips Analysis Information Nordsetervatnet, bergskjæring 2

Project Summary

File Name: BS2
 Last saved with Dips version: 8.009
 Project Title: Nordsetervatnet, bergskjæring 2
 Analysis: Kinematisk analyse
 Author: Sarah Mari Sande
 Date Created: 02.12.2020, 15:42:42

General Settings

Data Format: Dip / Dip Direction
 Magnetic Declination (E pos): 0°
 Multiple Data Flag (Quantity): OFF
 Distance Column: OFF
 Extra Data Columns: 0
 Units: Metric
 Poles: 175
 Entries: 175

Traverses

No traverse information available.

Global Mean

| | Dip | Dip Direction |
|------------|-------|---------------|
| Unweighted | 32.00 | 188.26 |
| Weighted | 32.00 | 188.26 |

Global Best Fit

| Unweighted | | |
|------------|---------------|-----------------|
| Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 65.80 | 184.50 0.754679 |
| S2 | 24.42 | 356.35 0.234694 |
| S3 | 86.94 | 93.12 0.010627 |

Woodcock S1 / S3 = 71.015
 Woodcock K = 0.377
 Woodcock C = 4.263

| Weighted | | |
|----------|---------------|-----------------|
| Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 65.80 | 184.50 0.754679 |
| S2 | 24.42 | 356.35 0.234694 |
| S3 | 86.94 | 93.12 0.010627 |

Woodcock S1 / S3 = 71.015
 Woodcock K = 0.377
 Woodcock C = 4.263

Mean Set Planes

| ID | Dip | Dip Direction | Label |
|----|-------|---------------|-------|
| 1m | 69.45 | 209.45 | S1 |
| 3m | 33.44 | 189.43 | F1 |
| 4m | 64.55 | 181.78 | S2 |

Set Statistics

Set: 1m: S1

Poles: 6
 Entries: 6
 Fisher's K: 75.2741

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 10.0176° | 16.4679° | 22.9382° | 7.78146° |
| Confidence Limit | 4.10812° | 6.74116° | 9.36441° | 3.19246° |

Set: 3m: F1

Poles: 48
 Entries: 48
 Fisher's K: 66.143

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 10.6886° | 17.5763° | 24.4933° | 8.30211° |
| Confidence Limit | 1.5521° | 2.54611° | 3.53527° | 1.20624° |

Set: 4m: S2

Poles: 62
 Entries: 62
 Fisher's K: 84.9442

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|-----------|
| Variability Limit | 9.42876° | 15.4961° | 21.5765° | 7.32452° |
| Confidence Limit | 1.20311° | 1.97358° | 2.74023° | 0.935023° |

Set Windows

| Set ID | Window | Type | Wrapped |
|--------|--------|------------------|---------|
| 1 | 1a | Cluster Analysis | No |
| 3 | 3a | Cluster Analysis | No |
| 4 | 4a | Cluster Analysis | No |

Intersections

| Intersection Type | Number |
|---------------------------------------|--------|
| Grid Data Planes | 15215 |
| All Set Planes | 3636 |
| Set 1: S1 vs Set 3: F1 Planes | 288 |
| Set 1: S1 vs Set 4: S2 Planes | 372 |
| Set 3: F1 vs Set 4: S2 Planes | 2976 |
| User and Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |
| User Planes | 0 |
| Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |

Kinematic Analysis

Slope Dip: 85
 Slope Dip Direction: 84
 Friction Angle: 21°
 Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 0 | 0.00% | 175 |

Planar Sliding (No Limits)

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 8 | 4.57% | 175 |
| Set 3: F1 | 1 | 2.08% | 48 |

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
 Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|-------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 977 | 6.42% | 15 | 0.10% | 15215 |
| All Set Planes | 297 | 8.17% | 5 | 0.14% | 3636 |
| Set 1: S1 vs Set 3: F1 Planes | 109 | 37.85% | 0 | 0.00% | 288 |
| Set 1: S1 vs Set 4: S2 Planes | 178 | 47.85% | 0 | 0.00% | 372 |
| Set 3: F1 vs Set 4: S2 Planes | 10 | 0.34% | 5 | 0.17% | 2976 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |

Flexural Toppling

| Flexural Toppling | Critical | % | Total |
|-------------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 0 | 0.00% | 175 |

Direct Toppling

| Base Plane | Critical | % | Total |
|-------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 1 | 0.57% | 175 |

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
 Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|-------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 5781 | 38.00% | 41 | 0.27% | 15215 |
| All Set Planes | 1977 | 54.37% | 20 | 0.55% | 3636 |
| Set 1: S1 vs Set 3: F1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 288 |
| Set 1: S1 vs Set 4: S2 Planes | 53 | 14.25% | 20 | 5.38% | 372 |
| Set 3: F1 vs Set 4: S2 Planes | 1924 | 64.65% | 0 | 0.00% | 2976 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 1 | 33.33% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 1 | 33.33% | 0 | 0.00% | 3 |

Figur 87: Nordsetervatnet kinematisk analyse bergskjæring 2

Dips Analysis Information Nordsetervatnet, bergskjæring 3

Project Summary

File Name: bs3
Last saved with Dips version: 8.009
Project Title: Nordsetervatnet, bergskjæring 3
Analysis: Kinematisk analyse
Author: Sarah Mari Sande
Date Created: 02.12.2020, 15:46:05

General Settings

Data Format: Dip / Dip Direction
Magnetic Declination (E pos): 0°
Multiple Data Flag (Quantity): OFF
Distance Column: OFF
Extra Data Columns: 0
Units: Metric
Poles: 95
Entries: 95

Traverses

No traverse information available.

Global Mean

| | Dip | Dip Direction |
|------------|-------|---------------|
| Unweighted | 28.86 | 199.54 |
| Weighted | 28.86 | 199.54 |

Global Best Fit

| Unweighted | | | |
|------------|---------------|------------|----------|
| Dip | Dip Direction | Eigenvalue | |
| S1 | 66.67 | 189.82 | 0.715518 |
| S2 | 25.39 | 345.13 | 0.239959 |
| S3 | 80.54 | 95.70 | 0.044522 |

Woodcock S1 / S3 = 16.071
Woodcock K = 0.649
Woodcock C = 2.777

| Weighted | | | |
|----------|---------------|------------|----------|
| Dip | Dip Direction | Eigenvalue | |
| S1 | 66.67 | 189.82 | 0.715518 |
| S2 | 25.39 | 345.13 | 0.239959 |
| S3 | 80.54 | 95.70 | 0.044522 |

Woodcock S1 / S3 = 16.071
Woodcock K = 0.649
Woodcock C = 2.777

bs3,dips8

02.12.2020, 15:46:05

Mean Set Planes

| ID | Dip | Dip Direction | Label |
|----|-------|---------------|-------|
| 1m | 51.48 | 191.47 | F1 |
| 2m | 70.58 | 7.81 | S1 |
| 3m | 35.12 | 312.92 | S2 |

Set Statistics

Set: 1m: F1

Poles: 45
Entries: 45
Fisher's K: 53.4197

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 11.8976° | 19.5762° | 27.3052° | 9.23996° |
| Confidence Limit | 1.78691° | 2.93135° | 4.07027° | 1.38872° |

Set: 2m: S1

Poles: 21
Entries: 21
Fisher's K: 35.1315

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 14.6849° | 24.202° | 33.8424° | 11.4004° |
| Confidence Limit | 3.2404° | 5.31656° | 7.38394° | 2.51823° |

Set: 3m: S2

Poles: 4
Entries: 4
Fisher's K: 27.5314

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 16.6011° | 27.3966° | 38.39° | 12.884° |
| Confidence Limit | 8.39409° | 13.7901° | 19.1895° | 6.52136° |

Set Windows

| Set ID | Window | Type | Wrapped |
|--------|--------|------------------|---------|
| 1 | 1a | Cluster Analysis | No |
| 2 | 2a | Cluster Analysis | No |
| 3 | 3a | Cluster Analysis | No |

Intersections

bs3,dips8

02.12.2020, 15:46:05

| Intersection Type | Number |
|---------------------------------------|--------|
| Grid Data Planes | 4464 |
| All Set Planes | 1209 |
| Set 1: F1 vs Set 2: S1 Planes | 945 |
| Set 1: F1 vs Set 3: S2 Planes | 180 |
| Set 2: S1 vs Set 3: S2 Planes | 84 |
| User and Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |
| User Planes | 0 |
| Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |

Kinematic Analysis

Slope Dip: 70
Slope Dip Direction: 100
Friction Angle: 21°
Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 1 | 1.05% | 95 |

Planar Sliding (No Limits)

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 4 | 4.21% | 95 |

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|-------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 521 | 11.67% | 62 | 1.39% | 4464 |
| All Set Planes | 25 | 2.07% | 0 | 0.00% | 1209 |
| Set 1: F1 vs Set 2: S1 Planes | 25 | 2.65% | 0 | 0.00% | 945 |
| Set 1: F1 vs Set 3: S2 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 180 |
| Set 2: S1 vs Set 3: S2 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 84 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |

Flexural Toppling

| Flexural Toppling | Critical | % | Total |
|-------------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 0 | 0.00% | 95 |

Direct Toppling

| Base Plane | Critical | % | Total |
|-------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 1 | 1.05% | 95 |

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

bs3,dips8

02.12.2020, 15:46:05

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|-------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 821 | 18.39% | 30 | 0.67% | 4464 |
| All Set Planes | 205 | 16.96% | 0 | 0.00% | 1209 |
| Set 1: F1 vs Set 2: S1 Planes | 52 | 5.50% | 0 | 0.00% | 945 |
| Set 1: F1 vs Set 3: S2 Planes | 87 | 48.33% | 0 | 0.00% | 180 |
| Set 2: S1 vs Set 3: S2 Planes | 66 | 78.57% | 0 | 0.00% | 84 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 2 | 66.67% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 2 | 66.67% | 0 | 0.00% | 3 |

bs3,dips8

02.12.2020, 15:46:05

Figur 88: Nordsetervatnet kinematisk analyse bergskjæring 3

Dips Analysis Information Nordsetervatnet, bergskjæring 4

Project Summary

File Name: bs5
 Last saved with Dips version: 8.009
 Project Title: Nordsetervatnet, bergskjæring 4
 Analysis: Kinematisk analyse
 Author: Sarah Mari Sande
 Date Created: 02.12.2020, 15:49:18

General Settings

Data Format: Dip / Dip Direction
 Magnetic Declination (E pos): 0°
 Multiple Data Flag (Quantity): OFF
 Distance Column: OFF
 Extra Data Columns: 0
 Units: Metric
 Poles: 39
 Entries: 39

Traverses

No traverse information available.

Global Mean

| | Dip | Dip Direction |
|------------|------|---------------|
| Unweighted | 0.24 | 28.11 |
| Weighted | 0.24 | 28.11 |

Global Best Fit

| Unweighted | | | |
|------------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 85.79 | 312.98 | 0.505185 |
| S2 | 10.25 | 66.96 | 0.346196 |
| S3 | 80.66 | 222.29 | 0.148620 |

Woodcock S1 / S3 = 3.399
 Woodcock K = 0.447
 Woodcock C = 1.224

| Weighted | | | |
|----------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 85.79 | 312.98 | 0.505185 |
| S2 | 10.25 | 66.96 | 0.346196 |
| S3 | 80.66 | 222.29 | 0.148620 |

Woodcock S1 / S3 = 3.399
 Woodcock K = 0.447
 Woodcock C = 1.224

bs5,dips8

02.12.2020, 15:49:18

Mean Set Planes

| ID | Dip | Dip Direction | Label |
|----|-------|---------------|-------|
| 2m | 32.92 | 97.33 | F1 |
| 3m | 49.02 | 325.15 | S1 |
| 4m | 85.09 | 302.02 | S2 |

Set Statistics

Set: 2m: F1

Poles: 5
 Entries: 5
 Fisher's K: 195.026

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|---------|----------|
| Variability Limit | 6.21869° | 10.2093° | 14.192° | 4.83207° |
| Confidence Limit | 2.78571° | 4.57027° | 6.3469° | 2.1649° |

Set: 3m: S1

Poles: 8
 Entries: 8
 Fisher's K: 45.5127

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 12.8938° | 21.2269° | 29.6321° | 10.0124° |
| Confidence Limit | 4.59465° | 7.54021° | 10.4758° | 3.57047° |

Set: 4m: S2

Poles: 8
 Entries: 8
 Fisher's K: 49.0016

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 12.4245° | 20.4488° | 28.5345° | 9.64847° |
| Confidence Limit | 4.42488° | 7.26137° | 10.0879° | 3.43857° |

Set Windows

| Set ID | Window | Type | Wrapped |
|--------|--------|------------------|---------|
| 2 | 2a | Cluster Analysis | No |
| 3 | 3a | Cluster Analysis | No |
| 4 | 4a | Cluster Analysis | No |
| 4 | 4b | Cluster Analysis | Yes |

Intersections

bs5,dips8

02.12.2020, 15:49:18

| Intersection Type | Number |
|---------------------------------------|--------|
| Grid Data Planes | 741 |
| All Set Planes | 144 |
| Set 2: F1 vs Set 3: S1 Planes | 40 |
| Set 2: F1 vs Set 4: S2 Planes | 40 |
| Set 3: S1 vs Set 4: S2 Planes | 64 |
| User and Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |
| User Planes | 0 |
| Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |

Kinematic Analysis

Slope Dip: 80
 Slope Dip Direction: 76
 Friction Angle: 21°
 Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|---------|-------|
| All Vectors | 8 | 20.51% | 39 |
| Set 2: F1 | 5 | 100.00% | 5 |

Planar Sliding (No Limits)

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|---------|-------|
| All Vectors | 12 | 30.77% | 39 |
| Set 2: F1 | 5 | 100.00% | 5 |

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
 Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|--------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 156 | 21.05% | 132 | 17.81% | 741 |
| All Set Planes | 51 | 35.42% | 29 | 20.14% | 144 |
| Set 2: F1 vs Set 3: S1 Planes | 8 | 20.00% | 20 | 50.00% | 40 |
| Set 2: F1 vs Set 4: S2 Planes | 4 | 10.00% | 9 | 22.50% | 40 |
| Set 3: S1 vs Set 4: S2 Planes | 39 | 60.94% | 0 | 0.00% | 64 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 1 | 33.33% | 1 | 33.33% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 1 | 33.33% | 1 | 33.33% | 3 |

Flexural Toppling

| Flexural Toppling | Critical | % | Total |
|-------------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 3 | 7.69% | 39 |

Direct Toppling

| Base Plane | Critical | % | Total |
|-------------|----------|---------|-------|
| All Vectors | 8 | 20.51% | 39 |
| Set 2: F1 | 5 | 100.00% | 5 |

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
 Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

bs5,dips8

02.12.2020, 15:49:18

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|-------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 100 | 13.50% | 20 | 2.70% | 741 |
| All Set Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 144 |
| Set 2: F1 vs Set 3: S1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 40 |
| Set 2: F1 vs Set 4: S2 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 40 |
| Set 3: S1 vs Set 4: S2 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 64 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |

bs5,dips8

02.12.2020, 15:49:18

Figur 89: Nordsetervatnet kinematisk analyse bergskjæring 4

Dips Analysis Information Nordsetervatnet, bergskjæring 5

Project Summary

File Name: bs6
 Last saved with Dips version: 8.009
 Project Title: Nordsetervatnet, bergskjæring 5
 Author: Sarah Mari Sande
 Date Created: 02.12.2020, 15:50:42

General Settings

Data Format: Dip / Dip Direction
 Magnetic Declination (E pos): 0°
 Multiple Data Flag (Quantity): OFF
 Distance Column: OFF
 Extra Data Columns: 0
 Units: Metric
 Poles: 75
 Entries: 75

Traverses

No traverse information available.

Global Mean

| | Dip | Dip Direction |
|------------|-------|---------------|
| Unweighted | 50.76 | 135.35 |
| Weighted | 50.76 | 135.35 |

Global Best Fit

| Unweighted | | | |
|------------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 69.70 | 133.69 | 0.859297 |
| S2 | 20.57 | 323.41 | 0.127682 |
| S3 | 86.81 | 224.87 | 0.013020 |

Woodcock S1 / S3 = 65.996
 Woodcock K = 0.4335
 Woodcock C = 4.190

| Weighted | | | |
|----------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 69.70 | 133.69 | 0.859297 |
| S2 | 20.57 | 323.41 | 0.127682 |
| S3 | 86.81 | 224.87 | 0.013020 |

Woodcock S1 / S3 = 65.996
 Woodcock K = 0.4335
 Woodcock C = 4.190

Mean Set Planes

| ID | Dip | Dip Direction | Label |
|----|-------|---------------|-------|
| 1m | 72.37 | 136.32 | S2 |
| 2m | 45.09 | 129.68 | F1 |
| 3m | 80.71 | 311.23 | S1 |

Set Statistics

Set: 1m: S2

Poles: 34
 Entries: 34
 Fisher's K: 86.785

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 9.32801° | 15.3299° | 21.3437° | 7.24632° |
| Confidence Limit | 1.60704° | 2.63624° | 3.66043° | 1.24893° |

Set: 2m: F1

Poles: 21
 Entries: 21
 Fisher's K: 89.5638

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 9.18185° | 15.0888° | 21.0062° | 7.13287° |
| Confidence Limit | 2.01233° | 3.30119° | 4.58394° | 1.5639° |

Set: 3m: S1

Poles: 17
 Entries: 17
 Fisher's K: 51.1442

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 12.1604° | 20.0114° | 27.918° | 9.44374° |
| Confidence Limit | 2.9716° | 4.87537° | 6.77082° | 2.30935° |

Set Windows

| Set ID | Window | Type | Wrapped |
|--------|--------|------------------|---------|
| 1 | 1a | Cluster Analysis | No |
| 2 | 2a | Cluster Analysis | No |
| 3 | 3a | Cluster Analysis | No |
| 3 | 3b | Cluster Analysis | Yes |

Intersections

| Intersection Type | Number |
|---------------------------------------|--------|
| Grid Data Planes | 2773 |
| All Set Planes | 1649 |
| Set 1: S2 vs Set 2: F1 Planes | 714 |
| Set 1: S2 vs Set 3: S1 Planes | 578 |
| Set 2: F1 vs Set 3: S1 Planes | 357 |
| User and Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |
| User Planes | 0 |
| Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |

Kinematic Analysis

Slope Dip: 80
 Slope Dip Direction: 74
 Friction Angle: 30°
 Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 1 | 1.33% | 75 |

Planar Sliding (No Limits)

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|---------|-------|
| All Vectors | 35 | 46.67% | 75 |
| Set 1: S2 | 13 | 38.24% | 34 |
| Set 2: F1 | 21 | 100.00% | 21 |

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
 Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|-------|------------|-------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 252 | 9.09% | 51 | 1.84% | 2773 |
| All Set Planes | 21 | 1.27% | 1 | 0.06% | 1649 |
| Set 1: S2 vs Set 2: F1 Planes | 17 | 2.38% | 1 | 0.14% | 714 |
| Set 1: S2 vs Set 3: S1 Planes | 4 | 0.69% | 0 | 0.00% | 578 |
| Set 2: F1 vs Set 3: S1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 357 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |

Flexural Toppling

| Flexural Toppling | Critical | % | Total |
|-------------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 0 | 0.00% | 75 |

Direct Toppling

| Base Plane | Critical | % | Total |
|-------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 2 | 2.67% | 75 |

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
 Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|-------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 127 | 4.58% | 30 | 1.08% | 2773 |
| All Set Planes | 62 | 3.76% | 3 | 0.18% | 1649 |
| Set 1: S2 vs Set 2: F1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 714 |
| Set 1: S2 vs Set 3: S1 Planes | 62 | 10.73% | 3 | 0.52% | 578 |
| Set 2: F1 vs Set 3: S1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 357 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |

Figur 90: Nordsetervatnet kinematisk analyse bergskjæring 5

Dips Analysis Information Nordsetervatnet, bergskjæring 6

Project Summary

File Name: bs7
Last saved with Dips version: 8.009
Project Title: Nordsetervatnet, bergskjæring 6
Analysis: Kinematisk analyse
Author: Sarah Mari Sande
Date Created: 02.12.2020, 15:52:12

General Settings

Data Format: Dip / Dip Direction
Magnetic Declination (E pos): 0°
Multiple Data Flag (Quantity): OFF
Distance Column: OFF
Extra Data Columns: 0
Units: Metric
Poles: 32
Entries: 32

Traverses

No traverse information available.

Global Mean

| | Dip | Dip Direction |
|------------|-------|---------------|
| Unweighted | 22.32 | 74.54 |
| Weighted | 22.32 | 74.54 |

Global Best Fit

| Unweighted | | | |
|------------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 55.67 | 46.50 | 0.502224 |
| S2 | 80.81 | 142.85 | 0.325613 |
| S3 | 35.89 | 245.78 | 0.172163 |

Woodcock S1 / S3 = 2.917
Woodcock K = 0.680
Woodcock C = 1.071

| Weighted | | | |
|----------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 55.67 | 46.50 | 0.502224 |
| S2 | 80.81 | 142.85 | 0.325613 |
| S3 | 35.89 | 245.78 | 0.172163 |

Woodcock S1 / S3 = 2.917
Woodcock K = 0.680
Woodcock C = 1.071

bs7,dips8

02.12.2020, 15:52:12

Mean Set Planes

| ID | Dip | Dip Direction | Label |
|----|-------|---------------|-------|
| 1m | 78.63 | 241.36 | S1 |
| 2m | 74.55 | 116.03 | F1 |
| 3m | 61.53 | 21.11 | S2 |

Set Statistics

Set: 1m: S1

Poles: 3
Entries: 3
Fisher's K: 151.322

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 7.06083° | 11.5946° | 16.1236° | 5.48612° |
| Confidence Limit | 4.08386° | 6.70132° | 9.309° | 3.17361° |

Set: 2m: F1

Poles: 5
Entries: 5
Fisher's K: 43.4862

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 13.1922° | 21.7217° | 30.3309° | 10.2436° |
| Confidence Limit | 5.94426° | 9.75803° | 13.5633° | 4.61891° |

Set: 3m: S2

Poles: 5
Entries: 5
Fisher's K: 65.9796

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 10.7018° | 17.5982° | 24.5241° | 8.3124° |
| Confidence Limit | 4.8097° | 7.89347° | 10.9673° | 3.73755° |

Set Windows

| Set ID | Window | Type | Wrapped |
|--------|--------|------------------|---------|
| 1 | 1a | Cluster Analysis | No |
| 2 | 2a | Cluster Analysis | No |
| 3 | 3a | Cluster Analysis | No |

Intersections

bs7,dips8

02.12.2020, 15:52:12

| Intersection Type | Number |
|---------------------------------------|--------|
| Grid Data Planes | 496 |
| All Set Planes | 55 |
| Set 1: S1 vs Set 2: F1 Planes | 15 |
| Set 1: S1 vs Set 3: S2 Planes | 15 |
| Set 2: F1 vs Set 3: S2 Planes | 25 |
| User and Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |
| User Planes | 0 |
| Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |

Kinematic Analysis

Slope Dip: 80
Slope Dip Direction: 80
Friction Angle: 21°
Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 3 | 9.38% | 32 |

Planar Sliding (No Limits)

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|---------|-------|
| All Vectors | 17 | 53.13% | 32 |
| Set 2: F1 | 3 | 60.00% | 5 |
| Set 3: S2 | 5 | 100.00% | 5 |

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|--------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 151 | 30.44% | 80 | 16.13% | 496 |
| All Set Planes | 23 | 41.82% | 2 | 3.64% | 55 |
| Set 1: S1 vs Set 2: F1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 15 |
| Set 1: S1 vs Set 3: S2 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 15 |
| Set 2: F1 vs Set 3: S2 Planes | 23 | 92.00% | 2 | 8.00% | 25 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 1 | 33.33% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 1 | 33.33% | 0 | 0.00% | 3 |

Flexural Toppling

| Flexural Toppling | Critical | % | Total |
|-------------------|----------|---------|-------|
| All Vectors | 5 | 15.63% | 32 |
| Set 1: S1 | 3 | 100.00% | 3 |

Direct Toppling

| Base Plane | Critical | % | Total |
|-------------|----------|--------|-------|
| All Vectors | 5 | 15.63% | 32 |

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

bs7,dips8

02.12.2020, 15:52:12

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|-------|------------|--------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 17 | 3.43% | 26 | 5.24% | 496 |
| All Set Planes | 0 | 0.00% | 4 | 7.27% | 55 |
| Set 1: S1 vs Set 2: F1 Planes | 0 | 0.00% | 4 | 26.67% | 15 |
| Set 1: S1 vs Set 3: S2 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 15 |
| Set 2: F1 vs Set 3: S2 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 25 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |

bs7,dips8

02.12.2020, 15:52:12

Figur 91: Nordsetervatnet kinematisk analyse bergskjæring 6

Dips Analysis Information Nordsetervatnet, bergskjæring 7

Project Summary

File Name: B58
Last saved with Dips version: 8.009
Project Title: Nordsetervatnet, bergskjæring 7
Author: Sarah Mari Sande
Date Created: 02.12.2020, 15:53:10

General Settings

Data Format: Dip / Dip Direction
Magnetic Declination (E pos): 0°
Multiple Data Flag (Quantity): OFF
Distance Column: OFF
Extra Data Columns: 0
Units: Metric
Poles: 41
Entries: 41

Traverses

No traverse information available.

Global Mean

| | Dip | Dip Direction |
|------------|-------|---------------|
| Unweighted | 43.26 | 184.68 |
| Weighted | 43.26 | 184.68 |

Global Best Fit

| Unweighted | | | |
|------------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 55.76 | 171.14 | 0.789872 |
| S2 | 40.52 | 313.92 | 0.158375 |
| S3 | 71.04 | 67.62 | 0.051753 |

Woodcock S1 / S3 = 15.262
Woodcock K = 1.437
Woodcock C = 2.725

| Weighted | | | |
|----------|-------|---------------|------------|
| | Dip | Dip Direction | Eigenvalue |
| S1 | 55.76 | 171.14 | 0.789872 |
| S2 | 40.52 | 313.92 | 0.158375 |
| S3 | 71.04 | 67.62 | 0.051753 |

Woodcock S1 / S3 = 15.262
Woodcock K = 1.437
Woodcock C = 2.725

Mean Set Planes

| ID | Dip | Dip Direction | Label |
|----|-------|---------------|-------|
| 1m | 45.49 | 175.28 | F1 |
| 2m | 88.55 | 338.61 | S2 |
| 3m | 83.49 | 312.00 | S1 |

Set Statistics

Set: 1m: F1

Poles: 29
Entries: 29
Fisher's K: 22.0836

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 18.5522° | 30.6638° | 43.0744° | 14.3932° |
| Confidence Limit | 3.50811° | 5.75602° | 7.99474° | 2.72625° |

Set: 2m: S2

Poles: 7
Entries: 7
Fisher's K: 56.3332

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 11.5848° | 19.0584° | 26.5764° | 8.99735° |
| Confidence Limit | 4.40592° | 7.23023° | 10.0446° | 3.42384° |

Set: 3m: S1

Poles: 2
Entries: 2
Fisher's K: 359.476

| | 68.26% | 95.44% | 99.74% | 50% |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Variability Limit | 4.57944° | 7.51523° | 10.4411° | 3.55865° |
| Confidence Limit | 3.23998° | 5.31586° | 7.38297° | 2.5179° |

Set Windows

| Set ID | Window | Type | Wrapped |
|--------|--------|------------------|---------|
| 1 | 1a | Cluster Analysis | No |
| 2 | 2a | Cluster Analysis | No |
| 2 | 2b | Cluster Analysis | Yes |
| 3 | 3a | Cluster Analysis | No |

Intersections

| Intersection Type | Number |
|---------------------------------------|--------|
| Grid Data Planes | 820 |
| All Set Planes | 275 |
| Set 1: F1 vs Set 2: S2 Planes | 203 |
| Set 1: F1 vs Set 3: S1 Planes | 58 |
| Set 2: S2 vs Set 3: S1 Planes | 14 |
| User and Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |
| User Planes | 0 |
| Mean Set (Unweighted) Planes | 3 |

Kinematic Analysis

Slope Dip: 70
Slope Dip Direction: 80
Friction Angle: 30°
Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 0 | 0.00% | 41 |

Planar Sliding (No Limits)

| Planar Sliding | Critical | % | Total |
|----------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 0 | 0.00% | 41 |

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|-------|------------|-------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 43 | 5.24% | 0 | 0.00% | 820 |
| All Set Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 275 |
| Set 1: F1 vs Set 2: S2 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 203 |
| Set 1: F1 vs Set 3: S1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 58 |
| Set 2: S2 vs Set 3: S1 Planes | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 14 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 3 |

Flexural Toppling

| Flexural Toppling | Critical | % | Total |
|-------------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 1 | 2.44% | 41 |

Direct Toppling

| Base Plane | Critical | % | Total |
|-------------|----------|-------|-------|
| All Vectors | 2 | 4.88% | 41 |
| Set 1: F1 | 2 | 6.90% | 29 |

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

| Intersection Type | Critical 1 | % | Critical 2 | % | Total |
|--|------------|--------|------------|--------|-------|
| Grid Data Plane Intersections | 167 | 20.37% | 25 | 3.05% | 820 |
| All Set Planes | 88 | 32.00% | 4 | 1.45% | 275 |
| Set 1: F1 vs Set 2: S2 Planes | 70 | 34.48% | 1 | 0.49% | 203 |
| Set 1: F1 vs Set 3: S1 Planes | 11 | 18.97% | 0 | 0.00% | 58 |
| Set 2: S2 vs Set 3: S1 Planes | 7 | 50.00% | 3 | 21.43% | 14 |
| User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections | 1 | 33.33% | 0 | 0.00% | 3 |
| User Plane Intersections | No results | | | | |
| Mean Set Plane (Unweighted) Intersections | 1 | 33.33% | 0 | 0.00% | 3 |

Figur 92: Nordsetervatnet kinematisk analyse bergskjæring 7

Vedlegg G Eksempelskjema for feltkartleggingen

13.1.2021

Klassifisering Skola-Olsøy (prosjekt 1)

Klassifisering Skola-Olsøy (prosjekt 1)

*Må fylles ut

1. Bergskjæring nummer

2. Hp fra:

3. Hp til:

4. Skjæringsorientering:

5. Skjæringshøyde:

6. Veiens orientering:

7. Grøfte bredde:

8. Mengde sikring

9. Antall sprekker pr. m2 *

10. RQD (Q-sys)

Markér bare én oval.

- A: 0-25
- B: 25-50
- C: 50-75
- D: 75-90
- E: 90-100

Tabell 1 RQD-verdier og antall sprekker per m³.

| I RQD = Oppsprekkingsfaktor (Rock Quality Designation) | | | RQD |
|--|--------------|--------------------------------------|--------|
| A | Svært dårlig | (> 27 sprekker per m ³) | 0-25 |
| B | Dårlig | (20-27 sprekker per m ³) | 25-50 |
| C | Middels | (13-19 sprekker per m ³) | 50-75 |
| D | God | (8-12 sprekker per m ³) | 75-90 |
| E | Utmerket | (0-7 sprekker per m ³) | 90-100 |

Mer: i) Der RQD er rapportert eller målt til ≤ 10 (inklusive 0), brukes verdien 10 for å bestemme Q-verdien
 ii) RQD-intervaller på 5, dvs. 100, 95, 90, osv., er tilstrekkelig nøyaktige

11. Antall sprekke sett + tilfeldige (J_n)

Markér bare én oval.

- A: 0,5-1,0
- B: 2
- C: 3
- D: 4
- E: 6
- F: 9
- G: 12
- H: 15
- J: 20

Tabell 2 J_n -verdier.

| 2 $J_n =$ Tall for sprekkesett | | J_n |
|--------------------------------|---|---------|
| A | Massivt, ingen eller få sprekker | 0,5-1,0 |
| B | Ett sprekkesett | 2 |
| C | Ett sprekkesett pluss tilfeldige sprekker | 3 |
| D | To sprekkesett | 4 |
| E | To sprekkesett pluss tilfeldige sprekker | 6 |
| F | Tre sprekkesett | 9 |
| G | Tre sprekkesett pluss tilfeldige sprekker | 12 |
| H | Fire eller flere sprekkesett, tilfeldig og sterkt oppsprukket "sukkerbitberg", osv. | 15 |
| J | Knust berg, jordaktig | 20 |

Merk: i) For tunnelkryss, bruk $3 \times J_n$
 ii) For påhug, bruk $2 \times J_n$

12. Sprekke ruhetstall (Jr)

Markér bare én oval per rad

| | A: 4 | B: 3 | C: 2 | D: 1,5 | E: 1,5 | F: 1 | G: 0,5 | H: 1 | J: 1 |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| F1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S2 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S3 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S4 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Q-slope

| <i>(c) No rock-wall contact when sheared</i> | | |
|--|---|-----|
| H | Zone containing clay minerals thick enough to prevent rock-wall contact. | 1.0 |
| J | Sandy, gravely or crushed zone thick enough to prevent rock-wall contact. | 1.0 |

Q-metoden

Tabell 3 J_r - verdier.

| 3 $J_r =$ Sprekkeruhetsfall | | J_r |
|---|---|-------|
| a) Bergveggkontakt, og b) Bergveggkontakt før skjærbevegelsen har gått 10 cm | | |
| A | Diskontinuerlige sprekker | 4 |
| B | Ru eller ujevn, bølgete | 3 |
| C | Glatt, bølgete | 2 |
| D | Glidespeil, bølgete | 1,5 |
| E | Ru, ujevn, plan | 1,5 |
| F | Glatt, plan | 1 |
| G | Glidespeil, plan | 0,5 |
| Merk: i) Beskrivelse henviser til småskalaegenskaper og mellomskalaegenskaper, i den rekkefølgen | | |
| c) Ingen bergkontakt ved skjærbevegelse | | |
| H | Sone som inneholder leirfylling tykk nok til å forhindre bergkontakt ved skjærdeformasjon | 1 |
| Merk: ii) Legg til 1 hvis gjennomsnittlig avstand i det relevante sprekkesettet er mer enn 3 m (avhenger av størrelsen på tunnelåpningen) iii) $J_r = 0,5$ kan brukes for plane glidespeil med lineasjon, forutsatt at lineasjonen er orientert i sannsynlig bevegelsesretning | | |

13. Tall sprekkefylling (ja)

Markér bare én oval per rad

| | A: 0,75 | B: 1 | C: 2 | D: 3 | E: 4 | F: 4 | G: 6 | H: 8 | I: 8-12 |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| F1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S2 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S3 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S4 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Tabell 4 J_o -verdier.

| 4 J_o = Tall for sprekkefylling | | Φ_r | J_o |
|--|--|----------|-------|
| a) Bergkontakt (ingen mineralfylling, bare belegg) | | | |
| A | Sammenvokste sprekker med harde mineraler som kvarts eller epidot. | | 0,75 |
| B | Uomvandlede sprekkeflater, bare overflateoksidasjon. | 25-35° | 1 |
| C | Svakt omvandlede sprekkeflater. Uoppbløtelig mineralbelegg, sandpartikler, oppknust berg uten leir. | 25-30° | 2 |
| D | Siltig eller sandig sprekkebelegg, litt leir (ikke svellende). | 20-25° | 3 |
| E | Oppbløtelig leirbelegg med lav friksjon, f.eks. kaolinitt eller glimmer. Også kloritt, talk gips, grafit osv. og små mengder svelleleire. | 8-16° | 4 |
| b) Bergkontakt før 10 cm skjærdeformasjon (tynn mineralfylling) | | | |
| F | Sandige partikler, oppknust berg, ikke leir. | 25-30° | 4 |
| G | Sterkt overkonsolidert, uoppbløtelig fylling av leirmineraler (kontinuerlig, men <5 mm tykkelse). | 16-24° | 6 |
| H | Middels eller litt overkonsolidert fylling av oppbløtelig leirmateriale (kontinuerlig, men <5 mm tykkelse). | 12-16° | 8 |
| J | Fylling av svelleleire, dvs. montmorillonitt (kontinuerlig, men <5 mm tykkelse). J_o -verdien avhenger av prosentvis innhold av svelleleire. | 6-12° | 8-12 |
| c) Ingen bergkontakt ved skjærdeformasjon (tykk mineralfylling) | | | |
| K | Soner og bånd av desintegret eller knust berg. Sterkt overkonsolidert, uoppbløtelig fylling. | 16-24° | 6 |
| L | Soner og bånd av knust eller desintegret berg og leir. Middels til litt overkonsolidert uoppbløtelig fylling. | 12-16° | 8 |
| M | Soner og bånd av leir eller knust eller desintegret berg. J_o -verdien avhenger av prosentvis innhold av svelleleire. | 6-12° | 8-12 |
| N | Tykke kontinuerlige soner eller bånd med leir. Sterkt overkonsolidert. | 12-16° | 10 |
| O | Tykke kontinuerlige soner eller bånd med leir. Middels-til-lav overkonsolidering | 12-16° | 13 |
| P | Tykke kontinuerlige soner eller bånd med leir. Svelleleire. J_o avhenger av prosentvis innhold av svelleleire. | 6-12° | 13-20 |

Q-slope

| <i>(c) No rock-wall contact when sheared (thick clay/crushed rock fillings)</i> | | |
|---|--|------------------|
| M | Zones or bands of disintegrated or crushed rock and clay (see G, H, J for description of clay condition) | 6, 8, or 8-12 |
| N | Zones or bands of silty- or sandy-clay, small clay fraction (non-softening) | 5,0 |
| OPR | Thick, continuous zones or bands of clay (see G, H, J for description of clay condition) | 10, 13, or 13-20 |

14. Sprekkevannstall (J_w)

Markér bare én oval.

- A: 1
- B: 0,66
- C: 0,5
- D: 0,33
- E: 0,2-0,1
- F: 0,1-0,05

Tabell 5 J_w - verdier.

| 5 | $J_w =$ Sprekkevannstall | J_w |
|---|---|----------|
| A | Tørre bergrom eller mindre innsig (fuktig eller noen få drypp) | 1,0 |
| B | Middels innsig, av og til utvasking av sprekkefyllinger (mange drypp/"regn") | 0,66 |
| C | Vannstråler eller høyt trykk i kompetent berg med ufylte sprekker | 0,5 |
| D | Stort tilsig eller høyt trykk, betydelig utvasking av sprekkefyllinger | 0,33 |
| E | Usedvanlig høy innstrømming eller vanntrykket avtar med tid. Forårsaker utvasking av materialer og kanskje utrasinger | 0,2-0,1 |
| F | Usedvanlig høy innstrømming eller vanntrykket fortsetter uten merkbar reduksjon. Forårsaker utvasking av materialer og kanskje utrasinger | 0,1-0,05 |

Merk: I) Faktorene C til F er grove estimater. Øk J_w hvis berget dreneres eller det utføres injeksjon.
 II) Spesielle problemer forårsaket av isdannelse er ikke tatt med i betraktning

15. SRF

Markér bare én oval.

- A: 10
- B: 7,5
- C: 5
- D: 5
- E: 2,5
- F: 2,5
- G: 1
- H: 0,5-2
- H: 2-5
- J: 5-50
- K: 50-200
- L: 200-400
- M: 5-10
- N: 10-20
- O: 5-10
- P: 10-15
- Andre: _____

Tabell 6 SRF-verdier.

| 6 SRF = Spenningsfaktor (Stress Reduction Factor) | | | | SRF | | |
|--|---|--------|----------|-----------------------|-----------------------|------------|
| a) Svakhetszoner som krysser tunnelen eller bergrommet, som kan føre til at bergmasse løsner | | | | | | |
| A | Hyppig oppreden av svakhetszoner som inneholder leire eller kjemisk forvitret berg, avspent berg (uansett dybde), eller lange seksjoner med inkompetent (svakt) berg (uansett dybde). For skvising, se 6L og 6M | | | 10 | | |
| B | Flere skjærsoner innenfor en kort seksjon i kompetent avspent sideberg (uansett dybde) | | | 7,5 | | |
| C | Enkeltstående svakhetszoner med eller uten leire eller kjemisk forvitret berg (dybde \leq 50 m) | | | 5 | | |
| D | Ukonsoliderte, åpne sprekker, mange sprekker eller "sukkerbit", osv. (uansett dybde) | | | 5 | | |
| E | Enkeltstående svakhetszoner med eller uten leire eller kjemisk forvitret berg (dybde $>$ 50 m) | | | 2,5 | | |
| Merk: i) Reduser disse SRF-verdiene med 25-50 % hvis svakhetssonene bare påvirker men ikke krysser den underjordiske åpningen | | | | | | |
| b) Kompetent, hovedsakelig massivt berg, spenningsproblemer | | | | σ_c / σ_1 | σ_3 / σ_c | SRF |
| F | Lave spenninger, nær overflaten, åpne sprekker | >200 | $<0,01$ | 2,5 | | |
| G | Middels spenning, gunstige spenningsforhold | 200-10 | 0,01-0,3 | 1 | | |
| H | Høye spenninger, svært tett struktur. Vanligvis gunstig for stabiliteten. Kan også være ugunstig for stabiliteten, avhengig av retningen på spenningene sammenliknet med sprekke dannelse/svakhetsplan* | 10-5 | 0,3-0,4 | 0,5-2 2-5* | | |
| J | Moderat avskalling etter $>$ 1 time i massivt berg | 5-3 | 0,5-0,65 | 5-50 | | |
| K | Avskalling og bergslag etter noen minutter i massivt berg | 3-2 | 0,65-1 | 50-200 | | |
| L | Intens bergslag og umiddelbar dynamisk deformasjon i massivt berg | <2 | >1 | 200-400 | | |
| Merk: ii) For sterkt anisotropiske urerte spenningsfelt (om målt): når $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$, reduser σ_c til $0,75 \sigma_c$. Når $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$, reduser σ_c til $0,5 \sigma_c$, der σ_c = fri trykfasthet, σ_1 og σ_3 er de primære og sekundære spenningene, og σ_c = maksimum tangential spenning (estimert fra elastisk teori) ii) Når dybden av hengt under overflaten er mindre enn spennet, foreslås det at SRF økes fra 2,5 til 5 for slike tilfeller (se F) | | | | | | |
| c) Skvisberg: plastisk deformasjon i ikke kompetent berg under påvirkning av høyt trykk | | | | σ_3 / σ_c | SRF | |
| M | Moderat skvisende bergtrykk | 1-5 | 5-10 | | | |
| N | Intens skvisende bergtrykk | >5 | 10-20 | | | |
| Merk: iv) For bestemmelse av skvisende bergforhold henvises til relevant litteratur (dvs. Singh et al., 1992 og Bhasin og Grimstad, 1996) | | | | | | |
| d) Svellende berg: kjemisk sveleaktivitet ved tilgang på vann | | | | SRF | | |
| O | Moderat svelling | | | 5-10 | | |
| P | Intens svelling | | | 10-15 | | |

16. O-factor

Markér bare én oval per rad

| | A: 2 | A: 1 | A: 0,75 | A: 0,5 | A: 0,25 | B: 1,5 | B: 1 | B: 0,9 | B: 0,8 |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| A | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| B | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Table 5 Discontinuity orientation factor—O-factor

From: [The Q-Slope Method for Rock Slope Engineering](#)

| O-factor description | Set A | Set B |
|--------------------------------|-------|-------|
| Very favorably oriented | 2.0 | 1.5 |
| Quite favorable | 1.0 | 1.0 |
| Unfavorable | 0.75 | 0.9 |
| Very unfavorable | 0.50 | 0.8 |
| Causing failure if unsupported | 0.25 | 0.5 |

A- Mest ugunstige diskontinitet

B- Andre ugunstige diskontinitet.

17. Jw

Merk av for alt som passer

| | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,9 |
|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Vått miljø | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Is-sprang | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Table 6 Environmental and geological condition number

From: [The Q-Slope Method for Rock Slope Engineering](#)

| J_{wice}^a | Desert environment | Wet environment | Tropical storms | Ice wedging |
|--------------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Stable structure; competent rock | 1.0 | 0.7 | 0.5 | 0.9 |
| Stable structure; incompetent rock | 0.7 | 0.6 | 0.3 | 0.5 |
| Unstable structure; competent rock | 0.8 | 0.5 | 0.1 | 0.3 |
| Unstable structure; incompetent rock | 0.5 | 0.3 | 0.05 | 0.2 |

^aWhen drainage measures are installed, apply $J_{wice} \times 1.5$, when slope reinforcement measures are installed, apply $J_{wice} \times 1.3$, and when drainage and reinforcement are installed, apply both factors $J_{wice} \times 1.5 \times 1.3$

18. SRF_a

Markér bare én oval.

- A: 2,5
- B: 5
- C: 10
- D: 15
- E: 20

Skjærings overflate:

Table 7 SRF_a physical conditionFrom: [The Q-Slope Method for Rock Slope Engineering](#)

| Description | SRF _a |
|--|------------------|
| A Slight loosening due to surface location, disturbance from blasting or excavation | 2.5 |
| B Loose blocks, signs of tension cracks and joint shearing, susceptibility to weathering, severe disturbance from blasting | 5 |
| C As B, but strong susceptibility to weathering | 10 |
| D Slope is in advanced stage of erosion and loosening due to periodic erosion by water and/or ice-wedging effects | 15 |
| E Residual slope with significant transport of material downslope | 20 |

19. SRFb

Markér bare én oval.

- F: 2,5-1
- G: 5- 2,5
- H: 10-5
- J: 15-10
- K: 20-15
- Ikke aktuell

Ugunstige spenningsstyrkeområder:

Table 8 SRF_b stress and strength

From: [The Q-Slope Method for Rock Slope Engineering](#)

| Description | σ_1/σ_1^a | SRF _b |
|--|-----------------------|------------------|
| F Moderate stress-strength range | 50-200 | 2.5-1 |
| G High stress-strength range | 10-50 | 5-2.5 |
| H Localized intact rock failure | 5-10 | 10-5 |
| J Crushing or plastic yield | 2.5-5 | 15-10 |
| K Plastic flow of strain softened material | 1-2.5 | 20-15 |

^a σ_c = unconfined compressive strength (UCS), σ_1 = maximum principal stress

20. SRFc

Merk av for alt som passer

| | 1 | 2 | 4 | 8 | 12 | 16 | 24 |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| M | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| N | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Strøste diskontinuiteter, svakhetssoner, forkastninger sprekkeseett.

Table 9 SRF_c major discontinuity

From: [The Q-Slope Method for Rock Slope Engineering](#)

| SRF _c | Favorable | Unfavorable | Very unfavorable | Causing failure if unsupported |
|---|-----------|-------------|------------------|--------------------------------|
| L Major discontinuity with little or no clay | 1 | 2 | 4 | 8 |
| M Major discontinuity with RQD ₁₀₀ = 0 ^a due to clay and crushed rock | 2 | 4 | 8 | 16 |
| N Major discontinuity with RQD ₃₀₀ = 0 ^b due to clay and crushed rock | 4 | 8 | 12 | 24 |

^aRQD₁₀₀ = 1 m perpendicular sample of discontinuity, ^b RQD₃₀₀ = 3 m perpendicular sample of discontinuity

21. Bergartsstyrke (MPa)

Merk av for alt som passer

| | 250 | 100-250 | 50-100 | 25-50 | 5-25 | 1-5 |
|--------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Kniv | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Hammer | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Table 7. Manual Index Text for Assessing Rock Strength (ISRM)

| Rock description | Range of C _o (MPa) | Pocket knife | Field identification |
|------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------------|
| | | | Geological hammer |
| Ext. strong | 250 | No peeling | Only chips after impact |
| Very strong | 100-250 | No peeling | Many blows to fracture |
| Strong | 50-100 | No peeling | Several blows to fracture |
| Med. strong | 25-50 | No peeling | A firm blow to fracture |
| Weak | 5-25 | Difficult peeling | Can indent |
| Very weak | 1-5 | Easy peeling | Can crumble |

22. USC i RMR

Markér bare én oval.

- 15
- 12
- 7
- 4
- 2
- 1
- 0

| Parameter | | Range of values | | | | | | | |
|-----------|----------------------------------|---------------------------|----------|---------------|--------------|-------------|---|-----------|---------|
| 1 | Strength of intact rock material | Point-load strength index | >10 MPa | 4 - 10 MPa | 2 - 4 MPa | 1 - 2 MPa | For this low range - uniaxial compressive test is preferred | | |
| | | Uniaxial comp. strength | >250 MPa | 100 - 250 MPa | 50 - 100 MPa | 25 - 50 MPa | 5 - 25 MPa | 1 - 5 MPa | < 1 MPa |
| | Rating | | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 |

23. RQD, RMR

Markér bare én oval.

- 20
- 17
- 13
- 8
- 3

| Drill core Quality RQD | | 90% - 100% | 75% - 90% | 50% - 75% | 25% - 50% | < 25% |
|------------------------|--------|------------|-----------|-----------|-----------|-------|
| 2 | Rating | 20 | 17 | 13 | 8 | 3 |

24. Sprekke avstand

Markér bare én oval per rad

| | >2m : 20 | 0,6-2m: 15 | 200-600mm: 10 | 60-200mm: 8 | <60mm: 5 |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| F1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S2 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S3 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S4 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Table 12: Rating related to spacing of discontinuities (Bieniawski, 1989)

| Spacing in cm | | | | | |
|---------------|-------|----------|---------|--------|-----|
| Spacing | > 200 | 200 – 60 | 60 – 20 | 20 – 6 | < 6 |
| Rating | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 |

25. Sprekke tilstand

Markér bare én oval per rad

| | 30 | 25 | 20 | 10 | 0 |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| F1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S2 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S3 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S4 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Table 13: Rating related to conditions of discontinuities (Bieniawski, 1989)

| Rating | Description |
|--------|---|
| 30 | Very rough surface, not continuous, no separation, unweathered |
| 25 | Slightly rough surface, separation < 1 mm, slightly weathered |
| 20 | Slightly rough surface, separation < 1 mm, highly weathered |
| 10 | Slickensided surface or gouge < 5 mm thick or separation 1 – 5 mm, continuous |
| 0 | Soft gouge > 5 mm or separation > 5 mm, continuous |

| Condition of discontinuities (See E) | Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock | Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls | Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls | Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous | Soft gouge >5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous |
|--------------------------------------|---|--|--|--|--|
| Rating | 30 | 25 | 20 | 10 | 0 |

26. Vann

Markér bare én oval.

- Tørr : 15
 damp: 10
 våt: 7
 dryppende: 4
 flytende: 0

| Groundwater | Inflow per 10 m tunnel length (l/m) | None | < 10 | 10 - 25 | 25 - 125 | > 125 |
|--------------------|---|------|-------|-----------|-----------|-------|
| | (Joint water press./ (Major principal σ)) | 0 | < 0.1 | 0.1 - 0.2 | 0.2 - 0.5 | > 0.5 |
| General conditions | Completely dry | Damp | Wet | Dripping | Flowing | |
| Rating | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 | |

27. Strøk orientering i forhold til bergskjæring

Markér bare én oval per rad

| | veldig gunstig: 0 | Gunstig: -5 | god: -25 | ugunstig: -50 | veldig ugunstig |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| F1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S2 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S3 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S4 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Table 15: Rating related to discontinuity orientation (Bieniawski, 1989)

| Type of structure | Rating related to orientation | | | | |
|-------------------|-------------------------------|-----------|------|-------------|------------------|
| | Very favorable | Favorable | Fair | Unfavorable | Very unfavorable |
| Tunnels | 0 | - 2 | - 5 | - 10 | - 12 |
| Foundations | 0 | - 2 | - 7 | - 15 | - 25 |
| Slopes | 0 | - 5 | - 25 | - 50 | - 60 |

| Strike and dip orientations | | Very favourable | Favourable | Fair | Unfavourable | Very Unfavourable |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|------------|------|--------------|-------------------|
| Ratings | Tunnels & mines | 0 | -2 | -5 | -10 | -12 |
| | Foundations | 0 | -2 | -7 | -15 | -25 |
| | Slopes | 0 | -5 | -25 | -50 | |

28. Sprekkelengder

Markér bare én oval per rad

| | <1m : 6 | 1-3m: 4 | 3-10m: 2 | 10-20m: 1 | >20m: 0 |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| F1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S2 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S3 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S4 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

29. Seperasjon

Markér bare én oval per rad

| | ingen : 6 | <0,1mm: 5 | 0,1-1mm: 4 | 1-5mm: 1 | >5mm: 0 |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| F1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S2 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S3 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S4 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

30. Rugness

Markér bare én oval per rad

| | vedig rough :6 | rough: 5 | litt rough :3 | glatt: 1 | slickenlided: 0 |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| F1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S2 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S3 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S4 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

31. Sprekkefylling

Markér bare én oval per rad

| | ingen: 6 | hardfylt <5mm: 4 | hadtfyll >5mm: 2 | mykfilling <5mm: 2 | mykfilling>5mm: 0 |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| F1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S2 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S3 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S4 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

32. Forvitring

Markér bare én oval per rad

| | uforvittret: 6 | noe forvittret: 5 | moderatforvittret: 3 | mye forvittret: 1 | Dekompostert: 0 |
|----|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| F1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S2 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S3 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S4 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

33. Skjæringstilstand (Tabell9)

Markér bare én oval.

- 1a
- 1b
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

Table 9. Classification for Wall Weathering (ISRM)

| Grade | Term | Decomposed rock (%) | Description |
|-------|----------------------|---------------------|--|
| Ia | Fresh | - | No visible weathering |
| Ib | Fresh | - | Slight discoloration of walls |
| II | Slightly weathered | < 10 | General discoloration |
| III | Moderately weathered | 10-50 | Part of rock is decomposed. Fresh rock is a continuum |
| IV | Highly weathered | 50-90 | General decomposition of rock. Some fresh rock appears |
| V | Completely weathered | > 90 | All rock is decomposed. Original structure remains |
| VI | Residual soil | 100 | All rock is converted to soil. Original structure is destroyed |

34. SMR ruhet/fylling

Markér bare én oval per rad

| | veldig ru : 10 | ru : 9 | noe ru : 8 | glatt: 6 | slickenslided og gouge: 5 | Myk gouge: 0 |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| F1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S2 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S3 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S4 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

35. Seperasjon

Markér bare én oval per rad

| | lukket (<0.1 mm): 9 | moderat åpen(0,1-1mm): 7 | åpen(1-5mm): 5 | veldig åpen: 0 |
|----|------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| F1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S2 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S3 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S4 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

36. Presistence

Markér bare én oval per rad

| | ikke kontinuerelig: 5 | subkont: 3 | kontinuerelig: 0 |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| F1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S1 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S2 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S3 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| S4 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

37. forvittring

Markér bare én oval.

- Frisk: 6
- Noe forvitret: 5
- moderat forvitret: 3
- veldig forvitret: 0
- Helt forvitret: 0

38. grunnvann

Markér bare én oval per rad

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| A | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| B | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| C | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| D | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| E | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Table 11. Groundwater Conditions (ISRM, Romana)

| Description | Unfilled joints | | Filled joints | |
|-------------|-----------------|------------|---------------|------------|
| | Joint | Flow | Filling | Flow |
| Comp. Dry | Dry | No | Dry | No |
| Damp | Stained | NO | Damp | No |
| Wet | Damp | No | Wet | Some drips |
| Dripping | Wet | Occasional | Outwash | Dripping |
| Flowing | Wet | Continuous | Washed | Continuous |

