

Analyse av stabilitet og utløpslengde for moglege steinskred frå fjellside ved Sjøåsberget

Synnøve Flugekvam Nordang

Geologi

Innlevert: desember 2017

Hovudrettleiar: Bjørn Nilsen, IGP

Medveileidar: Gudrun Dreiås Majala, NVE, Fjellskredseksjonen

Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet
Institut for geovitenskap og petroleum



MASTEROPPGAVE

Prosjektbeskrivelse

Kandidatens navn: Synnøve Flugekvam Nordang

Oppgavens tittel:

ANALYSE AV STABILITET OG UTLØPSLENGDE FOR MULIGE STEINSKRED FRA FJELLSIDE VED SJØÅSBERGET

English title: Analysis of stability and propagation reach for potential rockfall at Sjøåsberget

Utfyllende tekst:

1.

Ved Sjøåsberget i Namdalseid kommune er det ei fjellside med usikker stabilitet som representerer en potensiell fare for nedenforliggende bebyggelse. Spesielt stabiliteten av ei stor, sprekkeavløst blokk i dette fjellpartiet har vært diskutert ved flere tidligere anledninger. Hovedmålet med denne masteroppgaven er å foreta systematisk stabilitetsanalyse basert på sikrere inngangsparametre, og å analysere rekkevidden for mulige steinskred fra fjellsida ved Sjøåsberget. Ingeniørgeologisk kartlegging og prøvetaking er tidligere foretatt av kandidaten i forbindelse med sommer-jobb for NVE i 2016. I det videre arbeidet skal det legges spesiell vekt på:

- Laboratorieanalyser og gjennomgang av empirisk grunnlag for etablering av mest mulig sikre inngangsparametre for stabilitets- og utløpsanalyser.
- Mulig anvendelse av tilbakeregning som grunnlag for kvantifisering og kvalitetskontroll av inngangsparametre.
- Stabilitetsanalyse på grunnlag av likevektsberegning og numerisk analyse, ved hjelp av RS², Slide eller lignende programvare.
- Analyse av utløpslengde ved hjelp av ulike programvarer som RocFall, Rockyfor3D eller lignende og sammenligning av resultater for disse.

Ytterligere kartlegging og eventuelt LiDAR-scanning skal gjennomføres i den grad tida tillater det og det vurderes nødvendig for gjennomføring av oppgaven.

2.

Oppgaven gjennomføres i samarbeid med NVE, Fjellskredseksjonen med ingeolog Gudrun Dreiås Majala som kontaktperson og medveileder.

Studieretning: Geologi

Hovedprofil: Miljø- og geoteknologi

Tidsrom: 15.1.2017-1.12.2017

Bjørn Nilsen, Professor/hovedveileder

SKJEMAET TAS INN SOM SIDE 1 I MASTEROPPGAVEN
NTNU, 14.2.2017

Samandrag

Ved Sjøåsberget i Namdalseid kommune er det ei fjellside med usikker stabilitet som representerer ein potensiell fare for busetnad nedanfor. Spesielt stabiliteten til ei stor, sprekkeavløyst blokk i dette fjellpartiet har vore diskutert ved fleire tidlegare høve, og blir her kalla «Sjøåsblokka». Hovudformålet med masteroppgåva er å utføre ei systematisk stabilitetsanalyse basert på kvalitetssikra inngangsparametrar, samt å analysere rekkevidda for moglege steinskred frå fjellsida ved Sjøåsberget.

Feltpartlegging og laboratoriearbeid har blitt lagt til grunn som inngangsparametrar til stabilitets- og utløpsanalyser og vurderingar elles av Sjøåsberget. Generelt for Sjøåsberget har det blitt utført kinematisk analyser og lengdeprofil av kritiske sprekker, for å identifisere potensielle ustabile parti ved Sjøåsberget. Frå dette er det Sjøåsblokka som verka mest potensiell ustabil, og andre parti og scenario blir vurdert som truleg stabile og mindre sannsynlege. Det er også lite som tyder på stadfesta eller signifikante rørsler ved Sjøåsberget og Sjøåsblokka frå InSAR-målingar og måleboltar.

Skråningsstabilitet og farevurdering av Sjøåsblokka har blitt vurdert og berekna etter partialfaktor-metoden, som er krav via teknisk forskrift (TEK17). Berekninga har vore via deterministisk og probabilistisk analyse samt sensitivitetsanalyse av inngangsparametrar. Eit forslag til mogleg framgangsmetode i vurderinga av seismisk aktivitet etter den relativt nye metoden i Eurokode 8 har også blitt gjort greie for. Det same gjeld metoden som er nytta i farevurderinga. Her har kjende metodar for skråningsstabilitet blitt adaptert til å vurdere steinsprangfare etter TEK17 sine tryggleiksklassekrav.

Summen av stabiliserande krefter (ΣR_d) er langt større enn summen av drivande krefter (ΣF_d) ved Sjøåsblokka, og er per definisjon stabilt etter partialfaktor-metoden. I overføringa til ein «sikkerheitsfaktor» ($\Sigma R_d/\Sigma F_d$) vil dette tilsvare verdiar mellom 4 og 5 for den deterministiske analysen. Den probabilistiske analysen gjev ein mest sannsynleg verdi på 3,90, og eit sannsyn for kollaps på 0,01 %. Sjøåsblokka kan oppnå ein likevektstilstand dersom ein justerer *JRC*-verdien til rundt 2 for begge glideplana. Så låge *JRC*-verdiar verkar lite representativt for forholda ved Sjøåsblokka eller sprekkeflater generelt ved Sjøåsberget.

Farevurderinga av Sjøåsblokka er basert på ei akkumulert sannsynleg rekkevidde som ein kombinasjon av sannsyn for kollaps og sannsynleg rekkevidde frå utløpsmodellering. Fokuset er på dei to husa nærmast Sjøåsberget med antatt levetid til bustadhus på 50 år.

RocFall «rigid body» og Rockyfor3D har dei mest konservative utløpa, men også meir usikre inngangsparametrar der ikkje alt verkar like reelt. Trajecto3D er rimeleg likt RocFall «lumped mass» i utløp, der desse modellane er minst konservative. Utløpsdistansen til RocFall «lumped mass» er vektlagt på grunn av mest sikre inngangsparametar. Trajecto3D er under utvikling og kan bli ein nyttig og lovande 3D-modell.

Med eit utløp frå den mest konservative simuleringsmodellen som grunnlag, blir det årlege sannsynet for steinsprang frå Sjøåsblokka estimert til å vere langt mindre enn TEK17 sine tryggleiksklassekrav for bustadhus. I følgje denne vurderinga er det difor ikkje naudsynt med noko sikring av eksisterande busetnad ved Sjøåsen som følgje av Sjøåsblokka. Dette under føresetnad av at dei tolkingar og antagelsar som er gjort samt parameterinnputt er fornuftige og representer situasjonen til Sjøåsblokka på ein god måte. Farevurdering har blitt utført spesifikt på Sjøåsblokka og seier ingen ting om steinsprangfaren knytt til andre parti eller fjellsida generelt ved Sjøåsberget. Under Sjøåsberget er det observert få nylege steinsprang som kan tyde på låg steinsprangaktivitet. Skogen har potensial til å dempe steinsprang $< 1 \text{ m}^3$, men vil lite truleg stoppe alle blokker.

Abstract

A rock slope called Sjøåsberget in the municipality of Namdalseid in Norway has an uncertain stability that represents a potential danger to the residences down slope. The stability concerning a large threatening block called “Sjøåsblokka” has been discussed several times. The aim of this thesis is to perform a systematic stability analysis with parameters of assured quality, including an run-out analysis of potential rock fall from the current rock slope of interest.

Engineering geological mapping of the area and laboratory tests has been of importance to quantify the parameters of the stability analysis, run-out modelling and evaluations of the rock slope. Kinematic analysis and structural profiles of critical joints were made of Sjøåsberget to identify potential unstable slopes. From this, “Sjøåsblokka” appeared to be the most critical one, while other parts of the slope seemed stable and less threatening. Displacement measurements from InSAR and the measuring rods at the site does not confirm or give any likely significant displacement from the rock slope or “Sjøåsblokka”.

Rock slope stability analysis and hazard evaluation has been performed on the threatening block “Sjøåsblokka”, where calculations are according to the partial factor method as required by the Norwegian “Directorate for building quality” (TEK17). The stability analysis includes a deterministic and probabilistic approach with a supplementing sensitivity analysis of important parameters. A suggestion is made to the procedure concerning the relatively new method on how to evaluate seismic activity in Eurocode 8. An alternative method to do a rock fall hazard analysis has also been suggested, where methods from stability analysis have been adopted to evaluate rock fall hazard according to criteria of acceptable risk in TEK17.

The stabilizing forces (ΣR_d) are much greater than the driving forces (ΣF_d), and according to the definition to the partial factor method the “Sjøåsblokka” is in a stable condition. In terms of “safety factor” ($\Sigma R_d/\Sigma F_d$) the deterministic analyses have an value range from 4 to 5. The most likely $\Sigma R_d/\Sigma F_d$ value is 3,90 with a probability of failure of 0,01 %, according to the probabilistic analysis. Limit of equilibrium can be reached by lowering the *JRC*-value to both failure planes to a value of 2. This low *JRC*-value does not seem representative of the conditions at “Sjøåsblokka” or any other joints observed at the rock slope.

The hazard evaluation of “Sjøåsblokka” is based on an accumulated probability of reach that is a combination of probability of failure and reach probability from the run-out modelling.

Main emphasis has been on the two houses closest to the rock slope, with an assumed structure lifetime of 50 years.

RocFall “Rigid Body” and Rockyfor3D has the most conservative out-run, but also more unsure parameters, where some of the run-out does not seem to be that realistic. Trajecto3D and RocFall “Lumped Mass” has quite similar run-out and are the least conservative models. Because the ground parameters of the “Lumped Mass” modelling seems to be most representative this run-out has been weighted. Trajecto3D is under development and seems to be a useful and promising 3D-simulation model.

On the foundations of the most conservative run-out, the yearly probability of rock fall from “Sjøåsblokka” is estimated to be much less than criteria of acceptable risk to houses in TEK17. According to this analysis, there is no need of mitigating measures concerning “Sjøåsblokka”. However, this is in the terms that interpretations and assumptions that has been made, including parameters are reasonable and represent the stability situation in a sufficient way. This hazard analysis includes only the specific block “Sjøåsblokka” and gives no information about the rock fall hazard related to other parts of the rock slope. Some few recent rock falls have been observed in the study area. It seems like the forest can have a potentially protective effect on rock fall $< 1 \text{ m}^3$, but will likely not stop all blocks.

Forord

Denne oppgåva er ei avsluttande oppgåve i det toårige masterprogrammet Geologi realfag ved Institutt for geovitskap og petroleum ved Noregs teknisk-naturvitskapelege universitet (NTNU). Oppgåva er skrive gjennom året 2017 og tilsvarar 60 studiepoeng.

I hjartet av Sunnmørsalpane er det alltid eit sikkert vårteikn når det buldrar godt i dei bratte fjellsidene. Når ein veks opp på ein slik stad, skal det godt gjerast å ikkje la seg fasinere av steinspranga sine startskot før sommaren kjem. Eg føler meg heldig som har fått moglegheita til å jobbe med ei så interessant problemstilling og har fått fordjupa meg i eit fag eg tykkjer er veldig spennande.

Ein stor takk vil eg rette til hovudrettleiar Bjørn Nilsen frå NTNU og medrettleiar Gudrun Dreiås Majala frå NVE (Norges vassdrags- og energidirektorat). De har bidratt med interessante diskusjonar og har vore ei god fagleg støtte gjennom masterløpet. Samarbeidet med NVE har eg sett stor pris på!

Ei masteroppgåve blir sjeldan til utan heiarop, hjelp og engasjement frå eit fleirtal av personar. Ei spesiell takk må bli gitt til François Noël, utviklaren av Trajecto3D. Takk for bidraget av Trajecto3D modellering i oppgåva. Det har verkeleg vore spennande å få innblikk i Trajecto3D, og eg ser fram til å følgje med på den vidare utviklinga! InSAR-gjengen på NGU med Marie og John skal også ha tusen takk for bidrag!

Gunnar Visnes med gode hjelparar frå SINTEF/NTNU har gitt god rettleiing og hjelp til laboratorietestane til oppgåva. Til Reginald Hermanns vil eg takke for all diskusjon og engasjement over problemstillinga mi. Roar i NVE har gitt meg god informasjon saman med Namdalseid kommune. Av fantastiske orakel eg må takke er: ArcGIS-Bjørnar, Ortofoto-Yngve og Excel-Erling. Gode venner til felthjelp er alltid kjekt: Sunniva, Erik og Anita. Gjengen på lesesalen har gjort dagen rik og lunsjen moro! Ei stor takk til familie og venner som har heia på meg. Kollektivet, min stødige klagemur, de gjev ei uvurderleg støtte! Og sist men ikkje minst: takk til mine personlege språkvask-byrå, Mamma&Bror AS og Hedda. De er jammen til å lite på og reddar meg ut av fleire språklege kniper!

Trondheim 20.12.17

Synnøve F. Nordang

Innholdsliste

Samandrag	III
Abstract	V
Forord.....	VII
Figurliste	XI
Tabelliste	XIV
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling.....	1
1.3 Tilgjengelege datasett	2
1.4 Skildring av studieområdet.....	3
1.5 Klima	4
1.6 Geologi	6
1.7 Tidlegare vurderingar og utført sikring	10
1.8 Struktur på oppgåva.....	11
2 Teori.....	12
2.1 Steinsprang og steinskred som skredprosess	12
2.2 Stereografisk projeksjon	17
2.3 Analysemetodar for stabilitet.....	18
2.4 Utløpsmodellering av steinsprang/steinskred	37
2.5 Farevurdering.....	43
3 Metode	45
3.1 Feltarbeid	45
3.2 Laboratoriearbeid.....	53
3.3 Avgrensing og volumberekning av potensielt ustabile parti	61
3.4 Stereografisk- og kinematisk analyse	63
3.5 Detaljert stabilitetsberekning	64
3.6 Rørslemålingar.....	66

3.7	Utløpsmodellering av steinsprang	67
3.8	Farevurdering.....	74
4	Resultat.....	76
4.1	Laboratorieresultat og feltmålingar	76
4.2	Potensielt ustabile parti og scenario ved Sjøåsberget.....	86
4.3	Kinematisk analyse.....	105
4.4	Detaljert stabilitetsanalyse.....	113
4.5	Rørslemålingar på Sjøåsblokka og Sjøåsberget.....	124
4.6	Utløpsmodellering av steinsprang ved Sjøåsberget.....	127
4.7	Farevurdering – Sjøåsblokka	137
5	Diskusjon.....	139
5.1	Med geologien som premiss	139
5.2	Potensielt ustabile parti og scenario ved Sjøåsberget.....	140
5.3	Detaljert stabilitetsanalyse av Sjøåsblokka.....	142
5.4	Rørslemålingar.....	149
5.5	Utløpsmodellering av steinsprang ved Sjøåsberget.....	150
5.6	Farevurdering.....	156
6	Konklusjon.....	158
6.1	Vidare arbeid	159
7	Referanseliste.....	160

Vedlegg A. Feltmålingar av sprekker

Vedlegg B. Bergmekaniske resultat

Vedlegg C. Resultat forvittringsmateriale

Vedlegg D. Korrigerte lengdeprofilar

Vedlegg E. Rockyfor3D

Figurliste

Figur 1-1. Oversiktskart over Trøndelag og studieområdet	3
Figur 1-2. Ortofoto over Sjøåsen og studieområdet	4
Figur 1-3. Månadsnormalar på temperatur og nedbør.....	5
Figur 1-4. Klimaframskrivingar for nedbør og temperatur	6
Figur 1-5. Berggrunn og kvartærgeologisk kart over Sjøåsen	7
Figur 1-6. Retninga til isrørsla hadde ved ulike tidsepokar	8
Figur 1-7. Moreneblokk som er grave opp nærme hus	8
Figur 1-8. Aktsemdkart over Sjøåsen.....	8
Figur 1-9. «Vaierblokka» med sikkring	10
Figur 2-1. Typisk skråning med steinsprang.....	13
Figur 2-2. Eigenskapar til bergmassen	15
Figur 2-3. Typiske ruheitsprofil for å estimere JRC	16
Figur 2-4. Kvalitativ vurdering av ruheit til diskontinuitetsflater	16
Figur 2-5. Metode for flate-tro projeksjon, samt definisjon av storsirkel og pol til planet.....	18
Figur 2-6. Forskjellen på ekvatorial- og polar projeksjon.....	18
Figur 2-7. Flytskjema som illustrerer tre nivå av stabilitetsanalyse.....	19
Figur 2-8. Typiske måtar berg kan gå i brot.....	21
Figur 2-9. Skisse av utfall av hengande blokk	23
Figur 2-11. Illustrasjon av kinematiske kriterier.	24
Figur 2-10. Manuell konstruksjon av «daylight envelope».....	24
Figur 2-12. Seismiske soner i spissverdi for berggrunnsakselerasjonen over Sør-Noreg.....	28
Figur 2-13. Ikkje-lineær kurve mellom skjærstyrke og normalspenning ved ei skjerrørsle	31
Figur 2-14. Kileutgliding visualisert i 3D	34
Figur 2-15. Aukande hastigheit («deformation rate») med til kollaps.	38
Figur 2-16. Prinsippskisse av InSAR	39
Figur 2-17. Steinsprangblokk sine rørsler og treff ved bakken.....	40

Figur 2-18. Skisse med hindringar (MOH) til klassene rg10, rg20 og rg70 i Rockyfor3D	43
Figur 2-19. Punktsky og kastebaner frå Trajecto3D.	44
Figur 3-1: Schmidt-hammarmålingar på eit av sprekkeplana til Sjøåsblokka	48
Figur 3-2: Estimering av JCS basert på Schmidt-hammar	49
Figur 3-3: Estimering av JRC frå overflatemålingar av ruheits-amplituden på sprekkeplan... ..	51
Figur 3-4: Fullt sett av overflatemålingar med a/L-metoden på sprekkeflater	52
Figur 3-5: Måling av ruheitsamplitude med a/L-metoden på glideplan til Sjøåsblokka.....	52
Figur 3-6: Spennings-tøyingskurve med tangentmodul	58
Figur 3-7. Brotforløp i klasse I og II til bergartar.	58
Figur 3-8. Skisse av to typar punktlasttest: diametraltest og aksialtest.....	59
Figur 3-9. Tilttest-apparat med inklinometer	61
Figur 3-10. Prinsippskisse for frisvelling	63
Figur 3-11. Modellane i Swedge som blei forkasta.	66
Figur 3-12. Utforminga av modell 4 i Swedge som blei nytta ved Sjøåsblokka.....	67
Figur 3-13. Registrering av rørsler med bladsøker på målebolt 2 ved Sjøåsblokka	68
Figur 3-14. Hellingskart med RocFall-profil og kjeldeceller til Rockyfor3D	70
Figur 3-15. Metode for preparering av punktstyer til Trajeco3D.....	71
Figur 3-16. Polygona som studieområdet blei delt opp i til utløpssimuleringa.	72
Figur 3-17. FINT sine registreringar av tre i DBH samt bartre i prosent.....	75
Figur 4-1. Lokalitet av prøveuttak og feltregistreringar.....	78
Figur 4-2. Kjerne UCS 4 etter einaksial trykktesting.	79
Figur 4-3. Histogram over tilttest-resultat for alle målingar totalt på blokka.	80
Figur 4-4. Lokaliteten til lausmasseprøve P1 og P2.....	82
Figur 4-6. Sprekkene som utgjer dei tre sprekkeseta ved Sjøåsberget.	84
Figur 4-5. Endringa i pol-konsentrasjonen med/utan målingar frå sprekkeavløyse blokker. .	84
Figur 4-7. Dei mest uthaldande sprekkene i plott mot sprekkesett.	85
Figur 4-8. Frekvensen av kvalitative vurderingar som er gjort av ruheit til sprekkesetta.....	86

Figur 4-9. Skjema med GSI estimering.....	87
Figur 4-10. Oversikt over potensielt ustabile parti ved Sjøåsberget og lengdeprofil.....	89
Figur 4-11. Lengdeprofilar av Sjøåsberget	91
Figur 4-12. Dimensjonar og lokalitet av måleboltar til Sjøåsblokka	93
Figur 4-13. Sjøåsblokka sine tre scenario	94
Figur 4-14. Det nordlege glideplanet til Sjøåsblokka med intakte «steinbruer».....	95
Figur 4-15. Oversikt over sprekker som utgjør sørleg glideplan til Sjøåsblokka.....	97
Figur 4-16. Totalareal og delareal som inngår i volumestimatet for scenario og parti	98
Figur 4-17. Oversikt over kallenamn på fjellsida, med sprekker og scenario.....	100
Figur 4-18. Avgrensinga av scenario A	101
Figur 4-19. Scenario B sett frå sida.....	102
Figur 4-20. Bakre del av Sjøåsberget med terrengsøkket som sprekk S1-45m går i	103
Figur 4-21. Den opne sona S-A, under Sjøåsblokka sitt sørlege glideplan.....	103
Figur 4-22. Oversikt over Sjøåsberg-parti C og deler av scenario B.	105
Figur 4-23. I fronten av parti D	106
Figur 4-24. Kinematisk analyse for Vaierblokka.	108
Figur 4-25. Kinematisk analyse for Sjøåsblokka	109
Figur 4-26. Kinematisk analyse for Sjøåsberget-scenario A.....	111
Figur 4-27. Kinematisk analyse for Sjøåsberget-scenario B.....	113
Figur 4-28. Kinematisk analyse for parti C ved Sjøåsberget	114
Figur 4-29. Kinematisk analyse for Sjøåsberet-parti D.....	155
Figur 4-30. Sannsynsfordeling av seismisk koeffisient (α_k) til probabilistisk analyse.	118
Figur 4-31. Sannsynsfordeling av vasstrykk til den probabilistiske analysen.	119
Figur 4-32. Feltnålingar av «Joint Roughness Coefficient» og residual friksjonsvinkel.....	121
Figur 4-33. Barton-Bandis skjerfastheits-kurve for Sjøåsblokka.....	123
Figur 4-34. Karakteristisk aktiv friksjonsvinkel (ϕ_{ka}) for Sjøåsblokka.....	123
Figur 4-35. Stabiliserande krefter / drivande krefter i den deterministiske analysen.	124

Figur 4-36. Sensitivitetsanalyse for Sjøåsblokka.	125
Figur 4-37. Fordeling av sannsynet til stabiliserende krefter / drivande krefter	127
Figur 4-38. Kumulativfordeling av stabiliserende krefter / drivande krefter	127
Figur 4-39. Grafar over rørslemålingar med bladsøker.....	128
Figur 4-40. Resultatet av InSAR-data	129
Figur 4-41. Sannsynleg utløpsrekkevidde for dei tre modelleringsprogramma.....	131
Figur 4-42. Generelt steinsprang frå Sjøåsberget i Rockyfor3D og RocFall.	133
Figur 4-43. Sannsynleg utløpsrekkevidde for Sjøåsblokka inkludert skog i Rockyfor3D.....	135
Figur 4-44. Forskjellen i sannsynleg utløpsrekkevidde med og utan skog for Sjøåsblokka..	136
Figur 4-45. Effekten av skog på ei generell steinsprangblokk ved Sjøåsberget	137
Figur 4-46. Totale kinetiske energien med og utan skog ved profila.....	138
Figur 4-47. Total kinetisk energi for RocFall simulering med og utan skog i profil 3.	139
Figur 5-1. Oppe i front av Sjøåsberget der den store opne sprekka er.	144
Figur 5-2. Prinsippskisse av a/L-metoden på undulerande glideplan	148
Figur 5-3. Forskjellen i feilmeldings-resultatet i RocFall	156

Tabelliste

Tabell 1-1. Tilgjengelege datasett nytta i oppgåva.	3
Tabell 2-1. Inndeling av skredtypar i Noreg	12
Tabell 2-2. Idealiserte fordelingar av vasstrykk på ei sprekkeflate.....	26
Tabell 2-3. Verdier til seismisk faktor gitt av seismisk klasse.....	29
Tabell 2-4. Rettleiande tabell for val av seismisk klasse	30
Tabell 2-5. Dimensjonerande minimum for ein verneskog i forhold til blokkstorleik.	42
Tabell 2-6. Gjeldande tryggleiksklasser etter TEK 17 for byggverk i skredfarleg område	46
Tabell 3-1. Dei ulike laboratorietestane og tilhøyrande standard.	55
Tabell 3-2: Klargjering av prøver.....	56
Tabell 3-3. Bakkeparameterverdiane brukt til utløpsmodellering i Rockyfor3D og RocFall..	75
Tabell 3-4. Utval av feltresultatet om skogen	76
Tabell 3-5. Antydande dimensjonerande levetid.....	79
Tabell 4-1. Oppsummering av dei bergmekaniske testresultata	82
Tabell 4-2. Tal på orienteringsmålingar av sprekker før og etter sprekkesortering	85
Tabell 4-3. Oppsummerande informasjon om sprekkesetta ved Sjøåsberget	87
Tabell 4-4. In-situ blokkvolum basert på sprekkeidata	90
Tabell 4-5. Dimensjonar og form til den generelle steinsprangsimuleringa	90
Tabell 4-6. Tilsynelatande fall i dei ulike lengdeprofila	92
Tabell 4-7. Volumestimat og justert dimensjon dei tre scenarioa til Sjøåsblokka.....	97
Tabell 4-8. Justerte dimensjonen og det endelege volumestimatet for scenario og parti.....	102
Tabell 4-9. Samanstilling av parametrar frå felt og berekningsmodellen i Swedge	119
Tabell 4-10. Orienteringa til glidplana i den probabilistiske analysen	119
Tabell 4-11. Seismiske parametrar	120
Tabell 4-12. Seismiske parametrar nytta til den probabilistiske analysen	121
Tabell 4-13. Parameter for vasstrykk i ulike settingar	121
Tabell 4-14. Parameterar for vasstrykk nytta i den probabilistiske analysen.....	122

Tabell 4-15. Rekylverdiane frå felt og laboratoriet.....	122
Tabell 4-16. Parameter nytta til kalkulering av sprekkfriksjon for Sjøåsblokka.....	123
Tabell 4-17. Summen av stabiliserande (ΣR_d) og drivande krefter (ΣF_d) for Sjøåsblokka.....	127
Tabell 4-18. Distansar frå kjeldepunkt til nærmaste husrekke og tilhøyrande lengd av skog	147
Tabell 4-19. Resultat av farevurdering frå Sjøåsblokka for dei husa nærmast Sjøåsberget...	148

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har i hovudsak ansvaret for å forvalte landets vass- og energiresursar. Dette inkluderer eit overordna ansvar for statlege forvaltningsoppgåver innan førebygging av flaumskadar og skredulykker (NVE, 2015). Ved Sjøåsberget i Namdalseid kommune er det ei fjellside med usikker stabilitet som representerer ein potensiell fare for busetnad nedanfor. Spesielt stabiliteten til ei stor, sprekkeavløyst blokk i dette fjellpartiet har vore diskutert ved fleire tidlegare høve. Eit konsulentfirma blei hyra inn til å vurdere faren, men der konklusjonen var vag og usikker. Med dette som grunnlag ynskte NVE ei grundigare analyse av situasjonen ved Sjøåsberget.

Masteroppgåva blir gjennomført i samarbeid med NVE, seksjon for fjellskred med ing.geolog Gudrun Dreiås Majala som kontaktperson og medrettleiar. Hovudrettleiar er Professor Bjørn Nilsen ved Instituttet for geovitskap og petroleum ved Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet (NTNU).

Ei ingeniørgeologisk kartlegging og prøvetaking vart utført sommaren 2016, i samband med sommarjobb ved NVE.

1.2 Problemstilling

Mindre endringar er blitt gjort i forhold til innhaldet i den originale prosjektskilddinga heilt fremst i oppgåva. Hovudformålet med masteroppgåva er å utføre ei systematisk stabilitetsanalyse basert på kvalitetssikra inngangsparametrar, samt å analysere rekkevidda for moglege steinskred frå fjellsida ved Sjøåsberget. Det er retta eit ekstra fokus mot den store sprekkeavløyste blokka. I oppgåva er fylgjande punkt spesielt vektlagt:

- Etablere mest mogleg sikre inngangsparametrar til stabilitets- og utløpsanalyser, via laboratorieanalyser og gjennomgang av empirisk grunnlag samt feltobservasjonar.
- Stabilitetsanalyse med grunnlag i likevektsberekning og numerisk analyse. Dette etter Norsk Standard og Eurokode 7, som er krav via teknisk forskrift (TEK17).

Stabilitetsberekningane er etter partialfaktor-metoden, inkludert ei relativt ny metode for å vurdere seismisk aktivitet. Skråningsstabiliteten er vurdert og berekna via deterministisk og probabilistisk analyse samt sensitivitetsanalyse av inngangsparametrar. Til dette er programvara Swedge nytta som hjelpemiddel.

- Moglege utløp er samanlikna og analysert via simuleringsprogramma RocFall, Rockyfor3D og Trajecto3D. Ein eventuell effekt frå skogen er også inkludert og analysert i simuleringa med Rockyfor3D og RocFall.

I tillegg har eventuelle andre potensielt ustabile parti ved Sjøåsberget blitt identifisert og vurdert. Dette via feltkartlegging, kinematisk analyse og lengdeprofil av kritiske sprekker.

Ei tilbakerekning som grunnlag for kvantifisering og kvalitetskontroll av inngangsparametrar, var ikkje spesielt hensiktsmessig å anvende til stabilitetsanalysen. For utløpsanalysen, var det dessverre heller vanskeleg å få til ei slik tilbakerekning. Dette på grunn av manglande kjende skredhendingar i kombinasjon med sikre kjeldeområder og utløp.

Etter planen skulle det bli utført to rundar med terrestriske laserskanningar (TLS, også kjent som bakkebasert laserskanning) over studieområdet. Tanken var å få avdekka eventuelle rørsler i fjellpartiet samt gjere strukturanalyse av fjellpartiet, slik Oppikofer (2016) gjer greie for. Laserskanninga var ingen førsteprioritet, ettersom måleboltane gav indikasjonar på svært små rørsler og elles låg aktivitet. Mest truleg ville det ikkje ha blitt fanga opp noko resultat av rørsler i det heile. I tillegg passa det dårleg med tida LiDARen var tilgjengeleg i kombinasjon med vêr og årstid. Helst burde bakken vere tørr utan snødekke, vêret klårt og lauva ha falle frå trea, for å få fri sikt og best resultat (Majala, 2017; Oppikofer, 2016).

1.3 Tilgjengelege datasett

Datasett og kartdata som har vore tilgjengelege og blitt nytta i oppgåva er lista opp i tabell 1-1.

Luftbåren LiDAR-skann har blitt lasta ned som digitale høgdemodellar (DHM) i grid-format, der både digital terrengmodell (DTM) og digital overflatemodell (DOM) inngår. DTM har vidare blitt nytta til å lage skuggerelieff, høgdekoter, hellingskart og kart over terrenget si asimut-orientering via verktøy i ArcMap 10.4 (ESRI, 2017). I tillegg har punkttskyer (.laz) frå det luftbårne LiDAR-skannet blitt nytta i oppgåva. Noko ein bør vere merksam på er at den luftbårne LiDARen ofte har dårleg punkttheit og dekning i dei brattaste fjellveggane (Oppikofer, 2016).

Det vart gjort eit forsøk på fotogrammetri av bilete som vart tatt under feltarbeidet via VisualSFM (Wu, 2012). Dette blei forkasta då det førebelse resultatet var av låg kvalitet. Feltbileta var ikkje tatt med tanke på at det kunne bli gjort fotogrammetri av dei seinare. I

tillegg var det utfordrande å få gode feltbilete av fjellskråninga på grunn av tett vegetasjon, som dekker dei mest interessante fjellstrukturane.

Tabell 1-1. Tilgjengelege datasett nytta i oppgåva.

Datasekk	Kjelde
LiDAR – luftbåren - Nord-Trøndelag – Del 1 2010 (0,5 [m])	Høydedata (2016)
Kvartærgeologisk kart - Målestokk 1:50 000	Sveian (1991)
Berggrunnskart - Målestokk 1:250 000	Solli, Bugge og Thorsnes (1997)
Aktsemdkart - Steinsprang - Snøskred - Jord- og flaumskred	Skrednett (2014)
Felles kartdatabase (FKB-kart)	Geonorge (2016)
Ortofoto - Riksveger Midtre Namdal 2007 (0,1 [m]) - Frøya-Vikna 2013 (0,25 [m])	Norge-i-bilder (2017)

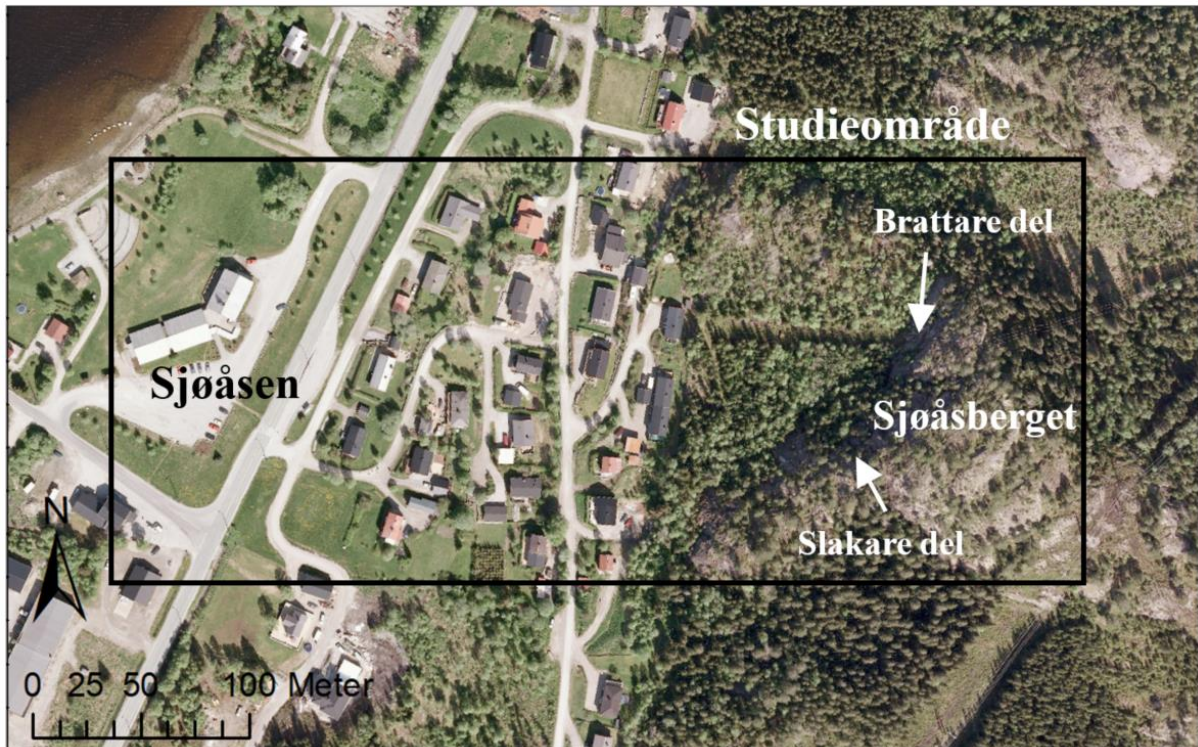
1.4 Skildring av studieområdet

Sjøåsberget er ei fjellside ved tettstaden Sjøåsen i Namdalseid kommune, i Trøndelag fylke (tidlegare Nord-Trøndelag) (figur 1-1 og figur 1-2). Fjellsida har ein brattare del med helling på over 70° og ein slakare del mellom 50 – 60°. Den brattaste delen er omtrent 30 m breitt og 30 m høgt frå foten av fjellskråninga, der høgste punkt ligg på 117 moh. Avstanden frå den bratte fjellsida til nærmaste hus er 108 m, der hellinga i terrenget varerier opptil 40° ved foten av skråninga til 10 – 15° nærme husa. Den slakare delen av fjellsida har sitt høgste punkt på 134 moh, og blir gradvis lågare lenger sørvest. Fjellssidene ved Sjøåsberget er vest og nordvest vende fjellsider.



Figur 1-1. Oversiktskart over tidlegare Sør- og Nord-Trøndelag, no Trøndelag fylke. Den raude prikken markerer kvar Sjøåsen er. Kartet er henta i frå Statens-kartverk (2017)

Rett over husa i byggefeltet er det ei dreneringsgrøft samt ei kraftlinje som går direkte opp til Sjøåsberget sitt brattaste parti der vegetasjonen og skog under linja er fjerna (figur 1-2). Skogen er elles ein blandingsskog av lauv- og bartre.

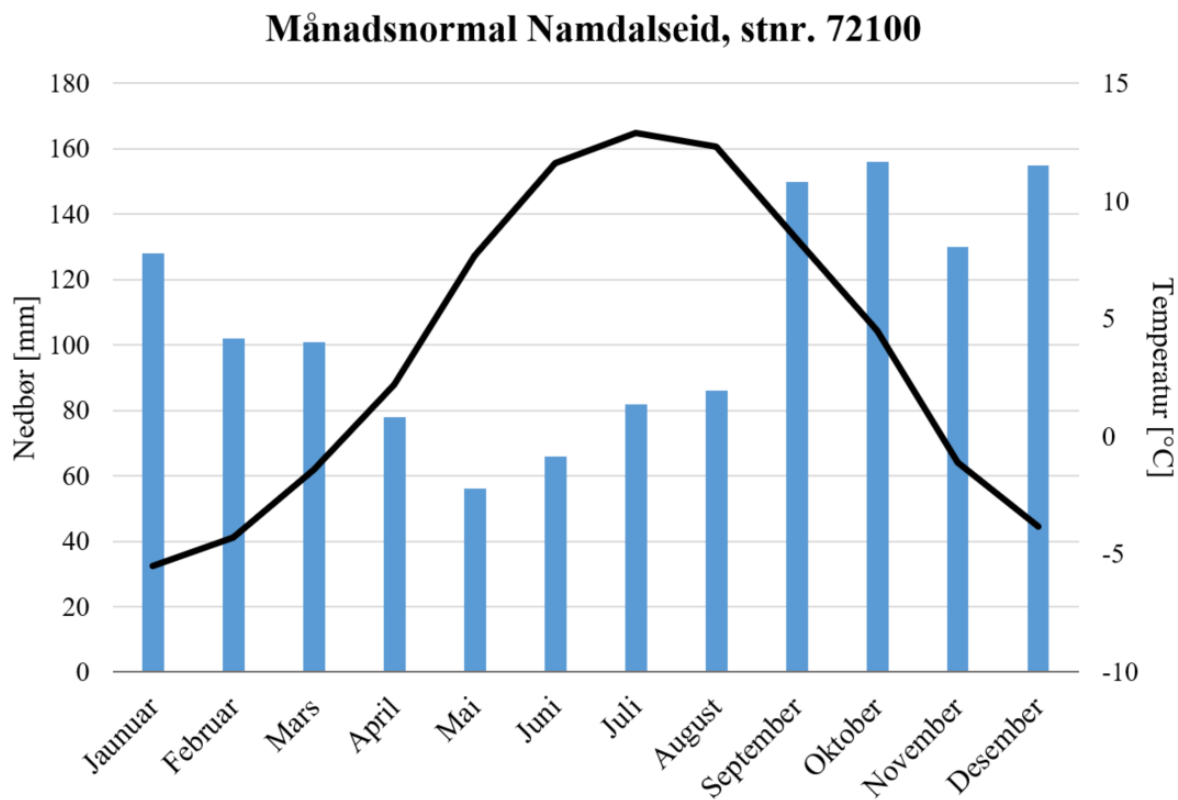


Figur 1-2. Ortofoto over Sjøåsen og studieområdet.

1.5 Klima

1.5.1 Temperatur og nedbør

Sjøåsen ligg relativt kystnært der det maritime klimaet dominerer. Dette inneberer varmare vintrar og kjøligare somrar enn eit kontinentalt klima (Hanssen-Bauer *et al.*, 2015). Den nærmaste operasjonelle vêrstasjonen for Sjøåsen er ved tettstaden Namdalseid i same kommune. Stasjonen (nr. 72100) ligg ved 86 moh., 6,5 km sør for Sjøåsen. I figur 1-3 er det gitt månadsnormalar for temperatur og nedbør i tidsrommet 1961 – 1990. Månadane med mest nedbør er frå september til januar.



Figur 1-3. Månadsnormalar på temperatur og nedbør for værstasjonen Namdalseid, stasjonsnummer: 72100. Gjeld tidsrommet 1961 – 1990 (Meteorologisk-institutt, 2017).

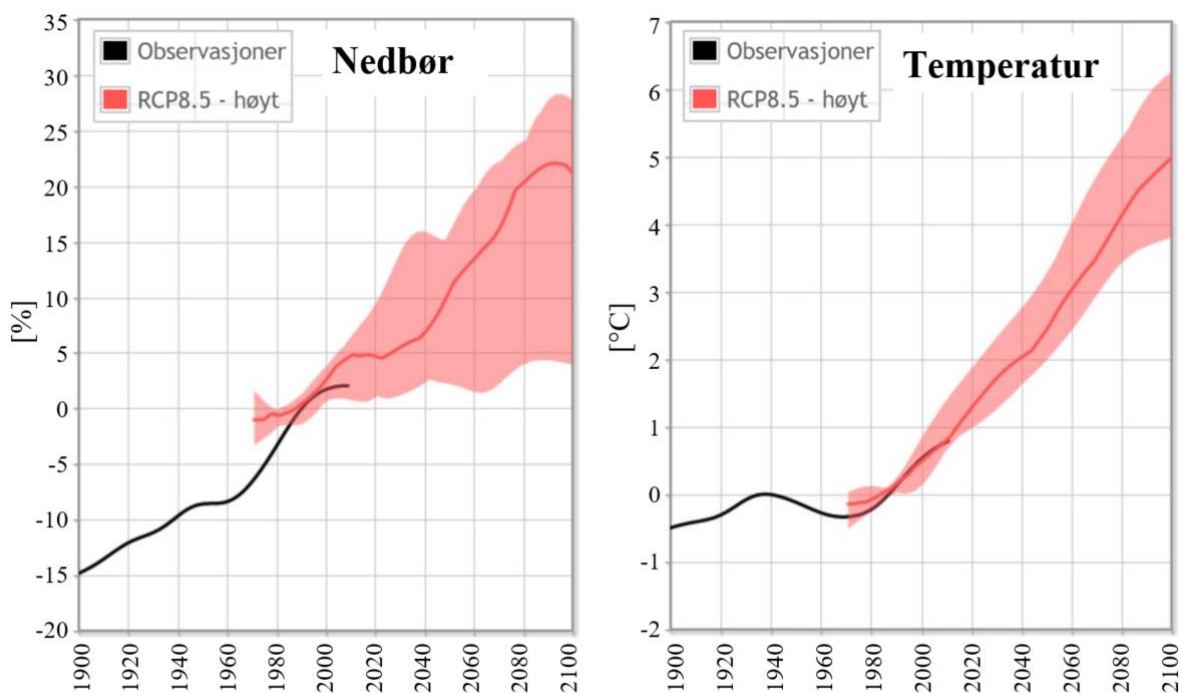
1.5.2 Framtidig klima

I følge TEK 17 kapittel 7, skal effekten av klimaendringar bli tatt omsyn til ved nye konstruksjonar og bygningar. Dette gjennom plan- og bygningslova inkludert forskrifter. Som følge av klimaendringar kan hendingar med flaum og skred bli hyppigare samt meir ekstreme (Kommunal-og-moderniseringsdepartementet, 2017).

Spesifikt for steinskred og steinsprang kan det tenkast at frekvensen aukar som ein konsekvens av hyppigare episodar med ekstremnedbør. Nettopp fordi denne skredtypen ofte blir utløyst i samband med intens nedbør som fører til auka vasstrykk i sprekkesystemet. Eventuelle klimaendringar blir ikkje vurdert til å påverke dei svært store og sjeldne skreda i nokon stor grad. I fastsetjinga av faregrenser med åreleg nominell sannsyn på 1/1000 er det uansett så store usikre moment at eventuelle klimaverknadar har lite å seie. Så lenge ein fylg krava til tryggleik i TEK17 kapittel 7 samt retningslinjer, skal tryggleiken bli godt nok varetatt (NVE, 2014).

Via klimaframskrivingar frå Norsk-klimaservicesenter (2017), er det gjort kalkuleringar på korleis klimaet vil kunne sjå ut i framtida. Klimaframskrivinga er basert på globale og

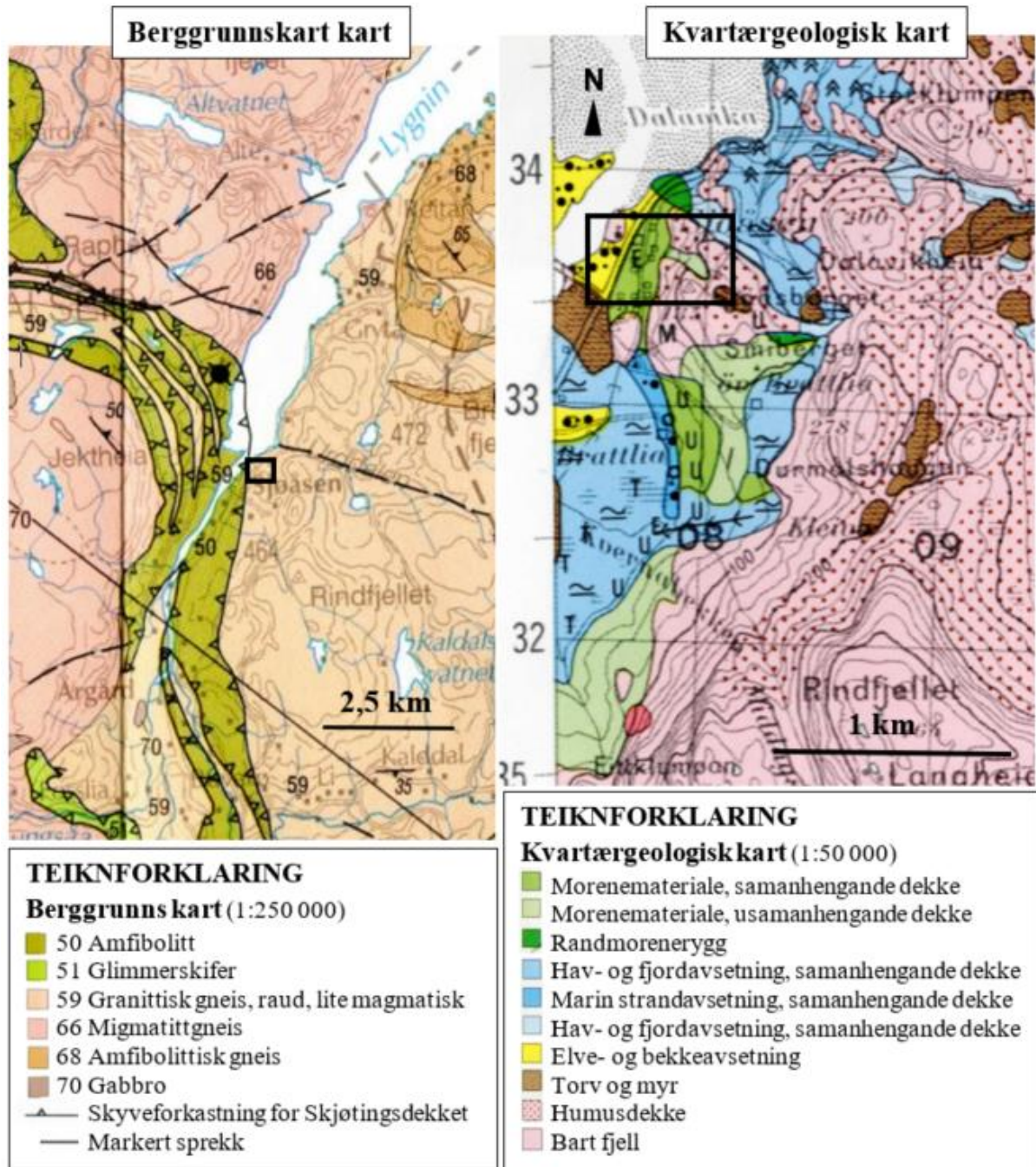
regionale klimamodellar med visse utsleppsscenario. I desse utsleppsscenario er det antatt eit framtidig utslepp av drivhusgassar. Klimaframskrivinga som gjeld for området Sjøåsen er ein del, av er presentert i figur 1-4. Her inngår eventuelle framtidige endringar i temperatur og nedbør etter utsleppsscenarioet RCP8.5, som inneberer ein kontinuerleg vekst i klimagassutslepp. Klimaframskrivinga skal blant anna kunne bli brukt til arealplanlegging, der det dannar eit grunnlag for klimatilpassa dimensjonering. Det skal også kunne vere eit grunnlag for vidare vurderingar rundt eventuelle effektar klimaendringar kan ha på samfunn og natur i framtida.



Figur 1-4. Klimaframskrivingar for nedbør og temperatur i perioden 1900 – 2100. Nedbør gjeld området Trøndelag og Helgeland, medan temperatur er for Midt-Norge. Perioden gjeld heile året. Utsleppsscenarioet det blir basert på er RCP8.5 som er det høgaste. Svart kurve er observasjonar frå perioden 1900 – 2014. Farga kurve er medianverdi i frå fleire RCM-simuleringar. Spreiinga mellom låg og høg klimaframskriving i 10 og 90 persentilar er illustrert med skravert område. Figurane er henta frå Norsk-klimaservicesenter (2017).

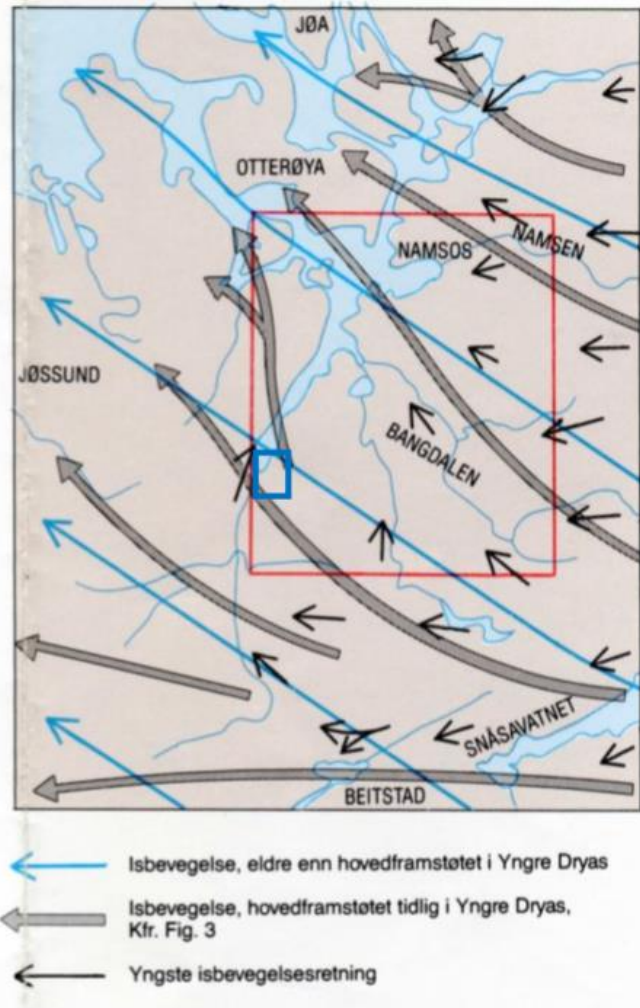
1.6 Geologi

Den granittiske gneisen ved Sjøåsen høyrer til det nordvestre gneisområdet, er av mellom-proterozoisk alder, og vart skyvd fram under den kaledonske fjellkjededanninga (figur 1-5). Bergarten vert skildra som raud og lite migmatittisk gneis, med små linser av amfibolitt. Like vest for studieområdet er ein del av skjøtingsdekket nedfolda i gneisane. Skjøtingsdekket består av ulike typar amfibolittar, men av meir ukjend alder. Dekket er også skyvd fram under den kaledonske fjellkjededanninga (Solli, Bugge og Thorsnes, 1997).



Figur 1-5. Berggrunn og kvartærgeologisk kart over Sjøåsen med omland. Berggrunnskartet er skanna i frå Solli et al. (1997), medan det kvartærgeologiske kartet er skanna i frå Sveian (1991).

For rundt 100 000 år sidan starta siste istid og varte til rundt 10 000 år for notid. Under Yngre Dryas, som er 10 000 – 11 000 år før notid, låg iskantene heilt ut med kysten til Nord-Trøndelag. Etter kvart som isen smelta blei dei siste isrørslene meir styrt av topografien og følgde dal-formane i større grad (figur 1-6). For Sjøåsen kom difor dei siste isrørslene sør ifrå. Det er mogleg at Sjøåsen kan ha blitt isfritt rundt 9700 – 9900 år før notid i radiokarbondatering C14 år. På grunn av istyngda frå istida var jordskorpa sterkt nedpressa, og havnivået var høgare enn det er i dag. Marin grense (MG) er det høgste nivået havet var etter siste istid, og er ca. 140 moh. ved Sjøåsen som også er høgare enn det Sjøåsberget er. Etter kvart som isen smelta vekk starta landet å heve seg. Sjøåsberget kan ha kome over havnivået



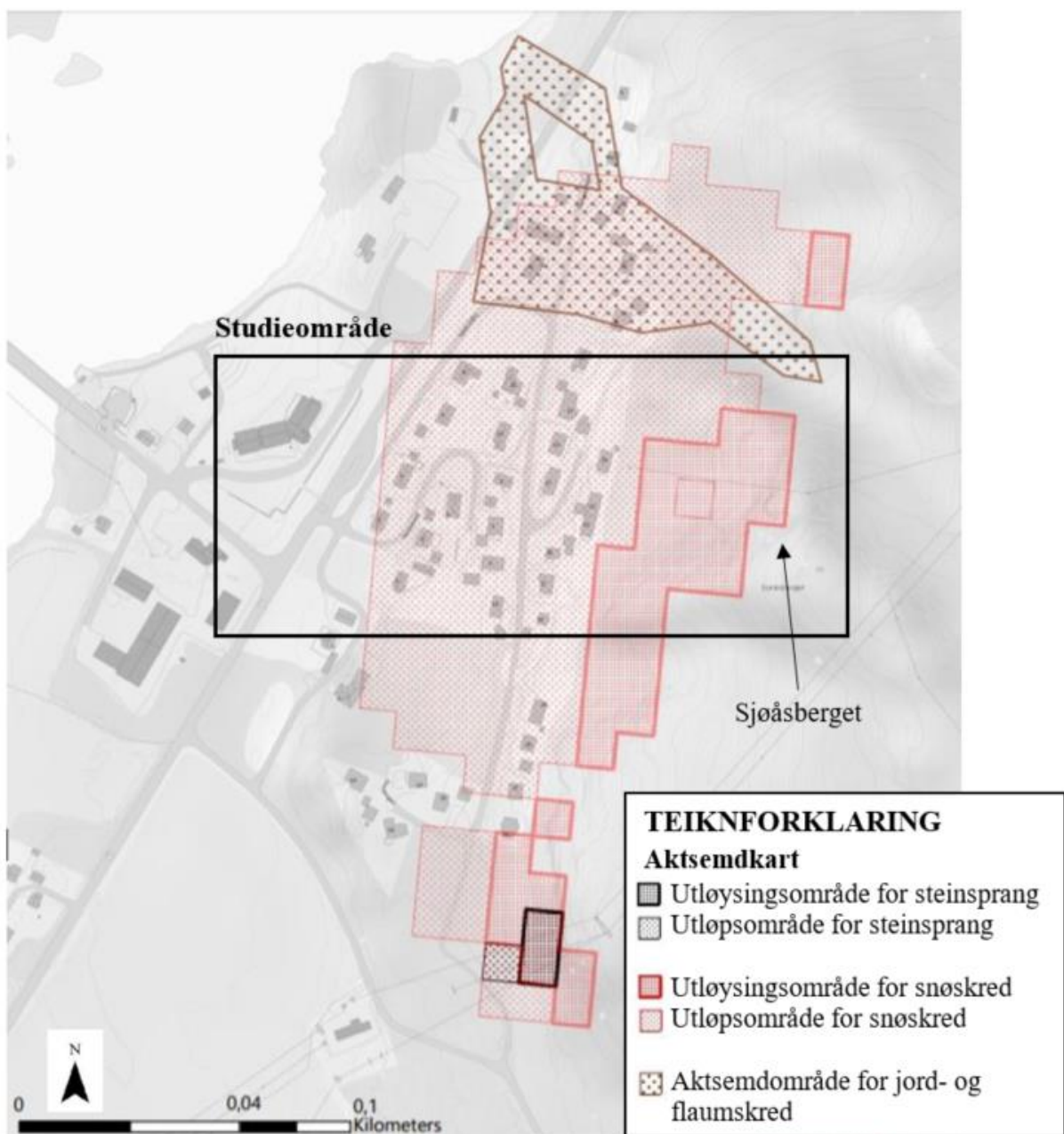
Figur 1-6. Retninga til isrørsla hadde ved ulike tidsepokar. Blå firkant markerer Sjøåsen. Figuren er skanna i frå Sveian (1991).



Figur 1-7. Moreneblokk som er 15 og 30 m unna nærmaste hus. Blokka er av granittisk gneis, er ikkje in-situ, men blei flytta dit med gravemaskin for ein 10 – 15 år sidan. Blokka stakk då delvis opp frå plenen.

for rundt 7500 år sidan, med ei strandlinje som mogleg låg ein stad der byggefeltet under Sjøåsberget er i dag (Sveian, 1991).

I følge det kvartærgeologiske kartet over Sjøåsen, er det eit samanhengande dekke av morene der husa nedanfor Sjøåsberget er (figur 1-5). Figur 1-7 syner ei moreneblokk som blei grave fram frå ein plen med gravemaskin og flytta slik at ho ligg ca. 15 m i frå nærmaste hus. Blokkar vitnar om kva blokkstorleik som kan vere i morenen ved Sjøåsen. I frå husa og opp skråninga mot Sjøåsberget er det kartlagt ei stripe med usamanhengande morene. Sjølve Sjøåsberget er kartlagt som tynt humusdekke (Sveian, 1991).

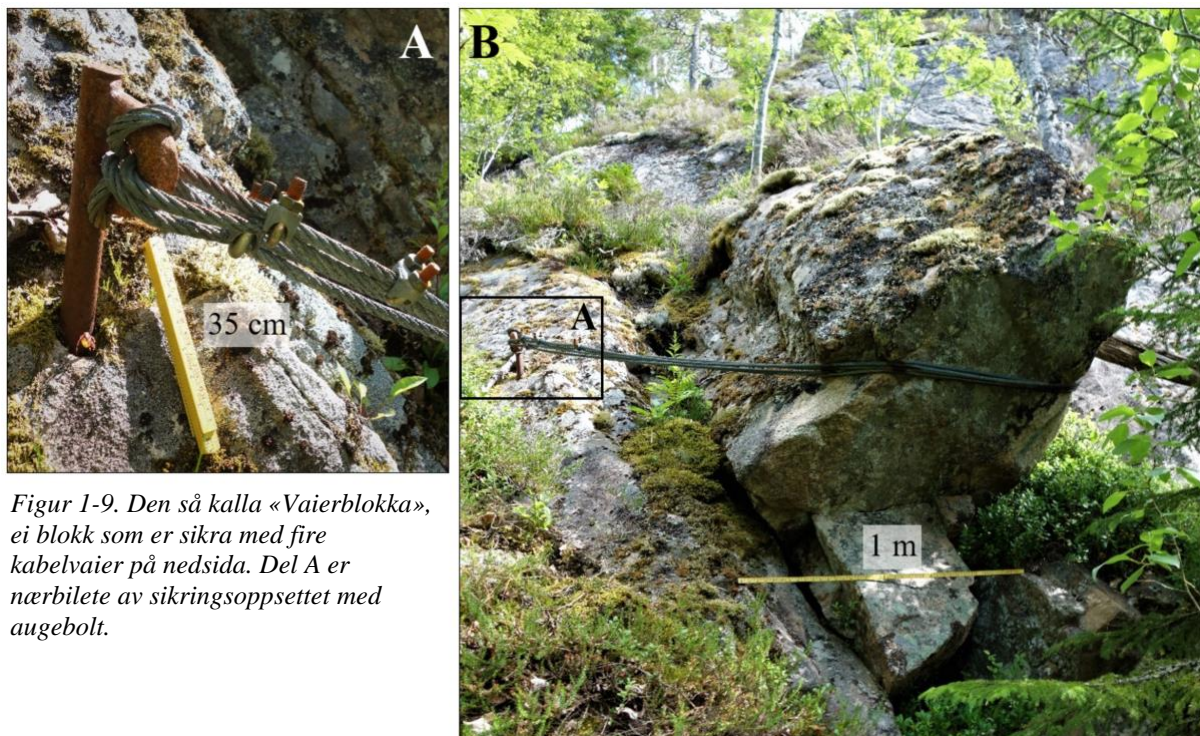


Figur 1-8. Aktsemdkart over Sjøåsen. Henta i frå Skrednett (2014)

Det er ingen tidlegare kjende skredhendingar innanfor studieområdet eller omliggande område i følge den nasjonale skreddatabasen Skrednett (2016). Aktsemdkartet for steinsprang har ikkje fått inn Sjøåsberget som potensielt område med fare for steinsprang, men det har i aktsemdkartet for snøskred (figur 1-8). I tillegg dekker aktsemdkartet for jord- og flaumskred eit område nord for studieområdet. Noko vidare vurdering av potensielle farar frå snøskred og jord- og flaumskred er utanfor omfanget i denne oppgåva.

1.7 Tidlegare vurderingar og utført sikring

Ved foten av Sjøåsberget er det ei blokk som har vore sikra med vaierar sidan 1970-talet (figur 1-9). Denne blokka er sprekkeløyst og blir heretter kalla «Vaierblokka». Volumet er estimert til å vere rundt $2,5 \text{ m}^3$. Vaierblokka er sikra med fire kabelvaierar som skal halde att blokka i underkant. Kvar vaier har ein diameter på 12 mm. Kabelvaierane er festa i augeboltar som går ned i berget på kvar side av blokka. Boltane har ei rusta overflate og verkar solide. Diameteren på boltane er 30 mm, der orienteringa til den nordlege bolten er ein $103^\circ/66^\circ$ (retning/stupning). Den sørlege augebolten er ikkje like tilgjengeleg. Sikringsmetoden er ei ukonvensjonell metode å sikre blokker på, men likevel ikkje uvanleg. Ingen av vaierkablane er i spenn, noko som kan tyde på at der ikkje har vore noko stor rørsle nyleg (Gartland, 2017; Nilsen, 2017b).



Figur 1-9. Den så kalla «Vaierblokka», ei blokk som er sikra med fire kabelvaier på nedsida. Del A er nærbilete av sikringsoppsettet med augebolt.

Den store sprekkeavløyste blokka ved Sjøåsberget, heretter kalla «Sjøåsblokka», fekk ei farevurdering i tidsrommet 2008 – 2010. Konklusjonen var at det burde iverksettast tiltak mot steinskred i form av ein sikringsvoll, for å ta omsyn til fleire usikre moment (Hagen, 2010).

I 2009 blei to måleboltar sett opp ved Sjøåsblokka. Ein i øvre og ein i nedre del av blokka. Sidan då har Namdalseid kommune føretatt jamlege rørslemålingar (Gartland, 2017). Ein vidare gjennomgang av desse målingane vert presentert seinare i oppgåva under avsnitt 3.6 «Rørslemålingar» og 4.5 «Rørslemålingar på Sjøåsblokka og Sjøåsberget».

1.8 Struktur på oppgåva

For å få ein betre flyt i oppgåva har teorien bak laboratorieanalysene blitt inkludert i kapittel 3 «Metode». I tillegg kan datasett frå feltarbeidet som direkte har blitt nytta i ei vidare analyse, bli presentert under metoden til den analysen det gjeld.

Nokre forkortingar som ofte blir nytta i oppgåva er blant anna «Gj.» for gjennomsnitt. Vidare, får standardavvik den engelske forkortinga «SD». Glideplan blir omtalt etter himmelorientering. Det vil seie at eit glideplan i nordleg retning får forkortinga GP-N, og likeins for glideplan i sørleg retning blir forkorta med GP-S.

Alle orienteringar til diskontinuitetsflater eller skråningar er gitt i formatet: fall/fallretning. Likeins blir skjeringslinjer oppgitt i formatet: retning/stupning.

2 Teori

2.1 Steinsprang og steinskred som skredprosess

Eit *skred* kan bli definert som eit naturfenomen der eit materiale har ei rørsle ned ei terrengskråning drive av tyngdekrafta. I Noreg blir skredtypane ofte delt inn etter kva type materiale skredet består av. Slik tabell 2-1 syner kjem steinsprang og steinskred under materialtypen «fast fjell» som vil seie at skredprosessane har eit opphav frå berggrunnen (Devoli, *et al.*, 2011; Øydvin, *et al.*, 2011).

Tabell 2-1. Inndeling av skredtypar i Noreg. Figuren er henta i frå Øydvin *et al.* (2011), men er også basert på informasjon i Devoli, *et al.* (2011)

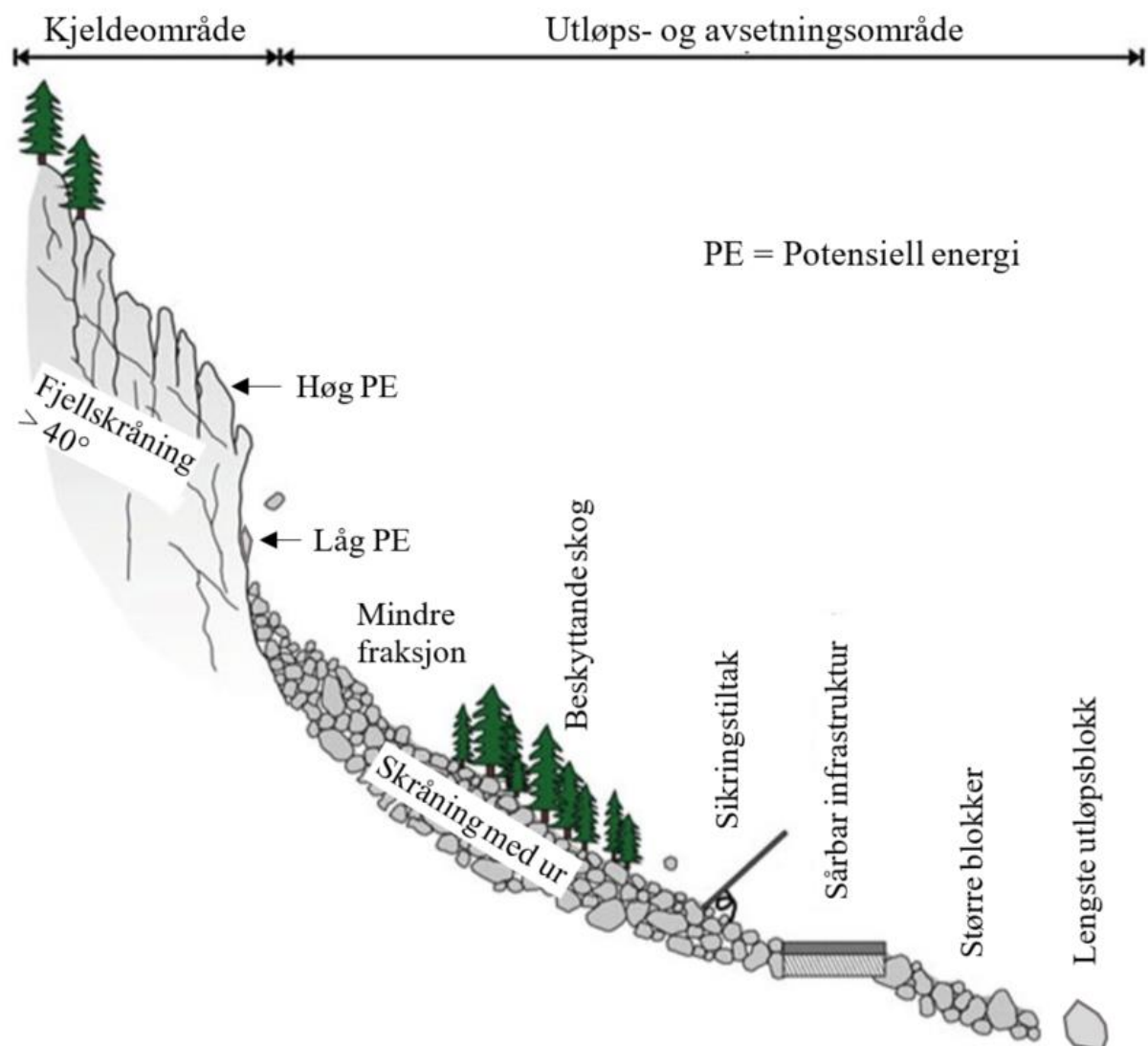
Fast fjell	Løsmasser		Snø
	Grove ←	→ Fine	
Steinsprang	Jordskred		Snøskred
Steinskred			
Fjellskred	Flomskred	Kvikkleire-skred	Sørpeskred
Ustabilt fjellparti			

Ustabile fjellparti blir nytta som eit generelt omgrep for store deformasjonar i fjellsider. Fjellskred har eit opphav som ustabil fjellparti, der volumet kan vere hundretusenvis til millionar av kubikkmeter med fjellmasse (Devoli, *et al.*, 2011). Noko som skil fjellskred («rock avalanche») frå steinskred og steinsprang er den høge mobiliteten med ekstrem hastigheit, flaumliknande rørsle av fragmentert fjellmasse som blant anna resulterer i lang utløpslengd (Devoli, *et al.*, 2011; Hungr *et al.*, 2014).

Internasjonalt kan ein ofte nytte termen «rock fall» for steinsprang og steinskred, der det blir skildra til å ha eit avgrensa volum med liten dynamisk interaksjon mellom fragmenta som heller er mot underlaget i utløpet. Rørsla av bergfragmenta startar med at dei losnar, der dei går vidare i fall, hopping og rulling til terrenget blir flatare (Devoli, *et al.*, 2011; Hungr, Leroueil og Picarelli, 2014). Skilnaden mellom steinsprang og steinskred er at steinsprang ofte er meir intakte enkeltblokker med volum på inntil nokre hundre kubikkmeter. Medan steinskred har større volum opptil nokre hundretusen kubikkmeter, der bergmassen får ein

viss grad av fragmentering og splitting av blokker nedover skråninga (Devoli, *et al.*, 2011; Schanche, 2014; Øydvin, *et al.*, 2011).

Typiske kjeldeområder for steinsprang og steinskred er fjellskråningar brattare enn $40 - 45^\circ$ (figur 2-1). Materialet vil ofte avsettast som urer i botnen av fjellskråninga (Devoli, *et al.*, 2011; Schanche, 2014). Det er typisk at lausmassane i ei ur vil ha ei viss sortering med mindre fraksjonar øvst og aukande storleik av blokker lenger ned. Nokre enkeltblokker kan gå lengre enn ut enn foten av ura, men går sjeldan langt og talet av desse blokkene minkar fort med avstanden. Ei lita ur har mindre grad av blokksortinger enn ei større ur (Domaas og Grimstad, 2014; Schanche, 2014).



Figur 2-1. Typisk skråning med steinsprang. Modifisert figur i frå Sellmeier (2015), basert på informasjon gitt frå Devoli *et al.* (2011) samt Domaas og Grimstad (2014).

I kartlegging kan det ofte vere utfordrande å skilje moreneblokker frå steinsprangblokker. Ein hovudregel er at blokker frå steinsprang ofte har ein meir kanta form enn moreneblokker som er meir runda (Domaas og Grimstad, 2014). Typiske spor i terrenget som indikerer steinsprang- og steinskredaktivitet kan vere merker etter utfall frå fjellsida, avtrykk i bakken, nye blokker i ura og sår på trestamme etter kollisjon (Devoli, *et al.*, 2011; Domaas og Grimstad, 2014). Dersom det er lite danning av ur ved foten av ei skråning, indikerer dette låg aktivitet noko ein bør ta omsyn til i vurderinga av potensielle utfall (Domaas og Grimstad, 2014).

Nokre typiske naturlege utløysingsmekanismar av steinsprang og steinskred kan vere sirkulasjon av vatn (regn, snøsmelting og grunnvatn), fryse-og-tine prosessar, forvitring, rotsprenging og jordskjelv (Bjordal, *et al.*, 2011; Schanche, 2014; Volkwein *et al.*, 2011; Wyllie og Mah, 2004). Volkwein, *et al.* (2011) ser på desse prosessane som eksterne faktorar, medan interne faktorane er knytt til eigenskapar til bergmassen samt skråninga. Med tid kan dei interne faktorane utvikle seg på grunn av dei eksterne faktorane sin påverknad.

For harde bergartar er det typisk at det er sprekkene si orientering i forhold til fjellsida, og sprekkene sine eigenskapar som vert avgjerande for stabiliteten. Det er fordi nesten all utgliding og deformasjon følgjer eksisterande diskontinuitetar som sprekkplan eller svake plan i bergmassen. Kartlegging av diskontinuitetar er difor særst viktig i ei ingeniørgeologisk kartlegging (Domaas og Grimstad, 2014; Nilsen og Palmström, 2000; Wyllie og Mah, 2004).

2.1.1 Bergmassen som «fast fjell»

Det er ofte tektonisk aktivitet i jordskorpa som er opphavet til diskontinuitetar i bergmassen, og som fører til at bergmassen blir mindre homogen (Nilsen og Palmström, 2000). Ein *diskontinuitet* er ein mekanisk diskontinuitet med minimal strekkstyrke i bergmassen, og kan vere alt i frå riss, sprekker og lagdeling til større forkastingar og svakheitssonar. Ulike typar diskontinuitetar kan ha ulike eigenskapar. Under er det nemnt nokre parameter knytt til desse eigenskapane samt skildring av bergmassen ein ofte noterer seg ved kartlegging (figur 2-2) (ISRM, 1978a; Nilsen og Palmström, 2000; Wyllie og Mah, 2004):

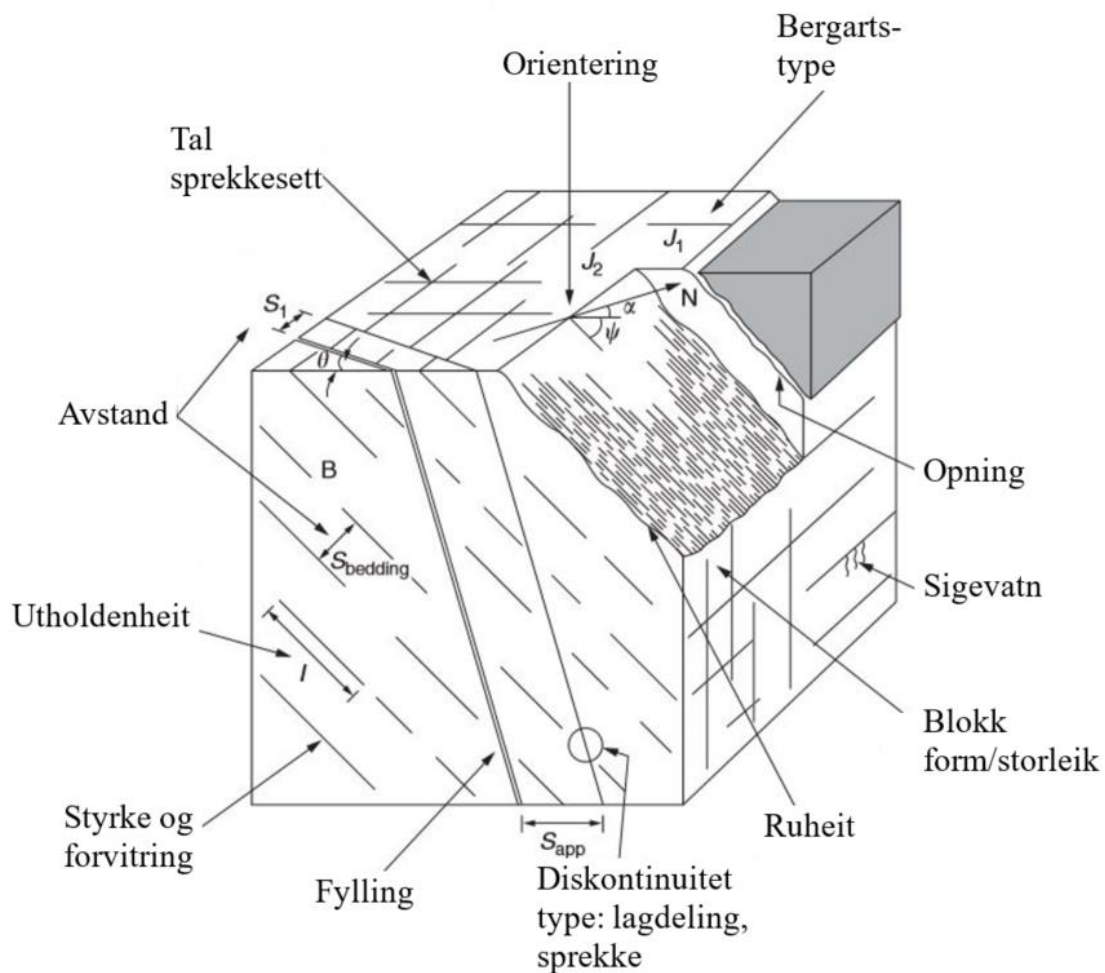
Diskontinuitetsplan eller sprekkplan

- Ruheit («roughness»): er i form av overflateruheit og bølgingar til diskontinuitetsplanet som kan auke skjærstyrken. Eksempel på estimering av ruheit er gitt i figur 2-3 og figur 2-4.

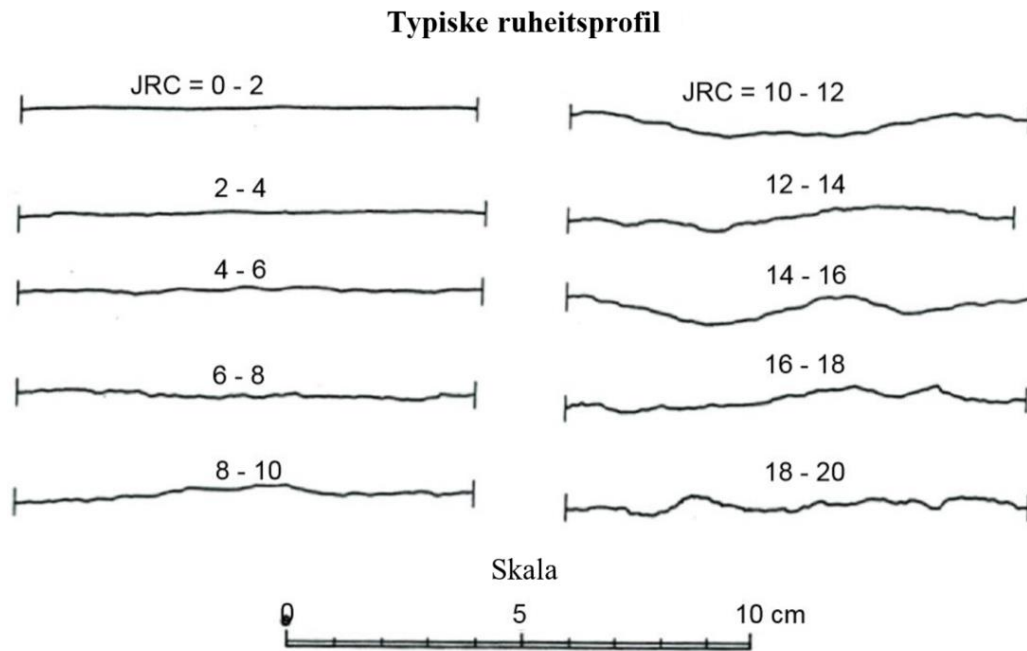
- Styrken til sprekkeveggen («wall strenght»): er ein viktig komponent i skjærstyrken ved kontakt mellom sprekkeveggane. Styrken kan blant anna minke på grunn av forvitring.
- Fyllingsmateriale i sprekka: kan vere forvitningsmateriale eller belegg på sprekkeflata. Dette kan minke friksjonen på sprekkeplanet.
- Utholdenheit («persistence»): lengd og kontinuitet av diskontinuiteten.

Geometrisk

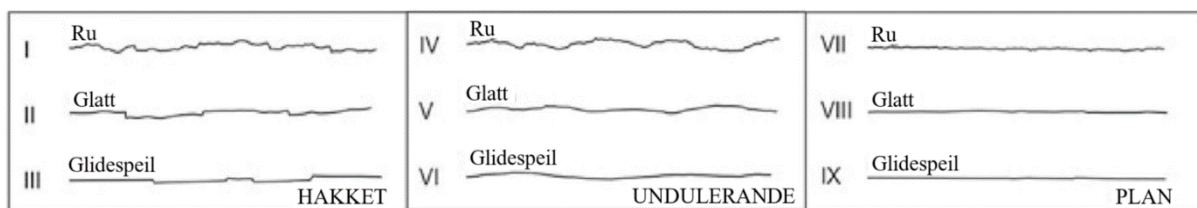
- Orienteringa til sprekkeplan: fall («dip») og fallretning («dip direction»).
- Avstand («spacing»): eller frekvens mellom like sprekker som til saman dannar eit sprekkesett. Seier noko om sprekketettleiken, men også mogeleg storleik på blokker i bergmassen når fleire sprekkesett skjer kvarandre.
- Opning («aperture»): er den loddrette avstanden av opninga mellom to tilhøyrande sprekkeflater.



Figur 2-2. Illustrasjon av eigenskapar til bergmassen. Modifisert figur i frå Wyllie og Mah (2004)



Figur 2-3. Typiske ruheitsprofil for å estimere «Joint Roughness Coefficient», JRC. Modifisert figur i frå Li (2017), basert på Barton og Choubey (1977).



Figur 2-4. Kvalitativ vurdering av ruheit til diskontinuitetsflater. Delt inn i storskala: hakka («stepped»), undulerande og plan, og småskala: ru («rough»), glatt («smooth») og glidespeil («slickensided»). Lengda til profilet kan vere i storleikssorden 1 – 10 m. Figuren er modifisert i frå Sellmeier (2015), og er basert på ISRM (1978a)

Sprekke er eit naturleg diskontinuitetsplan der det ikkje har vore noko synleg forflytting (ISRM, 1978a; Nilsen og Palmström, 2000). Det er fleire måtar å kategorisere sprekkar på, der ein metode baserer seg på opphavet. Eit lite utdrag av mogelege sprekketypar er gitt under (Nilsen og Palmström, 2000; Wyllie og Mah, 2004):

- *Foliasjonssprekker* er diskontinuitetar som har utvikla seg langs foliasjonen til metamorfe bergartar.
- *Eksfoliasjonssprekker / avskalling* er sprekkar danna av fysiske eller kjemiske krefter. Oppsprekkinga kan vere parallelt med overflata og for eksempel vere årsaka av avlastning frå erosjon.

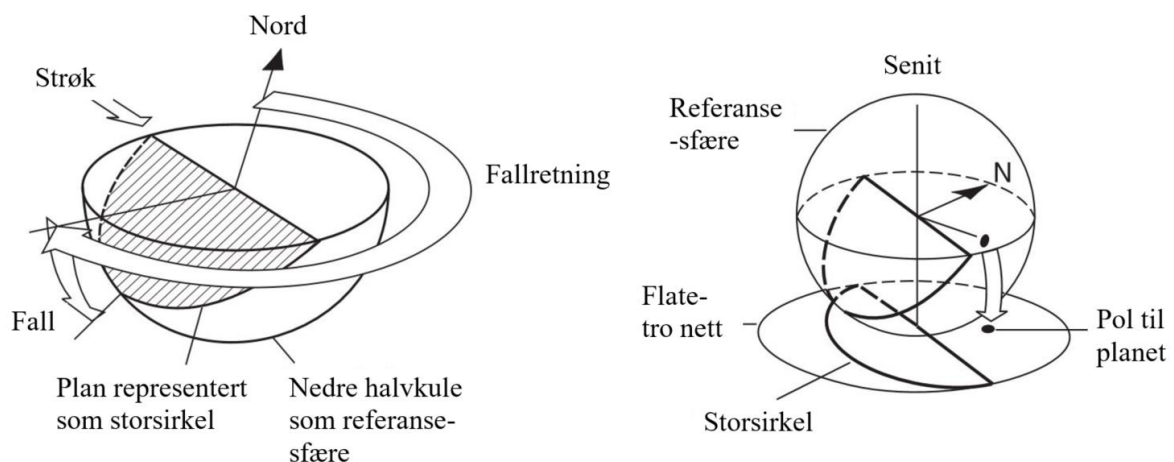
- *Tensjonssprekker* kan bli danna på fleire måtar som for eksempel folding, eller frå små skjerrørsler inne i bergmassen. Synlege tensjonssprekker kan indikere ein potensiell ustabilitet.

Eit estimat av blokkvolumet (V_b) for bergmassen kan blir gjort via Palmström (2005) si likning 2.1, der A_1 , A_2 og A_3 er gjennomsnittsavstanden til tre sprekkesett, og γ_1 , γ_2 og γ_3 er vinklane mellom sprekkesetta.

$$V_b = \frac{A_1 \times A_2 \times A_3}{\sin \gamma_1 \times \sin \gamma_2 \times \sin \gamma_3} \quad (2.1)$$

2.2 Stereografisk projeksjon

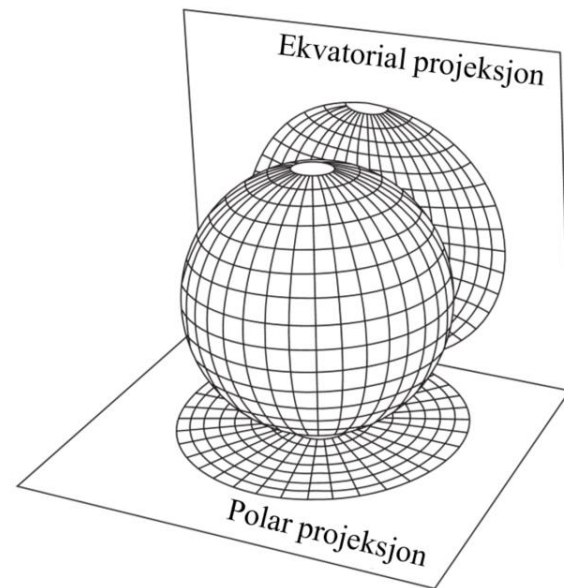
Stereografisk projeksjon er ein metode for å få oversikt over ulike diskontinuitetsplan si orientering og frekvens (Nilsen og Broch, 2012). Metoden gjer at tredimensjonale orienteringsdata frå diskontinuitetsplan, kan bli presentert og analysert i to dimensjonar (Wyllie og Mah, 2004). Dette skjer via ein sfærisk projeksjon, der planet blir lagt gjennom sentrum av referanse-sfæren som vil skjere kuleflata (figur 2-5). Skjeringssirkelen som planet og kuleflata danner blir kalla storsirkel. Skal ein vurdere orienteringa til større mengder diskontinuitetsplan, er det mest praktisk å plote plana som polar framfor storsirklar (Nilsen og Broch, 2012). Planet sin pol er definert som punktet på referanse-sfæren danna av ei radial linje ut frå sentrum av sfæren og er vinkelrett på planet. På denne måten blir planet si orientering representert med berre eit punkt (Wyllie og Mah, 2004).



Figur 2-5. Metode for flate-tro projeksjon, samt definisjon av storsirkel og pol til planet. Modifiserte figurar frå Wyllie og Mah (2004)

Sprekkesett dannar ofte klynger av polar i eit pol-plott. Ved å analysere konsentrasjonen av klyngene i eit konturplott, kan ein finne signifikante sprekksett samt den gjennomsnittlege orienteringa og variasjonen eit naturleg sprekksett vil ha (Wyllie og Mah, 2004).

Innanfor ingeniørgeologi er det vanleg med projeksjon av nedre halvkule. Vidare er «Schmidt nett» eller flatetro ekvatorial projeksjon («equal area») som ofte blir nytta i samband med strukturgeologiske- og stabilitetsanalyser (figur 2-6) (Nilsen og Broch, 2012).



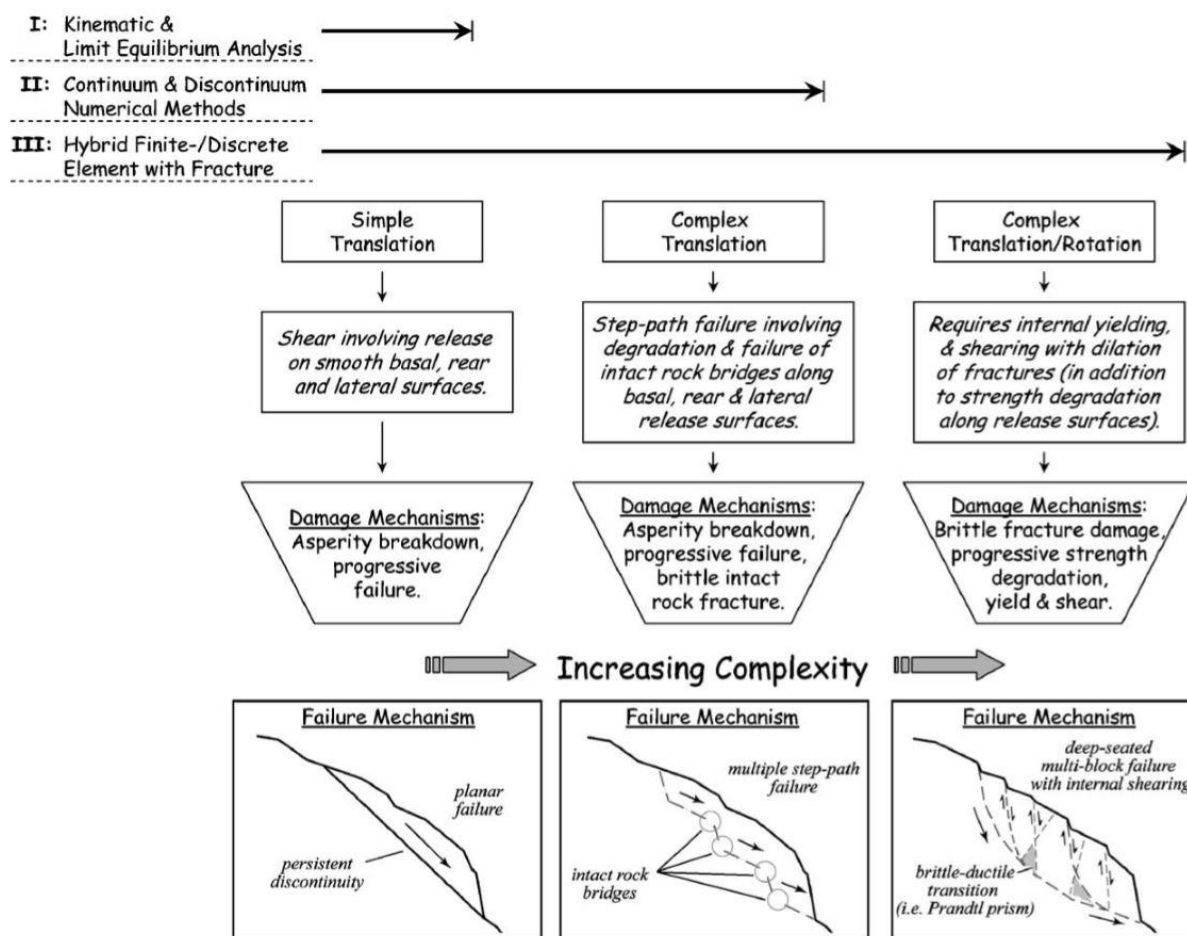
Figur 2-6. Forskjellen på ekvatorial- og polar projeksjon. Modifisert figur henta frå Wyllie og Mah (2004).

2.3 Analysemetodar for stabilitet

I prinsippet, så finst det fleire metodar som kan nyttast til analyse og vurdering av skråningsstabilitet (Nilsen, 1999; Nilsen og Palmström, 2000). Ei grov oversikt over dei mest relevante metodane er gitt under:

- Empirisk analyse
- Likevektsanalyse («limit equilibrium analysis»)
 - Deterministisk sikkerheitsfaktor
 - Deterministisk partialfaktor-metode
 - Probabilistisk metode
- Numerisk analyse («numerical analysis»)
- Fysiske modellar

Metodane som har vore mest brukte har variert med tida, men også geografisk etter kva lover og reglar som har vore gjeldande innanfor eit område (Myrvang, 2001). I tillegg kjem det an på stabilitetsproblemet si grad av kompleksitet i ei skråning (figur 2-7) (Stead, Eberhardt og Coggan, 2006).



Figur 2-7. Figuren er henta i frå Stead et al. (2006) og er eit flytskjema som illustrerer tre nivå av stabilitetsanalyse og tilhøyrande brotmekanisme.

Ved mindre komplekse stabilitetsproblem av ei skråning, er det vanleg prosedyre å først utføre ein kinematisk analyse. Då får ein identifisert aktuelle brotmekansimar, samt fått informasjon om geometri og indikasjonar på skråningsstabilitet. Dette blir så etterfylgt av ein meir detaljert stabilitetsanalyse på bakgrunn av funna i den kinematiske analysen. Den detaljerte stabilitetsanalysen kan for eksempel vere ei stabilitetsberekning etter partialfaktor-metoden. Her blir påverknadsfaktorar som vasstrykk, jordskjelv og eventuelle sikringstiltak inkludert i analysen. Noko ein kinematisk analyse ikkje tek høgde for. Rørsler i eit fjellparti kan også gje indikasjonar på ustabilitet (Wyllie og Mah, 2004).

2.3.1 Kinematisk analyse

Ei kinematisk analyse går ut på å identifisere potensielle utglidings- og utveltings-typar som kan vere i ein aktuell skråning. Analysen gjev også informasjon om kva retning utrasinga mest sannsynlegvis vil gå i. Dette gjer ein ved å studere forholdet mellom skrånings- og diskontinuitetsorienteringar, der diskontinuitetar som påverkar stabiliteten blir definert

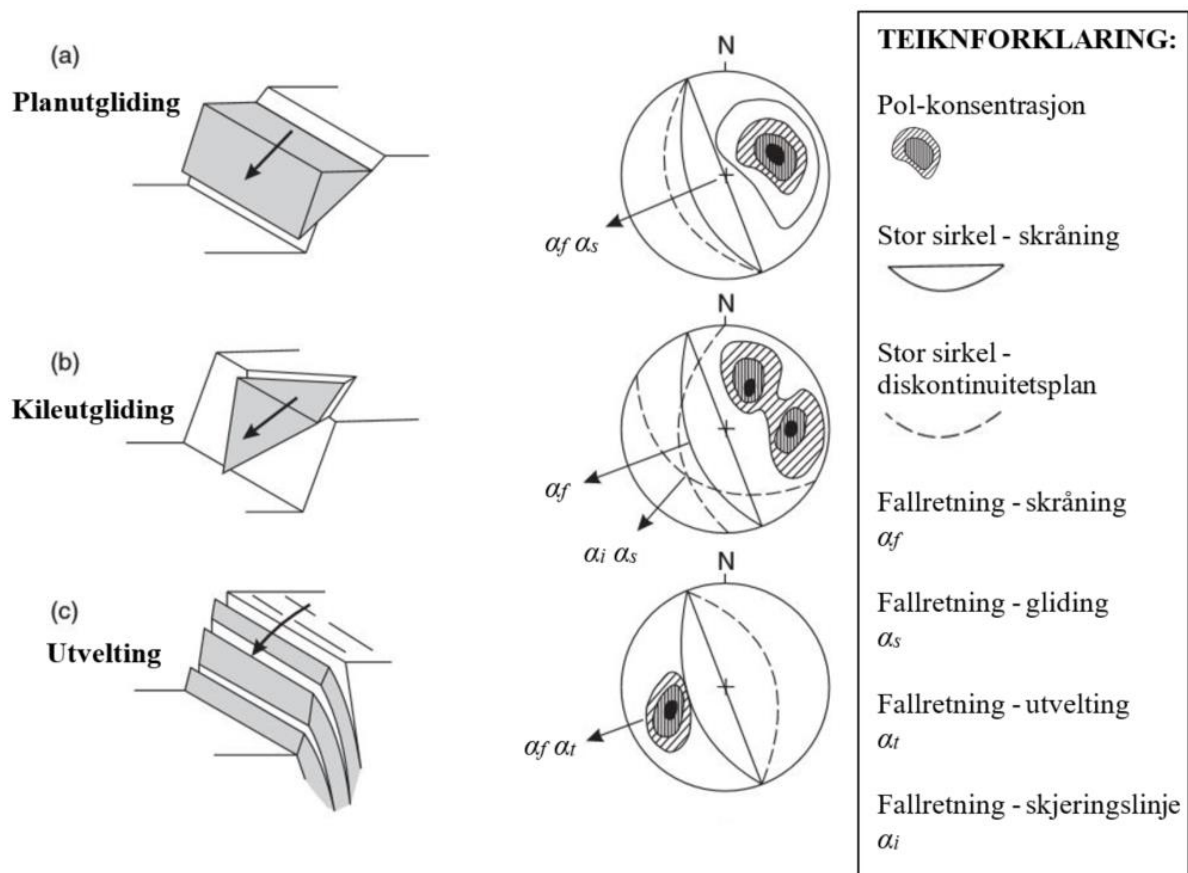
(Nilsen, 1999; Wyllie og Mah, 2004). I tillegg er det ein nyttig metode for å skaffe inngangsdata i høve trigonometri, spesielt når det kjem til kileutgliding (Nilsen, 1999; Nilsen og Palmström, 2000). Det er viktig å huske på at det er orienteringa til diskontinuitetar som vert plotta i ein stereografisk projeksjon, og ikkje dimensjon eller plassering. Ved hjelp eit geologisk kart og undersøkingar av diskontinuitetslokaliteten, kan det vere lettare å fastlegge om dei kritiske diskontinuitetane faktisk går ut i skråninga eller ikkje (Wyllie og Mah, 2004).

Fleire av utgliding- og utveltings-måtane går att i litteraturen. Vidare er det fokusert på planutgliding, kileutgliding, utvelting og utfall som er typiske brotmekanisme for harde bergartar (figur 2-8) (Nilsen og Palmström, 2000). Desse bygg på måtar presentert i Wyllie og Mah (2004), Nilsen og Palmström (2000) samt Domaas og Grimstad (2014). Dei ulike brotmekanismane har ulike tilhøyrande geometriske kriterium for at berget skal gli ut og gå i brot, men der nokre kriterium også går att.

Planutgliding

Utglinga skjer i hovudsak langs eit potensielt glideplan (figur 2-8a). Glideplanet kan bestå av ein enkel diskontinuitet eller vere samansett av fleire diskontinuitetar. I somme høve er diskontinuitetane separert med steinbruer av intakt berg («rock bridges») (Nilsen og Palmström, 2000). Kriterium for planutgliding er som følgjande (Wyllie og Mah, 2004):

- Hellinga til glideplanet må vere mindre enn hellinga til skråninga ($\psi_p < \psi_f$).
- Hellinga til glideplanet må vere større enn friksjonsvinkelen til glideplanet ($\psi_p > \phi$).
- Glideplanet til blokka må enten gå ut i bakkant av skråninga eller ende i ei tensjonssprekk.
- Fallretning til glideplanet må vere tilnærma lik fallretninga til skråninga ($\alpha_s \approx \alpha_f$). For småskala skåningar og fjellskjeringar set man ofte ei grense på $\pm 20^\circ$. Derimot anbefaler Hermanns *et al.* (2012) ei grense på $\pm 30^\circ$ for større naturlege skråningar og fjellsider.
- Blokka må ha laterale utløysingsflater som enten er frie eller der friksjonsmotstanden er ubetydeleg.



Figur 2-8. Typiske måtar berg kan gå i brot, og strukturgeologiske forhold som kan føre til den type brot. Modifisert figur i frå Wyllie og Mah (2004).

Kileutgliding

Utgildinga skjer langs to hellande plan som skjer kvarandre og dannar ei skjeringlinje («intersection line») (figur 2-8b). Orienteringa til skjeringlinja blir ofte gitt i formatet retning/stupning («trend/plunge»). Den kileforma blokka kan gli på begge plana samtidig i skjeringlinja si retning, eller gli meir på eit plan enn det andre. Dette er avhengig av fallretninga skjeringlinja (α_i) har i forhold til skråninga si fallretning (α_f) og fallretninga til dei to plana (Rocscience, 2016b; Wyllie og Mah, 2004). I Rocscience (2016b) skil dei mellom primær og sekundær kritisk sone. Kilen kan gli på begge plana eller eit plan i den primære sona, for den sekundære sona glir det berre på eit plan. Vidare vert analysen av kileutgliding plotta som fall-vektorar til skjeringlinjer og plan og ikkje som pol-vektorar. Kileutgliding har følgjande kinematiske kriterium (Wyllie og Mah, 2004):

- Hellinga til skjeringlinja må vere mindre enn hellinga til skråninga ($\psi_i < \psi_f$).
- Hellinga til skjeringlinja må vere større enn den gjennomsnittlege friksjonsvinkelen til dei to glideplana ($\psi_i > \phi$).

- Dei to glideplana til blokka må enten gå ut i bakkant av skråninga, eller ende i ei tensjonssprekk.
- Fallretninga til skjeringslinja må vere noko tilnærma lik fallretninga til skråninga ($\alpha_i \approx \alpha_f$), der det for småskala fjellskjeringar og skråningar er det viktigast at skjeringslinja går ut av skråninga. For dei større naturlege fjellskråningane kan ein ha 30° som grense (Hermanns, *et al.*, 2012).

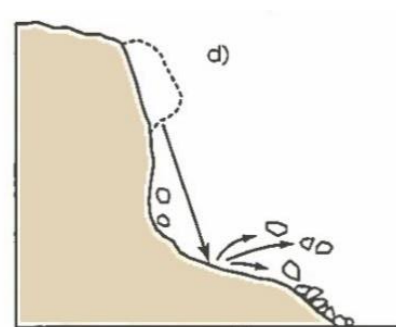
Utvelting

Utvelting eller «toppling» oppstår i skråningar der tilnærma vertikale sprekkar heller inn mot skråninga (figur 2-8c). Dersom forholda ligg til rette, kan blokker eller kolonnar med bergmasse rotere ut frå basen dei kviler på. Utvelting kan skje på ulike måtar der ein ofte skil mellom «block-toppling» og «flexural-toppling». Det er fordi desse måtane krev ulike stabilitetsanalyser. For å vurdere om utvelting er ei aktuell brotmekanisme, så ser ein ofte på desse testane (Wyllie og Mah, 2004):

- I «block shape test» kjem det an på blokka si høgd (y) og breidd (Δx) og hellinga på planet (ψ_p). Blokka kan velte ut dersom tyngdepunktet til blokka ligg utanfor sin eigen base, altså: $\Delta x/y < \tan \psi_p$.
- «Inter-layer slip test» vurderer ein om hellinga til planet er bratt nok i forhold til friksjonsvinkelen mellom blokkene, og skråninga si helling ($90^\circ - \psi_p \leq (\psi_f - \phi_p)$).
- I «block alignment test» så vurderer ein om fallretninga til utveltinga er noko lik fallretninga til skråninga ($\alpha_t \approx \alpha_f$). Ei grense på 10° er vanleg for småskala fjellskjeringar og skråningar. For større naturlege fjellskråningar er det meir passende med grenser på $30\text{-}45^\circ$ (Hermanns, *et al.*, 2012).

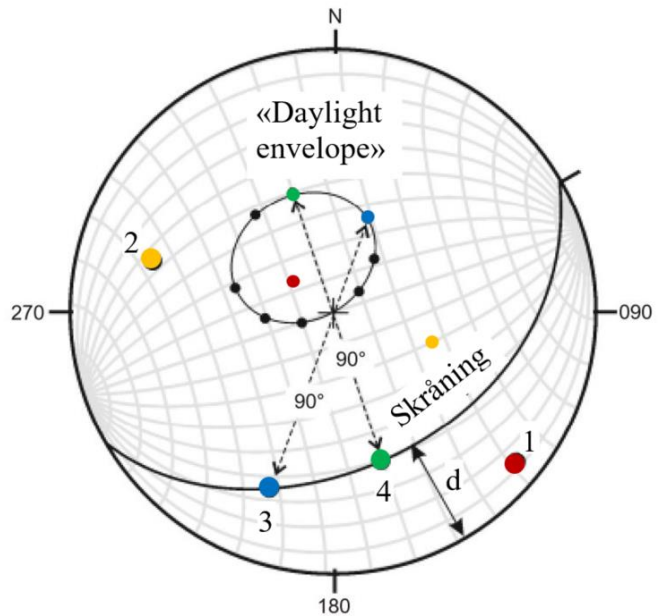
Utfall - hengande blokk

Blokker kan danne overheng i steile fjellskråningar. Det vil seie at blokka manglar understøtte eller forankring i foten og «heng» difor i lufta. Dersom det er tilnærma vertikale sprekkar i bakkant av blokka, kan blokka lett falle ut (figur 2-9) (Domaas og Grimstad, 2014).



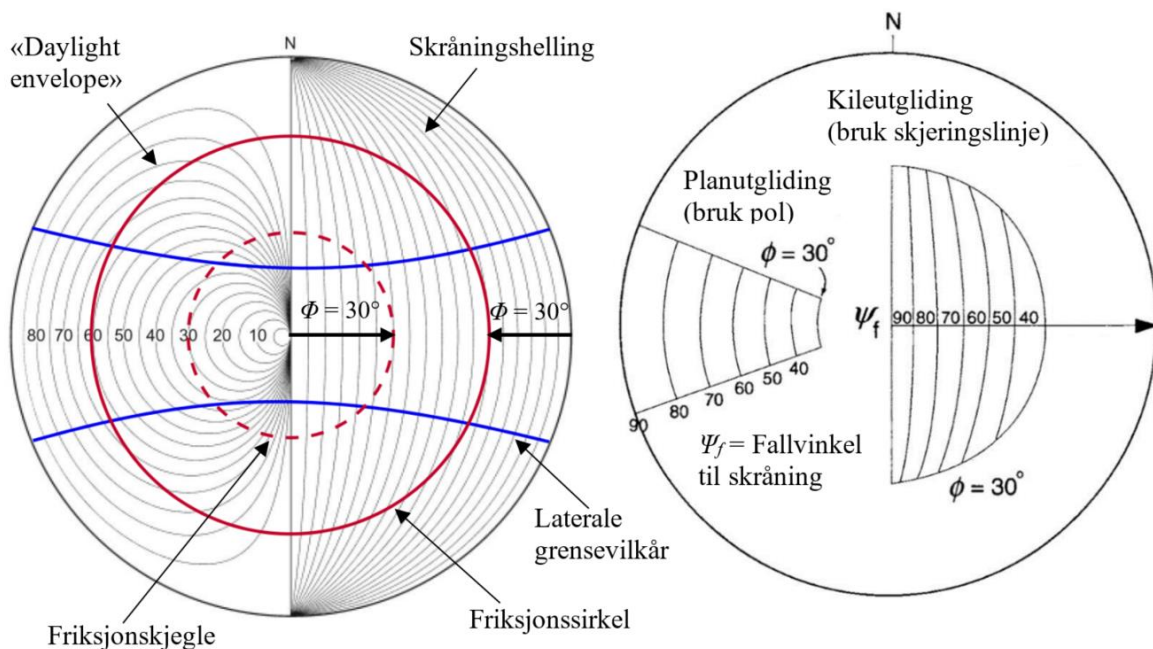
Figur 2-9. Skisse av utfall av hengande blokk frå Domaas og Grimstad (2014).

I ein stereografisk samanheng blir dei kinematiske kriteria vurdert innfridd via prinsippa om «daylight envelope», laterale grensevilkår samt friksjonskjegle og friksjonssirkel. Definisjonen av «daylight envelope» blir presenter i figur 2-10, og er ein sirkel gitt av normalane frå ei skråning med ei viss orientering. Sirkelen omhyller alle polar til plan som vil «gå ut i dagen» i skråninga og er potensielt ustabile (Lisle, 2004; Wyllie og Mah, 2004). Laterale grensevilkår («lateral limits») er teoretiske empiriske grenser mellom fallretninga til ei utrasing (α_t , α_i og α_s) og fallretninga til ei skråning (α_f), for at ei utrasing kan skje. Polar må



Figur 2-11. Modifisert figur i frå Lisle (2004) om manuell konstruksjon av «daylight envelope». 1, 2, 3 og 4 er plan plotta som fall-vektor med tilhøyrande pol. 3 og 4 representerer plan som marginalt «går ut i dagen», 2 «går inn» i skråninga og 1 «går ut» i skråninga. Polen til plan 1 vil dermed felle innanfor «daylight envelope» og er det mest kritiske planet.

difor falle innanfor den laterale grensa som er illustrert i figur 2-11, om plana skal vere potensielt ustabile. Friksjonskjegle («friction cone») og friksjonssirkel («friction circle») er to av same ting, og definerer grensa for stabilitet basert på friksjon i eit stereonett (figur 2-11).



Figur 2-10. Illustrasjon av kinematiske kriterier. Figuren til venstre er etter inspirasjon frå Hermanns (2015a), og er ein modifisert figur i frå Lisle (2004). Figuren til høgre er modifisert i frå Hudson og Harrison (2000).

Friksjonskjelgle vert brukt når ein ser på pol-vektor til plan og friksjonssirkel når ein ser på fall-vektor til plan eller skjeringslinjer (Rocscience, 2016b).

2.3.2 Inngangsparametrar til stabilitetsberekning

Kvantifisering av inngangsparameter er ein essensiell og kritisk del av stabilitetsanalysen. Inngangsparametrane kan grovt delast inn i fire kategoriar: geometri, vasstrykk, seismisk aktivitet og sprekkefriksjon. Dei største utfordringane ligg i å kvantifisere sprekkefriksjon og vasstrykk, som også er dei parametrane som har størst innflytelse på analysen og ved berekning (Nilsen, 1999; Nilsen og Palmström, 2000; Nilsen, 2000).

Geometri

Geometrien til ei skråning med stabilitetsproblem blir best vurdert ut i frå feltarbeid. Via ei stereografisk- og kinematisk analyse får ein ei oversiktleg vurdering og dokumentasjon av den mest sannsynlege brotforma, samt informasjon om trigonometriske inngangsdata (Nilsen og Palmström, 2000). Eventuelle tensjonssprekker kjem også innunder her. Dei er med i avgrensinga av det ustabile området, men seier også noko om korleis vasstrykket frå grunnvatn kan bli fordelt i skråninga, og på den måten påverkar stabiliteten (Wyllie og Mah, 2004). I tabell 2-2 er det lista opp eksempel på nokre alternative situasjonar som syner idealisert fordeling av vasstrykk med og utan tensjonssprekk, samt tilhøyrande geometri. Tabellen er ikkje altomfattande, men heller ei oversikt over ulike situasjonar ein kan ta høgde for. Nokre av situasjonane er meir relevante å nytte enn andre (Nilsen og Palmström, 2000).

Vasstrykk

Vasstrykket på det potensielle glideplanet kan vere heilt avgjerande for stabiliteten. Det er fordi normalspenninga har ein tendens til å bli redusert og dermed minkar friksjonsmotstanden når vasstrykk får innverke på glideplanet. Dersom det er vatn i vertikale eller sub-vertikale sprekker, som for eksempel i situasjonar med tensjonssprekk (tabell 2-2), kan vatn i tillegg utgjere ei direkte drivande kraft. Frysvatnet til is kan situasjonen bli enda meir ugunstig. Det aller vanskelegaste i ein stabilitetsanalyse, vil ofte vere å få ein realistisk modell av sprekkevasstrykket (Nilsen, 1999; Nilsen og Palmström, 2000; Wyllie og Mah, 2004).

Tabell 2-2. Idealiserte fordelingar av vasstrykk på ei sprekkeflate. Den generelle informasjonen samt figurar under «utan tensjonssprekk» er henta og basert på Nilsen og Palmström (2000). Figurane under «med tensjonssprekk» er henta frå Wyllie og Mah (2004).

	Utan tensjonssprekk	Med tensjonssprekk
<p>Tørr skråning</p> <ul style="list-style-type: none"> - det er ikkje noko vasstrykk på glideplanet - ofte nytta i setting: «mest gunstig tilfelle» 		
<p>Triangulær fordeling av vasstrykk</p> <ul style="list-style-type: none"> - i øvre del av skråning renn det vatn fritt inn i skråninga, men med full drenering ved tåa - ofte nytta i setting: «minst gunstig tilfelle» 		
<p>Fullt hydrostatisk vasstrykk</p> <ul style="list-style-type: none"> - vatn renn fritt inn i øvre del av skråning, der vasstrykket aukar hydrostatisk på grunn av manglande drenering ved tåa - ein sjeldan situasjon 		

I praksis vert det ofte nytta ein triangulær fordeling av sprekkevasstrykket når ein skal ta høgde for kraftig nedbør i settinga «minst gunstig tilfelle» (tabell 2-2). Dette med mindre ein har tilgang, økonomi og moglegheit til å gjere *in-situ* testing og målingar i den aktuelle skråninga. Den triangulære fordelinga er ein idealisert situasjon der vatn renn fritt inn i glideplanet i øvre del av skråninga, og blir fullt drenert ved tåa til skråninga. Det høgste vasstrykket tilsvarar difor halve skråninga sitt hydrostatiske nivå (Nilsen, 1999; Nilsen og Palmström, 2000). Til tross for at denne tilnærminga ser ut til å stemme godt overens med den faktiske situasjonen i mange tilfelle, meiner Nilsen (2000) at den triangulære fordelinga

ofte gjev ei overdriving av resultant-trykket, i følgje praktisk erfaring. Dette fordi bergmassen ofte er inhomogen med fleire sprekker enn berre glideplanet, og kan gje ei viss grad av drenerande effekt mot skåningsfronten. Å nytte fullt hydrostatisk vasstrykk til settinga «minst gunstig tilfelle», er berre realistisk i situasjonar der drenering av glideplanet er totalt blokkert i tåa, og som resulterer i eit veldig høgt vasstrykk. Dette er ein svært sjeldan situasjon (Nilsen og Palmström, 2000).

I settinga «mest gunstig tilfelle» vert vasstrykket på glideplanet ofte sett til null, som betyr ei tørr skråning (tabell 2-2) (Nilsen og Palmström, 2000).

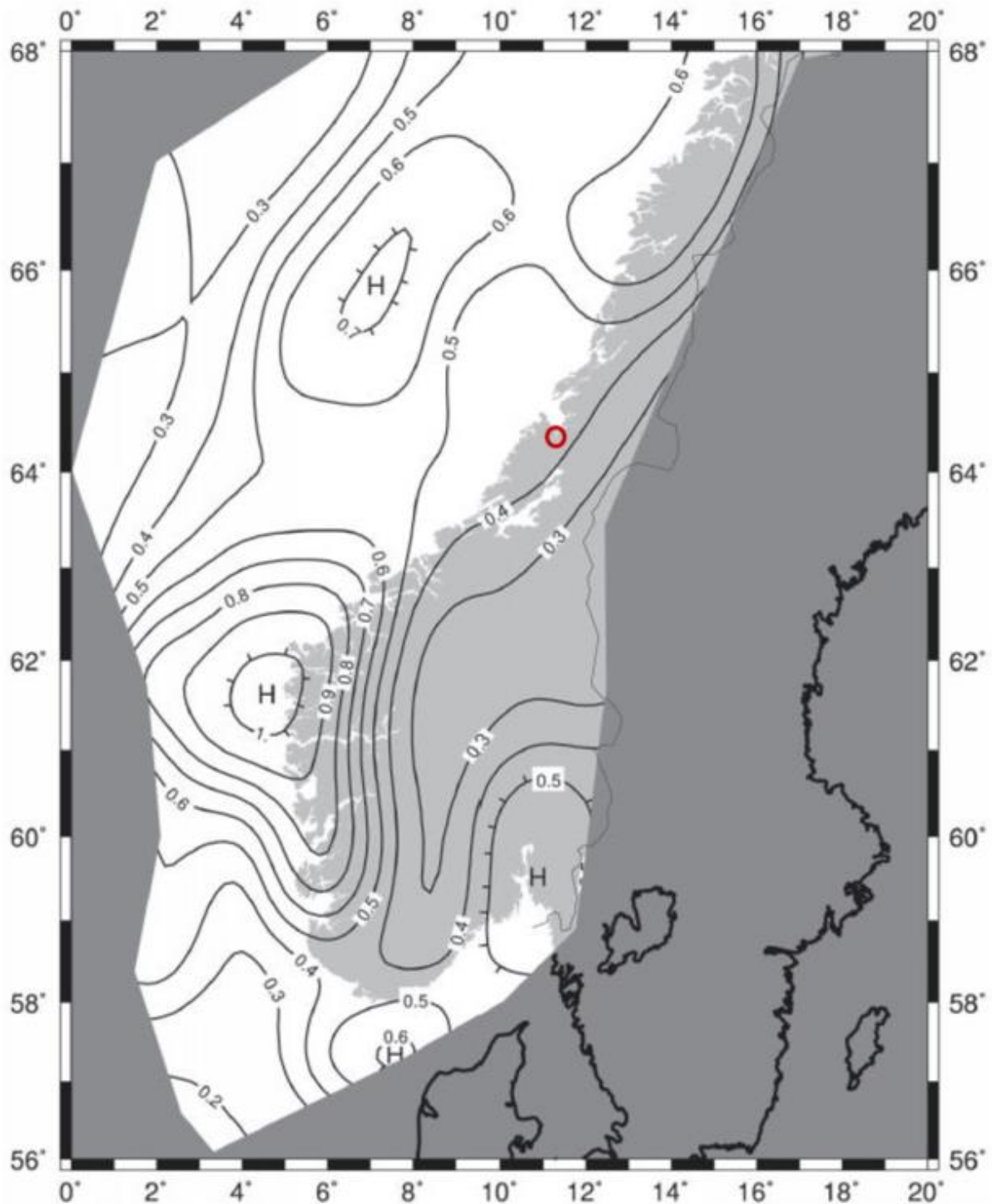
Seismisk aktivitet

Sidan 2011, då «Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering» kom ut (Nilsen, *et al.*, 2011), har det kome endringar i blant anna Eurokode 8 om korleis ein skal vurdere og berekne jordskjelvlasten. Vidare, blir den oppdaterte framgangsmetoden i Eurokode 8 enkelt gått gjennom og presentert. Fokuset er på den forenkla pseudostatistiske krefter metoden; ei metode som kan bli nytta ved låg seismisitet (Standard-Norge, 2014a, 2014c).

Referansespissverdien for berggrunnsakselerasjonen (a_{gR}) blir kalkulert ut i frå likning 2.2 der spissverdien for berggrunnen sin akselerasjon a_{g40Hz} (m/s^2) inngår. Denne spissverdien a_{g40Hz} , blir presentert som isokurver av seismiske soner med ein returperiode på 475 år for Noreg (figur 2-12). Dette er noko høgare enn den faktiske akselerasjonen av berggrunnen. Dersom området som skal vurderast ligg mellom to isokurver, kan verdien for a_{g40Hz} interpolerast. Ligg området innanfor ein av dei maksimale seismiske sonene, er praksisen at det blir lagt til eit konstant tillegg på $0,05 m/s^2$ til isokurveverdien for a_{g40Hz} . Typiske verdiar på a_{g40Hz} for fastlands-Noreg varierer mellom $0,25 - 1,05 m/s^2$ (Standard-Norge, 2014c).

$$a_{gR} = 0,8 \times a_{g40Hz} \quad (2.2)$$

Berggrunn og fjell, inkludert høgst 5 m av eit svakare materiale på overflata, går inn under grunntype A (tabell NA.3.1, Standard-Norge (2014c)). Den seismiske faktoren (γ_I) (tabell 2-3) blir bestemt ut i frå seismisk klasse (tabell 2-4). Sidan ei bergskråning kjem innanfor grunntype A, blir forsterkingsfaktoren (S) lik 1 (tabell NA.3.3, Standard-Norge (2014c)). Dette er eit parameter som skildrar anbefalt elastisk responsspekter (Standard-Norge, 2014b).



Figur 2-12. Seismiske soner i spissverdi for berggrunnsakselerasjonen, a_{g40Hz} (m/s^2) over Sør-Noreg. Returperioda er 475 år. Figuren er henta i frå Standard-Norge (2014c).

Ein kan dimensjonere etter føresegner om låg seismisitet, dersom $a_g S < 0,98 \text{ m/s}^2$. (likning 2.3). I tillegg er det fritak for dimensjonering etter Eurokode 8, dersom konstruksjonen er innanfor seismisk klasse I og $a_g S < 0,49 \text{ m/s}^2$ (Kaynia *et al.*, 2017; Standard-Norge, 2014c).

Under her kjem den forenkla pseudostatistiske-krefter metoden. Ein dynamisk analysemetode som «finite element» eller «rigid block modell» er elles gjeldande (Standard-Norge, 2014a).

$$a_g S = \gamma_I (0,8 a_{g40Hz}) S \quad (2.3)$$

Ein seismisk topografisk forsterkningsfaktor (S_T), blir lagt til dersom konstruksjonen har ein seismisk faktor $\gamma_I > 1$, eller er nærme ei skråning med høgd større enn omtrent 30 m. Den topografiske forsterkningsfaktoren kan bli sett vekk i frå ved skråningar slakare enn 15° . Det same gjeld djuptsittande skred, der glideplanet ligg djupt og går ut i botnen av skråninga. Dess djupare ein går inn i ein fjellrygg, dess mindre blir den seismiske amplifikasjonen, som først og fremst påverkar grunne ryggar og toppar. Vidare i vedlegg A i Standard-Norge (2014a), er det gitt rettleiande verdiar for S_T som kan nyttast for skråningar brattare enn 15° . Den dimensjonerande berggrunnsakselerasjonen (a_g) blir så kalkulert ut i frå likning 2.4. Vidare, blir seismisk akselerasjon (α) i berggrunnen som fraksjon av gravitasjonen (g) kalkulert via likning 2.5:

Tabell 2-3. Verdiar til seismisk faktor (γ_I) gitt av seismisk klasse. Tabellen er henta frå tabell NA.4(901), Standard-Norge (2014c).

Seismisk klasse	γ_I
I	0,7
II	1,0
III	1,4
IV	2,0

$$a_g = a_{gR} \times \gamma_I \times S_T \quad (2.4)$$

$$\alpha = \frac{a_g}{g} \quad (2.5)$$

Tidlegare har jordskjelv-lasten (F_{ak}) vore rekna som ekvivalent horisontal belastning. No skal både komponenten til horisontal- og vertikalbelastninga (F_H og F_V) takast med i berekninga, som blir kalkulert via likningane under. For likninga til vertikalbelastninga (F_V) er det sett ein \pm , det vil seie at vertikalakselerasjonen gjeld i begge retningar og ein vel den retninga som fører til det lågaste forholdet mellom summen av stabiliserande krefter og drivande krefter. Altså den mest ugunstige situasjonen i ein stabilitetssamanheng. Vekt av potensielt ustabil bergmasse er W (Kaynia, *et al.*, 2017; Standard-Norge, 2014a):

$$F_H = 0,5 \times \alpha \times S \times W \quad (2.6)$$

$$F_V = \pm 0,33 \times F_H \quad (2.7)$$

Tabell 2-4. Rettleiande tabell for val av seismisk klasse. Tabellen er henta i frå tabell NA.4(902), Standard-Norge (2014c). Ei raud markering syner kva som er mest relevant for situasjonen ved Sjøåsen.

Byggverk	I	II	III	IV
Byggverk der konsekvensene av sammenbrudd er særlig store				X ¹⁾
Viktig infrastruktur: sykehus, brannstasjoner, redningssentraler, kraftforsyning og lignende			(X)	X
Høye bygninger, mer enn 15 etasjer		(X)	X	
Jernbanebruer ²⁾			X	(X)
Veg- og gangbruer ²⁾		(X)	X	(X)
Byggverk med store ansamlinger av mennesker (tribuner, kinosaler, sportshaller, kjøpesentre, forsamlingslokaler osv.)		(X)	X	
Kaier og havneanlegg		X	(X)	
Landbaserte akvakulturanlegg for fisk		X	(X)	
Tårn, master, skorsteiner, siloer	(X)	X	(X)	
Industrianlegg		X	(X)	
Skoler og institusjonsbygg		(X)	X	
Kontorer, forretningsbygg og boligbygg		X	(X)	
Småhus, rekkehus, bygg i én etasje, mindre lagerhus osv.	X	(X)		
Støttemurer med høyde lavere enn 3 m langs veger i klasse II ³⁾	X	(X)		
Kulverter	X	(X)	(X)	
Landbruksbygg	(X)			
Kaier og fortøyningsanlegg for sport og fritid	(X)			

¹⁾ For byggverk der konsekvensene av sammenbrudd er særlig store, for eksempel ved atomreaktorer og lagringsanlegg for radioaktivt avfall, store dammer og marine konstruksjoner bør jordskjelvriskoen vurderes spesielt, eventuelt basert på en risikoanalyse.
Lagertanker for flytende gass og store hydrokarbonførende rørledninger over land er behandlet i NA til NS-EN 1998-4.

²⁾ Se veiledende tabell for valg av seismisk klasse for bruer i NA til NS-EN 1998-2.

³⁾ For støttemurer langs jernbane, støttemurer langs veger med høyde over 3 m og støttemurer langs viktige veier (klasse III) benyttes samme seismiske klasse som for vegen eller jernbanen

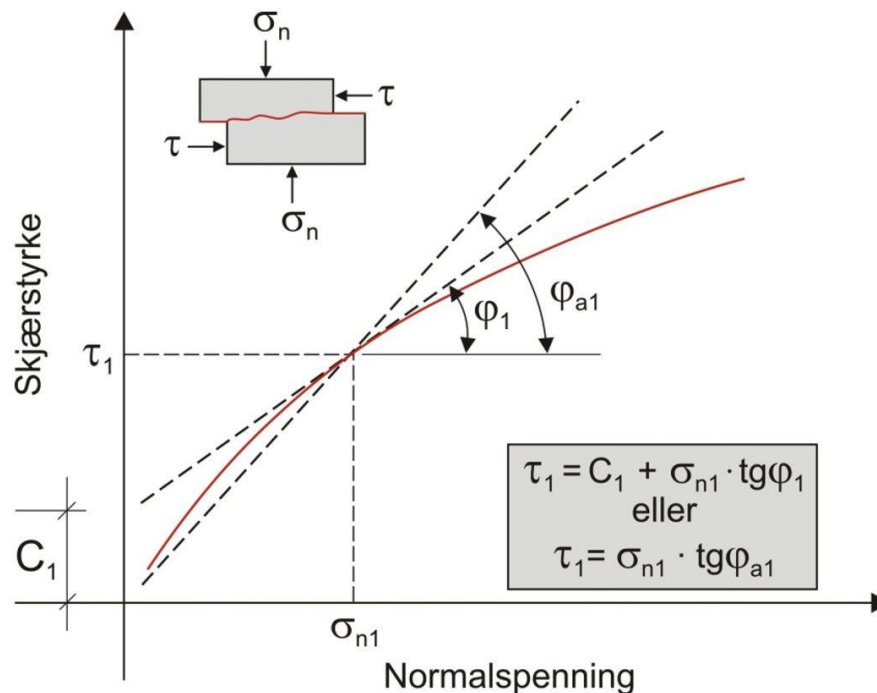
Sprekkefriksjon

For å vurdere stabiliteten til ei bergskråning kan ein betrakte bergmassen som eit Coulomb materiale der Coulomb si likning (2.8) ligg til grunn. Då ser ein på forholdet mellom skjerstyrken til glideplanet (τ) og friksjonsvinkelen (φ). Dette er under føresetnad av at glideplanet er flatt, glatt og reint. Vidare er c kohesjon, og σ_n er normalspenninga som verkar på planet (Wyllie og Mah, 2004).

$$\tau = c + \sigma_n \times \tan(\varphi) \quad (2.8)$$

I dei fleste tilfelle har sprekkeflater i bergmassen ei ujamn overflate på grunn av større «bølgingar» og små «stripningar». Ved skjerrørsle langs ei slik ujamn overflate, vil det bli dilatans og/eller avskjeringar av desse irregularitetane. Dette resulterer i ein ikkje-lineær trend

mellom skjærstyrke og normalspenning, som gjer at den generelle likninga til Coulomb ikkje gjeld (figur 2-13). Dersom det ikkje blir teke omsyn til at skjærfastheitskurven kan vere krumma, kan det lett oppstå alvorlege feil i stabilitetsanalysen (Nilsen, 2000; Nilsen og Palmström, 2000; Nilsen, *et al.*, 2011).



Figur 2-13. Eksempel på ei typisk ikkje-lineær kurve mellom skjærstyrke og normalspenning ved ei skjerrørsle langs eit ujamt plan. Figuren er henta i frå Nilsen *et al.* (2011).

Ein måte å løyse dette på er å nytte parameteren aktiv friksjonsvinkel (φ_a), som også forenkler berekninga av stabilitetsanalysen. På denne måten blir irregularitetane sin effekt på skjærstyrken, inkludert i friksjonsvinkelen. Då blir kohesjonen (c) sett lik null, som gjev skjærstyrken ei fylgjande likning (2.9) (Nilsen og Palmström, 2000):

$$\tau = \sigma_n \times \tan(\varphi_a) \quad (2.9)$$

Nilsen (1999) og Nilsen & Palmström (2000) nemner fire metodar for å kome fram til parameter for sprekkefriksjon:

- Laboratorietesting
- Testing in-situ i felt
- Tilbakerekning
- Empiriske metodar

Dei tre fyste metodane har klare avgrensingar høvesvis på grunn av avgrensa prøvestorleik, høge kostnader og kompleksitet, samt krav om identiske geologiske forhold. Dette har gjort at empiriske metodar har blitt mest vanleg å nytte, noko som samsvarar med føreslåtte berekningsmodellar i Eurokode 7 (Nilsen og Palmström, 2000; Nilsen, *et al.*, 2011).

Det er spesielt Barton og Bandis (1990) sin empiriske metode for sprekkefriksjon som har vore mykje nytta. Her blir parameter som blant anna omfattar ruheit og hardheit til sprekkeflata samt eventuell forvitring, inkludert i likninga (2.10), kalla Barton-Bandis skjersfastheit (Nilsen & Palmström, 2000; Nilsen *et al.*, 2011; Hole, 2015). Denne empiriske likninga er basert på «reine» sprekkeflater utan fyllingsmateriale (Grøneng og Nilsen, 2009).

$$\tau = \sigma_n \times \tan \left[JRC \times \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \varphi_r \right] \quad (2.10)$$

Parametrane *JRC* står for «Joint Roughness Coefficient» og representerer ruheita til sprekkeflater, medan *JCS* står for «Joint Compressive Strength» som skildrar hardheita til sprekkeflater. For sprekker med høg ruheit er det spesielt viktig å korrigere *JRC* på grunn av skaleffekt (Nilsen og Palmström, 2000). Den residuale friksjonsvinkelen (φ_r), vert ein restverdi for friksjonsvinkelen når irregularitetane til sprekkeplanet er blitt nedbrotne, og sprekkeplanet er tilnærma glatt. Dette kan skje på grunn av skjerrørsle eller høg normalspenning (Grøneng og Nilsen, 2009; Høeg, 2014).

Ein metode for å estimere den residuale friksjonsvinkelen (φ_r) blir gitt av Barton og Choubey (1977) sin empiriske samanheng (likning 2.11) mellom basis friksjonsvinkel (φ_b), Schmidt-hammarverdien på våt og forvittra sprekkeflate (r), og verdien på tørr, uforvittra sprekkeflate (R). Basis friksjonsvinkel (φ_b) er knytt til glatte, plane flater i fersk bergoverflate. Den residuale friksjonsvinkelen kan estimerast til å vere lik basis friksjonsvinkel ($\varphi_r = \varphi_b$), dersom den naturlege sprekkeflata er uforvittra (Grøneng & Nilsen, 2009).

$$\varphi_r = (\varphi_b - 20^\circ) + 20 \left(\frac{r}{R} \right) \quad (2.11)$$

Som nemnt tidlegare, så er det ein ikkje-lineær trend mellom skjersstyrken (τ) og normalspenninga (σ_n) der skjersfastheitkurva har ei krumming (figur 2-13). For å komme fram til denne kurva kan skjersstyrken reknast ut ved hjelp av likning 2.10 og 2.11, der normalspenninga (σ_n) varierer som følgje av dei ulike settingane ein skal ta høgde for. Dette igjen gjer at friksjonsvinkelen (φ_a) ikkje er konstant, men heller blir ein funksjon av

normalspenninga (σ_n). For å unngå at ein reknar med friksjonsparameter som er basert på alt for høge spenningsnivå, er det essensielt at friksjonsparameteren vert tilpassa det aktuelle normalspenningsnivået. Den aktive friksjonsvinkelen (φ_a), kan bli berekna ut i frå likning 2.12 for varierende normalspenningar (σ_n). Ved låge normalspenningar er den aktive friksjonsvinkelen ofte høg på grunn av irregularitetar på sprekkeflata og dilatans, medan for høge normalspenningar vert den aktive friksjonsvinkelen ofte låg (Bjordal, *et al.*, 2011; Nilsen, 1999; Nilsen og Palmström, 2000; Nilsen, *et al.*, 2011). I følgje Barton og Choubey (1977) har dei mest ru sprekkene fått ei innhyllingskurve trunkert til ei lineær-kurve. Dette gjer at den aktive friksjonsvinkelen (φ_a) får eit maksimum på 70°.

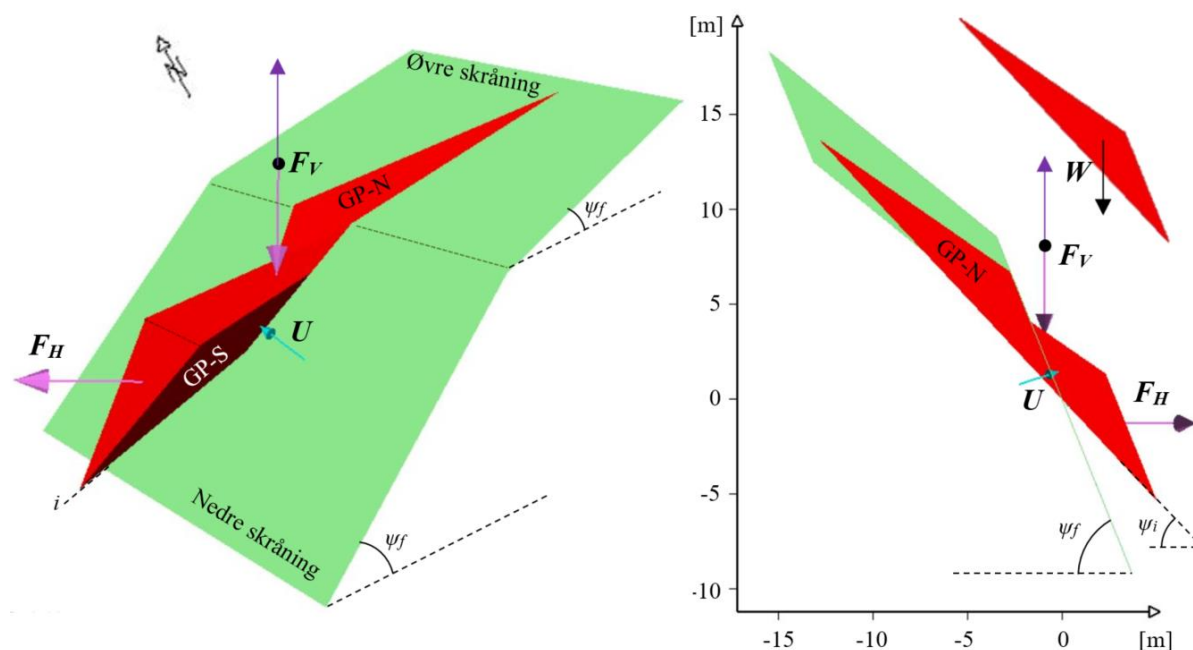
$$\varphi_a = \tan^{-1} \left(\frac{\tau}{\sigma_n} \right) \quad (2.12)$$

2.3.3 Stabilitetsberekning

Når det potensielle stabilitetsproblemet er identifisert og fornuftige parameter er nøye vurdert, kan berekninga starte. Ved berekning kan det vere nyttig å ta høgde for desse ulike settingane: (Nilsen, 1999)

- Minst gunstige tilfelle
- Mest gunstige tilfelle
- Jordskjelv (utan vasstrykk)
- Vasstrykk (utan jordskjelv)

Med dette kan ein vurdere kva innflytelse jordskjelv og vasstrykk har på skråningsstabiliteten (Hole, 2015). Det er i samsvar med Eurokode 7 sine krav til kortsiktige og langsiktige dimensjonerande situasjonar (Nilsen, *et al.*, 2011). Eit eksempel på korleis ulike krefter påverkar stabiliteten for ei skråning med mogeleg kileutgliding er gitt i figur 2-14. Dei stabiliserande kreftene er i dette tilfellet sprekkeplanet sin friksjon, medan vasstrykk, jordskjelv, og gravitasjonen står for dei drivande kreftene. Den stabiliserande effekten som fylgje av boltar og anna sikring er ikkje inkludert, og skråninga er difor i ein «naturleg» tilstand. Eventuelle tensjonssprekker er heller ikkje inkludert i figuren.



Figur 2-14. Kileutgliding visualisert i 3D. Til høyre blir kilen sett frå sida med dimensjonerende aksar. Korleis vekten av potensiell ustabil bergmasse (W), vasstrykket (U) og jordskjelvlasten som horisontal- og vertikalbelastning (F_H og F_V) påverkar kilen er visualisert. Nordleg og sørleg glideplan ($GP-N$ og $GP-S$) blir definert i forhold til himmelorienteringa. Skjeringslinja (i) til kilen går ut i dagen i nedre skråning, og har ei slakare helling enn skråninga ($\psi_i < \psi_f$).

Når det kjem til norske forhold, så vart det bestemt gjennom teknisk forskrift (TEK10 med vidareføring i TEK17) til plan- og bygningslova (PBL), at prosjektering (i denne samanheng stabilitetsberekningar) skal vere i samsvar med Norsk Standard. Dette inkluderer også Eurokode-serien, samt standarden sine nasjonale tillegg (Nilsen, *et al.*, 2011). I følge Eurokode 7 skal stabilitetsberekningar basere seg på partialfaktor-metoden (Nilsen, *et al.*, 2011; Standard-Norge, 2016b). Prinsippet med deterministisk sikkerhetsfaktor har tradisjonelt sett vore den mest dominerande for metoden til å analysere skråningsstabilitet i berg. Her vurderer ein forholdet mellom dei stabiliserande kreftene mot dei drivande kreftene, som resulterer i ein sikkerhetsfaktor (likning 2.13 og 2.14). Når SF får ein verdi lik 1,00 er skråninga i likevekt (der av namnet likevektsanalyse) og representerer ein situasjon der dei stabiliserande kreftene er lik dei drivande kreftene. Metoden med sikkerhetsfaktor er godt innarbeida i fagmiljøet samt enkel å forstå (Nilsen, 1999, 2000; Wyllie og Mah, 2004).

$$\text{Sikkerhetsfaktor (SF)} = \frac{\text{Stabiliserande krefter}}{\text{Drivande krefter}} \quad (2.13)$$

$$SF = \frac{\text{skjærstyrke, bolt}}{\text{vekt, jordskjelv, vatn}} \quad (2.14)$$

Partiaalfaktor-metoden

I partialfaktor-metoden er det fleire ulike partielle faktorar som skal korrigere både motstand og påverknad (Standard-Norge, 2016; Nilsen, et al., 2011). Desse partielle faktorane for materialar og last blir brukt i staden for ein enkelt sikkerheitsfaktor. Dette kan gi ein betre kontroll og oversikt over berekninga, der moglege feilkjelder i inngangsparametrane i større grad kan bli tatt omsyn til (Nilsen, 1999). Dei partielle faktorane vert lagt til lastar og materiale på følgjande måte (Nilsen, *et al.*, 2011):

F_d	=	dimensjonerande last
R_d	=	dimensjonerande motstand (styrke)
F_k	=	karakteristisk last
R_k	=	karakteristisk motstand (styrke)
γ_m	=	materialfaktor
γ_f	=	partiell faktor for last

$$F_d = F_k \times \gamma_f \quad (2.15)$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_m} \quad (2.16)$$

Lastane det ofte er snakk om i ei stabilitetsanalyse er vekt av potensielt ustabil bergmasse (W), vasstrykket (U) og jordskjelvbelastninga frå vertikal- og horisontalretning (F_V og F_H). Vidare så vert den aktive friksjonsvinkelen (φ_a) her kalla karakteristisk aktiv friksjonsvinkel (φ_{ka}), blir redusert av materialfaktoren (γ_m) på fylgjande måte til ein dimensjonerande aktiv friksjonsvinkel (φ_{da}) (Nilsen, *et al.*, 2011):

$$\frac{\tan \varphi_{ka}}{\gamma_m} = \tan \varphi_{da} \quad (2.17)$$

Konstruksjonen eller utforminga, blir sett på som tilfredsstillande dersom summen av den dimensjonerande styrken er større eller lik summen av den dimensjonerande lasten (formel 2.18) (Nilsen, *et al.*, 2011):

$$\text{Dimensjonerande styrke } (\Sigma R_d) \geq \text{Dimensjonerande last } (\Sigma F_d) \quad (2.18)$$

I stabilitetssamanheng kan dette omsetjast til at stabiliteten er tilfredsstillande dersom summen av dei stabiliserande kreftene er lik eller større enn summen av dei drivande kreftene (Nilsen, 1999).

Deterministisk

I dei deterministiske metodane innanfor stabilitetsanalyse, så er det ein enkelt verdi som inngår i kvart parameter. I røynda så har eigentleg kvart parameter eit spekter av verdier. Av verdiane ein eventuelt måler i felt, er det vanleg å nytte ein middelverdi av desse i den deterministiske analysen. Uansett, så er det viktig å vere klar over at inngangsparametrane ofte har ein viss variasjon, som gjer at berekningsresultatet også har ein viss variasjon. Dette gjer det i somme høve utfordrande å konkludere med ein sikker verdi. Sjølv om verdien er innanfor sikkerheitskrava og blir sett på som tilfredsstillande og stabil, er det ikkje dermed sagt at sannsynet for utrasing er lik null. Dersom ein ikkje forstår den deterministiske metoden fullt ut, kan det gje ein falsk følelse av tryggleik (Nilsen, 2000; Nilsen, 2017b).

Sensitivitetsanalyse

Saman med ein deterministisk analyse av stabilitet, er det ofte lurt å utføre ei sensitivitetsanalyse. Dette for å vurdere kva effekt denne parametervariasjonen har på stabiliteten. Det er vanleg å vurdere dei parametrane som verkar mest kritiske i forhold til stabilitetsanalysen. Då ser ein på kva effekt øvre og nedre parameterverdier har på stabilitetsanalysen, samt finne ut av kva parameter det er som påverkar mest (Rocscience, 2017a; Wyllie og Mah, 2004).

I eit sensitivitetsplott blir forholdet mellom stabiliserande- og drivande krefter (også kalla sikkerheitsfaktor) plotta mot aktuelle parameterar ein vil undersøke variasjonen av nærmare. Gradienten til kurven indikerer kva effekt parameteren har på sikkerheitsfaktoren. Ei brattare kurve indikerer ein større verknad på sikkerheitsfaktoren (Rocscience, 2017a).

Probabilistisk analyse

I ei probabilistisk analyse får ein med variasjonen i parameter som ei sannsynsfordeling og tilhøyrande variasjon i resultatet som vidare gjev eit sannsyn for utrasing. Dei sannsynsfordelingane som er aktuelle innanfor geo-tekniske data er normal-, beta-, negativ eksponential- og triangulærfordeling. Den kanskje mest vanlege er ei normalfordeling, der gjennomsnittet er den mest frekvente verdien, og standardavviket (SD) vert definert av likning 2.19. Der x er dei observerte verdiane, \bar{x} blir gjennomsnittet og n er talet av observasjonar. Dersom datasettet har lite informasjon på sannsynsfordelinga, kan ein enkel triangulærfordeling nyttast. Tre verdier definerer denne fordelinga: den mest sannsynlege-, ein minimums- og ein maksimumsverdi (Wyllie og Mah, 2004).

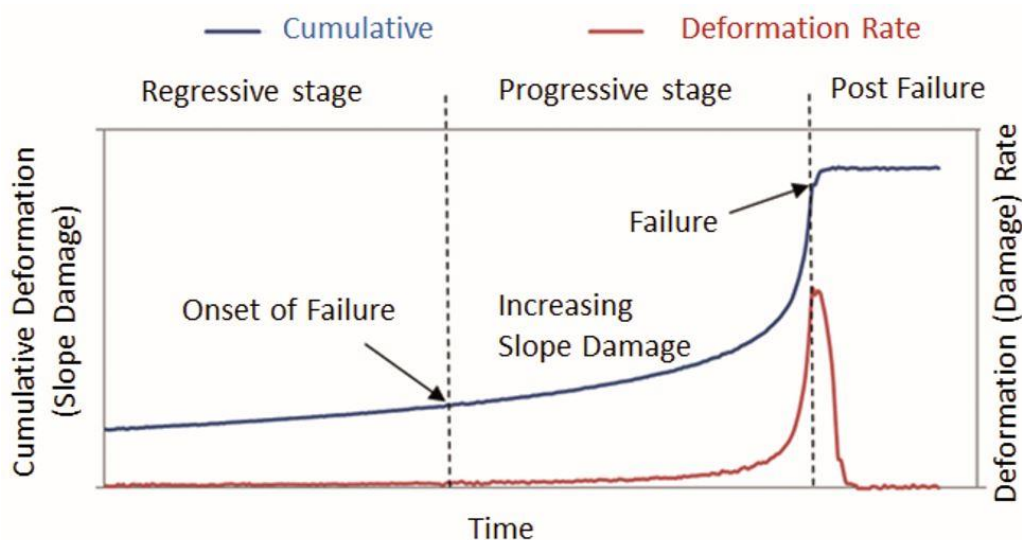
$$SD = \left[\frac{\sum_{x=1}^n (x - \bar{x})^2}{n} \right]^{1/2} \quad (2.19)$$

I bruken av ei probabilistisk analyse trengst eit definert verdiområde av sannsyn for utrasing som er akseptert for den aktuelle konstruksjonen. Dette kan bli gitt som eit årleg sannsyn for utrasing. Ei probabilistisk analyse kan difor gje eit godt grunnlag for vidare vurderingar og avgjersler (Nilsen, 1999; Wyllie og Mah, 2004).

2.3.4 Registrering av rørsler

Mange fjellparti kan ha varierende grad av rørsler over lengre tid. Dette indikerer at fjellpartiet er kvasi-stabilt, ein tilstand som kan fortsette i mange år utan noko vidare kollaps. I andre tilfelle, kan ei lita rørsle vere forstadium til større og akselererande rørsler som kan føre til skred (figur 2-15) (Wyllie og Mah, 2004).

Det finst mange metodar for å registrere rørsler og hastigheit til blokker og fjellparti. Vidare blir det presentert dei metodane som er mest relevante for denne oppgåva.



Figur 2-15. Eksempel på korleis aukande hastigheit («deformation rate») kan føre til kollaps. Figuren er henta frå Stead og Eberhardt (2013).

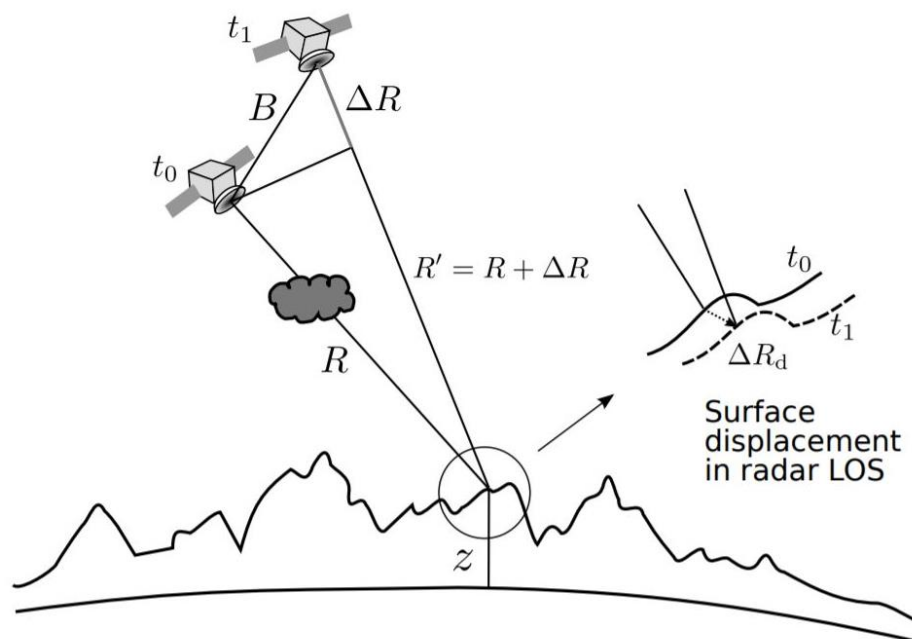
Måleboltar

Ved å ha ein bolt i det ustabile partiet og ein bolt i det stabile, kan ein på ein rask og billeg måte måle avstanden mellom dei to og finne eventuelle rørsler partiet kan ha. Nøyaktigheita («precision») til gjentekne målingar er ofte høg med ein ca. 1 mm. Derimot er det stor sjanse

for å gjere feilmålingar om ikkje framgangsmetoden er den same for kvar gang (Hermanns *et al.*, 2011; Hermanns, 2015b).

Satellitt – InSAR

Interferometrisk syntetisk apertur-radar (InSAR) er ein metode der analysing av faseforskjellar mellom to radarsignalar kan gi ei endring i overflata. Dei to radarsignala har då lik posisjon, men er tatt ved forskjellig tidspunkt (figur 2-16). Rørslene som kan bli målt er i millimeterskala. Sidan 2009, har NGU brukt satellittbasert InSAR til blant anna identifisere samt overvake fjellskred (NGU, 2015).



Figur 2-16. Prinsippskisse av analyse i overflateendring med InSAR. Figuren er henta i frå Lauknes (2010).

2.4 Utløpsmodellering av steinsprang/steinskred

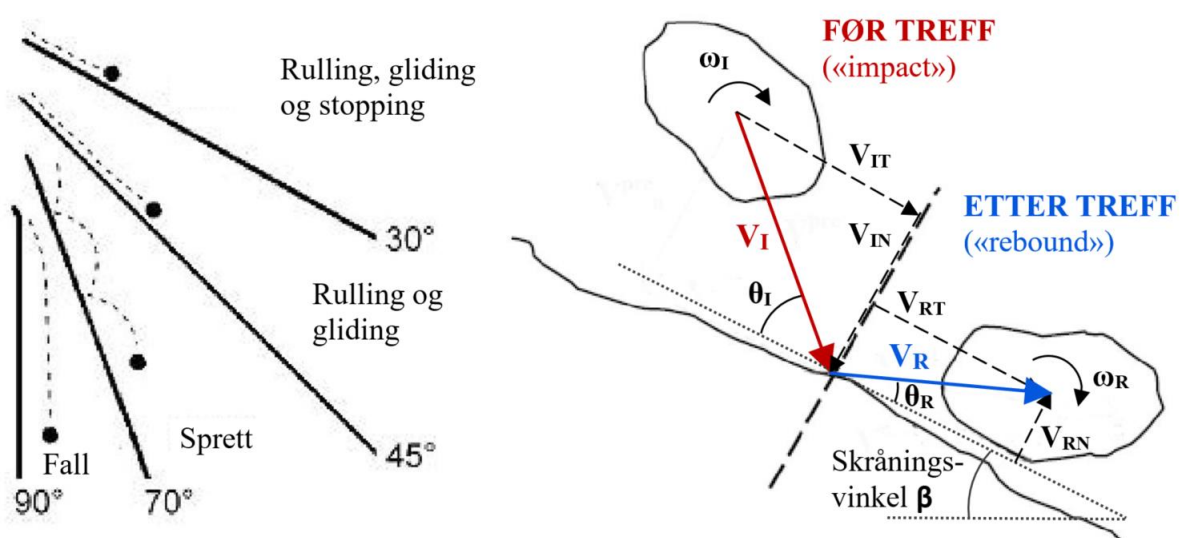
I vurdering av utløp til potensielle steinsprang er det ofte nyttig å bruke simuleringprogram. Desse kan gje viktig informasjon om blokka si mest sannsynlege bane, energi og utløp, ved å køyre eit visst tal simuleringar (Bjordal, *et al.*, 2011; Hefre *et al.*, 2015). Pålitelegheita til modelleringsprogramma er i følgje Wyllie (2014a) avhengig av to grunnleggande punkt:

- Ein god forståing av mekanikken ved samanstøyt og kollisjon samt analyse av kastebaner.
- Kalibrering av modellen med presis informasjon om tidlegare faktiske steinsprang.

Vidare presiserer Bjordal, *et al.* (2011) og Hefre, Kveldsvik og Ekseth (2015) at det er viktig å kjenne til ein modell si styrke, svakheit og fordelar ved modellering. I tillegg er observasjonar i felt viktig for å velje realistiske parametarar til modellane, samt gjere ei god vurdering av resultatane. Nokre typiske inn-data og parameter som modelleringsprogram kan ta utgangspunkt i er følgjande (Bjordal, *et al.*, 2011; Dorren, 2015; Rocscience, 2017c):

- Blokk: størrelse, vekt, form og styrke.
- Terrengmodell eller skråningsprofil.
- Kjeldeområde eller losnepunkt.
- Bakkeparameter: material- og jordtype, terrengruheit, friksjon.
- Skog: diameter av trestamme i brysthøgde (DBH), tettheit av trea (grunnareal), treetype, og kvar det er skog og ikkje.

Blokka si kastebane («trajectory») blir ofte skildra via fire typar rørsler: fritt fall, spretting, rulling og gliding. Vinkelen til skråninga spelar inn på kva type rørsle som dominerer (figur 2-17). Interaksjonen mellom ei steinsprangblokk og bakken er eit komplekst fenomen som framleis ikkje er fullstendig forstått. Både eigenskapar til bakken og blokka, samt kinematikken blokka har før ho treff bakken, spelar inn. Korleis modelleringsprogramma analyserer dette skil dei ofte frå kvarandre (Volkwein, *et al.*, 2011).



Figur 2-17. Til venstre: ei steinsprangblokk sine type rørsler knytt til skråningsvinkel. Til høgre: skisse av hastigheitsvektorar (V) før og etter treff med bakken. Desse kan dekomponerast til tangential- og normal komponentar (V_T og V_N). Rotasjonen til blokka er ω , og treffvinkel er θ . Begge er modifiserte figurar basert på Bjordal *et al.* (2011).

To typiske analysemetodar som eit simuleringsprogram ofte tek utgangspunkt i er «lumped mass» eller «rigid body». «Lumped mass» går ut på at blokka sin masse blir betrakta som eit sfærisk punkt. Det vil seie at blokka ikkje har noko form eller størrelse. Ved «rigid body» har blokka derimot både størrelse og form (Hefre, Kveldsvik og Ekseth, 2015; Rocscience, 2017c). I tillegg har ein «hybrid» som ofte har fordelene til «lumped mass» si enkle og raske simulering av fritt fall. Når blokka treff bakken blir dei mekaniske og geometriske forholda til skråninga og blokka tatt omsyn til ved «rigid body» metoden (Volkwein, *et al.*, 2011).

Ein måte å betrakte bakken si dempende effekt på blokka er via restitusjonskoeffisientar («coefficient of restitution» COR). Desse blir brukt for å angi kor stor del av hastigheita eller blokka sin energi som blir bevart ved eit treff med bakken (figur 2-17). Ein ser då på før og etter bakketreffet, der også ofte innfallsvinkelen («incident angle») (θ_I) samt rotasjonen (ω) til blokka kan inngå i kalkulasjonen. Mange modelleringsprogram dekomponerer ofte restitusjonskoeffisienten til ein normal-restitusjonskoeffisient (R_N) (normalt på bakken) og tangential-restitusjonskoeffisient (R_T) (parallelt med bakken) (Bjordal, *et al.*, 2011; Volkwein, *et al.*, 2011).

I følge Bjordal, *et al.* (2011), så vil den normale restitusjonen ha meir å seie for rekningsresultata enn den tangentielle restitusjonen. I tillegg er det vanleg at blaute jordsmonn og vegetasjon har låge verdiar av restitusjonskoeffisienten, medan harde flater slik som grunnfjell og har høge verdiar.

2.4.1 Skogen sin verknad på steinsprang

Skog kan fungere som ein naturleg beskyttande barriere mot steinsprang. Dette skjer ved at steinsprangblokka kolliderer med stammen til både ståande og liggande tre, og på denne måten taper energi. Dette energitapet dempar både fart og spranghøgder, og resulterer i eit kortare utløp for steinspranget. Om dempingeffekten til trea er effektiv nok kjem an på blokka sin storleik og kinetiske energi, tre-typen og grunnareal («basal area»). Lauvtre er generelt sterkare enn bartre. Grunnarealet seier noko om tre-tettleiken og tre-diameteren til eit område, og blir definert etter likning 2.20 der DBH er gjennomsnittleg. Kor mykje skogen dekker i fallretninga til steinsprangblokka, vil også spele inn (Høydal *et al.*, 2013; Volkwein, *et al.*, 2011).

$$\text{Grunnareal [m}^2/\text{ha]} = \text{anntal tre} \times \pi \times \left(\frac{DBH}{2}\right)^2 \quad (2.20)$$

Høydal, Breien og Sandersen (2013) samt Jensen *et al.* (2015) gjev nokre kriterier til verneskog for steinsprang basert på norske forhold. I tillegg gjev Høydal, Breien og Sandersen (2013) ein tabell over verneskogen sitt dimensjonerande minimum i forhold til blokkstorleiken (tabell 2-5). Dei omtalar også skogen sin dempingseffekt, som ei sannsynleg demping av skogen gitt i prosent. Det vil seie kor stor del av steinspranget blir stoppa i skogen og kor stor del som går gjennom. Kriteria er samanfatta under:

- Blokkstorleik på ca. over 5 m³, vil dempingeffekten til skogen vere minimal.
- Diameteren på trea i brysthøgde (DBH), bør vere over 12 cm for å ha ein dempende effekt. Ein tommelfingerregel er at diameteren på stammen bør vere ein tredjedel av diameteren til blokka.
- Skogslengda bør vere minimum 100 meter.
- Dempingseffekt på 50 % blir sett på som verneskog, medan 20 – 50 % kan ha ein vesentleg effekt.

Tabell 2-5. Tabellen er henta i frå Høydal, Breien og Sandersen (2013), og gjev eit dimensjonerande minimum for ein verneskog i forhold til blokkstorleik.

Blokkstørrelse (m ³)	DBH (cm)	Tetthet (trær/ha)	Grunnareal (m ² /ha)
< 0.05	12-20	>600	>15
0.05-0.2	20-35	>400	>15
>0.2	>35	>200	>25
1	40	>350	>40
<2	50	>300	>60
>2	Særskilt vurdering		
>5	Ingen effekt		

2.4.2 RocFall

RocFall (RocScience Ink) er eit statistisk modelleringsprogram som simulerer oppførselen til steinsprang i 2D. Programmet tek for seg eit valt profil definert av brukaren. Begge analysemodellande «rigid body» og «lumped mass» kan bli simulert med. Blokka sitt treff med bakken blir betrakta og kalkulert på forskjellig måte alt etter kva analysemodell som blir nytta. Modellen har fleire inngangsparameter som ein kan gi ei statistisk fordeling på. Normale- og tangentiale-restitusjonskoeffisienten er viktige parameter å ta stilling til, ettersom både hastigheit og spranghøgde blir påverka i stor grad. Nyleg forskning viser til at restitusjonskoeffisienten i ei «rigid body»-analyse er signifikant lågare enn i «lumped mass» (Hefre, Kveldsvik og Ekseth, 2015; Rocscience, 2017c).

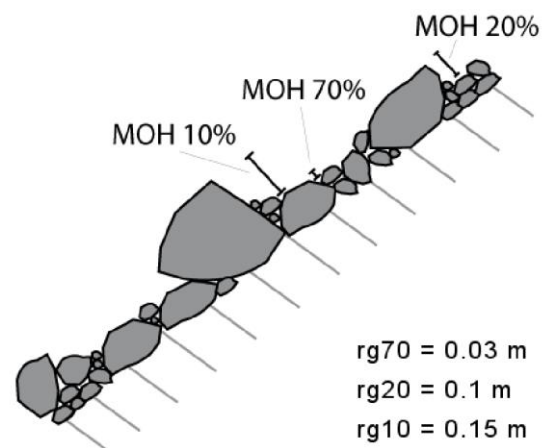
Norges geotekniske institutt (NGI) har over lengre tid brukt RocFall som analyseprogram i faresonekartlegging og prosjektering av sikring. Dei føretrekk RocFall ved detaljerte analyser av bana til steinspranget (Hefre, Kveldsvik og Ekseth, 2015).

Skogen sin effekt på steinspranget kan berre bli simulert i «rigid body». Då legg ein inn lengda av skogen i profilet og definerer ei «effektiv høgd» som skogdempinga tek til på og ein «drag coefficient» kan bli estimert ut frå fylgjande kategoriar (Rocscience, 2017c):

- Open skog: Grunnareal på 20 m²/ha.
- Medium skog: Grunnareal på 35 m²/ha.
- Tett skog: Grunnareal på 50 m²/ha.

2.4.3 Rockyfor3D

Rockyfor3D (EcorisQ) er ein probabilistisk prosessbasert simuleringsmodell for steinsprang, der kastebaner til kvarenkelt blokk blir kalkulert i 3D. Modellen baserer seg på raster som terrengmodell og parametrar må bli gitt som raster-fil i lik oppløysing. Rockyfor3D har analysemetode som ein «hybrid», der ein blant anna kan velje ulike blokkformer. Eit viktig parameter som er med i kalkuleringa når ei blokk treff bakken, er overflateruheita definert via tre storleiksklasser rg_{10} , rg_{20} og rg_{70} (figur 2-18). Desse er med i kalkulering av tangential-restitusjonskoeffisient, og Rockyfor3D er sensitiv for desse parametrane. Difor bør valet av MOH-verdi få ekstra merksemd (Dorren, 2015; Vo, 2015).



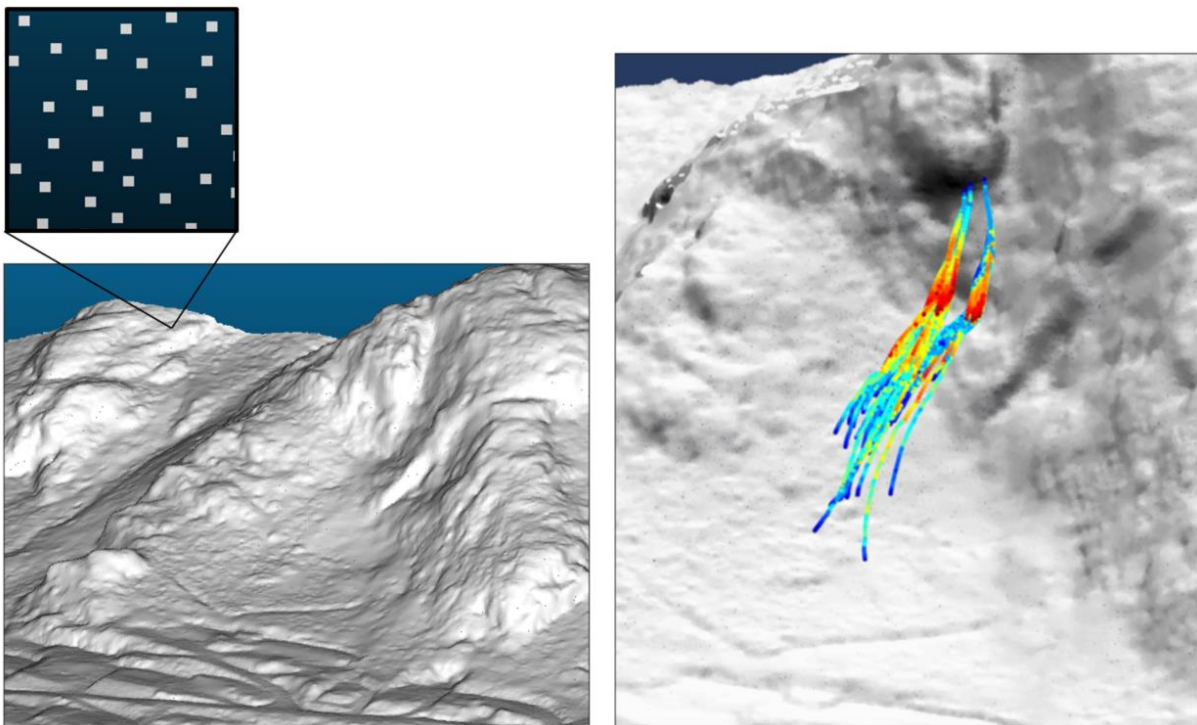
Figur 2-18. Skisse som syner korleis hindringar (MOH) som representerer 10 %, 20 % og 70 % av eit homogent område. Dette utgjer klassene rg_{10} , rg_{20} og rg_{70} . Figuren er henta frå Dorren (2015).

Både vegetasjon og sikringstiltak kan inkluderast i modellen. I Rockyfor3D finst det to metodar for å simulere skogen sin effekt på steinsprang (Dorren, 2015):

- Ei tre-fil med x- og y-koordinatar for kvart enkelt tre, samt DBH i cm. Dette kan programmet FINT (EcorisQ) gi ut i frå analyse av ein normalisert overflatemodell. I tillegg trengst det ei rasterfil med den gjennomsnittlege prosentandelen av bartre.
- Fire raster-filer som gjev 1) tal stammar per hektar, 2) gjennomsnittleg DBH , 3) standardavvik til DBH og 4) gjennomsnittleg prosentandel av bartre.

2.4.4 Trajecto3D

Trajecto3D er ein simuleringsmodell for steinsprang med punktskyer som terrengmodell, og modellerer kastebaner i 3D (figur 2-19). Modellen er ikkje endeleg og er framleis under utvikling ved Universitet i Lausanne i Sveits, av p.hd.-student François Noël «Risk Analysis Group» (Veileder: Michel Jaboyedoff). Namnet «Trajecto3D» er også eit førebels kallenamn og kan endre seg. Nokon eksakt lanseringsdato av modellen er så langt ikkje klart (Noël, 2017).



Figur 2-19. Eksempel på punktsky visualisert i CloudCompare til venstre og nokre kastebaner frå Trajecto3D til høgre.

Nokre fordelar ved å bruke punktsky som terrengmodell ved steinsprangsimulering (Noël *et al.*, 2016; Noël, 2017; Noël *et al.*, 2017):

- Dei brattaste skråningane er betre representert og terrenget meir nøyaktig.
- Ein kan spreie kjeldeområdet meir jamt over 3D overflata. Bias knytt til rasterisering av terrengmodellar vert eliminert bort.
- Ved treff av infrastruktur eller sikringstiltak, så kan den sannsynlege rekkevidda («reach probability»), energi og innfallsvinkelen identifiserast saman med kjelda det kom i frå. Dette er nyttig når simuleringa er med fleire kjeldeområder og kastebanene går inn i kvarandre.

- Overheng er betre representert. Vil ein sette overhengen som kjeldeområde, bør ein jobbe med terrengmodellar i 3D og ikkje raster.

Til no er modellen ein slags hybrid, der partikkelen si form er forenkla til ei sfære, men som kan variere i størrelse. Den tredimensjonale rotasjonstregheita blir kalkulert ut i frå ein kubisk form. Blokka sitt treff med bakken blir kalkulert i frå likningar frå Wyllie (2014a) og Wyllie (2014b). Likningane baserer seg på at normal-restitusjonskoeffisient (R_N) varierer hyperbolsk med innfallsvinkelen (θ_i). Simuleringa er hurtig med ein 100 – 200 kastebaner per sekund. Resultata kan også rasteriserast og er compatible med GIS-system. Verknaden av skog på kastebanane er så langt ikkje inkludert i modellen (Noël, *et al.*, 2016; Noël, 2017).

2.5 Farevurdering

Jamfør § 7-3 punkt 2 i TEK 17, skal det fastsetjast ei tryggleiksklasse for skred etter tabell 2-6 for byggverk i skredfarleg område. Det aktuelle byggverket med uteareal skal ha ei plassering, dimensjonering eller sikring mot skred (irekna sekundærverknad) slik at største nominelle årlege sannsyn ikkje vert overgått (Kommunal-og-moderniseringsdepartementet, 2017).

I rettleiing til føresegna blir det vidare utgreidd at skredfare ofte blir oppgitt ved årleg sannsyn, der skred ofte kan vere gjentakande med eit vist intervall. Sannsynet for at eit bygg vert råka av eit skred er avhengig av sannsynet for at det losnar og det sannsynlege skredutløpet. Det er oppgitt krav til nominell årleg sannsyn i føresegna, fordi det er umogleg å berekne eit eksakt sannsyn for skred (Direktoratet-for-byggkvalitet, 2017).

Skredtekniske analyser og berekningar skal gjennomførast der det kan vere tvil om det finnast ei fare for skred. Skredkart slik som faresonekart for skred i bratt terreng, gjev faresoner som fylg gjentakintervalla definert i TEK17 (tabell 2-6). Med informasjonen i frå faresonekarta kan ein vurdere om aktuelle bygningar er innanfor tryggleikskrava (Direktoratet-for-byggkvalitet, 2017).

Tabell 2-6. Gjeldande tryggleiksklasser etter TEK 17 når det kjem til byggverk i skredfarleg område. Informasjonen er henta i frå Kommunal-og-moderniseringsdepartementet (2017)

Tryggleiksklasser for skred	Konsekvens	Største nominelle årlege sannsyn
S1 - lite personopphald - låg økonomisk/samfunns konsekvens - eks: garasje, naust, lagerbygning	Liten	$1/100 = 0,01 = 1 \%$
S2 - maks 25 personar / 10 bueiningar - middels økonomisk/samfunns konsekvens - eks: einebustad, bustadblokk, arbeids- og publikumsbygg, parkeringshus	Middels	$1/1000 = 1 \times 10^{-3} = 0,1 \%$
S3 - meir enn 25 personar / 10 bueiningar, - stor økonomisk/samfunns konsekvens - eks: bustadblokk, skule, sjukeheim, lokal beredskapsinstitusjon	Stor	$1/5000 = 2 \times 10^{-4} = 0,02 \%$

3 Metode

3.1 Feltarbeid

Til saman utgjorde feltarbeidet 14 dagar, der mesteparten av dagane var i løpet av sommaren 2016. Den siste dagen i felt var 10. oktober 2017. Dette var ein viktig feltdag som resulterte i fleire viktige avklaringar. For å kome trygt til på viktige, men utsette plassar, vart det nytta topptau som tryggingstiltak. Tauet var festa etter standard prosedyre. Sikraren har erfaring og kurs innanfor naturleg sikring og klatring. Dette var meint som ei ekstra sikring og tauet blei aldri belasta med full kroppsvekt.

Viktige diskontinuitetar og sprekkeflater som kunne ha innverknad på stabiliteten, som for eksempel potensielle glideplan, fekk ei auka merksemd der blant anna sentrale eigenskapar til sprekkeflata blei grundigare kartlagt. Dette kunne innebere estimeringar av parametrar som inngår i sprekkefriksjon (JCS , R , r og JRC), men også geometriske mål. Det vart også samla inn geologisk styrkeindeks (GSI) for ulike områder av Sjøåsberget. Med tanke på utløpsmodellering vart overflateruheit til terrenget, terrengetyper, skog, samt registrering av moglege steinsprangblokker kartlagt i det aktuelle utløpsområdet. To blokker og to lausmasseprøver av materiale i ei sprekk vart tatt med til laboratoriet ved Instituttet for geovitskap og petroleum ved NTNU. Lokaliteten til prøvene er gitt i figur 4-1 i kapittel 4 «Resultat».

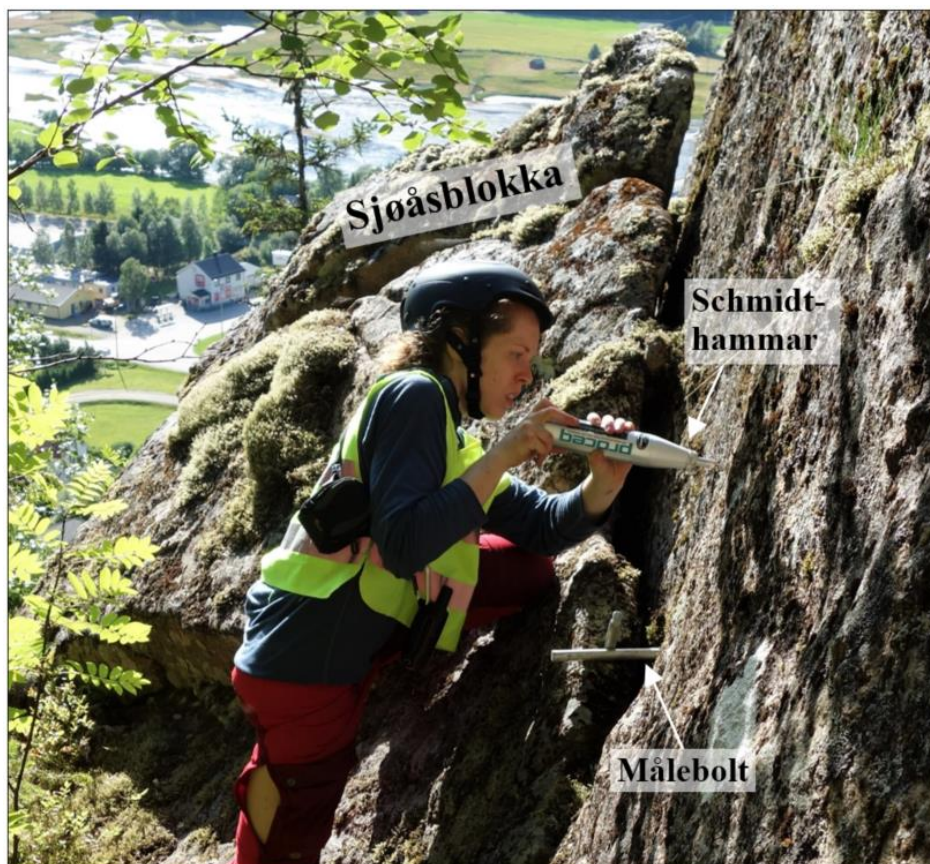
3.1.1 Registrering av diskontinuitetar og sprekkeflater

Sidan studieområdet var relativt lite i utstrekning, blei det nytta ein kartleggingsstrategi der alle synlege diskontinuitetar som kunne samlast inn på ein sikker og trygg måte vart registrert. For å unngå dobbeltregistreringar, vart studieområdet delt inn i fem mindre del-område og systematisk gått gjennom og kartlagt i felt. Sprekkeflatene si fall og fallretning blei registrert med eit geologisk kompass av typen «stratum compass». I dei høve at sprekkeflata var spesielt utholdande, hadde krumming eller kunne ha mykje å seie for stabiliteten, vart det gjort fleire målingar av orienteringa til ei og same sprekkeflate. Det vart også notert om sprekkeflata var representativ for sprekker *in-situ* i bergmassen, eller kunne tilhøyre sprekkeavløyste blokker med ei potensiell relativ forflytting. Andre eigenskapar til sprekkeflater og sprekkesett som sprekketype, utholdenheit, avstand, opning, ruheit, forvitring og sigevatn vart også notert i den grad det let seg gjere, ofte ved hjelp av tommestokk, måleband eller via visuell vurdering.

3.1.2 Schmidt-hammar

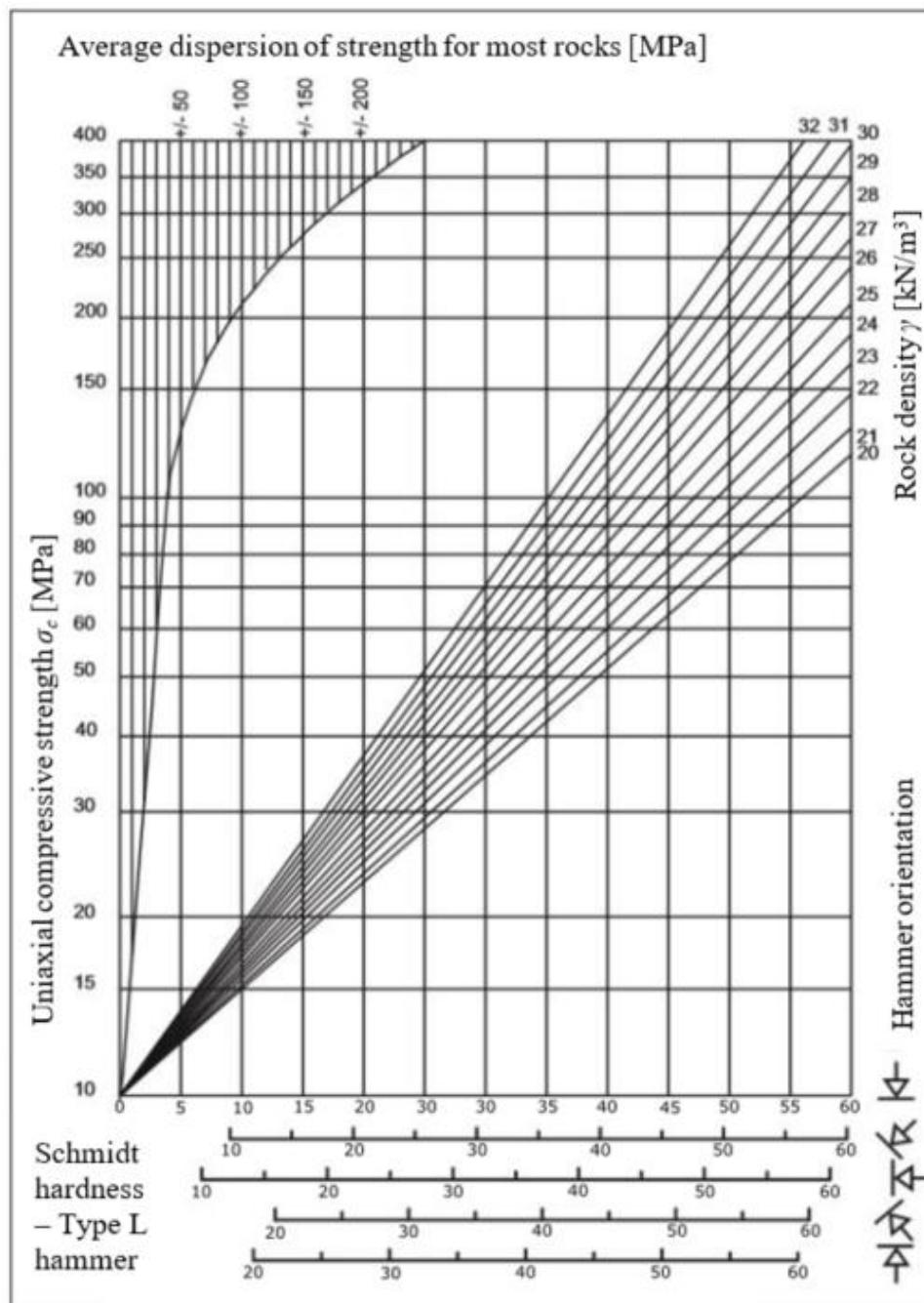
Dei anbefalte metodane til laboratoriet ved Instituttet for geovitskap og petroleum ved NTNU forfatta av Grøneng og Nilsen (2009), vert nytta for å estimere parametrane «Joint Compressive Strength» JCS , samt rekylverdiane R og r . Parameteren JCS inngår i Barton-Bandis likninga, medan R og r inngår i Barton & Choubey likninga (les meir i avsnitt 2.3.2 under «Sprekkefriksjon»). Grøneng og Nilsen (2009) tilrår at parametrane blir estimert i frå Schmidt-hammar målingar direkte på sprekkeflata *in-situ* i felt (figur 3-1).

Ein Schmidt-hammar er eit enkelt reiskap for å estimere hardheita til ei overflate. Den baserer seg på rekylen gitt av eit stempel spent opp av ei fjør, som slår vinkelrett mot overflata som skal målast. Orienteringa som overflata og Schmidt-hammaren har under måling, må korrigerast via skjema eller tabellar til å gi horisontal retning som er referansestandard (Aydin, 2015). Når JCS blir estimert må ein også korrigere for densiteten til bergarten (figur 3-2). Dersom sprekkeflata er fullstendig uforvittra, vil JCS vere lik einaksial trykkfastheit (σ_c) til intakt berg. Stort sett vil dei fleste bergveggar ha ei viss forvitring slik at JCS er mindre enn σ_c (Grøneng og Nilsen, 2009).



Figur 3-1: Schmidt-hammarmålingar på eit av sprekkeplana til Sjøåsblokka. Foto: Erik de Vries.

Ettersom R er Schmidt-hammarverdien på tørr, uforvittra sprekkeflate, og r er Schmidt-hammarverdien på våt og forvittra sprekkeflate, bør feltmålingane difor gjennomførast ved regnvêr (Grøneng og Nilsen, 2009). Det same gjeld for JCS , for å innhente dei mest konservative målingane (Barton og Choubey, 1977). Eventuelt kan prøver takast med til laboratoriet der dei enten ligg i blaut eller tørkar før testing (Grøneng & Nilsen, 2009).



Figur 3-2: Estimering av JCS basert på hardheit til bergoverflate målt med Schmidt-hammar type-L. Modifisert figur i frå Grøneng og Nilsen (2009), som er basert på Deere og Miller (1966).

Grøneng og Nilsen (2009) baserer seg på ISRM (1978b), og tilrår difor å bruke Schmidt-hammar type L på sprekkeflater i felt. L-typen har ein slagenergi på 0,735 Nm. I den reviderte ISRM-standarden forfatta av Aydin (2015), påpeiker han at valet av type Schmidt-hammar heller bør bli sett i samanheng med kva ein skal måle på. Til feltarbeid tilrår han å bruke N-typen med slagenergi på 2,207 Nm. Det er blant anna fordi N-typen er mindre sensitiv for irregularitetar i sprekkeoverflata. L-typen derimot, gjev betre resultat når det er svake, porøse og forvitra bergartar som skal testast, fordi den er meir sensitiv i den nedre delen av skalaen. Styrken til sprekkeflata bør vere innanfor 20-150 MPa, dersom ein av desse Schmidt-hammartypane skal brukast. Under feltarbeidet var det Schmidt-hammar type-L som vart nytta.

På ei sprekkeflate bør det bli gjort minst 20 målingar. Berre dei øvre 50 % av verdiane vert brukte til å kalkulere gjennomsnittet, dette fordi det er mange feilkjelder som kan vere årsak til for låg rekylverdi. Under testing bør ein blant anna passe på at (Grøneng og Nilsen, 2009):

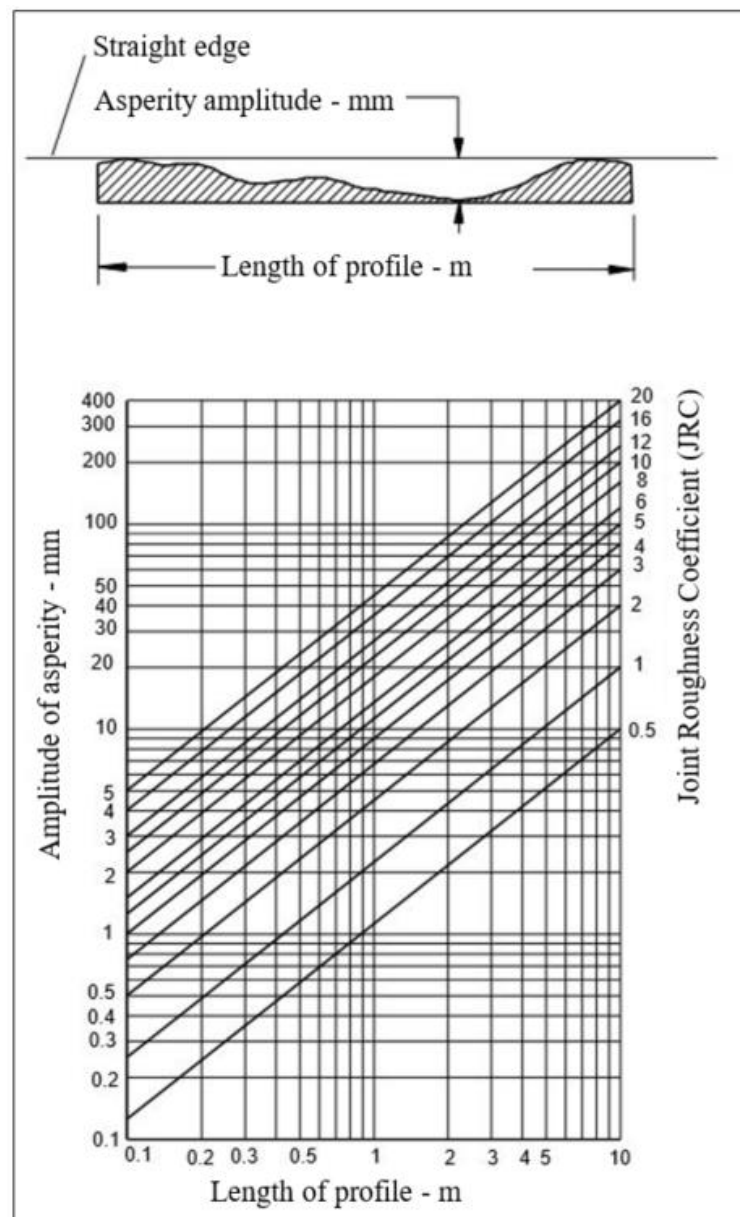
- Schmidt-hammaren er kalibrert på førehand, og vert halden vinkelrett på overflata som skal testast.
- Minimumsavstanden mellom to målingar er diameteren til stempellet.
- Overflata ein testar på skal vere rein, jamn og plan, samt fri for sprekker og laust berg.
- Ved tydeleg hol-lyd under testing («bom-berg»), synlege skader på bergoverflaten eller usannsynleg låg rekylverdi, kan målinga bli sett vekk i frå og takast på nytt ein annan stad (ISRM, 1978a).

Frå feltarbeidet var det mistanke om dårlege målingar av tørr, fersk bergflate (parameter R). Det vart difor utført Schmidt-hammarmålingar på laboratorie-blokka før prøvemateriale vart teke ut. Dimensjonane på blokka bør vere større enn 20 cm i kvar retning, samt at blokka ligg stabilt på eit underlag som ikkje gjev etter (Barton og Choubey, 1977). Under testing var blokka tørr og godt plassert på eit betonggolv. Også her vart hammar av L-typen nytta. Det vart gjort skilnad på sprekkeoverflater som verka ferske og overflate som verka forvitra, med ti målingar på kvar type. Talet på målingar er noko mindre enn det Grøneng og Nilsen (2009), Aydin (2015) og den eldre ISRM (1978b) standarden tilrår.

3.1.3 a/L-metoden

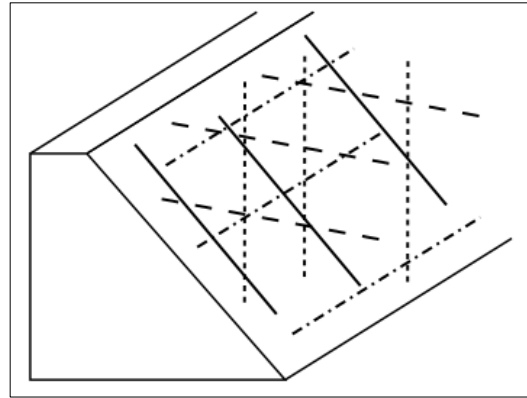
Framgangsmetoden som laboratoriet ved Instituttet for geovitskap og petroleum ved NTNU tilrår å bruke når det kjem til estimering av parameteren JRC («Joint Roughness

Coefficient»), er *in-situ* målinger av ruheitsamplituden på sprekkeplanet i felt. Metoden blir ofte kalla a/L -metoden, og går ut på at ein stav med lenga L blir plassert så den kviler på overflata til sprekkeplanet. Dei største amplitudane (a), eller avstanden, frå staven og ned til sprekkeplanet vert målt med ein linjal rett vinkla på staven. Dette gjev eit mål på dei største asperitane som kjem av irregularitetar på sprekkeplanet, og vert plotta i diagram til å estimere JRC (figur 3-3) (Grøneng og Nilsen, 2009). Når ein nyttar dette diagrammet, vert skalerings-effektar av sprekkeplanet sin JRC automatisk inkludert i estimeringa (Kveldsvik, *et al.*, 2008).



Figur 3-3: Estimering av JRC frå overflatemålingar av ruheitsamplituden på sprekkeplan. Henta frå Hoek (2007), basert på Barton og Bandis (1982).

I den grad det er mogeleg, bør det bli gjort målingar i fire retningar på sprekkeplanet. Ei i fallretninga, ei langs strøket, og i dei to retningane 45° mellom strøket og fallretninga (Grøneng og Nilsen, 2009). Dersom det er mogleg bør det også takast tre ulike målingar i kvar retning, som til saman gjev 12 målingar per sprekkeflate (figur 3-4) (Kveldsvik, *et al.*, 2008).



Figur 3-4: Fullt sett av overflatemålingar med a/L-metoden på sprekkeflater. Figuren er basert på Kveldsvik *et al.* (2008).

Under feltarbeidet vart det nytta to tommestokkar på 1 m til a/L-metoden (figur 3-5). Så lenge sprekkeflata hadde store nok dimensjonar vart det målt med L lik 1 m. Dersom dette ikkje var tilfellet, blei L redusert til 0,7 m, 0,52 m eller 0,35 m. I studien til Kveldsvik, *et al.* (2008), vart det erfart at ulik måleskala av L på 0,25 m og 1 m, gav tydelege forskjellige resultat av JRC . Verdien på JRC når $L = 0,25$ m var jamt over større i alle dei målte retningane enn når $L = 1$ m. Vidare kom dei fram til at JRC målingar i frå når L er 1 m, stemmer betre overeins med tilbakerekning frå ei kjend skredhending. Samt at JRC verdiane hadde ei fordeling som var meir spreidd når $L = 0,25$ m enn ved $L = 1$ m.



Figur 3-5: Måling av ruheitsamplitude med a/L-metoden på eit av glideplana til Sjøåsblokka. Biletet er tatt under feltarbeidet sommaren 2016. Foto: Erik de Vries.

3.1.4 GSI

Geologisk styrke indeks (*GSI*) er eit system som tek høgde for reduksjon av bergmassestyrke under ulike geologiske forhold og er basert på observasjonar i felt (Nilsen og Palmström, 2000). Det blir tilrådd å estimere eit intervall av *GSI*-verdiar, basert på litologi, strukturar og forholda til diskontinuitetsflatene. Ein bør vere forsiktig i bruken av *GSI*, dersom avstanden til diskontinuitetane er store, relativt samanlikna mot storleiken til skråninga som vert undersøkt (Hoek, 2007). Det blei gjort *GSI*-verdi vurderingar for kvar av dei fem delane studieområdet tidlegare blei delt inn i, som igjen danna grunnlaget for *GSI*-estimering for det totale studieområdet. Skjemaet som ligg til grunn for estimering av *GSI* i felt, er presentert i kapittel 4 «Resultat», avsnitt 4.1.4, figur 4-9.

3.1.5 Inngangsparameter for utløpsmodelleringa

Nokre inngangsparametrar henta inn frå felt til utløpsmodellering har blitt presentert under metode dersom dei direkte blir nytta til utløpsmodelleringa. For å sjå korleis ei mindre blokk enn Sjøåsblokka kan ha som utløp ved Sjøåsen, har det også blitt simulert eit meir «generelt steinsprang» frå Sjøåsberget.

Blokkform og storleik

Blokkforma og storleiken til ei generell steinsprangblokk frå Sjøåsberget blir basert på registrerte feltblokker ved Sjøåsberget samt ein øvre *in-situ* blokkvolum frå sprekkedata.

Moglege steinsprangblokker som har gått lengre ut enn samanhengande steinsprangavsetning i det aktuelle utløpsområdet, vart registrert med GPS. Desse utløpsblokkene vart dokumentert med bilete, type bergart, dimensjonar og blokkform. Det vart også notert om blokka ligg opp på terrenget eller delvis stikk ned i bakken, om den verkar *in-situ*, eller kan vere påverka av menneskeleg aktivitet eller ha opphav frå glasiiale prosessar. Grad av forvitring og vegetasjon som har etablert seg på blokka vart også notert. Ut av dette vart det forsøkt å gjere ei relativ vurdering av alder, delt inn «resent» (få år) eller «eldre» (fleire tiår til tusenår), samt vurdere grad av uvisse rundt opphavet til blokka (Sletten *et al.*, 2015).

Blokkvolumet (V_b) som er forventa å finne *in-situ* i bergmassen er basert på likning 2.1.

Datagrunnlaget er basert på sprekkesetta som er identifisert ved Sjøåsberget, der gjennomsnittleg sprekkavstand er gitt i vedlegg A-3 «Eigenskapar til sprekkesetta – Avstand».

Terrengtype og overflateruheit

I vurdering av terrengtype og overflateruheit, vart ulike lokalitetar som representerte eit større område av omtrent same type kartlagt i felt, der markerte overgangar vart markert med GPS. Dei tre overflateruheits-klassane (rg70, rg20 og rg10), som er ein del av overflateruheit parameteren i Rockyfor3D, blei estimert ved å betrakte terrenget i fallretninga (figur 2-18 i avsnitt 2.4.3). Ein tommestokk saman med i figur E-1 i vedlegg E, blei brukt som hjelpemiddel i å gjere eit omtrentleg estimat på MOH-storleiken av overflateruheits-klassane. Det blei også gjort samanlikningar og justeringar av MOH-størrelsen til dei tre overflateruheits-klassane i felt, etter eksempel presentert i vedlegg E «Annexe II. Examples of parameter values for different slope surface types» som er henta i frå Dorren (2015).

Når det kom til terrengtype vart det forsøkt å kartlegge i forhold til dei material-, underlags- og terrengtypane som blir nytta i Rockyfor3D og RocFall. Eksempel til Rockyfor3 kan ein finne i Dorren (2015), medan Rocscience (2017b) og Rocscience (2017e) har lista opp fleire typar.

Skog

Det blei valt ut tre celler på ein 5 m x 5 m for å representere skogen i utløpsområdet. Cellelokaliteten som blei valt er difor øvst (C1), middels (C2) og nedst (C3) i ei mogleg fallretning frå Sjøåsblokka (figur 3-17). Kwart sentrum av cella vart registrert med GPS. For å forenkle datainnsamlinga i felt, samt gjere innsamlinga meir effektiv, grensa kvar celle til høgspenlinja si vegetasjonsgrense. Cellene blei gått opp med ein tråd med knutar som markerte kvar femte meter og utgjer hjørna til cella. Arealet til cellene er omtrentleg 25 m² ettersom den kvadratiske forma blei kontrollert med augemål.

I kvar celle vart det systematisk gått gjennom og registrert data som inngår i Rockyfor3D si simulering av skog (Dorren, 2015):

- Stammediameter i brysthøgde (*DBH*, «Diameter at Breast Height») der tre med stammediameter ≤ 5 cm vart ignorert.
- Kva treslaget var; bar- eller lauvtre.
- Omtrentleg gjennomsnittshøgde av trea innanfor cella.

3.2 Laboratoriearbeid

Det er blitt gjennomført eit utval av laboratorietestar på bergartsprøver og forvittringsmateriale, som blei samla inn under feltarbeidet sommaren 2016. Alle laboratorietestane vart utført ved ingeniørgeologisk og bergmekanisk laboratorium til instituttet for geovitskap og petroleum ved NTNU, med god hjelp frå dei tilsette. Totalt utgjorde dette åtte dagar på laboratoriet, inklusive preparering av prøvemateriale. Tabell 3-1 gjev oversikt over laboratorietestane og kva standard som blei følgt.

Tabell 3-1. Dei ulike laboratorietestane og tilhøyrande standard.

Einaksial trykktest	ISRM-standard: ISRM (1979b) «Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials»
Punktlasttest	ISRM-standard: ISRM (1985) «Suggested Method for Determining Point Load Strength»
Tilttest	NTNU-standard: Grøneng og Nilsen (2009) «Procedure for determining input parameters for Barton-Bandis joint shear strength formulation»
Densitet av bergartsprøve	ISRM-standard: ISRM (1979a) «Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties»
Kornfordelingsanalyse	Retningslinjer frå Statens vegvesen: Vegdirektoratet (2016)
Frisvelling	«Laboratorieundersøkelser – Retningslinjer – Håndbok R210»

3.2.1 Klargjering av prøvemateriale

I frå studieområdet vart det henta ut to steinblokker med følgjande lokalitet synt i figur 4-1 i avsnitt 4.1. Begge blokkene er av granittisk gneis, lik bergarten i studieområdet. Blokk B1 verkar til å ha opphav i frå steinsprang med Sjøåsberget som kjeldeområde. Etersom blokk B1 verka relativt meir intakt, hadde bra storleik og er langt mindre prega av forvittringsprosessar enn blokka B2, vart B1 prioritert. Alt bergartsprøvemateriale er difor henta ut i frå blokk B1.

Dimensjonane til blokka det blei tatt bergartsprøver i frå, var på 36 cm x 30 cm x 16 cm, og vog rundt ein 35 kg. Sidan slutten av feltarbeidet (22. juli 2016) og fram til prøveklargjeringa

(27. mars 2017), har blokka vore lagra tørt i romtemperatur. På grunn av lokale variasjonar i foliasjonen var det utfordrande å få ut bergartskjerner vinkelrett på foliasjonen. Det er difor teke ut kjerner både i frå den lengste og kortaste aksen til blokka, der oversikt over dette samt tal på kjerner og kjernediameter er synt i tabell 3-2. Under klargjeringa av kjernane, vart det observert at forvittringsprosessar har påverka rundt 0,5 cm inn i blokka.

Maskinene som vart nytta under prepareringa av intakte berg-kjerner, var radialboremaskin til kerneboring, diamantsag for kapping og planslipemaskin for å slipe til kjernane tenkt til einaksial trykktest.

Tabell 3-2: Tal kjerner, dimensjonane og kva testar kjernane er tiltenkt etter klargjering av prøver.

Kjerner bora frå...	Kjerne-diameter	Tiltenkt test	Tal kjerner	Namn kjerner
lengste akse til blokka	50 mm	Einaksial trykktest	4	UCS 1 UCS 2 UCS 3 UCS 4
		Tilttest	1	Tilt I
	35 mm	Punktlasttest	1 (lang)	
kortaste akse til blokka	50 mm	Einaksial trykktest	2	UCS 5 UCS 6
		Tilttest	2	Tilt II Tilt III
	35 mm	Punktlasttest	3 (korte)	
TOTALT	50 mm	Einaksial trykktest	6	
		Tilttest	3	
	35 mm	Punktlasttest	4	

Begge lausmasseprøvene (P1 og P2) vart henta ut i frå ei uthalde sprekke i bakkant av Sjøåsberget, der prøvelokalitet er synt i figur 4-1 og figur 4-4 i avsnitt 4.1. Begge prøvene vert tolka til å vere forvittringsmateriale, men der prøve P1 var minst forstyrra av vegetabilsk materiale og aktivitet og blir vurdert til å vere den mest representative prøva. Prøve P1 vart henta ut 14. juli 2016, medan P2 vart henta ut 20. februar 2017. Begge har blitt lagra i romtemperatur fram til start av laboratoriearbeid på lausmasseprøvene 12. mai 2017.

3.2.2 Bergmekaniske testar

Ut i frå bergmekaniske testar får ein vite fleire sentrale mekaniske eigenskapar bergarten har som seier noko om kvaliteten til bergmassen. I somme høve kan parameter frå desse testane bli nytta som inngangsparameter til for eksempel numerisk modellering eller stabilitetsberekningar (Li, 2017).

Einaksial trykktest

Ved einaksial trykktesting blir sylinderaforma kjerneprøver av intakt berg utsett for ein kontinuerleg aukande last (0,5 – 1,0 MPa/s) med eit hydraulisk stempel. Lasten kjernen blir utsett for, samt kjerneprøva sin aksielle- og radielle deformasjon, vert kontinuerleg registrert og plotta i ein spenning-tøyingskurve. Ut i frå dette kan ein kalkulere viktige parametrar som skildrar bergarten sin styrke; einaksial trykkfastheit, og eigenskapar rundt deformasjon; E -modul og Poisson's forholdstal (ISRM, 1979b).

Einaksial trykkfastheit (σ_c) eller «Uniaxial Compressive Strength» (UCS) blir gitt ved likning 3.21 (ISRM, 1979b):

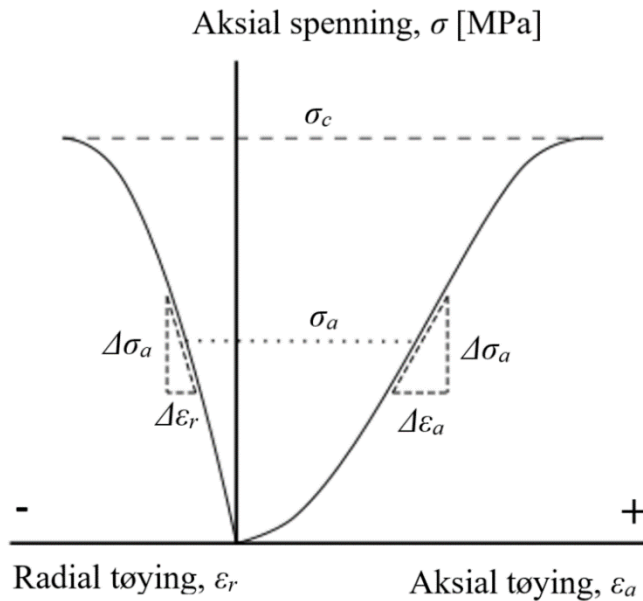
$$\sigma_c \text{ eller } USC = \frac{P_{maks}}{A_0} [MPa] \quad (3.21)$$

Der A_0 er kjerneprøva sitt tverrsnittsareal før det blir påført last, og P_{maks} er lasten kjernen blei utsett for i det prøva går i brot (figur 3-6).

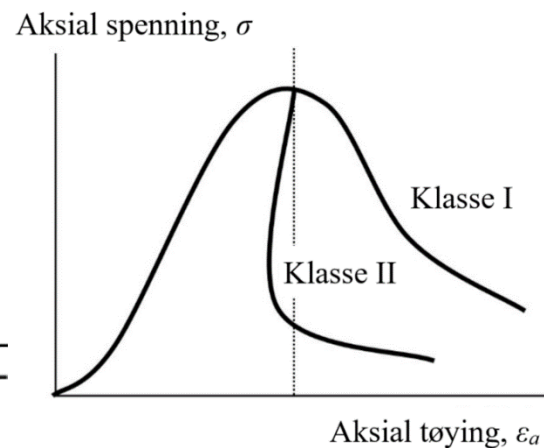
E -modul eller elastisitetsmodul også kalla Youngs modulus, tek utgangspunkt i elastisitetsteorien og at forholdet mellom spenninga og deformasjonen aksialt er lineært. Hellinga til ei spenning-tøyingskurve avgjer E -modul, men der E -modul sjeldan er konstant og varierer etter spenninga. Dette er på grunn av ein viss grad av anisotropi, diskontinuitet og inhomogenitet som gjer at få bergartar opptre lineært elastisk (Myrvang, 2001).

I denne oppgåva er det nytta tangentmodul (E_t), som blir definert som tangenten si helling i referansepunktet (σ_a) som er 50 % av maksimal aksial spenning (σ_c), og blir som likning 3.2 syner. Spenningsintervallet ($\Delta\sigma_a$) blir gitt av ein fast prosent av den maksimale aksiale spenninga (figur 3-6). Tøyinga aksialt vert omtalt som ε_a (ISRM, 1979b). Ved NTNU er det vanleg å nytte eit spenningsintervall på ± 5 % (Vistnes, 2016).

$$E_t = \frac{\Delta\sigma_a}{\Delta\varepsilon_a} [GPa] \quad (3.22)$$



Figur 3-6: Eksempel på spennings-tøyingskurve der tangentmodul blir bestemt. Basert på figurar i frå ISRM (1979b) og Li (2017).



Figur 3-7. Brotforløp i klasse I og II til bergartar. Modifisert figur i frå Li (2017).

Poissons forholdstal (ν) er definert som forholdet mellom radial tøyning (ϵ_r) og aksial tøyning (ϵ_a), gitt ved likning 3.23. Og blir utrekna i same spenningsintervall som ved E -modul (figur 3-6) (ISRM, 1979b):

$$\nu = -\frac{\Delta\epsilon_r}{\Delta\epsilon_a} \quad (3.23)$$

Brotforløpet til bergartar kan skildrast ved to klasser av spenningstøyings-kurver (figur 3-7). Klasse I har eit meir stabilt brot der ein må tilføre energi for ei vidare brotutvikling, og representerer seige bergartar som for eksempel marmor. Derimot i klasse II må det fjernast energi frå prøva for å hindre ukontrollert kollaps. Brotforløpet kan bli sett på som meir ustabil, og representerer sprø bergartar slik som for eksempel granitt og gneis (Myrvang, 2001).

Alle kjerneprøvene som vert testa i den einaksiale trykktesten, hadde ein kjernediameter på 50 mm (vedlegg B-1). Dette stemmer overeins med referansediameteren til ISRM (1979b).

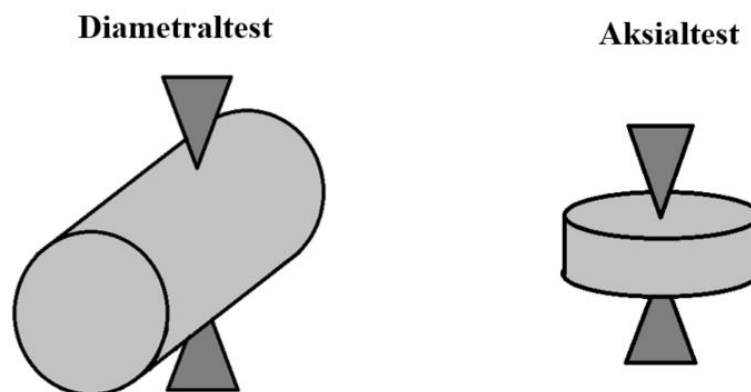
Gjennomsnittet av eit prøveserie på minst fem kjernar er passande (ISRM, 1979b). For å få ein prøveserie på seks kjernar vart lengda (L) til ei av kjernane noko kortare enn det ISRM (1979b) tilrår, som er 2,5-3 gonger større enn kjernediameteren (D). I følgje forskning som er gjort på dette området, er det ikkje før L/D -forholdet er mindre enn 2 at den einaksiale trykkfastheita verkeleg aukar. Eit L/D -forhold på mellom 2 og 2,5, utgjer ein liten forskjell i

den einaksiale trykkfastheita, og med eit forhold større enn 2,5 er den eigentleg konstant (Tuncay og Hasancebi, 2009).

Vassinnhaldet til prøva har ein signifikant verknad på både styrke og eigenskapar rundt deformasjonen til ei bergartsprøve (Nilsen og Palmström, 2000; ISRM, 1979b). I følge ISRM (1979b) skal einaksial trykktesting helst skje på kjerneprøver som representerer eit naturleg *in-situ* vassinnhald. I Noreg er det tradisjon for å utføre einaksial trykktesting under den tilstanden som gjev lågast styrke. Dette er det vassmetta prøver gjev. Dette samsvarar greitt med tanke på klimatiske forhold, og kva ein i lengre periodar kan forvente av vassinnhald *in-situ* i Skandinavia (Nilsen, 2017a). Den einaksiale trykktestinga samt punktlasttesten blei difor utført på vassmetta prøver, lagra i vatn i over ei veke før testing.

Punktlasttest

Ved punktlasttest (PLI) eller spisslasttest, blir bergartsprøver plassert mellom to ståljekslar og lasta til brot. Testen blir ofte nytta for å gje ein rask indeksverdi på bergartsstyrke (I_{s50}), men også for å avgjere den anisotropiske styrken (I_{a50}) ei bergartsprøve kan ha. Det er den anisotropiske styrken (I_{a50}) som får hovudfokuset i denne testen. Ei enkel metode er å utføre ein diametral- og så aksialtest på kjerneprøver bora vinkelrett på foliasjon/lagdeling (figur 3-8) (Nilsen og Palmström, 2000).



Figur 3-8. Skisse av to typar punktlasttest: diametraltest og aksialtest.

Den ukorrigerde punktlastindeksen (I_s) blir definert etter likning 3.24. Der P er påført last ved brot og D_e er ekvivalent kjernediameter som varierer etter type test. Minst ti målingar for kvar test er tilrådd og blir godkjent dersom brotflata går via begge punkta som vert lasta (ISRM, 1985).

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (3.24)$$

Kjerneprøver med eit lengde (L) og diameter (D) forhold større enn 1, er passande dimensjonar i den diametraletesten. I den aksialetesten bør kjernane ha eit L/D -forhold mellom 0,3-1,0. Vidare, vert den ekvivalente kjernediameteren utrekna via likning 3.25 for diametraltest, og for aksialtest via likning 3.26. Der d vert avstanden mellom punkta spisslastene treff bergartsprøva, og W er breidda til prøvestykket (figur 3-8) (ISRM, 1985).

$$D_e^2 = D^2 \quad (3.25)$$

$$D_e^2 = d * W * \frac{4}{\pi} \quad (3.26)$$

Diameteren på kjernane som vart testa i punktlasttesten var på 35 mm. Sidan punktlastindeksen har ein kjernediameter på 50 mm som referanse, må testar som vik i frå dette korrigerast via likning 3.27. Korreksjonsfaktoren F , blir uttrykt via likning 3.28 (ISRM, 1985).

$$I_{s50} = F \times I_s \quad (3.27)$$

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45} \quad (3.28)$$

Forholdet mellom den største verdien og minste verdien dannar indeksverdien til den anisotropiske styrkrn (I_{a50}), som synt ved likning 3.29 (ISRM, 1985).

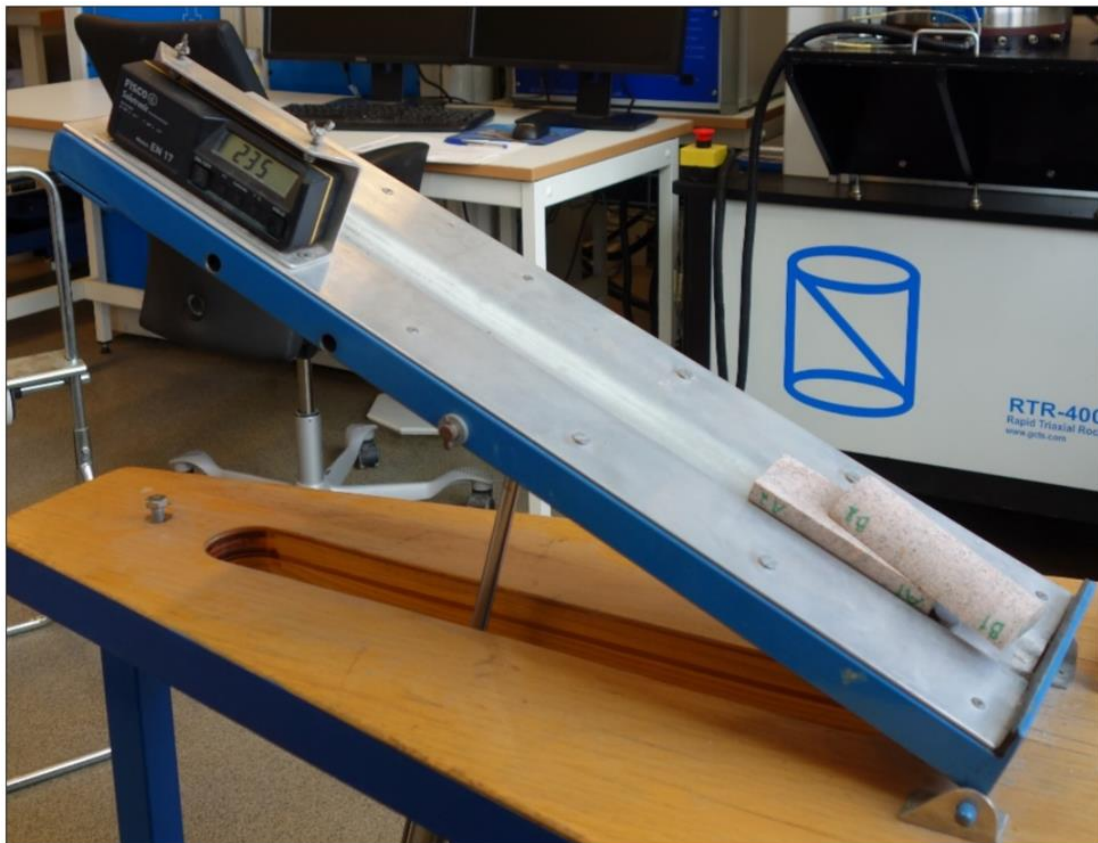
$$I_{a50} = \frac{I_{s50,storst}}{I_{s50,minst}} \quad (3.29)$$

Isotropiske bergartar vil ha ein I_{a50} -indeks nærme 1, medan sterkt anisotropiske bergartar vil ha ein verdi større enn 5 (Nilsen og Palmström, 2000; ISRM, 1985).

Kjernane var vassmetta under punktlasttesten. Under testen vart det observert ein lokalt varierende foliasjon. Dette gav utslag i at last-retninga på foliasjonen spesielt varierte i aksialtesten. Datagrunnlaget for last-retning parallelt med foliasjonen vart størst med totalt 20 målingar, og last-retning loddrett på foliasjonen fekk 10 målingar, som er innanfor ISRM-standarden (ISRM, 1985). Detaljar rundt punktlasttesten er å finne i vedlegg B-3 «Punktlasttest».

Tilttest

Testen har som formål å finne basis friksjonsvinkel (ϕ_b) til bergarten. Basis friksjonsvinkel inngår i Barton & Choubey (1977) si empiriske likning for å estimere residual friksjonsvinkel (ϕ_r) (les meir i avsnitt 2.3.2 under «Sprekkefriksjon»). Tilttesten er ein type skjertest med låg normalspenning der den reflekter mineralogien til bergarten. Kjerner av bergarten vert saga aksialt og tilta inntil den øvre kjernehalvdelen glir av den nedre (figur 3-9). Eit inklinometer syner hellinga med ei nøyaktigheit på $0,1^\circ$. Kvar kjernepar vert testa med fire unike oppsett med tre repetisjonar for kvar. Begge kjernehalvdelane skal etter tur ligge øvst og kvar kjernehalvdel skal testast i begge retningar. Totalt gjev dette 12 målingar per kjerne, der basis friksjonsvinkel vert kalkulert som gjennomsnittet (Grøneng og Nilsen, 2009).



Figur 3-9. Tilttest-apparat med inklinometer. I dette tilfellet har den øvre kjernen glide av og fylgjande helling blir notert.

I følgje Grøneng og Nilsen (2009) skal tilt-kjerner ha eit lengd/diameter-forhold på 2,5, noko alle kjernane hadde. Under testing var kjernane tørre. Dette stemmer med Barton og Choubey (1977) si tilråding. Det var vanskeleg å preparere gode nok kjerner, så kjernane var ikkje så identiske som det NTNU-standarden uttrykker. Resultatet blei heller ikkje heilt som forventa,

og det førte til endringar i test-oppsett og auke i talet av testar. Detaljar rundt tilt-kjernane sine dimensjonar og endringar i test-oppsett er å finne i vedlegg B-4 «Tilttest».

Densitet av bergartsprøve

Utrekning av densitet (ρ) og tyngdetettleik (γ) følgjer likning 3.10 og 3.11. Metoden som vart nytta er skyvelær-teknikk. Volumet (V) til bergartsprøvane vert bestemt ved hjelp av ein skyvelær og massen (M) blir målt via ei vekt, medan g er tyngdeakselerasjonen (ISRM, 1979a). Bergartsprøvene var noko fuktige under veging på grunn av nyleg kjernepreparering. Dette blir vurdert til å ha minimal verknad på resultatet sidan eksponeringstida var kort og bergarten verkar tett.

$$\rho = \frac{M}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (3.30)$$

$$\gamma = \rho \times g \text{ [kN/m}^3\text{]} \quad (3.31)$$

3.2.3 Testar på forvittringsmaterialet

På forvittringsmaterialet blei det gitt ei visuell skildring, samt kornfordelingsanalyse og frisvellingstest. Prøvemateriale var for laust til å kunne utføre «slake-durability-test». Testane blei gjort for å avdekke eventuelle svelleeigenskapar som kan påverke skråningsstabiliteten, samt gi ein karakteristikk av forvittringsmaterialet.

Kornfordelingsanalyse

Kornfordelingsanalyse blir nytta for å kartlegge jordprøva si samansetning av kornstorleikar. Via sikting av lausmasseprøva med standardiserte maskevidder blir massedelar av kornstorleiksgrupper gitt i prosent. Dersom det er høgt innhald av finstoff eller det ligg finstoff rundt større korn, skal prøva først våtsiktast og så tørrsiktast etterpå. Dersom ein får eit siktetap større enn 1 %, skal prøva siktast på nytt (Vegdirektoratet, 2016; Emdal, 2014).

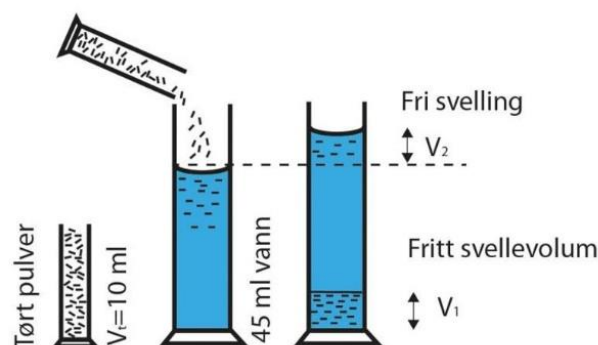
Graderingstalet (C_u) seier noko om kva grad partiklane sin storleik er lik i lausmasseprøva, også kalla korngradering. Definisjonen av graderingstalet er forholdet mellom kornstørrelsen i mm ved 60 % og 10 % sikte-gjennomgang (likning 3.32) (Brattli, 2015; Emdal, 2014; Vegdirektoratet, 2016):

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (3.32)$$

Frisvelling

Dersom der er svelleleire i leirførande prøver i eksempel vegskjeringar, kan dette føre til redusert stabilitet av bergmassen på grunn av minkande friksjon. Danning av svelleleire skjer ofte ved djupforvitring i berggrunnen. Ved å utføre ein frisvellingstest på prøvematerialet kan ein få ein indikasjon på om leirmaterialet har svellande eigenskapar eller ikkje. Svellinga oppstår når leirminerala kjem i kontakt med vatn og tek opp vatn (Vegdirektoratet, 2016).

Frisvellinga (FS) blir rekna ut etter likning 3.33, der V_1 er sedimentert volum og V_t er volumet av prøvematerialet som vert tilført. Dette er 10 ml tørt materiale mindre enn 20 μm som er avdampa etter våtsikting. Materialet skal dryssast forsiktig opp i ein målesylinder med 45 ml destillert vatn (figur 3-10).



Figur 3-10. Prinsippkisse for frisvelling. Figuren er henta i frå Vegdirektoratet (2016).

$$FS = \frac{V_1}{V_t} \times 100 \quad (3.33)$$

Testen blei utført med ei prøve av P1 og to prøver av P2. På grunn av mangel av destillert vatn, blei testane utført både med destillert og ikkje-destillert vatn. Avlesinga vart gjort etter eit døgn, men også etter eit kortare tidsrom så lenge V_1 er sedimentert.

3.3 Avgrensing og volumberekning av potensielt ustabile parti

I denne oppgåva er omgrepet scenario basert på Hermanns, *et al.* (2012), og blir nytta for blokker eller delområde som inngår i eitt og same ustabile fjellparti og som enkeltvis kan gå ut i ei hending. Det som skil scenarioa i frå kvarandre er klart definerte eller opne sprekker, men det er dei same hovudstrukturane som kontrollerer det ustabile fjellpartiet. Parti blir her nytta for blokker som ikkje nødvendigvis har ein direkte samanheng med eit større system, men som førekjem i same fjellskråning. Desse er av mindre karakter, og det er mest hensiktsmessig med ei individuell vurdering. Avgrensinga til scenarioa og partia følgjer først og fremst sprekker som verkar avløyste og kan ha ei mogleg relativ forflytting. Tydelege og svært gjennomsettande sprekker i fjellpartiet er også vektlagt i avgrensinga.

Det har blitt nytta to metodar for volumberekning. Den eine baserer seg på volumet av ei prisme, som er den forma blokkene og partia ofte hadde i felt. Dette gjeld først og fremst dei

mindre scenarioa og partia som var lette å få oversikt over under feltarbeid. For større scenario og meir samansette parti, er volumet rekna ut via ei oppdeling i fleire prismatiske deler og summert opp. I tillegg, har det for desse partia blitt supplert med ei volumberekning der arealet kartlagt i ArcMap multipliserast med ei gjennomsnittleg høgd.

For kvart estimat er det tatt høgde for eit minste og største volum, der gjennomsnittet av desse vert presentert og nytta vidare. Sidan dimensjonsverdiar (d_1 , d_2 og d_3) er eit sentralt inngangsparameter til utløpsmodellering, har dei blitt tilpassa det gjennomsnittlege volumestimatet for kvart scenario og parti. Dette til tross for at ikkje alle parti har ei prismatisk form.

3.3.1 Framgangsmetode til lengdeprofil

I bakkant av Sjøåsberget vart det kartlagt fleire uthaldande diskontinuitetar. Dersom desse skjer gjennom berget og «går ut i dagen» lenger nede i terrenget, er det mogleg at diskontinuitetar kan fungere som glideplan for potensielt større steinskred (Wyllie og Mah, 2004). For å undersøke korleis sprekkesetta og dei uthaldande diskontinuitetane går i djupet ved Sjøåsberget, har det difor blitt laga fem lengdeprofilar av bergmassivet. Dette blir som eit supplement til den kinematiske analysen som ikkje tek høgde for kritiske diskontinuitetar sin dimensjon eller lokalitet (Wyllie og Mah, 2004).

Verktøyet «3D Analyst» i ArcMap vart nytta saman med ein 0,5 m DTM-modell for å hente ut data til topografisk profil. Datasettet vart vidare plotta og redigert i Excel og Inkscape slik at horisontal og vertikal skala blir lik. Det tilsynelatande fallet (δ') diskontinuitetane får i profilet, blir rekna ut via likning 3.12. Der er δ det sanne fallet til diskontinuiteten og α er den horisontale vinkelen mellom ekte og tilsynelatande fall (Groshong, 1999). Skjeringspunktet mellom lengdeprofilet og diskontinuitetane si overflatekartlegging gjort i ArcMap, er sett som startpunktet til dei uthaldande diskontinuitetane i profiloverflata. Det er antatt at diskontinuitetar kan ha tilsvarande utstrekning i djupta, som kartlagt i overflata. Dersom diskontinuiteten verkar til å kunne «gå ut i dagen» er den blitt forlenga for å sjå kvar i terrenget den potensielt vil kunne treffe. Sprekkesett og diskontinuitetar som tilnærma går parallelt med profilretninga vert ikkje teikna inn i lengdeprofilet.

$$\delta' = \arctan(\tan(\delta) \times \cos(\alpha)) \quad (3.34)$$

3.4 Stereografisk- og kinematisk analyse

Programvara DIPS 7.007 frå Rocscience (2016b) vart nytta til den stereografiske- og kinematiske analysen. Via stereografisk projeksjon vart orienteringa til sprekkeflatene frå feltarbeidet plotta som polar. I projeksjonen er det nytta flatetro projeksjon («equal area») av nedre halvkule. Rocscience (2016a) sin tommelfingerregel og tilrådingar blei fylgt i evalueringa av klynger som kan danne sprekkesett. Dei definerer pol-konsentrasjonar større enn 6 % som ein veldig signifikant klynge. Er konsentrasjonen mellom 4 – 6 %, blir klynga vurdert som marginalt signifikant. Dersom konsentrasjonen er mindre enn 4 %, bør ein vere varsam i vurderingane, med mindre datasettet består av hundrevis av polar.

I første omgang vart sprekkesetta til kvart delområde vurdert kvar for seg og samanlikna opp mot kvarandre, før det eventuelt vart slått saman til eit totalt datasett. På denne måten blir det gjort ei vurdering på om der er større strukturelle variasjonar innanfor studieområdet som deler opp området. I eit strukturområde er bergmassen statistisk homogen, der for eksempel sprekker har liknande orientering og avstand (ISRM, 1978a). Dei sprekkeflatene det vart gjort fleire målingar av vart representert ved eit gjennomsnitt. Det same gjeld sprekke- og diskontinuitetsflater som til saman kan utgjere eit potensielt glideplan.

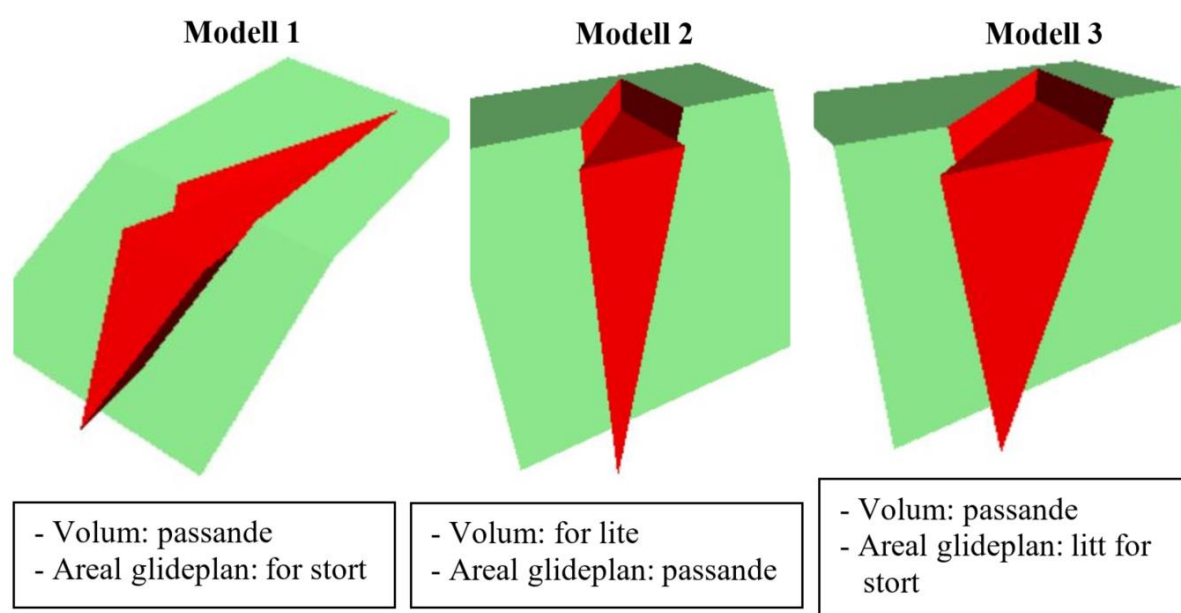
Via verktøyet «Zonal Statistics» i ArcMap 10.4 blir den aktuelle skråningsorienteringa til dei potensielle ustabile partia estimert. Verktøyet blei brukt på hellingskartet og kartet over terrenget si asimut-orientering med grunnlag frå DTM-data. Området som inngår i estimatet, er eit større nærliggande område rundt den fremste og brattaste delen av kvart parti.

Som friksjonsvinkel vart residual friksjonsvinkelen nytta i den kinematiske analysen. Dette for å halde den kinematiske analysen konservativ inntil diskontinuitetar som kan utgjere potensielle glideplan og utrasingstype er identifisert. Den residuale friksjonsvinkelen vart kalkulert etter likning 2.11. I denne likninga inngår ein basis friksjonsvinkel i kombinasjon med feltmålingar på dei antekne aktuelle glideplana. Dette gjer at residual friksjonsvinkel vil ha noko variasjon for dei ulike partia og scenarioa. Sidan Sjøåsberget blir rekna for å vere ei «småskala» skråning, blir den laterale grensa for planutgliding sett til 20° og utvelting 10°. Kileutglidinga får ingen lateral grense sidan det er viktigast at skjeringa mellom to plan «går ut i dagen». Dette etter generell anbefaling for fjellskråningar frå Wyllie og Mah (2004) og Rocscience (2016b).

3.5 Detaljert stabilitetsberekning

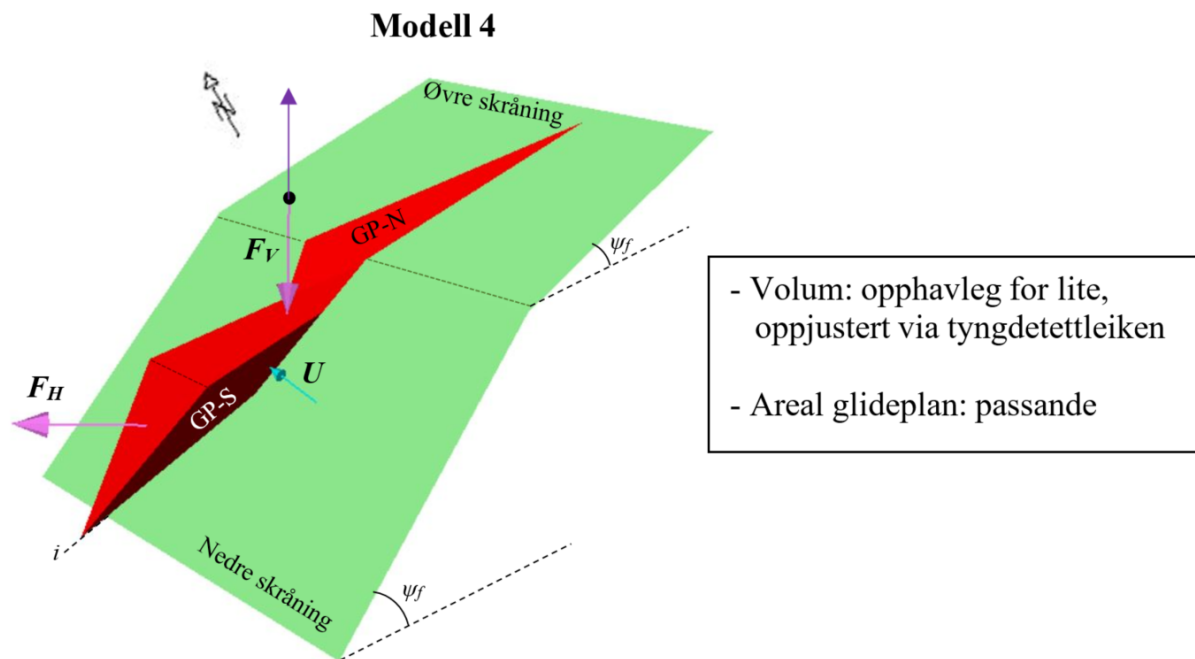
Ei detaljert stabilitetsberekning vart berre utført på ei spesifikk blokk, Sjøåsblokka. Programvara Swedge 6.0 frå Rocscience (2017a) vart nytta til stabilitetsberekning etter partialfaktor metoden for ei deterministisk og probabilitisk analyse, samt sensitivitetsanalyse.

Rocscience (2017d) brukar Goodman og Shi si metode for å definere kilegeometrien som ei tetraedrisk-form. To av sidene er definert av dei to glideplana, og dei to andre av ein øvre og nedre del av skråninga (figur 3-12). Desse inn-putta er blant anna med på å kalkulere kilevolum og arealet til glideplana. Fire forskjellige modellar vart konstruert i Swedge, for å kome fram til ein som representerte situasjonen ved Sjøåsblokka best mogleg (figur 3-11 og figur 3-12). Både volum og areal til glideplana stemte greitt overeins med feltobservasjonar for modell 4, og den detaljerte stabilitetsberekninga vart utført med modell 4 som utgangspunkt.



Figur 3-11. Modellane i Swedge som blei forkasta. Dette var enten på grunn av for lite kilevolum eller for store areal av glideplana.

I utrekninga av stabilitet vart det tatt høgde for dei fire settingane som Nilsen (1999) nemner. Dette er minst og mest gunstige tilfelle, samt verknaden av jordskjelv utan vasstrykk og omvendt. I tillegg fekk den «minst gunstige» settinga ei ekstra vurdering der vasstrykket vart redusert med 50 %. For å modellere med den nye måten å berekne jordskjelvlasten på, blir horisontal- og vertikalbelastninga (F_H og F_V) betrakta som to ytre lastar i Swedge (figur 3-12).



Figur 3-12. Utforminga av modell 4 som blei vurdert til å representere situasjonen ved Sjøåsblokka på best måte. Kilen med skjæringslinje (i) er definert av ei øvre og nedre skråning samt orientering av nordleg og sørleg glideplan (GP-N og GP-S). I tillegg er vasstrykk (U) samt horisontal- og vertikal jordskjelvbelastning (F_H og F_V) sin verknad på Sjøåsblokka visualisert.

Den probabilistiske analysen vart køyrt med «Latin Hypercube» med 10 000 iterasjonar.

Følgjande parameter sin variasjon vart inkludert i analysen:

- Orientering av glideplan
- «Joint Roughness Coefficient», JRC
- «Joint Compressive Strength», JCS
- Residual friksjonsvinkel, φ_r
- Seismisk aktivitet, som horisontal jordskjelvbelastning (F_{ak}) og seismisk koeffisient (α_k)
- Vasstrykk, U

For å få inn parametervariasjonen for seismisk aktivitet, blir den gamle metoden med ekvivalent horisontal jordskjelvbelastning (F_{ak}) nytta i den probabilistiske analysen i Swedge. Det er fordi Swedge ikkje tek høgde for ei sannsynsfordeling av ytre last. Den seismiske koeffisienten (α_k) og horisontal jordskjelvbelastning (F_{ak}), blir kalkulert ut i frå likning 3.35 og 3.39. Vekt av potensielt ustabil bergmasse er W , g er gravitasjon og a_{g40Hz} er spissverdien for berggrunnsakselerasjonen (Nilsen, *et al.*, 2011).

$$\alpha_k = \frac{a_{g40Hz}}{g} \quad (3.35)$$

$$F_{\alpha k} = W \times \alpha_k \quad (3.36)$$

3.6 Rørslemålingar

Sidan 20. mai 2009 har Namdalseid kommune registrert rørslemålingar ved to måleboltar ved Sjøåsblokka. Lokaliteten til måleboltane er synt i figur 4-12 under avsnitt 4.2.2, der ein bolt er plassert i front av blokka og ein på baksida. Målingane gjeld difor berre for Sjøåsblokka.

Målemetoden har endra seg og målingane er difor av ulik kvalitet. Etter at det blei starta opp målingar med bladsøker den 9. mai 2012, blei målingane langt meir nøyaktige (Gartland, 2017). Alle målingar før denne datoen blir difor sett bort i frå på grunn av dårleg kvalitet. Difor er det berre målingane med bladsøker som vert vidare presentert. Måleserien strekkjer seg dermed i frå 9. mai 2012 til 7. juni 2017.

Rutinen for måling er to gongar i året, ei måling på hausten og ei på våren. Elles blir det målt ved behov. Det skal bli gjort målingar på begge måleboltane (M1 og M2). For målebolt 2 blir det gjort to registreringar, ei horisontal og ei vertikal måling (Gartland, 2017).

Bladsøkaren som blir brukt er eit billeg og enkelt bladsystem av merket Tactix med 20 forskjellige bladtjuknadar frå 0,05 – 1,00 mm. Nøyaktigheita kan variere med $\pm 0,00 - 0,04$. For å få mest mogleg nøyaktig måling er det viktig at det er den same personen som utfører målinga (Gartland, 2017).



Figur 3-13. Registrering av rørsler med bladsøker på målebolt 2 ved Sjøåsblokka.
Foto: Roar Gartland.

For å kartlegge om der kan ha vore rørsler i andre delar eller i eit større parti ved Sjøåsberget, har InSAR-data ved NGU blitt undersøkt. Det er NGU som står bak all prosessering og resultat. Datasettet er basert på ERS-data i tidsrommet 1993 – 1999 (Bredal, 2017).

3.7 Utløpsmodellering av steinsprang

I utløpsmodelleringa vart dei tre scenarioa til Sjøåsblokka modellert i modelleringsprogramma Rockyfor3D, Trajecto3D og RocFall. Sidan Trajecto3D framleis er under utvikling, er det for denne oppgåva mest interessant å sjå korleis resultatet til Trajecto3D kjem ut, samanlikna med dei to andre kjende og meir etablerte modellane. I tillegg er det gjort ei meir generell modellering av steinsprang basert på eit *in-situ* blokkvolum, med kjeldeområde brattare eller lik 50° . Til dette er Rockyfor3D og RocFall blitt nytta. Vidare, vart det kjørt simulering med og utan skog, for å finne ut om skogen kan ha ein bremsande effekt. Her er både Rockyfor3D og RocFall brukt, der Trajecto3D ikkje tek høgde for verknaden til skog. Modelleringa i Trajecto3D er utført av François Noël.

Den eksakte blokkstørrelsen og blokkforma som modelleringa går etter er å finne i tabell 4-7 for Sjøåsbløkk-scenarioa, og tabell 4-5 for den generelle steinsprangmodelleringa.

For å få til ei optimal modellering bør det bli gjort kalibrering av inngangsparametrar til modellane via tilbakerekning frå tidlegare skredhendingar. Til det trengst det historiske hendingar der blokkstorleik, utløp og kjeldeområde er klart definert (Sletten, *et al.*, 2015). På grunn av manglande historiske skredhendingar ved Sjøåsberget, samt usikkerheit rundt opphav og kjelde til kartlagde steinsprangblokker frå feltarbeid, blir parameterane bestemt ut i frå empiriske erfaringstabellar. Då aller helst frå mest mogleg liknande hendingar og områder.

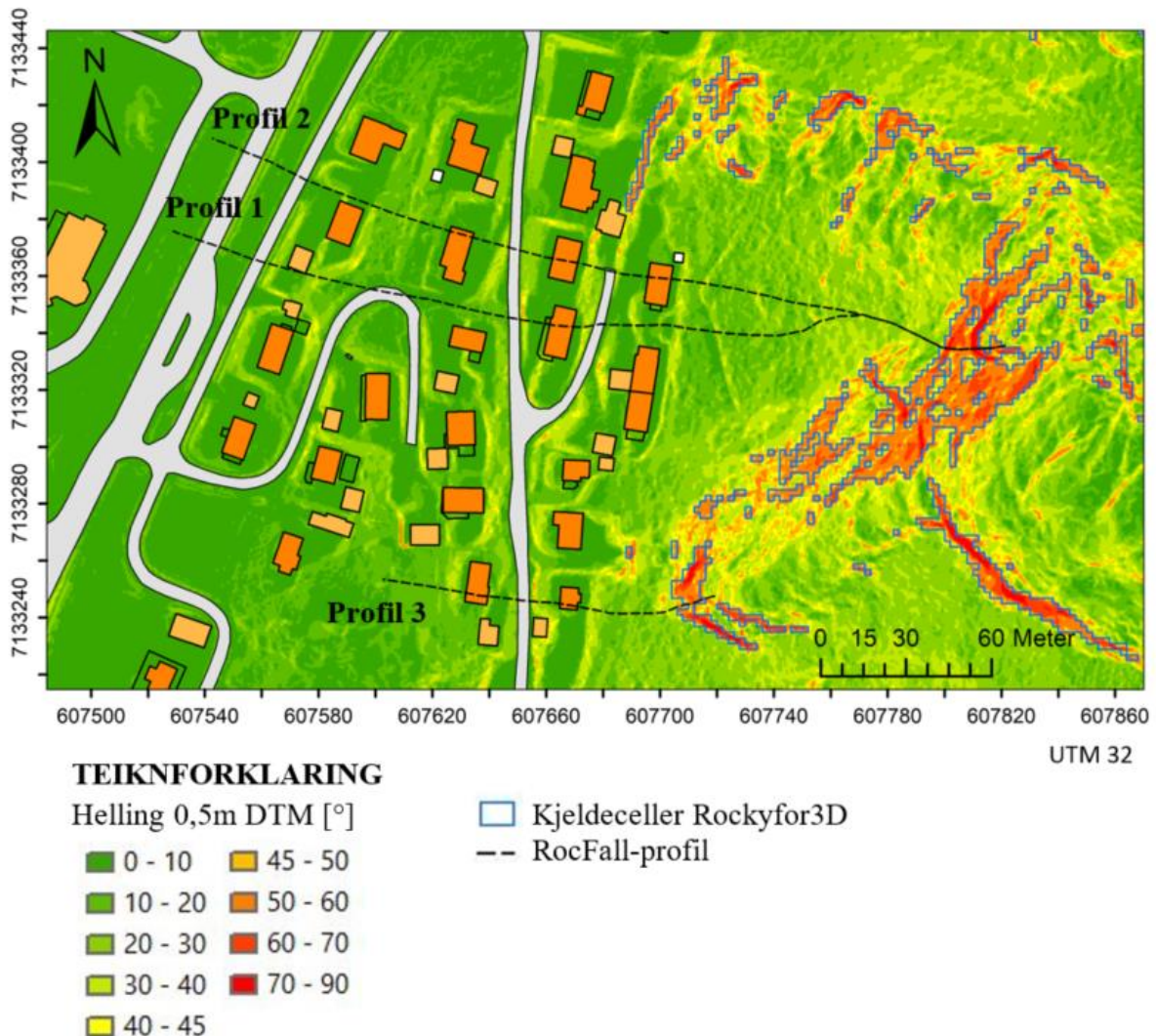
3.7.1 Simuleringsinnstillingar

For kvar kjeldecelle eller scenario vart det kjørt 300 simuleringar med Rockyfor3D, 500 000 simuleringar med Trajecto3D og for RocFall 1000 simuleringar av moglege utløpsbaner. Dette for at resultatet skal ha eit godt nok statistisk grunnlag, og er eit vanleg tal simuleringar (Netti *et al.*, 2016; Sletten, *et al.*, 2015). Densiteten til bergarten er sett lik resultatet frå lab, og er ikkje sett å ha nokon variasjon i modelleringa ettersom bergarten er den same innanfor studieområdet. Blokkvolumet eller massen blei variert med $\pm 20\%$, som passar greitt med minimum- og maksimumsverdien til Sjøåsbløkk-scenarioa sine volumestimat. Det er ingen variasjon i blokkmasse for Trajecto3D.

Begge analysemetodane «rigid body» og «lumped mass» blei brukt i RocFall modelleringa. For å få ei realistisk simulering blir rotasjonshastigheita inkludert i «lumped mass» (Bjordal, *et al.*, 2011) «Tangential CRSP» er på for «rigid body». Skaleringsfunksjonar er avslått etter anbefaling frå Rocscience (2003) for modellering med låge hastigheiter. Horisontal-, vertikal-, og rotasjonsstarthastigheit er alle sett til 0 m/s. Det er også antatt at alle parametarar i RocFall har ei normalfordelt kurve, og at standard utvalsmetode for sannsyn er «Monte-Carlo». Dersom ikkje anna er oppgitt, blir standardparameter og innstilling brukt i RocFall.

3.7.2 Terrengmodell og kjeldeområder

Ei enkelt kjeldecelle/punkt var valt for scenarioa til Sjøåsblokka i Rockyfor3D og Trajecto3D. ArcScene sin 3D-funksjon blei brukt som kontroll på at kjeldecella i Rockyfor3D fekk riktig lokalitet i forhold til skråninga. I den generelle steinsprangmodelleringa basert på *in-situ*



Figur 3-14. Hellingkart over Sjøåsen og Sjøåsberget med RocFall-profil samt kjeldeceller for den generelle steinsprangmodelleringa i Rockyfor3D. Kjeldecellene er $\geq 50^\circ$.

blokkvolum og med kjeldeområde brattare eller lik 50° , blei det langt fleire kjeldeceller som synt i figur 3-14. Ein DTM raster på 2 m vart brukt som terrengmodell til Rockyfor3D, som er i nedre grense for anbefalt oppløysing (Dorren, 2015).

For Trajecto3D er det ingen spesifikke bakkeparameter anna enn punktsky som terrengmodell. Til behandling av punktsky blei programmet «CloudCompare» versjon 2.8.1. nytta (CloudCompare, 2017). Punktsky som er tilgjengeleg for Sjøåsen stammar frå ein luftbåren LiDAR. Nettopp fordi det er luftbåren LiDAR og ikkje bakkebasert LiDAR, er det ikkje like mange punkt representert i dei bratte henga til Sjøåsberget. I filtreringa av vegetasjonen frå den luftbårne punktsky får ein også hol i punktsky som skal representere bakken (figur 3-15). Med bakkebasert laserskanning vil punkttettheita vere større og dette er nødvendigvis ikkje eit så stort problem. Punktsky-hola i bakken må tettast med fleire punkt elles vil blokka falle gjennom bakken. Avstanden mellom kvart punkt bør ikkje vere større enn diameteren til blokka du har tenkt å simulere med. Via ein rekonstruering av overflata med «Poisson Surface Reconstruction» blei hola tetta og terrengoverflata meir jamn, noko den ofte er. Den endelege punktsky-terrengmodellen fekk avstandar på ca. 30 cm mellom kvart punkt. Dette er tilfredstillande med tanke på storleiken av blokkene som blir modellert (Noël, 2017).



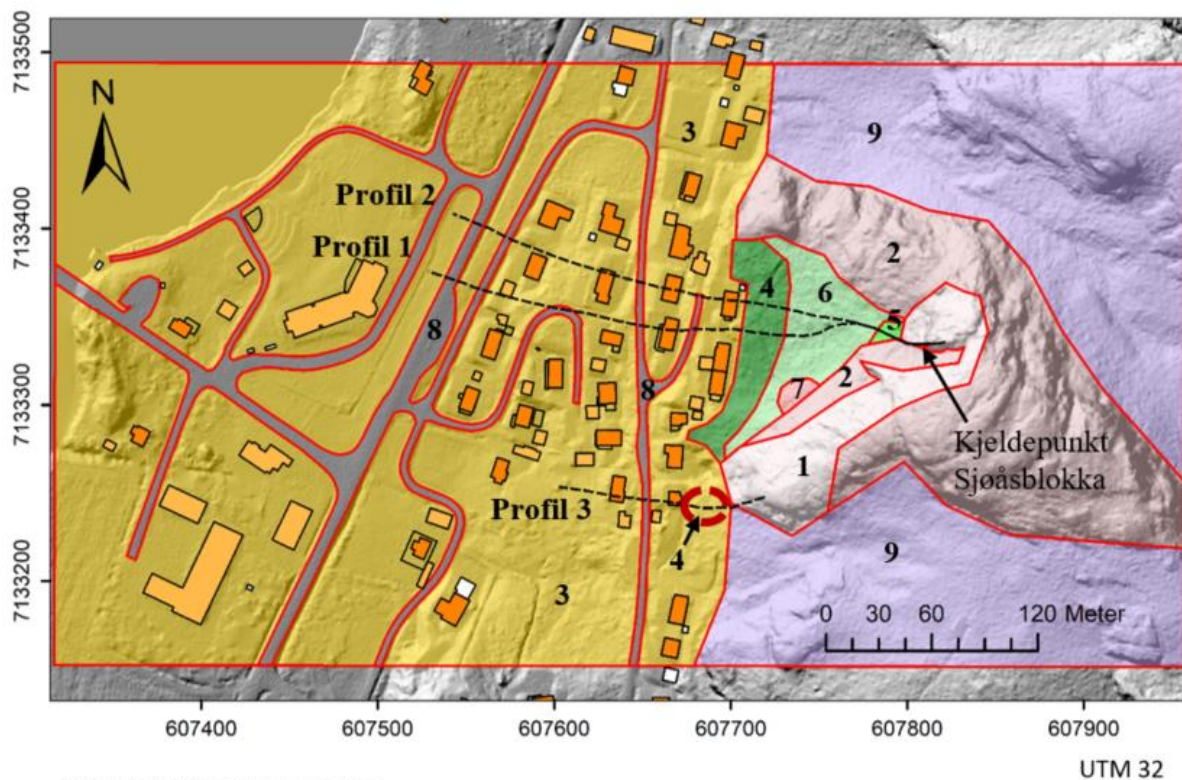
Figur 3-15. Metode for preparering av terrengmodell som består av punktskyer til Trajecto3D. Til venstre er den originale punktsky. Det grøne er vegetasjon og andre objekt enn sjølve bakken. I midten er dette filtrert bort som gjev hol i punktsky. Til høgre er overflata til terrengmodellen rekonstruert og konvertert tilbake til punktsky.

Profila til RocFall er tilpassa kvar i skråninga det ser ut til at flest simuleringblokker frå Rockyfor3D og Trajecto3D har ein tendens til å gå. Skråningsprofila er henta ut frå 1 m DTM, og har fått ei forenkling med 30 % av dei originale «verticies». Dette glattar ut småskala unduleringar av terrenget, noko Hefre, Kveldsvik og Ekseth (2015) anbefaler blir

gjort ved bruk av detaljerte terrengmodellar. Kwart RocFall-profil skjer gjennom kjeldecella definert i Rockyfor3D og får sitt startpunktet der.

3.7.3 Bakkeparameter

Jord- og materialtype, samt overflateruheit til terrenget blir betrakta som bakkeparameter. Figur 3-16 syner dei ulike polygona som studieområdet er delt opp i etter variasjon i jordtype og overflateruheit. Tabell 3-3 gjev oversikt over kva parameterverdi som er sett til dei ulike polygona i figur 3-16. Verdiane som er brukt i RocFall og Rockyfor3D modelleringa, er basert på feltobservasjonar i kombinasjon med parameterverdier frå «Rocscience Coefficient of Restitution Table» (Rocscience, 2017b), «Dynamic Friction and Rolling Friction Coefficients Table» (Rocscience, 2017e) og Sletten, *et al.* (2015) (verdier frå Sogn og Fjordane). Bustadområdet vert sett på som jordlag med vegetasjon for RocFall og jordtype 1 for Rockyfor3D. Dette på grunn av dei mange plenane som er etablert rundt husa.



TEIKNFORKLARING

Materialtype

- | | |
|--|--|
| Bart fjell | Talus grov |
| Bart fjell m/dekke | Steinsprangavsetning |
| Bustadområde | Asfalt |
| Morene | Anna |
| Talus fin | |

-- RocFall-profil

Figur 3-16. Dei ulike polygona som studieområdet blei delt opp i etter variasjon i jordtype og overflateruheit.

Dei to RocFall-analysane «lumped mass» og «rigid body» blir køyrt på det same terrenget, med tilsynelatande like verdiar på materialtypen (tabell 3-3). For «lumped mass» blir friksjonsvinkelen kalkulert i frå tangential-restitusjonskoeffisient (R_T), og det er ikkje sett på noko overflateruheit. I «rigid body» blir overflateruheita estimert ut i frå $rg70$ verdien som vart kartlagt i felt i samband med Rockyfor3D. Dette vil seie at 70 % av det definerte området vil ha eit hinder med ei viss høgd. I ei slags overføring til RocFall blir det gått ut i frå at 70 % vil tilsvare ein ruheitsavstand på 2 m med SD lik 0,2. Etter anbefaling frå Rocscience (2017c) blir gjennomsnittsamplituden (a) til ruheita sett til 0, men der SD blir justert slik at minimum og maksimum får ein verdi lik $rg70$. Det er ikkje vurdert eller sett på nokon avanserte parameter av overflateruheita i RocFall «rigid body»-analysen.

I RocFall-modelleringa i blei det gjort nokre endringar når det kjem til bakkeparameter som skil seg i frå det figur 3-16 viser og det som var grunnlaget i Rockyfor3D-modelleringa. I området mellom det første huset og bart fjell i profil 3 vart materialtypen sett til morene og ikkje bustadområde (tabell 3-3).

Tabell 3-3. Bakkeparameterverdiane som er brukt til utløpsmodellering i Rockyfor3D og RocFall. Normal- og tangential-restitusjonskoeffisient har forkortinga R_N og R_T . Dynamisk- og rullande-friksjonskoeffisient er forkorta med F_D og F_R , medan a er gjennomsnittsamplituden.

Material -type	Rockyfor3D					RocFall						
	Polyg. nr.	Jord -type	$rg70$ [m]	$rg20$ [m]	$rg10$ [m]	«Lumped mass»				«Rigid body»		
						R_N		R_T		F_D	F_R	a [m]
						Gj.	SD	Gj.	SD			
Bart fjell	1	6	0,05	0,1	0	0,53	0,04	0,99	0,04	0,76	0,4	0,01 7
Bart fjell m/dekke	2	5	0,05	0,1	0	0,51	0,02	0,9	0,02	-	0,4	0,01 7
Bustad- område	3	1	0	0,05	0,1	0,3	0,06	0,8	0,06	-	0,6	-
Morene	4	4	0,25	0,09	0,3	0,5	0,02	0,67	0,02	-	0,55	0,08
Ur fin	5	4	0,11	0,35	0,65	0,5	0,02	0,67	0,02	-	0,4	0,04
Ur grov	6	4	0,4	0,25	1	0,5	0,06	0,7	0,06	-	0,65	0,13
Steinsp.	7	4	1	0,4	0,6	0,5	0,06	0,7	0,06	-	0,7	0,3
Asfalt	8	7	0	0	0	0,4	0,04	0,9	0,04	-	0,43	-
Elles	9	4	0,25	0,09	0,3	-	-	-	-	-	-	-

3.7.4 Simulering med skog

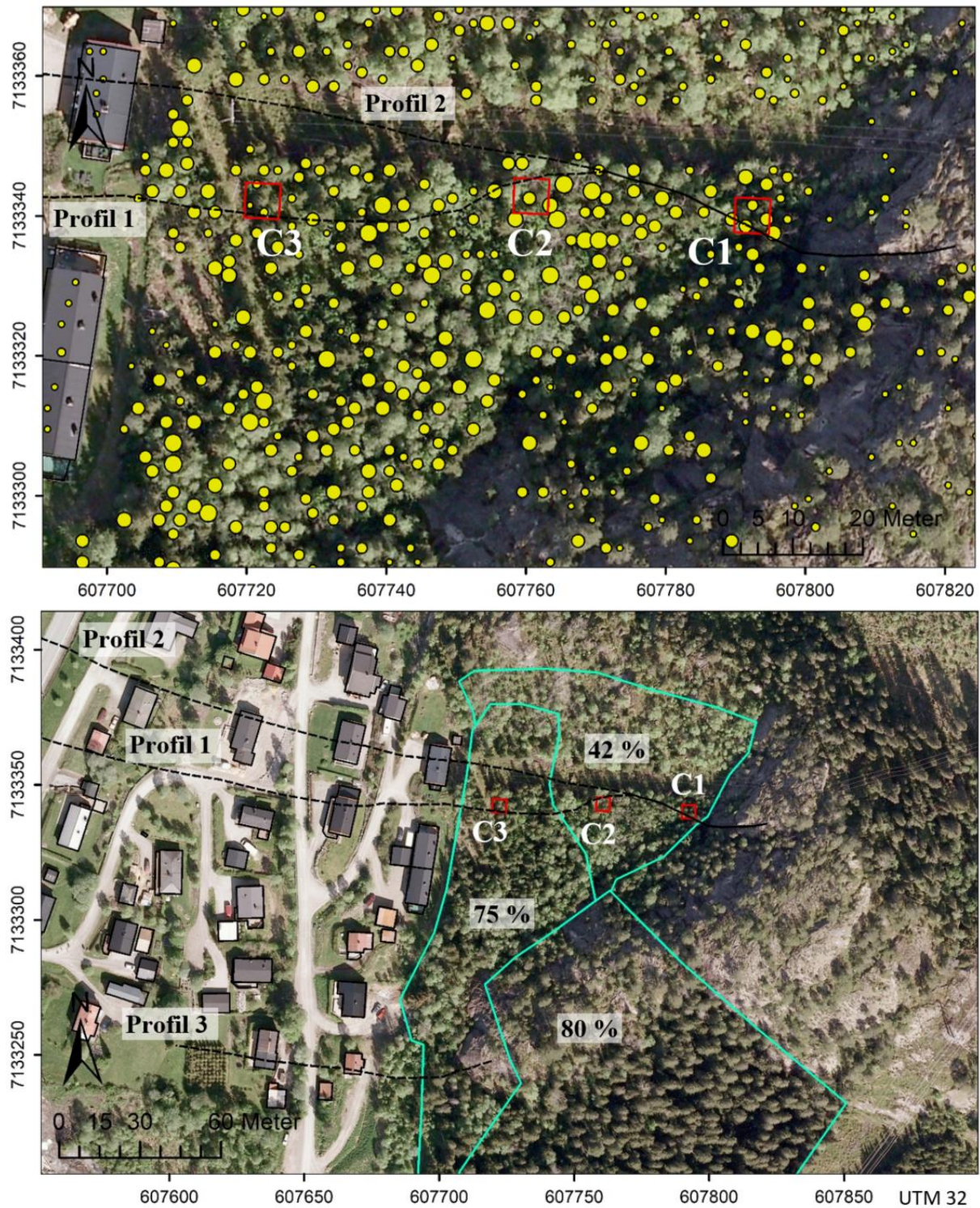
Programvara FINT (Find Individual Trees) versjon 1.7 (EcorisQ) blei brukt for å hente ut informasjon om skogen i studieområdet (figur 3-17). Grunndata er 1 m DTM og DOM. Dette skal i følge Dorren (2014) vere ei grei oppløysing til å registrere bartre. Som minimumshøgda på trea vart det er grense på 4 m og *DBH* vart kalkulert via likning 3.37, der *H* er høgda til trea, og variasjon på $\pm 20\%$. For å simulere skogen si effekt på steinsprang i Rockyfor3D, trengst det i tillegg informasjon om prosentandelen bartre. Sonene med lik bartreprosent blei satt etter visuell tolking av ortofoto med høg oppløysing, og verdien baserer seg hovudsakleg på skogcellene frå feltarbeidet (figur 3-17 og tabell 3-4).

$$DBH = H^{1,25} \quad (3.37)$$

I RocFall blir simuleringa av skog basert på grunnarealet henta inn i frå feltarbeid (tabell 3-4). Her blir grunnarealet basert på *DBH* større enn 12 cm, slik Høydal, Breien og Sandersen (2013) tilrår. For den øvre delen av skogen blir det modellert med 35 m²/ha som ikkje er langt unna gjennomsnittet til celle 1 og 2. Den nedre delen av skogen blir modellert med grunnareal på 20 m²/ha, som blir noko høgare enn det celle 3 gav.

Tabell 3-4. Eit utval av resultatet frå dei tre feltcellene med informasjon om skogen, og som har danna grunnlag for steinsprangsimulering med skog. Lokaliteten til dei tre feltcellene går fram i figur 3-17. *: Grunnareal kalkulert etter tre med $DBH \geq 12$ cm.

Lokalitet	Bartre [%]	<i>DBH</i> [cm]			Tal stamme/ha	Grunnareal [m ² /ha]	Høgda (ca.) [m]
		3 største	Gj.	SD			
Celle 1 (Øvre celle)	40	13,5 15,3 17,8	9,1	3,9	6000 1600*	39 27*	6-10
Celle 2 (Midtre celle)	42,9	18,0 18,8 19,0	9,5	4,7	8400 2400*	59 49*	10
Celle 3 (Nedre celle)	75	11,9 12,8 13,7	9,7	2,6	4800 1200*	35 15*	6-10



TEIKNFORKLARING

DBH [cm]

- ◊ 4,6 - 10
- 10 - 14
- 14 - 18
- 18 - 22
- 22 - 26
- 26 - 30

- RocFall-profil
- ▣ Tre-celle frå felt
- ▭ Avgrensing bartre i prosent

Figur 3-17. FINT sine registreringar av tre i DBH gitt i cm, samt avgrensing av bartre i prosent. Legg merke til at husa også blir registrert som rekker med tre.

3.8 Farevurdering

Kartlegging av skredfare er ofte basert på historiske data, der ein ved hjelp av statistisk analyse kan predikere frekvensar for skredhendingar med ein viss storleik (Dolva *et al.*, 2016). Korleis ein kan gå fram for å definere skred med eit årleg sannsyn etter tryggleiksklassane i TEK17, ved mangel på temporal informasjon rundt tidlegare skredhendingar er heller usikkert.

I farevurderinga av steinsprang som Sletten, *et al.* (2015) utførte, blei det gått ut i frå at storleiken på steinsprangblokkene kan vere relatert til frekvensen av steinsprang. Difor er det sannsynleg at mindre blokker oftare blir utløyst enn større blokker. Storleiken på dei kartlagde blokkene i området har difor blitt nytta for å definere nominell årleg sannsyn for hendingar av steinsprang etter tryggleiksklassane i TEK17. Datasettet er i hovudsak basert på lengste utløp frå steinsprang, og ved statistiske analyser på den normalfordelte kurva har det blitt kome fram til ulike volum som definerer dei nominelle årlege sannsyna. På grunn av den store usikkerheita rundt opphavet til blokker under Sjøåsberget, blei heller ikkje denne framgangsmetoden vurdert til å vere heilt passande.

Nilsen (1999) og Nilsen (2000) har vurdert stabilitet av bergskråningar og korleis dette blir i forhold til retningslinjene frå Statens Bygningstekniske Etat (i dag kalla Direktoratet for byggkvalitet, etaten bak TEK17). Framgangsmetoden har vore ei stabilitetsberekning i form av ei probabilistisk analyse som gjev eit sannsyn for brot, der dette sannsynet vert dividert på konstruksjonen si forventa levetid. Ei fjellskjering ved ein veg og ein flaumløpskanal i Paunglaung blei begge antatt å ha ei stipulert levetid på 50 år.

Når det kjem til konstruksjonar som bustadhus kjem det ikkje heilt klart fram kva som kan vere ei forventa levetid. DNB (2017) har omtalt diverse levetider for deler og materiale i bustadar, der dei delane med høgste levetid er rundt 50 – 75 år. I frå diskusjonar med personar innanfor byggmiljøet blir det nemnt at levetidsvurderingar er basert på 60 år, men der levetida til bygningar blir forventa å vere noko lengre utan at dette blir spesifisert. Det er mogeleg at bustadhus kan bli estimert til å ha ei teknisk levetid på 50 år (Christensen, 2017). I Eurokode 0 er det gitt ein tabell over antydande dimensjonerande levetid for ulike eksempel på konstruksjonar (tabell 3-5) (Standard-Norge, 2016a). I følgje tabell 3-5 kan bustadhus vere antyda til å ha ei levetid på 50 år. Nettopp denne tabellen har Statens vegvesen nytta som grunnlag til at tunnelkonstruksjonar skal dimensjonerast for ei levetid på 100 år (Vegdirektoratet, 2012).

Tabell 3-5. Antydande dimensjonerende levetid. Kategorien som bustadhus er tolka til å kome under er gitt med raud markering. Tabellen er henta i frå Standard-Norge (2016a) også kalla Eurokode 0.

Design working life category	Indicative design working life (years)	Examples
1	10	Temporary structures ⁽¹⁾
2	10 to 25	Replaceable structural parts, e.g. gantry girders, bearings
3	15 to 30	Agricultural and similar structures
4	50	Building structures and other common structures
5	100	Monumental building structures, bridges, and other civil engineering structures

(1) Structures or parts of structures that can be dismantled with a view to being re-used should not be considered as temporary.

For å gjere ei farevurdering av Sjøåsblokka og om husa ved Sjøåsen er innanfor tryggleiksklassane i TEK17, har det blitt gjort eit forsøk på å adaptere metoden til Nilsen (2000) slik at den også kan bli nytta for steinsprangfare (likning 3.36):

$$\frac{\text{Årleg sannsyn for skred i konstruksjonen si levetid}}{\text{Årleg sannsyn for skred i konstruksjonen si levetid}} = \frac{\text{Akkumulert sannsynleg rekkevidde}}{\text{Levetid konstruksjon}} \quad (3.38)$$

Dette blir basert på ei akkumulert sannsynleg rekkevidde som er ein kombinasjon av sannsyn for brot og sannsynleg rekkevidde etter tilråding frå Hermanns (2017) (likning 3.37):

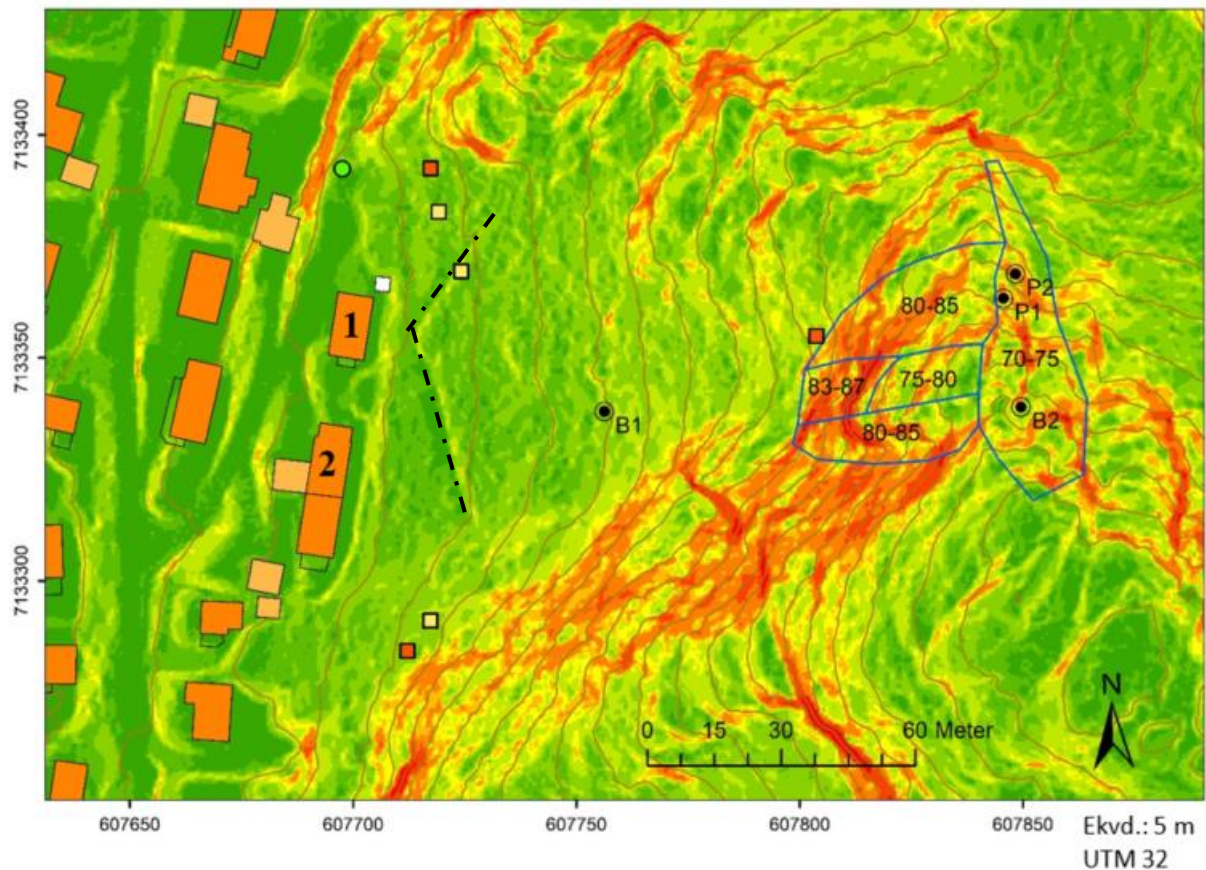
$$\frac{\text{Akkumulert sannsynleg rekkevidde}}{\text{Akkumulert sannsynleg rekkevidde}} = \frac{\text{Sannsyn for brot}}{\text{Sannsyn for brot}} \times \frac{\text{Sannsynleg rekkevidde}}{\text{Sannsynleg rekkevidde}} \quad (3.39)$$

Ei slik eventuell farevurdering gjeld spesifikt berre Sjøåsblokka, og seier ingen ting om steinsprangfaren knytt til andre parti eller fjellsida generelt ved Sjøåsberget.

4 Resultat

4.1 Laboratorieresultat og feltmålinger

Ei oversikt over lokalitetane til laboratorieprøver samt andre feltregistreringar er gitt i figur 4-1. Feltregistreringane av inngangsparameter til utløpsmodelleringa har blitt presentert under metode for utløpsmodellering avsnitt 3.7.



TEIKNFORKLARING

Helling 0,5m DTM [°]

0 - 10	45 - 50
10 - 20	50 - 60
20 - 30	60 - 70
30 - 40	70 - 90
40 - 45	

Feltregistrering blokk

● Moreneblokk
■ Steinsprangblokk
□ Usikker steinsprangblokk

● Prøvelokalitet

□ GSI-område
- - - Dreneringsgrøft

Figur 4-1. Lokalitet av prøveuttak for blokk (B) og forvitningsmateriale (P). Feltregistreringar av GSI for ulike delar av Sjøåsberget samt registrering av nokre blokker som kan ha opphav frå steinsprang. Dei to husa nærmast Sjøåsberget har følgjande nummerering.

Einaksial trykktest vart utført på seks kjernar (tabell 3-2), og gav ein einaksial trykkstyrke (σ_c) som er veldig høg med 114,9 MPa og lågt standardavvik (tabell 4-1). E -modul (E_t) kom på 47,4 GPa og Poissons forholdstal (ν) var høg med 0,39. Figur 4-2 syner eit typisk skjerbrot som den granittiske gneisen ved Sjøåsberget hadde. Brota var sprø med ei klasse II brotforløp, og gjennomsnittleg brotvinkel på 18° . Eit fullstendig resultat av einaksial trykktest på kvar kjerne med spenning-tøyingsdiagram og bilete av kvar kjerne er gitt i vedlegg B «Bergmekaniske resultat».



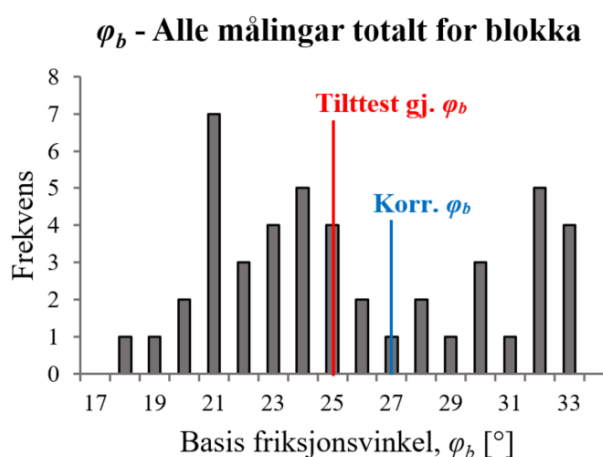
Figur 4-2. Kjerne UCS 4 etter einaksial trykktesting.

I Li (2017) er det lista opp tidlegare testresultat på norske granittiske gneisar. Frå desse er det ein gjennomsnittleg einaksial trykkstyrke (σ_c) på 114 MPa, som er veldig lik den granittiske gneisen ved Sjøåsen. E -modul (E_t) og Poissons forholdstal (ν) skil seg meir med høvesvis 24 GPa og 0,10. Det er uvisst om kjernane i desse testane også har vore vassmetta.

Punktlasttest gav ei grad av anisotropi (I_{a50}) på 1,02 som er svært lågt og indikerer at den granittiske gneisen ved Sjøåsberget har isotropiske eigenskapar (tabell 4-1).

Korrelasjonsfaktoren (k) mellom einaksial trykkstyrke og punktlasttesten blir ca. 27. Meir detaljert resultat rundt punktlasttesten er i vedlegg B-3 «Punktlasttest».

Tilttesten gav ein basis friksjonsvinkel på $25,1^\circ$ og standardavvik på $4,51^\circ$ (figur 4-3 og tabell 4-1). Datagrunnlaget er basert på alle målingane til dei tre kjernane. Resultatet frå tilttesten vart ikkje heilt som forventa og blei difor korrigert med litteraturen. I følgje Barton (1976) kan ein skifrig og lagdelt gneis ha basis friksjonsvinkel på $26-29^\circ$, medan granitt ligg i området $31-35^\circ$. Li *et al.* (2017) utførte tilttest på ein



Figur 4-3. Histogram over tilttest-resultat for alle målingar totalt på blokka. Ein basis friksjonsvinkel korrigert for litteraturen er gitt blått.

granittisk gneis som gav basis friksjonsvinkel på 30,7° og standardavvik på 2,8°. Dette gjeld tørre prøver. Dei vidare analysane vil difor bli basert på ein basis friksjonsvinkel på 27°. Ein vidare diskusjon rundt resultatet kjem under avsnittet 5.3.3 «Residual- og basis friksjonsvinkel», og i vedlegg B-4 er eit detaljert resultat frå tilttesten samt informasjon om kjernane.

Densiteten (ρ) og tyngdetettleik (γ) er innanfor klassifikasjonen liten – middels med ein tyngdetettleik på 25,6 kN/m³. I Li (2017) er det målt ein tyngdetettleik på 26,4 kN/m³ på ein annan granittisk gneis i Noreg.

Tabell 4-1. Oppsummering av dei bergmekaniske testresultata. Klassifikasjon for einaksial trykkfastheit er basert på ISRM (1978a). Derimot er klassifikasjonen til NBG (1985) nytta for densitet og tyngdetettleik. For Poissons forholdstal er det Gercek (2007) sin klassifikasjon som ligg til grunn, og gjeld berre for isotropisk intakt berg.

Testmetode	Parameter	Eining	Symbol	Blokk (gj.)	SD	Klassifikasjon
Einaksial trykktest	Einaksial trykkfastheit	[MPa]	σ_c	114,9	2,6	Veldig høg styrke
	E-modul (tangent)	[GPa]	E_t	47,4	3,9	-
	Poissons forholdstal	-	ν	0,39	0,079	Høg
	Brotvinkel	[°]	θ	18	4,8	-
Punktlasttest	Grad av anisotropi	-	I_{a50}	1,02	-	Isotropisk
Tilttest	Basis friksjonsvinkel	[°]	ϕ_b	25,1	4,51	-
Skyvelær og vekt	Densitet	[kg/m ³]	ρ	2612,10	1,94	Liten – middels
	Tyngdetettleik	[kN/m ³]	γ	25,62	0,02	

4.1.2 Testresultat på forvittringsmateriale

Materialet har eit sandig preg samansett av synlege mineralkorn frå kjeldebergarten (granittisk gneis), og blir tolka til å vere forvittringsmateriale. Det førekjem også innslag av bergartsfragment. Både mineralkorna og bergartsfragmenta har ei kanta form. Materialet har ein gråleg farge, med innspel av lyse mineralkorn og glinsande glimmerkorn (figur 4-4).

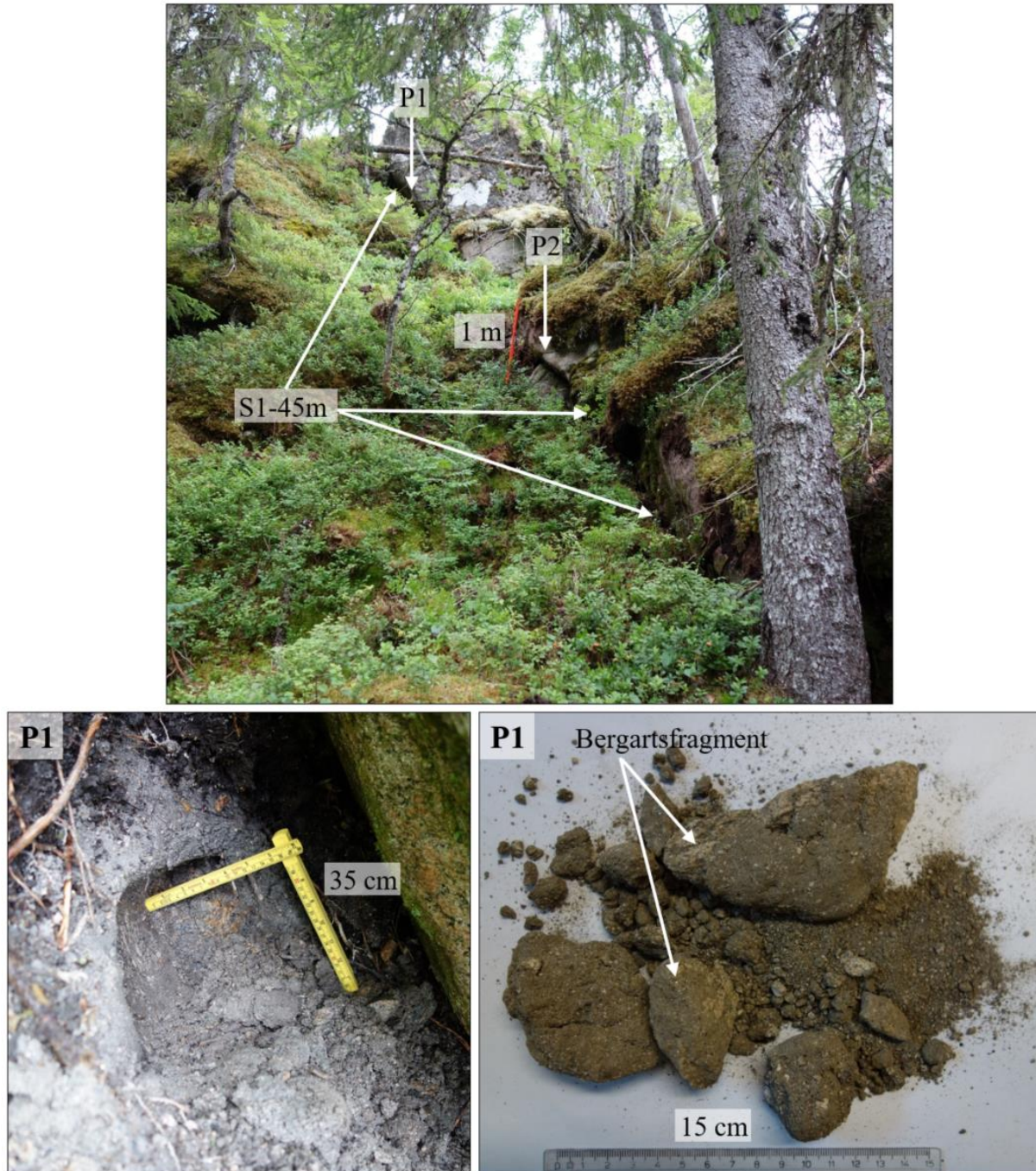
In-situ i felt var materialet fuktig, hardt å grave i og med ein struktur som kan spegle av kjeldebergarten (figur 4-4). Det verka ikkje glatt mellom fingrane. Når materialet først er forstyrra blir det veldig laust, spesielt i tørr tilstand. Dersom uforstyrra, kan materialet halde

saman i fastare klumpar, men smuldrar lett opp ved trykk mellom fingrane. Dette gjeld både når materialet er tørka samt under eit *in-situ* vassinnhald.

I frå kornfordelinganalysen fekk materialet jordartsnemninga grusig, sandig materiale, og var velgradert med eit graderingstal (*Cu*) på 200. Dette er berre basert på prøve P1, som også er den mest representative prøva av forvittringsmaterialet frå feltarbeidet. Eigentleg skulle prøve P2 ha blitt tørrsikta på ny på grunn av eit siktetap på 2,7 %. Dette vart ikkje prioritert sidan prøve P2 var mindre representativ og først og fremst meint som ei ekstraprøve til frisvellstesten. Prøve P1 fekk eit siktetap på 0,0 % i tørrsiktinga. I vedlegg C-2 er det detaljert sikteanalyse for P1 og kornfordelingsanalyse der også P2 inngår.

Frisvellingstesten gav indikasjon på at forvittringsmaterialet har liten til middels aktiv svelle eigenskap med ei frisvelling (*FS*) på gjennomsnittleg 115. Så lenge det ikkje er aktivt svellende materiale vil det ikkje ha så mykje å seie på stabiliteten (Nilsen, 2017b). Det blei difor ikkje gjort noko vidare undersøkingar på svelleeigenskapar eller forvittringsmaterialet generelt. I vedlegg C-1 er det detaljert resultat på frisvellinga med bilete. Det var liten forskjell mellom prøvene og om det vart nytta destillert vatn eller ikkje.

I følge ISRM (1978a) kjem forvittringsmaterialet under klassifiseringa høgt forvittra (IV), «disintegrated» materiale. Vidare vert materialet tolka til å vere forvittra på staden og blir eit autoktont forvittringsmateriale.



Figur 4-4. Lokalteten til lausmasseprøve P1 og P2. Begge prøvene er henta i frå ei uthaldande sprekk kalla S1-45m. Det nedre bileta syner uttaket av P1, samt prøva i tørka tilstand. Klumpar som ikkje er større bergartsfragment er uforstyrra forvittringsmateriale.

4.1.3 Sprekkeplan og sprekkeseitt samt eigenskapar

I studieområdet ved Sjøåsberget vart det berre registrert sprekkar som diskontinuitet i bergmassen. Orienteringa til sprekkelana vert presentert i formatet fall/fallretning, der det blir brukt eitt standardavvik ($1\sigma = 68,26\%$) på sprekkeseitta si orientering. I stereografiske plott vert standardavviket uttrykt som ein kjegle der sentrum av kjegla representerer

gjennomsnittet av fall og fallretninga. Målingane innanfor sirkelen fell innanfor standardavviket (Sandøy *et al.*, 2017). Feltnålingar som har med sprekkedriksjonen til potensielle glideflater å gjere, blir presentert under avsnitt 4.4.4 «Sprekkedriksjon».

Totalt blei det gjort 375 orienteringsmålingar av sprekkflater (tabell 4-2). Av desse målingane blei det utført ei sprekkessortering som reduserte det totale talet ned til 251 sprekker. Sorteringa innebar ei filtrering der sprekker med ei usikker orientering på grunn av sprekkavløyste blokker blei luka ut. I tillegg blei det tatt gjennomsnittet av sprekker med fleire målingar på.

Tabell 4-2. Tal på orienteringsmålingar av sprekker ved Sjøåsberget før og etter sprekkessortering.

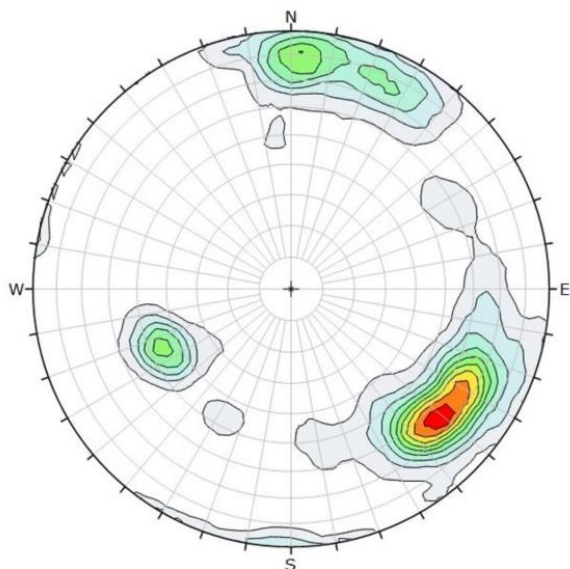
Område	Før sprekkessortering	Etter sprekkessortering	
		Inkludert sprekkavløyste blokker	Ekskludert sprekkavløyste blokker
Nordleg	100	86	80
Austleg	71	53	49
Sørleg	128	79	52
Vestleg	42	41	41
Opp på	34	29	29
TOTALT	375	288	251

Det var ingen større strukturelle variasjonar innanfor studieområdet, og sprekkesetta til kvart delområde vart slått saman til eit totalt datasett (vedlegg A-1). Etter at sprekkavløyste blokkregistreringar vart ekskludert frå datasettet, endra dei signifikante sprekkesetta seg i frå fire til tre (figur 4-5). Dei vidare analysane har blitt basert på tre signifikante sprekkesett (figur 4-6).

Dei mest utholdande sprekkene høyrer til sprekkesett S1 og S2 (figur 4-7). Sprekkesettet parallelt med foliasjonen var eit lite dominerande sprekkesett. Derimot var det mange registreringar av S1, der nokre av sprekkene kan kome frå ein eksfoliasjon av Sjøåsberget som fylg nettopp dette sprekkesettet.

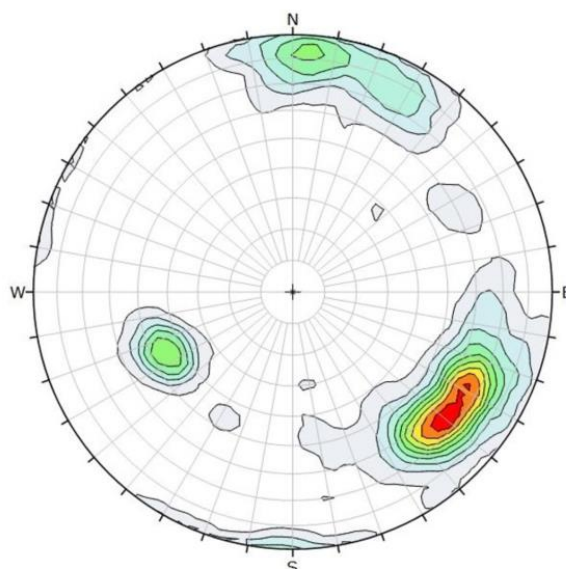
**Inkludert målinger fra
sprekkeavløyste blokker**

Maximum Density	9.94%
Vector Count	288 (288 Entries)



**Ekskludert målinger fra
sprekkeavløyste blokker**

Maximum Density	10.13%
Vector Count	251 (251 Entries)

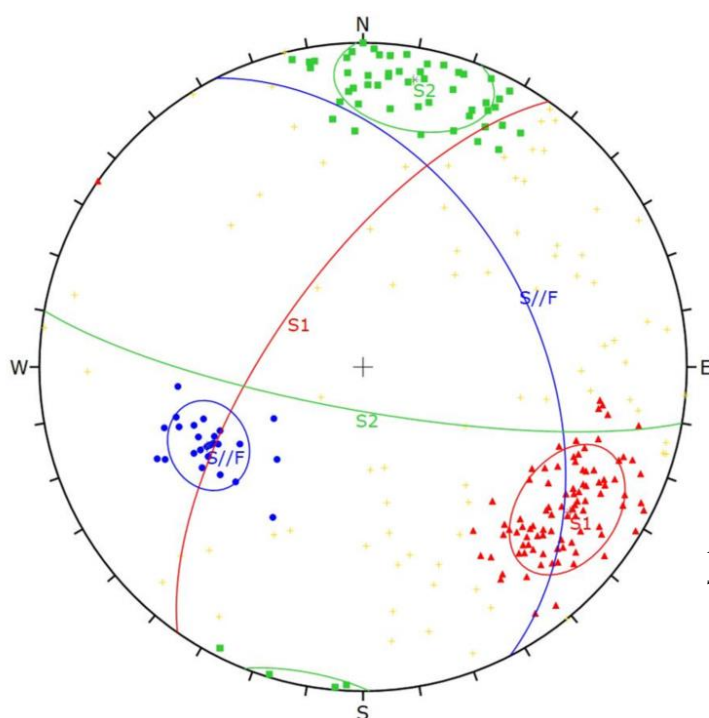


Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.00
	1.00 - 2.00
	2.00 - 3.00
	3.00 - 4.00
	4.00 - 5.00
	5.00 - 6.00
	6.00 - 7.00
	7.00 - 8.00
	8.00 - 9.00
	9.00 <

Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Plot Mode	Pole Vectors
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Figur 4-6. Konturskalaen er sett til 0-10, inndelt i 10 intervall for begge konturplotta. Dette for å bedre kunne samanlikne endringa i pol-konsentrasjonen med og utan målingar frå sprekkavløyste blokker.

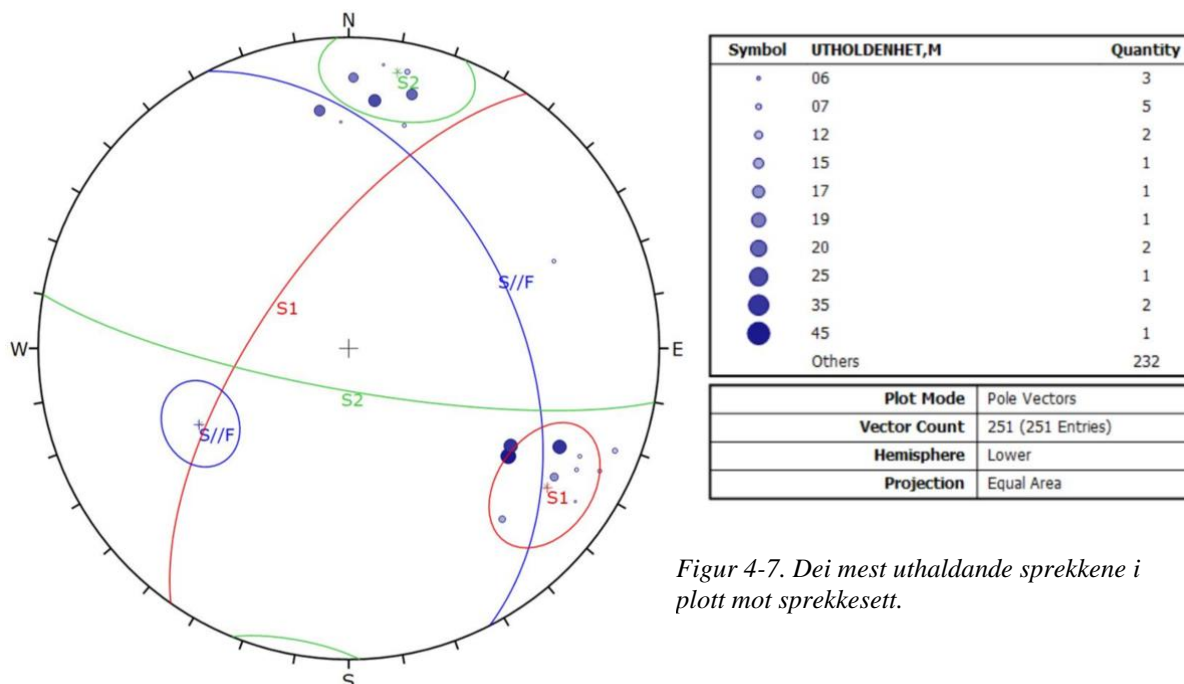


Symbol	Set	Quantity
●	1	26
▲	2	93
■	3	54
★	[no data]	78

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	45	63	S//F
2m	67	305	S1
3m	79	190	S2

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	251 (251 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Figur 4-5. Sprekkene som utgjør dei tre sprekkeseta ved Sjøåsberget.

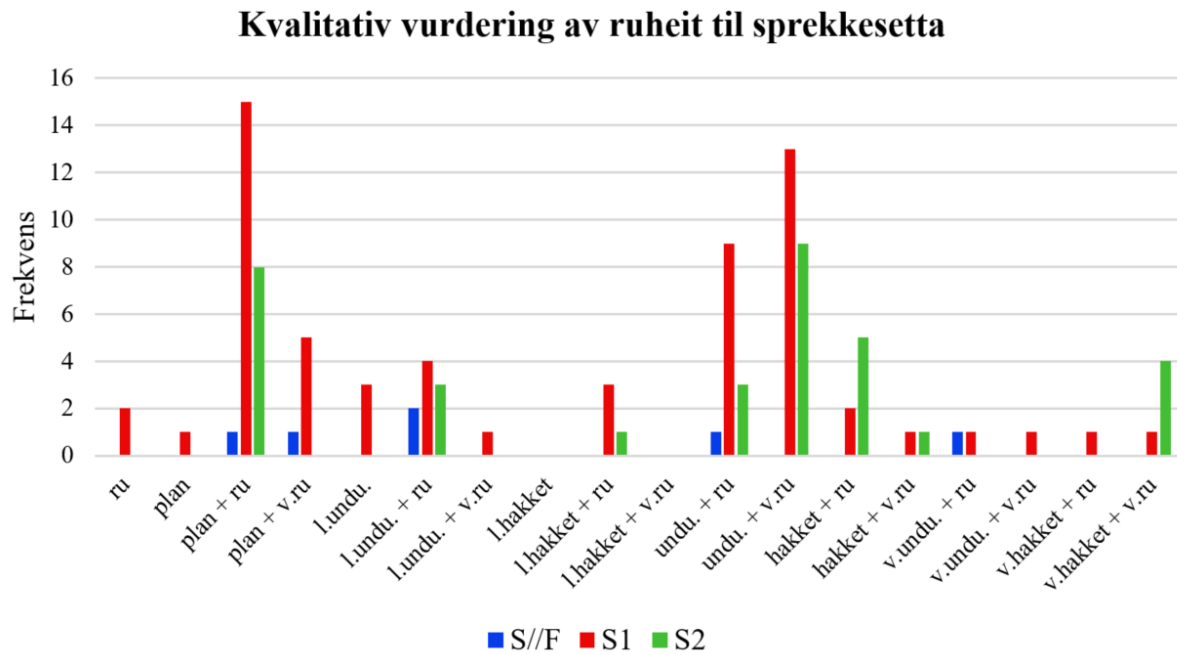


Figur 4-7. Dei mest uthaldande sprekkene i plott mot sprekkesett.

Fleire sentrale eigenskapar til sprekkesetta er oppgitt i tabell 4-3, der figur 4-8 syner kvalitative vurderingar av ruheita til sprekkesetta. Fleire detaljar rundt sprekkesetta er å finne i vedlegg A «Feltmålingar av sprekker».

Tabell 4-3. Oppsummerande informasjon om dei ulike sprekkesetta ved Sjøåsberget. Informasjonen er basert på figur 4-6, figur 4-8 og histogram i vedlegg A-2 og A-3 «Eigenskapar til sprekkesetta».

Sprekkesett	S//F	S1	S2
Sprekketype	Sprekke // foliasjon	Sprekke	Sprekke
Fall [°]	45	67	79
Fallretning [°]	063	305	190
Standard avvik [°]	±10,7	±15,0	±15,9
Utholdenheit (gj.) [m]	0,6 ± 0,5	3,9 ± 7,5	3,8 ± 5,8
Avstand (gj.) [m]	0,2 ± 0,2	1,2 ± 1,9	1,1 ± 1,0
Overflate	Litt undulerande og ru	Plan og ru samt undulerande og veldig ru	



Figur 4-8. Frekvensen av kvalitative vurderingar som er gjort av ruheit til sprekkesetta.

4.1.4 GSI

Bergmassen er ein jamt over massiv, granittisk gneis med svak foliasjon. Studieområdet er dominert av tre sprekkesett, og området har varierende grad av oppsprekking. Dei fleste sprekkeflatene som opptrer er enten plan og ru eller undulerande og veldig ru (figur 4-8). Det har blitt observert forvitningsmateriale mellom nokre sprekkeveggar, men ingen jernutfelling eller belegg. Figur 4-1 syner oversikt over *GSI*-estimering for kvar delområde av Sjøåsberget. På grunnlag av observasjonane i felt, fekk studieområdet estimert ein *GSI*-verdi på 81-86 med ein gjennomsnittleg verdi på 83 (figur 4-9).

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)
 From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.

STRUCTURE	SURFACE CONDITIONS	VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Slack-sided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Slack-sided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
		DECREASING SURFACE QUALITY →				
INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓	90			N/A	N/A
BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets		80	70			
VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets			60	50		
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity				40	30	
DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces					20	
LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes			N/A	N/A		10

Figur 4-9. Skjema som syner GSI estimering basert på grada av korleis delar av berget heng saman og kvaliteten til diskontinuitetsoverflata. Den raude ringen er Sjøåsberget sin gjennomsnittlege estimerte verdi. Henta i frå Hoek (2007).

4.1.5 Blokkform og blokkstørrelse for «generelt steinsprang»

I registreringa av lengste utløpblokker var det vanskeleg å skilje steinsprangblokker frå blokker med glasialt opphav eller som kunne vere påverka av menneskeleg aktivitet. På grunn av denne usikkerheita vart registreringa av lengste utløpsblokker ikkje særleg prioritert under

feltarbeidet. Likevel vart det registrert tre blokker som tydeleg har opphav frå steinsprang og var relativt «resent» (figur 4-1).

Til modelleringa av ei «generell steinsprangblokk» frå Sjøåsberget blei difor volumet først og fremst basert på eit øvre *in-situ* blokkvolum på 1 m³ frå dei generelle sprekkesetta (tabell 4-4). Ein «block shape factor» (β) frå feltblokkene blei nytta til å korrigere forholdet mellom største og minste blokkdiameter (d_1 og d_3) (figur 4-1 og tabell 4-5).

Tabell 4-4. *In-situ* blokkvolum basert på sprekkedata. Klassifiseringa er etter Nilsen og Palmström (2000)

<i>In-situ</i> blokk	Verdi	Kategoriverdi	Klassifisering
«Block volume» (Vb) [m ³]	0,3	0,03 – 1	Moderat

Tabell 4-5. Dimensjonar og form til den generelle steinsprangsimuleringa som blir modellert i RocFall og Rockyfor3D. «Block shape factor» er basert på definisjon gitt i Nilsen og Palmström (2000).

Generell steinsp. blokk	d_1 [m]	d_2 [m]	d_3 [m]	Volum [m ³]	Masse [kg]	Blokkform	«Block shape factor» (β)
Feltblokker gj.	1,8	0,8	0,6	0,47	-	Ellipsoide	41
Rockyfor3D	2,4	1	0,8	1,01	-	Ellipsoide	
RocFall	-	-	-	1	2612	Ellipse (1:2)	

4.2 Potensielt ustabile parti og scenario ved Sjøåsberget

Ulike scenario knytt til den mykje omtalte og tidlegare vurderte «Sjøåsblokka», har blitt ekstra vektlagt. Dette er ei spesifikk blokk heilt sørvest på Sjøåsberget (figur 4-10 og figur 4-12). Lokaliteten til den alt sikra «Vaierblokka» er også synt i figur 4-10.

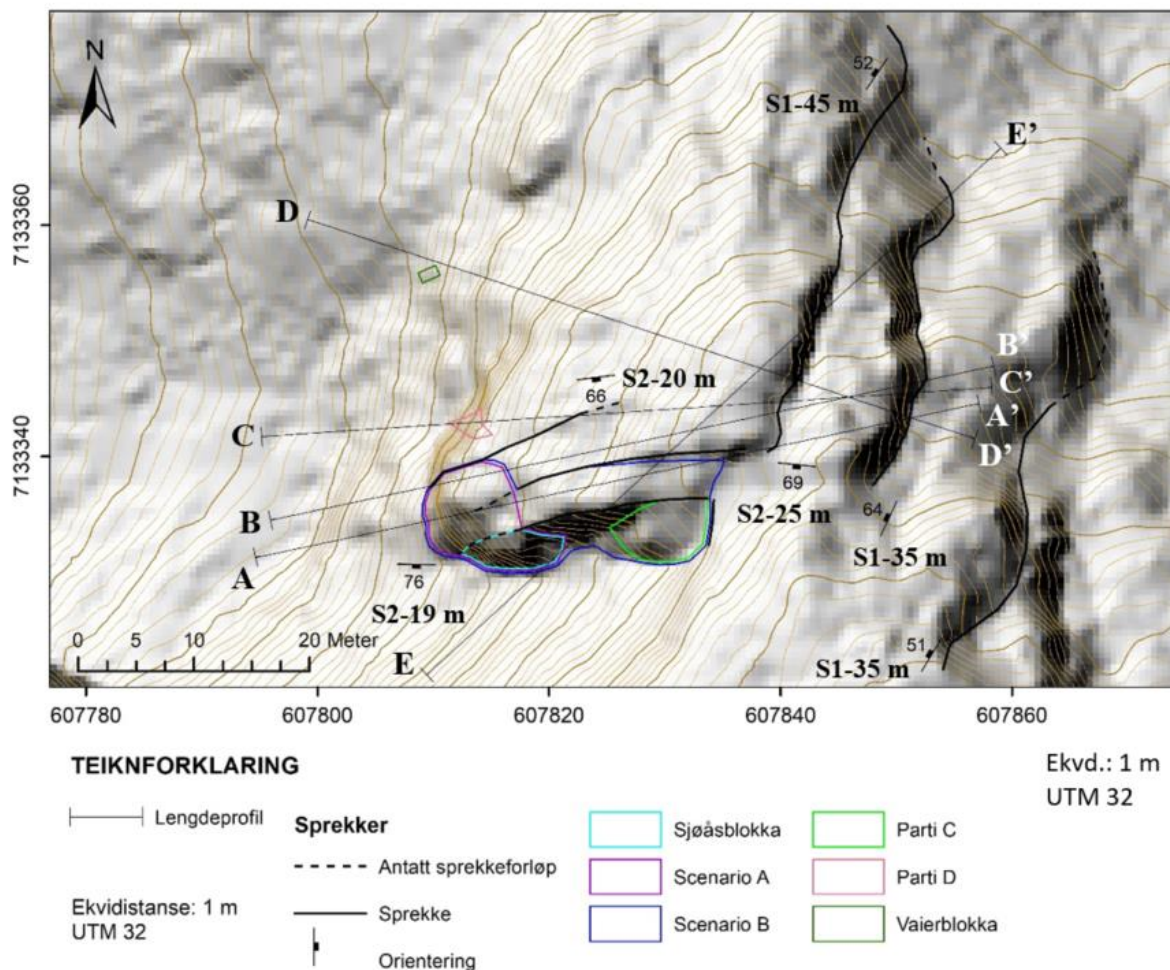
«Sjøåsberg scenario A og B» er dei største scenarioa ved Sjøåsberget. Scenarioa har blitt vurdert i eit forsøk på å undersøke om der potensielt kan gå ut eit større samanhengande system frå Sjøåsberget og som kan ha stor konsekvens. Det er dei mest uthaldande sprekkene i Sjøåsberget som dannar grunnlag for avgrensing av desse partia. I kva grad desse kan fungere som glideplan vil bli forsøkt kartlagt (figur 4-10 og figur 4-12).

Andre mindre potensielt ustabile parti ved Sjøåsberget, som er meir eller mindre uavhengig av dei større scenarioa frå Sjøåsberget og Sjøåsblokka, er også tatt med i vurderinga. Desse mindre partia, kalla «Sjøåsberg parti C og D» (figur 4-10 og figur 4-12), er karakterisert ved

tydelege sprekker som verkar avløyste eller kan ha ei mogeleg relativ forflytting. Desse blir vurdert einskild.

4.2.1 Lengdeprofil over Sjøåsberget

Oversikt over plasseringa til dei fem lengdeprofila av Sjøåsberget er gitt i figur 4-10, og sjølve profila vert presentert i figur 4-11. I tabell 4-6 er det tilsynelatande fallet som sprekken får i kvart lengdeprofil lista opp. Sprekkesetta sin sprekkeavstand er ikkje plotta til å syne den reelle avstanden, og er heller ikkje korrigert til ein tilsynelatande avstand i eit profil. Derimot, har det same sprekkesettet lik avstand for kvart profil. Sprekkesetta er difor kvasi-teikna inn i lengdeprofila, men kan gje indikasjonar på stabilitetspåverknad.



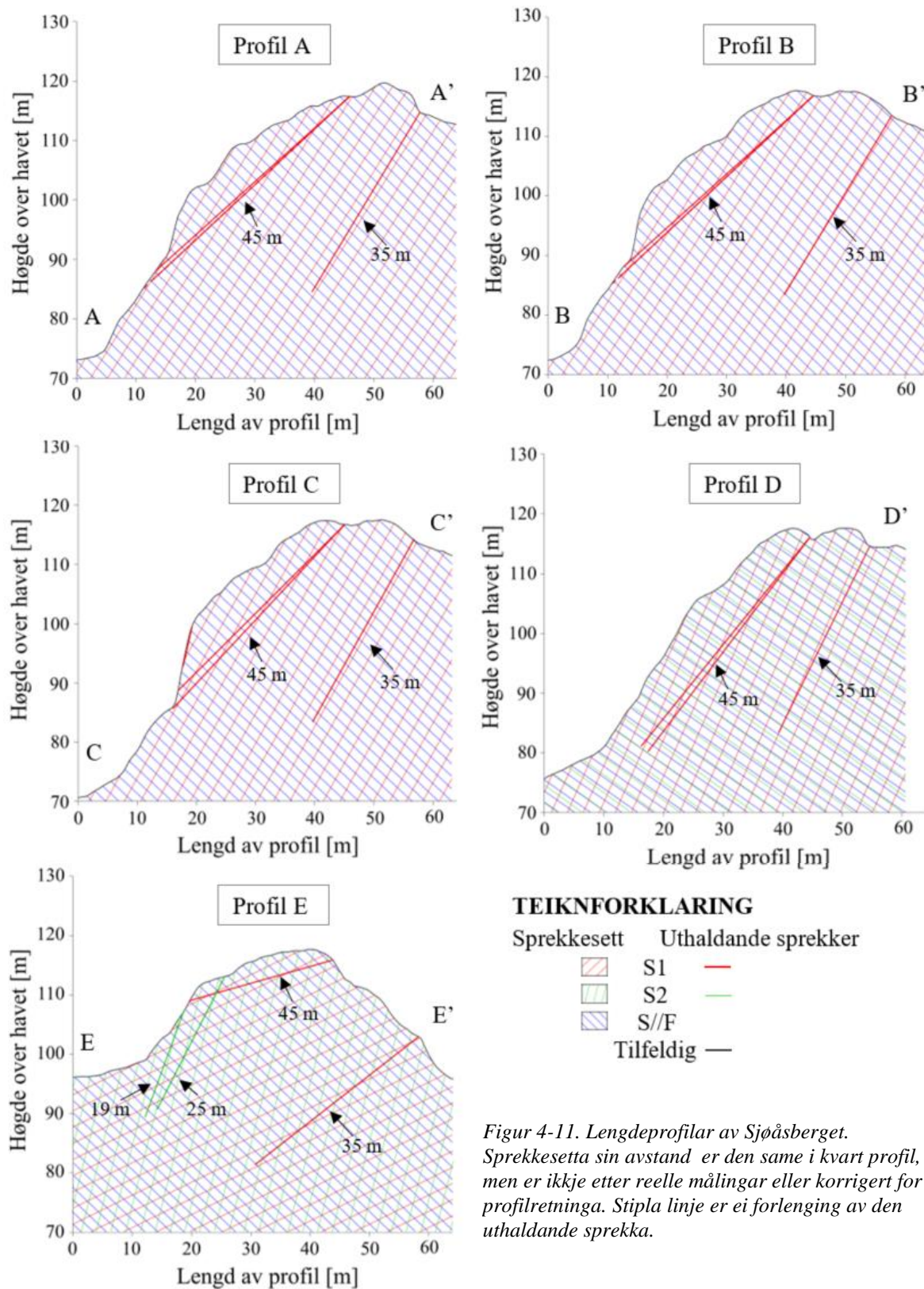
Figur 4-10. Oversikt over potensielt ustabile parti og scenario ved Sjøåsberget samt lengdeprofila si plassering. Dette sett i samanheng med nokre av dei mest uthaldande sprekken som er i studieområdet.

Tabell 4-6. Sprekker og sprekkesett sine målte orienteringar og tilsynelatande fall i dei ulike lengdeprofila. Alle talverdiar er gitt i grader. Negative grader heller i motsett retning av positive grader, og blir i dette tilfellet innover i terrengprofilen.

Profil		A	B	C	D	E
Profilretning [°]		258	258	266	288	277
Sprekke type	<i>Ekte fall/fallretning i gj. og SD [°]</i>	<i>Tilsynelatande fall [°]</i>				
S1-45 m	52/304 ± 12,8	42	42	45	51	16
S1-45 m (kons.)	54/305 ± 6,8	43	43	47	53	16
S1-35 m	64/295 ± 10,3	59	59	61	64	38
S2-25 m	69/186 ± 9,3	-	-	-	-	63
S2-19 m	76/181 ± 6,7	-	-	-	-	70
Sprekkesett S1	67/305 ± 15,0	58	58	61	66	26
Sprekkesett S2	79/190 ± 15,9	-	-	-	-36	76
Sprekkesett S//F	45/063 ± 10,7	-44	-44	-43	-35	-44

Den 45 m lange uthaldande S1-sprekka vart kartlagt i eit terrengsøkk i bakkant av Sjøåsberget (figur 4-4 og figur 4-10). I same sprekk vart det observert og tatt prøve av forvittringsmateriale (figur 4-1). Resultatet frå laboratorieanalysane på materialet er tidlegare presentert i avsnitt 4.1.2. Av orienteringa til S1-45 m sprekk vart det tatt 11 orienteringsmålingar, der gjennomsnittet av desse er presentert (tabell 4-6). For å minske standardavviket til sprekk er dei mest avvikande sprekkemålingane ekskludert til eit meir konsentrert gjennomsnitt, der forskjellen mellom dei to er minimal (tabell 4-6). Med det konsentrert gjennomsnitt blei derimot har standardavviket nærmast blitt halvert. I felt verka det ikkje spesielt sannsynleg at den 45 m lange S1-sprekka kunne «gå ut i dagen» i front av Sjøåsberget. Sprekka verka for bratt i forhold til terrenget. Derimot syner profil A, B og C det motsette teoretisk sett (figur 4-11). For dei tre profila går både den originale og konsentrerte S1-45 m sprekk «ut i dagen» i underkant av den steile fjellveggen som dannar fronten av Sjøåsberget. Lenger nord der profil D er plassert, går derimot ikkje S1-45 m sprekk «ut i dagen». Teoretisk sett vil sprekk gå inn i terrenget ein plass mellom profil C og D.

I eit terrengsøkk lenger aust for S1-45 m sprekk, er ei anna uthaldande S1-sprekke kartlagt i overflata (figur 4-10). Sprekk blir estimert til å kunne vere om lag 35 m. I alle lengdeprofila enda sprekk i djupet, og blir vurdert til å ha liten innverknad på potensielt ustabile parti og scenario (figur 4-11).



Figur 4-11. Lengdeprofilar av Sjøåsberget. Sprekkesetta sin avstand er den same i kvart profil, men er ikkje etter reelle målingar eller korrigert for profilretninga. Stipla linje er ei forlenging av den uthaldande sprekkja.

Profil E var det einaste profilet det var hensiktsmessig å teikne inn dei uthaldande S2-sprekkene. Også desse går i djupet, men kan potensielt danne ustabile parti via interaksjon med uthaldande S1-sprekker.

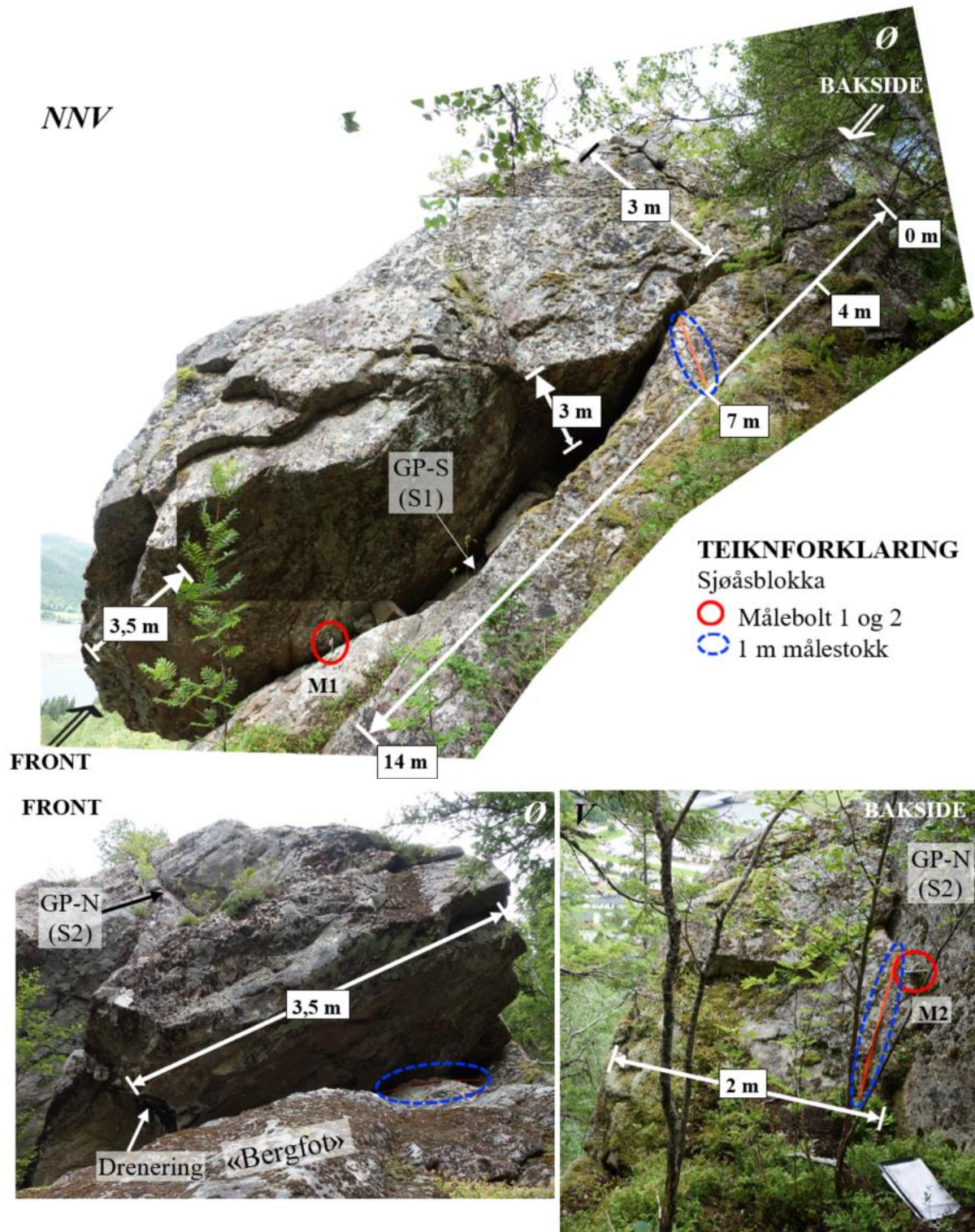
I felt vart det observert ein avskaling av berget som var tolka til å vere eksfoliasjon som følgjer S1-sprekker. Dette ser ut til å kunne stemme sidan terrengoverflata til ei viss grad går parallelt med S1-sprekkesettet (figur 4-11). Sprekkesettet som er parallelt med foliasjonen (S//F) har ei orientering inn og ned i bergmassivet i lengdeprofila, slik som observert i felt. Foliasjonssprekkene ved Sjøåsberget er ikkje direkte knytte opp mot potensielle glideplan, men kan fungere som avløyssande sprekk i bakkant av parti. S2-sprekkesettet vart teikna inn i Profil D og E (figur 4-11), og går enten innover i bergmassivet eller har ei brattare helling enn terrenget.

4.2.2 Sjøåsblokka

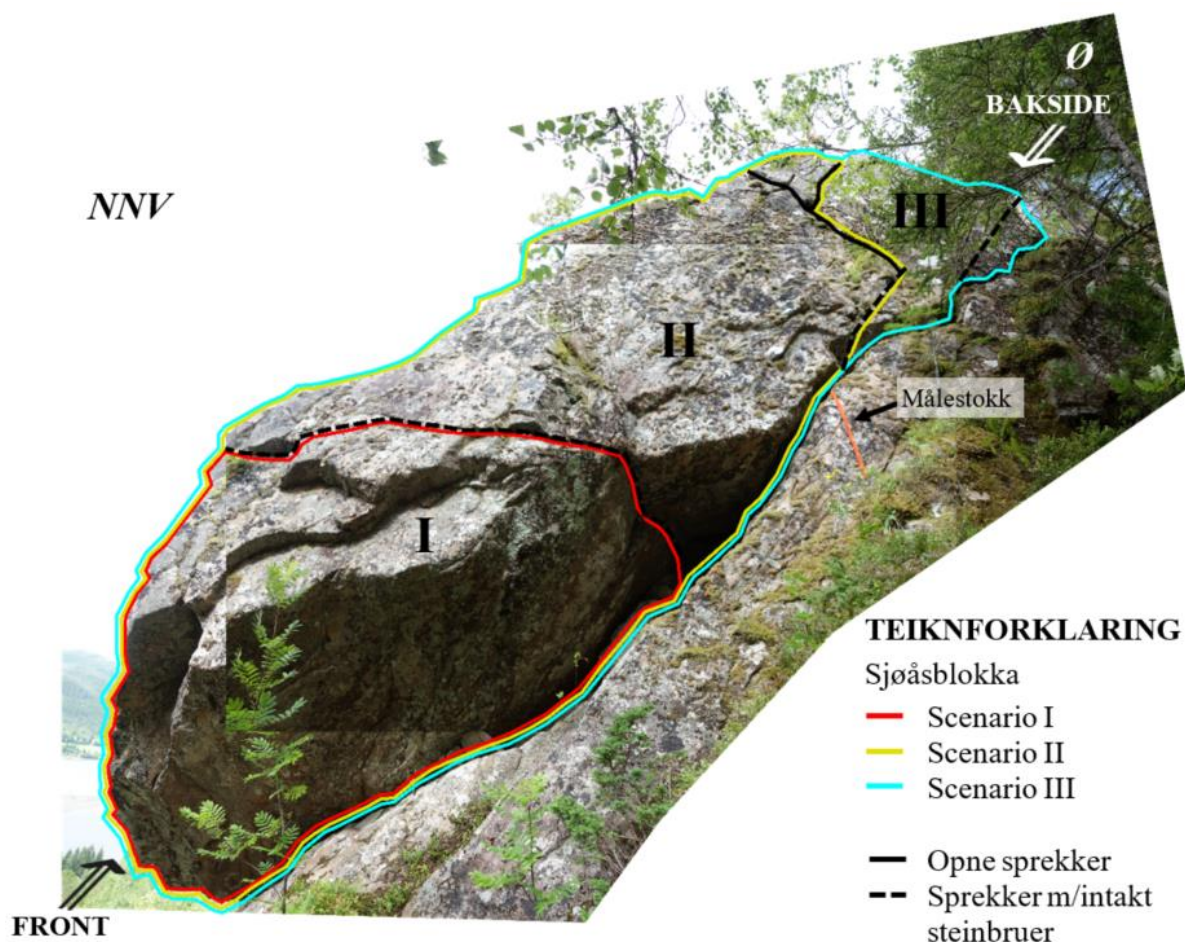
Sjøåsblokka er ei tydeleg sprekkavløyst blokk med lengd på 14 m ut til spissen, og omtrentleg 3 m brei og 3 m høg (figur 4-12). Med så klart definerte og til dels opne sprekker, kan det gje indikasjonar på tidlegare rørsler i blokka. I 2009 vart det installert to måleboltar for å ha kontroll på eventuelle rørsler ved Sjøåsblokka. Ein målebolt er plassert i nedre del av blokka (M1 i figur 4-12), den andre (M2) har lokalitet på baksida av Sjøåsblokka. Ingen signifikante rørsler har blitt registrert til no. Meir om framgangsmetode for måling og presentasjon av måleserie er gjort greie for i avsnitt 3.6 «Rørslemålingar» under kapittelet om metode, og avsnitt 4.5 «Rørslemålingar på Sjøåsblokka og Sjøåsberget» i kapittelet med resultat.

Omtrent midt på blokka er det ei open sone mellom Sjøåsblokka og det sørlege glideplanet (GP-S) (sjå figur 4-12). Opninga varierer mellom 30-75 cm. I sona ligg det fleire frakturerte blokker, men det er ingen observasjon av belegg eller forvitningsmateriale på sprekkflatene. Den same observasjonen er gjeldande for heile det sørlege glideplanet (GP-S) til Sjøåsblokka (figur 4-15 B).

Figur 4-13 syner dei tre scenarioa som Sjøåsblokka er delt opp i, medan i tabell 4-7 er det lista opp dimensjon, volumestimat for kvart scenario. Avgrensinga til scenarioa fylg observerte sprekker i felt, som er av forskjellig karakter i blokka.



Figur 4-12. Dimensjonar og lokalitet av måleboltar til Sjøåsblokka. Bokstavar i kursiv viser til himmelretning som bileta er tatt mot.

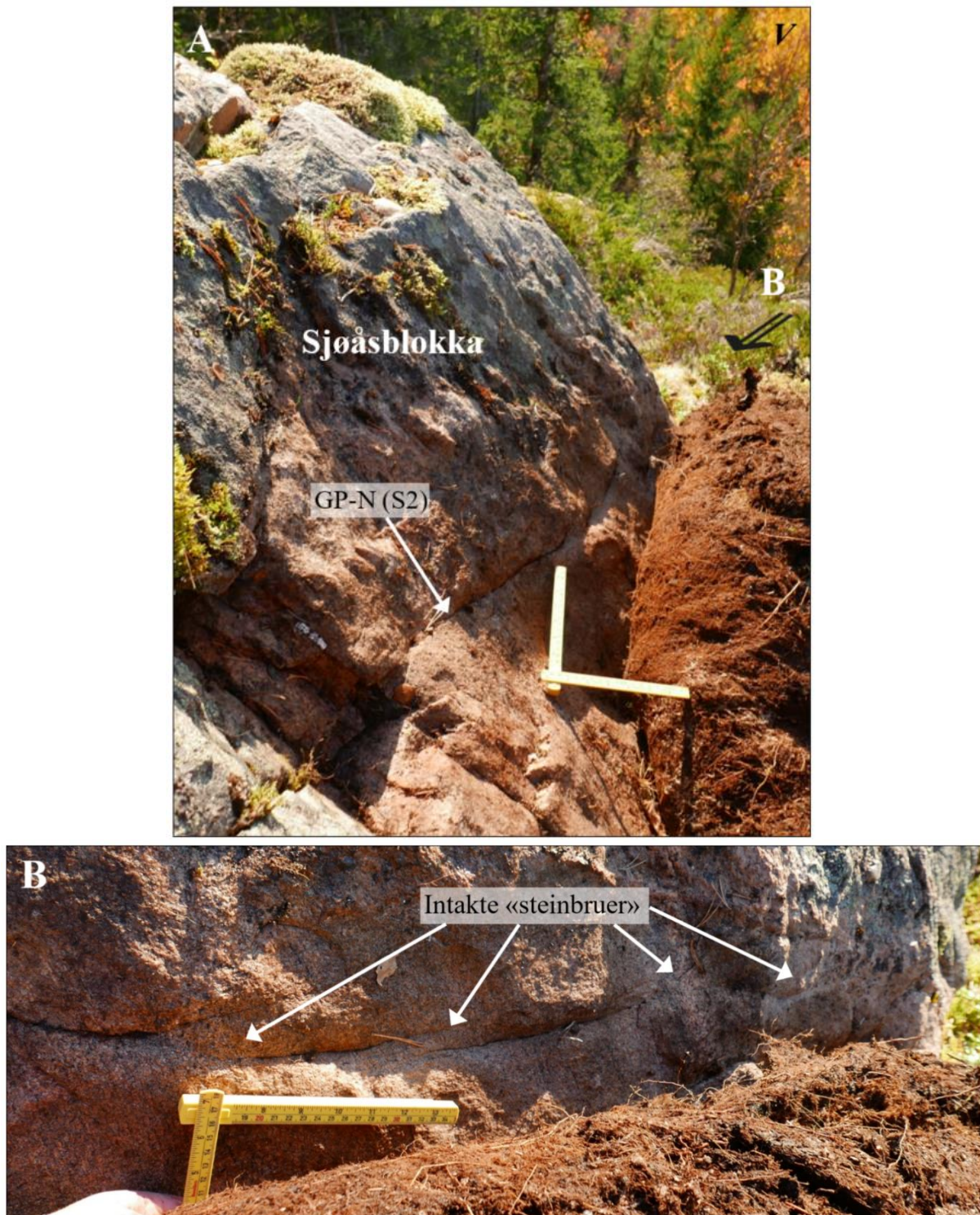


Figur 4-13. Sjøåsblokka sine tre scenario. Himmelretning som bildet er tatt mot står i kursiv. Målestokken er 1 m.

Tabell 4-7. Grunnlag for volumestimat og justert dimensjon for kvar av dei tre scenarioa på Sjøåsblokka. Volumestimatet er eit gjennomsnitt av fleire utrekningar der eit minimum og maksimum inngår.

Sjøåsblokka		d ₁	d ₂	d ₃	Volum	Blokkform
		[m]	[m]	[m]	[m ³]	
Scenario I	<i>min total</i>	3	3,5	1,5	15,8	Rektangulær
	-	4	3	1,5	18	
	<i>maks total</i>	4	3,5	1,5	21	
	justert og gj.	4	3	1,5	18	
Scenario II	<i>min total</i>	8,5	3	2,5	60	Rektangulær
	<i>maks total</i>	9	3	3	81	
	<i>delutrekning</i>				45	
	<i>del total</i>	5	3	3	63	
justert og gj.	8,5	3	2,7	68		
Scenario III	<i>min total</i>	12	3	3	108	Rektangulær
	<i>maks total</i>	13	3	3	117	
	<i>delutrekning</i>				30	
	<i>del total</i>	4	3	2,5	98	
	justert og gj.	12	3	3	108	

Det nordlege glideplanet (GP-N) er felles for alle scenarioa på Sjøåsblokka. GP-N er ikkje like tydeleg som GP-S, men vert tolka til å vere forlenginga av ei uthaldande sprekkeflate med gjennomsnittleg orientering på $76^{\circ}/181^{\circ} \pm 6,7^{\circ}$ (figur 4-17). Denne sprekka samsvarar med eit S2 sprekkesett. Etter grundigare undersøkingar frå felt-dagen 10. oktober 2017, vart



Figur 4-14. Det nordlege glideplanet (GP-N) til Sjøåsblokka. På GP-N er det fleire intakte «steinbruer».

det tydeleg at det er fleire intakte «steinbruer» («rock brigdes») langs med sprekkasom definerer GP-N (figur 4-14). Sjøåsblokka er difor ikkje så fullstendig sprekkavløyst som først antatt. Det sørlege glideplanet (GP-S) varierer meir for dei tre scenarioa på Sjøåsblokka. I front av blokka er det ein «bergfot» av Sjøåsberget som støttar opp og får GP-S til å flate meir ut.

Scenario I

Dette scenarioet er det minste for Sjøåsblokka, med eit gjennomsnittsvolum på ca. 18 m³ (tabell 4-7). Scenarioet er i fremste del av blokka og er avgrensa i bakkant av ei flat tilfeldig sprekk på 15°/105°. Det gjer at scenario I «heng» i denne sprekkeflata. GP-S er karakterisert av eit flatare glideplan som i hovudsak består av tilfeldige sprekker med ei omtrentleg orientering på 36°/357° ± 9,2°. I tillegg er det også stegvise innslag av brattare S1 sprekker. Kontaktflata mellom Scenario I og GP-S er ikkje meir enn ca. 10 m², dette på grunn av den opne sona.

Scenario II

Sjøåsblokk-scenarior II har eit volumestimat på 68 m³ (tabell 4-7). Dette inkluderer scenario I og i tillegg ein større del av blokka som vert avgrensa av ei tydeleg open sprekk (figur 4-15). Sprekka kan bli betrakta som ei tensjonssprekk, der det i felt vart observert ei frakturering til mindre blokker i toppen av sprekkasom. Derimot, opphøyrer sprekkasom lenger ned i Sjøåsblokka.

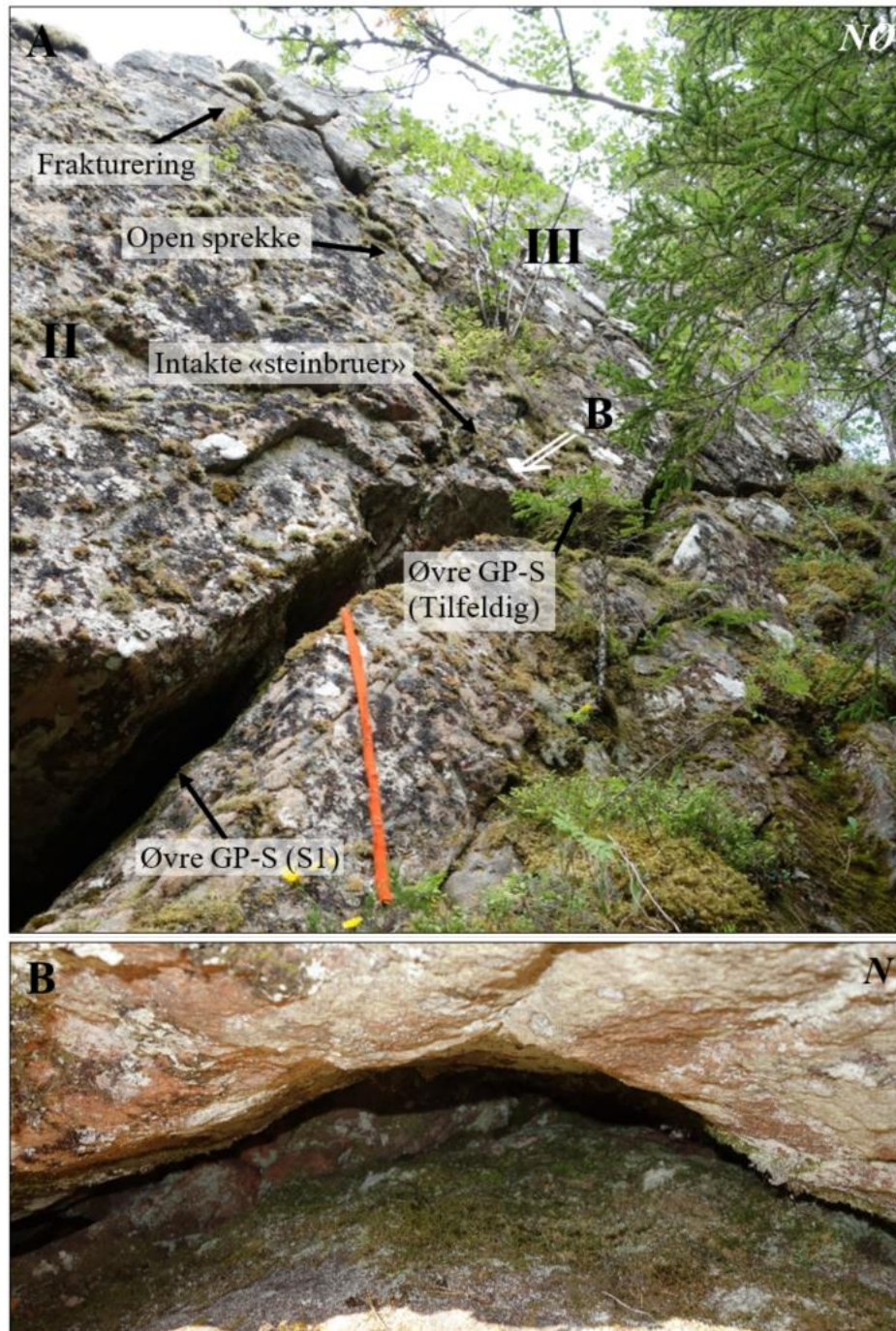
Scenario II sitt sørlege glideplan (GP-S) kan delast opp i to delar. Ein nedre del som deler det same GP-S som Scenario I med ei orientering på 36°/357°. Figur 4-15 syner oversikt over den øvre GP-S delen som er ei sprekkavløyst S1 sprekkflate med gjennomsnittleg orientering på 63°/314° ± 13,3°. Gjennomsnittleg får GP-S ei orientering på 58°/318° ± 20,6°. Ei mindre tydeleg sprekk blir som ei forlenging av denne sprekkasom, og går opp til den opne sprekkasom i Sjøåsblokka. Denne mindre tydelege sprekkasom er ikkje sprekkavløyst, og det kan verke til at der er fleire «steinbruer» som må brytast opp for at scenario II skal kunne gå ut (figur 4-13 og figur 4-15).

Scenario III

Scenarioet er det største innanfor Sjøåsblokka og inkluderer heile blokka. Det estimerte gjennomsnittsvolumet er på ein 108 m³ (tabell 4-7).

GP-S vekslar stykkevis mellom sprekker frå S1 sprekkasett og meir tilfeldige sprekker. Totalt sett gjer dette GP-S for Sjøåsblokka scenario III til eit glideplan som kvalitativt er veldig

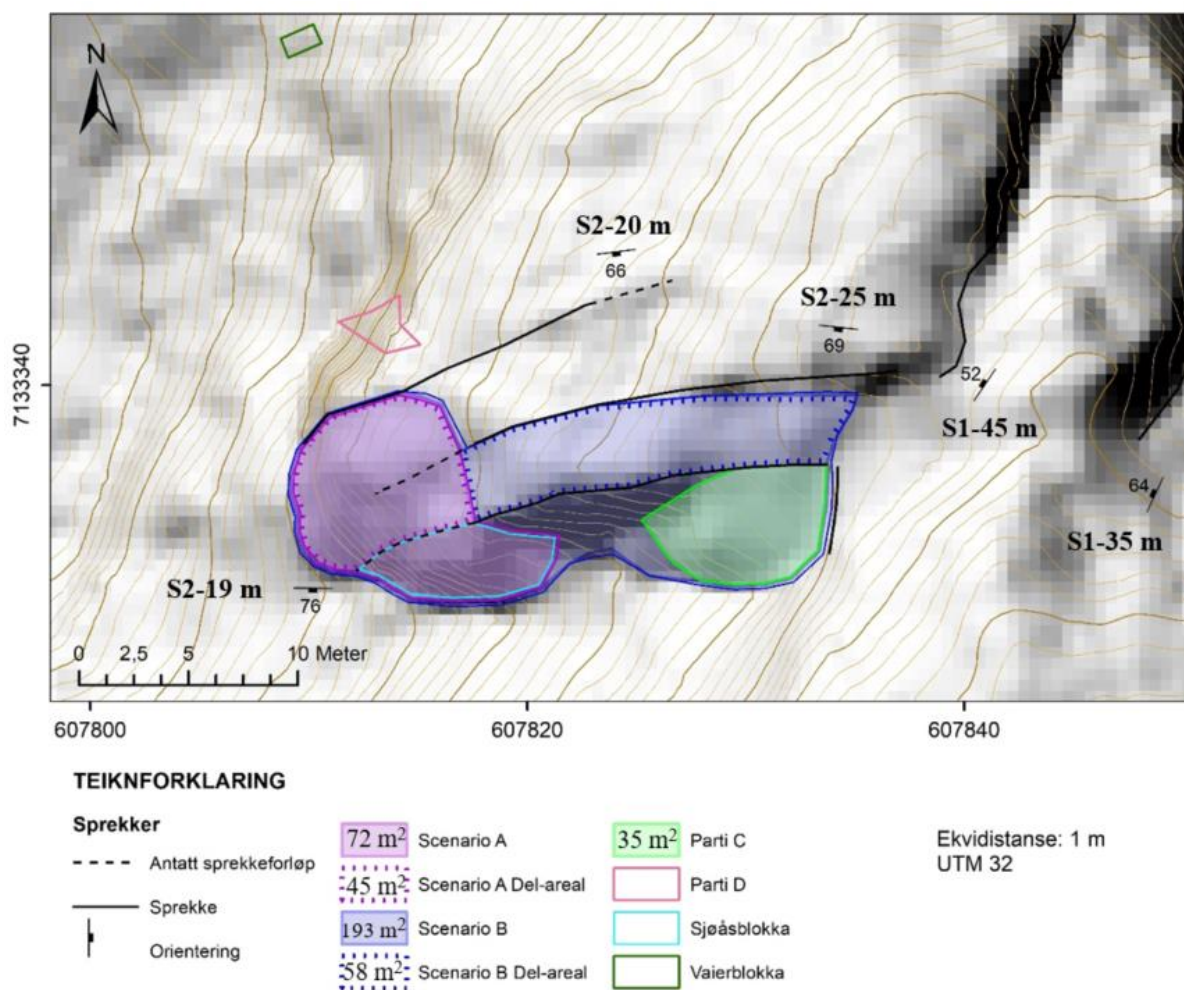
hakkete og ru. Den øvre delen av GP-S er meir dominert av S1 sprekker med gjennomsnittleg orientering på $63^{\circ}/314^{\circ}$. Nedre del av GP-S er dominert av dei meir tilfeldige sprekkene med ei gjennomsnittleg orientering på $36^{\circ}/357^{\circ}$. Og er påverka av «bergfoten» som støttar Sjøåsblokka og Sjøåsberget. Totalt sett får GP-S ei gjennomsnittleg orientering på $58^{\circ}/318^{\circ} \pm 20,6^{\circ}$, slik som Scenario II.



Figur 4-15. Oversikt over sprekker som utgjer sørleg glideplan til Sjøåsblokka og som skil Scenario II og III. Målestokken er 1 m. Bokstavar i kursiv gjev himmelretning som biletet er tatt mot.

4.2.3 Sjøåsberget

Ved Sjøåsberget er større samanhengande scenario (scenario A og B) og mindre parti (parti C og D) gjort greie for. Scenario A og B inkluderer også Sjøåsblokka (figur 4-15 og figur 4-17). I front av Sjøåsberget går det ei tydeleg open S2-sprekk ca. 20 m oppover i terrenget med orientering $66^\circ/173^\circ$. Det er berre i front sprekkka verka open. Ved ei anna S2-sprekk vart det observert forvittringsmateriale i ei sprekkelopning på ca. 6 cm. Denne sprekkka har orientering $69^\circ/186^\circ$ og lengd 25 m. Ei tredje S2-sprekk er på 19 m og orientering $76^\circ/181^\circ$. Den mest uthaldande sprekkka er ei S1-sprekke på 45 m som går i eit terrengsøkk bak Sjøåsberget. I følge lengdeprofilerna, kan denne sprekkka «gå ut i dagen» i front av Sjøåsberget. Desse uthaldande sprekkene i bergmassivet er enten tolka til å avgrense eller fungere som glideplan til scenarioa og partia ved Sjøåsberget. I tabell 4-8 er det lista opp justert dimensjon, totalt areal samt eventuelle del-areal som inngår i volumestimatet til kvart scenario og parti. På

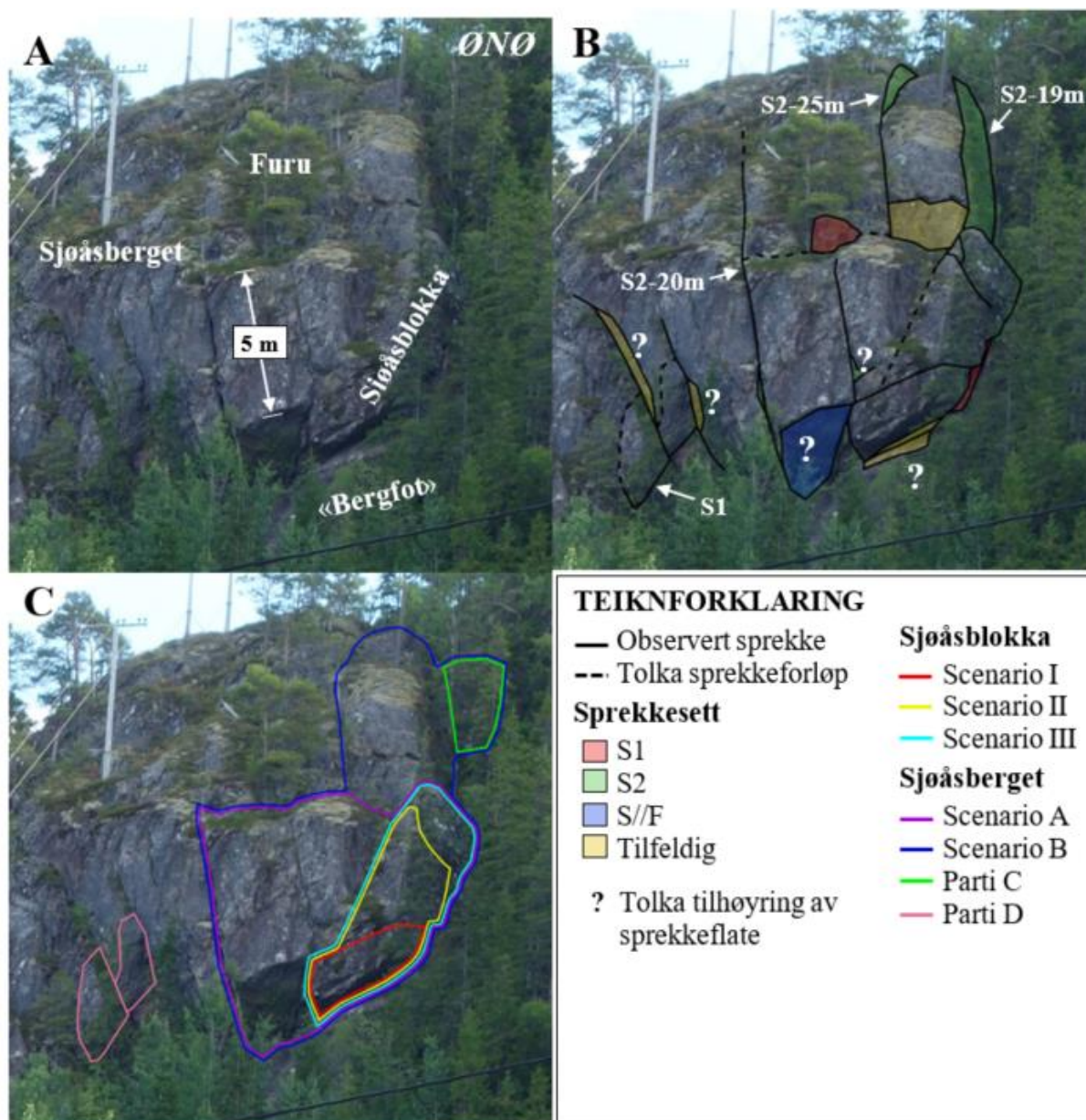


Figur 4-16. Totalareal og delareal som inngår i volumestimatet for scenarioa og partia ved Sjøåsberget. Parti D er det ikkje tatt areal av. Dei mest uthaldande sprekkene i Sjøåsberget er notert med kva sprekkesett dei høyrer til og lengd. Sjøåsblokka og Vaierblokka si avgrensing er berre med som markering.

grunn av manglende InSAR-dekning av Sjøåsberget er der ingen rørslemålingar tilgjengeleg. Les meir om dette i avsnitt 4.5 «Rørslemålingar på Sjøåsblocka og Sjøåsberget».

Tabell 4-8. Tal med feitt skrifttype er den justerte dimensjonen og det endelege volumestimatet for kvart scenario og parti. Stjerne indikerer tala som utgjer gjennomsnittet. Metode for volumberekning er både via volumet av ei prisme og arealet henta i frå GIS multiplisert med ei omtrentleg høgd (h) for området. Det er også gjort minimum og maksimum estimat i totalberekningar og delutrekningar.

Sjøåsberget		d ₁	d ₂	d ₃	Areal	h	Volum
		[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]
Scenario A	<i>prisme del 1 min</i>	5	3	2			30
	<i>prisme del 2 min</i>	1,5	1,5	1,5			3
	<i>prisme min total</i>						141*
	<i>prisme del 1 maks</i>	6	4	3			72
	<i>prisme del 2 maks</i>	2	1,5	1,5			5
	<i>prisme maks total</i>						184*
	<i>GIS-areal total min</i>				72	3	216*
	<i>GIS-areal total maks</i>				72	5	360*
	<i>GIS-areal del</i>				45	5	225
	<i>GIS-areal del total</i>						333*
	<i>justert og gj.</i>	8	7	4,4			247
Scenario B	<i>prisme del</i>	19	4	3			228
	<i>prisme total</i>						582*
	<i>GIS-areal total min</i>				193	4	772*
	<i>GIS-areal total maks</i>				193	5	965*
	<i>GIS-areal del</i>				58	4	232
	<i>GIS-areal del total</i>						586*
	<i>justert og gj.</i>	20	7	5,2			726
Parti C	<i>prisme min total</i>	8	4	3			96*
	<i>prisme maks total</i>	8	5	3			120*
	<i>GIS-areal</i>				35	3	105*
	<i>justert og gj.</i>	8	4,5	3			107
Parti D	<i>prisme min total</i>	5	2	1			10*
	<i>prisme maks total</i>	5	4	1,5			30*
	<i>justert og gj.</i>	5	3	1,3			20



Figur 4-17. Del «A» viser oversikt over namn på fjellsida som ofte vert nytta. Del «B» syner observerte sprekker, sprekkeflater, sprekkesett og tolkingar av desse ved Sjøåsberget. Avgrensing og namn til dei ulike scenarioa og partia er gitt i del «C». På grunn av vegetasjon er ikkje parti C synleg. Avgrensinga til parti C er difor omtrentleg og meint som illustrasjon. Bokstav i kursiv gjev himmelretninga som biletet er teke mot.

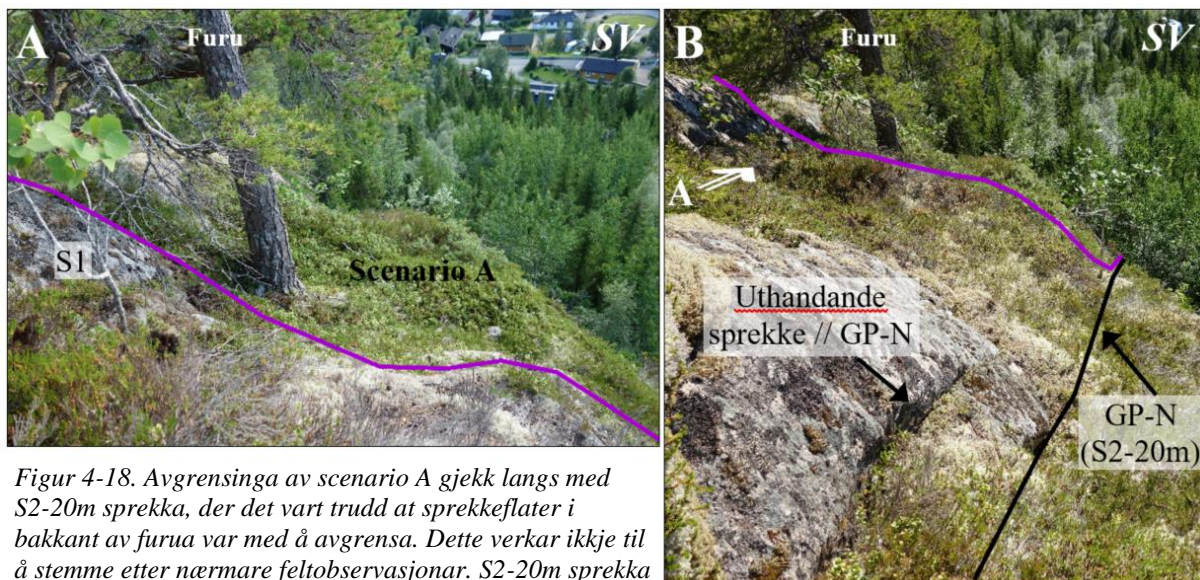
4.2.4 Sjøåsberget - Scenario A

Sjøåsberg-scenario A inkluderer heile Sjøåsblokka i sør og ein fremste del av Sjøåsberget i nord (figur 4-15 og figur 4-16). Volumestimatet for Sjøåsberg scenario A er på ca. 247 m³ (tabell 4-8). Avgrensinga i nord følgjer S2-20m sprekka nokre få meter og vert antatt til å fungere som eit nordleg glideplan (GP-N). Orienteringa til GP-N vert då 66°/173° ± 24°. Sidan Sjøåsblokka er inkludert i scenarioet, har dei felles sørleg glideplan (GP-S) og er skildra i avsnittet om «Sjøåsblokka», Scenario III.

Utgangspunktet til at scenario A blei til, er som følgjande:

- Scenarioet verkar sprekkeavløyst, med Sjøåsblokka i sør og den delvis opne S2-20m sprekka som avgrensar i nord (figur 4-17).
- Den nordlege delen av scenario A verkar til å bli støtta opp av Sjøåsblokka. Rasar Sjøåsblokka ut, kan det verke destabiliserande på den nordlege delen og alt kan gå ut i eitt scenario.

I første omgang vart Sjøåsberg-scenario A tolka til å vere avgrensa i bakkant av sprekker som verkar til kunne gå ned der ei furu har slått rot (figur 4-18). Under felt-dagen 10. oktober 2017 fekk desse sprekker ei nærmare undersøking, der det synte seg at dei ikkje går ned i berget og har ingen avløysande effekt. Sprekkene er heller ikkje spesielt samanhengande. Det er difor lite som tyder på at den delvis opne S2-20m sprekka i nord er kopla saman med Sjøåsblokka i sør.



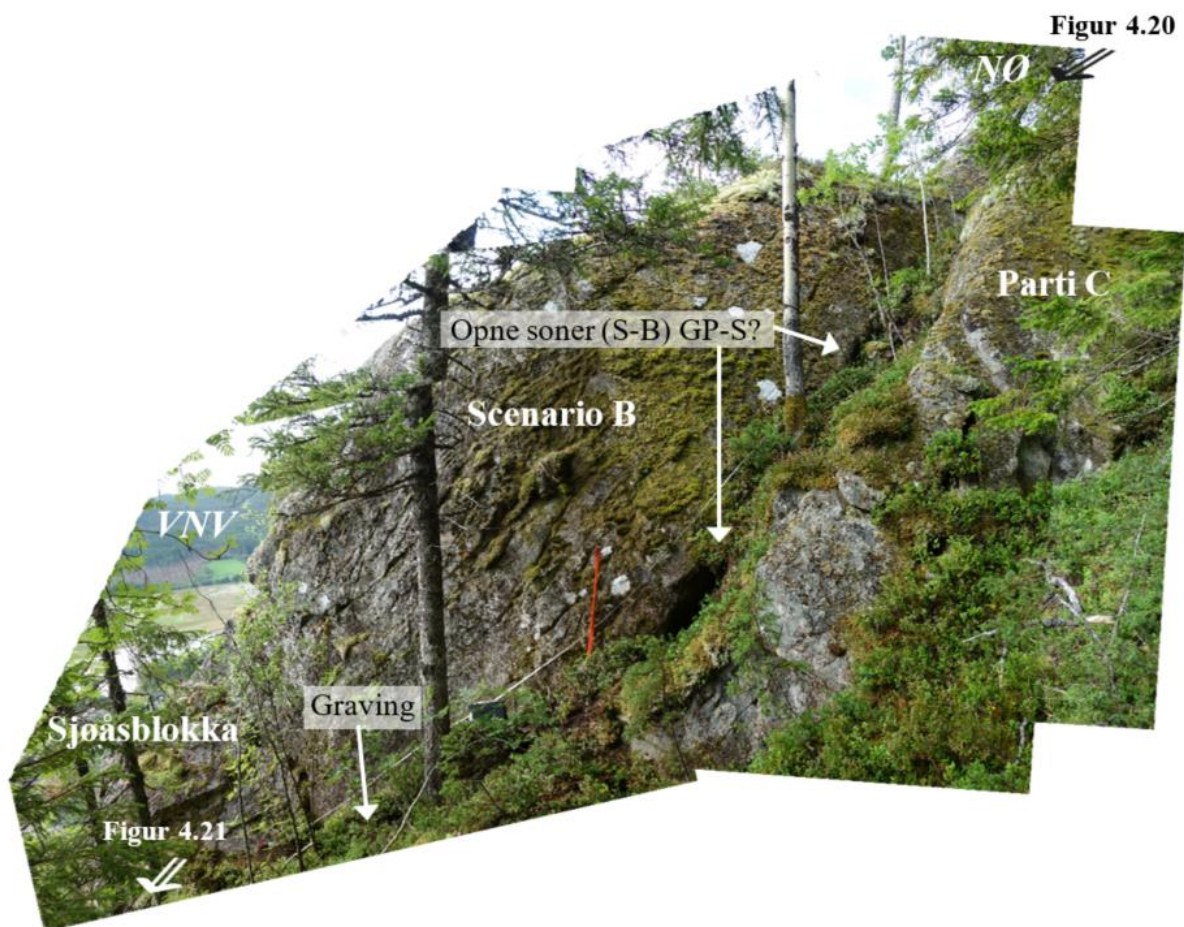
Figur 4-18. Avgrensinga av scenario A gjekk langs med S2-20m sprekka, der det vart trudd at sprekkeflater i bakkant av furua var med å avgrensa. Dette verkar ikkje til å stemme etter nærmare feltobservasjonar. S2-20m sprekka er markert eit stykke opp i terrenget, og er der ikkje open slik som i front av Sjøåsberget. Himmelretning står med kursive bokstavar.

4.2.5 Sjøåsberget - Scenario B

Det største senarioet som vert vurdert i frå Sjøåsberget, er scenario B. Figur 4-16 og figur 4-17 syner avgrensinga til scenario B, der både parti C, Sjøåsberg-scenario A og følgjeleg Sjøåsblokka inngår. Dette gjev eit gjennomsnittleg volumestimat på 726 m³ (tabell 4-8).

Det er fleire årsaker til scenario B sitt opphav:

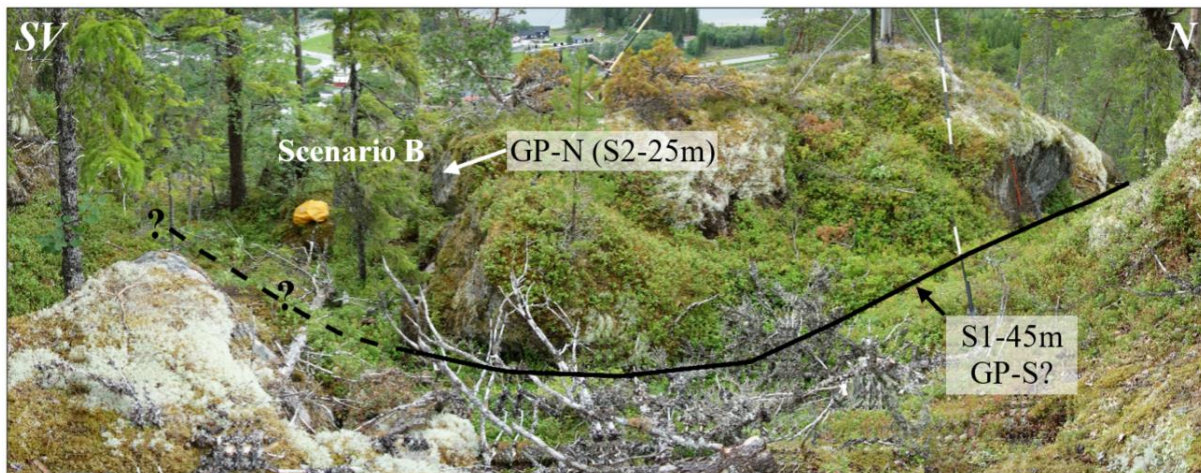
- Eit forsøk på å finne det størst tenkelege scenarioet frå Sjøåsberget og avklare om det verkar potensielt ustabil.
- Usikkerheita rundt den uthaldande S1-45m sprekkka, og om ho kan fungere som glideplan til større scenario frå Sjøåsberget (figur 4-20).
- Nærværet av ei uthaldande S2-sprekke på 25 m med forvittringsmateriale i.
- Opne soner med S1-sprekker under scenario B, desse blir kalla S-B. Dei kan likne på glideplan. Dersom dei går saman med GP-S til Sjøåsblokka eller det er den uthaldande S1-45m sprekkka, kan eventuelt glideplanet «gå ut i dagen» (figur 4-19).



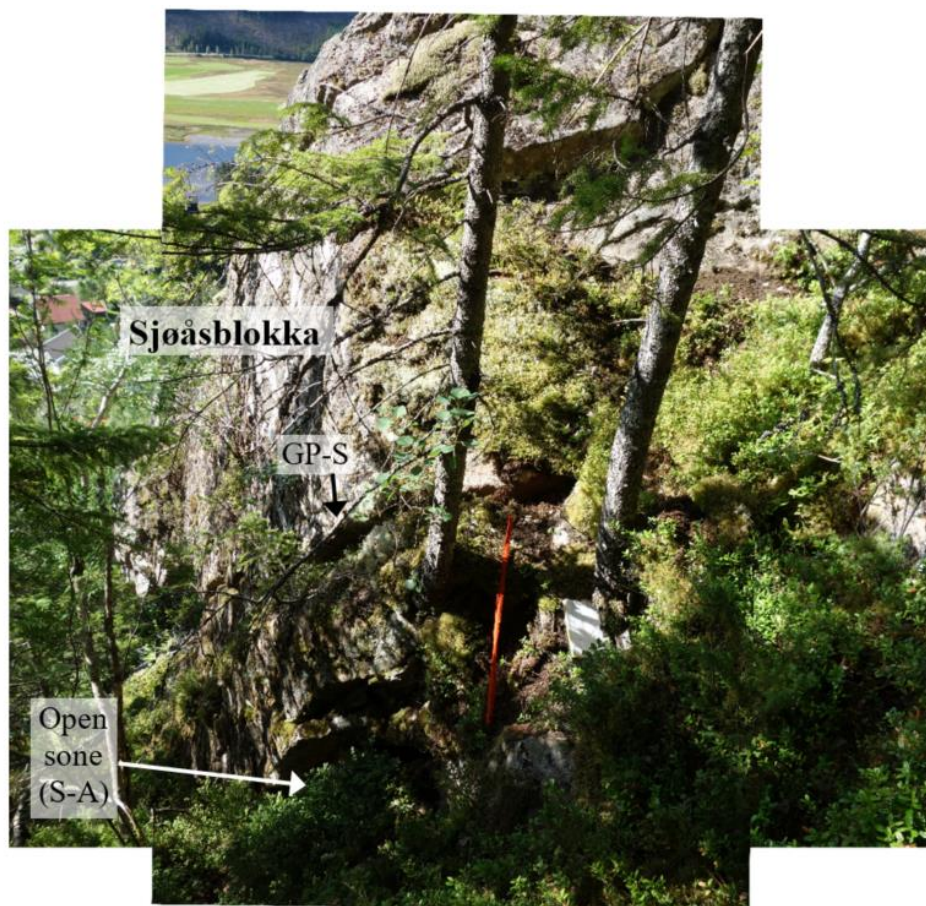
Figur 4-19. Scenario B sett frå sida. Målestokken er 1 m. Figuren er sett saman av fleire bilete som gjev eit noko vrent syn. Himmeltrening står i kursiv bokstav.

Omtrent ein meter under Sjøåsblokka GP-S er det enda ei open sone med S1-sprekker, denne kalla S-A (figur 4-21). Frå felt blei det konstaterert at forlenginga av denne sona ikkje «går ut i dagen». For å finne ut om den opne sona S-B ved scenario B eventuelt går saman med Sjøåsblokka GP-S eller S-A, blei det grave i bakkant av Sjøåsblokka (figur 4-19). Her dukka

det opp enda ei S-B-sone, og det var rimeleg sannsynleg at S-B-sonene heller går saman med Sjøåsblokka GP-S enn S-A-sona under Sjøåsblokka.



Figur 4-20. Bakre del av Sjøåsberget med terrengsøkket som sprekk S1-45m går i. Scenarion B er tolka til å starte der den gule sekken er. Biletet og strukturar bøyer av sidan det er panoramabilete. Himmelretninga er gitt med kursive bokstavar.



Figur 4-21. Den opne sona, kalla S-A, er omtrent ein meter under Sjøåsblokka sitt sørlege glideplan (GP-S). I felt vart det konstatert at sprekker frå den opne sona S-A ikkje går ut i dagen lenger ned. Målestokken er 1 m.

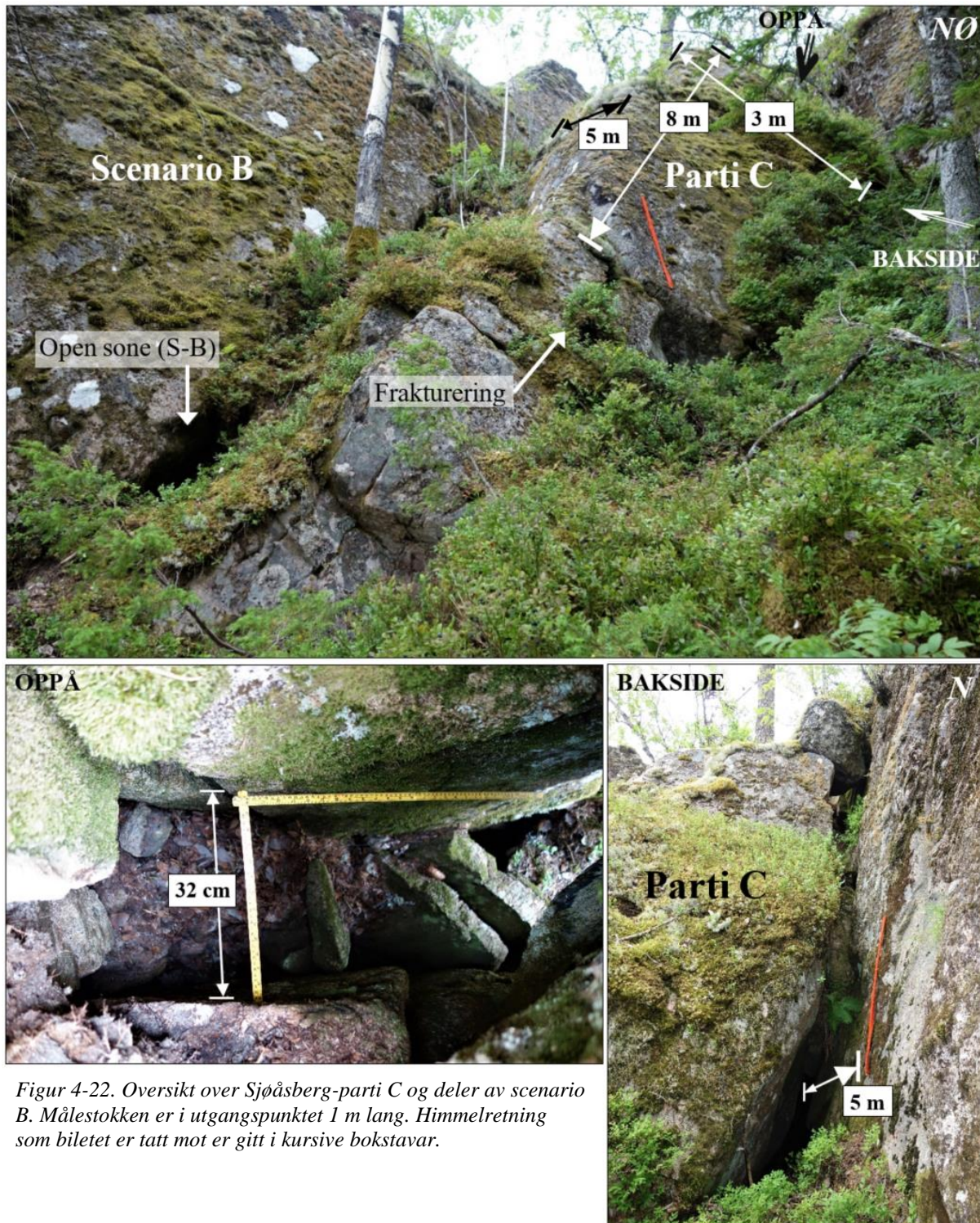
Det nordlege glideplanet (GP-N) blir stykka opp i to, ein nedre og ein øvre del, der den øvre delen dominerer. Den nedre delen fell saman med scenario A sin GP-N som er S2-20 m sprekk. Den øvre delen av GP-N følgjer S2-25m sprekk, og sidan den dominerer vil GP-N bli basert på den. GP-N får då ei orientering på $69^\circ/186^\circ \pm 9,3^\circ$. I felt verka sprekkflata oppstykk av andre sprekk som gjekk omtrent ortogonal på. Dette gav eit veldig hakkete, undulerande og ru preg. I tillegg var det lite som tyda på rørsler langs sprekk. Sprekkflata var forvittra med funn av forvittringsmateriale.

Sjølv om det er forvittringsmateriale i både S2-25m og S1-45m sprekk som er vurdert som potensielle glideplan til scenarioet, vil det ikkje spele stort inn på stabiliteten. Det er fordi forvittringsmaterialet ikkje synte teikn til å ha svellande eigenskapar i følgje laboratorietest i avsnitt 4.1.2.

4.2.6 Sjøåsberget - Parti C

I hovudsak består parti C av ei større blokk som er støtta opp i front av fleire mindre frakturerte blokker (figur 4-22). Partiet er vidare avgrensa i bakkant med ei 20 – 40 cm open baksprekk som er 5 m lang. Nede i denne baksprekka ligg det fleire mindre blokker (figur 4-22). Med ei så open baksprekk er det rimeleg å anta at der har vore ei forflytting ein gong. Det er nettopp dette som dannar grunnlag for at parti C får ei individuell vurdering. Derimot, er parti C inkludert i scenario B fordi det er usannsynleg at heile scenario B vil kunne gå ut utan at partiet vil bli påverka. Det gjennomsnittlege volumestimatet til parti C er omlag 107 m^3 (tabell 4-8).

Det nordlege glideplanet (GP-N) til parti C vert vurdert til å følgje S2-19 m sprekk ($76^\circ/181^\circ \pm 6,7^\circ$). Dette er også same sprekk som utgjer GP-N til Sjøåsblockka. Sprekkflata som verka til å representere det sørlege glideplanet (GP-S) til parti C blei målt til $57^\circ/318^\circ$ (S1). Baksprekka har også målingar som stemmer overeins med S1 sprekksett ($77^\circ/304^\circ$), men er noko brattare enn det GP-S er.



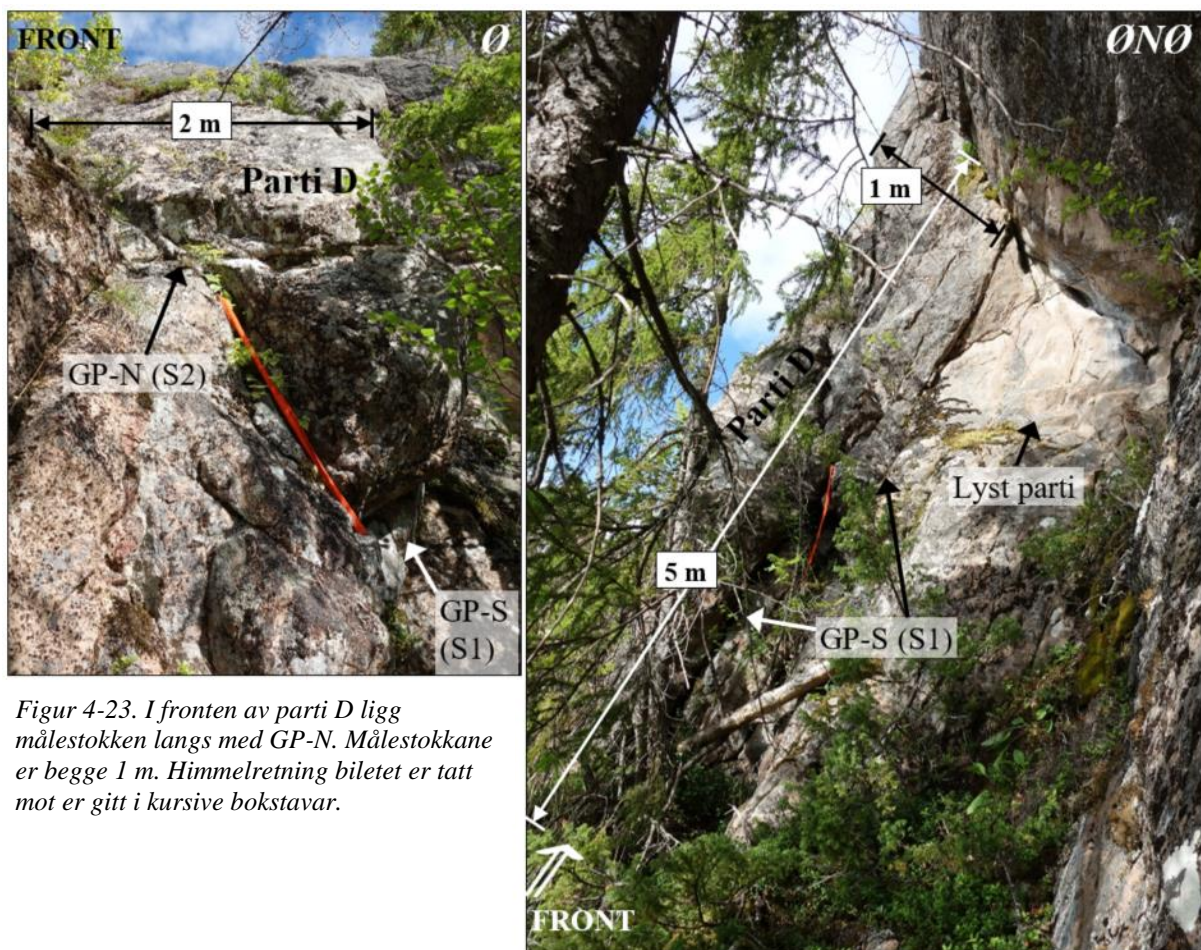
Figur 4-22. Oversikt over Sjøåsberg-parti C og deler av scenario B. Målestokken er i utgangspunktet 1 m lang. Himmelretning som bildet er tatt mot er gitt i kursive bokstaver.

4.2.7 Sjøåsberget - Parti D

Partiet har ein nordleg lokalitet i fronten av Sjøåsberget (figur 4-10 og figur 4-17). Ei sprekk deler partiet opp i to blokker, der den øvre blokka kviler på den nedre blokka (figur 4-23).

Parti D er uavhengig i frå scenarioa både frå Sjøåsberget og Sjøåsblokka og vert vurdert

individuelt. Volumestimatet for parti D er på ein 20 m^3 (tabell 4-8). Avgrensinga sett mot aust og aust-nordaust, følgjer tydelege sprekkar som verkar delvis avløyst (figur 4-23). Den bakre avgrensinga var vanskeleg å komme til i felt og er basert på bilete frå feltarbeidet. Der er ingen spesifikke teikn til rørsler ved parti D. Derimot, er det eit lysare parti i fjellveggen like ved som kan vitne om ei *resent* utrasing. Sprekkene i bakkant av dette lyse partiet har eit runda preg som kan tyde på utvasking av forvitningsmateriale og vatn som følgjer sprekkesystema i bergmassen.



Figur 4-23. I fronten av parti D ligg målestokken langs med GP-N. Målestokkane er begge 1 m. Himmelretning biletet er tatt mot er gitt i kursive bokstavar.

Det sørlege glideplanet (GP-S) for parti D har ei gjennomsnittleg orientering på $79^\circ/295^\circ \pm 7,6^\circ$ og samsvarar med S1-sprekkesett. Det nordlege glideplanet (GP-N) er ikkje spesielt tydeleg. Glideplanet er lite samanhengande med fleire sprekkar som danner frakturerte blokker. Stort sett samsvarar sprekkene med S2-sprekkesett. Sidan GP-N er så lite klart definert blir heller data frå S2-sprekkesettet nytta som utgangspunkt.

4.3 Kinematisk analyse

I den kinematiske analysen er det spesielt fokusert på områda rundt dei potensielle ustabile partia det blei gjort greie for i avsnitt 4.2. Formålet med den kinematiske analysen er å få ein peikepinn på moglege utrasingsmekanisme, stabilitet og geometri, før ei eventuelt meir detaljert stabilitetsanalyse. Dei trulege potensielle glideplana frå felt vert ofte framstilt som glideplan nord (GP-N) og glideplan sør (GP-S). Orienteringane er basert på feltobservasjonar og målingar presentert i avsnitt 4.3. I tillegg er sprekkesetta sin moglege påverknad av stabilitet og utrasingsmekanisme også inkludert i analysen. Vidare går det også fram kva grad av tilhøyrslse glideplana har til dei kartlagde sprekkesetta. Sprekkesetta si orientering og standardavvik er tidlegare presentert i tabell 4-3. Så lenge der er datagrunnlag, så vert glideplan og sprekkesett plotta med eit gjennomsnitt, der eitt standardavvik ($1\sigma = 68,26\%$) er presentert som ei kjegle rundt gjennomsnittet. Det er berre teikna inn skjeringlinjer når antekne glideplan kryssast og ikkje når plan frå sprekkesett er involvert. Likevel kan skjeringlinja danna av sprekkesett S1 og S2 vere verdt å merke seg. Den går att i alle analyser og har ei orientering på $261^\circ/59^\circ$.

Andre parameter som inngår i den kinematiske analysen blei gjort greie for i kapittel 3 «Metode», avsnitt 3.4. Friksjonsvinkelen er basert på residual friksjonsvinkel (φ_r). Tala som inngår i berekninga av residual friksjonsvinkel er vidare omtalt i avsnitt 4.4.4 «Sprekkefriksjon». Den residuale friksjonsvinkelen vil variere noko for dei ulike partia og scenarioa slik tabell 4-15 i avsnitt 4.4.4 viser. Sidan Varierblokka låg meir tilgjengeleg til i felt kan feltmålingar vere av betre kvalitet. I somme høve vart sprekkedata frå Vaierblokka brukt til å kalkulere residual friksjonsvinkel også for andre glideplan. For å få oversikt over glideplana til Vaierblokka er det også gjort kinematisk analyse av den.

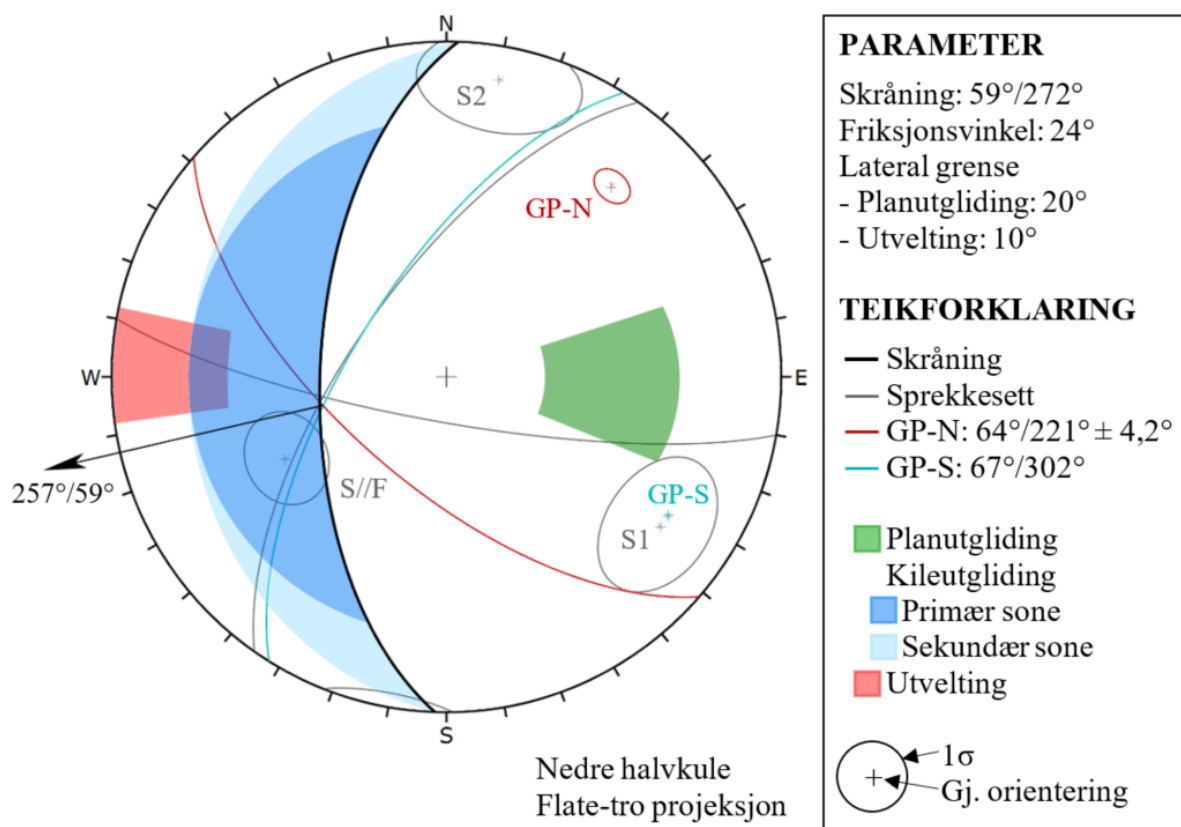
4.3.1 Vaierblokka

Det nordlege glideplanet (GP-N) til Vaierblokka er ei tilfeldig sprekk med ei gjennomsnittleg orientering på $64^\circ/221^\circ \pm 4,2^\circ$. Dette er utanfor standardavviket til sprekkesett S2. Derimot, fell det sørlege glideplanet (GP-S) godt innanfor sprekkesett S1 med ei orientering på $67^\circ/302^\circ$. Blokka er sprekkavløyst, men sikra i underkant med vaierar.

Tal på målingar som ligg grunn for det GP-N er to, medan for GP-S berre er ein. Til saman dannar GP-N og GP-S ei skjeringlinje med orientering $257^\circ/59^\circ$, som er heilt på grensa til ei kinematisk mogleg kileutgliding (figur 4-24). Det same gjer skjeringlinja til sprekkesett S1

og S2. Det er verdt å observere at skråningsorienteringa har mest å seie på stabiliteten i dette plottet. Ei lita endring i for eksempel hellinga til skråninga vil gjere at skjeringslinjene kjem meir innanfor den primære sona for kileutgliding. Friksjonsvinkelen kan derimot aukast ganske mykje før den eventuelt påverkar stabiliteten til kileutglidinga. Ingen av sprekkesetta eller glideplana sine standardavvik kryssar områda for utvelting, og blir difor ikkje sett på som kinematisk mogleg. Standardavviket til S1 tangerer så vidt området for planutgliding, men er ingen spesiell kritisk situasjon.

Ut av plottet ser man også kor forskjellig GP-N er frå S2-sprekkesettet, og kor lik GP-S er gjennomsnittet til sprekkesett S1.

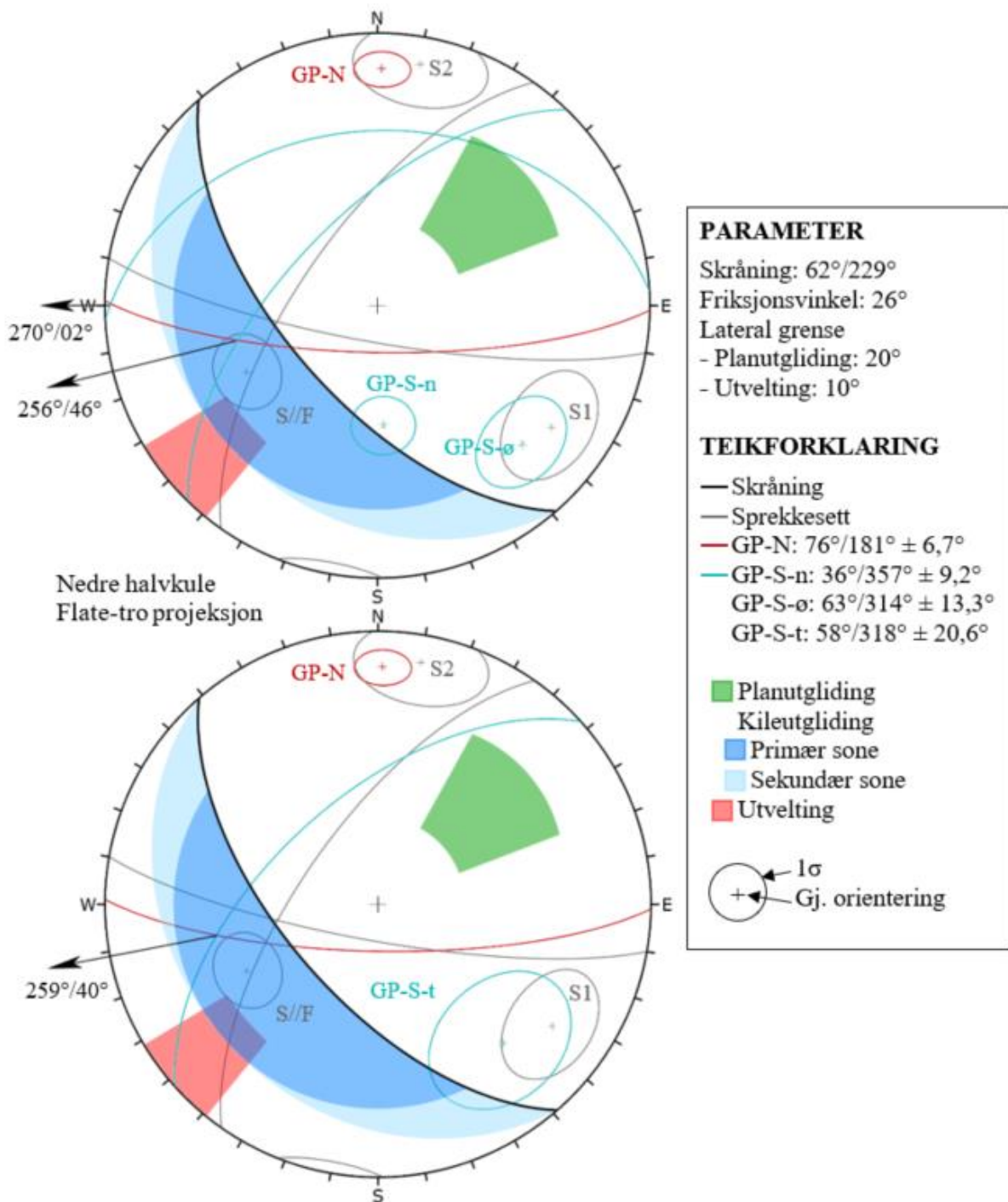


Figur 4-24. Kinematisk analyse for Vaierblokka. GP-N er forkorting for glideplan nord, GP-S for glideplan sør. S1 og S2 er ulike sprekkesett i tillegg til S/F som er sprekkesett parallelt med foliasjonen.

4.3.2 Sjøåsblokka

Den kinematiske analysen for Sjøåsblokka blir plotta i to ulike stereonett (figur 4-25). I det øvste stereonettet er det sørlege glideplanet (GP-S) delt opp i ein nedre del (GP-S-n) og øvre del (GP-S-ø). Medan det nedste stereonettet syner glideplan sør som eit totalt gjennomsnitt

(GP-S-t.). Tal på målingar som ligg til grunn for GP-S-n er 3, medan GP-S-ø har 16. Totalt sett så får GP-S-t 19 målingar og eit veldig høgt standardavvik. Det nordlege glideplanet (GP-N) har 5 målingar. Vidare, ser ein også kor samhörande GP-N er med S2 og GP-S-ø er med S1. Gjennomsnittet til GP-S-t ligg på standardavviket til S1.



Figur 4-25. Kinematisk analyse for Sjøåsblokka. Analysen er delt opp i to plott der det øvste stereonetet syner det sørlege glideplanet (GP-S) delt opp i nedre del (GP-S-n) og øvre del (GP-S-ø). Medan det nedste stereonetet syner glideplan sør som eit totalt gjennomsnitt (GP-S-t) av GP-S-n og GP-S-ø. S1 og S2 er ulike sprekkesett i tillegg til sprekkesettet som er parallelt med foliasjonen, kalla S//F.

Orienteringa på skjeringslinja som GP-S-n og GP-N dannar er $270^{\circ}/02^{\circ}$, som er tilnærma horisontalt (figur 4-25). Mellom GP-S-øvre og GP-N har skjeringslinja ei orientering på $256^{\circ}/46^{\circ}$, der skjeringslinja mellom GP-N og GP-S-t blir følgjeleg ein mellomting av dei to med orientering på $259^{\circ}/40^{\circ}$. Skjeringslinja GP-N har med GP-S-øvre og GP-S-t er begge moglege kinematisk kileutgliding. Det same gjeld GP-N i kombinasjon med sprekkesett S1, samt sprekkesett S2 i kombinasjon med GP-S-ø og GP-S-t. Sprekkesett S1 og S2 dannar også ei skjeringslinje som er heilt på grensa til kinematisk moglege kileutgliding, med skråningshellinga som mest avgjerande parameter.

Planutgliding er ikkje kinematisk moglege ut i frå desse plotta (figur 4-25). Derimot, tangerer standardavviket til sprekkesettet som er parallelt med foliasjonen (S//F) så vidt området for utvelting, men er ingen prekær situasjon.

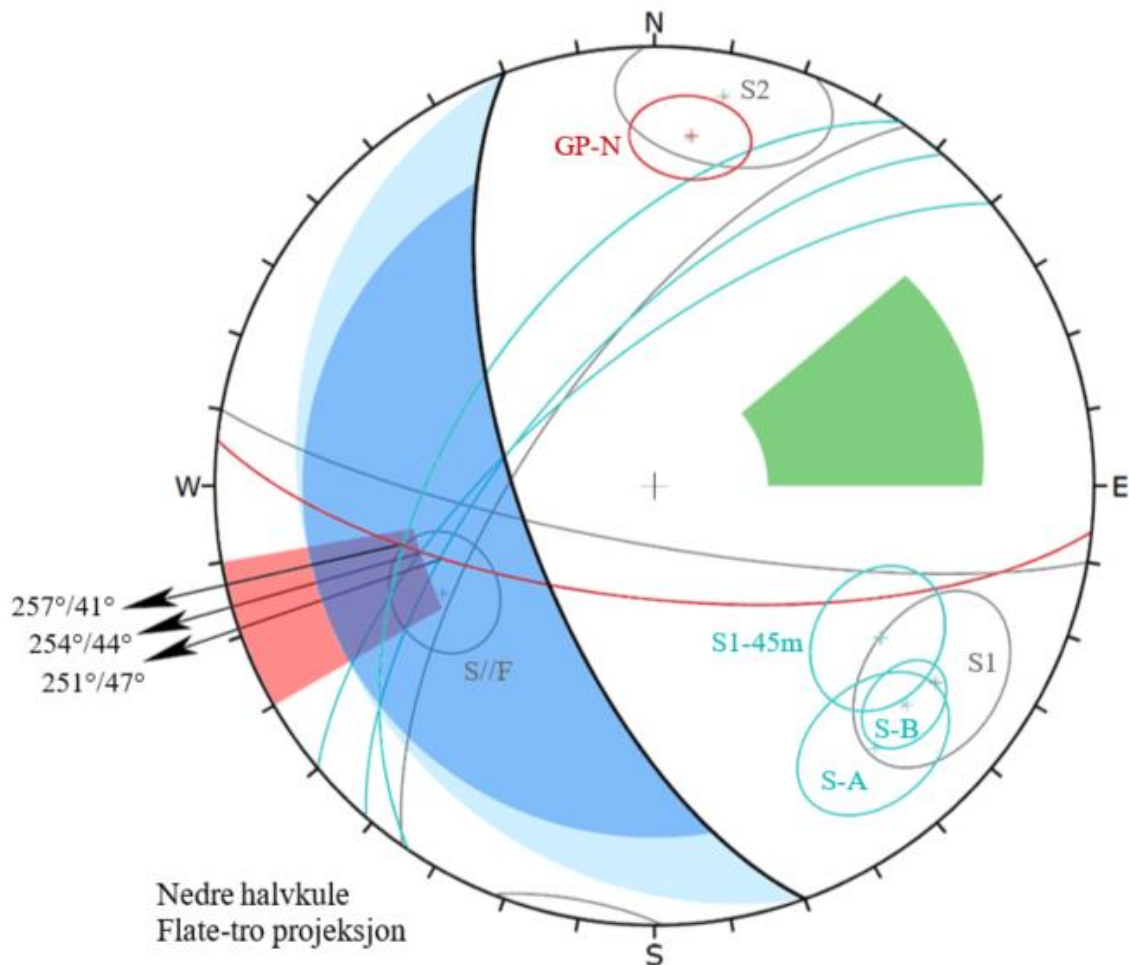
4.3.3 Sjøåsberget - Scenario A

Sidan Sjøåsblokka inngår som ein del av scenario A i sør, blir det sørlege glideplanet (GP-S) for scenario A lik GP-S-t for Sjøåsblokka, med 19 målingar og stort standardavvik. I tillegg har det nordlege glideplanet (GP-N) også eit veldig stort standardavvik, men her er berre 3 målingar som står bak (figur 4-26). Sjølv om GP-N sitt gjennomsnitt fell utanfor standardavviket til S2 er det rekna med som ei S2-sprekke.

Skjeringslinja mellom GP-S og GP-N til Scenario A dannar ei orientering på $249^{\circ}/29^{\circ}$, og er så vidt kinematisk moglege kileutgliding (figur 4-26). I dette tilfellet er det friksjonsvinkelen som er avgjerande parameter. Med berre nokre få grader auke i friksjonsvinkelen så blir hellinga til skjeringslinja overgått, og ikkje lenger kinematisk moglege. Andre skjeringslinjer som også gjev kinematisk moglege kileutglidingar er kombinasjonane GP-N og S1, GP-S og S2 samt S1 og S2. Her dannar S1 og S2 den brattaste skjeringslinja av dei tre.

Ingen av sprekkesetta eller glideplana kjem innanfor sona til planutgliding, derimot fell den eine sprekkja bak furua innanfor. Etter felt-dagen 10. oktober 2017, blei det klart at sprekkene ved furua ikkje går ned i berget og verkar til å ha lite å seie for stabiliteten. Ein mindre del av standardavviket til sprekkesettet S//F kjem også innanfor området for utvelting, men der gjennomsnittet fell utanfor. Utvelting av sprekker parallell med foliasjonen kan bli sett på som delvis kinematisk moglege.

desse er kinematisk moglege kileutglidingar, i følgje analysen gitt i figur 4-27. Det same gjeld alle kombinasjonane som sprekkeseett S2 har med S1-45m-sprekka, S-A og S-B. Standardavviket til sprekkesettet S//F er bra innanfor området for utvelting, men der gjennomsnittet så vidt fell utanfor. Ei utvelting frå sprekker som er parallell med foliasjonen kan difor vere delvis kinematisk mogleg. For scenario B er det lite som tyder på at noko planutgliding er kinematisk mogeleg.



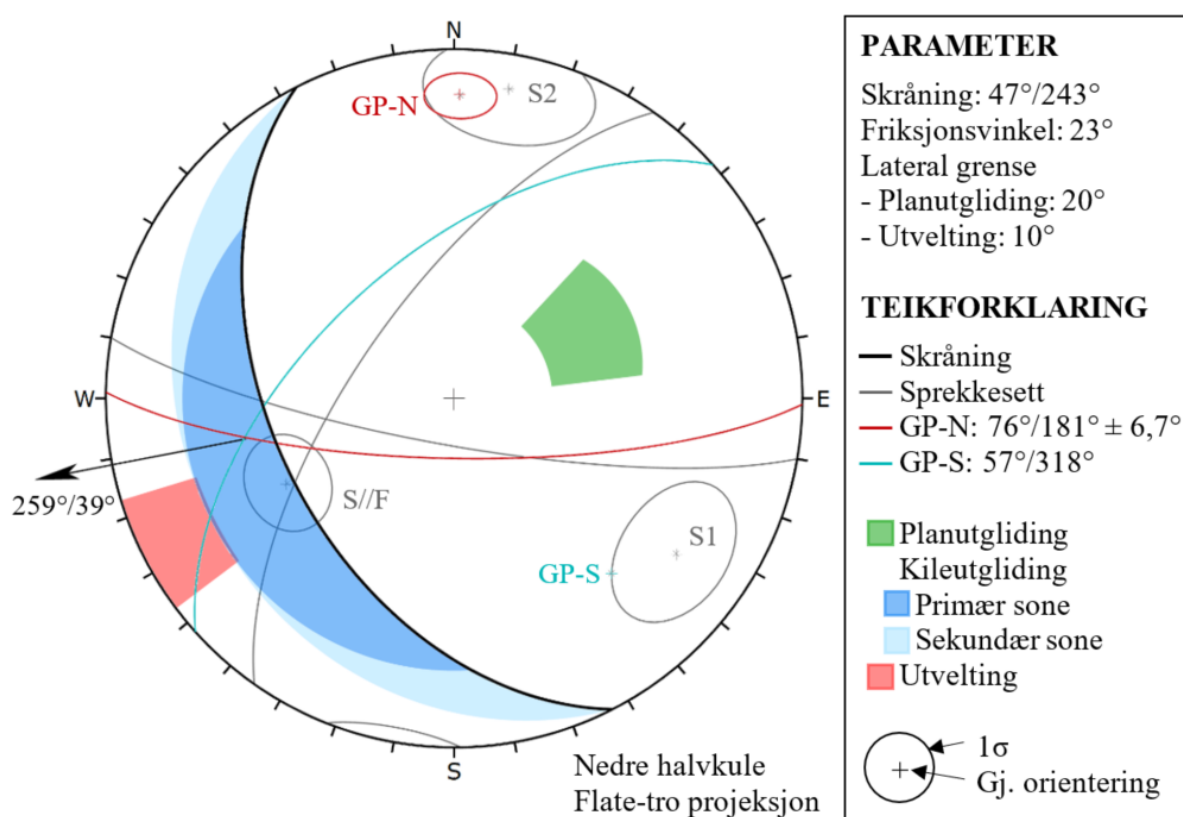
PARAMETER	TEIKFORKLARING
Skråning: $65^{\circ}/250^{\circ}$	— Skråning
Friksjonsvinkel: 21°	— Sprekkeseett
Lateral grense	— GP-N: $69^{\circ}/186^{\circ} \pm 9,3^{\circ}$
- Planutgliding: 20°	— S1-45m: $52^{\circ}/304^{\circ} \pm 12,8^{\circ}$
- Utvelting: 10°	— S-A: $67^{\circ}/320^{\circ} \pm 13,2^{\circ}$
	— S-B: $65^{\circ}/311^{\circ} \pm 7,8^{\circ}$
	■ Planutgliding
	■ Kileutgliding
	■ Primær sone
	■ Sekundær sone
	■ Utvelting
	⊕ 1σ
	⊕ Gj. orientering

Figur 4-27. Kinematisk analyse for Sjøåsberget-scenario B. Glideplan nord er forkorta med GP-N. Først og fremst så er det dei opne sonene S-B som vert tolka som sørleg glideplan (GP-S), men der samanhengen til S1-45m sprekkja og S-A-sona også blir presentert. S1, S2 og S//F er ulike sprekkeseett, der sistnemnde er sprekker parallellt med foliasjonen.

4.3.5 Sjøåsberget - Parti C

Dei same målingane frå Sjøåsblokka sitt nordlege glideplan (GP-N) inngår også som GP-N for Parti C, fordi den same sprekket er vurdert involvert. Her inngår 5 målingar, og GP-N fell innanfor S2-sprekkesett. For det sørlege glideplanet (GP-S) er det berre ei måling, der denne fell på standardavviket til sprekkesett S1 (figur 4-28).

Skjeringslinja til GP-N og GP-S har orienteringa $259^{\circ}/39^{\circ}$ og går som ei kinematisk mogeleg kileutgliding (figur 4-28). Kombinasjonen av GP-S og S2 får ei skjeringslinje som er heilt på grensa til kinematisk mogeleg. Derimot er det ingen av kombinasjonane GP-N og S1 samt S1 og S2 som gjev kinematisk mogeleg kileutglidingar. Når det kjem til planutgliding eller utvelting, så er det ingen av sprekkesetta eller glideplana som kjem innanfor desse sonene. Det er difor berre kileutgliding som vert vurdert som kinematisk mogleg utrasingstype i denne settinga.

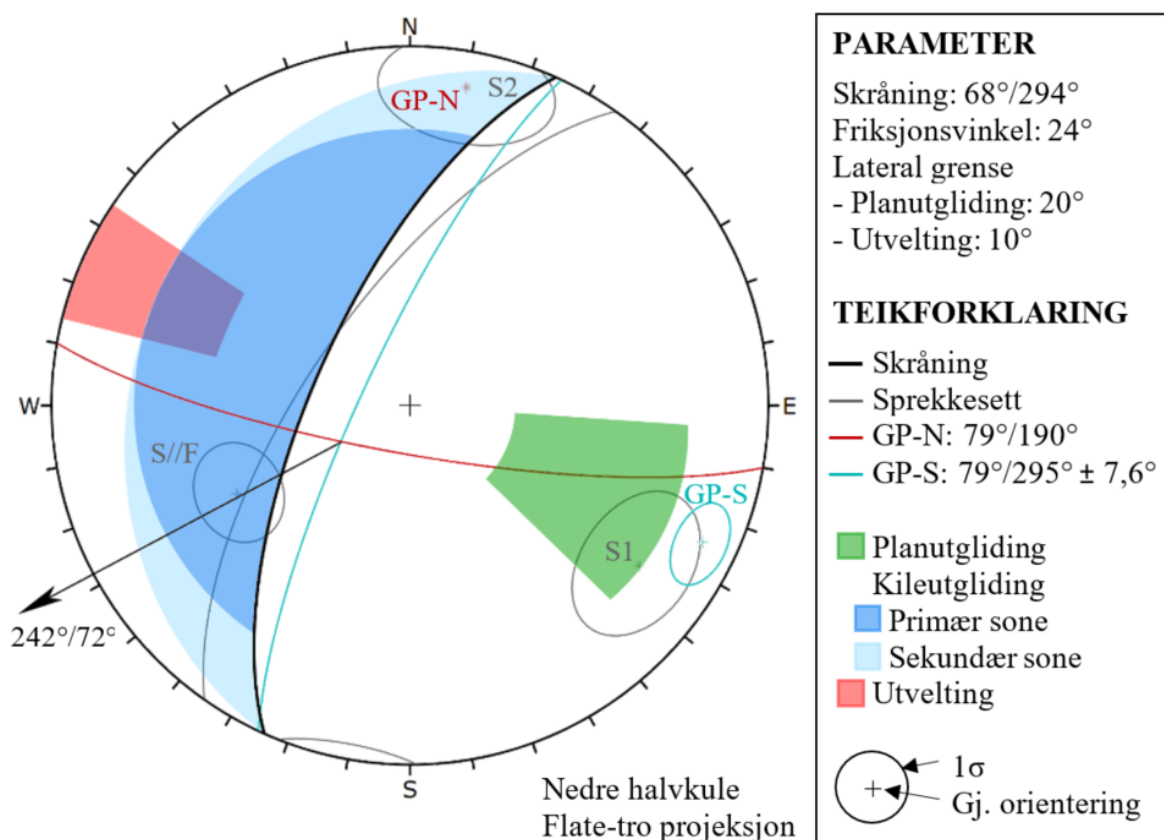


Figur 4-28. Kinematisk analyse for parti C ved Sjøåsberget. GP-N er forkorting for glideplan nord, GP-S for glideplan sør. S1 og S2 er ulike sprekkesett i tillegg til S//F som er sprekkesett parallelt med foliasjonen.

4.3.6 Sjøåsberget - Parti D

Som nordleg glideplan (GP-N) for parti D vert målingane for sprekkesett S2 nytta. Av det sørlege glideplanet (GP-S) er det 2 målingar. Gjennomsnittet til GP-S fell på standardavviket til sprekkesett S1 (figur 4-29).

Skjeringslinja som GP-N og GP-S dannar har orienteringa $242^{\circ}/72^{\circ}$, og er ikkje kinematisk mogleg kileutgliding (figur 4-29). Derimot gjev kombinasjonen GP-N og S1 ei mogleg kileutgliding. I tillegg fell gjennomsnittet til sprekkesett S1 innanfor sona til planutgliding, og kan difor vere kinematisk mogleg. GP-S har riktig fallretning i forhold til ei planutgliding, men hellinga til planet blir for bratt i forhold til skråninga, og vert difor ikkje kinematisk mogleg. Når det kjem til utvelting, så er ikkje den utrasingtypen serleg kinematisk mogleg i denne settinga.



Figur 4-29. Kinematisk analyse for Sjøåsberget-parti D. Glideplan nord er forkorta med GP-N og glideplan sør er forkorta med GP-S. Dei ulike sprekkesetta er S1, S2 og S//F. Der sistnemnde er sprekker parallelt med foliasjonen.

4.4 Detaljert stabilitetsanalyse

Ei detaljert stabilitetsanalyse har blitt utført på den totale Sjøåsblokka (scenario III). Dette inneberer ei deterministisk- og probabilitisk etter partialfaktor-metoden, samt sensitivitetsanalyse. Modell 4 har vore utgangspunktet for analysane. Av dei fire modellane i Swedge, vart det vurdert til at det var den som representerte forholda ved Sjøåsblokka på best måte. Her har parametrar som styrer kilegeometri og kilevolum blitt justert slik at dei er tilnærma likt observasjonar frå felt.

4.4.1 Geometri

I modell 4 blei kilen skalert ved å sette lengda til det sørlege glideplanet (GP-S) lik 15 m. Dette i kombinasjon med forsiktig tilpassing av øvre og nedre skråningsorientering, gjorde at arealet til nordleg og sørleg glideplan (GP-S og GP-S) blei tilnærma lik feltobservasjonar (tabell 4-9). For GP-S er det manglande «kontakt»-arealet på grunn av den opne hola under Sjøåsblokka trekt i frå. Swedge sin automatiske kalkulering av kilevolum stemte dårleg overeins med feltobservasjonar, og tyngdetettleiken blei difor justert for å kompensere for manglande kilevolum.

Tabell 4-9. Ei samanstilling av parametrar frå felt og berekningsmodellen i Swedge som har blitt nytta til stabilitetsanalyse. Den partielle faktoren er henta frå tabell A.4 i Standard-Norge (2016b).

Geometriske parameter	Symbol	Eining	Verdi
Volum	V	[m ³]	108
Original tyngdetettleik	γ	[kN/m ³]	25,625
Justert tyngdetettleik	γ_j	[kN/m ³]	104,599
Vekt av bergmasse	W	[kN]	2767
Partialfaktor	γ_γ	-	1,0
Høgd av kile	H	[m]	11
Orientering skråning			
- Øvre	ψ_f/α_f	[°]	43,5/205,5
- Nedre			68/220
Orientering glideplan	ψ_p/α_p	[°]	
- Nordleg	GP-N		76/181
- Sørleg	GP-S		58/318
Orientering skjeringslinje	α_i/ψ_i	[°]	259/40
Areal glideplan felt	A_f		
- Nordleg	GP-N	[m ²]	36
- Sørleg	GP-S		27
Areal glideplan modell 4	A_m		
- Nordleg	GP-N	[m ²]	40
- Sørleg	GP-S		24

Variasjonen til glideplana si orientering vart inkludert i den probabilistiske analysen. Til dette vart det nytta ei Fisher-fordeling med ein K -verdi henta ifrå den stereografiske analysen i DIPS (tabell 4-10).

Tabell 4-10. Orienteringa til glidplana blei variert med ein Fisher-fordeling i den probabilistiske analysen. K -verdien er henta i frå den stereografiske analysen i DIPS.

Orientering glideplan		Verdi
Fordeling	Fisher	
- Nordleg glideplan	K	168,398
- Sørleg glideplan		17,9731

4.4.2 Seismisk aktivitet

I tabell 4-11 er dei seismiske parametrane som inngår i den deterministiske stabilitetsanalysen lista opp. Parametrane blir basert på figurar og tabellar og kalkulert etter likningar gitt i avsnitt 2.3.2 under «Seismisk aktivitet». I følge Standard-Norge (2014a) så skal det påvisast at stabiliteten for konstruksjonar som skal bli oppført på eller nærme ei naturleg skråning er tilstrekkeleg, dette slik at tryggleiken blir ivaretatt under dimensjonerande jordskjelv. Dei aktuelle byggverka som mest truleg kan bli ramma av ei eventuell utrasing frå Sjøåsblokka er einebustadar. Difor vart ein seismisk klasse II gått ut i frå etter tabell 2-4. Sidan $a_g S$ er mindre enn $0,98 \text{ m/s}^2$, kan den forenkla pseudostatistiske-krefter metoden nyttast (tabell 4-11). Den topografiske forsterkingsfaktoren (S_T) vart auka med 20 %, fordi det er snakk om eit laust «overflatelag» (Standard-Norge, 2014a).

Tabell 4-11. Verdiane til dei seismiske parametrane blir kalkulert og basert på figurar, tabellar og likningar som blir presentert i avsnitt 2.3.2 under «Seismisk aktivitet».

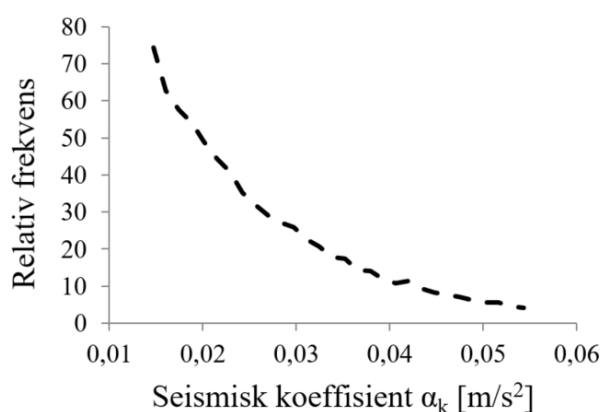
Seismiske parameter	Symbol	Eining	Verdi
Spissverdi berggrunnsakselerasjon	a_{g40Hz}	$[\text{m/s}^2]$	0,41
Referansespissverdi berggrunnsakselerasjon	a_{gR}	$[\text{m/s}^2]$	0,328
Seismisk klasse	-	-	II
Partialfaktor	γ_I	-	1,0
Grunntype	-	-	A
Forsterkingsfaktor	S	-	1,0
-	$a_g S$	$[\text{m/s}^2]$	0,328
Topografisk forsterkningsfaktor	S_T	-	1,44
Dimensjonerande berggrunnsakselerasjon	a_g	$[\text{m/s}^2]$	0,472
Seismisk akselerasjonsforhold	α	-	0,048

Dimensjonerande jordskjelvlast			
- Horisontal	F_H	[kN]	66,616
- Vertikal	F_V		21,983

I ei probabilistisk analyse av stabilitet i Swedge blir den gamle metoden for å vurdere og rekne på jordskjelv-last nytta (likning 3.35 og 3.39). Ei eksponential sannsynsfordeling for jordskjelvaktivitet er mest realistisk, ettersom kraftige jordskjelv er meir sjeldan og små jordskjelv er meir hyppige (figur 4-30). Gjennomsnittsverdien blir vurdert til å vere $\alpha_{k,maks}/3$ (Nilsen, 2000). Den maksimale seismiske koeffisienten ($\alpha_{k,maks}$) for Sjøåsen får ein verdi på 0,041 (tabell 4-12).

Tabell 4-12. Seismiske parametarar som vart nytta til den probabilistiske analysen. Parametrane er etter den gamle metoden for å vurdere jordskjelv-last. Den partielle faktoren er basert på Nilsen, et al. (2011).

		Verdi
Seismisk koeffisient (α_k)		0,041
Partialfaktor (γ_f)		1,3
Fordeling	Ekspontial	
Gjennomsnitt	$\alpha_{k,maks}/3$	0,014
Maksimum	$\alpha_{k,maks}$	0,041
Minimum	$\alpha_{k,min}$	0



Figur 4-30. Sannsynsfordeling av seismisk koeffisient (α_k) til probabilistisk analyse.

4.4.3 Vasstrykk

Frå feltarbeidet vart det observert ei mogleg drenering av begge glideplana ved Sjøåsblokka. Det vert difor gått ut i frå ei triangulær fordeling av vasstrykket på sprekkeplanet for «minst gunstig» og ei tørr skråning for «mest gunstig» setting, lik det tabell 2-2 (kapittel 2 «Teori») syner. Ei triangulær fordeling av vasstrykket er også vanleg å ta høgde for i settinga «minst gunstig» (Nilsen, 1999). Vasstrykkparametrane som inngår i den deterministiske stabilitetsanalysen for dei ulike settingane er gitt i tabell 4-13.

Tabell 4-13. Parameter for vasstrykk (U) i ulike settingar. Den partielle faktoren er henta frå tabell A.4 i Standard-Norge (2016b).

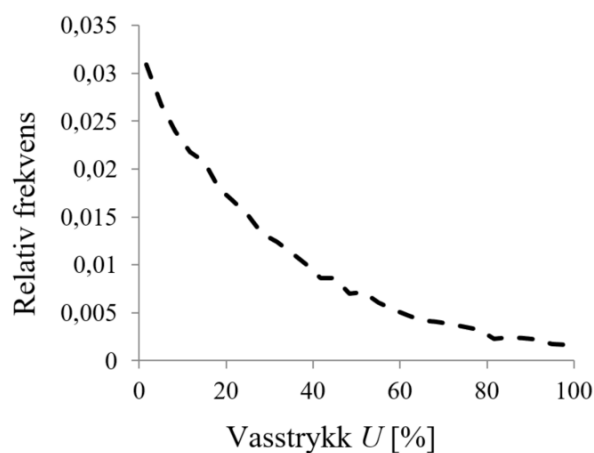
Parameter for vasstrykk	Symbol	Eining	Verdi
Tyngdetettleik	γ_w	[kN/m ³]	9,81
Beste tilfelle – tørt	U	[kN]	0
Verste tilfelle – triangulær	U_{maks}	[kN]	288
- Nordleg glideplan	GP-N		

- Sørleg glideplan	GP-S		172
Verste tilfelle – 50 % triangulær	$U_{50\%}$		
- Nordleg glideplan	GP-N	[kN]	36
- Sørleg glideplan	GP-S		21
Partialfaktor	γ_γ	-	1,0

Over tid er det heller meir sjeldan med så kraftig nedbør at vasstrykket når maksimumsverdien (U_{maks}). Det er heller meir realistisk at sprekkplanet stort sett har ein tilnærma tørr tilstand ($U \sim 0$). Til den probabilistiske analysen blir det difor gått ut i frå at sannsynsfordelinga til vasstrykket er eksponential (figur 4-31), med eit gjennomsnitt på $U_{maks}/3$ (tabell 4-14) (Nilsen, 2000).

Tabell 4-14. Parameterar for vasstrykk (U) nytta i den probabilistiske analysen.

	Vasstrykk (U)	Verdi [%]
Fordeling	Ekspontential	
Gjennomsnitt	$U_{maks}/3$	33,3
Maksimum	U_{maks}	100
Minimums	U_{min}	0



Figur 4-31. Sannsynsfordeling av vasstrykk gitt i prosent til den probabilistiske analysen.

4.4.4 Sprekkefriksjon

Til den kinematiske analysen (avsnitt 4.3) vart ein gjennomsnittleg residual friksjonsvinkel (φ_r) kalkulert etter likning 2.11, og blei nytta som friksjonsvinkel for dei ulike partia og scenarioa ved Sjøåsberget (tabell 4-15). Residual friksjonsvinkel (φ_r) baserer seg på basis friksjonsvinkel (φ_b), men blir korrigert etter grad av forvitring frå rekylverdien til sprekkflater (R og r). Rekylverdi R , er basert på målingar frå laboratoriet på tørr, fersk sprekkoverflate, medan rekylverdi r , hovudsakleg er *in-situ* målingar på det aktuelle glideplanet i felt under dei gitte feltforholda. Ikkje alle sprekkflater til potensielle glideplan var like tilgjengelege i felt. Difor har somme r -rekylverdiar blitt nytta for fleire glideplan:

- Det nordlege glideplanet (GP-N) for Sjøåsberg parti D, fekk lik GP-N som den meir tilgjengelege Vaierblokka.
- Sidan Sjøåsberg, scenario A og Sjøåsblokka delvis deler same glideplan, har scenario A lik r -rekylverdi som Sjøåsblokka.

- Sjøåsberg parti C fekk lik r -rekylverdi som GP-S for scenario B, ettersom glideplana er geografisk nærme og orienteringa noko lik.

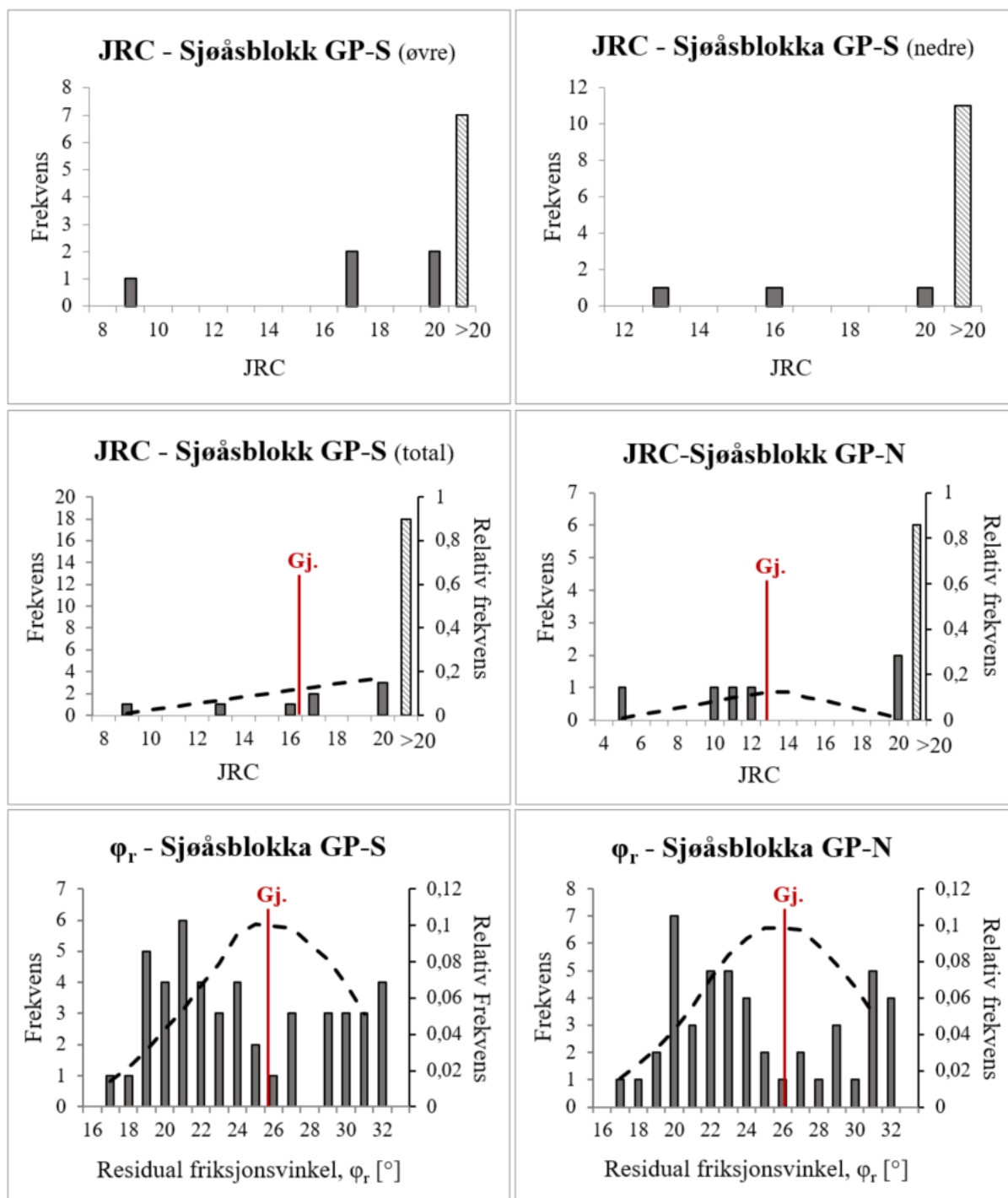
Tabell 4-15. Rekylverdien, R er basert på målingar frå laboratoriet på tørr, fersk sprekkflate, og r er frå den aktuelle sprekkflata i felt under dei gitte feltforholda. *Gjennomsnittlege residual friksjonsvinkelen for dei to glideplana som blei nytta i dei kinematiske analysane.

	Symbol	Sjøås- blokka	Scenario A	Scenario B	Parti C	Parti D	Vaier- blokka
Rekylverdi tør, uforvitra	R	51,6	51,6	51,6	51,6	51,6	51,6
Rekylverdi våt, forvitra	r						
- Nordleg glideplan	GP-N	48,9	48,9	38,5	48,9	41,1	41,1
- Sørleg glideplan	GP-S	48,5	48,5	35,6	35,6	48,6	48,7
Residual friksjonsvinkel (Gj.) [°]	φ_r	25,9*	25,9*	21,4*	23,4*	24,4*	24,4*
- Nordleg glideplan	GP-N	26,0	26,0	21,9	26,0	22,9	22,9
- Sørleg glideplan	GP-S	25,8	25,8	20,8	20,8	25,8	25,9
Feltforhold	-						
- Nordleg glideplan	GP-N	Tørt	Fuktig	Fuktig	Tørt	Tørt	Tørt
- Sørleg glideplan	GP-S	Tørt	Tørt	Fuktig	Tørt	Fuktig	Tørt

Til den detaljerte stabilitetsanalysen av Sjøåsblokka har parameterverdiar frå tabell 4-15 og tabell 4-16 blitt nytta til sprekkfriksjon i Barton-Bandis sitt styrkekriterium. I figur 4-32 er feltmålingar av «Joint Roughness Coefficient» JRC og residual friksjonsvinkel (φ_r) gitt som frekvens. I tillegg er Swedge si sannsynsfordeling av parametrane (basert på tabell 4-16) presentert som relativ frekvens.

Tabell 4-16. Parameter som er nytta til kalkulering av sprekkfriksjon for Sjøåsblokka. Partialfaktoren er henta frå tabell A.4 i Standard-Norge (2016b).

Parameter sprekkfriksjon	Symbol	Gj.	Maks.	Min.	SD	Fordeling
«Joint Roughness Coefficient»	JRC					
- Nordleg glideplan	GP-N	12,8	20	5	-	Triangulær
- Sørleg glideplan	GP-S	16,3	20	9	-	
«Joint Compressive Strength» [MPa]	JCS					
- Nordleg glideplan	GP-N	120	170	70	-	Triangulær
- Sørleg glideplan	GP-S	120	169	71	-	
Residual friksjonsvinkel [°]	φ_r					
- Nordleg glideplan	GP-N	26,0	31,7	16,6	4,5	Normal
- Sørleg glideplan	GP-S	25,8	31,5	16,4	4,5	
Partialfaktor (tan φ_{ka})	γ_φ	1,25	-	-	-	-



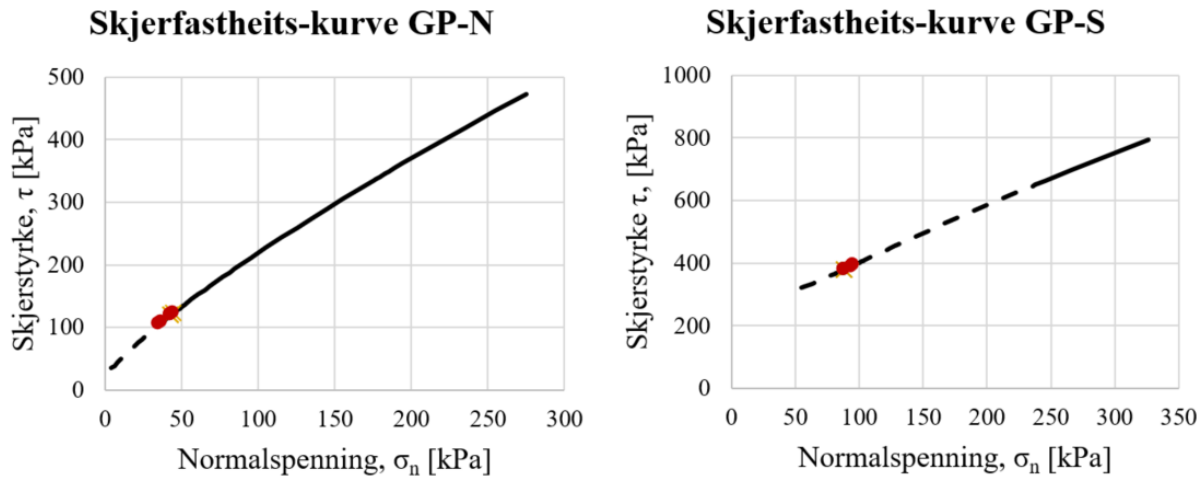
Figur 4-32. Feltmålinger av «Joint Roughness Coefficient» (JRC) og residual friksjonsvinkel (φ_r) til sørleg og nordleg glideplan (GP-S og GP-N) til Sjøåsblokka i frekvens. JRC-målingar større enn 20 er ekskludert frå datasettet. Stipla-linje er Swedge si sannsynsfordeling av parametrane i relativ frekvens. Gitt av parameter-innputt frå tabell 4-14.

Sidan residual friksjonsvinkel (φ_r) baserer seg på basis friksjonsvinkel (φ_b) får dei ei noko lik sannsynsfordeling (figur 4-3 og figur 4-32). Også her blir gjennomsnittet til residual friksjonsvinkel (φ_r) korrigert til noko høgre enn det målingane gav, og det blir antatt ei normalfordelt kurve til den probabilistiske analysen.

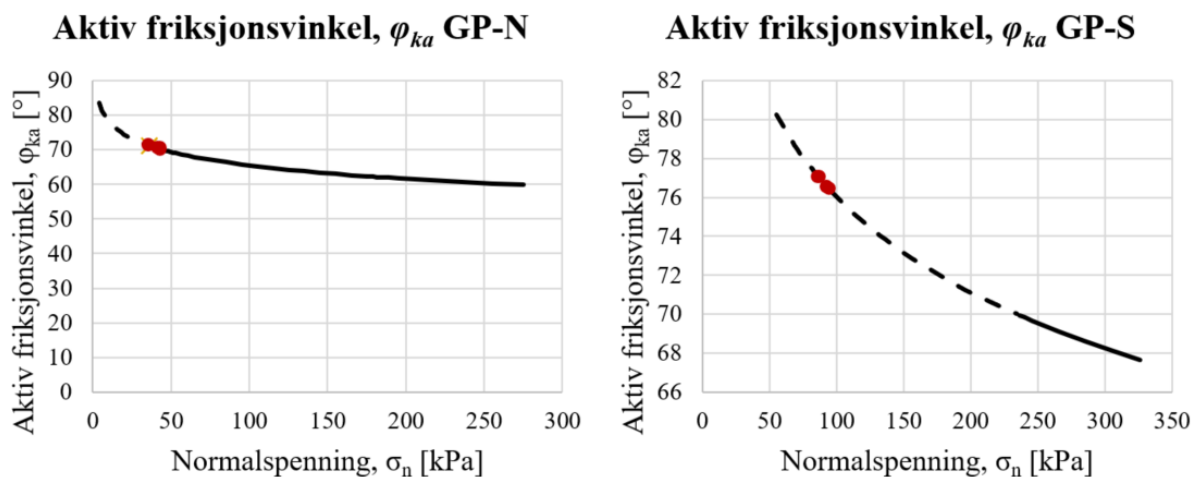
Slik som figur 4-32 syner, så vart *JRC*-skalaen ofte sprengd med verdiar større enn 20. Desse kan ikkje kvantifiserast på ein enkel måte. I den vidare analysen vert desse verdiane sett vekk i frå noko som også gjer analysen meir konservativ. Sidan Kveldsvik, *et al.* (2008), erfarte at det var relativt liten forskjell i *JRC*-verdiane til dei ulike retningane det vart målt i, så blir verdiane for alle retningane slått saman. Dette for å få eit større datasett. Det sørlege glideplanet (GP-S) fekk noko fleire målingar totalt fordi øvre og nedre del blei slått saman. Likevel, er *JRC*-datasettet til dei to glideplana svært tynt og har få målingar. Med så lite informasjon på sannsynsfordelinga blir ei triangulærfordeling gått ut i frå etter anbefaling frå Wyllie og Mah (2004).

Parametervariasjonen i «Joint Compressive Strength» *JCS* blir basert på den gjennomsnittlege spreinga av styrke gitt ut i frå skjemaet som *JCS*-verdien blei estimert ut i frå (figur 3-2). Ein får ein pluss/minus-verdi frå skjemaet, og fordelinga av *JCS* blir difor antatt å vere triangulær (tabell 4-16).

Denne ikkje-lineære trenden mellom skjerstyrken (τ) og normalspenninga (σ_n) er illustrert i figur 4-33. Her har Barton-Bandis skjerfastheits-kurve blitt laga for glideplana til Sjøåsblokka. Skjerstyrken har blitt rekna ut via likning 2.10 og 2.11 med varierende normalspenningar som Swedge kalkulerer frå dei ulike settingane. Via likning 2.12 blei den karakteristiske aktive friksjonsvinkelen (ϕ_{ka}) rekna ut. Denne er ikkje konstant, men ein funksjon av normalspenninga (σ_n), slik figur 4-34 syner. På grunn av irregularitetar på sprekkeflata og dilatans, vert friksjonsvinkelen høg ved låge normalspenningar. Medan friksjonsvinkelen vert lågare ved høge normalspenningar (Nilsen, 1999; Nilsen og Palmström, 2000; Bjordal, *et al.*, 2011; Nilsen, *et al.*, 2011). Med dei tidlegare nemnde parametrane som inngår i stabilitetsberekninga for Sjøåsblokka, oppstår det ein litt spesiell situasjon nettopp på grunn av dette. Normalspenningsområdet for dei ulike settingane det er tatt høgde for, kjem i eit område der den karakteristiske aktive friksjonsvinkelen (ϕ_{ka}) blir over 70° . Så høge friksjonsvinklar tek eigentleg ikkje den empiriske likninga til Barton-Bandis heilt høgde for. Dei mest ru sprekkene har fått ei innhyllingskurve trunkert til ei lineær-kurve, i følgje Barton og Choubey (1977). Rocscience har difor sett ei øvre grense på 70° til den aktive friksjonsvinkelen i Swedge (Corkum, 2017). For dei situasjonane som har ein aktiv friksjonsvinkel større enn 70° , noko glideplana ved Sjøåsblokka stort sett har, vil Swedge kalkulere ei skjerstyrke basert på ein friksjonsvinkel lik 70° . Eksempel på dette blir presentert i resultatet for den deterministiske analysen.



Figur 4-33. Barton-Bandis skjersfastheits-kurve for nordleg glideplan (GP-N) og sørleg glideplan (GP-S) til Sjøåsblokka. Raud prikk er normalspenningsområdet for dei ulike settingane det vart tatt høgde for i stabilitetsberekninga. Stipla-linje viser kvar karakteristisk aktiv friksjonsvinkel, $\varphi_{ka} > 70^\circ$.



Figur 4-34. Karakteristisk aktiv friksjonsvinkel (φ_{ka}) for nordleg glideplan (GP-N) og sørleg glideplan (GP-S) til Sjøåsblokka. Raud prikk er normalspenningsområdet for dei ulike settingane det vart tatt høgde for i stabilitetsberekninga. Stipla-linje viser til kvar $\varphi_{ka} > 70^\circ$.

4.4.5 Deterministisk

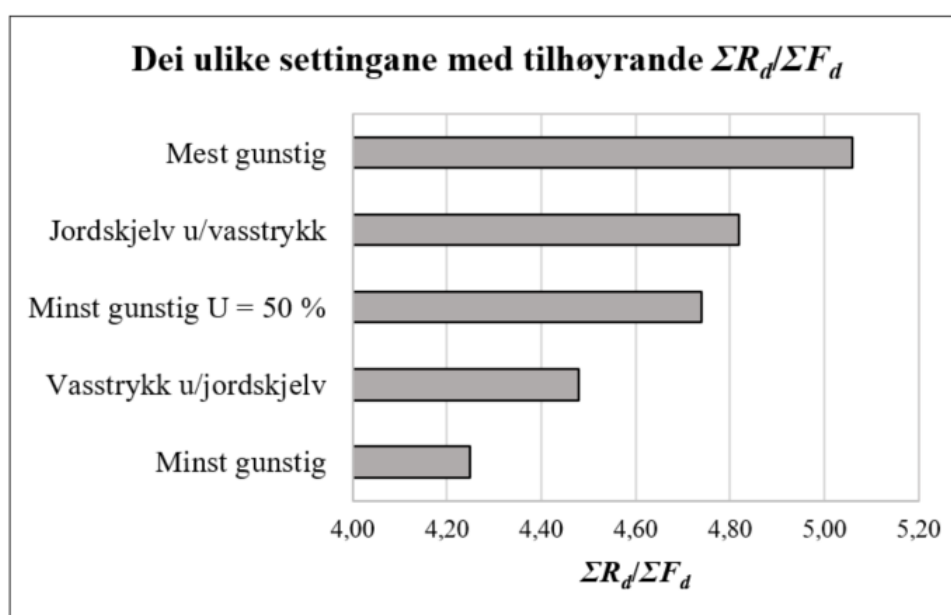
Dei fem settingane det vart tatt høgde for i den deterministiske stabilitetsanalysen etter partialfaktor-metoden, er følgjande:

- Minst gunstige tilfelle
- Minst gunstige tilfelle, med 50 % vasstrykk (U).
- Mest gunstige tilfelle
- Jordskjelv (utan vasstrykk)
- Vasstrykk (utan jordskjelv)

Resultatet frå den deterministiske stabilitetsanalysen er lista opp i tabell 4-17. For alle dei ulike settingane ved Sjøåsblokka og med dei parametrane som er sett, er summen av dei stabiliserande kreftene (ΣR_d) langt større enn dei drivande kreftene (ΣF_d). Ser ein på forholdet mellom dei to, altså $\Sigma R_d/\Sigma F_d$, blir det ein slags sikkerhetsfaktor. Her varierer $\Sigma R_d/\Sigma F_d$ med verdi mellom 4 og 5, der den minste verdien er 4,25 for den minst gunstige settingen (figur 4-35). Ei vertikal jordskjelvbekasting (F_V) som påverkar ei retning oppover gav lågast $\Sigma R_d/\Sigma F_d$, og har dermed blitt brukt som dimensjonerande retning av F_V i analysen. Sjøåsblokka glei på begge glideplanane for alle dei ulike settingane.

Tabell 4-17. Summen av stabiliserande (ΣR_d) og drivande krefter (ΣF_d) for Sjøåsblokka etter partialfaktor-metoden i Swedge. Normalspenninga (σ_n), karakteristisk aktiv friksjonsvinkel (φ_{ka}) og skjærstyrken (τ) til nordleg og sørleg glideplan (GP-N og GP-S) er også oppgitt for dei ulike settingane.

Setting	Minst gunstig		Minst gunstig U = 50 %		Mest gunstig		Jordskjelv u/vasstrykk		Vasstrykk u/jordskjelv	
	GP-N	GP-S	GP-N	GP-S	GP-N	GP-S	GP-N	GP-S	GP-N	GP-S
σ_n [kPa]	35	86	42	92	44	95	42	93	37	88
φ_{ka} [°]	70,2	69,9	69,8	69,9	69,9	70,1	70,3	70,0	69,7	70,0
τ [kPa]	78	188	91	202	96	210	93	204	80	194
ΣR_d [kN]	7659		8544		8919		8671		7907	
ΣF_d [kN]	1801		1801		1763		1801		1763	
$\Sigma R_d/\Sigma F_d$	4,25		4,74		5,06		4,82		4,48	

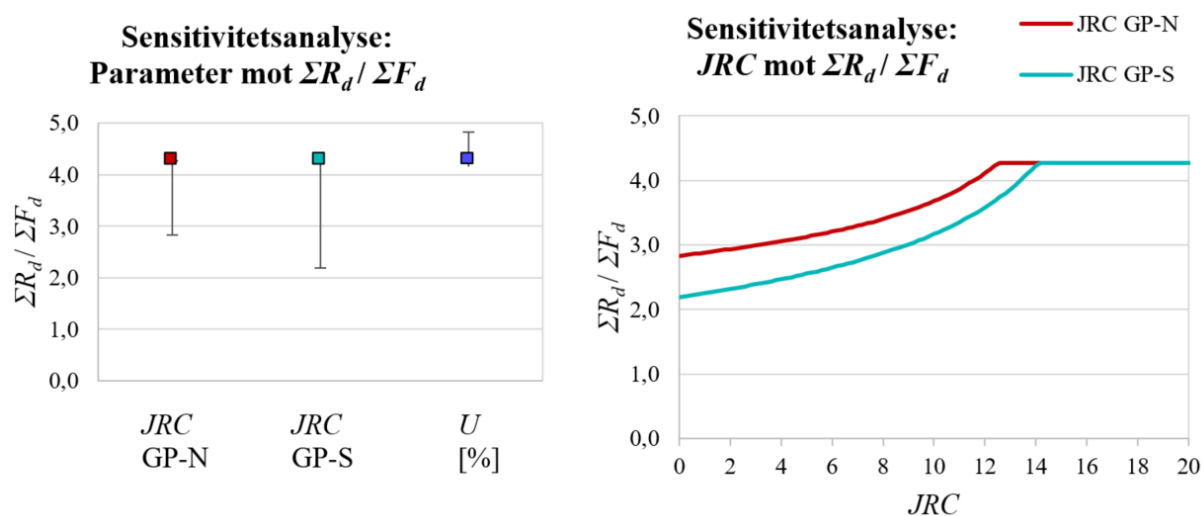


Figur 4-35. Samanlikning av summen av stabiliserande krefter / drivande krefter ($\Sigma R_d/\Sigma F_d$) for dei ulike settingane det vert tatt høgde for i den deterministiske analysen.

Slik som tidlegare nemnd i avsnitt 4.4.4 «Sprekkefriksjon» blir den karakteristiske aktive friksjonsvinkelen (φ_{ka}) stort sett høgare enn 70° for alle dei ulike settingane (figur 4-33 og figur 4-34). I resultatet til den deterministiske analysen i Swedge (tabell 4-17), blir den karakteristiske aktive friksjonsvinkel (φ_{ka}) blir satt lik 70° for begge glideplana i omtrent alle settingar. Dette gjer at den kalkulerde skjerstyrken (τ) frå Swedge blir lågare enn ein skjerstyrke kalkulert ut i frå ein karakteristisk aktiv friksjonsvinkel med «løyve» til å overskride 70° (figur 4-33).

4.4.6 Sensitivitetsanalyse

Utgangspunktet i sensitivitetsanalysen blir på den minst gunstige settinga. Når alle parametrar er sett til gjennomsnittet blir $\Sigma R_d / \Sigma F_d$ lik 4,27. I sensitivitetsanalysane til Kveldsvik, *et al.* (2008) og Hole (2015), synte det seg at «Joint Roughness Coefficient» *JRC* hadde størst innverknad på stabiliten. Med dette som utgangspunkt vart fokuset i sensitivitetsanalysen på *JRC* og vasstrykket (*U*). *JRC* fekk i tillegg eit vidare sensitivitetsplott mot $\Sigma R_d / \Sigma F_d$ (figur 4-36).



Figur 4-36. Sensitivitetsanalyse for Sjøåsblokka. I figuren til venstre er parametrane *JRC* for nordleg og sørleg glideplan (GP-N og GP-S) samt vasstrykk (*U*) i prosent plotta mot stabiliserande krefter / drivande krefter ($\Sigma R_d / \Sigma F_d$). I figuren til høgre er spranget av *JRC* verdier frå 0 – 20 for GP-N og GP-S plotta mot $\Sigma R_d / \Sigma F_d$.

For den minst gunstige settinga vil endringar i vasstrykket (*U*) heller telje positivt for skråningsstabiliteten. Det er fordi vasstrykket alt er 100 % og kan berre bli mindre under ein parametervariasjon (figur 4-36).

Den parameteren som har størst individuell innflytelse på $\Sigma R_d / \Sigma F_d$ var JRC for glideplan sør (GP-S) (figur 4-36). I sensitivitetsplottet varierer JRC frå 0 – 20 for begge glideplana, der verknaden på $\Sigma R_d / \Sigma F_d$ vert vurdert individuelt. Blir eit av glideplana sin JRC -verdi satt lik null er forholdet mellom $\Sigma R_d / \Sigma F_d$ framleis mellom 2 – 3, som indikerer ein stabil situasjon. Endrar man JRC -verdiane til begge glideplana samtidig, der GP-S får ein verdi lik 2,0 og GP-N lik 2,212, blir $\Sigma R_d / \Sigma F_d$ lik 1,00. Sjølv om det er heilt på grensa, er dette per definisjon ein stabil situasjon etter partialfaktor-metoden.

4.4.7 Probabilistisk analyse

Dei parametrane som vart inkludert i den probabilistiske analysen med tilhøyrande sannsynsfordeling er:

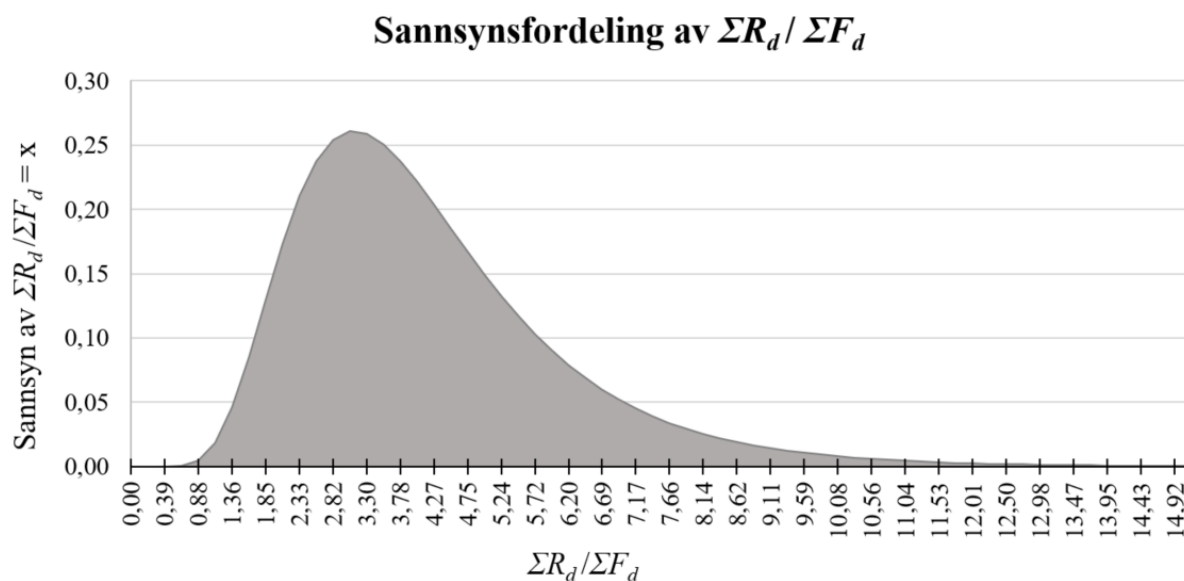
- Geometrisk: Orientering av glideplana
- Sprekkefriksjon:
 - «Joint Roughness Coefficient», JRC
 - «Joint Compressive Strength», JCS
 - Residual friksjonsvinkel, φ_r
- Seismisk aktivitet: seismisk koeffisient (α_k)
- Vasstrykk, U

For å få inn parametervariasjonen for seismisk aktivitet blei den gamle metoden med ekvivalent horisontal jordskjelvbekasting (F_{ak}) nytta, der den seismiske koeffisienten (α_k) varierer. Andre parameter elles fekk ein gjennomsnittsverdi.

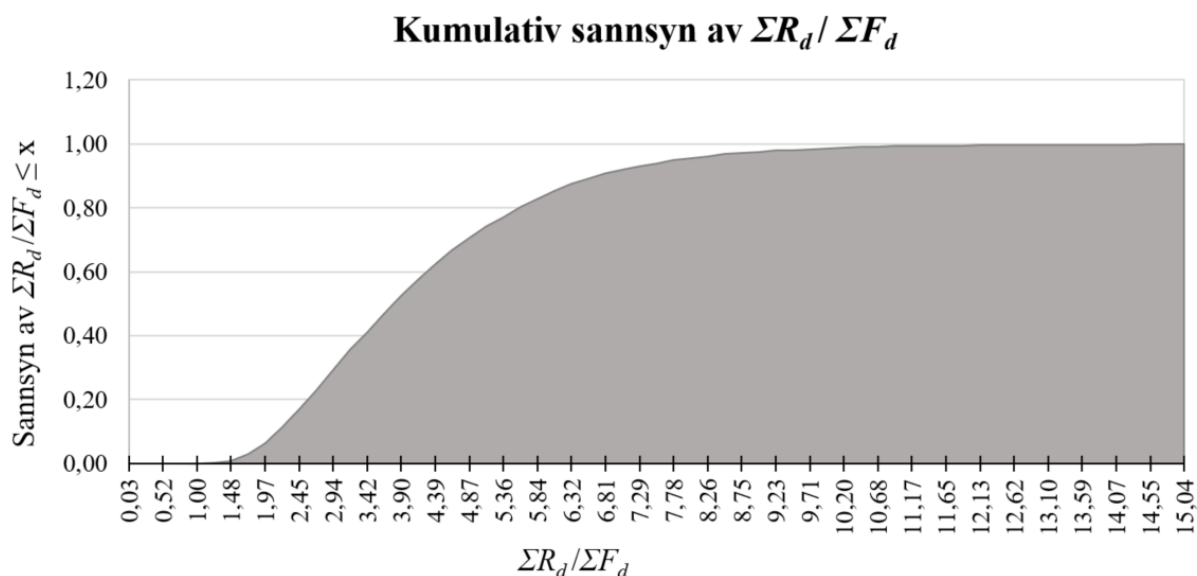
Med dei gitte forholda og parametrane som tidlegare er definert, blei sannsynet for at Sjøåsblokka vil rase ut i følgje ei probabilistisk framgangsmetode:

$$P(\text{kollaps}) = P(\Sigma R_d / \Sigma F_d) < 1 = 0,0001 \text{ eller } 0,01 \text{ \%}.$$

Dette vil seie at 1 av 10 000 Sjøåsblokker vil kunne rase ut, noko som er eit veldig lågt sannsyn. Som ein ser ut av sannsynsfordelinga av stabiliserande krefter / drivande krefter ($\Sigma R_d / \Sigma F_d$) for Sjøåsblokka, er hovudvekta av $\Sigma R_d / \Sigma F_d$ -verdiar langt større enn 1,00 (figur 4-37 og figur 4-38). Kurven kan likne ei normalfordelt kurve og har i så tilfelle eit gjennomsnitt der $\Sigma R_d / \Sigma F_d$ er 3,90.



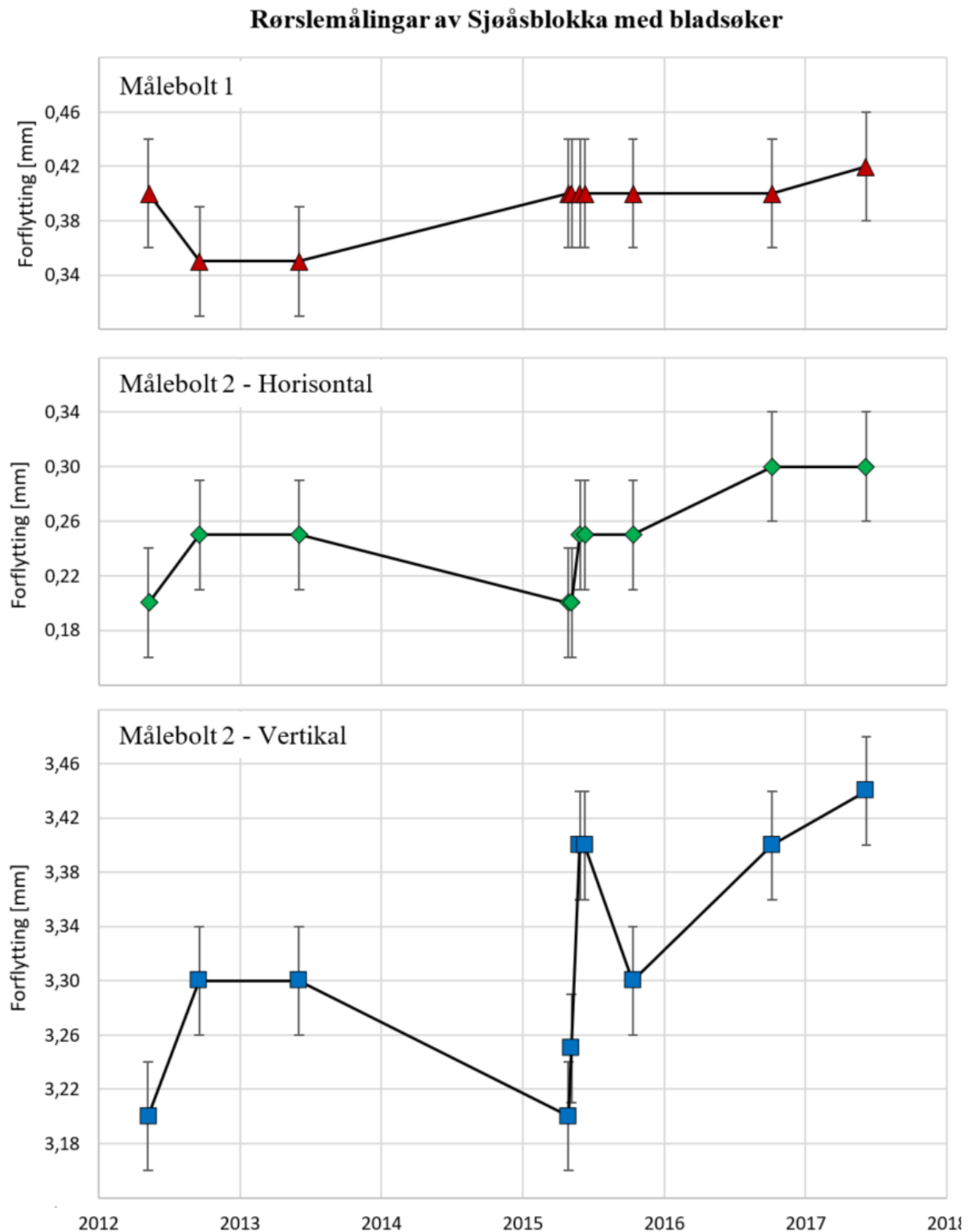
Figur 4-37. Fordeling av sannsynet til stabiliserande krefter / drivande krefter ($\Sigma R_d / \Sigma F_d$) for Sjøåsblokka. $\Sigma R_d / \Sigma F_d$ -verdiar > 15 har blitt ekskludert ut i frå grafen, fordi sannsynet var så lågt.



Figur 4-38. Kumulativfordeling av stabiliserande krefter / drivande krefter ($\Sigma R_d / \Sigma F_d$) for Sjøåsblokka. $\Sigma R_d / \Sigma F_d$ -verdiar > 15 har blitt ekskludert ut i frå grafen fordi det kumulative sannsynet var tilnærma 100 %.

4.5 Rørslemålingar på Sjøåsblokka og Sjøåsberget

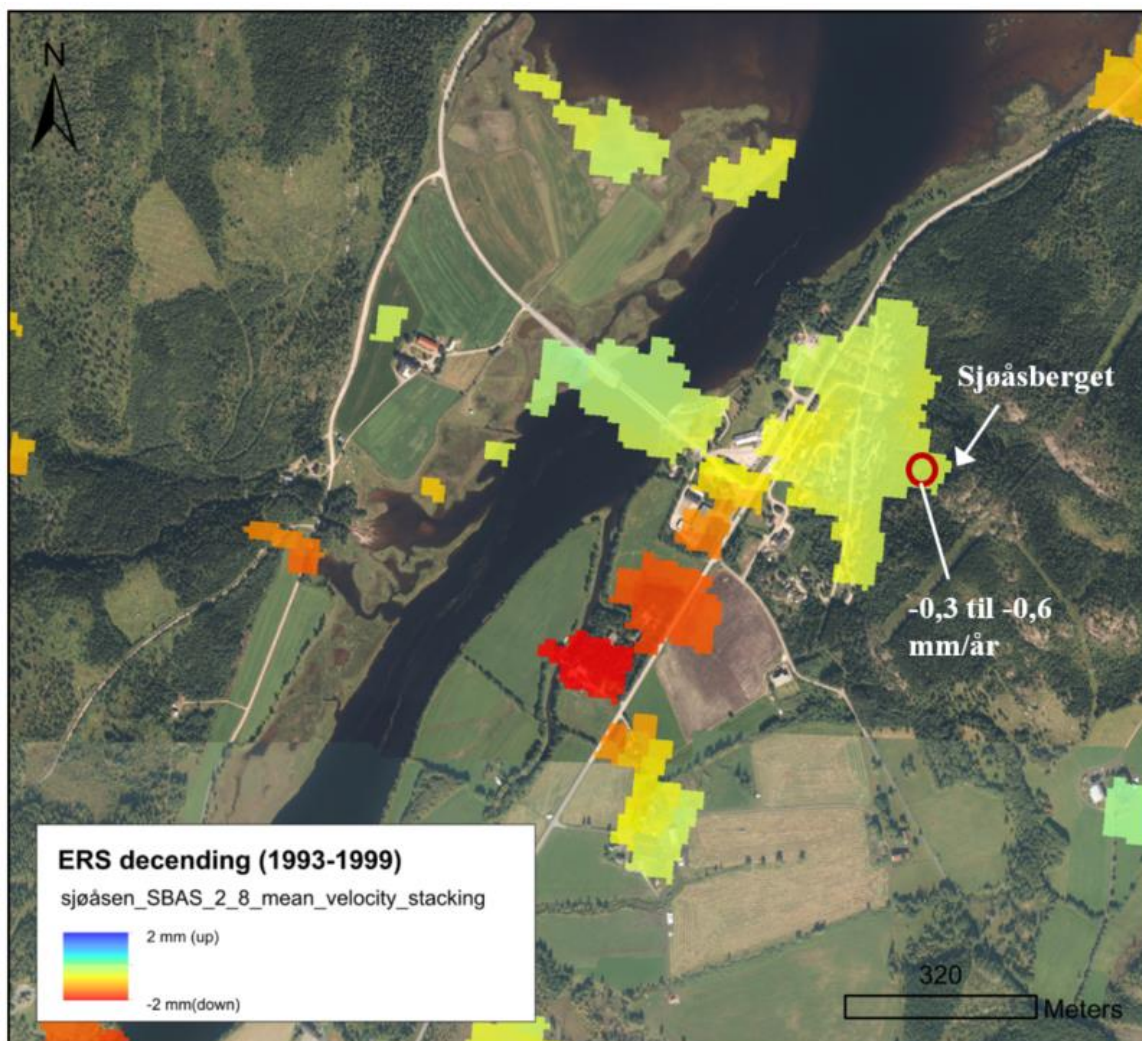
Resultatet av rørslemålingar som Namdalseid kommune har gjort på dei to måleboltane ved Sjøåsblokka er presentert som grafar i figur 4-39. Dette gjeld berre målingane som er gjort med bladsøker, der måleserien er i frå 9. mai 2012 til 7. juni 2017. Usikkerheita til bladsøker-målingane er sett til $\pm 0,04$ mm.



Figur 4-39. Grafar over rørslemålingar med bladsøker på dei to måleboltane ved Sjøåsblokka. Nøyaktigheita til bladsøkaren er sett til 0,04 mm. For målebolt 2 er det to målingar, ein horisontal og ein vertikal. Måleserien strekk seg i frå 9. mai 2012 til 7. juni 2017.

For målebolt 1 varierer målingane mellom 0,35 – 0,42 mm, med ein største forskjell på 0,07 mm. Med den målingsusikkerheita som er satt, er det ikkje ei signifikant rørsle. Ved målebolt

2 er både horisontale og vertikale rørsleregistrert. Dei horisontale målingane varierer mellom 0,2 – 0,3 mm, som gjev ein 0,1 mm i forskjell. Denne endringa i rørsleregistrering er marginalt signifikant, og er innanfor eit minste tidsintervall frå 8. mai 2015 til 7. oktober 2016. Det vil utgjere ei maksimal rørsleregistrering på omtrent 0,07 mm/år. For dei vertikale målingane på målebolt 2 varierer målingane mellom 3,20 – 3,44 mm, som gjev ein største forskjell på 0,24 mm. Fleire av desse målingane vert signifikante med den usikkerheita som er antatt. Den største hastigheita er på 0,2 mm/månad og er målt i tidsrommet april – mai 2015. Elles er det målt hastigheiter på omtrent 0,12 mm/år. Alle desse hastigheitene er svært små, bortsett frå hastigheita på 0,2 mm/månad i tidsrommet april-mai 2015 ved målebolt 2 – vertikal. Ei vidare vurdering rundt usikkerheita til rørsleregistreringar med bladsøker og om dei målte hastigheitene er reelle, kjem under kapittel 5, «Diskusjon» i avsnitt 5.4.



Figur 4-40. Resultatet av InSAR-data basert på ERS-data i tidsrommet 1993-1999. NGU står for all prosessering og resultat, der Marie Bredal (2017) har laga figuren. Sjøåsberget blir akkurat ikkje dekkja av InSAR. Rørslene i området nedanfor Sjøåsberget er målt i LOS til radaren, som er 22° frå vertikalplanet ned mot vest. Målingane er svært lite pålitelege på grunn av tett vegetasjon.

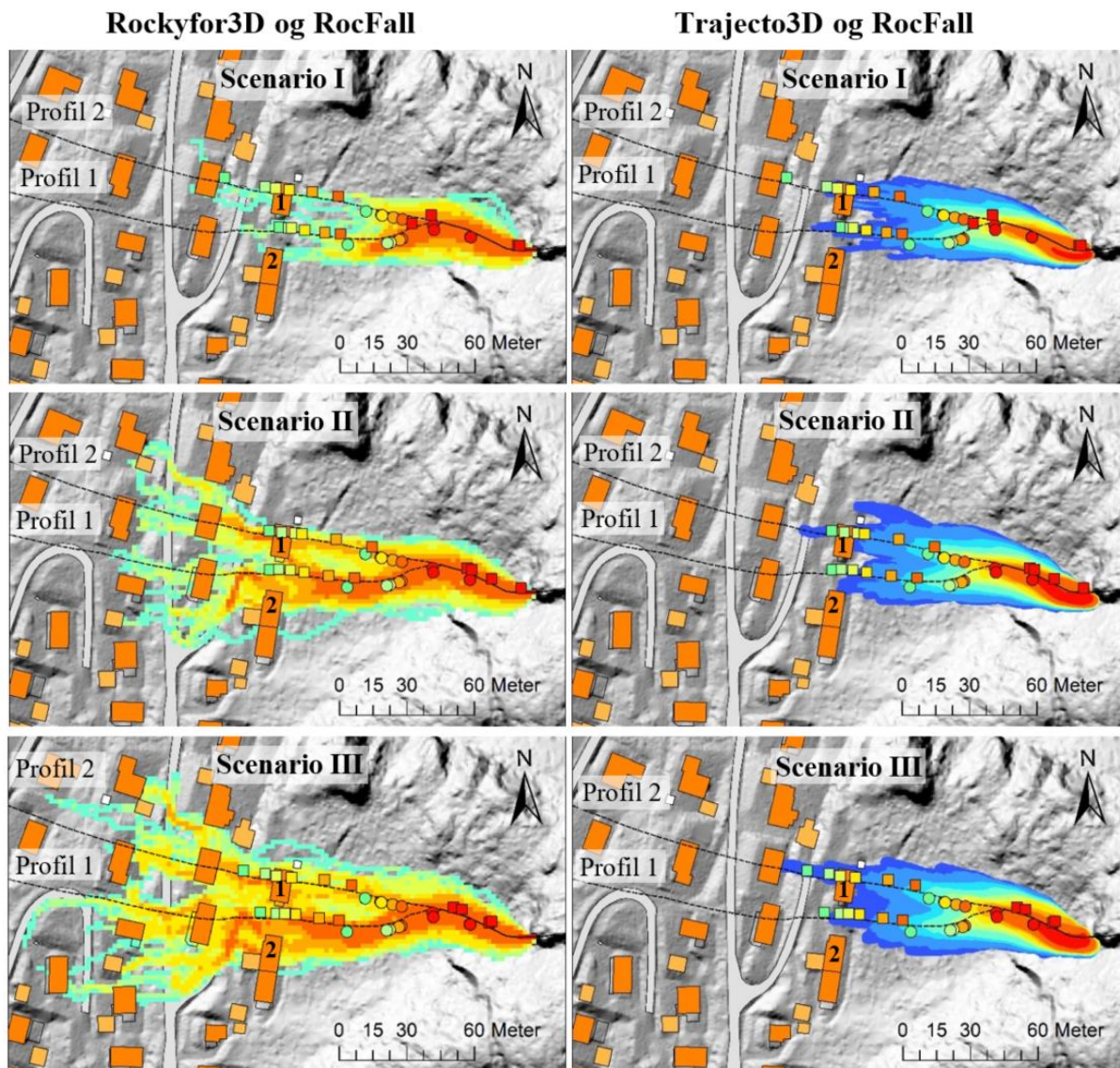
Figur 4-40 syner resultatet som NGU leverte av InSAR-data. Datasettet består av ERS-data i tidsrommet 1993 – 1999. Slik som figur 4-40 syner, så er det ikkje dekning av InSAR nettopp der Sjøåsberget er. Det er difor inga rørslemåling av sjølve Sjøåsberget. I området nedanfor Sjøåsberget, er det derimot nokre moglege rørsler i storleiksorden $-0,3$ til $-0,6$ mm/år. Rørsla er målt i line-of-sight (LOS) til radaren, med ei retning ca. 22° frå vertikalplanet ned mot vest. På grunn av tett vegetasjon er målingane svært lite pålitelege, og det er vanskeleg å kunne konkludere med noko sikkert ut av dette resultatet (Bredal, 2017).

4.6 Utløpsmodellering av steinsprang ved Sjøåsberget

For at dei tre utløpsmodellane skal kunne samanliknast er det ein fordel at dei viser det same og er tilnærma plotta på lik måte. Til det har den sannsynlege utløpsrekkevidda gitt i prosent («reach probability») vore eit utgangspunkt. For Rockyfor3D og Trajecto3D vil det seie talet av passerte blokker i eit visst område/celle delt på talet simuleringar (eventuelt multiplisert med talet av kjelder). Høge verdiar tilsvarar eit høgt sannsyn for at ei blokk passerer det gitte området, medan låge verdiar indikerer eit lågt sannsyn (Dorren, 2015). I RocFall får ein ikkje eit slikt plott automatisk, men heller ei frekvensbasert fordeling av steinsprangblokker langs profilet. For å gjere RocFall resultata om til ei slags sannsynleg utløpsrekkevidde, vart den frekvensbaserte fordelinga plotta som ei kumulativkurve gitt i prosent (Hermanns, 2017). Punktet i RocFall-profilet som er 100 % er der første blokka landar og alle andre blokker passerer. Tilsvarande blir 0,1 % lengst ute i RocFall-profilet der ei enkelt blokk vert liggande.

4.6.1 Sjøåsblokka sine tre scenario

Figur 4-41 er ei samanstilling av utløpsmodelleringa som er utført på Sjøåsblokka sine tre scenario, med modelleringsprogramma Rockyfor3D og Trajecto3D, samt RocFall sine to analysemetodar «lumped mass» og «rigid body». Den sannsynlege utløpsrekkevidda gitt i prosent, er tilpassa slik at lik farge tilsvarar likt sannsyn for alle tre modellane. Sidan det er brukt ulikt tal simuleringar til dei ulike modellane, er det ei nedre grense for kor lågt sannsyn den aktuelle modellen kan gi. For eksempel så kan ikkje Rockyfor3D gi noko lågare sannsyn enn 0,33 %, nettopp fordi eit utløp med ei enkelt blokk basert på 300 simuleringar frå ei enkelt kjelde ikkje kan gi noko lågare sannsyn. I RocFall simuleringa med «rigid body» kom det feilmeldingar der det i verste tilfelle er 70 – 80 % av kastebanene som blir stoppa på grunn av maksimum kalkulerings- eller kalkulasjonsstega vert overgått. Kva dette har å seie for resultatet blir vidare diskutert i avsnitt 5.5.2.



TEIKNFORKLARING

Sannsynleg utløpsrekkevidde [%]
Rockyfor3D og Trajecto3D

- | | |
|------------------|------------|
| □ 0 - 0,0001 | ■ 1 - 2 |
| ■ 0,0001 - 0,001 | ■ 2 - 5 |
| ■ 0,001 - 0,02 | ■ 5 - 10 |
| ■ 0,02 - 0,1 | ■ 10 - 50 |
| ■ 0,1 - 0,5 | ■ 50 - 100 |
| ■ 0,5 - 1 | |

-- RocFall-profil
«Lumped mass» [%]

- | | |
|-------|-------|
| ● 100 | ● 2 |
| ● 50 | ● 1 |
| ● 10 | ● 0,5 |
| ● 5 | ● 0,1 |

«Rigid body» [%]

- | | |
|-------|-------|
| ■ 100 | ■ 2 |
| ■ 50 | ■ 1 |
| ■ 10 | ■ 0,5 |
| ■ 5 | ■ 0,1 |

Figur 4-41. Sannsynleg utløpsrekkevidde av dei tre scenarioa til Sjåsblokka for dei tre modelleringsprogramma Rockyfor3D, Trajecto3D og RocFall («lumped mass» og «rigid body»). Resultatet til Trajecto3D er visualisert slik at ei enkelt kastebane har lik breidd som gjennomsnittsdiameteren til den simulerte blokka.

For «lumped mass»-analysen til RocFall er det inga endring i sannsynleg utløpsrekkevidde for dei tre scenarioa til Sjåsblokka (figur 4-41). I «rigid body»-analysen er det også stort sett den

same sannsynlege utløpsrekkevidda for alle tre scenarioa. Den same trenden gjeld også for Trajecto3D. Når det kjem til Rockyfor3D, er det heller stor variasjon i det maksimale utløpet for dei tre scenarioa. Minst utløp er det for scenario I (blokk på 18 m^3) og eit lengre utløp samt større spreieing i nedre del for scenario III (blokk på 108 m^3).

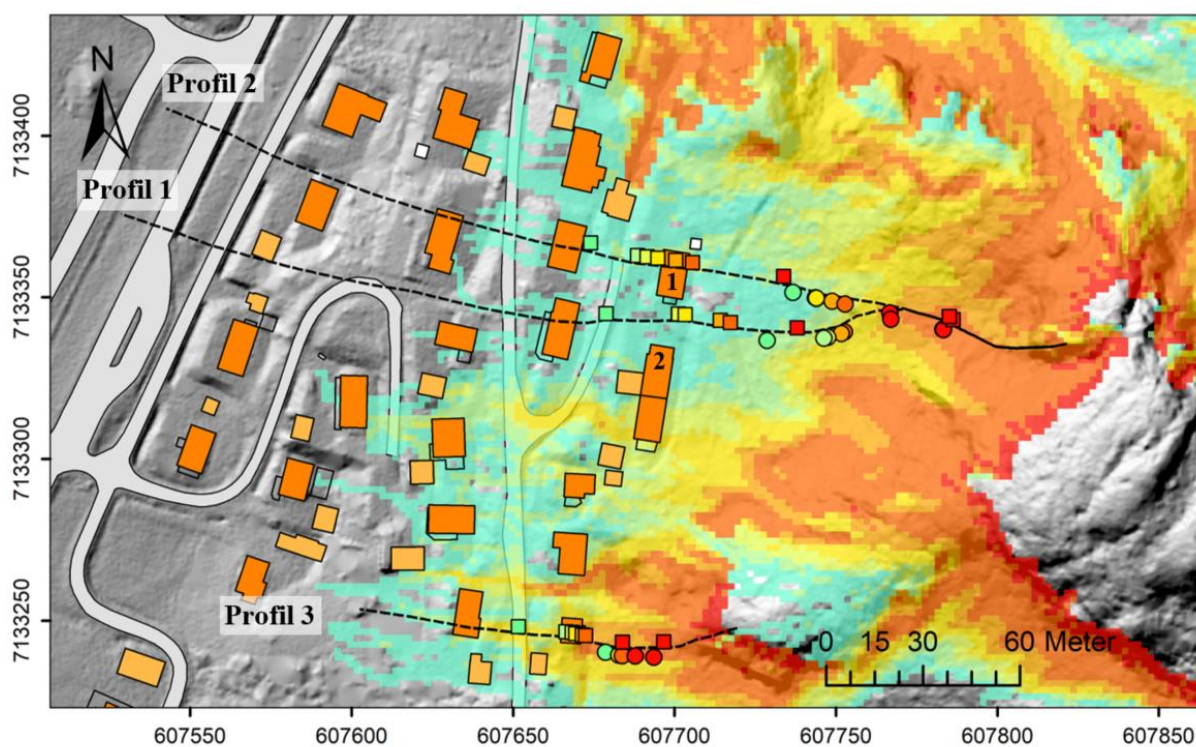
Samanliknar ein dei tre modellane basert på verdiane til den sannsynlege utløpsrekkevidda, kan ein trekke fram mange forskjellige observasjonar. For å nemne nokre:

- Trajecto3D og RocFall sin «lumped mass» har rimeleg like verdier og plassering av sannsynleg utløpsrekkevidde. Likevel har Trajecto3D jamt over noko lågare verdi enn «lumped mass». Forholdet mellom dei to modellane i sannsynleg utløpsrekkevidde er tjuufem gonger for scenario I, medan scenario III berre har tre gonger.
- RocFall sin «rigid body» går lengre ut enn «lumped mass». I omtrent same område der «lumped mass» har ei sannsynleg utløpsrekkevidde på 0,1 %, har «rigid body» tilsvarende 10 %. Forskjellen mellom dei to er ein hundre gonger.
- Sjølv utbreiinga av utløpa til Rockyfor3D og Trajecto3D er ganske så lik for scenario I. Rockyfor3D har nokre få lengre utløpsblokker. Samanliknar ein verdien som er rundt dei øvre husa, har «rigid body» eit sannsyn på 2 %, Rockyfor3D på 0,33 – 1 % medan Trajecto3D har sannsyn på $7,8 \times 10^{-4}$ %. Dette gjev ei sannsynleg utløpsrekkevidde som er meir enn tusen gonger mindre for Trajecto3D enn Rockyfor3D, og ti tusen gonger mindre enn «rigid body». Dersom ein derimot samanliknar lenger oppe der «lumped mass» har sitt utløp, er det faktisk ikkje så stor forskjell mellom Rockyfor3D og «lumped mass» samt Trajecto3D si sannsynlege utløpsrekkevidde. Sjølv om Rockyfor3D har det lengste utløpet for nokre få enkeltblokker, har «rigid body» det lengste utløpet når det kjem til høgre verdier på sannsynleg utløpsrekkevidde.
- Den aller største forskjellen blir mellom Rockyfor3D og Trajecto3D i scenario III. Her har Rockyfor3D verdier i den sannsynlege utløpsrekkevidda som går mykje lengre ut enn alle dei andre modelleringsprogramma. Tek ein utgangspunkt i det lengste utløpet til «rigid body» i profil 2 med ein 0,1 %, så har Trajecto3D til samanlikning 2×10^{-4} % og Rockyfor3D ein 10,7 %. Dette er ganske så store forskjellar i sannsynleg utløpsrekkevidde.

4.6.2 Generelt steinsprang frå Sjøåsberget

Ei samanstilling av resultatet frå ei generell steinsprangsimulering frå Sjøåsberget i Rockyfor3D og RocFall er gitt i figur 4-42. Ei ellipsoideforma-blokk på 1 m³ skal representere ein øvre *in-situ* blokkstørrelse basert på sprekke­data og registrerte feltblokker ved Sjøåsberget (tabell 4-4 og tabell 4-5). Kjeldeområdet er sett til å vere brattare eller lik 50° (figur 3-14).

Om ein samanliknar utløpet til det generelle steinspranget og scenarioa til Sjøåsblokka i RocFall (figur 4-41 og figur 4-42), er det for «lumped mass» inga endring noko utløp. For «rigid body» er det også stort sett det same. Enkeltblokker har det med å gå noko lengre ut, og for profil 2 er det også eit litt lengre utløp av dei høge verdiane av den sannsynlege utløpsrekkevidda.



TEIKNFORKLARING

Sannsynleg utløpsrekkevidde [%]

Rockyfor3D

□ 0 - 0,0001	■ 1 - 2
■ 0,0001 - 0,001	■ 2 - 5
■ 0,001 - 0,02	■ 5 - 10
■ 0,02 - 0,1	■ 10 - 50
■ 0,1 - 0,5	■ 50 - 100
■ 0,5 - 1	

-- RocFall-profil

«Lumped mass» [%]

● 100	● 2
● 50	● 1
● 10	● 0,5
● 5	● 0,1

«Rigid body» [%]

■ 100	■ 2
■ 50	■ 1
■ 10	■ 0,5
■ 5	■ 0,1

Figur 4-42. Simulering av eit generelt steinsprang på 1 m³ frå Sjøåsberget i Rockyfor3D og RocFall. Den sannsynlege utløpsrekkevidda er gjort 30 % transparent. Kjeldeområdet er $\geq 50^\circ$.

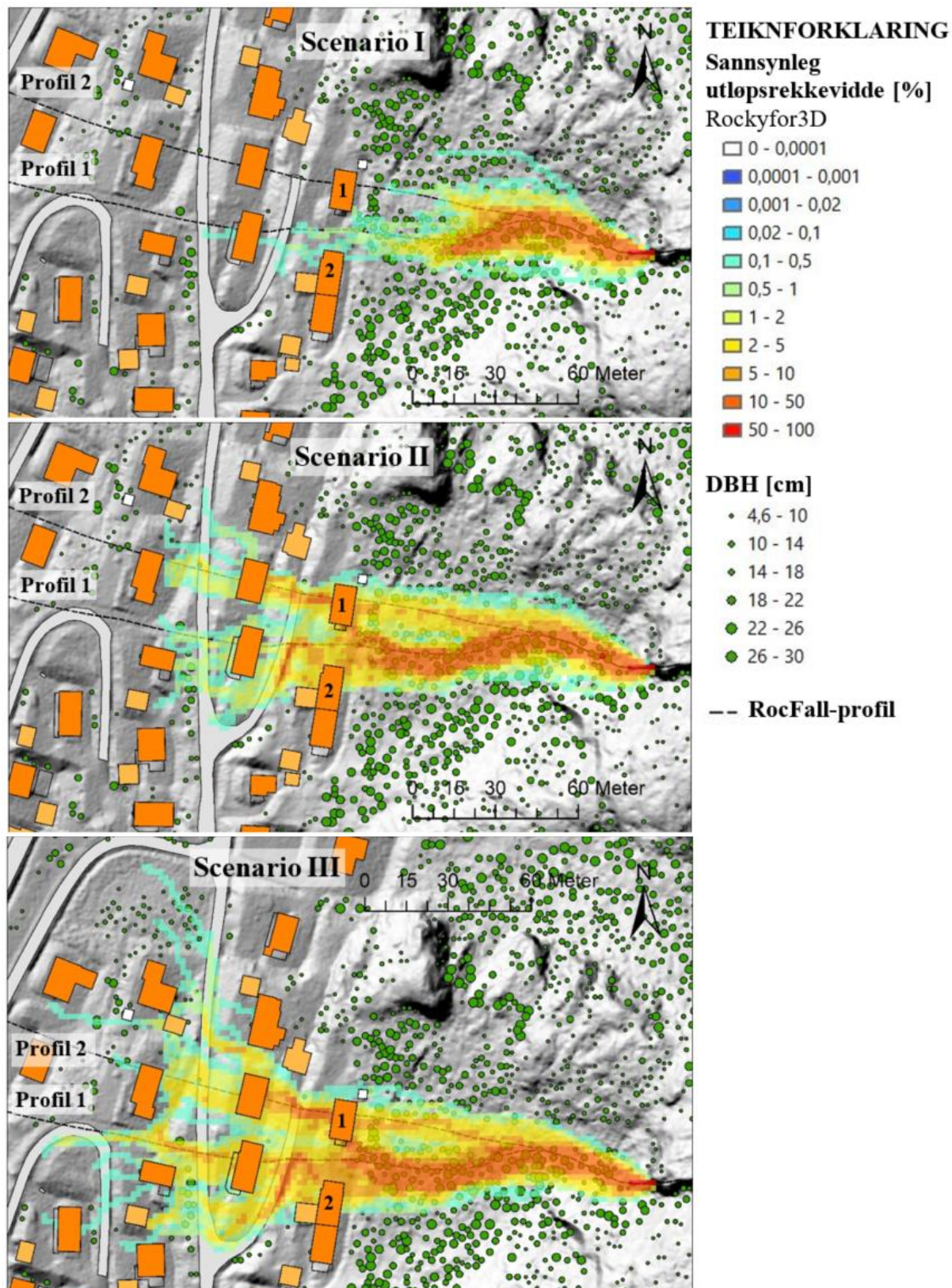
Igjen er det ein bra stor forskjell mellom utløpa og verdiar på den sannsynlege utløpsrekkevidda til RocFall sine to analysemetodar (figur 4-42). «Rigid body» går ganske mykje lengre ut også med høge verdiar på sannsynleg rekkevidde enn det «lumped mass» gjer. Til samanlikning har «rigid body» ei sannsynleg rekkevidde på 50 % i omtrent same område som «lumped mass» har 0,1 %. Rockyfor3D ei sannsynleg rekkevidde på 0,37 % her. For profil 1 og 2, så har Rockyfor3D og «lumped mass» rimeleg like verdiar av sannsynleg rekkevidde og utløp. Bortsett frå nokre enkeltblokker i Rockyfor3D som har eit enda lengre totalutløp enn «rigid body».

I profil 3 er det til motsetning best samhörighet mellom «rigid body» og Rockyfor3D sine utløp og sannsynleg rekkevidde (figur 4-42). Nok ein gong har Rockyfor3D enkeltblokker med lengst utløp. RocFall sin «lumped mass» får det kortaste utløpet ved profil 3.

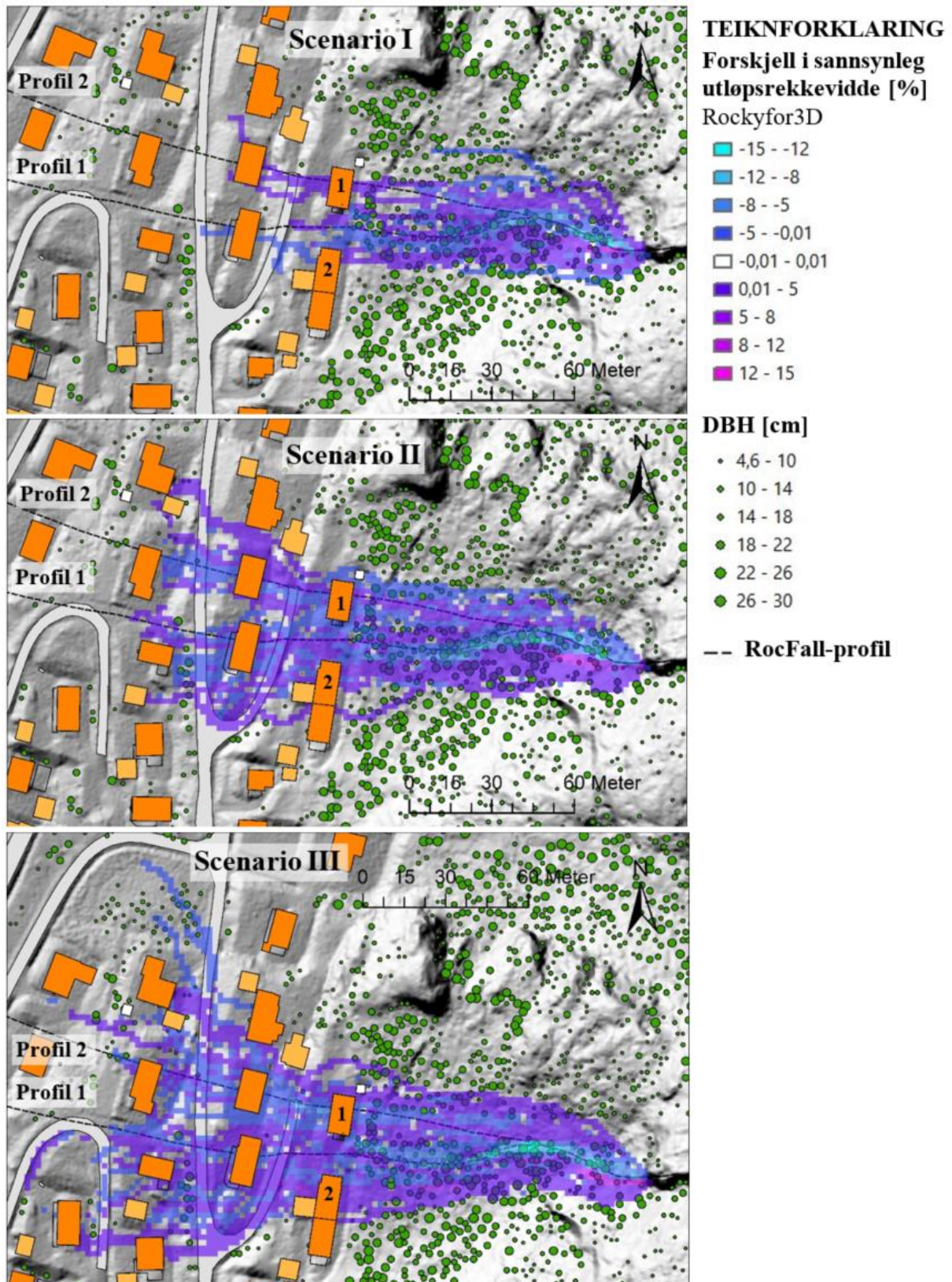
4.6.3 Verknad av skog

Skogen sin verknad på eventuelle steinsprang ved Sjøåsberget er analysert med simuleringssystema Rockyfor3D og RocFall. Fokuset har vore på kva forskjell skogen utgjer på utløpa til Sjøåsblokk-scenarioa samt ei generell steinsprangblokk på 1 m³.

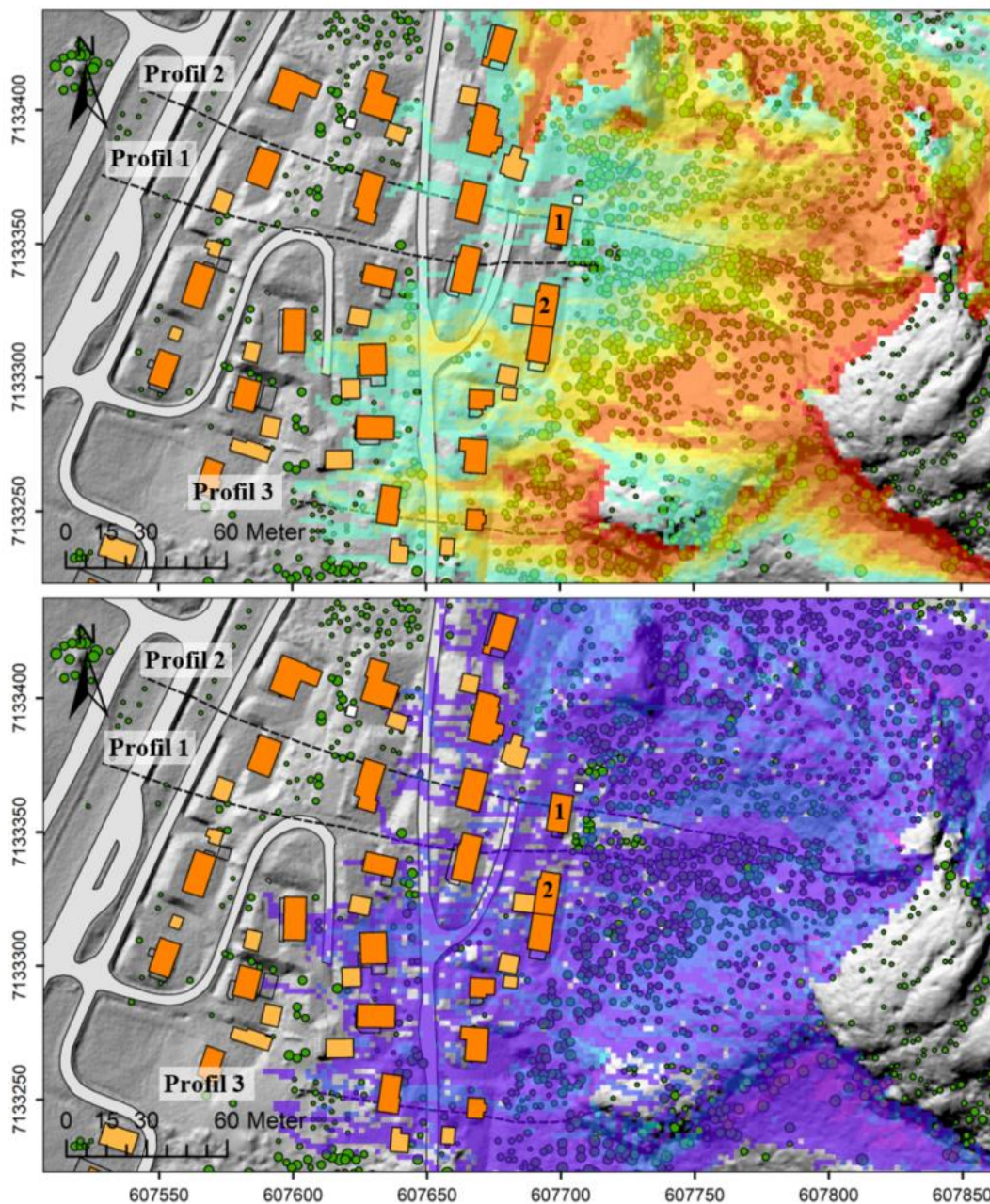
I figur 4-43 er skogen sin effekt inkludert i Rockyfor3D-simuleringa, og gjev ei ny sannsynleg utløpsrekkevidde for Sjøåsblokka sine tre scenario. Forskjellen i sannsynleg utløpsrekkevidde med og utan skog i Rockyfor3D er gitt i figur 4-44. Sidan utgangspunktet har vore simulering utan skog minus simulering med skog, vil negative verdiar indikerer ein auke i sannsynleg utløp og positive verdiar eit mindre sannsynleg utløp. Ein nullverdi tilsvarar likt sannsyn og har ingen farge. For dei tre scenarioa til Sjøåsblokka verkar det til at skogen sin effekt først og fremst endrar kvar det dominerande utløpet går, heller enn noko stor endring i utløpslengd. Spesielt for scenario I og II, men også litt scenario III, er det ein auke i sannsynleg rekkevidde på ca. 8 % langs med øvre del av profil 1. Scenario III verkar til å få noko smalare utløp der skogen er, men det er berre med ein 1 - 5 % mindre sannsyn. I utløpet nede ved byggefeltet, er det små endringar i sannsynleg rekkevidde. Scenario I og II har kanskje ein 0,3 - 2 % minka sannsyn og for scenario III på det meste 5 %. Samtidig så er det også auka sannsyn like ved i same storleiksgrad.



Figur 4-43. Sannsynleg utløpsrekkevidde for Sjøåsblokka sine tre scenario der effekten av skog er inkludert i simuleringa i Rockyfor3D.



Figur 4-44. Forskjellen i sannsynleg utløpsrekkevidde med og utan skog for Sjøåsblokka sine scenario i Rockyfor3D. Negative verdiar indikerer ei auke i sannsynleg utløp, på grunn av skogen. Medan positive verdiar indikerer eit mindre sannsynleg utløp. Ein nullverdi tilsvara likt sannsyn og er fargelaus.



TEIKNFORKLARING

Sannsynleg utløpsrekkevidde [%]

Rockyfor3D	
□ 0 - 0,0001	□ 1 - 2
□ 0,0001 - 0,001	□ 2 - 5
□ 0,001 - 0,02	□ 5 - 10
□ 0,02 - 0,1	□ 10 - 50
□ 0,1 - 0,5	□ 50 - 100
□ 0,5 - 1	

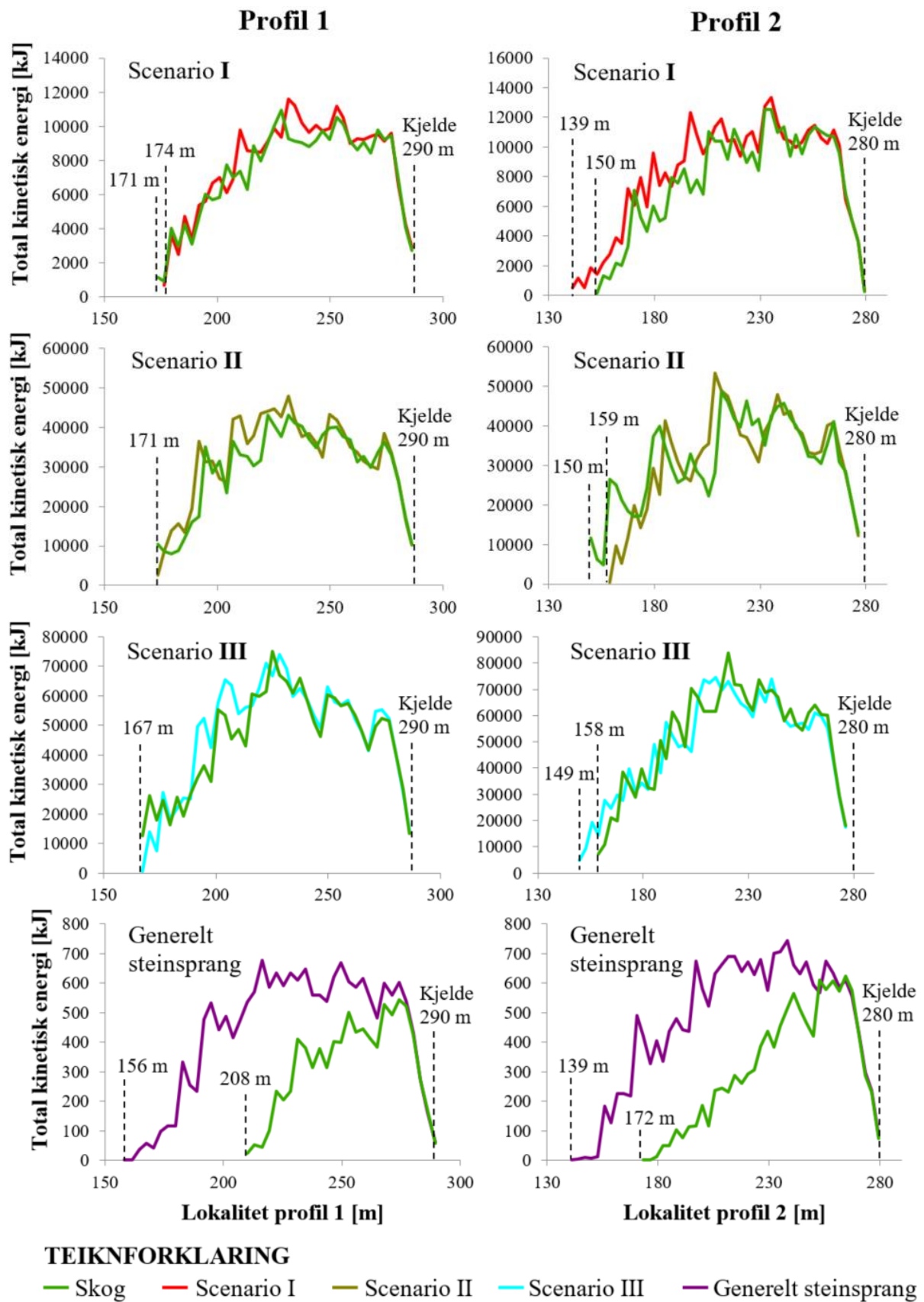
Forskjell i sannsynleg utløpsrekkevidde [%]

Rockyfor3D	
□ -80 - -50	□ 0,01 - 5
□ -50 - -20	□ 5 - 20
□ -20 - -5	□ 20 - 50
□ -5 - -0,01	□ 50 - 64
□ -0,01 - 0,01	

-- RocFall-profil DBH [cm]

- 4,6 - 10
- 10 - 14
- ◆ 14 - 18
- ◆ 18 - 22
- ◆ 22 - 26
- ◆ 26 - 30

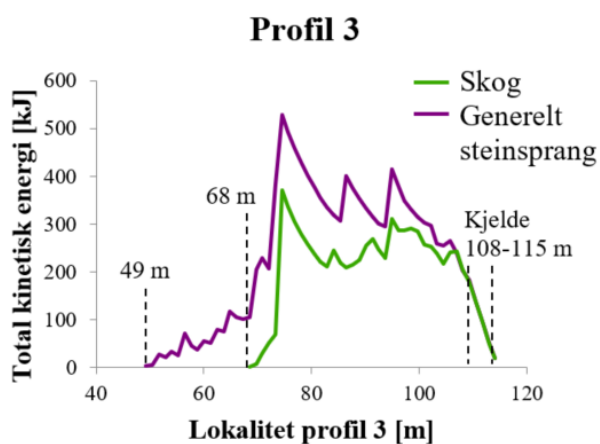
Figur 4-45. Effekten av skog på ei generell steinsprangblokk ved Sjøåsberget modellert i Rockyfor3D. Øvre del av figuren er sannsynleg utløpsrekkevidde, og nedre del er forskjell i sannsynleg utløpsrekkevidde med og utan skog. Negative verdiar indikerer ei auke i sannsynleg utløp, medan positive verdiar indikerer eit mindre sannsynleg utløp. Ein nullverdi tilsvara likt sannsyn, og har ingen farge.



Figur 4-46. Den totale kinetiske energien for dei ulike scenarioa simulert med og utan skog ved profil 1 og profil 2 i RocFall. Kvart kjeldepunktet er for dei ulike profila er markert på graften. Det same er lengste utløp for simulering med og utan skog.

Skogen sin effekt på ei generell steinsprangblokk ved Sjøåsberget er gitt i figur 4-45. Jamt over så er det ein auke i sannsynleg rekkevidde i dei øvre delane av skråninga, og ei mindre sannsynleg rekkevidde i dei nedre delane av utløpet. Likevel er der enkelte område i byggefeltet som får eit auka sannsyn.

Ved simulering av skog i RocFall må analysemetoden «rigid body» nyttast. I resultatet frå RocFall er endringa i total kinetisk energi med og utan skog samt ei eventuell endring i utløpet vurdert (figur 4-46). Det er liten eller nesten ingen forskjell i total kinetisk energi eller ytre utløp for alle tre scenarioa til Sjøåsblokka ved profil 1 og 2. For eit generelt steinsprang derimot, har skogen ein langt større effekt der den totale kinetiske energien gravis minskar og resulterer i eit kortare ytre utløp. Den same trenden er å finne for profil 3 (figur 4-47). Forskjellen i ytre utløp for det generelle steinspranget i profil 1 er på ein 52 m, profil 2 har 33 m og profil 3 har ein 19 m. I forhold til det originale utløpet tilsvarar dette ein reduksjon høvesvis på 39 %, 23 % og 30 % av ytre utløp.



Figur 4-47. Total kinetisk energi for RocFall simulering med og utan skog i profil 3.

I tabell 4-18 er det lista opp luftlinjedistansen og profillengd frå kjeldepunktet til Sjøåsblokka til nærmaste husrekke. I tillegg er det oppgitt lengda av skog som er langs det aktuelle profilet. For luftlinja og profil 1 er skogslengda i underkant av hundre meter. Der grøfta er plassert er det ei opning i vegetasjonen på om lag fem meter. Den korte distansen av skog i profil 2 på 43 m kjem på grunn av vegetasjonsopninga under kraftlinja. Kjeldeområdet til Sjøåsblokka er eit av dei områda som har lengst distanse frå husa. For den generelle steinsprang modelleringa vil fleire kjeldeområder ha ein kortare distanse til husrekka enn det Sjøåsblokka har. Følgjeleg vil også lengda av skog i fallretninga vere kortare. Profil 3 har for eksempel ei skogslengde på 25 m og ein distanse på 45 m til nærmaste hus.

Tabell 4-18. Distansar frå diverse kjeldepunkt til næraste husrekke og tilhøyrande lengd av skog langs profil.

Avstand	Kjeldepunkt – 1. husrekke [m]	Lengd skog [m]
Sjøåsblokka - Luftlinje	108	95
Profil 1	113	90
Profil 2	112	43
Profil 3	45	25

4.7 Farevurdering – Sjøåsblokka

I farevurderinga for Sjøåsblokka blir det lite hensiktsmessig å trekke noko samanhengande faresonegrense basert på tryggleikskrava frå TEK17. Dette har med at det er ei enkelt blokk som er vurdert og ikkje ei samla farevurdering for steinsprang generelt frå Sjøåsberget, som vil ha ei anna framgangsmetode enn det som er nytta i denne oppgåva.

I tabell 4-19 er det gitt oversikt over resultatet frå farevurderinga av Sjøåsblokka. Fokuset vore på dei to øvre husa nærmast Sjøåsberget, der nummereringa av dei kjem fram i figur 4-1 samt elles i utløpsmodelleringa. Den høgste verdien frå dei tre scenarioa til Sjøåsblokka som simuleringsmodellane har gitt på sannsynleg rekkevidde inni husa er nytta. For RocFall sitt tilfelle kan dette bli i linje med huset si plassering. Verdiane frå simuleringa med skog er nytta for Rockyfor3D som også er den modellen med mest konservative verdiar på sannsynleg utløpsrekkevidde. Der er ingen simulerte kastebaner frå RocFall «lumped mass» som kjem nærme nok husa til at utløpet frå simuleringsmodellen kjem med i farevurderinga til Sjøåsblokka. På grunn av usikkerheita rundt defineringa av levetida til bustadhus, er levetider på 50 år, 60 år og 100 år blitt vurdert. I ei slik vurdering kjem det fram at bustadhus med levetid på 50 år gjev dei mest konservative verdiane på årleg sannsyn for steinsprang frå Sjøåsblokka.

Begge dei to øvre husa nærme Sjøåsberget har eit årleg sannsyn for steinsprang frå Sjøåsblokka som er langt mindre enn krava i tryggleiksklassa for bustadhus S2 med 1×10^{-3} (tabell 2-6 og tabell 4-19). I følgje denne vurderinga er det difor ikkje naudsynt med noko vidare sikring av eller på grunn av Sjøåsblokka når det kjem til eksisterande busetnad ved Sjøåsen.

For at Rockyfor3D skulle ha gitt eit årleg sannsyn som overskrid TEK17 si S2 tryggleiksklasse for hus nr. 1, må levetida til bustadhus vere sett til 50 år og sannsynet for brot

vere større enn 0,37. Dette vil seie at meir enn 3700 av 10 000 Sjøåsblokker rasar ut. Eit slikt sannsyn er ganske langt unna resultatet frå den probabilistiske analysen av Sjøåsblokka (tabell 4-19 og avsnitt 4.4.7).

Tabell 4-19. Resultat av farevurdering frå Sjøåsblokka for dei øvre husa nærmast Sjøåsberget. Lokaliteten til husa er gitt ut i frå figur 4-1. Raudt tal gir det mest konservative estimatet av årleg sannsyn for steinsprang frå Sjøåsblokka.

Simulerings- program for utløp av Sjøåsblokka	Sannsyn for brot	Sannsynleg rekkevidde	Akk. sannsynleg rekkevidde	Årleg sannsyn for steinsprang frå Sjøåsblokka i levetid til bustadhus		
				50 år	60 år	100 år
HUS NR. 1						
RocFall «rigid body»	1 x 10 ⁻⁴	2 x 10 ⁻²	2 x 10 ⁻⁶	4 x 10 ⁻⁸	3,3 x 10 ⁻⁸	2 x 10 ⁻⁸
Rockyfor3D		1,3 x 10 ⁻¹	1,3 x 10 ⁻⁵	2,7 x 10 ⁻⁷	2,2 x 10 ⁻⁷	1,3 x 10 ⁻⁷
Trajecto3D		8,3 x 10 ⁻⁶	8,3 x 10 ⁻¹⁰	1,7 x 10 ⁻¹¹	1,4 x 10 ⁻¹¹	8,3 x 10 ⁻¹²
HUS NR. 2						
RocFall «rigid body»	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻²	1 x 10 ⁻⁶	2 x 10 ⁻⁸	1,7 x 10 ⁻⁸	1 x 10 ⁻⁸
Rockyfor3D		9 x 10 ⁻²	9 x 10 ⁻⁶	1,8 x 10 ⁻⁷	1,5 x 10 ⁻⁷	9 x 10 ⁻⁸
Trajecto3D		2,1 x 10 ⁻⁶	2,1 x 10 ⁻¹⁰	4,2 x 10 ⁻¹²	3,5 x 10 ⁻¹²	2,1 x 10 ⁻¹²

5 Diskusjon

5.1 Med geologien som premiss

Kvaliteten av geologi-relaterte data er viktig i valet av løysing til ei ingeniørgeologisk problemstilling, ettersom det dannar grunnlaget for dei estimat og kalkuleringar som blir gjort. Kvaliteten kan i hovudsak knytast opp til to punkt (Nilsen og Palmström, 2000):

- Forståing og tolking av den geologiske settinga.
- Metodane ein nyttar i bruken av dei geologi-relaterte datasetta.

At der har vore ein viss steinsprang- og steinskredaktivitet ved Sjøåsberget kjem fram med blokker som ligg stabla på kvarandre nærme fjellsida og har blitt tolka som ur og steinsprangavsetning (figur 3-16 og tabell 3-3). Kva tidsrom mesteparten av desse blokkene eventuelt kan ha kome ned er heller usikkert. Det kan vere alt i frå tiår til fleire tusen år tilbake i tid. Heilt sidan då Sjøåsberget truleg kom over havnivået rundt 7500 år før notid (Sveian, 1991). Uansett er det mykje som tydar på at Sjøåsberget i dag er ei lite aktiv fjellside med ingen kjende steinspranghendingar og få feltobservasjonar av relativt *resente* steinsprang (figur 4-1). Det er observert eit lysare parti i fjellsida som kan vitne om ei *resent* hending (figur 4-23). Desse få observasjonane er kjenneteikna med små volum, korte utløp eller eit potensielt kjeldeområde med så pass låg potensiell energi at det blir vurdert til vere liten fare knytt til desse.

Det er også vanskeleg å avgjere om blokkene eventuelt kan ha kome ned som større skredhending eller som enkeltblokker frå steinsprang. Ura verkar ikkje til å vere spesielt tjukk, har ei lite tydelig sortering, og er stadvis usamanhengande. Grensa som er sett mellom ur og morene i figur 3-16 er eit forsøk på å følgje terrenngkiljet mellom desse lausmassetypane. Det var fleire enkeltblokker som kan bli tolka som lengste utløpsblokker frå steinsprang på morenen. Derimot var det utfordrande å skilje steinsprangblokker frå blokker med glasialt opphav eller som kunne vere påverka av menneskeleg aktivitet. Nokre blokker som verka til å ligge opp på terrenget var ofte for nærme dreneringsgrøfta, der dei kan ha blitt grave opp og flytta på under danninga av den (figur 4-1). Andre blokker hadde eit så kantrunda preg at det kunne minne sterkt om glasiale prosessar. Sør for Sjøåsen finst det også nokre bratte skrentar av granittisk gneis (figur 1-5). Med tanke på at dei siste istidsrørsler har kome i frå sør, kan det tenkast at den lokale morenen ved Sjøåsen kan innehalde korttransporterte steinsprangblokker frå isbreen sine siste framstøyt (figur 1-6). Liknande store

blokker, lik den som blei grave ut av plenen ved Sjøåsen (figur 1-7), har også blitt observert i morenen lenger sør for Sjøåsen. For det meste var også desse blokkene delvis begravd i terrenget. Kartlegginga av lengste utløpsblokker ved Sjøåsberget blei difor ikkje prioritert under feltarbeidet, fordi kvaliteten av datasettet verka til å kunne bli for usikkert.

Sidan store delar av Sjøåsberget faktisk var tilgjengeleg å kome til i felt, blei fokuset heller retta mot å identifisere og evaluere potensielle ustabile parti som kan utgjere ein fare i dag, enn kva som har vore opp igjennom tida. Ved å ha ei slik tilnærming kan det bli utfordrande å utføre ei fullstendig farevurdering med faresoner, nettopp på grunn av manglande temporal informasjon som er noko tryggleiksklassene i TEK17 baserer seg på (tabell 2-6). Den einaste metoden for å direkte utleie den *ekte* faren i små områder, er via tidlegare skredhendingar (Volkwein, *et al.*, 2011).

5.2 Potensielt ustabile parti og scenario ved Sjøåsberget

Avgrensinga og volumestimata til partia og scenarioa via kartlegging i ArcMap kan vere noko upresis. Spesielt dei mindre partia og scenarioa kjem ikkje like tydeleg fram som større strukturar på LiDAR-kart og høgdekoter når det kjem til avgrensing. Dette kan også føre til at skråningsorienteringa via «Zonal Statistics» vert meir usikker for dei små partia. I tillegg går avgrensinga i eit hellande terreng som til tider er vertikalt. Volumberekningane som baserer seg på arealet henta ut i frå ArcMap blir ikkje korrigert for ei hellande skråning. Likevel er det fleire volumberekningar frå areal-metoden og prismatisk feltobservasjon-metoden som får tilnærma likt resultat (tabell 4-8). Så dette treng ikkje å ha alt for mykje å seie.

Sidan startpunktet til dei uthaldande sprekkene i profiloverflata er i skjeringspunktet mellom lengdeprofilen og sprekkene si overflatekartlegging, kan ein kartleggingsfeil i horisontalen fort gjere utslag i eit hellande og vertikalt terreng. I vedlegg D «Korrigererte lengdeprofilar» har startpunktet til sprekkene blitt forsøkt korrigert for ein eventuell kartleggingsfeil. I horisontalen er sprekkene flytta 1-3 m alt ettersom. Sprekkene ved profil E er dei som får størst korreksjon. Ei korrigert S1-45m-sprekke vil jamt over «gå ut» lenger nede i terrenget enn tidlegare anslått (figur 4-11 og vedlegg D). For profil B og C utgjør dette ein 8 – 10 m lenger ned, og for profil A ein 4 m.

Under feltarbeidet verka det ikkje heilt sannsynleg at S1-45m-sprekke skulle «gå ut i dagen», men fordi det var vanskeleg å få oversikt blei det laga lengdeprofilar over Sjøåsberget. Ein ikkje så alt for stor forskjell i sprekestartpunkt i profiloverflata samt endring i fall-gradene

kan fort ha mykje å seie om sprekkane teoretisk går «ut i dagen» eller ikkje og kvar ho eventuelt vil «gå ut». I tillegg er det berre gjennomsnittet av sprekkane som er plotta og ikkje standardavviket. Hadde standardavviket også vore plotta hadde det vore langt større variasjon i kvar sprekkane teoretisk kan «gå ut» i terrenget. Uansett verkar det til at S1-45m-sprekkane har eit potensial til å «gå ut i dagen», og kan vere forklarande til sprekkene i front av Sjøåsberget som er i underkant av overhenga (figur 4-17).

Ved Sjøåsberget var det Sjøåsblokka som verka mest potensielt ustabil og fekk difor ein meir detaljert stabilitetsanalyse i form av stabilitetsberekning. Etter utført feltarbeid 10. oktober 2017 kom det fram at Sjøåsberget scenario A verka lite sannsynleg på grunn av manglande sprekkavgrensing i bakkant, samt at scenario B mest truleg har eit sørleg glideplan (GP-S) som går saman med Sjøåsblokka (GP-S). Denne store opne sprekkane i front av Sjøåsberget, tidlegare tolka som nordleg avgrensing til Scenario A, kan bli forklart med to tilnærma parallelle sprekkane som går oppover i terrenget der materiale mellom dei to sprekkene har falle ut (figur 4-17 og figur 4-18) (figur 5-1).



Figur 5-1. Oppe i front av Sjøåsberget der den store opne sprekkane er.

Scenario B vil få eit mindre volum ettersom scenario A ikkje verkar spesielt sannsynleg. Sjølv om glideplanet til scenario B truleg har ein samanheng med sprekkene som dannar Sjøåsblokka GP-S, treng det ikkje vere spesielt ustabil av den grunn. Denne «bergfoten» i front av Sjøåsberget verkar til å ha ein støttande effekt på Sjøåsblokka, der den blant anna får det sørlege glideplanet til å flate ut i front (figur 4-17). Det er fullt mogleg at «bergfoten» også kan ha ein støttande effekt på scenario B, der det sørlege glideplanet vert «hindra» i å gå direkte «ut i dagen». I følgje dei kinematiske analysane til scenario A og B er det delvis mogleg med ei utvelting frå sprekker som er parallell med foliasjonen (figur 4-26 og figur 4-27). Foliasjonen ved Sjøåsberget er svak og det er få sprekker som verka direkte knytt til foliasjon. Likevel er det mogleg at enkelte blokker nedanfor Sjøåsberget tidlegare har gått ut på grunn av dette (figur 5-1).

Så lenge der ikkje er ei endring i blokkene som støttar opp parti C i front, så er det liten grunn til å vurdere parti C som spesielt ustabil (figur 4-22). Det same gjeld parti D der ingen av dei spesifikke glideplana til partiet kom ut som kinematisk mogeleg (figur 4-29). Det nordlege glideplanet som også blir ei lateral utløysingsflate for ei eventuell planutgliding er lite utvikla (figur 4-23).

5.3 Detaljert stabilitetsanalyse av Sjøåsblokka

I stabilitetsanalysane av Sjøåsblokka blei det antatt ein berg-mot-berg kontakt mellom Sjøåsblokka og glideplana. Observasjonar frå feltarbeid støttar under antagelsen med at der ikkje var tendens til belegg på glideplana (les avsnitt 4.2.2). Om det så skulle vere noko forvittringsmateriale på glideplana blir det antatt å ha ein særleg liten effekt på stabiliteten, nettopp fordi laboratorieanalysane på forvittringsmaterialet gav uttrykk for at det ikkje er eit aktivt svellande materiale (les avsnitt 4.1.2) (Nilsen, 2017b).

I den deterministiske analysen blei forholdet mellom summen av dei stabiliserande kreftene og summen av drivande krefter ($\Sigma R_d / \Sigma F_d$) for alle settingane liggande på ein verdi mellom 4 og 5. Dette indikerer ein særleg stabil tilstand, sjølv for den minst gunstige settinga med ein verdi på 4,25. Sannsynet for at det kraftigaste jordskjelvet skjer samstundes med kraftig regnskur er ein setting som lite truleg kan skje (Nilsen, 2000). Det at Swedge gjer kalkulasjonar med ein karakteristisk aktiv friksjonsvinkel (φ_{ka}) lik 70° , sjølv om det i «prinsippet» var høgre, fører til at analysen kan bli betrakta som meir konservativ.

Resultatet i den probabilistiske analysen av Sjøåsblokka gav eit sannsyn for kollaps lik 0,0001 eller 0,01 %, som vil seie at 1 av 10 000 Sjøåsblokker vil kunne rase ut. Dette er eit ekstremt lågt sannsyn som nesten er tilnærma lik null. I frå sannsynsfordelinga av $\Sigma R_d / \Sigma F_d$ blir gjennomsnittet ein 3,90 (figur 4-37). Noko som er verdt å merke seg er at sannsynsfordelinga strekk seg over eit stort rang av $\Sigma R_d / \Sigma F_d$ -verdiar, som også har ein høg talverdi (figur 4-37 og figur 4-38). Dette kan tenkast er eit resultat av ein brei variasjon i sannsynsfordelinga til nokre av innputt parametrane. Ideelt sett så skulle det ha blitt gjort grundige statistiske analyser på parameterfordelinga slik Kveldsvik, *et al.* (2008) gjer til den probabilistiske analysen. Dette blei for omfattande og tidkrevjande og som ei forenkling blei typane av sannsynsfordeling basert på skjønn.

Fleire parameter kunne gjerne ha blitt plotta i sensitivitetsanalysen for Sjøåsblokka (figur 4-36). I staden blei heller fokuset retta mot to spesifikke parameter som blir omtalt til å påverke stabiliteten i stor grad. Nilsen og Palmström (2000) nemner sprekkfriksjon og vasstrykk, der Kveldsvik, *et al.* (2008) trekk fram *JRC* («Joint Roughness Coefficient») som den parameteren med størst effekt på sikkerheitsfaktoren. I sensitivitetsanalysen for Sjøåsblokka kom det fram at endringar i vasstrykk heller vil ha ein positiv effekt, noko som er naturleg når utgangspunktet var det minst gunstige med eit vasstrykk på alt 100 %. Det at *JRC*-verdien til det sørlege glideplanet (GP-S) påverkar meir enn det nordlege glideplanet (GP-N), kan tenkast kjem av kilegeometrien med tilhøyrande orientering av glideplana og der normalspenninga (σ_n) til GP-S er høgare enn GP-N (tabell 4-17).

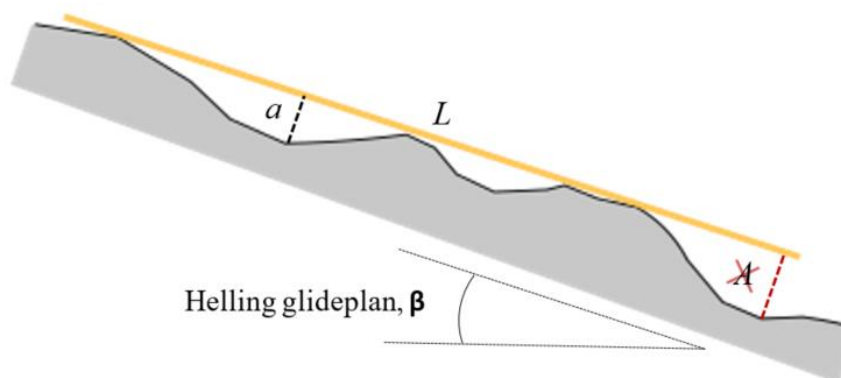
Med tanke på at det så langt ikkje er registrert signifikante rørsler ved Sjøåsblokka (figur 4-39 og avsnitt 5.4), samt at Sjøåsblokka ikkje var så sprekkavløyst som først antatt (figur 4-14), støtter dette opp under resultata frå stabilitetsanalysen på Sjøåsblokka. Nettopp at Sjøåsblokka per i dag har ein stabil tilstand. Dette er med føresetnad av at feltarbeid, parameter innputt og at dei tolkingar og antagelsar som er gjort, er fornuftige og representerer situasjonen til Sjøåsblokka på ein god måte. Kveldsvik, *et al.* (2008) og Nilsen og Palmström (2000) trekk fram kvantifiseringa av inngangsparameter som ein essensiell og kritisk del av ei stabilitetsanalyse. Dette gjeld alle metodar for stabilitetsanalyse. Er datagrunnlaget for tynt kan dette føre til ekstrapolering av data frå ein lokalitet til ein annan. Ein går ut i frå meir eller dreg konklusjonar på for tynne grunnlag. I tillegg kan det vere systematiske og tilfeldige feil i parameterverdiane som følgje av innsamlingsteknikk, apparat og menneskelege feil. Alt dette vil kunne vere potensielle feilkjelder. Ideelt sett bør det vere ei omfattande datainnsamling frå

studieområdet. Dette for å handtere dei geotekniske variasjonane av eigenskapar på grunn av bergmassen sin typiske inhomogenitet og diskontinuitetar (Kveldsvik, *et al.*, 2008). Vidare blir difor fleire av inngangsparameterane gått igjennom og diskutert.

5.3.1 «Joint Roughness Coefficient», *JRC*

I tillegg til at *JRC* hadde størst effekt på sikkerhetsfaktoren, fann Kveldsvik, *et al.* (2008) også ut at *JRC* var ein sentral bidragsytar av den totale usikkerheita i settet av parametervariablar i den probabilistiske analysen. I frå feltmålingane med *a/L*-metoden vart *JRC*-skalaen ofte sprengd. Desse målingane vart sett vekk ifrå i den vidare stabilitetsanalysen, noko som også kan gjere analysane meir konservative. Med eit så tynt *JRC*-datasettet blir dette fort eit stort usikkert momentet og mogleg svakheit til den detaljerte stabilitetsanalysen av Sjøåsblokka. Vidare vil det bli peikt på to moglege grunnar til at *JRC*-verdiane kan ha blitt estimert for høgt:

1. Når ein nyttar *a/L*-metoden til å estimere *JRC*, måler ein ruheitsamplituden (*a*) langs ein målestokk med lengda (*L*) (Grøneng og Nilsen, 2009). I somme høve er sprekkeflatene så undulerande at situasjonen skissert i figur 5-2 kan oppstå. Då er det i følgje Nilsen (2017b) vanleg praksis at ruheitsamplituden *a* er den som blir registrert, og ei *A*-måling blir eliminert. Feltemålingane av *JRC* blei samla inn og vidare analysert før forfatternen blei merksam på denne praksisen. Det er difor fullt mogleg at datasettet kan innehalde *A*-målingar med ein større amplitude enn ei eventuell *a*-måling. Dette blir i så fall ein eventuell systematisk feil frå innsamlingsteknikken i felt. Av følgjande litteratur som det her er gått igjennom, er det ISRM (1978a); Kveldsvik, *et al.* (2008) og Grøneng og Nilsen (2009) som skildrar utføringa av *a/L*-metoden i felt mest grundig. Derimot er det ingen av desse som spesifikt nemner denne praksisen Nilsen (2017b) opplyser om. Barton (1981) og Barton og Bandis (1990) omtalar *a/L*-metoden, men går ikkje noko vidare inn på feltutføringa.
2. I felt vart det ikkje alltid høve til å gjere *a/L*-målingar med *L* lik 1 m. I 10 av totalt 38 målingar blei *L* redusert til 0,52 m. Kveldsvik, *et al.* (2008), erfarte at ein måleskala med *L* lik 0,25 m gav høgare verdi på *JRC* og større spreieing av resultatet, enn når *L* er lik 1 m. Nettopp på grunn av dette, kan det difor vere noko høgare *JRC*-verdiar i datasettet til Sjøåsblokka.



Figur 5-2. Prinsippskisse av a/L -metoden på undulerande glideplan. Målestokken har ei lengd L , der a er den største amplituden mellom målestokken og glideplanet. I følge Nilsen (2017b) er det praksis å eliminere ut dei ytre målingane slik A vert i dette tilfellet.

I ei enkel sensitivitetsanalyse med manuell parameterjustering i den minst gunstige settinga, må JRC til begge glideplana senkast til ein rundt 2 for å nå ein likevektstilstand. Alle andre parameter blir i det tilfellet sett til ein gjennomsnittsverdi. Ein så låg JRC -verdi vil i så fall tilsvare ei glatt og plan glideflate (figur 2-3), noko som ikkje verkar til å vere spesielt representativt for forholda ved Sjøåsblokka (for eksempel sjå figur 3-1, figur 3-5, figur 4-12 og figur 4-15). Generelt sett er det heller ingen eller særst få sprekker som kunne ha gått innanfor den kategorien om ein tek i betraktning Sjøåsberget totalt (figur 4-8).

Ein må vere klar over at ISRM (1978a) tilrår å vere forsiktig når ein nyttar a/L -metoden på avsatsar og hakk som deler diskontinuitetsoverflata opp i fleire parallelle plan. Dette er eit teikn på manglande sprekke-utholdenheit. Vidare påpeikar Kveldsvik, *et al.* (2008) at a/L -metoden ikkje tek omsyn til andre ruheits-relaterte eigenskapar til sprekkeflata. Dette kan vere kva grad sprekkeoverflatene samsvarar eller ikkje og korleis morfologien til overflata er. For Sjøåsblokka har det blitt antatt at a/L -metoden var det beste alternativet sidan glideplanet delvis var tilgjengeleg for målingar *in-situ* på sprekkeflata.

Med så få restmålingar av JRC og uviss fordeling av sannsynet, verkar det mest hensiktsmessig å nytte ei triangulær sannsynsfordeling slik Wyllie og Mah (2004) tilrår (figur 4-32).

5.3.2 Rekylverdiane R , r og JCS frå Schmidhammer-måling

Stort sett var det tørre forhold under feltinnsamlinga (tabell 4-15). Dette er ikkje heilt ideelt for å estimere dei mest konservative verdiane på r (våt og forvitra) og JCS («Joint

Compressive Strength») (Grøneng og Nilsen, 2009; Barton og Choubey, 1977). Blant anna blir forholdet mellom r og R mindre (likning 2.11) (Kveldsvik, *et al.*, 2008). Derimot, blei r/R -forholdet noko betra ved å nytte R (tørr og uforvitra) frå bergblokka til laboratorieanalysane. Visse deler av blokka verka langt mindre prega av forvittringsprosessar enn det sprekkeflatene frå studieområdet var. For å få dei målingane som verka til å representerte R best, blei talet av målingar noko mindre enn det som blir tilrådd.

Sjøåsblokka sine to glideplan fekk ein JCS -verdi på rundt 120 MPa (tabell 4-15). Dette er noko høgare enn resultatet på einaksial trykkfastheit (σ_c) til intakt berg med 115 MPa (tabell 4-1). I følgje Grøneng og Nilsen (2009) er JCS lågare enn σ_c på grunn av ei viss forvitring på bergveggar. Ei mogleg forklaring til denne litt uvanlege forskjellen kan kome av at kjernane var vassmetta under einaksial trykktesting, medan JCS vart innsamla under tørre feltforhold. Vassinnhaldet til ei bergartsprøve har ein signifikant verknad på styrken (Nilsen og Palmström, 2000). I tillegg er det mogleg at L-typen ikkje var den beste schmidt-hammaren til dette formålet. I følgje Aydin (2015) er N-typen er mindre sensitiv for irregularitetar i sprekkeoverflata, samt at schmidt-hammar type L gjev betre resultat når det er svake, porøse og forvitra bergartar, ettersom den er meir sensitiv i nedre del av skalaen. Ved Sjøåsblokka var glideplana ru med irregularitetar og JCS -verdiane er relativt høge.

5.3.3 Residual- og basis friksjonsvinkel

Den residuale friksjonsvinkelen (φ_r) er ikkje spesielt sensitiv for rekylverdiane r (våt, forvitra) og R (tørr, uforvitra) så lenge dei er kalkulert på same vis. Det er fordi det er forholdet mellom dei to rekylverdiane som verkar inn på den residuale friksjonsvinkelen via likning 2.11 (Kveldsvik, *et al.*, 2008). Sidan residual friksjonsvinkel (φ_r) blir kalkulert med bakgrunn i basis friksjonsvinkel (φ_b) resulterer dette i at sannsynsfordelinga av verdiane til dei to friksjonsvinklane blir noko like (figur 4-3 figur 4-32). Vanlegvis vil tilttesten heller gje ei normalfordelt kurve av basis friksjonsvinkel. Det er ingen grunn til at mineralogien skal gje ei slik histogramfordeling som ved figur 4-3 (Nilsen, 2017b). Vidare blir det diskutert kva som kan vere årsak til det spesielle resultatet frå tilttesten og korleis det har blitt tatt hand om i dei vidare analysane.

Tilttesten gav ein basis friksjonsvinkel på $25,1^\circ$ og standardavvik på $4,51^\circ$ for den granittiske gneisen ved Sjøåsberget (figur 4-3). Under testen vart det observert at kjernane ikkje glei av slik dei helst skal. To av kjernane hadde ein tendens til å gli berre ca. 0,5 – 1,5 cm alt ved $18 - 21^\circ$. Derimot glei dei meir fullstendig av med hellinga $23 - 27^\circ$. Den tredje kjernen glei stort

sett fullstendig av ved heling på $30 - 31^\circ$. For hand kunne ein også kjenne at friksjonen mellom kjernehalvdelane varierte etter kvar dei trefte kvarandre. Oppsettet til tilttesten blei difor variert undervegs og testtalet vart auka. Ei mogleg forklaring til variasjonen i tilttesten er at kjernane ikkje var så identiske som ein helst vil ha dei. Å få til ei god preparering av kjernane var utfordrande. Kjernane var enten noko aksialt skeive eller hadde små uregelmessigheiter i planflata. Dette kan føre til varierende kontaktpunkt mellom kjernehalvdelane, og derav varierende friksjon. Sjølv saginga kan føre til ulike nivå av slitasje på planoverflata som vidare kan føre til lågare friksjonsvinkel enn ei upåverka overflate (Li, Zhang og Ruiz, 2017). Dette er ei mogleg forklaring til den merkbar låge friksjonen i visse treffpunkt mellom kjernehalvdelane.

Sjølv om ulike oppsett og kjernar vart isolert sett, blei standardavviket framleis enten høgt eller datagrunnlaget for lite. Det gjekk heller ikkje heilt logisk opp med kva kjerne som verka best. Dette gjorde det vanskeleg å eliminere ut svake deler av datasett. Ideelt sett burde det ha blitt gjort fleire testar med fleire kjernar, noko det dessverre ikkje var tilstrekkeleg med tid til. Difor kan det vere hensiktsmessig å korrigere basis friksjonsvinkelen frå tilttesten med data frå litteraturen (Nilsen, 2017a).

Ein skifrig og lagdelt gneis har basis friksjonsvinkel på $26 - 29^\circ$, medan granitt ligg i området $31 - 35^\circ$ (Barton, 1976). Li, Zhang og Ruiz (2017) har tilttest-resultat til ein granittisk gneis der basis friksjonsvinkel er $30,7^\circ$ med standardavvik på $2,8^\circ$. Mest truleg vil den granittiske gneisen ved Sjøåsen heller ha liknande eigenskapar med ein granitt enn ein skifrig og lagdelt gneis, nettopp fordi foliasjonen er så pass svak. Dette støtter resultata frå dei bergmekaniske testane opp under (tabell 4-1). Prøver av den granittiske gneisen ved Sjøåsberget har synt eigenskapar som er sterkt isotropisk og verkar lite påverka av foliasjonen. Her er både graden av anisotropi (I_{a50}) svært lågt med 1,02, samt at forskjellen i einaksial trykkstyrke (σ_c) frå dei to ulike akseretningane av laboratorieblokka er minimal (sjå grafar i vedlegg B-2). Dei vidare analysane blei difor basert på ein gjennomsnittleg basis friksjonsvinkel lik 27° . Dette er noko høgare enn det gjennomsnittet frå tilttesten gav, men framleis konservativt samanlikna med litteraturen. Forholdet mellom den største verdien og minste verdien dannar indeksverdien til den anisotropiske styrken (I_{a50}), som synt ved li

Som utgangspunkt til den probabilistiske analysen blir det antatt at resultatet til basis friksjonsvinkel skulle ha vore normalfordelt, og at den residuale friksjonsvinkelen ville ha hatt ei liknande sannsynsfordeling. Det blir også anbefalt av Rocscience (2017a) å nytte ei

normalfordelt kurve med mindre der er ein god grunn til bruke dei andre kurvefordelingane i Swedge. Gjennomsnittet til dei residuale friksjonsvinklane får ei tilsvarande justering lik basis friksjonsvinkel, der dei også har det same høge standardavviket. Minimum- og maksimumsverdiane blir sett lik den lågaste og høgste målte verdien. Dei store variasjonane frå tilttesten blir på denne måten tatt høgde for i den probabilistiske analysen.

5.3.4 Vasstrykk

Vasstrykk på glideplan er ofte avgjerande for stabiliteten (Nilsen og Palmström, 2000). Om ein ser på forskjellen vasstrykket utgjør på forholdet mellom summen av dei stabiliserande kreftene og summen av dei drivande kreftene ($\Sigma R_d / \Sigma F_d$), er det ganske tydeleg at vasstrykk påverkar skråningsstabiliteten til Sjøåsblokka i langt større grad enn berre jordskjelv (figur 4-35).

Å få til ei ein realistisk modell av sprekkevasstrykket er ofte det aller vanskelegaste i ei stabilitetsanalyse. Ofte vert det gått ut i frå ei triangulær fordeling av vasstrykket på sprekkeplanet. Dette med mindre ein har tilgang, økonomi og moglegheit til å utføre omfattande testing og målingar *in-situ* i den aktuelle skråninga (Nilsen og Palmström, 2000). Sidan det vart observert ei mogleg drenering frå begge glideplana ved tåa av Sjøåsblokka, verkar det til at den triangulære fordelinga er eit greitt nok utgangspunkt. I følgje praktisk erfaring til Nilsen (2000), kan den triangulære fordelinga også gje ei viss overdriving av resultanttrykket. Dette fordi bergmassen ofte er inhomogen med fleire sprekker enn berre glideplanet. Dette kan ha ein viss grad av drenerande effekt mot skåningsfronten.

5.3.5 Seismisk aktivitet

Relativt nyleg har det kome endringar i framgangsmetoden for å vurdere og berekne jordskjelvlaster i Eurokode 8. Ved låg seismisitet kan den forenkla metoden med pseudostatistiske-krefter framleis nyttast til å inkludere verknaden av jordskjelv i ei stabilitetsberekning (Kaynia, *et al.*, 2017; Standard-Norge, 2014a, 2014c).

Derimot har det kome endringar i korleis ein går fram og bereknar med denne metoden. Tidlegare har jordskjelvlaster (F_{ak}) vore rekna som ekvivalent horisontal belastning. No skal både komponenten til horisontal- og vertikalbelastninga (F_H og F_V) takast med i berekninga av skråningsstabilitet. I tillegg er det langt fleire omsyn og vurderingar som ligg bak utrekninga av F_H og F_V , som for eksempel seismisk topografisk forsterkningsfaktor (S_T) og seismisk klasse. Dei seismiske klassene definerer nivået av tryggleik mot

jordskjelvverknaden, og kjem an på konstruksjonen sin funksjon og betydning (Kaynia, *et al.*, 2017). Sidan den nye metoden blei nytta til den deterministiske analysen og den gamle metoden til probabilistiske analysen, burde det ha vore ei grundig samanlikning av dei to metodane og korleis dei verkar inn på resultatet. Dette blei ikkje prioritert.

Nettopp fordi desse endringane i den forenkla pseudostatistiske-krefter metoden er relativt nye, har det vore få tidlegare rekneeksempel å ta utgangspunkt i. Spesielt når det kjem til stabilitetsberekning av bergskråning. I desse rekneeksempela har også stabiliteten omfatta grunnen under den aktuelle konstruksjonen, og ikkje skråningsstabiliteten i terrenget over ein konstruksjon, slik problemstillinga er i denne oppgåva. Det er difor fullt mogleg at prosedyren bak vurderinga av seismisk aktivitet som har blitt presentert og nytta i denne oppgåva kan vere basert på feiltolkingar av Eurokoden. Difor er framgangsmetoden presentert i denne oppgåva meir eit «forslag til tolking av metoden» og er ingen «endeleg fasit».

5.4 Rørslemålingar

Ein bladsøker er meir kjend innanfor mekaniske fag og blir brukt til å måle små avstandar i maskineri (Duffy og Wright, 2016). Gode kjelder som omtalar bruken av bladsøker til denne type rørslemålingar er heller fråverande i litteraturen. For å få meir informasjon rundt bruken av bladsøker har det blitt tydd til ulike internettsider som sel bladsøkarar og som i tillegg gjev meir detaljerte skildringar rundt bruken. Precision-Brand (2017) påstår at kvaliteten på bladsøkaren kan variere etter type merke. Vidare opplyser Gartland (2017) om at det er viktig at den same personen utfører målinga for å få mest mogleg nøyaktig måling.

Dersom det eventuelt er ulike personar med varierende gjennomføringar, kan det tenkast at den eigentlege nøyaktigheita er noko større enn det som er blitt oppgitt. Denne nøyaktigheita på 0,04 mm er i alle fall ganske mykje mindre enn den nøyaktigheita som Hermanns (2015b) og Hermanns, *et al.* (2011) har erfart er vanleg for måleboltar, som er ein ca. 1 mm. Aukar ein nøyaktigheita til 1 mm vert det ingen signifikante rørsler ved Sjøåsblokka. Dette inkludert den høge hastigheita på 0,2 mm/månad i tidsrommet april – mai 2015 (figur 4-39). Om ein ynskjer ei meir endeleg avklaring på dette, bør det utførast grundigare undersøkingar av kvaliteten på utstyret samt korleis framgangsmetoden på målinga eventuelt kan påverke måleresultatet.

Av resultatet som NGU gav på InSAR målingane ved Sjøesberget, kan det eigentleg ikkje bli dratt nokon klar konklusjon når det kjem til eventuelle rørsler (figur 4-40). Dette er først og fremst på grunn av dårleg InSAR-dekning av sjølve Sjøesberget. Rørslene som er målt i

terrenget under og vest for Sjøåsberget er både små og med låg grad av pålitelegheit (Bredal, 2017).

I følgje Hungr, Leroueil og Picarelli (2014) har kileutglidingar ingen intern deformasjon der hastigheita vanlegvis er ekstremt hurtig (hastigheit på 5×10^3 og typisk hastigheit på 5 m/s). Som tidlegare diskutert, verkar det til at det er intakte steinbruer samt unduleringar som må brytast opp, eventuelt knusast, for at Sjøåsblokka skal kunne glide ut. I frå laboratoriarbeidet synte det seg at den granittiske gneisen ved Sjøåsberget er sterk og har ein sprø brottype (avsnitt 4.1.1, figur 4-2 og vedlegg B). Korleis dette eventuelt kan innverke på deformasjon og kva grad av merkbare rørsler det vil vere i forkant av ei potensiell utgliding av Sjøåsblokka, har det ikkje vore tid til å gjere ei vidare utgreiing om.

5.5 Utløpsmodellering av steinsprang ved Sjøåsberget

Den kanskje største usikkerheita ved utløpsmodelleringa ved Sjøåsberget er mangelen på kjende skredhendingar for å kalibrere modellane (Wyllie, 2014a). I eit forsøk på å betre pålitelegheita til utløpsmodelleringa, har det blitt nytta fire ulike simuleringsmodellar. Modellar har sine styrker og svakheiter, der det gjeld å kjenne til desse (Hefre, Kveldsvik og Ekseth, 2015). Tanken er at dersom ein tek omsyn til dette når man samanliknar utløpet til modellane, er det mogeleg ein kan resonnerer seg fram til kva utløp som verkar mest reelt. Parameter innputt har i stor grad vore basert på litteratur og erfaringar andre har gjort under liknande forhold, i kombinasjon med eigne observasjonar i felt.

5.5.1 Samanlikning av utløp og simuleringsmodellar

Først og fremst må det nemnast at det er ein grunnleggande forskjell i 2D og 3D modellar, nettopp dimensjonsforskjellen i utløpet. I eit 2D-modelleringsprogram blir blokkene avgrensa til å fylgje nettopp det predefinerte profilet. Det kan tenkast at dette teoretisk sett kan føre til eit meir konservativt utløp for 2D-modellane. Om dette faktisk stemmer er vanskeleg å avgjere sidan modellane uansett er så forskjellig oppbygt og rimeleg avhengig av dei innputt-parametrane ein modellerer med. For å samanlikne modellane har det blitt tatt utgangspunkt i verdien av sannsynleg utløpsrekkevidde og kvar denne verdien er. I somme høve er det langt betre korrelasjon i sannsynleg utløpsrekkevidde mellom ein 2D- og 3D-modell enn det er i 2D- og 3D-modellane isolert sett (figur 4-41 og figur 4-42). Dette gjeld nedre del av utløpa og ikkje klassene med høgast sannsynleg rekkevidde. Det kan difor verke til at metoden med

kumulativ frekvens gitt i prosent på utløp frå 2D-modellane kan samanliknast med sannsynleg rekkevidde frå 3D-modellane.

I følgje Rocscience (2017c), har nyleg forskning vist at passande verdiar for restitusjonskoeffisienten er avhengig av analysemetoden i RocFall. For «rigid body» er den normale restitusjonskoeffisienten signifikant lågare enn for «lumped mass». I manglar på eksempel til parameterverdiar til «rigid body», anbefaler Rocscience (2017c) først å modellere med «rigid body» for å finne kva effekt blokkforma har. Deretter utføre ei endeleg modellering med «lumped mass». Når det kjem til sjølve utløpslengda, med lengste utløp og sannsynleg rekkevidde blir difor ikkje utløpet til «rigid body» spesielt vektlagt. Her er inngangsparametrane i frå litteraturen alt for usikre. Dei same verdiane for normal- og tangential restitusjonskoeffisient blei brukt i dei to RocFall-analysetypene ved Sjøåsberget. Dette for å illustrere kor forskjellig utløpet kan vere i ei «rigid body» og «lumped mass»-analyse (tabell 3-3, figur 4-41 og figur 4-42). Databasen på materialtype og passande parameterverdiar frå litteraturen til ei «lumped mass»-analyse er langt større (sjå Rocscience (2017b)). Valet av verdiar til «lumped mass» har tatt utgangspunkt i verdiar frå Sogn og Fjordane samt verdiar som Sletten, *et al.* (2015) nytta til RocFall modellering. Sjølv om dette ikkje erstattar ei modellkalibrering kan det likevel representere ein «typisk» norsk skråning. Sidan RocFall «lumped mass» også har vore eit mykje nytta simuleringsprogram over lengre tid, blir utløpsresultatet til denne modellen vektlagt.

Både Hefre, Kveldsvik og Ekseth (2015) og Sletten, *et al.* (2015) erfarer at Rockyfor3D har nokre urealistiske skredbaner. Dette gjeld utløpet til dei minst sannsynlege utløpa og i somme tilfelle er det mest reelt å filtrere desse vekk. Sletten, *et al.* (2015) filtrerte vekk utløp med ei sannsynleg utløpsrekkevidde mindre enn 1 %, der dei vurderte banene som feil i modellen og/eller unormale skredbaner. Dersom ein gjer ei liknande filtrering ved Sjøåsberget, blir for eksempel Rockyfor3D sitt utløp på scenario I, rimeleg lik både «lumped mass» og Trajecto3D (figur 4-41). Likevel har Rockyfor3D ein noko høgare verdi på den sannsynlege utløpsrekkevidda som går lengst ut. Med ei slik filtrering får RocFall «rigid body» eit klart lengste utløp for både Sjøåsblokk-scenario I og eit generelt steinsprang frå Sjøåsberget. Dette bortsett frå ved profil 3 (figur 4-42), her går Rockyfor3D omtrent like langt ut. Ein vidare diskusjon rundt Rockyfor3D sitt utløp i byggefeltet vert omtalt i eit avsnitt lenger nede.

At Sjøåsblocka sine tre scenario vil gi eit så varierende utløp som det Rockyfor3D gjev, verkar ikkje til å vere heilt reelt (figur 4-41). Ingen av dei andre simuleringsmodellane syner

ein så stor forskjell. RocFall med «rigid body» er kanskje den modellen som i teorien tek best omsyn til at blokka har både størrelse og form. Ser ein på forskjellen mellom Sjøåsblokka scenario II og III i RocFall «rigid body» er forskjellen veldig liten. Det er mogleg at Scenario III har litt lengre utløp, men dette er minimalt. Trajecto3D støttar opp under dette med ein liknande trend. I modelleringa med RocFall «rigid body» er blokkforma den same («Polygon Rectangle» 1:2), men storleiken ulik der scenario II er 68 m^3 og scenario III er 108 m^3 . Ei mogleg forklaring til at Sjøåsblokka scenario I («Polygon Rectangle» 1:2, 18 m^3) og det generelle steinspranget (Ellipse 1:2, 1 m^3) har ein tendens til å gå lengre enn scenario II og III, kan vere på grunn av blokkforma det er simulert med i RocFall «rigid body». Runda blokker har ein tendens til å rulle lengre enn polygonale blokker. Ei polygonal form kan også lettare gli mot underlaget og dermed stoppe tidlegare, eller gå lengre på grunn av geometriske forhold ved bakketreff (Rocscience, 2017c).

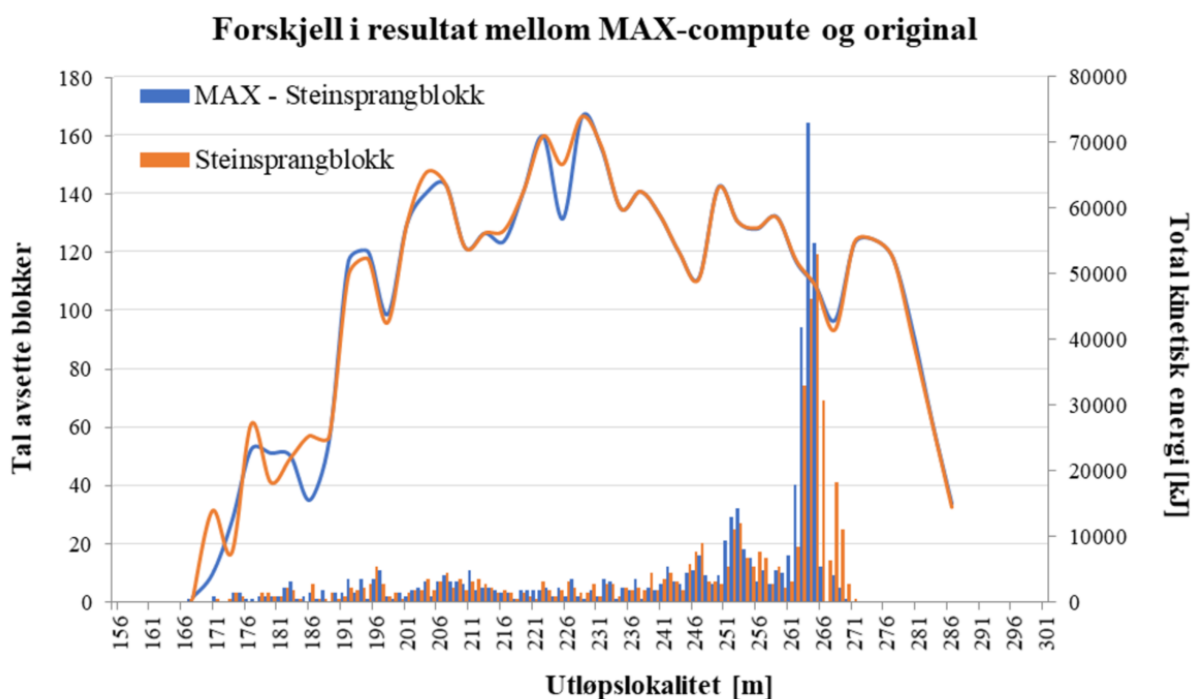
Nede ved byggefeltet breier Rockyfor3D-utløpet seg lateralt utover (figur 4-41). I overgangen mellom blokkrik morene og marine avsetningar erfarte Sletten, *et al.* (2015) at Rockyfor3D er noko følsam. Dette kan forklare denne laterale utbreiinga, ettersom parameteroppsettet er rimeleg likt (sjå tabell 3-3 og Sletten, *et al.* (2015)). Ein fordel med Rockyfor3D er at fleire av parametrane kan bli observert i felt (Hefre, Kveldsvik og Ekseth, 2015). Med tanke på manglande modellkalibrering kan dette tenkast å vere positivt. Dorren (2015) presiserer at overflateruheita er ein viktig parameter å kartlegge nettopp fordi Rockyfor3D er sensitiv for desse parametrane. Eigne erfaringar er at det er utfordrande å kartlegge overflateruheita på ein god og presis måte. Dette kan føre til at ruheitsklassene fort blir basert på subjektive grove estimat, der ei modellkalibrering hadde vore det beste også for Rockyfor3D. Ruheitsklassene i byggefeltet vart bevisst sett til ein låg verdi for å vere konservativ. Det er truleg at dette har påverka Rockyfor3D-utløpet i byggefeltet som også kan vere noko konservativt.

Både verdien i sannsynleg utløpsrekkevidde samt plasseringa er relativt likt mellom Trajecto3D og RocFall «lumped mass» (figur 4-41). Sidan «lumped mass» har blitt vurdert til å vere ein av dei meir pålitelege modellane når det kjem til utløp, gjer det Trajecto3D til ein veldig interessant 3D-modell. I denne samanlikninga kom Trajecto3D ut som den modellen som er minst konservativ. Utan noko kjend skredhending er det vanskeleg å kontrollere om Trajecto3D er for konservativ eller ikkje. Modellen er heller ikkje ferdig utvikla. Så lenge ein har tilgang til, eller kan hente inn punkttskyer som terrengmodell, verkar Trajecto3D til å kunne vere ein nyttig og lovande 3D-modell i simulering av utløp til steinsprang.

I modelleringa har ikkje husa sin effekt som hindrande barriere blitt inkludert. Dersom ei blokk først treff eit av dei øvre husa vil det vere ei viss demping som hindrar eit vidare utløp. Om det skulle gå ut eit steinsprang er det mest truleg at det er dei øvre husa som eventuelt vert råka og fokuset vert difor retta mot dei. Sjøåsblokka har også fleire markerte sprekkar i seg (figur 4-12). Dersom heile blokka skulle gå ut er det heller sannsynleg at blokka vil dele seg i fleire og mindre blokker nedover i løpet, og ikkje som eitt stort samla volum som det scenario III er modellert som (figur 4-41).

5.5.2 Feilmelding i RocFall «rigid body»

Når det kjem til alle feilmeldingane som kom i RocFall «rigid body»-analysen, gjev Rocscience (2017c) inga god forklaring på kva det har å seie for resultatet. Dei tilrår at dersom mange blokker stoppar på grunn av dette, bør kalkuleringstida og stega aukast for å få det faktiske resultatet. Analysen vil då krevje enda meir PC-minne og tid. Frå før var RocFall «rigid body» veldig tidkrevjande samtidig som den tok opp stor PC-kapasitet. Til å vere ein 2D-modell er det ganske overraskande. For å spare tid vart det utført ei analyse i «rigid body», der maksimums tid vart sett til 60 sekund og maksimumssteg sett til 1 000 000. Dette for å samanlikne om det betrar situasjonen og kva feilmeldinga har å seie for resultatet.



Figur 5-3. Forskjellen i resultatet av RocFall «rigid body»-analyse mellom maksimum tid og steg (MAX-compute) og den originale simuleringa. Utgangspunktet er profil 1, scenario III utan effekten av skog. Stolpediagrammet syner fordelinga av avsette blokker langs profilet, medan grafane gjev total kinetisk energi.

Utgangspunktet var profil 1, scenario III, der simuleringa vart køyrt på ein langt kraftigare PC. Slik det går ut av figur 5-3, utgjer forskjellen i resultatet minimale forskjellar i total kinetisk energi og fordeling av steinsprangblokker langs med profilet. I feilmeldinga var det no berre 5 % av kastebanene som hadde dette problemet. Med dette blei det antatt at resultatet i den originale «rigid body»-analysen i RocFall er akseptabel og det er ikkje naudsynt å reprodusere resultatata.

5.5.3 Verknad av skog

Det er vanskeleg å få til ein god kontroll på utdata frå FINT mot feltregistrering. Dette fordi feltcellene både er for små og GPS-en er for upresis til å kunne gjere noko vidare statistiske analyser mellom dei to registreringane. GPS-en hadde ofte ein 3 – 4 m unøyaktigheit. Dersom ein for eksempel endrar GPS-lokaliteten med denne unøyaktigheita, kan ein risikere og ikkje få ei einaste registrering av tre frå FINT i cella (figur 3-17). Hadde cella vore større hadde ein også kunne fått eit betre statistisk grunnlag til samanlikning. Dette kjem i tillegg til at arealmåla på cellene er noko upresise. Derimot kan feltcellene bidra til ei grov samanlikning om FINT si registrering av *DBH* verkar akseptabel nok i forhold til feltcella (tabell 3-4). Ser ein dette i samanheng med ortofoto (figur 3-17), verkar det til at FINT med dei innstillingane som er gjort, klarer å hente inn skogen på ein grei nok måte. I vurderinga av grunnareal blei tilrådingar frå Høydal, Breien og Sandersen (2013) fylgt, noko som verkar fornuftig med tanke på tilpassing etter norske forhold.

Sidan scenarioa til Sjøåsblokka hadde store volum på 18 m³, 68 m³ og 108 m³, var det forventa ut i frå litteraturen (blant anna tabell 2-5), at skogen ikkje kom til å ha noko særleg dempende effekt. Noko resultatet frå steinsprangsimuleringa inkludert skog til både Rockyfor3D og RocFall også indikerer (figur 4-44 og figur 4-46). Sjølve utløpslengda til Sjøåsblokka sine scenario er lite påverka av skogen, men der Rockyfor3D viser ei mogleg endring i kva som kan vere den mest dominerande utløpsbana. Fleire blokker har ein tendens til å heller følgje profil 1, som også er profilet med mest skog (tabell 4-18). Denne trenden er berre å finne i dei øvre delane av profilet. For å gje ei god forklaring til denne trenden må ein gå langt djupare inn i teorien bak steinsprangsimulering med skog, enn det som har vore hensikta og fokuset i denne masteroppgåva.

For den generelle steinsprangblokka på 1 m³ viser resultatet frå både Rockyfor3D og RocFall at skogen kan ha ein dempende effekt (figur 4-45, figur 4-46 og figur 4-47). Generelt sett er det ei auka sannsynleg rekkevidde i dei øvre delane av skråninga, og ei mindre sannsynleg

rekkevidde i dei nedre delane av utløpet. Likevel er det enkelte områder i byggefeltet som får eit auka sannsynleg rekkevidde. Til tross for at skogen dempar og hindrar nokon av steinsprangblokkene stoppar det ikkje alle. Dette er eit viktig poeng å få fram.

I følgje ein tommelfingerregel kan skogen under Sjøåsberget ha potensial til å stoppe blokker med diameter i underkant av 30 cm (Høydal, Breien og Sandersen, 2013). Då er det den gjennomsnittlege *DBH*-verdien frå feltregistreringane som ligg til grunn (tabell 3-4). For ei rektangulær blokk vil dette utgjere ei blokk i underkant av 1 m³. Ser ein dette i samanheng med andre feltregistreringar av skogen, som for eksempel grunnarealet (tabell 3-4), og samanliknar dette med kriteria Høydal, Breien og Sandersen (2013) set for verneskog (tabell 2-5), verkar det til at skogen kan ha ei mogleg vernande effekt på blokker mindre enn 1 m³. Profil 1 har ei skogslengde på 95 m i fallretninga, og er det einaste profilet som er i nærleiken av tilstrekkeleg skogslengde til å innfri verneskogkriteriet på minimum 100 m (tabell 4-18). At skogen under Sjøåsberget kan bli vurdert til å ha ein viss vernande effekt mot mindre steinsprang då gjerne mindre enn 1 m³, støttar resultatet frå modelleringa av ei generell steinsprangblokk på 1 m³ opp under. Med tid vil også skogen under Sjøåsberget vekse og trea vert større, som igjen kan auke skogen sitt potensialet til å hindre utløp av mindre steinsprang frå Sjøåsberget.

5.5.4 Oppsummering av utløpsmodelleringa

Under kjem ei oppsummering frå nokre hovudpunkt frå diskusjonen om utløpsmodelleringa:

- Det verkar mest reelt at det er mindre variasjonar i utløpet til dei ulike scenarioa ved Sjøåsblokka.
- RocFall «rigid body» blir først og fremst nytta til å vurdere kva effekt blokkform og blokkstørrelse påverkar utløpet, enn kor langt utløpet faktisk går.
- Rockyfor3D verkar til å ha nokre urealistiske utløp av enkeltblokker, som blir tolka til å vere feil i modellen.
- Utløpet til RocFall «lumped mass» blir vektlagt, fordi simuleringsprogrammet har vore nytta over lengre tid. Litteraturen bak parameterverdiane er større, der verdiane har blitt forsøkt tilpassa «typiske» norske forhold.
- Trajecto3D har eit utløp som er rimeleg likt «lumped mass». Utløpet var minst konservativt av alle modellane. Trajecto3D kan bli ein nyttig og lovande 3D-modell, og er under utvikling.

- Feilmeldinga i RocFall «rigid body» har eigentleg ikkje så mykje å seie for resultatet.
- FINT hentar ut informasjon av skogen som er tilfredsstillande nok.
- Skogen ved Sjøåsberget syner ingen dempande effekt av Sjøåsblokka sine tre scenario.
- Derimot kan skogen ved Sjøåsberget ha ei potensiell dempande effekt på mindre steinsprang ved Sjøåsberget, då gjerne mindre enn 1 m³. Sjølv om skogen kan dempe og hindre utløp av steinsprangblokker, stoppar det ikkje alle. Med tid der trea får vekse seg større, kan denne dempande effekten bli auka.

5.6 Farevurdering

Det er ein del usikre moment rundt metoden som er presentert og nytta til farevurdering for Sjøåsblokka. Blant anna er det i følge Direktoratet-for-byggkvalitet (2017) umogeleg å berekne sannsynet for skred eksakt, som nettopp er det denne metoden har som tilnærming. Det blir ikkje gjort noko vidare utgreiing om kvifor det er umogeleg, men heller ei forklaring til at krava i TEK17 sine tryggleiksklasser er basert på nominelle årlege sannsyn for skred.

Når det kjem til definisjonen av akkumulert sannsynleg rekkevidde, verkar den til å vere i samsvar med formuleringar gitt rundt sannsynet for at eit byggverk skal blir ramma av skred i Direktoratet-for-byggkvalitet (2017) (likning 3.37). Derimot er det meir usikkert om estimeringa av levetid på bustadhus er heilt reell. Det verkar ikkje til at byggmiljøet har definert noko eksakt total levetid på bustadhus. Uansett er det fleire argument som peikar mot at ei levetid på 50 år for bustadhus kan vere eit greitt utgangspunkt til farevurderinga. Først og fremst fordi Christensen (2017) estimerer ei teknisk levetid på 50 år for bustadhus, noko som også stemmer godt overeins med kva Eurokode 0 antydar til dimensjonerande levetid (tabell 3-5). No skal jo faktisk stabilitetsberekningar fylgje Norsk Standard inkludert Eurokode-serien i følge plan- og bygningslova og teknisk forskrift (Nilsen, *et al.*, 2011). Som igjen blir eit argument for at prinsippet med å nytte levetid blir meir legitimt. I tillegg gjev ei levetid på 50 år det mest konservative estimatet av årleg sannsyn for steinsprang frå Sjøåsblokka til dei to husa (tabell 4-19). Spesielt når ein foreslår og nyttar ei alternativ framgangsmetode til å utføre ei farevurdering for steinsprang, kan det vere greitt å ha ei noko konservativ tilnærming.

Sjølv med Rockyfor3D sitt mest konservative utløp for Sjøåsblokka som grunnlag blir det årlege sannsynet for steinsprang til dei to øvre husa langt mindre enn det som er krav etter TEK17 (tabell 4-19). Eit viktig poeng å få fram er at denne farevurderinga gjeld spesifikt

berre Sjøåsblokka, og seier ingen ting om steinsprangfaren knytt til andre parti eller fjellsida generelt ved Sjøåsberget. For at ei slik metode skal kunne nyttast, er det blant anna viktig at feltforholda ligg til rette slik at ein får ei best mogleg kvantifisering av inngangsparameter til den probabilistiske analysen.

I eit lengre tidsperspektiv med mange fryse-og-tine prosessar, kan dei intakte «steinbruene» til det nordlege glideplanet bli meir brote ned og stabiliteten vil kunne endre seg. Korleis eventuelt klimaendringar kan verke inn på denne prosessen er vanskeleg å seie, men det kan tenkast at det kan blir ei endring i kva månadar som dominerer med flest temperatursvingingar rundt 0 °C (figur 1-3 og figur 1-4).

Dersom heile Sjøåsblokka skulle gå ut i eitt (scenario III), er det mest truleg at blokka vil dele seg opp i fleire mindre delar på grunn av sprekkene og fraktureringa som er observert i Sjøåsblokka (figur 4-13). Difor har det utløpet med høgast sannsynleg rekkevidde av dei tre scenarioa til Sjøåsblokka blitt lagt til grunn i farevurderinga.

6 Konklusjon

Av potensielt ustabile parti ved Sjøåsberget er det Sjøåsblokka som verka mest ustabil, og det er lite teikn til aktivitet ved dei større scenarioa og partia ved Sjøåsberget. Scenario A er lite sannsynleg på grunn av fråverande sprekker som avgrensar i bakkant, og parti D er lite kinematisk mogeleg. Parti C har støttande bergstrukturar i front, noko Scenario B også blir tolka til å ha. Det er bergstrukturen i front av Sjøåsberget kalla «bergfoten» som blir vurdert til å ha ein støttande effekt både på Scenario B og Sjøåsblokka. Den kan i tillegg kan fungere hindrande på eventuelle utgåande sprekkeplan i frå den uthaldande sprekka i bakkant av Sjøåsberget. Av rørslemålingar ved Sjøåsblokka og Sjøåsberget, er det lite som tyder på signifikante eller stadfesta målingar med InSAR og bladsøker på måleboltar.

I den deterministiske analysen av Sjøåsblokka, er summen av stabiliserande krefter (ΣR_d) langt større enn summen av drivande krefter (ΣF_d), og er per definisjon stabilt etter partialfaktor-metoden. I overføringa til ein «sikkerheitsfaktor» ($\Sigma R_d/\Sigma F_d$) vil dette tilsvare verdiar mellom 4 og 5. I følgje den probabilistiske analysen er den mest sannsynlege verdien av $\Sigma R_d/\Sigma F_d$ på 3,90, og eit sannsyn for kollaps på 0,01 %. Dette vil seie at 1 av 10 000 Sjøåsblokker vil kunne rase ut, noko som er eit lågt sannsyn. Ved å justere *JRC*-verdien til rundt 2 for begge glideplana kan ein oppnå ein likevektstilstand for Sjøåsblokka. Så låge *JRC*-verdiar verkar lite representativt for forholda ved Sjøåsblokka eller sprekkeflater generelt ved Sjøåsberget.

Med resultata frå stabilitetsanalysen samt observasjonen av intakte «steinbruer» på nordleg glideplan, indikerer dette at Sjøåsblokka har ein stabil tilstand per i dag. Dette er under føresetnad av at feltarbeid, parameterinnputt og at dei tolkingar og antagelsar som er gjort, er fornuftige og representer situasjonen til Sjøåsblokka på ein god måte. Parameteren *JRC* har eit tynt datasett og kan vere ei potensiell svakheit i den detaljerte stabilitetsanalysen. Eit forslag til mogleg framgangsmetode i vurderinga av seismisk aktivitet etter den relativt nye metoden i Eurokode 8 har blitt gjort greie for.

Rockyfor3D sin store variasjon i Sjøåsblokka sine scenario verkar ikkje reelt samanlikna med dei andre utløpsmodellane, der RocFall «rigid body» er spesielt vektlagt. Det er også ein del urealistiske utløp av enkeltblokker frå Rockyfor3D. RocFall «rigid body» og dei største scenarioa frå Rockyfor3D har dei mest konservative utløpa. Utløpsdistansen til RocFall «rigid body» blir ikkje vektlagt på grunn av svært usikre inngangsparametrar. Derimot blir heller

RocFall «lumped mass» vektlagt, nettopp på grunn av mest sikre inngangsparametar. Trajecto3D er rimeleg lik RocFall «lumped mass» i utløp og kom ut som minst konservativ. Simuleringsmodellen har punktsky som terrengmodell, der modellen er under utvikling og kan bli ein nyttig og lovande 3D-modell. Skogen ved Sjøåsberget syner ingen dempende effekt av Sjøåsblokka. Derimot kan skogen potensielt dempe steinsprang $< 1 \text{ m}^3$ frå Sjøåsberget, men vil lite truleg stoppe alle blokker.

Farevurderinga gjeld spesifikt berre Sjøåsblokka, og seier ingen ting om steinsprangfaren knytt til andre parti eller fjellsida generelt ved Sjøåsberget. For dei to husa nærmast Sjøåsberget blir det årlege sannsynet for steinsprang frå Sjøåsblokka estimert til å vere $2,7 \times 10^{-7}$ og $1,8 \times 10^{-7}$. Dette er langt mindre enn TEK17 sine tryggleiksklassekrav for bustadhus, og noko vidare sikring av Sjøåsblokka er ikkje naudsynt i følgje denne vurderinga.

6.1 Vidare arbeid

- Samle inn nytt og større datasett med *JRC*-verdiar frå Sjøåsblokka sine to glideplan, der ein er bevisst på kva amplitude ein måler.
- Ta ut fleire kjernar til tilttest for å få betre datasett på basis friksjonsvinkel.
- Gjere ei grundig samanlikning av den gamle metoden for å vurdere seismisk aktivitet mot den nye metoden.
- Finne ut om det er reelt at Sjøåsblokka plutsleg gå ut utan større deformasjonar og merkbare rørsler i forkant. Undersøke kva unøyaktigheit som kan vere reell i bruken av bladsøker som måleverktøy.

7 Referanseliste

- Aydin, A. (2015) The ISRM Suggested Method for Determination of the Schmidt Hammer Rebound Hardness: Revised Version, i Ulusay, R. (red.) *The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014*. Cham: Springer International Publishing.
- Barton, N. (1976) The shear strength of rock and rock joints, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 13(9), s. 255-279. doi: 10.1016/0148-9062(76)90003-6.
- Barton, N. og Choubey, V. (1977) The shear strength of rock joints in theory and practice, *Rock Mechanics Felsmechanik Mécanique des Roches*, 10(1-2), s. 1-54.
- Barton, N. (1981) Shear strength investigations for surface mining. Vancouver, s. 171-192.
- Barton, N. og Bandis, S. (1982) *Effects Of Block Size On The Shear Behavior Of Jointed Rock*. Upublisert paper presentert på The 23rd U.S Symposium on Rock Mechanics (USRMS). Berkeley, California.
- Barton, N. og Bandis, S. (1990) Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practice, *Proc International Symposium on Rock Joints*, s. 603–610.
- Bjordal, H., Domaas, U., Holmøy, K. H., Moe, K., Farestveit, N., Ebeltoft, R. G., . . . Frækaland, S. H. (2011) *Sikring av veger mot steinskred : grunnlag for veiledning*. Oslo: Vegdirektoratet, Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen.
- Brattli, B. (2015) *Ingeniørgeologi - løsmasser*. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Institutt for geologi og bergteknikk.
- Bredal, M. (2017) E-postkorrespondanse, 18.09.2017.
- Christensen, S. (2017) E-postkorrespondanse, 12.12.17.
- CloudCompare (2017) *CloudCompare v.2.6.1 [Programvare]: User manual*. Tilgjengeleg frå: <http://www.cloudcompare.org/doc/qCC/CloudCompare%20v2.6.1%20-%20User%20manual.pdf> (Henta: 31.10 2017).
- Corkum, B. (2017) E-postkorrespondanse, 06.10.17.
- Deere, D. U. og Miller, R. P. (1966) Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock, *F.S. Clearinghouse AD*.
- Devoli, G., Eikenæs, O., Taurisano, A., Hermanns, R., Fischer, L., Oppikofer, T. og Bunkholt, H. (2011) Plan for skredfarekartlegging : Delrapport steinsprang, steinskred og fjellskred.
- Direktoratet-for-byggkvalitet (2017) Veiledning til kapittel 7 : Sikkerhet mot naturpåkjenninger *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning. Ikrafttredelse 1. juli 2017*. Tilgjengeleg frå: <https://dibk.no/globalassets/byggteknisk-forskrift-tek17/07-vtek-kapittel-7.pdf>.
- DNB (2017) *Så lenge varer boligen*. Tilgjengeleg frå: <http://www.dnbeiendom.no/altombolig/kjop-og-salg/tips-til-kjopere/sa-lenge-varer-boligen/> (Henta: 2017 19.11).
- Dolva, B. K., Myrabø, S., Viklund, M., Øvrelid, K., Øydvin, E. K., Petkovic, G., . . . Thakur, V. (2016) *NIFS - sluttrapport*. Norges vassdrags- og energidirektorat Tilgjengeleg frå: http://www.naturfare.no/_attachment/1304535/binary/1101879.

- Domaas, U. og Grimstad, E. (2014) Fjell- og steinskred, i Høeg, K., *et al.* (red.) *Skred : Skredfare og sikringstiltak : Praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper*. Latvia: Norges geotekniske institutt og Universitetsforlaget, s. 45-75.
- Dorren, L. K. A. (2014) FINT – Find individual trees. User manual, s. 5.
- Dorren, L. K. A. (2015) Rockyfor3D (v5.2) revealed – Transparent description of the complete 3D rockfall model, s. 32.
- Duffy, O. C. og Wright, G. (2016) *Fundamentals of Medium/Heavy Duty Commercial Vehicle Systems*. 1. utg. Burlington: Jones & Bartlett Learning Cdx Automotive.
- Emdal, A. (2014) *Introduksjon til geoteknikk*. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Faggruppe for geoteknikk.
- ESRI (2017) *ArcGIS Desktop 10.4 [Programvare]*. Tilgjengeleg frå: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/> (Henta: 16.08 2017).
- Gartland, R. (2017) E-postkorrespondanse, 07.06.2017.
- Geonorge (2016) *Felles Kartdatabase (FKB)*. Tilgjengeleg frå: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/geovekst/felles-kartdatabase-fkb/0e90ca71-6a02-4036-bd94-f219fe64645f#!#help> (Henta: 11.05 2017).
- Gercek, H. (2007) Poisson's ratio values for rocks, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 44(1), s. 1-13. doi: 10.1016/j.ijrmms.2006.04.011.
- Groshong, R. H. (1999) *3-D structural geology : a practical guide to surface and subsurface map interpretation*. Berlin: Springer.
- Grøneng, G. og Nilsen, B. (2009) Procedure for determining input parameters for Barton-Bandis joint shear strength formulation, *Rapporter fra Institutt for geologi og bergteknikk*, 38.
- Hagen, S. (2010) *Sjøåsberget Namdalseid : Vurdering av steinsprangfare*. Trondheim: Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), Multiconsult AS.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., . . . Ådlandsvik, B. (2015) *Klima i Norge 2100 : Kunnskapsgrunnlag for klimatilpassning oppdatert 2015*. Norsk klimaservicesenter.
- Hefre, H., Kvelde, V. og Ekseth, K. H. H. (2015) *Modellering av steinsprang : erfaringer og utforsringer*. Upublisert paper presentert på Fjellsprengningsdagen. Oslo.
- Hermanns, R. L., Fischer, L., Oppikofer, T., Böhme, M., Dehls, J. F., Henriksen, H., . . . Eiken, T. (2011) Mapping of unstable and potentially unstable rock slopes in Sogn og Fjordane (work report 2008-20 10) : NGU Rapport 2011.055.
- Hermanns, R. L., Oppikofer, T., Anda, E., Blikra, L. H., Böhme, M., Bunkholt, H., . . . Molina, F. Y. (2012) *Recommended hazard and risk classification system for large unstable rock slopes in Norway*. (029). Trondheim: Norges geologiske undersøkelse.
- Hermanns, R. L. (2015a) Introduction into structural geology of unstable slopes: 2 Stereographic projection and kinematic analysis *Forelesningsnotater distribuert i TGB4290 Skredprosesser*. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Hermanns, R. L. (2015b) Landslide displacement measurements, monitoring and early warning 1 *Forelesningsnotater distribuert i TGB4290 Skredprosesser*. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Hermanns, R. L. (2017) Personleg kommunikasjon, 03.11.17.

- Hoek, E. (2007) *Practical Rock Engineering*. 2000. utg. Toronto: Rocscience.
- Hole, L. J. (2015) *Analyse av ustabil vegskjering ved Svølgja, Fv 30*, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Hudson, J. A. og Harrison, J. P. (2000) *Engineering rock mechanics : Pt. 2 : Illustrative worked examples*. Oxford: Pergamon.
- Hungr, O., Leroueil, S. og Picarelli, L. (2014) The Varnes classification of landslide types, an update, *Journal of the International Consortium on Landslides*, 11(2), s. 167-194. doi: 10.1007/s10346-013-0436-y.
- Høeg, K. (2014) Skredmekanismer og stabilitetsberegninger i Høeg, K., et al. (red.) *Skred : Skredfare og sikringstiltak : Praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper*. Latvia: Norges geotekniske institutt og Universitetsforlaget, s. 139-162.
- Høydal, Ø. A., Breien, H. og Sandersen, F. (2013) Skog og skred: Forslag til kriterier for vernskog mot skred.
- Høydedata (2016) *Nord-Trøndelag – Del 1 2010*. Tilgjengeleg frå: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/> (Henta: 02.05 2017).
- ISRM (1978a) Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses (b. 15, s. 319–368): International Society for Rock Mechanics, Commission for Standardisation of Laboratory and Field Tests Int J Rock Mech Min Sci. doi: 10.1016/0148-9062(79)91476-1.
- ISRM (1978b) Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks (b. 15, s. 89-97). Great Britain: International Society for Rock Mechanics. doi: 10.1016/0148-9062(78)90002-5.
- ISRM (1979a) Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties: Part 1: Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties (b. 16, s. 143-151): International Society for Rock Mechanics. doi: 10.1016/0148-9062(79)91453-0.
- ISRM (1979b) Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials (b. 16, s. 135-140): International Society for Rock Mechanics, Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests Int J Rock Mech Min Sci. doi: 10.1016/0148-9062(79)90262-6.
- ISRM (1985) Suggested method for determining point load strength (b. 22, s. 51–60). Great Britain: Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. doi: 10.1016/0148-9062(85)92985-7.
- Jensen, O. A., Verhage, A. og Sørgaard, K. (2015) Skog og naturfare: Naturfareprosjektet: Delprosjekt 1: Naturskadestrategi.
- Kaynia, A. M., Torgersrud, Ø., Johansson, J., Bruun, H. og Haugen, E. (2017) Jordskjelvdessign i Statens vegvesen: Anbefalinger for geoteknisk prosjektering av veger og samvirke jord-konstruksjoner, *Statens vegvesens rapporter*.
- Kommunal-og-moderniseringsdepartementet (2017) *Forskrift om tekniske krav til byggverk : (byggteknisk forskrift) av 26. mars 2010 nr. 489 : med endringer, sist ved forskrift av 9. desember 2017 nr. 1564 (i kraft 1. januar 2017)*. 5. utg. Oslo: Cappelen Damm akademisk.
- Kveldsvik, V., Nilsen, B., Einstein, H. og Nadim, F. (2008) Alternative approaches for analyses of a 100,000 m³ rock slide based on Barton–Bandis shear strength criterion,

- Journal of the International Consortium on Landslides*, 5(2), s. 161-176. doi: 10.1007/s10346-007-0096-x.
- Lauknes, T. R. (2010) *Rockslide mapping in Norway by means of interferometric SAR time series analysis*, University of Tromsø.
- Li, C. C. (2017) *Applied Rock Mechanics (TGB 4210)*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, Department of Geology and Mineral Resources Engineering.
- Li, C. C., Zhang, N. og Ruiz, J. (2017) Measurement of the basic friction angle of planar rock discontinuities with three rock cores, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, s. 1-10. doi: 10.1007/s10064-017-1045-0.
- Lisle, R. J. (2004) Calculation of the daylight envelope for plane failure of rock slopes, *Géotechnique*, 54(4), s. 279-280. doi: 10.1680/geot.2004.54.4.279.
- Majala, G. D. (2017) E-postkorrespondanse, 30.11.17.
- Meteorologisk-institutt (2017) *eKlima : Gratis tilgang til vær- og klimadata*. Tilgjengeleg frå: http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL&6009_BATCHORDER_3197941 (Henta: 04.12 2017).
- Myrvang, A. M. (2001) *Kompendium i bergmekanikk*. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Institutt for geologi og bergteknikk.
- NBG (1985) *Ingeniørgeologi - berg : håndbok : terminologi, symboler, tabeller, klassifikasjon, bergartsdannelse, berggrunnskart over Norge*. Trondheim: Norsk bergmekanikkgruppe (NBG), Tapir.
- Netti, T., Castelli, M. og De Biagi, V. (2016) Effect of the Number of Simulations on the Accuracy of a Rockfall Analysis, *Procedia Engineering*, 158, s. 464-469. doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.473.
- NGU (2015) *InSAR*. Tilgjengeleg frå: <https://www.ngu.no/emne/insar> (Henta: 12.10 2017).
- Nilsen, B. (1999) *Alternative metoder for stabilitetsanalyse = Alternative approaches for stability analysis*. Oslo: Norsk betongforening.
- Nilsen, B. (2000) New trends in rock slope stability analyses, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58(3), s. 173-178.
- Nilsen, B. og Palmström, A. (2000) *Engineering geology and rock engineering*. Oslo: Norsk Bergmekanikkgruppe.
- Nilsen, B., Lindstrøm, M., Mathisen, T. K., Holmøy, K. H., Olsson, R. og Palmstrøm, A. (2011) *Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering*. Norsk Bergmekanikkgruppe.
- Nilsen, B. og Broch, E. (2012) *Ingeniørgeologi - berg : grunnkurskompendium*. [Rev. utg.]. utg. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for geologi og, bergteknikk. Tapir akademisk forlag, Kompendieforlaget.
- Nilsen, B. (2017a) E-postkorrespondanse, 28.03.17.
- Nilsen, B. (2017b) Personleg kommunikasjon, 10.05.17.
- Noël, F., Cloutier, C., Turmel, D. og Locat, J. (2016) Using Point Clouds as Topography Input for 3D Rockfall Modeling, i Aversa, S., et al. (red.) *Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice: Proceedings of the 12th International Symposium on Landslides (12-19 June 2016), Napoli, Italy*. CRC Press, s. 1531–1535.

- Noël, F. (2017) Personleg kommunikasjon, 13.06.17.
- Noël, F., Wyzer, E., Jaboyedoff, M., Cloutier, C. og J., L. (2017) Development of a 3D rockfall simulation model for point cloud topography (EGU poster). EGU General Assembly Vienna.
- Norge-i-bilder (2017) *Ortofoto*. Tilgjengeleg frå: <https://www.norgebilder.no/> (Henta: 03.05 2017).
- Norsk-klimaservicesenter (2017) *Klimaframskrivninger*. Tilgjengeleg frå: https://klimaservicesenter.no:443/faces/desktop/scenarios.xhtml?climateIndex=precipitation_amount&period=Annual&scenario=RCP45®ion=R10&mapInterval=2085 (Henta: 04.12 2017).
- NVE (2014) *Flaum- og skredfare i arealplanar*. Oslo: Noregs vassdrags- og energidirektorat (NVE).
- NVE (2015) *Flaum og skred*. Tilgjengeleg frå: <https://www.nve.no/flaum-og-skred/> (Henta: 26.11 2017).
- Oppikofer, T. (2016) Overvåking av skred og andre skråningsprosesser med bakkebasert laserskanning: Naturfareprosjektet: Delprosjekt 4: Overvåking og varsling.
- Palmström, A. (2005) Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD), *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20(4), s. 362-377.
- Precision-Brand (2017) *Feeler Gage Questions*. Tilgjengeleg frå: <https://precisionbrand.com/faq/feeler-gage-questions/> (Henta: 03.12 2017).
- Rocscience (2003) Advanced Tutorial: Determining Input Parameters for a RocFall Analysis, *RocNews Fall*.
- Rocscience (2016a) *DIPS v.7.0 [Programvare]: Tutorial 4: Toppling, Planar Sliding, Wedge Sliding*. Tilgjengeleg frå: https://www.rocscience.com/help/dips/webhelp7/pdf_files/tutorials/Tutorial_04_Toppling_Planar_and_Wedge_Sliding.pdf (Henta: 01.03 2017).
- Rocscience (2016b) *DIPS v.7.0 [Programvare]: Web-help*. Tilgjengeleg frå: <https://www.rocscience.com/help/dips/webhelp7/Dips.htm> (Henta: 12.09 2017).
- Rocscience (2017a) *Swedge v.6.0 [Programvare]: Web help*. Tilgjengeleg frå: <https://www.rocscience.com/help/swedge/webhelp/Swedge.htm> (Henta: 03.10 2017).
- Rocscience (2017b) *Rocscience Coefficient of Restitution Table*. Tilgjengeleg frå: https://www.rocscience.com/help/rocfall/webhelp6/RocFall.htm#baggage/rn_rt_table.htm (Henta: 21.03. 2017).
- Rocscience (2017c) *RocFall v.6.0 [Programvare]: Web help*. Tilgjengeleg frå: <https://www.rocscience.com/help/rocfall/webhelp6/RocFall.htm> (Henta: 29.10 2017).
- Rocscience (2017d) *Swedge v.6.0 [Programvare]: Swedge Theory*. Tilgjengeleg frå: https://www.rocscience.com/help/swedge/webhelp/pdf_files/theory/Swedge_Theory_-_Tetrahedral_Wedges.pdf (Henta: 03.10 2017).
- Rocscience (2017e) *Dynamic Friction and Rolling Friction Coefficients Table*. Tilgjengeleg frå: https://www.rocscience.com/help/rocfall/webhelp6/baggage/Dynamic_Friction_Rolling_Friction_Table.htm (Henta: 30.10. 2017).

- Sandøy, G., Oppikofer, T. og Nilsen, B. (2017) Why did the 1756 Tjellefonna rockslide occur? A back-analysis of the largest historic rockslide in Norway, *Geomorphology*, 289, s. 78-95. doi: 10.1016/j.geomorph.2016.08.016.
- Schanche, S. (2014) Sikkerhet mot skred i bratt terreng : kartlegging av skredfare i arealplanlegging og byggesak.
- Sellmeier, B. (2015) *Quantitative parameterization and 3D-run-out modelling of rockfalls at steep limestone cliffs in the Bavarian Alps*. Springer.
- Skrednett (2014) *NVE Aktsomhetsområder*. Tilgjengeleg frå: <https://temakart.nve.no/link/?link=aktsomhet> (Henta: 15.10 2017).
- Skrednett (2016) *NVE Skredhendelser : Nasjonal skredhendelsesdatabase*. Tilgjengeleg frå: <https://temakart.nve.no/link/?link=SkredHendelser> (Henta: 05.07 2016).
- Sletten, K., Sandøy, G., Taurisano, A., Yugsi, Freddy M., Rubensdotter, L. og Stalsberg, K. (2015) Skredfarekartlegging i Sykkylven kommune.
- Solli, A., Bugge, T. og Thorsnes, T. (1997) Geologisk kart over Norge, berggrunnskart NAMSOS, M 1:250 000: Norges geologiske undersøkelse.
- Standard-Norge (2014a) *Eurokode 8: Prosjektering av konstruksjonar for seismisk påvirkning : Del 5: Fundamenter, støttekonstruksjoner og geotekniske forhold*. Standard Norge.
- Standard-Norge (2014b) *Eurokode 8: Prosjektering av konstruksjonar for seismisk påvirkning : Del 1: Allmenne regler, seismisk laster og regler for bygninger*. Standard Norge.
- Standard-Norge (2014c) *Eurokode 8: Prosjektering av konstruksjonar for seismisk påvirkning : Samling av Nasjonale tillegg*. Lysaker: Standard Norge.
- Standard-Norge (2016a) *Eurokode 0: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner*. Lysaker: Standard Norge.
- Standard-Norge (2016b) *Eurokode 7: Geoteknisk Prosjektering - Del 1: Allmenne Regler*. Oslo: Standard Norge.
- Statens-kartverk (2017) *Norgeskart*. Tilgjengeleg frå: <http://www.norgeskart.no/#!/?project=seeiendom&layers=1002,1015&zoom=4&lat=7197864.00&lon=396722.00> (Henta: 15.10 2017).
- Stead, D., Eberhardt, E. og Coggan, J. S. (2006) Developments in the characterization of complex rock slope deformation and failure using numerical modelling techniques, *Engineering Geology*, 83(1), s. 217-235. doi: 10.1016/j.enggeo.2005.06.033.
- Stead, D. og Eberhardt, E. (2013) Understanding the mechanics of large landslides, *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*.
- Sveian, H. (1991) NAMSOS. Kvartærgeologisk kart 1723 IV - M 1:50 000, med beskrivelse: Norges geologiske undersøkelse.
- Tuncay, E. og Hasancebi, N. (2009) The effect of length to diameter ratio of test specimens on the uniaxial compressive strength of rock, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68(4), s. 491-497. doi: 10.1007/s10064-009-0227-9.
- Vegdirektoratet (2012) *Etatsprogrammet Moderne vegtunneler : Strategi for bygging av nye vegtunneler : Grunnlagsdokument*. Statens vegvesen, Trafikksikkerhet, miljø-og teknologiavdelingen.

- Vegdirektoratet (2016) *Laboratorieundersøkelser : Håndbok R210*. Statens-vegvesen, Veg- og transportavdelingen, Byggherreseksjonen.
- Vistnes, G. (2016) Munnlig kilde, 05.10.16.
- Vo, T. D. (2015) RAMMS::Rockfall versus Rockyfor3D in rockfall trajectory simulations at the Community of Vik, Norway. Oslo: Universitetet i Oslo.
- Volkwein, A., Schellenberg, K., Labiouse, V., Agliardi, F., Berger, F., Bourrier, F., . . . Jaboyedoff, M. (2011) Rockfall characterisation and structural protection - a review, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, s. 2617-2651. doi: 10.5194/nhess-11-2617-2011.
- Wu, C. (2012) *VisualSFM 0.5.26 : A Visual Structure from Motion System [Programvare]*. Tilgjengeleg frå: <http://ccwu.me/vsfm/> (Henta: 05.06 2017).
- Wyllie, D. C. og Mah, C. W. (2004) *Rock Slope Engineering : Civil and Mining*. 4th. utg. London: Spon Press.
- Wyllie, D. C. (2014a) Calibration of rock fall modeling parameters, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 67, s. 170-180. doi: 10.1016/j.ijrmms.2013.10.002.
- Wyllie, D. C. (2014b) *Rock fall engineering : development and calibration of an improved model for analysis of rock fall hazards on highways and railways*, The University of British Columbia.
- Øydvin, E. K., Devoli, G., Bargel, T. H., Wiig, T., Taurisano, A., Berg, H., . . . Stalsberg, K. (2011) Plan for skredfarekartlegging.

Vedlegg

Innholdsliste vedlegg

Vedlegg A. Feltmålinger av sprekker

Vedlegg A-1: Sprekkemålinger og sprekkesett for dei ulike delområda til Sjøåsberget

Vedlegg A-2: Eigenskapar til sprekkesetta – Utholdenheit

Vedlegg A-3: Eigenskapar til sprekkesetta – Avstand

Vedlegg A-4: Eigenskapar til sprekkesetta – Overflateforhold til sprekker og tilhøyrande sprekkesett

Vedlegg B. Bergmekaniske resultat

Vedlegg B-1: Dimensjonar, densitet og einaksial trykktest (UCS, E-modul og Poissons forholdstal)

Vedlegg B-2: Spenning-tøyingsdiagram til einaksial trykktest

Vedlegg B-4: Bilete av kjernane etter einaksial trykktesting

Vedlegg B-3: Punktlasttest

Vedlegg B-4: Tilttest

Vedlegg C. Resultat forvittringsmateriale

Vedlegg C-1: Frisvelling

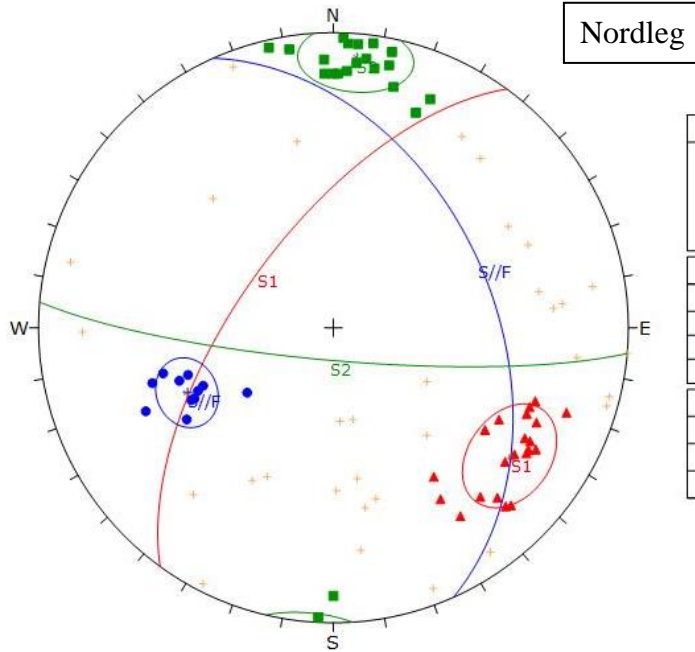
Vedlegg C-2: Kornfordelingsanalyse – våtsikting og tørrsikting av lausmasseprøve P1

Vedlegg D. Korrigerte lengdeprofilar

Vedlegg E. Rockyfor3D

Vedlegg A. Feltnålinger av sprekker

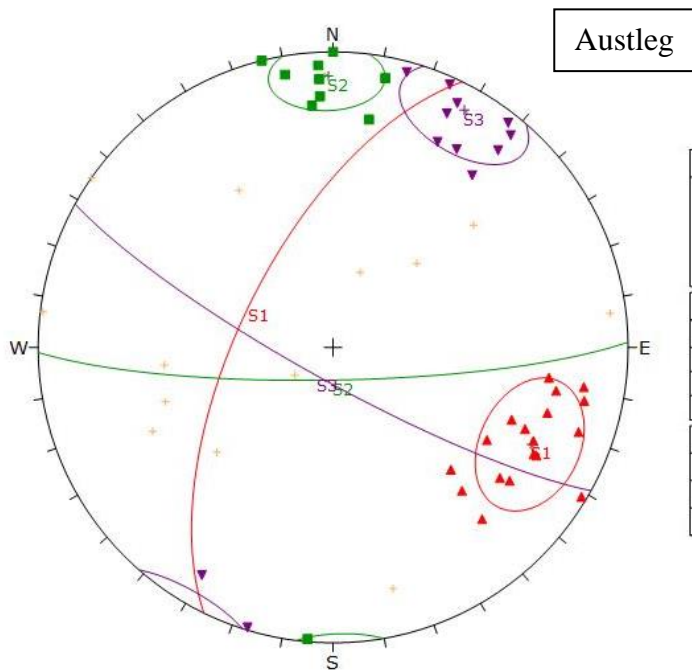
Vedlegg A-1: Sprekkemålinger og sprekkesett for dei ulike delområda til Sjøåsberget



Symbol	Set	Quantity
●	1	12
▲	2	21
■	3	21
+	[no data]	32

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m	■	45	66	S//F
2m	■	64	306	S1
3m	■	81	185	S2

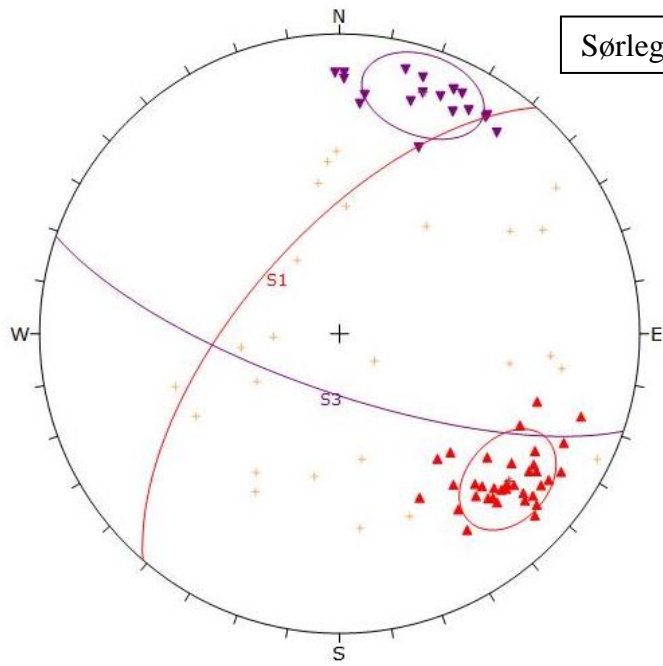
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	86 (86 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Symbol	Set	Quantity
▲	1	18
■	2	10
▼	3	12
+	[no data]	13

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m	■	64	296	S1
2m	■	81	179	S2
3m	■	81	209	S3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	53 (53 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

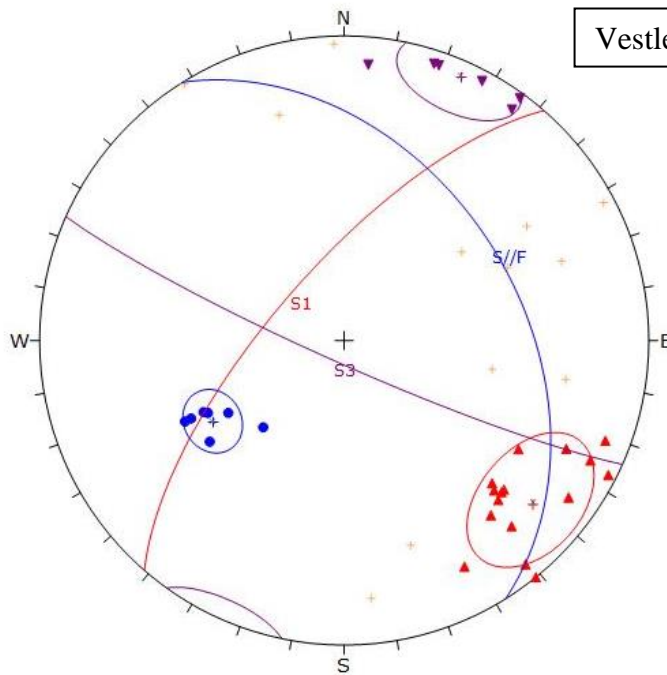


Sørleg

Symbol	Set	Quantity
▲	1	35
▼	3	19
+	[no data]	25

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m	■	64	311	S1
3m	■	74	199	S3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	79 (79 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



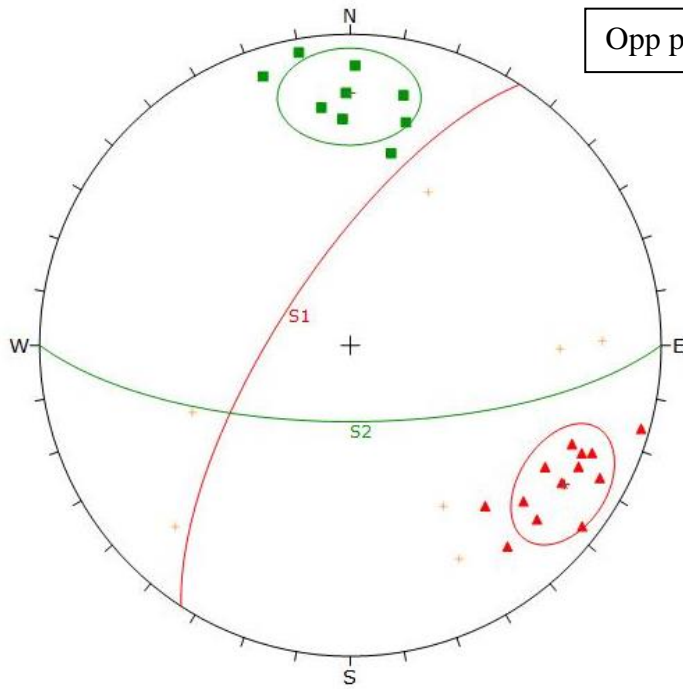
Vestleg

Symbol	Set	Quantity
▲	1	16
▼	2	6
●	3	7
+	[no data]	12

	Color	Trend	Plunge	Label
Mean Set Planes				
1m	■	131	19	S1
2m	■	24	6	S3
3m	■	238	48	S//F

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	41 (41 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Opp på



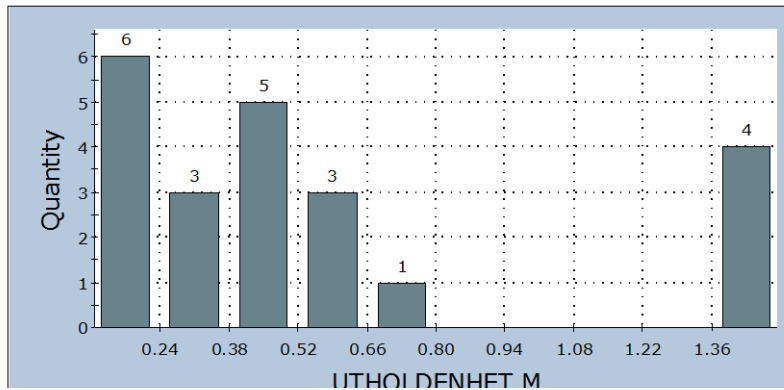
Symbol	Set	Quantity
▲	1	13
■	2	9
+	[no data]	7

	Color	Trend	Plunge	Label
Mean Set Planes				
1m	■	123	19	S1
2m	■	360	20	S2

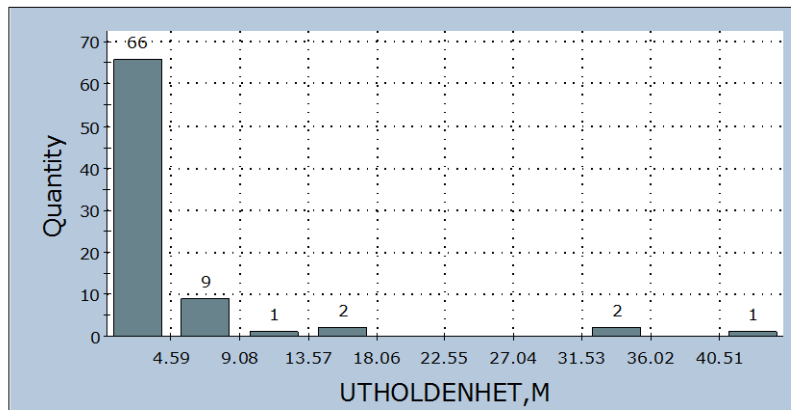
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	29 (29 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Vedlegg A-2: Egenskapar til sprekksetta - Utholdenheit

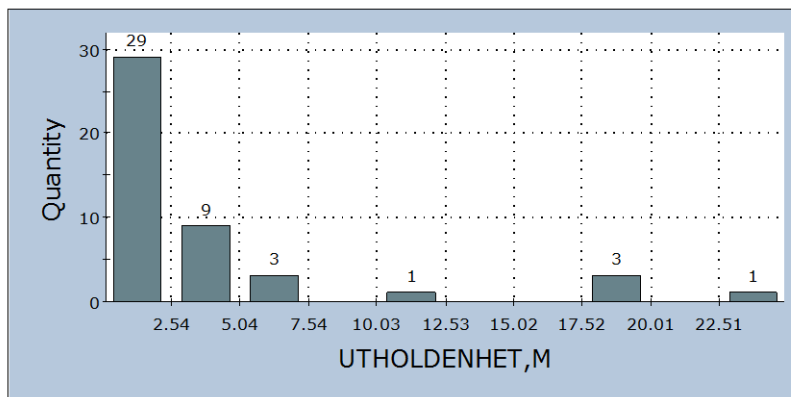
Histogram av UTHOLDENHET - S//F



Histogram av UTHOLDENHET - S1



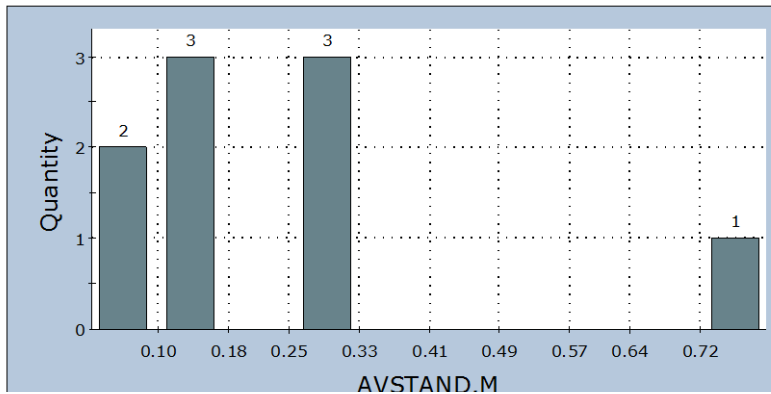
Histogram av UTHOLDENHET - S2



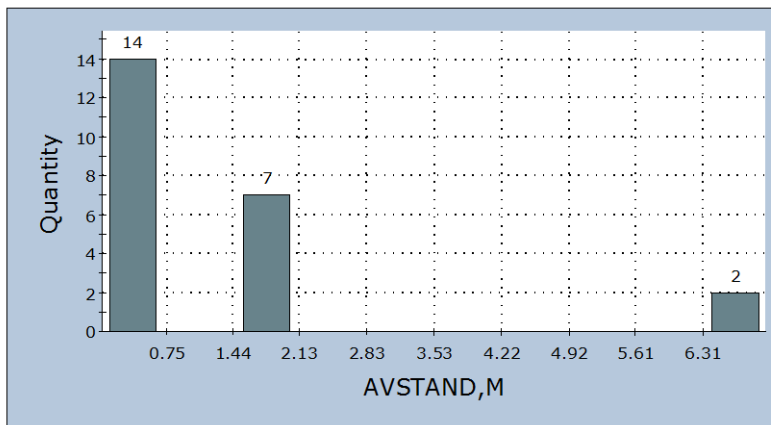
mean=3.80761 s.d.=5.83562 min=0.05 max=25

Vedlegg A-3: Egenskapar til sprekkasetta – Avstand

Histogram av AVSTAND - S//F

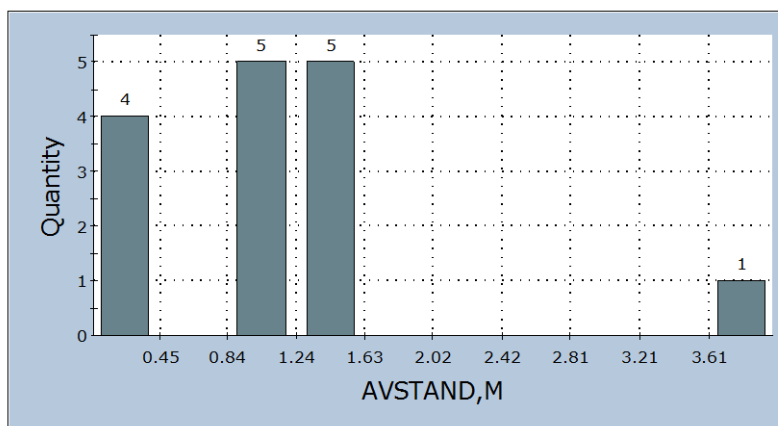


Histogram av AVSTAND - S1



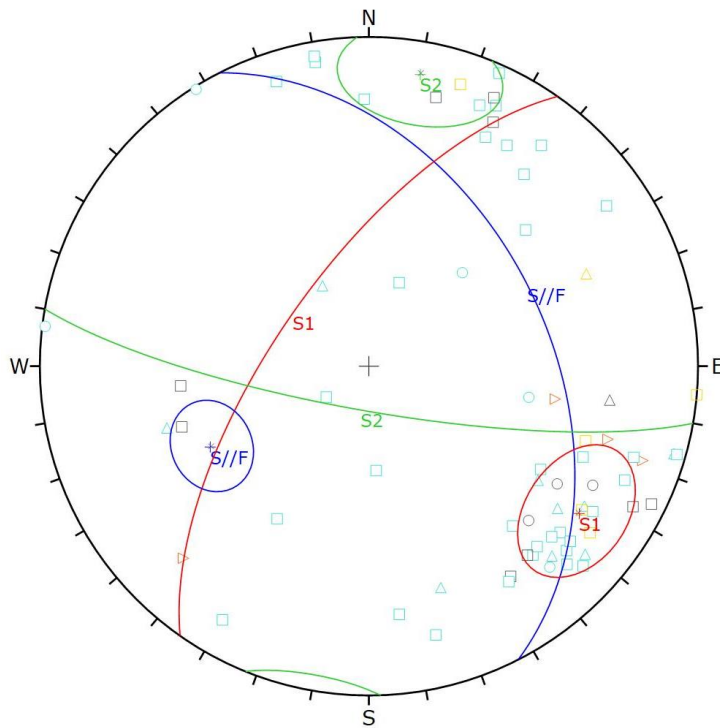
mean=1.17791 s.d.=1.93776 min=0.05 max=7

Histogram av AVSTAND - S2



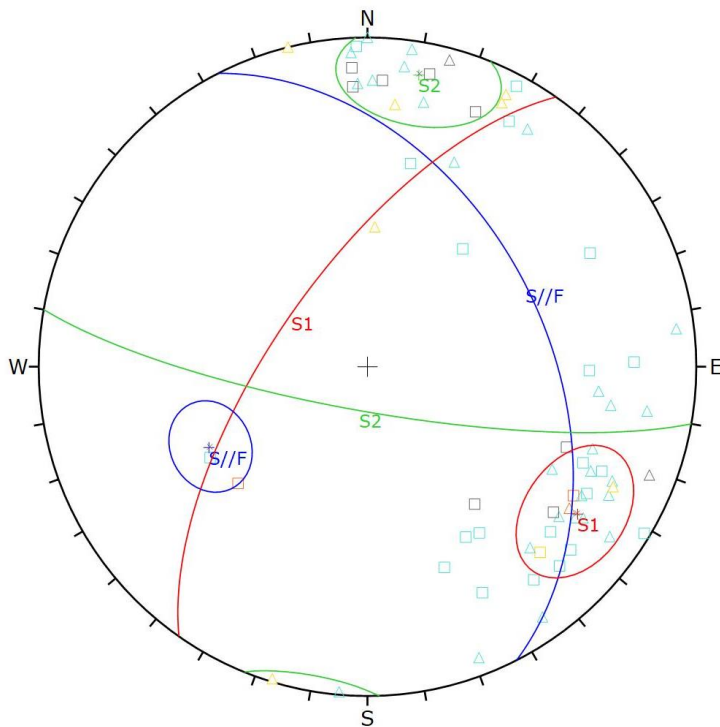
mean=1.126 s.d.=0.957838 min=0.05 max=4

Vedlegg A-4: Egenskaper til sprekkesetta – Overflateforhold til sprekker og tilhørende sprekkesett



Symbol	OVERFLATE	Quantity
□	l.hakket + ru	5
△	l.hakket + v.ru	1
○	Lundu.	3
□	Lundu. + ru	9
△	Lundu. + v.ru	1
○	plan	5
□	plan + ru	36
△	plan + v.ru	9
△	ru	4
	Others	178

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	251 (251 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Symbol	OVERFLATE	Quantity
□	hakket + ru	8
△	hakket + v.ru	2
□	undu. + ru	21
△	undu. + v.ru	27
□	v.hakket + ru	1
△	v.hakket + v.ru	7
□	v.undu. + ru	2
△	v.undu. + v.ru	1
	Others	182

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	251 (251 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Vedlegg B. Bergmekaniske resultat

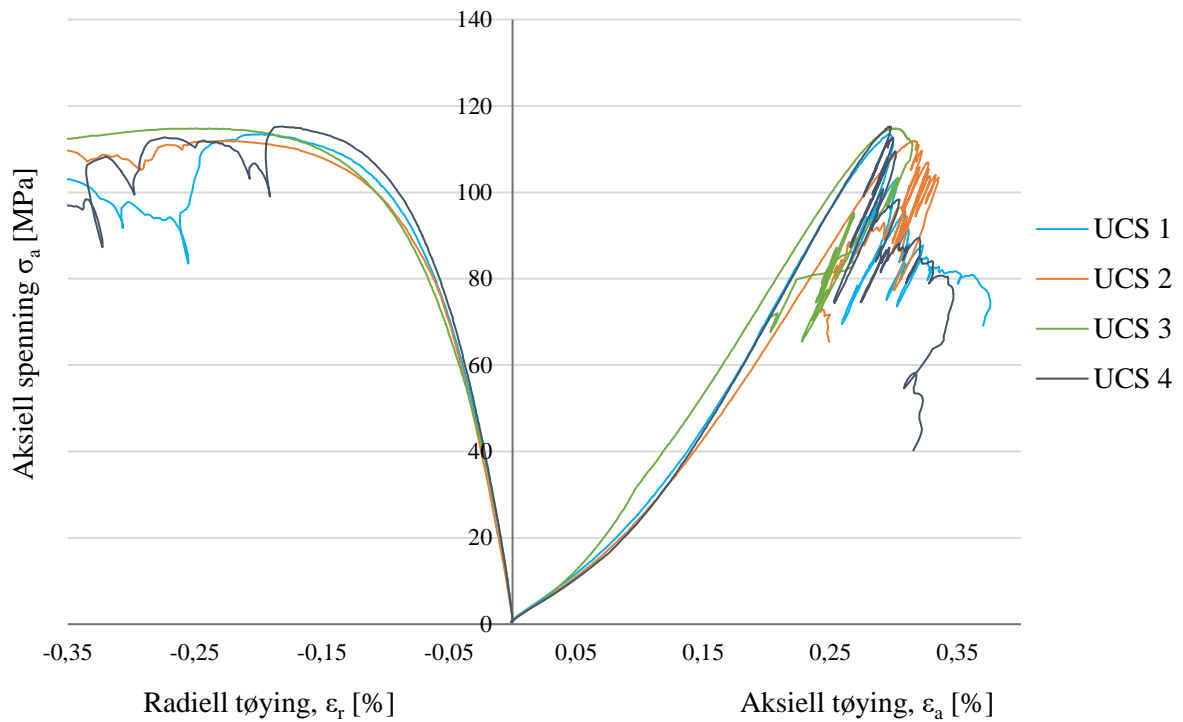
Vedlegg B-1: Dimensjonar, densitet og einaksial trykktest (UCS, E-modul og Poissons forholdstal)

Dimensjon og densitet vart utført 28.03.2017 på fuktige prøver. Einaksial trykktest vart utført 04.05.2017 på vassmetta prøver.

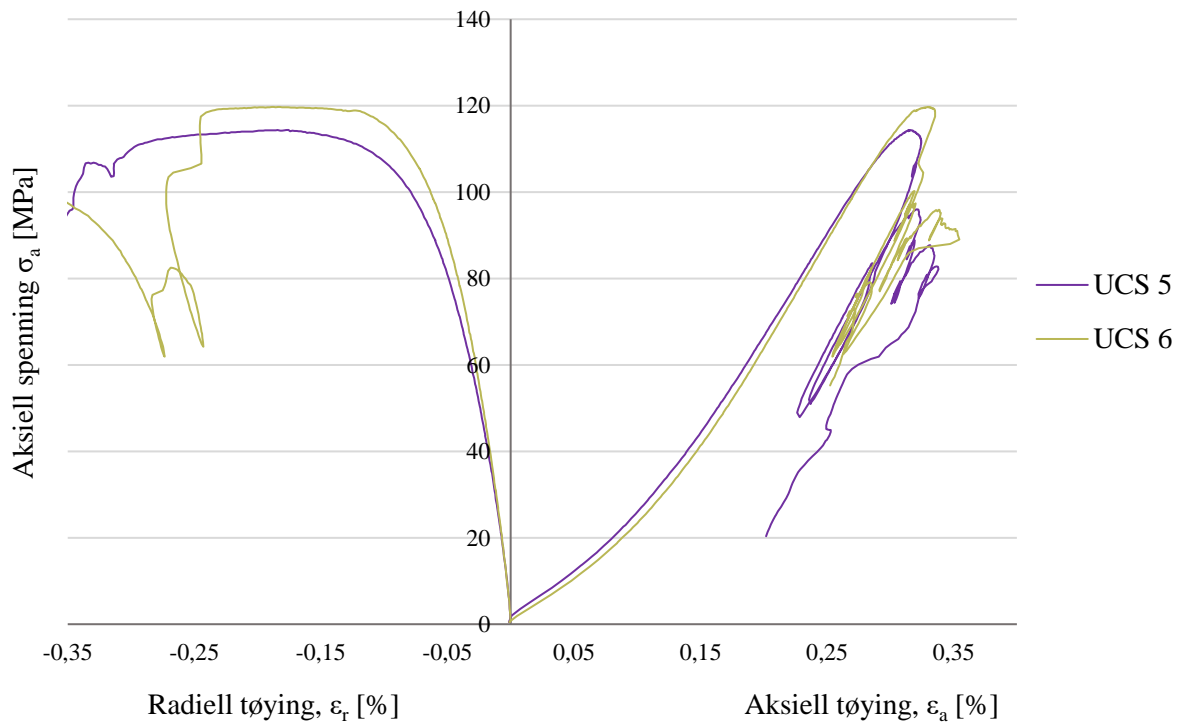
Kjerne	D [mm]	L [mm]	L/D	M [g]	V [cm ³]	ρ [kg/m ³]	γ [kN/m ³]	σ_{c50} [MPa]	Valgt σ_a [MPa]	E_t [GPa]	ν	Brottype	Brotvinkel frå lasteakse [°]
UCS 1	49,90	127,39	2,55	650,7	249,13	2611,7	25,61	113,5	61	50,4	0,48	Sprøtt brudd, klasse II	22
UCS 2	49,89	121,89	2,44	621,7	238,31	2608,8	25,58	111,9	57	43,8	0,37	Sprøtt brudd, klasse II	12
UCS 3	49,83	127,42	2,56	649,6	248,46	2614,5	25,64	114,8	58	46,6	0,47	Sprøtt brudd, klasse II	21
UCS 4	49,91	127,31	2,55	650,6	249,09	2611,8	25,61	115,2	58	53,8	0,43	Sprøtt brudd, klasse II	12
UCS 5	49,88	127,29	2,55	649,8	248,70	2612,6	25,62	114,4	58	44,3	0,34	Sprøtt brudd, klasse II	20
UCS 6	49,88	127,97	2,57	653,5	250,08	2613,2	25,63	119,7	60	45,7	0,27	Sprøtt brudd, klasse II	22
Gj.						2612,1	25,62	114,9		47,4	0,39		18
SD						1,94	0,02	2,6		3,90	0,079		4,8

Vedlegg B-2: Spenning-tøyingsdiagram til einaksial trykktest

Einaksial trykktest - Kjerner frå lengste akse til blokka



Einaksial trykktest - Kjerner frå kortaste akse til blokka



Vedlegg B-4: Bilete av kjernane etter einaksial trykktesting

UCS 1



UCS 2



UCS 3



UCS 4



UCS 5



UCS 6



Vedlegg B-3: Punktlasttest

Testen vart utført 04.05.2017 på vassmetta prøver.

Test	Lastretning i forhold til foliasjon	W (breidd) [mm]	d (distanse) [mm]	P (last) [kN]	D_e^2 [mm ²]	D_e	I_s [MPa]	F (korreksjons- faktor)	$I_s(50)$ [MPa]	Kommentar
Diametral	//		34,2	4,59	1169,64		3,92	0,84	3,31	uklar eller varierende foliasjon
Diametral	//		34,2	4,70	1169,64		4,02	0,84	3,39	-
Diametral	//		34,2	4,79	1169,64		4,10	0,84	3,45	lasten gjekk litt fort
Diametral	//		34,2	4,85	1169,64		4,15	0,84	3,50	varierende retning på foliasjon
Diametral	//		34,2	5,31	1169,64		4,54	0,84	3,83	uklar eller varierende foliasjon
Diametral	//		34,2	5,43	1169,64		4,64	0,84	3,91	uklar eller varierende foliasjon
Diametral	//		34,2	5,52	1169,64		4,72	0,84	3,98	-
Diametral	//		34,2	5,63	1169,64		4,81	0,84	4,06	-
Diametral	//		34,2	5,64	1169,64		4,82	0,84	4,06	uklar eller varierende foliasjon
Diametral	//		34,2	5,72	1169,64		4,89	0,84	4,12	-
Diametral	//		34,2	5,90	1169,64		5,04	0,84	4,25	-
Diametral	//		34,2	6,01	1169,64		5,14	0,84	4,33	vanskeleg å avgjere foliasjonen
Diametral	//		34,2	6,32	1169,64		5,40	0,84	4,55	vanskeleg å avgjere foliasjonen
Diametral	//		34,2	6,35	1169,64		5,43	0,84	4,58	-
Diametral	//		34,2	6,38	1169,64		5,45	0,84	4,60	uklar eller varierende foliasjon
Diametral	//		34,2	6,40	1169,64		5,47	0,84	4,61	-
Diametral	//		34,2	6,74	1169,64		5,76	0,84	4,86	-
Diametral	//		34,2	6,89	1169,64		5,89	0,84	4,97	-
Diametral	//		34,2	6,93	1169,64		5,92	0,84	4,99	-
Aksial	⊥	34,2	29,74	4,33	1295,02	35,99	3,34	0,86	2,88	-
Aksial	⊥	34,2	23,13	4,14	1007,19	31,74	4,11	0,82	3,35	-

Vedlegg B

Aksial	//	34,2	18,61	3,52	810,37	28,47	4,34	0,78	3,37	parallelt med foliasjonen, sorter som parallell
Aksial	⊥	34,2	22,56	4,64	982,37	31,34	4,72	0,81	3,83	kjem på skrå på foliasjon
Aksial	⊥	34,2	23,09	4,76	1005,45	31,71	4,73	0,81	3,86	-
Aksial	//	34,2	22,38	4,68	974,53	31,22	4,80	0,81	3,89	parallelt med foliasjonen, sorter som parallell
Aksial	⊥	34,2	25,83	5,43	1124,76	33,54	4,83	0,84	4,03	omtrent vinkelrett på foliasjon
Aksial	⊥	34,2	22,61	4,95	984,55	31,38	5,03	0,81	4,08	litt parallell, men uklar
Aksial	⊥	34,2	24,54	5,44	1068,59	32,69	5,09	0,83	4,20	uklar foliasjon
Aksial	⊥	34,2	24,80	5,71	1079,91	32,86	5,29	0,83	4,38	omtrent vinkelrett på foliasjon
Aksial	⊥	34,2	19,60	4,97	853,48	29,21	5,82	0,79	4,57	-
Aksial	//	34,2	20,69	5,19	900,94	30,02	5,76	0,79	4,58	parallelt med foliasjonen, sorter som parallell
Aksial	⊥	34,2	22,66	5,64	986,72	31,41	5,72	0,81	4,64	uklar foliasjon
Aksial	⊥	34,2	20,89	5,39	909,65	30,16	5,93	0,80	4,72	omtrent vinkelrett på foliasjon
Aksial	⊥	34,2	21,88	5,74	952,76	30,87	6,02	0,80	4,85	litt parallell men uklar
Aksial	//	34,2	25,74	6,62	1120,84	33,48	5,91	0,83	4,93	parallelt med foliasjonen, sorter som parallell
Aksial	//	34,2	21,21	5,84	923,59	30,39	6,32	0,80	5,05	parallelt med foliasjonen, sorter som parallell
Aksial	⊥	34,2	23,54	6,37	1025,04	32,02	6,21	0,82	5,08	litt parallell men uklar
Aksial	⊥	34,2	21,36	6,13	930,12	30,50	6,59	0,80	5,28	litt parallell men uklar
Aksial	⊥	34,2	29,74	4,33	1295,02	35,99	3,34	0,86	2,88	-
Aksial	⊥	34,2	23,13	4,14	1007,19	31,74	4,11	0,82	3,35	-
Aksial	//	34,2	18,61	3,52	810,37	28,47	4,34	0,78	3,37	parallelt med foliasjonen, sorter som parallell
Aksial	⊥	34,2	22,56	4,64	982,37	31,34	4,72	0,81	3,83	kjem skrått på foliasjonen
Aksial	⊥	34,2	23,09	4,76	1005,45	31,71	4,73	0,81	3,86	-

Vedlegg B

Aksial	//	34,2	22,38	4,68	974,53	31,22	4,80	0,81	3,89	parallelt med foliasjonen, sorter som parallell
Aksial	⊥	34,2	25,83	5,43	1124,76	33,54	4,83	0,84	4,03	omtrent vinkelrett på foliasjonen
Aksial	⊥	34,2	22,61	4,95	984,55	31,38	5,03	0,81	4,08	litt parallell men uklar
Aksial	⊥	34,2	24,54	5,44	1068,59	32,69	5,09	0,83	4,20	uklar foliasjon
Aksial	⊥	34,2	24,80	5,71	1079,91	32,86	5,29	0,83	4,38	omtrent vinkelrett på foliasjon
Aksial	⊥	34,2	19,60	4,97	853,48	29,21	5,82	0,79	4,57	-
Aksial	//	34,2	20,69	5,19	900,94	30,02	5,76	0,79	4,58	parallelt med foliasjonen, sorter som parallell
Aksial	⊥	34,2	22,66	5,64	986,72	31,41	5,72	0,81	4,64	uklar foliasjon
Aksial	⊥	34,2	20,89	5,39	909,65	30,16	5,93	0,80	4,72	omtrent vinkelrett på foliasjonen
Aksial	⊥	34,2	21,88	5,74	952,76	30,87	6,02	0,80	4,85	litt parallell men uklar
Aksial	//	34,2	25,74	6,62	1120,84	33,48	5,91	0,83	4,93	parallelt med foliasjonen, sorter som parallell
Aksial	//	34,2	21,21	5,84	923,59	30,39	6,32	0,80	5,05	parallelt med foliasjonen, sorter som parallell
Aksial	⊥	34,2	23,54	6,37	1025,04	32,02	6,21	0,82	5,08	litt parallell men uklar
Aksial	⊥	34,2	21,36	6,13	930,12	30,50	6,59	0,80	5,28	litt parallell men uklar

		Gj.	SD	Korrelasjonsfaktor (k)
$I_s(50)$	//	-	4,23	0,49
$I_s(50)$	⊥	-	4,32	0,37
I_a	1,02	-	-	-

Vedlegg B-4: Tilttest

Testen vart utført 05.05.2017 på tørre prøver.

Oppsummerande:

	ϕ_b (gj.) [°]	ϕ_b (SD) [°]
Tilt I	22,4	2,14
	23,0	0,92
	19,6	2,83
	22,9	1,74
Tilt II	22,2	2,79
	26,7	3,18
	20,9	0,94
	25,5	3,12
Tilt III	30,4	1,99
	30,7	1,81
	30,9	1,76
	29,0	2,17
Blokka totalt	25,1	4,51
	28,5	3,70
	25,4	5,39
	24,7	3,18

KVIT: Alle målingar totalt, inkludert større tal med repetisjonar og ulike framgangsmetodar.

BLÅ: Målingar når kjernen glir fullstendig eller omtrent heilt av.

RAUD: Målingar når øvre kjerne starta samla med nedre kjerne.

GUL: Målingar når øvre kjerne starta lenger nede (ofte ca. 1 cm).

Prøve	Øvst	Rep.	Helling [°]	Endring/detalj i oppsett	Kommentar
Tilt I	A1	1	22,3	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei ca. 1,5 cm ved oppnådd helling. Meir friksjon dess lenger ned den glir.
		2	18,7	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei ca. 1,5 cm ved oppnådd helling. Meir friksjon dess lenger ned den glir.
		3	24,4	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei ca. 1 cm ikkje ved oppnådd helling. Meir friksjon dess lenger ned den glir.
	A2	1	22,6	Øvre kjerne starta ca. 1 cm lenger nede	Glei omtrent heilt av ved oppnådd helling.

Vedlegg B

	2	23,2	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei ca. 1,5 cm ved oppnådd helling. Meir friksjon dess lenger ned den glir.	
	3	24,0	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei ca. 1 cm ved oppnådd helling. Meir friksjon dess lenger ned den glir.	
B1	1	17,6	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei ca. 1,5 cm ved oppnådd helling. Meir friksjon dess lenger ned den glir.	
	2	24,6	Øvre kjerne starta ca. 1 cm lenger nede	Glei heilt av ved oppnådd helling.	
	3	24,4	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei ca. 1 cm ved oppnådd helling. Meir friksjon dess lenger ned den glir.	
	4	23,3	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei ca. 1 cm ved oppnådd helling. Meir friksjon dess lenger ned den glir.	
B2	1	21,6	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei ca. 1 cm ved oppnådd helling. Meir friksjon dess lenger ned den glir.	
	2	23,2	Øvre kjerne starta ca. 1 cm lenger nede	Glei berre nokre millimeter før stopp ved oppnådd helling.	
	3	23,5	Øvre kjerne starta ca. 1 cm lenger nede	Glei stykkevis inntil oppnådd målt helling. Glei då heilt av.	
	4	20,5	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei fullstendig av ved oppnådd helling. Er tendens til meir friksjon når den glir lenger ned, men er ikkje like markant som dei andre.	
Tilt II	A1	1	19,3	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei fullstendig av ved oppnådd helling. Er tendens til meir friksjon når den glir lenger ned, men er ikkje like markant som dei andre.
	2	21,4	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei fullstendig av ved oppnådd helling. Er tendens til meir friksjon når den glir lenger ned, men er ikkje like markant som dei andre.	
	3	20,0	Øvre kjerne starta ca. 1 cm lenger nede	Glei fullstendig av ved oppnådd helling.	
	4	21,7	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei fullstendig av ved oppnådd helling. Verkar til å vere mindre friksjon eit punkt ca. 1 cm lenger ned. Men er lik friksjon lenger ned.	

Vedlegg B

A2	1	20,8	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei fullstendig av ved oppnådd helling. Verkar til å vere mindre friksjon eit punkt ca. 1 cm lenger ned. Men er lik friksjon lenger ned.
	2	20,2	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei fullstendig av ved oppnådd helling. Verkar til å vere mindre friksjon eit punkt ca. 1 cm lenger ned. Men er lik friksjon lenger ned.
	3	21,0	Øvre kjerne starta ca. 1 cm lenger nede	Glei ikkje heilt fullstendig av ved oppnådd helling.
	4	24,4	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei fullstendig av ved oppnådd helling. Verkar til å vere mindre friksjon eit punkt ca. 1 cm lenger ned. Men er lik friksjon lenger ned.
B1	1	22,1	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei fullstendig av ved oppnådd helling. Verkar til å vere mindre friksjon eit punkt ca. 1 cm lenger ned. Men er lik friksjon lenger ned.
	2	20,2	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei fullstendig av ved oppnådd helling. Verkar til å vere mindre friksjon eit punkt ca. 1 cm lenger ned. Men er lik friksjon lenger ned.
	3	22,2	Øvre kjerne starta ca. 1 cm lenger nede	Glir fullstendig av ved oppnådd helling.
	4	25,3	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei fullstendig av ved oppnådd helling. Kan vere tendens til mindre friksjon eit punkt ca. 1 cm lenger ned. Friksjonen verkar elles lik.
B2	1	20,2	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei fullstendig av ved oppnådd helling. Kan vere tendens til mindre friksjon eit punkt ca. 1 cm lenger ned. Friksjonen verkar elles lik.
	2	21,0	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glir fullstendig av ved oppnådd helling. Kan vere tendens til mindre friksjon eit punkt ca. 1 cm lenger ned. Friksjonen verkar elles lik.
	3	22,1	Øvre kjerne starta ca. 1 cm lenger nede	Glir fullstendig av ved oppnådd helling.

Vedlegg B

		4	25,9	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei ca. 1,5 cm ved oppnådd helling. Meir friksjon dess lenger ned den glir.
		5	30,3	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei ca. 1,5 cm ved oppnådd helling. Meir friksjon dess lenger ned den glir.
Tilt III	A1	1	27,4	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei ca. 1 cm. Meir friksjon dess lenger ned den glir.
		2	29,8	Øvre kjerne starta ca. 1 cm lenger nede	Glei omtrent heilt av ved oppnådd helling.
		3	28,1	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei ca. 1,5 cm ved oppnådd helling. Meir friksjon dess lenger ned den glir.
		4	29,7	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei ca. 1 cm ved oppnådd helling. Meir friksjon dess lenger ned den glir.
	A2	1	30,0	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei ca. 1,5 cm ved oppnådd helling. Meir friksjon dess lenger ned den glir.
		2	31,5	Øvre kjerne starta ca. 1 cm lenger nede	Glei heilt av ved oppnådd helling.
		3	31,2	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei ca. 1 cm ved oppnådd helling. Meir friksjon dess lenger ned den glir.
		4	26,9	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei ca. 1 cm ved oppnådd helling. Meir friksjon dess lenger ned den glir.
	B1	1	31,2	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei ca. 1 cm ved oppnådd helling. Meir friksjon dess lenger ned den glir.
		2	32,4	Øvre kjerne starta ca. 1 cm lenger nede	Glei berre nokre millimeter før stopp ved oppnådd helling.
		3	31,4	Øvre kjerne starta ca. 1 cm lenger nede	Glei stykkevis inntil oppnådd målt helling. Glei då heilt av.
		4	27,6	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei fullstendig av ved oppnådd helling. Er tendens til meir friksjon når den glir lenger ned, men er ikkje like markant som dei andre.
	B2	1	32,8	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei fullstendig av ved oppnådd helling. Er tendens til meir friksjon når den glir lenger ned, men er ikkje like markant som dei andre.
		2	32,3	Øvre kjerne starta samla med nedre	Glei fullstendig av ved oppnådd helling. Er tendens til meir friksjon når den glir

				lenger ned, men er ikkje like markant som dei andre.
3	32,7	Øvre kjerne starta ca. 1 cm lenger nede		Glei fullstendig av ved oppnådd helling.
4	31,7	Øvre kjerne starta samla med nedre		Glei fullstendig av ved oppnådd helling. Verkar til å vere mindre friksjon eit punkt ca. 1 cm lenger ned. Men er same friksjon lenger ned.

Dimensjon tilt-kjerner:

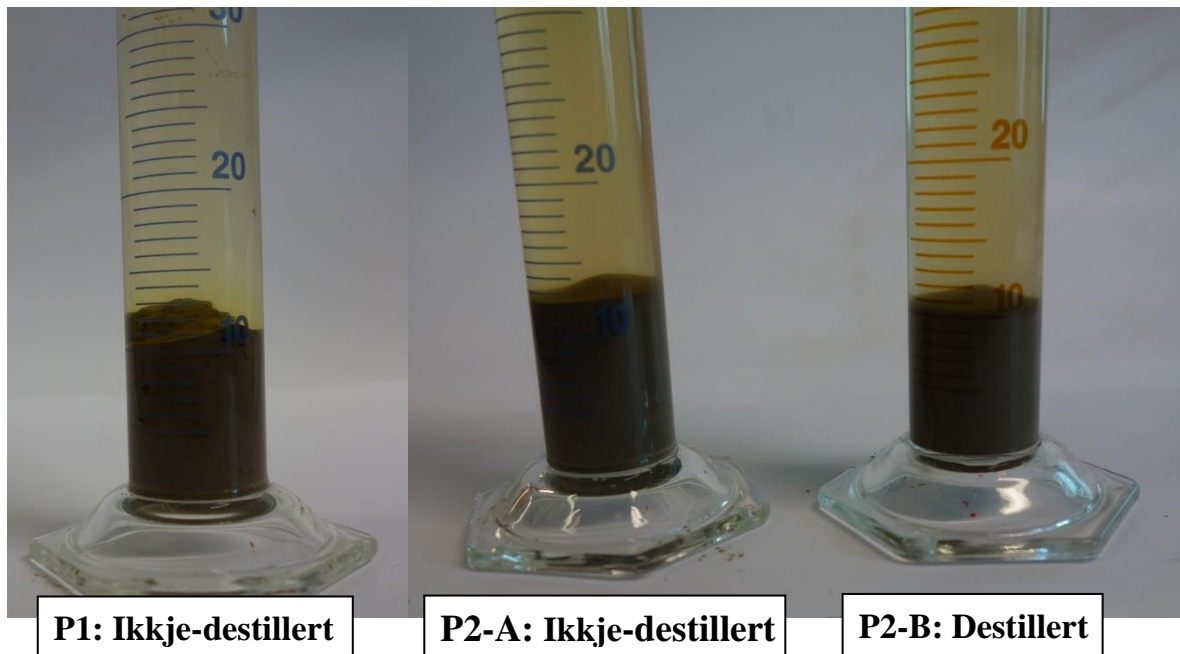
Kjerner	D [mm]	L [mm]	L/D	m_a [g]	m_b [g]	m_{tot} [g]	Kommentar
Tilt I	49,9	121,4	2,43	314,6	266,6	581,3	Noko uregelmessigheiter i planflata.
Tilt II	49,9	129,5	2,60	276,7	345,1	621,8	Saga noko skeivt. Den eine kjernen er litt større enn den andre. Glideplan er også noko skeivt.
Tilt III	49,9	129,3	2,59	284,2	336,5	620,7	Saga noko skeivt. Den eine kjernen litt større enn den andre. Glideplanet verkar beint.

Vedlegg C. Resultat forvitningsmateriale


Vedlegg C-1: Frisvelling

Testen blei utført 15.05.2017 og 16.05.2017.

	Ikkje-destillert vatn		Destillert vatn
	<i>P1</i>	<i>P2-A</i>	<i>P2-B</i>
V_t	10	10	10
V_l	11,5	12,5	10,5
FS [%]	115	125	105



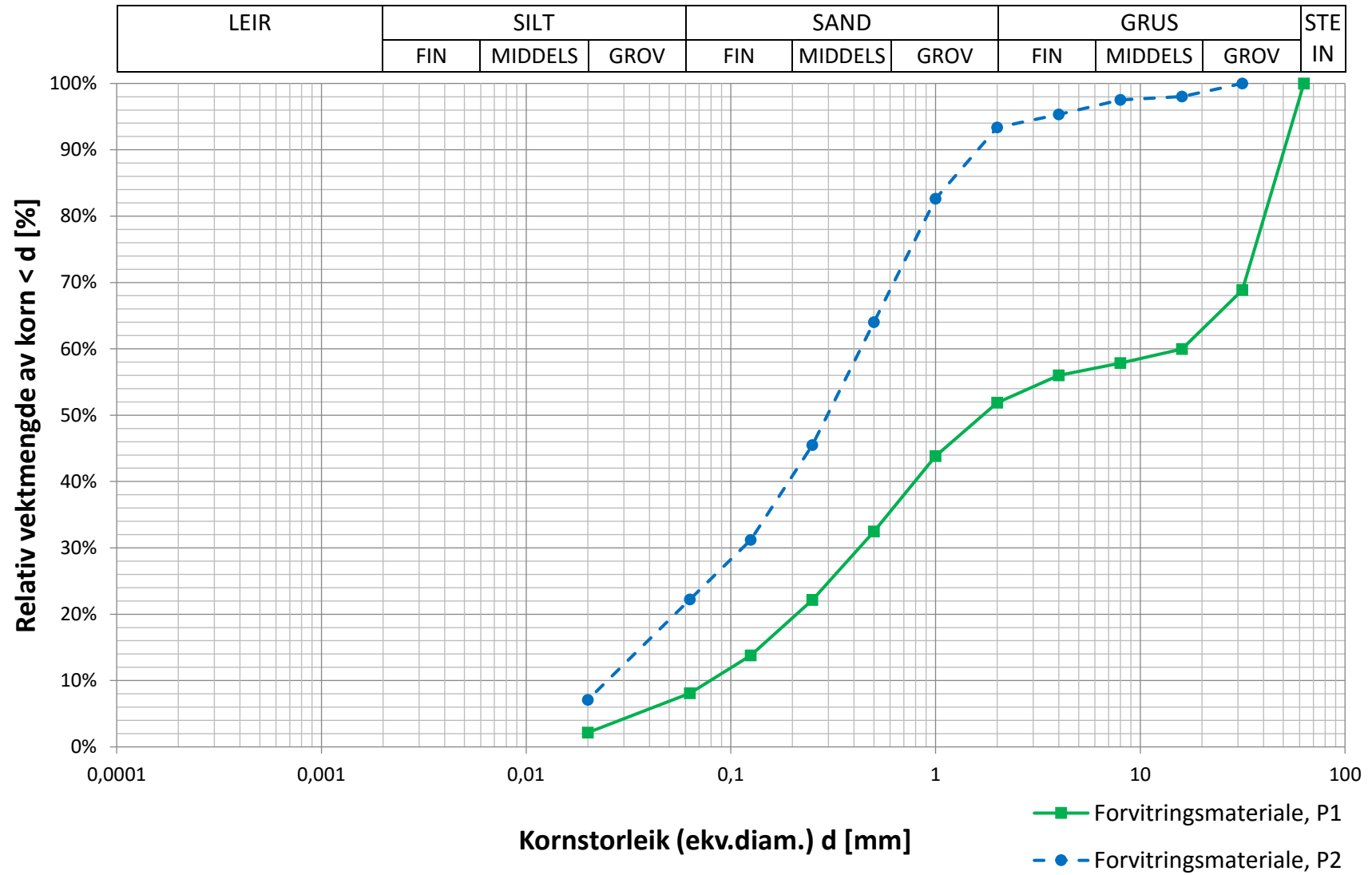
Vedlegg C-2: Kornfordelingsanalyse – våtsikting og tørrsikting av lausmasseprøve P1

		SIKTEANALYSE Arbeidsskjema			Dato våtsikting: 12.05.2017 15.05.2017 Dato tørrsikting: 22.05.2017	
Sikteanalyse: Vegdirektoratet (2016)/NS-EN 933-1 Laboratorium: Ingeniørgeologisk laboratorium til Instituttet for geovitskap og petroleum ved NTNU. Materialtype: Forvittringsmateriale Prøvestad: Sjøåsberget, Namdalseid kommune. UTM 32 607845 Ø, 7133363 N					Prøvenummer: P1 Dato prøvetaking: 14.07.2016 Lagring: Romtemperatur Våtsikting og tørrsikting	
Prøva si tørre totale masse før analyse, $M_1 = 395,1$ g Prøva si tørre masse etter vasking: P1A, $> 63 \mu\text{m}$, $M_2 = 375,3$ g P1B, $20-63 \mu\text{m} = 11,3$ g P1C, $< 20 \mu\text{m} = 8,5$ g					Forkorting og definisjon Diameter: d Finnstoff: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$ Graderingstallet, $Cu = d_{60} / d_{10}$	
Fraksjon d_i/D_i [mm]	Sikt [mm]	Vekt P1A [g]	Vekt P1 [g]	Frekvens andel, P1A [%]	Frekvens andel, P1 [%]	Relativ vektmengde av korn $< d_i$, P1 [%]
> 63	63	0,00	0,00	0,0	0,0	100,0
31,5 / 63	31,5	123,0	123,0	32,8	31,1	68,9
16 / 31,5	16	35,1	35,1	9,4	8,9	60,0
8 / 16	8	8,5	8,5	2,3	2,2	57,8
4 / 8	4	7,3	7,3	1,9	1,8	56,0
2 / 4	2	16,2	16,2	4,3	4,1	51,9
1 / 2	1	31,8	31,8	8,5	8,0	43,8
0,5 / 1	0,5	45,0	45,0	12,0	11,4	32,4
0,25 / 0,5	0,25	40,7	40,7	10,8	10,3	22,1
0,125 / 0,25	0,125	33,1	33,1	8,8	8,4	13,8
0,063 / 0,125	0,063	22,4	22,4	6,0	5,7	8,1
0,020 / 0,063	Rest	12,2	23,5	3,3	5,9	2,2
< 0,020		0,00	8,5	0,0	2,2	-
Totalt		375,3	395,1	100	100	-
Siktetap [%]		0,00	0,00	-	-	-
Finstoffinnhald, f: 8,1 % Graderingstall, Cu: 200, velgradert Jordartsbetegnelse: grusig, sandig materiale						

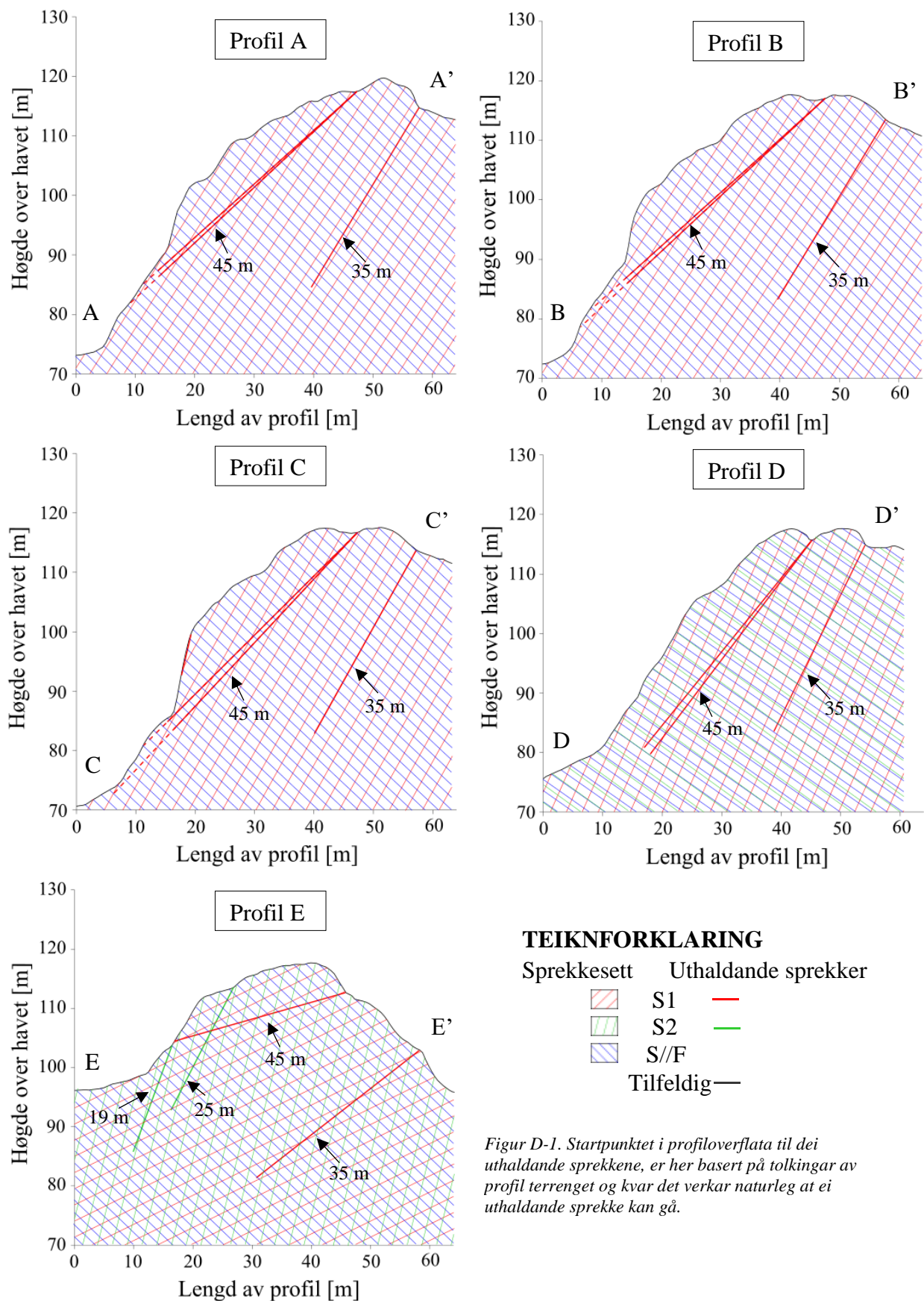
Avvik frå NS-EN 933-1 og andre generelle kommentarar:

- Prøvestørrelsen er for liten i samsvar til NS-EN 933-1. Med ein øvre kornstørrelse på 63 mm, skulle prøvestørrelsen ha vore på 40 kg. Det tilgjengeleg prøvematerialet var på 395,1 g.
- Manglar fylgjande kvadratiske sikter:
 - 11,2 mm
 - 22,4 mm
 - 45 mm
- Blei nytta 15 min med maskinsikting framfor 10 min.
- Materialet 20-63 μm (P1B) og $< 20 \mu\text{m}$ (P1C) blei skilt ut under våtsikting. Dette for å betre kunne teikne ei kornfordelingskurve, men også fordi materialet $< 20 \mu\text{m}$ (P1C) skulle nyttast vidare til frisvellingstest.

Kornfordelingsanalyse

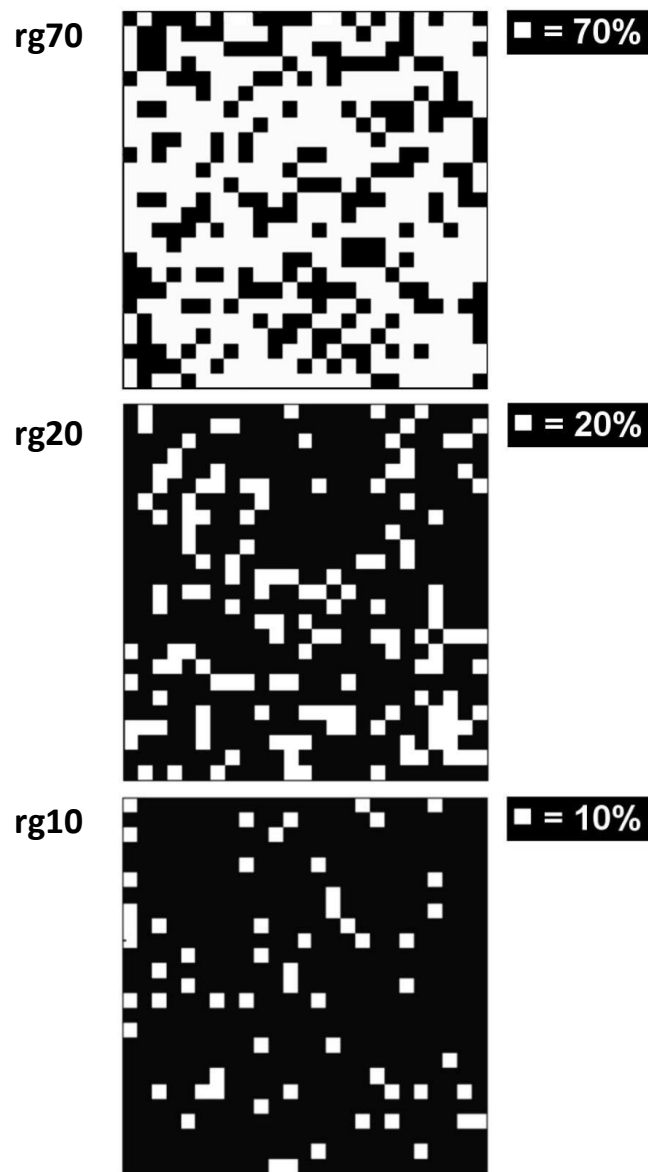


Vedlegg D. Korrigerte lengdeprofilar



Vedlegg E. Rockyfor3D

Hjelp til estimering av overflateruheit








Figur E-1. Visuell hjelp til å vurdere dei tre storleiksklassene av overflateruheit under feltarbeid. Figuren er henta i frå Dorren (2015).







Tabell E-1. Anbefalte verdiar som Rg kan justerast til. Henta i frå «Annexe I. Precision of the surface roughness values» av Dorren (2015).



Size of the surface roughness (MOH)	Possible Rg values (in m)
No roughness, obstacles absent	0
> 0 – 10 cm	0.03, 0.05, 0.08, 0.1
> 10 – 50 cm	0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.5
> 50 cm – 1 m	0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1
> 1 – 2.5 m	1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 2, 2.5
> 2.5 – 10 m	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
> 10 m	100

Tabell E-2. Eksempel på estimering av jordtype og overflateruheit. Henta i frå «Annexe II. Examples of parameter values for different slope surface types» i Dorren (2015).

Photo	rg70	rg20	rg10	soiltype
	0	0	0.05	6
	0	0.05	0.1	5
	0.25	0.5	0.9	4
	0.03	0.05	0.05	3
	0.05	0.05	0.1	4

Vedlegg E

	0.05	0.1	0.2	4
	0.03	0.03	0.03	3
	0	0	0.05	3
	0	0	0	7
	0.15	0.15	0.25	4
	0.1	0.35	0.15	4

	0	0	0	1
	100	100	100	0

Tabell E-3. Dei ulike terrenotypene som inngår i Rockyfor3D. Tabellen er henta i frå Dorren (2015).

Soiltype	General description of the underground	mean R_n value	R_n value range
0	River, or swamp, or material in which a rock could penetrate completely	0	0
1	Fine soil material (depth > ~100 cm)	0.23	0.21 - 0.25
2	Fine soil material (depth < ~100 cm), or sand/gravel mix in the valley	0.28	0.25 - 0.31
3	Scree (\emptyset < ~10 cm), or medium compact soil with small rock fragments, or forest road	0.33	0.30 - 0.36
4	Talus slope (\emptyset > ~10 cm), or compact soil with large rock fragments	0.38	0.34 - 0.42
5	Bedrock with thin weathered material or soil cover	0.43	0.39 - 0.47
6	Bedrock	0.53	0.48 - 0.58
7	Asphalt road	0.35	0.32 - 0.39