

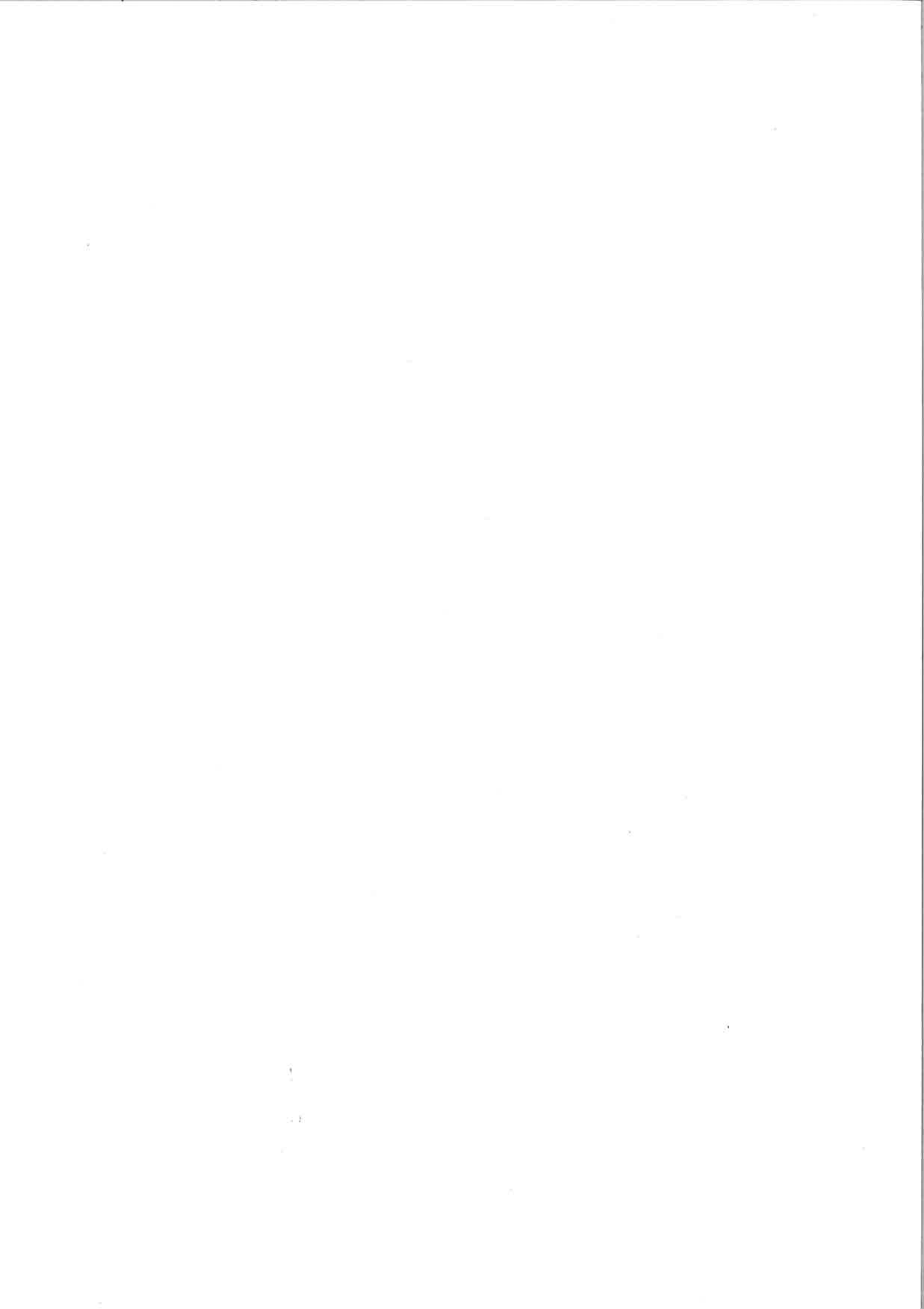


GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·





Rapport nr.: 2015.050	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen	
Tittel: Fare- og risikoklassifisering av det ustabile fjellpartiet Storhaugen blokk i Manndalen, Troms			
Forfatter: Martina Böhme, Freddy Yugsi Molina, John Dehls, Reginald L. Hermanns		Oppdragsgiver: Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)	
Fylke: Troms		Kommune: Kåfjord	
Kartblad (M=1:250.000) Nordreisa		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1633-1 Manndalen, 1634-2 Kåfjord	
Forekomstens navn og koordinater: Storhaugen blokk		Sidetall: 22	Pris: 95 NOK
Feltarbeid utført: 08.2012; 08.2013		Rapportdato: 04.10.2015	Prosjektnr.: 310000
		Ansvarlig: 	
Sammendrag: <p>Storhaugen blokk ligger i en vestvendt skråning omtrent 1020 m ovenfor Fjellstad i Manndalen (Kåfjord kommune, Troms). Det ustabile fjellpartiet ble rekonosert fra helikopter i 2010 og ble skannet med en bakkebasert laserskanner i 2012 og 2013. Data fra satellittbasert radarinterferometri (InSAR) er tilgjengelig fra forskjellige satellitter og strekker seg over flere år. Videre ble fjellpartiet innmålt med et LiSALab bakkebasert InSAR system.</p> <p>Et ustabil fjellparti er avgrenset av en fullstendig åpen baksprekk. Det er ingen synlige åpninger langs den nordlige grensen av det ustabile fjellpartiet, mens den sørlige flanken er helt frittstående. Strukturer er innmålt ved bruk av detaljerte terrengdata fra en bakkebasert laserskanner. De kartlagte strukturene viser at det er mulig med en utvelting og utglidning av det ustabile fjellpartiet ved Storhaugen. Den øverste delen av det ustabile fjellpartiet karakteriseres av en sterkt oppsprukket bergmasse. To scenarier har blitt definert for Storhaugen blokk basert på morfologi og endringer av egenskaper i fjellmassivet. Det største estimerte volumet er rundt 2,8 millioner m³ (scenario A). Dette scenarioet ansees som urealistisk pga. mangel av tegn til tidligere gravitativ deformasjon. Det mindre scenarioet (scenario B) har et volum av rundt 0,6 millioner m³. Hverken bakkebaserte eller satellittbaserte radarmålinger (InSAR) viser noen signifikante og koherente bevegelser av det ustabile fjellpartiet. Lokalbefolkningen rapporterer høy steinsprangsaktivitet fra Storhaugen blokk, og det er flere kildeområder for steinsprang både innenfor og utenfor det definerte ustabile fjellpartiet. Det finnes avsetninger fra tre fjellskred i dalen, der to har kildeområdene rett tilstøtende det aktuelle ustabile fjellpartiet. Faregraden til Storhaugen blokk er klassifisert til middels. Det er 1 beboer i utløpsområdet. I tillegg kommer 1 lagerbygning og 2 landbruksbygninger. Konsekvensene plottes dermed i lav konsekvensklasse. Storhaugen blokk er etter dette klassifisert som et ustabil fjellparti med lav risikograd.</p> <p>Storhaugen blokk er klassifisert som et ustabil fjellparti med lav risikograd. Det er derfor vurdert at det ikke er nødvendig med ytterligere feltundersøkelser eller bevegelsesmålinger. Fjellpartiet bør imidlertid rekonoseres på nytt hvis det legges merke til vesentlige forandringer i fjellsiden, eller etter noen tiår for å oppdage eventuelle forandringer.</p>			
Emneord: Fjellskred	Ustabil fjellparti	Bakkebasert laserskanning	
InSAR	Utløpsmodellering	Konsekvensanalyse	
Fare- og risikoklassifisering			

INNHold

1. INNLEDNING	4
2. BAKGRUNN OG OMRÅDEBESKRIVELSE	4
2.1 Geografisk og geologisk ramme	4
2.1.1 Befolkning og arealbruk	5
2.1.2 Geomorfologi og geologi	5
2.2 Tidligere skredhendelser	5
2.2.1 Steinsprangsaktivitet	6
2.3 Beskrivelse av det ustabile fjellpartiet	7
3. METODER	10
3.1 Strukturgeologiske og kinematiske analyser	10
3.2 Bevegelsesmålinger	10
3.2.1 Satellittbasert radarinterferometri (InSAR)	10
3.2.2 Bakkebasert radarinterferometri (InSAR)	10
3.3 Volumberegning	11
3.4 Utløpsanalyse	11
3.5 Fare- og risikoklassifisering	11
3.5.1 Fareklassifisering	12
3.5.2 Konsekvensanalyse	12
3.5.3 Risikoklassifisering	12
4. RESULTATER AV GEOLOGISKE UNDERSØKELSER	12
4.1 Strukturgeologiske målinger	12
4.2 Bevegelsesmålinger	13
4.2.1 Satellittbasert radarinterferometri (InSAR)	13
4.2.2 Bakkebasert radarinterferometri (InSAR)	13
5. TOLKNING AV GEOLOGISKE RESULTATER	15
5.1 Definisjon av forskjellige scenarioer	15
5.2 Kinematisk analyse	16
5.3 Geologisk modell	16
6. FARE- OG RISIKOKLASSIFISERING	17
6.1 Fareklassifisering	17
6.2 Utløpsanalyse	17
6.3 Konsekvenser	17
6.4 Risikoklassifisering	18
6.5 Oppsummering av fare- og risikoklassifiseringen	18
7. KONKLUSJONER	19
Referanser	20
Vedlegg A	22

1. INNLEDNING

Norges geologiske undersøkelse (NGU) utfører systematisk kartlegging av ustabile fjellpartier i Norge. Prosjektene inngår i den nasjonale planen for kartlegging av ustabile fjellpartier i Norge og har siden 2009 vært finansiert av NVE (Devoli m.fl., 2011, Øydvin m.fl., 2011). Den systematiske kartleggingen omhandler ustabile fjellpartier som kan forårsake fjellskred og alvorlige sekundærvirkninger, for eksempel flodbølger eller oppdemning av elver (Devoli m.fl., 2011). Fjellpartier undersøkt av NGU i dette prosjektet har derfor et stort volum, som spenner fra hundretusen til flere millioner kubikkmeter. Den katastrofale og plutselige svikten av et slikt fjellparti kan danne et fjellskred med en mye lengre utløpsdistanse enn steinsprang og steinskred (modifisert fra Øydvin m.fl., 2011). Begrepet "ustabilt fjellparti" er en fellesbetegnelse for skredutsatte lokaliteter som er studert under den systematiske kartleggingen (for definisjonen se Devoli m.fl., 2011).

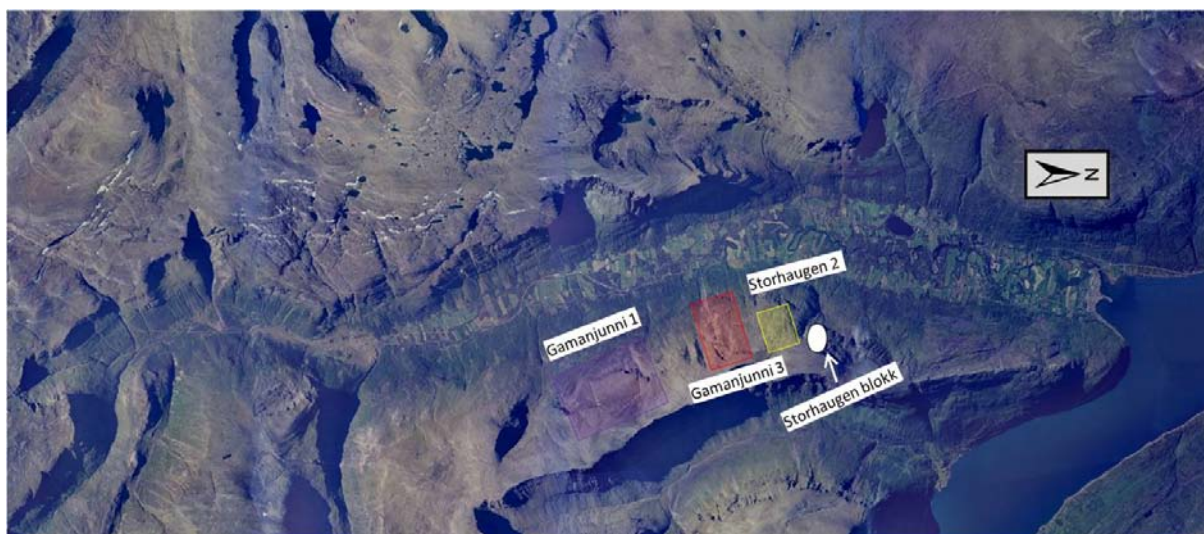
Det ustabile fjellpartiet Storhaugen blokk ble kartlagt som et resultat av kartleggingsprogrammet i Troms. Stedet er undersøkt i mer enn 20 år (Hestnes, 1989; Bunkholt m.fl., 2011; Bunkholt, 2012). På grunn av vanskelig tilgang til fjellet er området i dette prosjektet hovedsakelig blitt undersøkt ved hjelp av helikopterrekognosering og fjernanalyser. Fra dalen er området i 2012 og 2013 kartlagt med en bakkebasert laserskanner for strukturell karakterisering. Dessuten er området blitt innmålt via satellitt- og bakkebasert radarinterferometri. Detaljerte beskrivelser av de brukte metodene og resultatene er presentert i de følgende deler av denne rapporten.

2. BAKGRUNN OG OMRÅDEBESKRIVELSE

2.1 Geografisk og geologisk ramme

Storhaugen blokk er et ustabilt fjellparti som ligger nordvestvendt i Manndalen i Kåfjord kommune. Manndalen er et nord-sør strykende U-dalføre med bratte fjellvegger på begge dalsider. Manndalselva renner sentralt gjennom dalen.

Dalen har en rekke store og mellomstore ustabile fjellpartier (Figur 1), oppdaget gjennom flyfototolkning og satellittbasert radarinterferometri (Bunkholt m.fl., 2011). En av dem, Gamanjurni 3, er blant de mest aktive ustabile fjellpartiene i landet med en bevegelse på opptil 5 cm/år.



Figur 1. Plassering av Storhaugen blokk i Manndalen. Tre andre ustabile fjellpartier er merket på kartet.

2.1.1 Befolkning og arealbruk

Det er bosatt omtrent 600 personer i Manndalen (Fylkesmannen i Troms, 2000). Bebyggelsen i dalføret er mest konsentrert ved utløpet av Manndalselva i Kåfjorden og fem kilometer opp dalføret til Kjerringdalen, med delvis tett bebyggelse. Herfra er det spredt jordbruksbebyggelse. Manndalen er den største jordbruksbygda i Kåfjord kommune med omtrent 60 % av det totale jordbruksarealet. Jordbruksarealene dominerer dalbunnen fra utløpet av Manndalselven og opp til Sætran. Herfra og oppover er det kulturbeite.

2.1.2 Geomorfologi og geologi

Terrenget i Nord-Troms er karakterisert ved dype fjorder omkranset av høye alpine fjell på over 1800 moh. De indre delene av Nord-Troms, som inkluderer Storhaugen blokk, har en mer avrundet topografisk relieff og viser deler av den paleiske, dvs. gamle, foristidlige overflaten på plataene. Topografien i studieområdet er sterkt påvirket av de kvartære istidene. Lange U-formede daler og dype fjorder med bratte skråninger er dominerende landformer. Innlandsisen trakk seg tilbake i studieområdet for 14 500-11 000 år siden. Dalene var sannsynligvis isfritt for rundt 11 000 år siden.

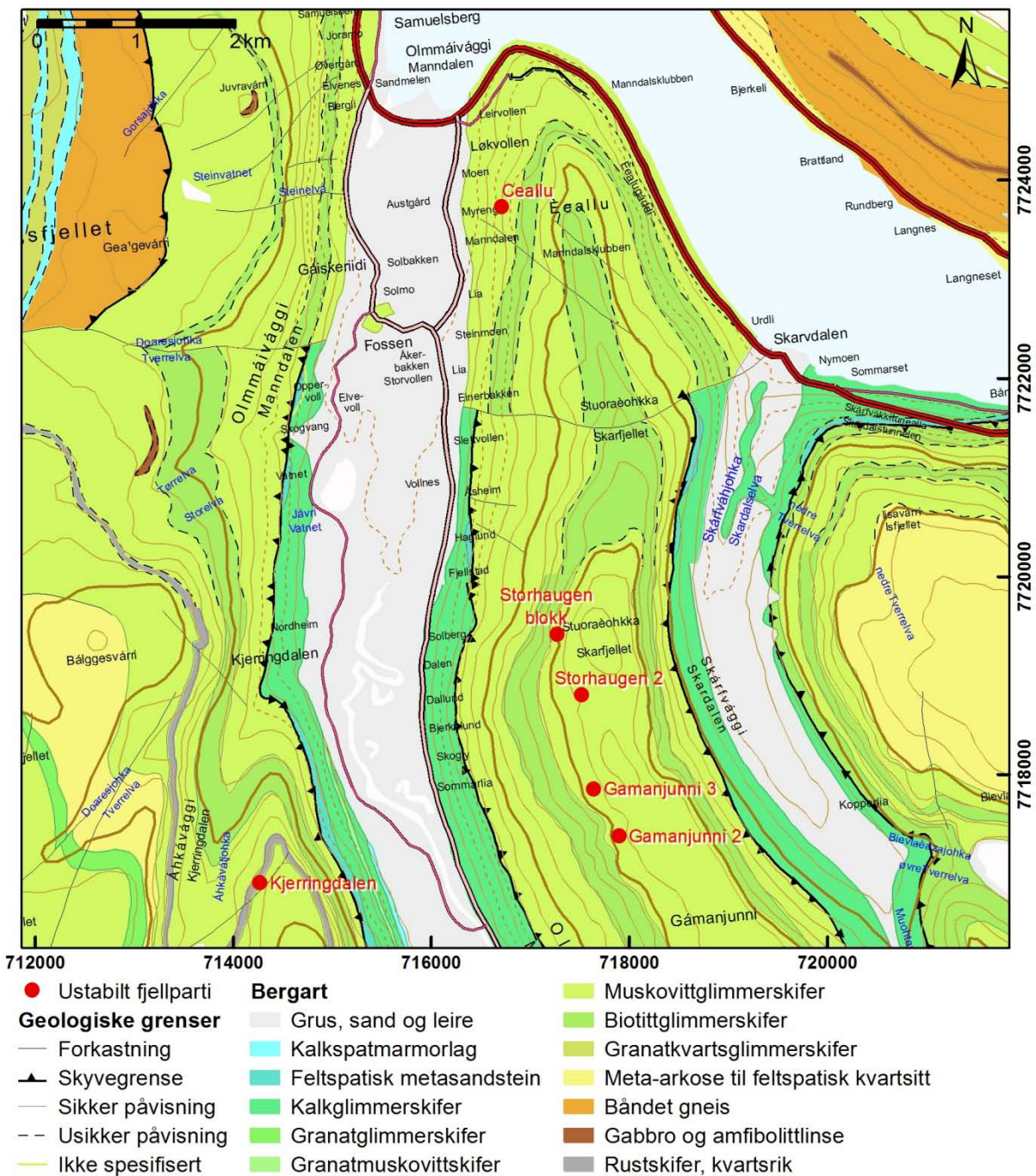
Berggrunnen inneholder restene av de kaledonske skyvedekkkene, hvor området rundt Kåfjorden har bergarter som tilhører det Øvre Allohton. Bergartene her består av middels- til høymetamorfe bergarter som spenner fra arkoser til ultramafiske bergarter. De dominerende bergartene er granat-biotitt-amfibolitt bærende glimmerskifre (Figur 2).

Bergartene i Manndalen tilhører Kåfjorddekket og Váddásdekket fra det Øvre Allohton, bergarter som ble skjøvet på plass under den Kaledonske fjellkjededannelsen. Kåfjorddekket og Váddásdekket inneholder sedimentære bergarter med høy omdanningsgrad. Lokalt i Manndalen dominerer en stratigrafi bestående av hornblendeførende, de fleste steder båndet, kalkglimmerskifer fra Váddásdekket nederst langs dalbunnen. En skyveforkastning skiller denne bergartsenheten fra de overliggende glimmerskifrene som tilhører Kåfjorddekket. Disse glimmerskifrene opptrer lagvis med vekslende dominans av muskovitt eller biotitt. Linser og lag av amfibolitt opptrer internt. Lokalt glimmerinnhold er stedvis svært høyt i hele stratigrafien i Kåfjorddekket i Manndalen.

Gjennom Manndalen er det observert flere svakhetssoner som antas å være utviklet langs nedarvede forkastninger i berggrunnen. Felles er at de fremviser mineraliserte forkastningsplan, flere steder med epidotmineraliserte kinematiske indikatorer. Erosjon og gravitasjonsdrevet deformasjon er observert å utnytte disse gamle svakhetssonene (Bunkholt m.fl., 2012).

2.2 Tidligere skredhendelser

Kvartærgeologisk (Eilertsen m.fl., 2012) og geomorfologisk kartlegging av Manndalen viser at store områder i skråningene rundt Storhaugen blokk er dekket av steinsprang-, steinskred- og fjellskredavsetninger (Figur 3). Eilertsen m.fl. (2012) har dokumentert minst to tidligere fjellskredavsetninger i Manndalen (nummer 1 og 2 i Figur 3), men nye analyser av høydetaljerte flybilder viser antydninger på tre fjellskredavsetninger (nummer 3 i Figur 3). Alle tre ligger rett nedenfor Storhaugen blokk. Det ble tatt prøver fra den største (nummer 2) og den sørligste (nummer 1) avsetningen for datering av overflateeksponering med terrestriske kosmogene nuklider i 2013. Resultatene viser at alderen av fjellskredavsetning nummer 1 er $11\,090 \pm 670$ år og alderen av avsetning nummer 2 er 4250 ± 270 år.

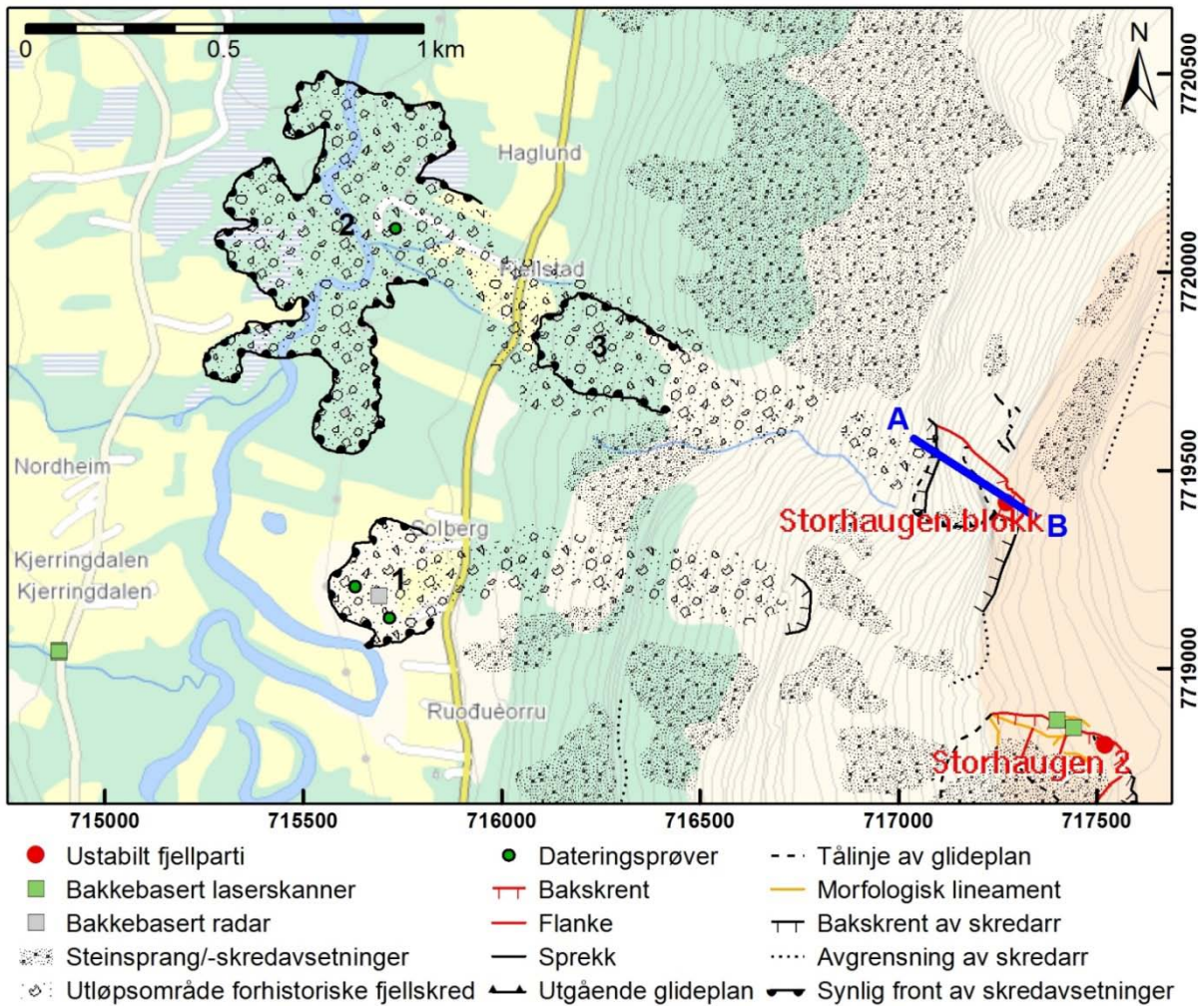


Figur 2. Geologisk kart for Manddalen og tilleggende områder (Quenardel og Zwaan, 2008, Zwaan m.fl., 2006).

2.2.1 Steinsprangsaktivitet

Steinsprangavsetninger kan observeres flere steder langs østsiden av dalen (Figur 3). Lokalbefolkningen har varslet Kåfjord kommune om en ”betydelig økt aktivitet de siste 2-3 årene” i 2012. Observatørene forteller videre at mye stein har løsnet inne i bakkant av blokken, i senere tid også gjennom hele barmarkssesongen (Bunkholt, 2012).

Det er observert steinsprangaktivitet fra den øvre og midtre delen av det ustabile fjellpartiet både fra framsiden og den sørlige laterale side (Figur 4). På den øvre delen finner vi bevis på nylige småskala steinsprang på sørsiden, synlig som lysere farger i fronten av skråningen. Tilsvarende er andre kildeområder observert i midtre og nedre delen av området samt ut ifra baksprekken. En liten steinsprangavsetning er observert ved foten av klippen i den sørlige

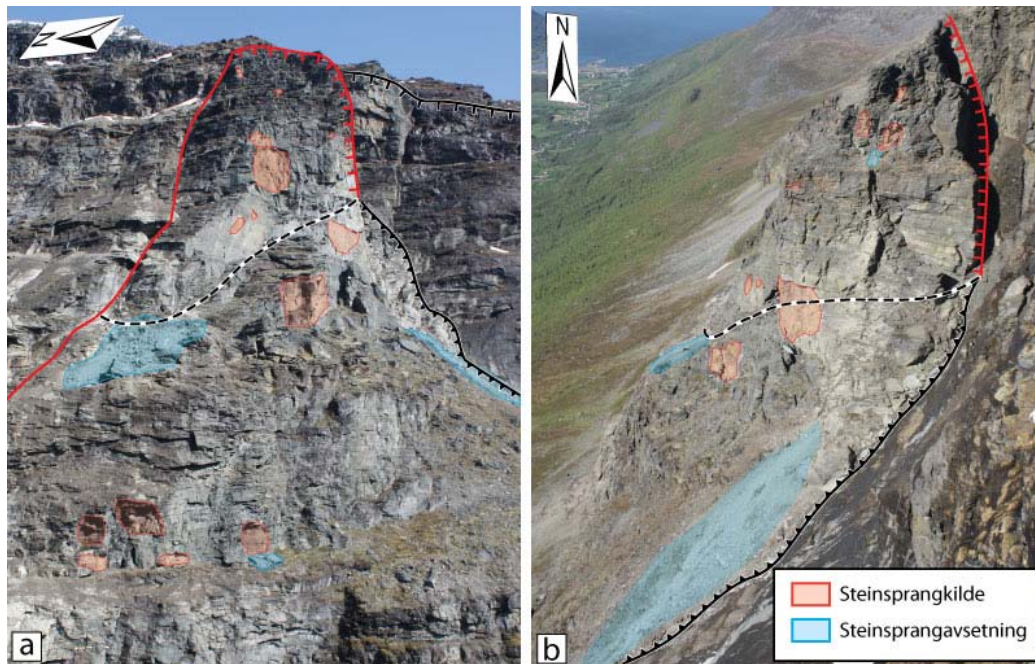


Figur 3. Geomorfoloisk kart over området rundt Storhaugen blokk. Kartleggingen er basert på flybildeanalyse samt analysering av feltbilder, men bare i mindre grad på observasjoner fra felt. Utløpet og mulige kildeområder av de tre forhistoriske skred er markert. Utløpsområdet er kartlagt basert på observerte store steinblokker. Steinsprang- og steinskredavsetningene viser områder der det er tydelige steinblokkavsetninger på skråningene, men representerer ikke den fulle utbredelsen av steinsprangavsetninger. Spesielt de nedre delene av skråningen er dekket av tett skog og en kartlegging ut ifra flybilder er dermed begrenset. Profilert fra Figur 12 er markert i blå.

delen. Langs den nordlige delen av undersøkelsesområdet finner vi spor etter et nylig steinsprang, som strekker seg fra topp til bunn og fortsetter nedover mot dalen (Figur 5). Kilden for denne hendelsen kan lokaliseres ovenfor det ustabile fjellpartiet i et område som er dekket av ur. Det er sannsynlig at hendelsen er en remobilisering av ura og kan dermed ikke tolkes som tegn for aktivitet av det ustabile fjellpartiet.

2.3 Beskrivelse av det ustabile fjellpartiet

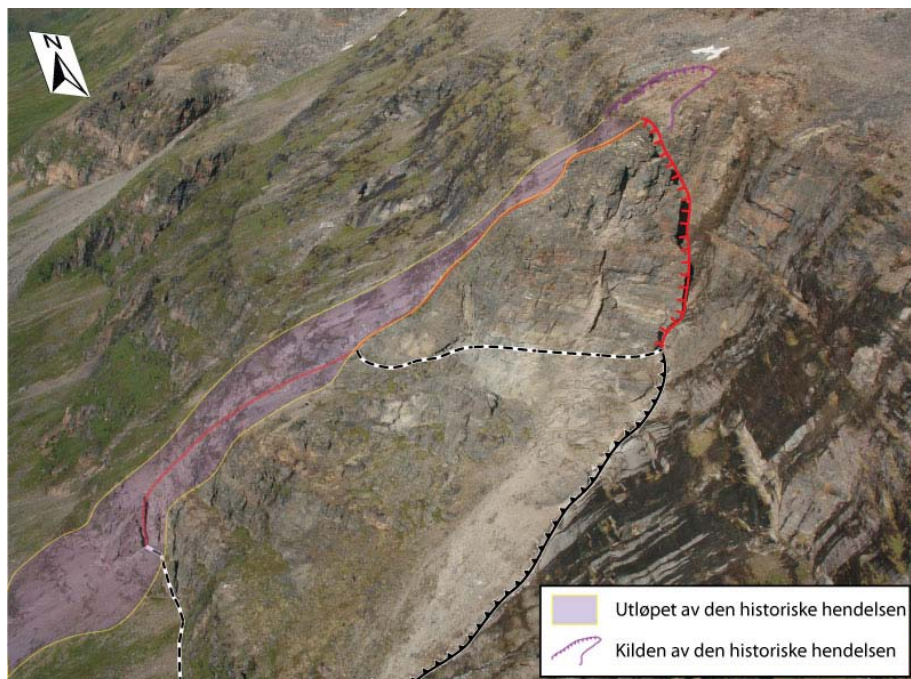
Det ustabile fjellpartiet ligger på østsiden av dalen og har en klar og åpen N-S-strøkende sprekk som går omtrent parallelt med dalen (Figur 6 og Figur 7). Sprekken viser en maksimal åpning av omtrent 50 m på toppen, men blir smalere nedover der det har en åpning av omtrent 17 m. Det er usikkert i hvor stor grad denne åpningen gjenspeiler erosjon eller reell bevegelse. Baksprekken er synlig over en høyde på omtrent 80-100 m på den sørlige laterale grensen, men det er ikke sikkert om den reelle åpningen går like dypt, eller om det er bare overflatelig erosjon som er synlig. Baksprekken ender opp i sør på en bratt fjellvegg som trolig har fungert som bruddflate ved et av de forhistoriske skredene. Den nordlige laterale grensen viser på toppen en åpning mellom 7-10 m, men denne kan ikke følges nedover. Den øverste



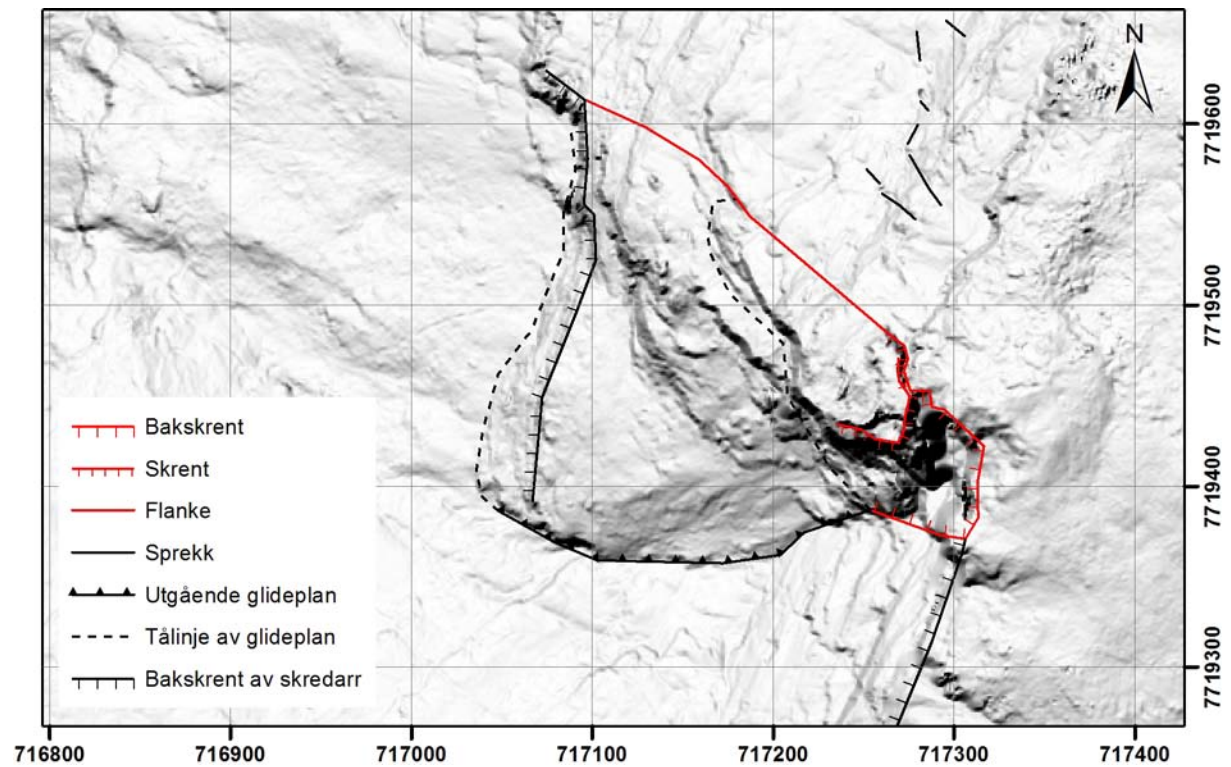
Figur 4. Avgrensning av steinsprangkilder og -avsetninger: a) framsida av det ustabile fjellpartiet; b) sørlig lateral grense. Avgrensende lineamenter er skissert (se Figur 3 for legenden).

delen av det ustabile fjellpartiet er sterkt oppsprukket, mens de mellomliggende og nedre delene er mer massive. Vertikale og foliasjonsparallele sprekker dominerer. Den mineralogiske lagdelingen (foliasjonen) i dette området er tilnærmet horisontalt, med lokale variasjoner i helningsretningen.

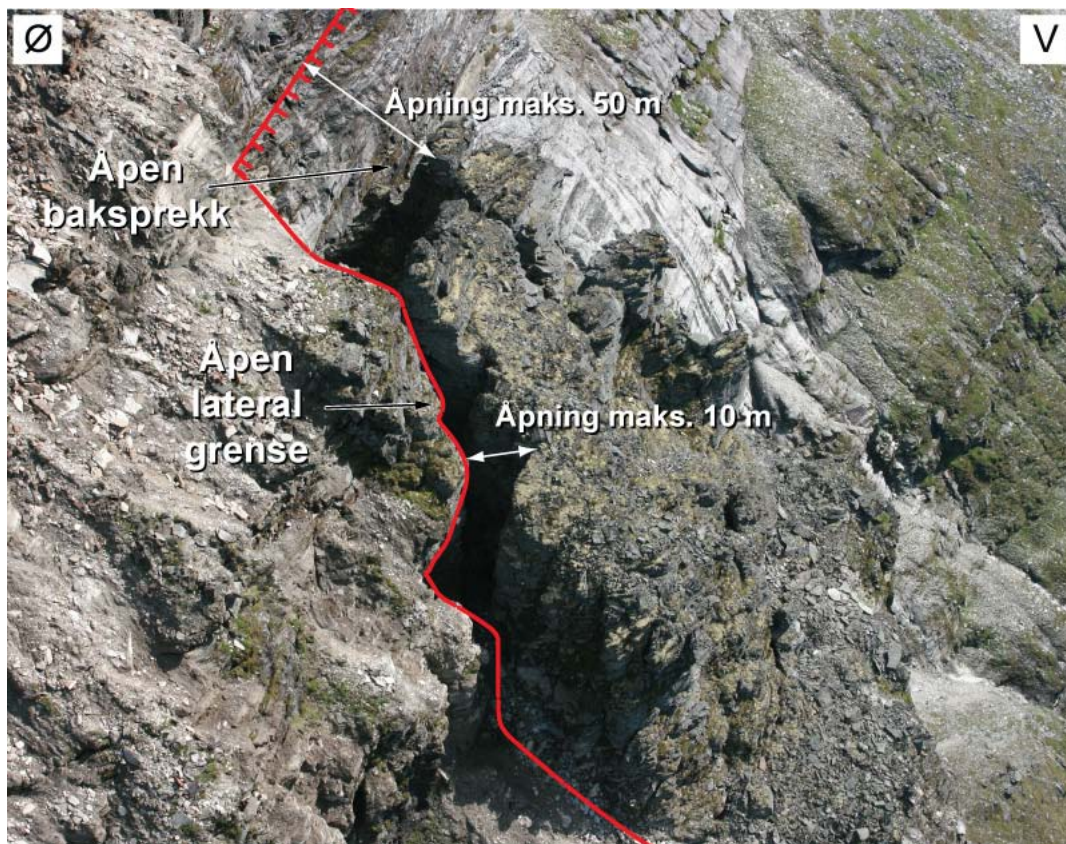
Ustabiliteten strekker seg fra toppen av skråningen (1065 moh) til bunnen av en bratt fjellvegg (omtrent 700 moh). Nedenfor fjellveggen er skråningen mindre bratt og dekket av ur ned mot dalbunnen (ca. 80 moh). Det totale volumet av materialet i det ustabile partiet er tidligere blitt rapportert til å være opp til 11 millioner m³ (Bunkholt, 2012). Dette volumet ansees nå som ikke realistisk og en revurdering er gitt i denne rapporten.



Figur 5. Kildeområdet og utløpet av en nylig steinspranghendelse som har opprinnelse i ura ovenfor det ustabile området. Lineamenter som avgrensner det ustabile fjellpartiet er skissert (se Figur 3 for legenden).



Figur 6. Skyggerelieff av det ustabile fjellpartiet. Lineamenter som avgrensers det ustabile fjellpartiet er tegnet inn. Nord for det ustabile området er det noen mindre åpne sprekker synlig i fjellveggen. Disse antas å være overflatelig avskalling og ikke ha direkte sammenheng med den ustabile blokken.



Figur 7. Toppen av det ustabile fjellpartiet. Lineamenter som avgrensers det ustabile fjellpartiet er skissert (se Figur 6 for legenden).

3. METODER

3.1 Strukturgeologiske og kinematiske analyser

Diskontinuiteter er naturlige oppsprekninger i bergmassen som metamorf foliasjon, sprekker, brudd og forkastninger. Storhaugen blokk ble skannet med NGUs bakkebaserte laserskanner (TLS) Optech ILRIS-3D LR fra dalbotnen. Den resulterende høyoppløselige punktskyen av topografien ble brukt til en strukturell analyse av bergmassen. Strukturenes orientering ble målt ved hjelp av programvaren Coltop3D (Terranum, 2014). Alle strukturdata oppgis i fallretning/fall dersom ikke annet er spesifisert.

Det strukturelle mønsteret dannet av disse diskontinuitetene påvirker stabiliteten av fjellet, som i første omgang kan vurderes ved hjelp av enkle kinematiske analyser. En slik analyse gir informasjon om det eksisterer strukturer som kan bidra til at fjellpartiet beveger seg, og eventuelt på hvilken måte den beveger seg (planutglidning, kileutglidning og/eller utveltning). Standardkriteriene fra bergmekanikk (Hoek og Bray, 1981, Wyllie og Mah, 2004) er brukt i denne rapporten, men tilpasset til ustabile fjellpartier iht. Hermanns m.fl. (2012).

3.2 Bevegelsesmålinger

3.2.1 Satellittbasert radarinterferometri (InSAR)

Synthetic Aperture Radar (SAR) er et avbildningssystem som benytter mikrobølgeområdet, bølger som kan trenge gjennom skyer. Ved å sammenligne flere SAR-bilder er man i stand til å måle endringer i topografien ved hjelp av endringer i reisetid for bølgene. Med den såkalte interferometrien kan flere bilder brukes til å måle deformasjon ned til millimeterskala, hvis topografien for et område er kjent.

I løpet av de siste årene har flere algoritmer blitt utviklet for å gjøre radarinterferometri (InSAR) analyser. I denne rapporten har vi brukt PSI-algoritmen (Kampes, 2006) og SBAS-algoritmen (Larsen m.fl., 2006, Lauknes m.fl., 2011).

Radardata fra følgende satellitter ble brukt:

RADARSAT-2: Satellittdata ble samlet inn fra sommeren 2009-2014. Denne satellitten gir høyoppløselige data med en oppløsning på 5x10 m i finmodus og 2.5x2 m i ultrafinmodus, og en omløpstid på 24 dager. Satellitten samler inn data både i stigende (nordgående) og synkende (sørgående) bane, og dekker både østvendte og vestvendte fjellpartier.

TerraSAR-X: Satellittdata ble samlet inn fra sommeren 2009-2013. Denne satellitten gir høyoppløselige data med en oppløsning på 1.5x1 m, og en omløpstid på 11 dager. Satellitten samler inn data både i stigende og synkende bane, og dekker både østvendte og vestvendte fjellpartier.

3.2.2 Bakkebasert radarinterferometri (InSAR)

Et LiSALab bakkebasert radarsystem har blitt installert av Åknes/Taffjord Beredskap IKS i dalbotnen av Manndalen nedenfor Storhaugen blokk for å måle mulige bevegelser i fjellsiden (Figur 3). Radaren er plassert på et betongfundament og er beskyttet av en plastikktekt. Målingene ble utført i to perioder i 2012, fra 24. mai til 6. juli og fra 28. september til 19. oktober. Dette resulterte i to datasett med kontinuerlig innmåling av deformasjonshastigheter, adskilt av en periode uten datainnsamling (Kristensen, 2012). Mer teknisk informasjon om systeminnstillinger og prosesseringsinnstillinger finnes i Kristensen (2012).

Dataene blir prosessert i LiSALab programvaren ved hjelp av et korreksjonsområde som dekker hele det området som gir en sterk refleksjon. Det forutsetter at dette området er stabilt gjennom en måling. De rapporterte dataene framstiller primært gjennomsnittsverdier fra 24

timer og 4 dager med målinger, som har begge blitt brukt for å lage interferogrammer. Den valgte lengden avhenger av bevegelsehastigheten på det ustabile fjellpartiet. Dataene er georeferert på grunnlag av en 1x1 m høydemodell, generert ved sammenslåing av høyoppløselige TLS data og den nasjonale 10 m høydemodellen levert av Statens Kartverk.

3.3 Volumberegning

Volumestimering av det ustabile fjellpartiet er basert på fastlegging av strukturer som avgrensner det ustabile fjellpartiet. Den bakre grensen danner en forlengelse av den åpne baksprekken, mens det underliggende glideplanet ble definert ut fra den tilstøtende morfologien og følger hovedsakelig strukturene observert på skredarret sør for Storhaugen blokk.

For å beregne det maksimale volumet, ble de avgrensende strukturene av det ustabile fjellpartiet konstruert med programvaren PolyWorks (InnovMetric, 2015). Dette ble gjort ved å beregne flater for å passe i synlige avgrensende strukturer i punktskyen fra flybasert laserskanning. Data ble hentet inn sommeren 2014 med en oppløsning på 2 punkt per m², men dekker bare skråningen i Manndalen og ikke dalbunnen. Skjæringslinjer og -punkter mellom disse flatene blir videre brukt til å lage en høydemodell av topografien under det ustabile fjellpartiet. Volumet av det ustabile fjellpartiet kan etterpå estimeres ved å beregne forskjellen mellom den konstruerte høydemodellen og høydemodellen av den faktiske topografien (Oppikofer, 2009).

3.4 Utløpsanalyse

Utløpsområdet omfatter arealet som kan nåes av et fjellskred utløst fra et ustabil fjellparti. For konsekvensanalysen iht. NGUs arbeidsflyt (se Bunkholt m.fl., 2013) benyttes det ulike modelleringsverktøy basert på ønsket detaljeringsgrad.

I denne rapporten er det benyttet FlowR (Horton et al. 2013) til å beregne skredets rekkevidde og utbredelse. FlowR ble opprinnelig utviklet for framstilling av aktsomhetskart for jordskred i Sveits og ble også brukt for jordskredaktsomhetskart i Norge. Programvaren har etter hvert blitt tilpasset for modellering av fjellskredutløpsområder.

Skredutløpet blir beregnet fra hvert kildeområde (dvs. ustabil fjellparti) ved hjelp av en "multiple flow direction" modell. Modellen tar hensyn til topografien langs skredløpet, og beregner i hvilken retning skredet kan bevege seg og hvor langt det kan komme. Rekkevidden er avhengig av skredets siktevinkel, dvs. helningsvinkelen mellom kildeområdet og yttergrensen av utløpsområdet. For fjellskred er siktevinkelen avhengig av skredets volum basert på en internasjonal studie fra Scheidegger (1973). Basert på denne beregnes siktevinkelen som en empirisk relasjon mellom fallhøyde over rekkevidde (H/L) og volumet V av en rekke analyserte fjellskred:

$$\tan \alpha = \frac{H}{L} = 10^{0.62419} \cdot V^{-0.15666}$$

Basert på data fra historiske og forhistoriske fjellskred i Norge antas det at "Scheideggerkurven" er en konservativ tilnærming for maksimum utløpslengde av norske fjellskred.

I denne rapporten er utløpsberegningene gjort på grunnlag av den nasjonale 10 m høydemodellen. Den detaljerte høydemodellen fra flybasert laserskanning dekker ikke hele utløpsområdet og kan dermed ikke brukes til utløpsmodelleringen.

3.5 Fare- og risikoklassifisering

NGU publiserte i 2012 et nasjonalt system for fare- og risikoklassifisering for ustabile fjellpartier (Hermanns m.fl., 2012). Dette systemet brukes for å prioritere mer detaljerte

undersøkelser, periodisk innmåling og kontinuerlig overvåking på nasjonalt nivå (Blikra m.fl., 2013). Her bruker vi dette klassifiseringssystemet for å gi en fare- og risikovurdering for hvert scenario av Storhaugen blokk. Klassifiseringen er i så måte todelt og inneholder en fare- og en konsekvensanalyse.

3.5.1 Fareklassifisering

Faregraden er beregnet ved en serie av geomorfologiske og struktureologiske kriterier (utvikling av bakskrenten og flankene, morfologisk tegn på bruddflaten, kinematisk analyse), samt tegn på aktivitet (bevegelseshastigheter og akselerasjon over tid, økt steinsprangsaktivitet og tidligere hendelser). Resultatet er et farepoeng mellom 0 (meget lav fare) og 12 (meget høy fare). På grunn av bruken av sannsynligheter for hvert av de kriteriene, kan usikkerheter på farepoengene bli evaluert. Det endelige resultatet for et gitt område er derfor et farepoeng med et minimum, gjennomsnitt og maksimal verdi. Se Hermanns m.fl. (2012) for detaljer.

3.5.2 Konsekvensanalyse

Konsekvensanalysen fokuserer på potensielt tap av menneskeliv knyttet til et skredscenario. Ingen andre konsekvenser er vurdert i analysen. Ulike persongrupper defineres avhenging av aktiviteten i utløpsområdet (Oppikofer m.fl., under arbeid). Det skilles mellom beboende, personer i foretningsbygg, personer i samfunnskritisk infrastruktur (sykehus, redningstjenester e.l.), personer i skoler e.l., turister, personer på ferje og eventuelle andre persongrupper. Det tas hensyn til forskjellig eksponering av ulike persongrupper, dvs. hvor lenge personer oppholder seg innenfor utløpsområdet, og sårbarhet, dvs. sannsynligheten for å dø hvis man blir truffet av et fjellskred (Oppikofer m.fl., under arbeid). Den totale potensielle tapen av menneskeliv beregnes ved å summere alle utsatte persongrupper henholdsvis i utløpsområdet vektet med en faktor for eksponering i faresone og en faktor for sårbarhet.

Antallet av beboere i utløpsområdene blir hentet fra befolkningsdata fra Statistisk sentralbyrå. I tillegg er det standardverdier definert for antall personer i ulike typer foretningsbygg, tilsvarende metodikken brukt for den nasjonale planen for skredfarekartlegging (Devoli m.fl., 2011). For personer i foretningsbygg regnes det med en konservativ verdi for eksponeringen basert på antall arbeidsdager per år (cirka 225 dager) og en tilstedeværelse av personer i 10 timer per dag. For denne konsekvensanalysen brukes det minimale, gjennomsnittlige og maksimale verdier for antall personer i foretningsbygg (Oppikofer m.fl., under arbeid) og informasjonen om bygningstyper hentes fra matrikkeldata.

3.5.3 Risikoklassifisering

Risikoen bestemmes ved hjelp av et log-normal diagram, som plotter farepoeng mot konsekvenser. Dette diagrammet kalles risikomatrikse i det følgende. Risikomatriksen er delt i tre seksjoner, hvor hver seksjon representerer en risikoklasse (lav, middels og høy). I risikomatriksen er risikoen for et definert scenario representert som et punkt samt usikkerheten for fare og konsekvenser med linjer parallelt med Y og X aksene henholdsvis.

4. RESULTATER AV GEOLOGISKE UNDERSØKELSER

4.1 Strukturgeologiske målinger

Det ble observert 3 hovedsprekkesett, J1, J3 og J4, samt 4 underordnede sprekkesett, J1a, J1b, J2 og J4a ut fra TLS data (Figur 8). Hovedsprekkesettene opptrer hyppig og danner store flater. J3 og J4 er omtrent parallell til fjellsiden, mens hovedsprekkesett J1 er på skrå og danner en vinkel av 60° til fjellsiden. Baksprekken er utviklet langs J3 og J4, mens J1 danner deler av den sørlige laterale grensen. Flatliggende strukturer med en fallvinkel <40°, som for

eksempel foliasjonen, kunne ikke måles inn siden de ligger i skyggen når man skanner med TLS fra dalbotn. På bilder tatt fra helikopteret er det synlig at foliasjonen ligger omtrent horisontal (Figur 9). Dessuten ser man på bildene og flybaserte laserdata et sprekkesett som faller med omtrent 40° inn mot dalen (J4b på Figur 9). J4b ble innmålt på flybaserte laserdata.

4.2 Bevegelsesmålinger

4.2.1 Satellittbasert radarinterferometri (InSAR)

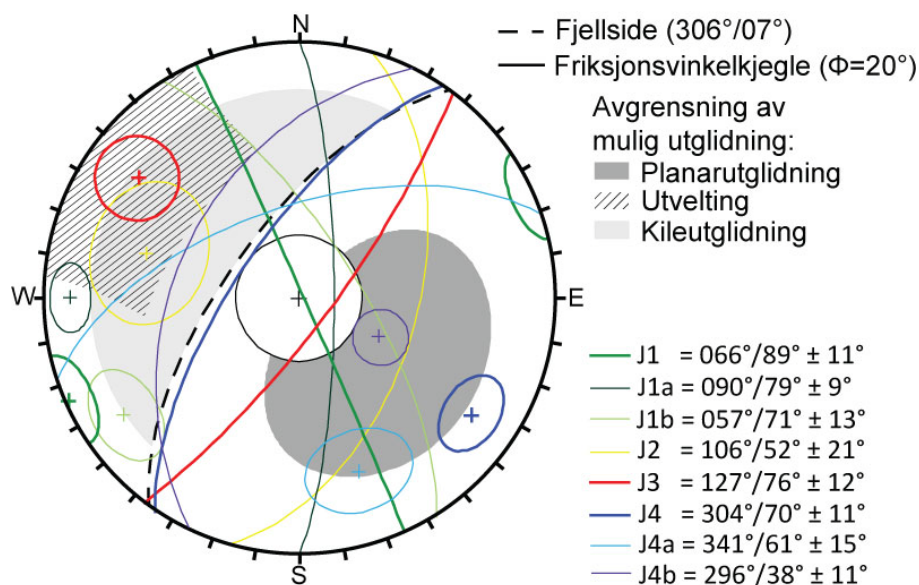
Det ustabile fjellpartiet dekkes bare av den sørgående banen for både TerraSAR-X og RADARSAT-2 satellittene, dvs. når satellitten ser mot vest. Begge dataset viser ingen signifikant bevegelse eller homogen deformasjon i det ustabile fjellpartiet mellom 2009 og 2013/2014. Mens nærliggende ustabile fjellpartier viser tydelige bevegelsesmønstre, er dataene fra Storhaugen blokk preget av høy støy.

InSAR-resultater fra RADARSAT-2 satellitten gir bare veldig få datapunkter på det ustabile fjellpartiet. Dataene viser en bevegelse mellom -4 og -10 mm/år, dvs. punktene beveger seg mot satellitten, men er preget av høy støy. I tillegg skiller seg datapunktene ikke ut fra punkter utenfor det ustabile området, dvs. samme bevegelsen observeres i fast fjell og skyldes trolig støy.

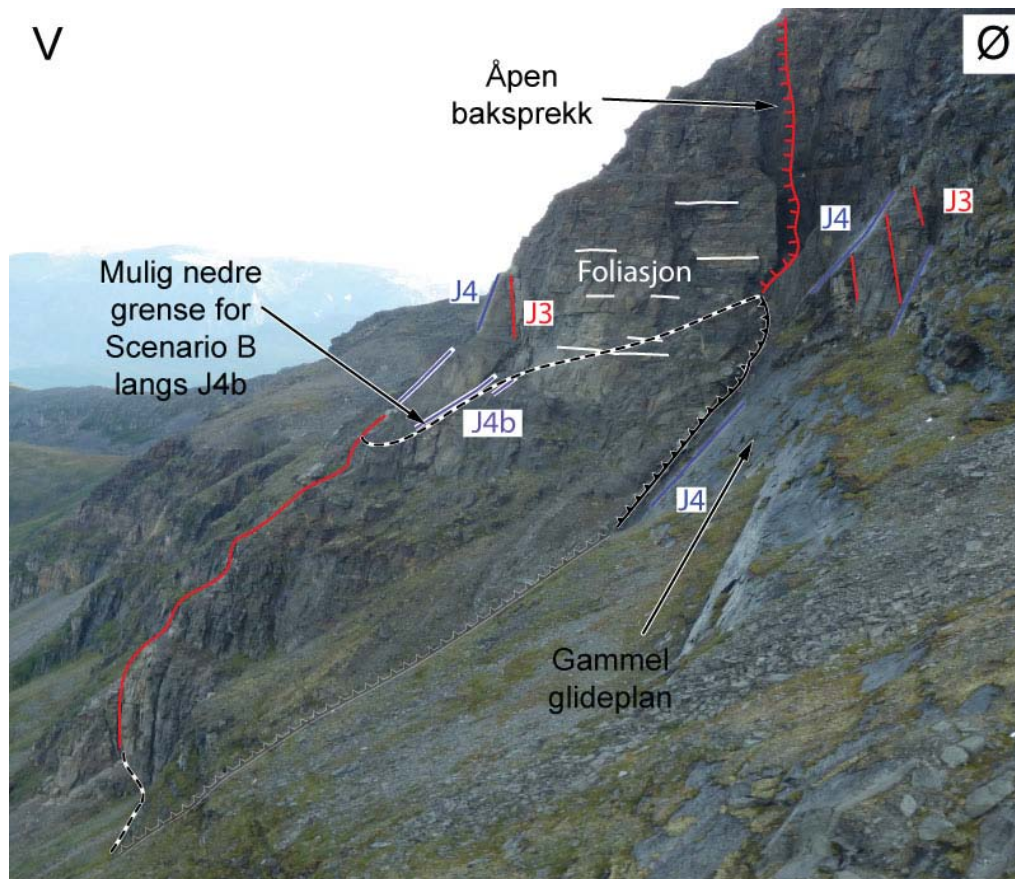
Resultatene fra TerraSAR-X satellitten har en relativ høy tetthet av datapunkter, men viser en stor usystematisk spredning i bevegelseshastigheten og -retningen over det ustabile fjellpartiet. Bevegelseshastighetene varierer her mellom -30 og $+50$ mm/år og skiller seg heller ikke ut fra punkter utenfor det ustabile området.

4.2.2 Bakkebasert radarinterferometri (InSAR)

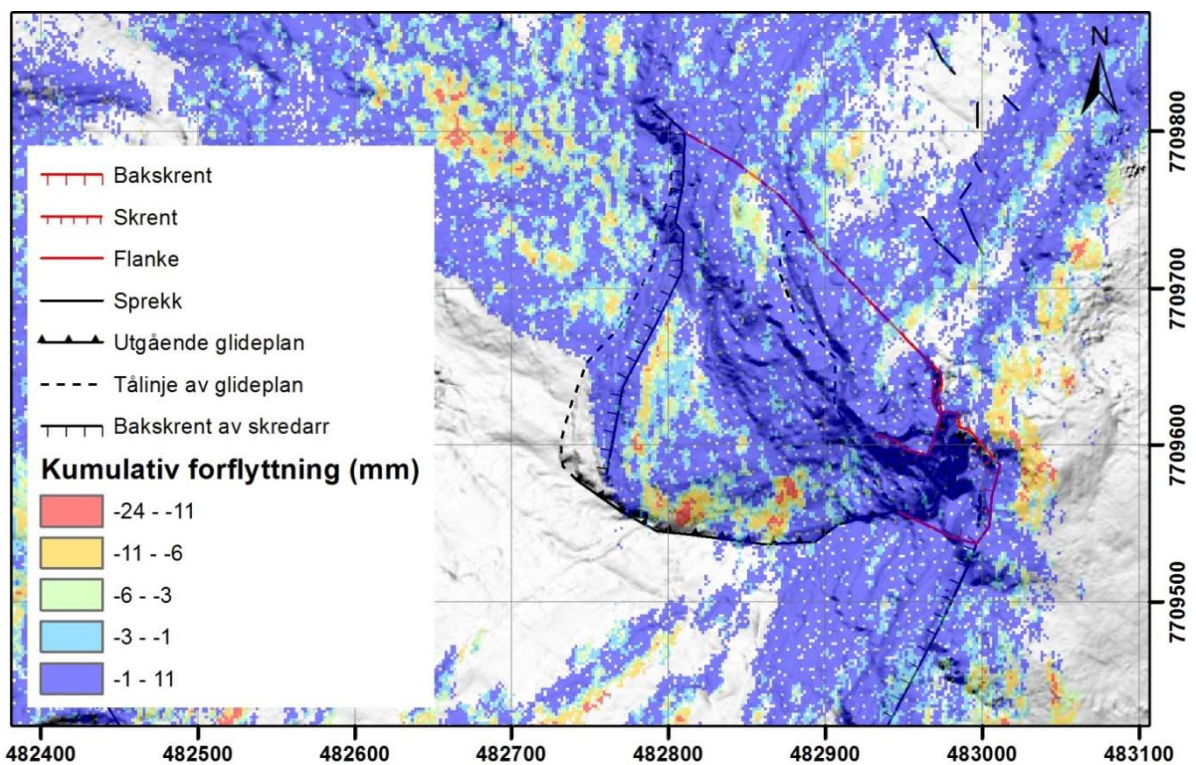
Bakkebaserte InSAR-målinger viser flere mindre områder med høye hastigheter (opp til 0.6 mm/dag), med høyere hastigheter under den første måleperioden (Kristensen, 2012). Alle områdene ligger i løsmasser rett ovenfor det ustabile fjellpartiet og i løsmassene som ligger på det gamle glideplanet sør for det ustabile området (Figur 10). I løpet av sommerperioden ble homogen bevegelse oppfanget i ura nedenfor bergveggen. Ingen homogen bevegelse ble observert som omslutter hele området ved Storhaugen blokk.



Figur 8. Oversikt over strukturene målt på dataene fra bakkebasert laserskanner samt kinematisk analyse. J4b ble innmålt på flybaserte laserdata. Hovedstrukturene som danner store flater er J1, J3 og J4. Utvelting er mulig langs J3 og J2 og planutglidning er mulig langs J4b og delvis langs J4 og J4a hvis man tar hensyn til variasjonen av fallvinkelen.



Figur 9. Avgrensning av det ustabile fjellpartiet Storhaugen blokk. Strukturene som er synlige i fjellsiden og lineamenter som avgrensner det ustabile fjellpartiet er avmerket (se Figur 6 for legenden).



Figur 10. Resultater fra bakkebasert InSAR-målingene for studieområdet. Ingen homogen deformasjon av det ustabile området er observert fra 24.5. til 6.7.2012 og fra 28.9. til 19.10.2012 (Kristensen, 2012). Pikkelsstørrelse er 1.8 m.

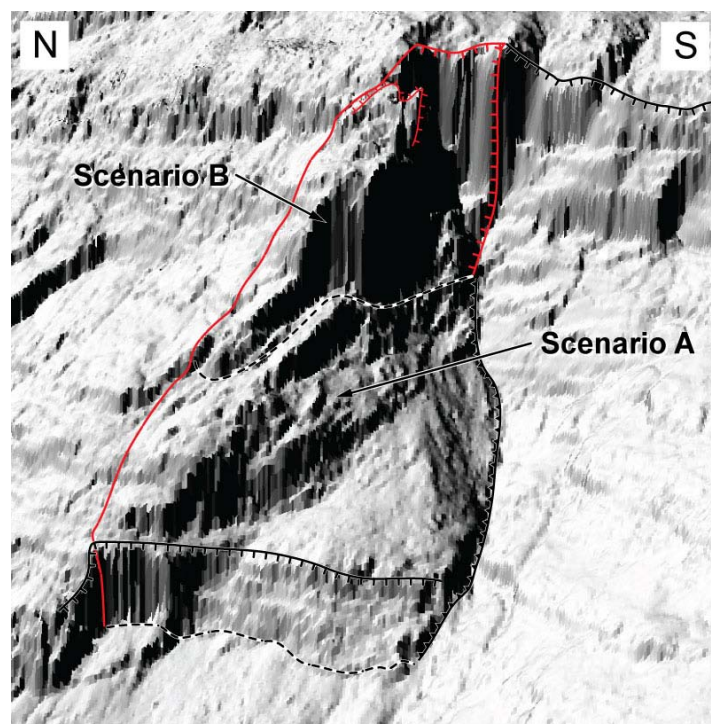
5. TOLKNING AV GEOLOGISKE RESULTATER

5.1 Definisjon av forskjellige scenarier

Hele det ustabile fjellpartiet (Scenario A) strekker seg fra toppen av skråningen (1065 moh) til bunnen av en bratt fjellvegg (omtrent 700 moh, Figur 11). Det underliggende glideplanet antas å være en fortsettelse av glideplanet til et gammelt fjellskred som observeres på sørsida (Figur 9). Selv om strukturene ligger til rette for en mulig utglidning, viser hele fjellsiden ingen tegn til tidligere bevegelser i de nedre delene. Den nordlige laterale grensen er heller ikke utviklet. Dermed anses en kollaps av hele det ustabile fjellpartiet med et volum av 2,8 millioner m³ som urealistisk og har dermed ikke blitt analysert i hensikt mot fare og risiko.

Basert på de morfologiske forholdene, oppsprekingsgraden og strukturene i bergmassen er det blitt definert et mindre scenario (Scenario B, Figur 11) for å analysere utløpet av en potensiell sviktende masse i fremtiden. Dette mindre scenarioet strekker seg fra toppen av bergmassen frem til en diskontinuitet som faller omtrent 40° mot dalen, og som kan sees tydelig på fjellpartiets sørflanke (J4b i Figur 9). Denne diskontinuiteten er ikke helt sammenhengende gjennom området. I sør definerer den et klart trinn i morfologien, men den er ikke synlig lengre nord. Det finnes ingen indikasjoner på en gjennomgående bruddflate og fastlegging av et nedre glideplan har en stor usikkerhet for dette scenarioet. Den bakre grensen er igjen den store åpne baksprekken. Fjellpartiet trenger ingen lateral begrensning mot sør fordi det er frittstående. På toppen er den nordlige laterale grensen fult utviklet og viser en åpning av opp til 10 m (Figur 7). Nedover er den ikke utviklet, men antas her som en forlengelse nedover av samme strukturen som viser en åpning på toppen. Volumet av dette mindre scenarioet er estimert til 600 000 m³. Usikkerhetene i avgrensningen av det ustabile fjellpartiet medfører usikkerheter i volumestimatet.

Det er noen mindre sprekker observert i fjellsiden nord for det ustabile fjellpartiet (Figur 6). Disse interpreteres imot Notatet fra 2012 (Bunkholt, 2012) å være bare overflatelig og danner dermed kildeområder for mulig steinsprangaktivitet, men avgrensner ikke et stort ustabil fjellparti.



Figur 11. 3D bilde av skyggerelieffen som viser avgrensningen av det ustabile fjellpartiet og de definerte scenarioene. Se Figur 6 for legenden til lineamenttyper.

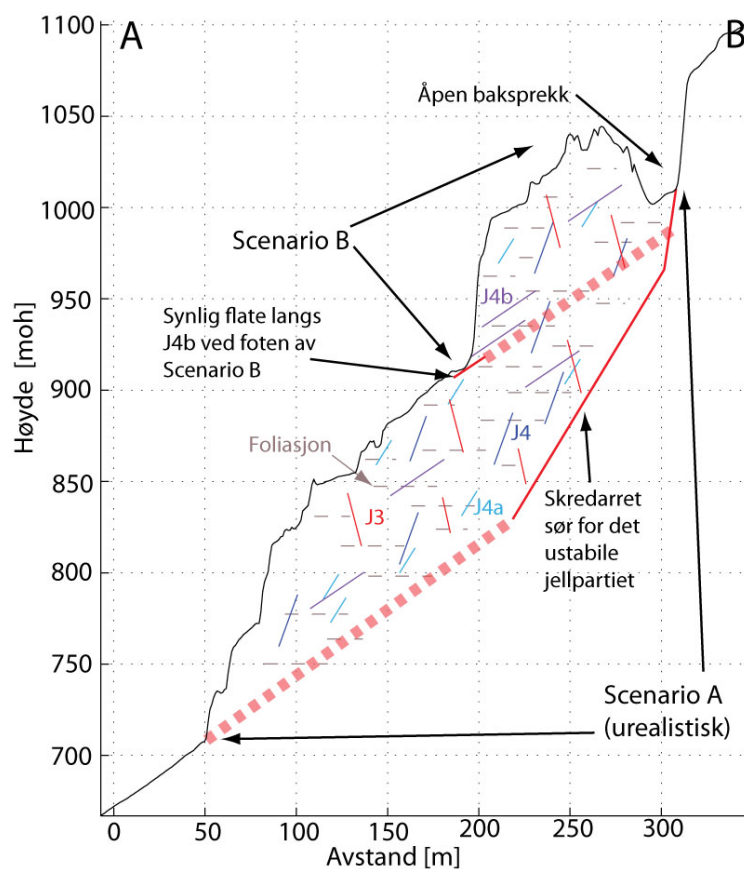
5.2 Kinematisk analyse

En kinematisk analyse av Storhaugen blokk viser at utvelting er mulig langs hovedstrukturen J3. Planutglidning er mulig langs J4b og delvis langs J4 og J4a hvis man tar hensyn til variasjonen av fallvinkelen (Figur 8). Dessuten er utvelting mulig langs J2, men denne strukturen er veldig svakt utpreget. J1 danner store flater av sørveggen og kan også danne en nordlige lateral grense. Foliasjonen ligger for flat til å tillatte en utglidning kinematisk.

5.3 Geologisk modell

Det kan ikke bestemmes en entydig geologisk modell på datagrunnlaget som er tilgjengelig og fordi avgrensende strukturer er dårlig eller ikke utviklet, men de følgende observasjonene gir noen indikasjoner på mulige mekanismer:

1. Den store åpningen på baksprekken, mens det er ingen synlig deformasjon på foten av det ustabile fjellpartiet, kan tyde på at utvelting langs det vertikale sprekkesett J3 er en mulig mekanisme. I tillegg kan det forventes at ikke hele åpningen av baksprekken skyldes gravitativ deformasjon men delvis også erosjon etter den første åpningen. Det er ikke mulig å forklare åpningen av baksprekken med en utglidning pga. dårlig utvikling av avgrensende strukturer, spesielt mangel av tegn til et underliggende glideplan.
2. Hvis man ser på arret av det forhistoriske skredet, så er den øvre delen dannet av en uregelmessig subvertikal klippe, som har mest sannsynlig fungert som bakskrent, og den nedre delen er en veldig jevn glideflate dannet av J4. Det nederste området er dekket med ur og kan dermed ikke analyseres. Samme strukturene avgrensner sannsynligvis det hele nåværende ustabile fjellpartiet Storhaugen blokk (Scenario A).



Figur 12. Tverrsnitt gjennom det ustabile fjellpartiet Storhaugen blokk som viser avgrensning av de to scenarioene og strukturene observert i fjellsiden. Se Figur 3 for lokalisering av profilet. Profilet er tegnet på grunnlaget av flybasert laserskanning. Det må tas hensyn til at strukturene viser en viss variasjon i området, som ikke er illustrert her.

En mulig mekanisme er dermed at selve ustabiliteten har begynt å utvikle seg med utvelting i de øvre delene. Etter hvert kan det begynne å gli langs J4, J4b eller en kombinasjon av flere strukturer, men det finnes per i dag ingen tegn til at dette har begynt. Det antas et glideplan parallell til J4b for Scenario B (Figur 12). I morfologien vises det en tydelig flate dannet av J4b ved foten av dette scenarioet (Figur 9).

6. FARE- OG RISIKOKLASSIFISERING

Fare- og risikoklassifiseringen er bare utført for det mindre definerte scenarioet (Scenario B) siden det største (Scenario A) ansees som urealistisk (se kapittel 5.1).

6.1 Fareklassifisering

Faregraden er estimert ved hjelp av ni kriterier. Den gjennomsnittelige poengsummen for Storhaugen blokk Scenario B er 5,5. Dette tilsvarer en middels faregrad. Den fullstendige fareanalysen er presentert i Vedlegg A. Hvert kriterium er beskrevet i det følgende:

- 1) **Bakskrent:** Bakskrenten er fullstendig åpen.
- 2) **Potensielle glidestrukturer:** Foliasjonen er subhorizontal og kan dermed ikke danne en glidestruktur. Ingen andre gjennomsettende strukturer er observert.
- 3) **Flanker:** Den sørlige flanken er frittstående, mens den nordlige er bare utviklet i den øverste delen og ikke synlig lengre nede.
- 4) **Kinematisk analyse:** Planutglidning er mulig langs J4b og delvis langs J4 og J4a. Utvelting er mulig langs J3. J4 danner en gammel glideflate ved siden av og er et utholdende svakhetsplan.
- 5) **Morfologisk tegn på bruddflaten:** Det finnes ingen antydninger på en utviklet bruddflate.
- 6) **Bevegelseshastighet:** Ingen bevegelse er observert i bakke- eller satellittbasert radarinterferometri, men det er noen usikkerheter i satellittbaserte InSAR-data pga. mye støy.
- 7) **Akselerasjon:** Ingen akselerasjon observert.
- 8) **Økning av steinsprangsaktivitet:** Det er rapportert mye steinsprangsaktivitet fra beboerne nedenfor.
- 9) **Tidligere hendelser:** Det finnes tre større stein- eller fjellskredavsetninger i dalen. Den største avsetningen rett nedenfor Storhaugen blokk har en alder på 4250 år.

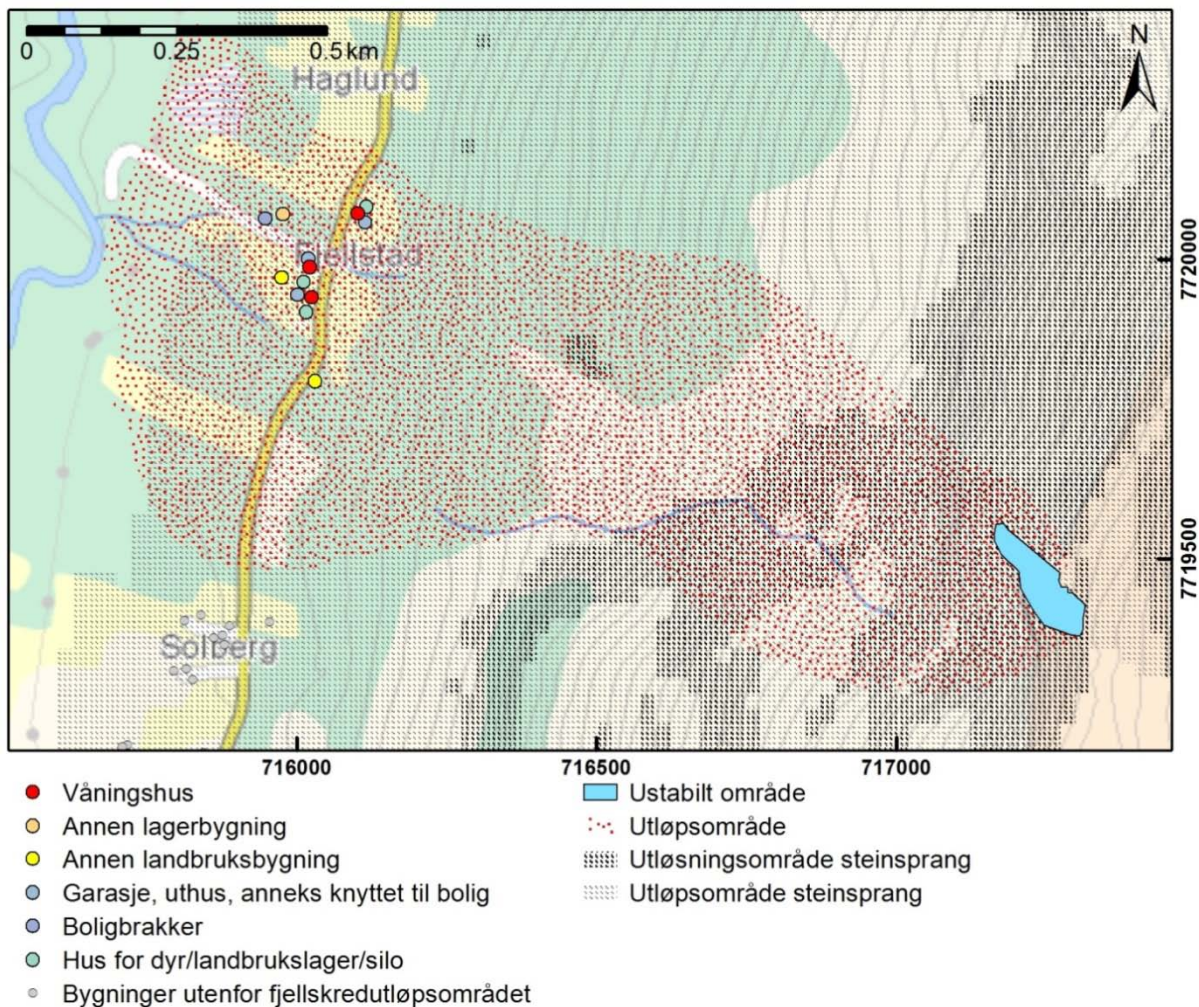
6.2 Utløpsanalyse

Utløpsanalysen med FlowR viser at skredmaterialet vil nå 3 bolighus, derav bare et er bebodd, 1 lagerbygning, 2 landbruksbygninger, 3 garasjer, 1 boligbrakke og 3 hus for dyr/landbrukslager/silo (Figur 13). Skredmaterialet vil ikke nå over Mandalselven og man må dermed ikke regne med sekundærvirkninger som elveoppdemming.

Ytterligere spredning av små partikler og danning av støvskyer er ikke evaluert. Imidlertid er det forventet at en støvsky vil dekke et større område enn det området som defineres som utløpsområdet av utløpsanalysen. Det gjøres i tillegg oppmerksom på at alle bygninger nedenfor Storhaugen blokk ligger innenfor aktsomhetsområdet for steinsprang (Figur 13).

6.3 Konsekvenser

Det er 1 beboer i utløpsområdet. I tillegg kommer 1 lagerbygning og 2 landbruksbygninger av ukjent type (Figur 13). For disse bygningstyper er standard verdiene som følgende: 0 personer minimal, 1 person gjennomsnittelig og 2 personer maksimal (Oppikofer m.fl., under arbeid). Det finnes andre bygningstyper i utløpsområdet, som for eksempel garasjer eller hus for dyr, men disse har ikke tildelte personer. Dette resulterer i et minimum av 1, gjennomsnitt av 2 og maksimum av 3 eksponerte personer.



Figur 13. Utløpsområdet av en mulig kollaps av Storhaugen blokk og bebyggelse i dette området. I tillegg er aktsomhetsområdet for steinsprang vist i kartet.

6.4 Risikoklassifisering

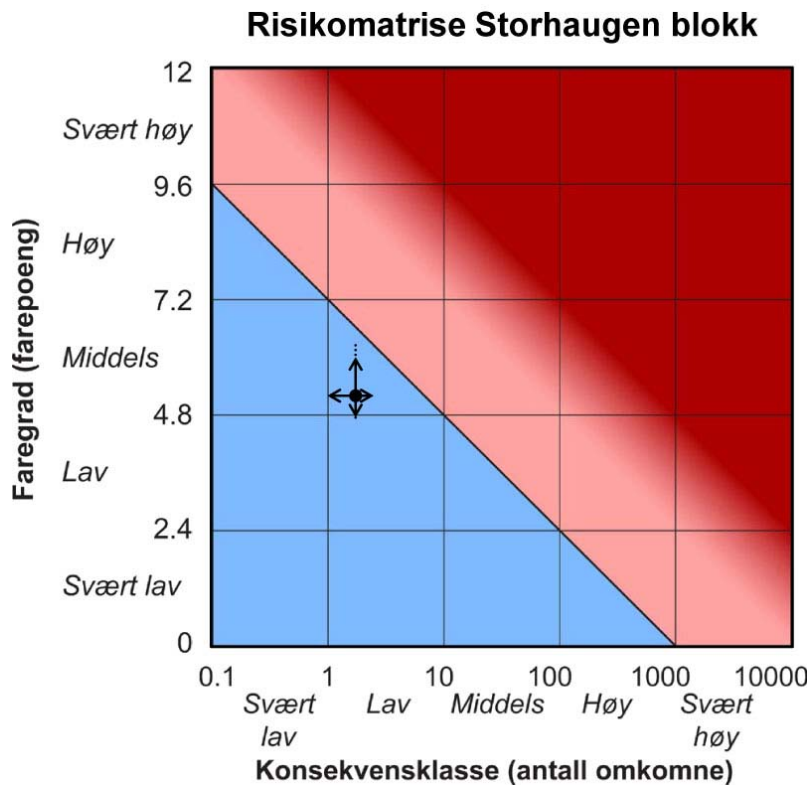
Resultater fra risikovurderingen er presentert i Figur 14. Storhaugen blokk er i henhold til analysen betraktet som å ha lav risiko (blått felt i risikomatrise).

6.5 Oppsummering av fare- og risikoklassifiseringen

Resultatene for fare- og risikoklassifiseringen av Storhaugen blokk viser lav risiko. Konsekvensene plotter i lav konsekvensklasse og faregraden er middels.

Usikkerheten for faregraden er lav og kan ikke reduseres enkelt med flere videreførende analyser. Det er noen usikkerheter med å fastsette den nedre og nordlige grensen av det ustabile fjellpartiet. Dette har en innflytelse på det beregnede volumet og dermed også på utløpsmodelleringen og mulige konsekvenser.

Bruk av landbruks- og lagerbygningene burde sjekkes for å fastlegge det nøyaktige antallet mennesker som kan oppholde seg i hver bygning. Det er mulig at noen bygninger ikke er i bruk og antallet utsatte personer samt risikoen kan reduseres.



Figur 14. Risikovurdering for Storhaugen blokk Scenario B.

7. KONKLUSJONER

Denne rapporten presenterer en analyse av dagens situasjon for det ustabile fjellpartiet Storhaugen blokk i Manndalen, Kåfjord kommune. Data som presenteres inneholder informasjon om morfologiske og strukturelle egenskaper i området, bevegelser, definisjon av potensielle scenarier, evaluering av utløpet i tilfelle det skjer en massiv svikt, og vurdering av fare- og risikonivå.

Området har klare trekk som er karakteristiske for et ustabil fjellparti (for eksempel en åpen baksprekk og steinsprangaktivitet), men satellitt- og bakkebasert radarinterferometri har ikke registrert noen tegn på pågående bevegelser. Det finnes heller ikke klare tegn på et utviklet underliggende glideplan eller nordlig lateral grense.

To scenarier har blitt definert for Storhaugen blokk basert på morfologi og endringer av egenskaper i fjellmassivet. Det største estimerte volumet er rundt 2,8 millioner m³ (Scenario A). Dette scenarioet ansees som urealistisk pga. mangel av tegn til tidligere gravitativ deformasjon. Det mindre scenarioet (Scenario B) har et volum av rundt 0,6 millioner m³, men også for dette scenarioet er de avgrensede strukturene ikke entydig utviklet.

Konsekvensene er lav og det maksimale antallet tap av menneskeliv er beregnet til tre personer. Faregraden er middels. Evaluering av risikoen i sammenheng med en kollaps av det ustabile fjellpartiet gir en lav risiko med en lav usikkerhet.

Storhaugen blokk er klassifisert som et ustabil fjellparti med lav risikograd. Ingen ytterligere feltundersøkelser eller bevegelsesmålinger er derfor nødvendige. Det er derfor vurdert at det ikke er nødvendig med ytterligere feltundersøkelser eller bevegelsesmålinger. Fjellpartiet bør imidlertid rekognoseres på nytt hvis det legges merke til vesentlige forandringer i fjellsiden, eller etter noen tiår for å oppdage eventuelle forandringer. I sammenheng med dette bør nyere data fra satellittbasert radarinterferometri (InSAR) analyseres. Hvis det skulle oppstå en endring i bevegelseshastigheten vil dette endre faregraden og dermed også risikonivået. Det må derfor gjennomføres en ny vurdering av risikoen hvis dette skjer.

Referanser

- Blikra, L.H., Böhme, M., Dehls, J., Hermanns, R.L., Oppikofer, T., Redfield, T.F., Rønning, J.S., Yugsi Molina, F., Domaas, U., Pfaffhuber, A., Henriksen, H., Hole, J., Kristensen, L. (2013): The unstable phyllitic rocks in Stampa – Flåm: Compilation, scenarios, risk and recommendations. NVE rapport 30/2013, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo, Norge.
- Bunkholt, H.S.S., Osmundsen, P.T., Redfield, T., Oppikofer, T., Eiken, T., L'Heureux, J.S., Hermanns, R., Lauknes, T.R. (2011): ROS Fjellskred i Troms: status og analyser etter feltarbeid 2010. NGU rapport 2011.031, Norges geologiske undersøkelse, Trondheim, Norge.
- Bunkholt, H.S.S. (2012): Varsling om to ustabile volumer i Kåfjord og Tromsø Kommune. NGU Notat, Sak Nr. 12/00014, Norges geologiske undersøkelse, Trondheim, Norge.
- Bunkholt, H.S.S., Redfield, T.F., Osmundsen, P.T., Oppikofer, T., Hermanns R.L., Dehls, J.F. (2012): Landslide processes in hard rock in Troms, Norway. In: Eberhardt, E., Froese, C., Turner, A.K. & Leroueil, S. (red.), Landslide and engineered slopes: Protecting society through improved understanding, Taylor & Francis Group, London, pp. 855-861.
- Bunkholt, H., Otterå, S., Yugsi Molina, F.X., Hermanns, R.L., Dehls, J.F., Osmundsen, P.T., Redfield, T.F., Eiken, T., Böhme, M. (2013): Undersøkelser av ustabile fjellpartier i Troms – status og planer etter feltarbeid 2011 og 2012. NGU rapport 2013.021, Norges geologiske undersøkelse, Trondheim, Norge.
- Devoli, G., Eikenæs, O., Taurisano, A., Hermanns, R.L., Fischer, L., Oppikofer, T., Bunkholt, H. (2011): Plan for skredfarekartlegging – Delrapport steinsprang, steinskred og fjellskred. NVE rapport 15/2011, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo, Norge.
- Eilertsen, R.S., Hansen, L., Olsen, L. (2012): Kvartærgeologisk kartlegging av Manndalen, Kåfjord kommune, NGU rapport 2011.068, Norges geologiske undersøkelse, Trondheim, Norge
- Fylkesmannen i Troms (2000): Verdier i Manndalselva, Kåfjord kommune, Troms. Utgitt av Direktoratet for naturforvaltning i samarbeid med Norges vassdrags- og energidirektorat, VVV-rapport 2001-26, Trondheim. 44 sider, 5 kart + registreringsskjema
- Hermanns, R.L., Oppikofer, T., Anda, E., Blikra, L.H., Böhme, M., Bunkholt, H., Crosta, G.B., Dahle, H., Devoli, G., Fischer, L., Jaboyedoff, M., Loew, S., Sætre, S., Yugsi Molina, F.X. (2012): Recommended hazard and risk classification system for large unstable rock slopes in Norway. NGU rapport 2012.029, Norges geologiske undersøkelse, Trondheim, Norge.
- Hestnes, E. (1989): Manndalen, Kåfjord – Skredfarevurdering GNR./BNR. 32/36 – Arne Pedersen. NGI rapport 894008-1, Norges Geotekniske Institutt, Oslo.
- Hoek, E., Bray, J. (1981): Rock Slope Engineering, 3. edisjon, E & FN Spon, London.
- Horton, P., Jaboyedoff, M., Rudaz, B., and Zimmermann, M.: Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale. Natural Hazards Earth System Sciences, 13, 869-885.
- InnovMetric, 2015. PolyWorks: 3D scanner and 3D digitizer software from InnovMetric Software Inc. <http://www.innovmetric.com/>.
- Kampes, B.M. (2006): Radar interferometry: persistent scatterer technique. Remote Sensing and Digital Image Processing, Vol. 12., Springer Netherlands.
- Kristensen, L. (2012): GB InSAR measurements at Storhaugen in Manndalen, Troms, 2012. Åknes report 11 2012, Åknes/Tafjord Beredskap IKS, Stranda, Norge.
- Larsen, Y., Engen, G., Lauknes, T.R., Malnes, E., Høgda, K.A. (2006) A generic differential interferometric SAR processing system, with applications to land subsidence and snow-water equivalent retrieval. Fringe 2005 Workshop, pp 56
- Lauknes, T.R., Zebker, H.A., Larsen, Y. (2011) InSAR deformation time series using an 11-norm small-baseline approach. IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 49, 536-546.
- Oppikofer, T. (2009): Detection, analysis and monitoring of slope movements by high-resolution digital elevation models. PhD thesis, Institute of Geomatics and Analysis of Risk, University of Lausanne, Lausanne, Switzerland.
- Oppikofer, T., Hermanns, R.L., Sandøy, G., Roberts, N., Böhme, M., Molina, F.Y. (under arbeid): Metodikk for konsekvensanalyse av fjellskred. NGU rapport, Norges geologiske undersøkelse, Trondheim, Norge.
- Quenardel, J.M., Zwaan, K.B. (2008): Berggrunnskart Manndalen 1633 I, M 1:50000. Foreløpig utgave. Norges Geologiske Undersøkelse.

- Scheidegger, A. E. (1973): On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides. *Rock Mechanics*, 5, 231-236.
- Terranum (2014): Coltop3D, LIDAR data processing and analyzing software for geologists, <http://www.terranum.ch/coltop3d-features>, accessed: 05.09.2014.
- Wyllie, D.C., Mah, C.W. (2004): *Rock Slope Engineering: Civil and Mining*, Spon Press/Taylor & Francis Group, London and New York.
- Zwaan, K.B., Dangla, P.; Quenardel, J.M. (2006): *Berggrunnskart Kåfjord 1634 II, M 1:50,000*. Norges Geologiske Undersøkelse.
- Øydvin, E., Devoli, G., Bargel, T.H., Wiig, T., Taurisano, A., Berg, H., Eikenæs, O., Lyche, E., Fergus, T., Kvakland, M.R., Wasrud, J., Helle, T.E., Orvedal, K., Peereboom, I.O., Anderson, Ø., Hermanns, R.L., Høst, J., Hansen, L., Bunkholt, H.S., Eilertsen, R., Fischer, L., L'Heuraux, J.-S., Oppikofer, T., Rubensdotter, L., Sletten, K., Solberg, I.-L., Stalsberg, K. (2011): *Plan for skredfarekartlegging. Status og prioriteringer innen oversiktskartlegging og detaljert skredfarekartlegging i NVEs regi*. NVE rapport nr 14/2011, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo, Norge.

Vedlegg A

Farevurdering av ustabile fjellpartier i Norge

Lokalitetens navn: Storhaugen blokk Scenario: B

Utført av: Martina Böhme Dato:

18.09.2015

Fareklasser	Sannsynlighet	Kumul. sannsyn.
Meget lav	0.0 %	0.0 %
Lav	20.0 %	20.0 %
Middels	80.0 %	100.0 %
Høy	0.0 %	100.0 %
Meget høy	0.0 %	100.0 %

Farepoeng	
Minimum	4.8
Maksimum	6.3
Modus	5.0
Gjennomsnitt	5.2
5% persentil	4.8
95% persentil	6.0

Tilpasset normalfordeling	
Gjennomsnitt μ	5.0
Standardavvik σ	0.3
$\mu - 2\sigma$	4.3
$\mu + 2\sigma$	5.7
Korrelasjonskoeff.	0.9977
K-S-test	13.6 %

1. Baks Brent	Poeng	Norm. sannsyn.
Ikke utviklet	0	0.0 %
Delvis åpen over bredden av det ustabile fjellpartiet (få cm til m)	0.5	0.0 %
Fullstendig åpen over bredden av det ustabile fjellpartiet (få cm til m)	1	100.0 %
Kommentar: Baksbrenten er fullstendig åpen.		

2. Potensielle glidestrukturer	Poeng	Norm. sannsyn.
Ingen gjennomsettende strukturer er utgående i fjellsiden	0	0.0 %
Gjennomsettende strukturer faller gjennomsnittlig <20 grader eller er brattere enn fjellsiden	0.5	100.0 %
Gjennomsettende strukturer faller gjennomsnittlig >20 grader og er utgående i fjellsiden	1	0.0 %
Kommentar: Foliasjonen er subhorisontal og kan dermed ikke danne en glidestruktur. Ingen andre gjennomsettende strukturer er observert.		

3. Flanker	Poeng	Norm. sannsyn.
Ikke utviklet	0	0.0 %
Delvis utviklet på 1 side	0.25	0.0 %
Fullstendig utviklet eller åpen skråning på 1 side eller delvis utviklet på 2 sider	0.5	50.0 %
Fullstendig utviklet eller åpen skråning på 1 side og delvis utviklet på 1 side	0.75	50.0 %
Fullstendig utviklet eller åpen skråning på 2 sider	1	0.0 %
Kommentar: Den sørlige flanken er frittstående, mens den nordlige er bare utviklet i den øverste delen og ikke synlig lengre nede.		

4. Kinematisk analyse	Poeng	Norm. sannsyn.
Kinematisk mulighetstest tillater ikke planutglidning, kileutglidning eller utvelting	0	0.0 %
Brudd er delvis kinematisk mulig (bevegelsesretning er > $\pm 30^\circ$ i forhold til skråningsorientering)	0.5	0.0 %
Brudd er kinematisk mulig (bevegelsesretning er $\leq \pm 30^\circ$ i forhold til skråningsorientering)	0.75	50.0 %
Brudd er delvis kinematisk mulig på utholdende svakhetsplan (bevegelsesretning er > $\pm 30^\circ$ i forhold til skråningsorientering)	0.75	0.0 %
Brudd er kinematisk mulig på utholdende svakhetsplan (bevegelsesretning er $\leq \pm 30^\circ$ i forhold til skråningsorientering)	1	50.0 %
Kommentar: Planutglidning er mulig langs J4b og delvis langs J4 og J4a. Utvelting er mulig langs J3. J4 danner en gammel glideflate ved siden av og er et utholdende svakhetsplan.		

5. Morfologisk tegn på bruddflaten	Poeng	Norm. sannsyn.
Ingen indikasjon i morfologien	0	100.0 %
Morfologi av skråningen tyder på utviklingen av en bruddflate (utbulning, konkavitet-konveksetet, vannkilder)	0.5	0.0 %
Sammenhengende bruddflate er antydning i skråningens morfologi og kan kartlegges	1	0.0 %
Kommentar: Det finnes ingen antydninger på en utviklet bruddflate.		

6. Bevegeshastighet	Poeng	Norm. sannsyn.
Ingen signifikant bevegelse	0	80.0 %
0.2 - 0.5 cm/år	1	20.0 %
0.5 - 1 cm/år	2	0.0 %
1 - 4 cm/år	3	0.0 %
4 - 10 cm/år	4	0.0 %
> 10 cm/år	5	0.0 %
Kommentar: Ingen bevegelse er observert i bakke- eller satellittbasert radarinterferometri, men det er noen usikkerheter i satellittbaserte InSAR-data pga. mye støy.		

7. Akselerasjon (hvis bevegelsen er >0.5 cm/år og <10 cm/år)	Poeng	Norm. sannsyn.
Ingen akselerasjon eller endring i bevegeshastigheten	0	100.0 %
Økning i bevegeshastigheten	1	0.0 %
Kommentar: Ingen akselerasjon observert.		

8. Økning av steinsprangsaktivitet	Poeng	Norm. sannsyn.
Ingen økning av steinsprangsaktivitet	0	0.0 %
Økt steinsprangsaktivitet	1	100.0 %
Kommentar: Det er rapportert mye steinsprangsaktivitet fra beboerne nedenfor.		

9. Tidligere hendelser	Poeng	Norm. sannsyn.
Ingen postglasiale hendelser av liknende størrelse	0	0.0 %
En eller flere hendelser av lignende størrelse eldre enn 5000 år	0.5	0.0 %
En eller flere hendelser av lignende størrelse yngre enn 5000 år	1	100.0 %
Kommentar: Det finnes tre større stein- eller fjellskredavsetninger i dalen. Den største avsetningen rett nedenfor Storhaugen blokk har en alder på 4250 år.		



NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE
· NGU ·

Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00
E-post ngu@ngu.no
Nettside www.ngu.no