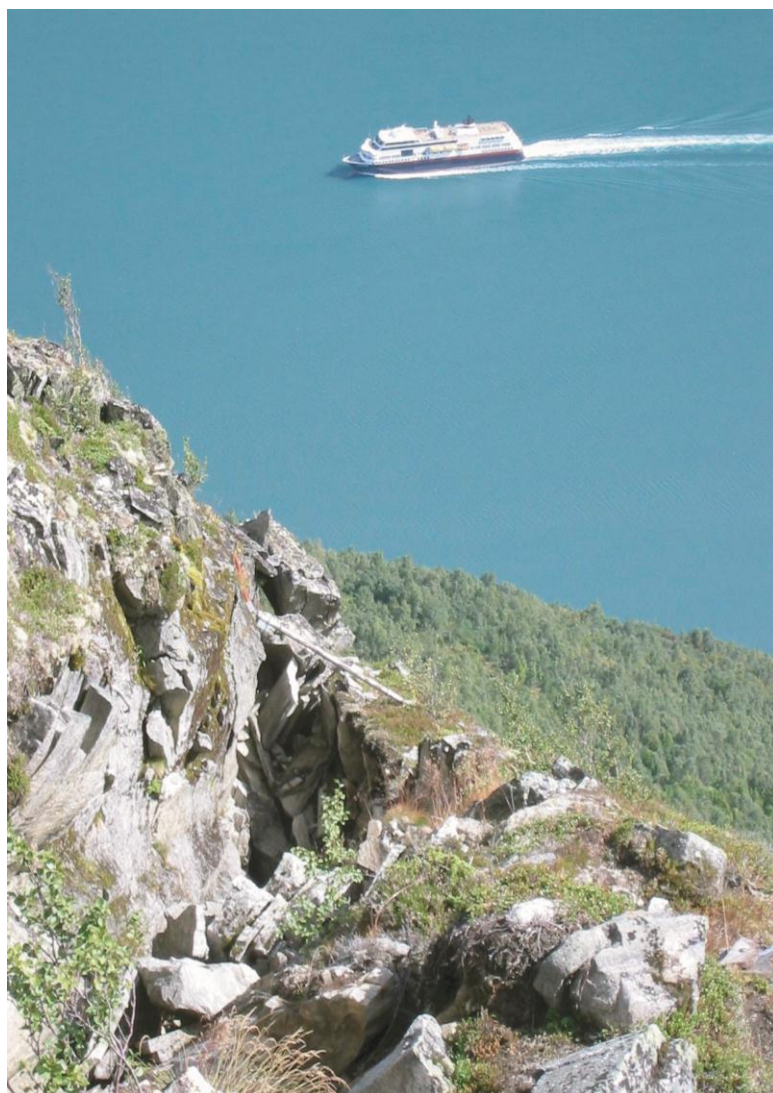


# Evaluering av drenering som risikoreducerende tiltak ved Åknes



## ÅKNES RAPPORT 07 2012

---

## Sammendrag

<i>Rapport nr.</i>	Åknes 07.2012
<i>Tittel:</i>	Evaluering av drenering som risikoreduserende tiltak ved Åknes
<i>Forfattere:</i>	Lars Harald Blikra
<i>Befaring/feltarbeid:</i>	2004-2012
<i>Kontrollert av</i>	Einar Anda
<i>Oppdragsgiver:</i>	Åknes/Tafjord Beredskap, Energikonsernet Tafjord
<i>Fylke/kommune</i>	Møre og Romsdal/Stranda
<i>Rapportdato</i>	13.08.2012
<i>Antall sider</i>	24

### Sammendrag:

Et stort fjellparti ved Åknes i Sunnylvfjorden i Stranda kommune er i bevegelse ned mot fjorden. Et stort fjellskred fra dette området vil føre til store flodbølger som vil true inntil 10 kommuner i regionen. På grunn av de store volumene er fysiske sikringstiltak vanskelig å gjennomføre, og det er derfor implementert et omfattende beredskapssystem basert på overvåking og varsling. Dersom det er mulig med fysisk sikringstiltak som reduserer sannsynligheten for et stort skred til et minimum vil dette vært det beste. Da vil en unngå de store samfunnsmessige og økonomiske konsekvensene ved en ødeleggende flodbølge. Også kravene i teknisk forskrift til Plan og bygningslov krever at fysiske sikringstiltak skal utredes.

Det har i media og fagkretser foregått en diskusjon om mulighetene for fysiske sikringstiltak for fjellskredområdet ved Åknes, noe som har inkludert forslag om nedsprenning av det ustabile fjellpartiet, støttetiltak i fronten av ustabil område, avstengning og oppfylling av fjorden og dreneringstiltak. Internasjonal erfaring viser at det eneste reelle fysiske tiltaket for å stabilisere slike store ustabile fjellparti er drenering for å senke grunnvannsnivået. Dette er gjennomført med god effekt ved en rekke store internasjonale prosjekter.

Åknes/Tafjord Beredskap har i samarbeid med NTNU i Trondheim fått gjennomført en hovedoppgave som har vurdert mulighetene for drenering. For å evaluere drenering initierte Åknes/Tafjord Beredskap et forprosjekt i dialog med Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og med støtte fra energikonsernet TAFJORD. Dette har inkludert et besøk ved to dreneringsprosjekter i Sveits, gjennomgang av internasjonal litteratur og et internasjonalt fagseminar i Stranda.

Den store usikkerheten ved effekten av en drenering ved Åknes er at de mest aktive bevegelsene ser ut til å foregå over den målte grunnvannsstanden. Et fjellskred langs de øvre glidesonene vil imidlertid kunne endre stabilitetsforholdene på dypere nivå, og en senkning av grunnvannnivået kan dermed være viktig for å unngå/reducere faren for de største scenarioene. Det konkluderes med at flere kritiske faglige problemstillinger må utredes før konkrete planer for dreneringstiltak kan påbegynnes, blant annet flere borehull med instrumentering.

NVE har det overordnede ansvaret for statlige forvaltningsoppgaver innenfor forebygging av skredulykker. Det vil være naturlig at NVE tar ansvaret for en oppfølging av problemstillingene rundt fysiske sikringstiltak av det ustabile fjellpartiet ved Åknes, så vel som de geofaglige og samfunnsmessige vurderingene. Skal man iverksette eventuelle tiltak ved Åknes, må dette vurderes opp mot risikoreduserende tiltak også i andre fjellskredutsatte områder.

## Innhold

SAMMENDRAG .....	2
INTRODUKSJON .....	4
GEOLOGISK OVERSIKT OG KARAKTERISERING .....	4
BERGGRUNN OG MORFOLOGI .....	5
AKTIVE BEVEGELSER .....	7
STABILITETSANALYSER .....	8
GEOLOGISK MODELL.....	8
SKREDBEVEGELSER OG GRUNNVANNSFORHOLD.....	10
SCENARIO OG RISIKO .....	12
SCENARIO FOR FJELLSKRED .....	12
FLODBØLGER .....	13
RISIKO .....	14
DRENERING SOM RISIKOREDUSERENDE TILTAK .....	15
INTERNASJONALE ERFARINGER .....	15
DRENERINGSTILTAK VED ÅKNES.....	17
SPRENGING OG RYSTELSER I FORBINDELSE MED TILTAK .....	17
GRUNNVANNSFORHOLDENE OG MULIG EFFEKT AV DRENERING VED ÅKNES .....	19
FORSLAG TIL OPPFØLGENDE TILTAK .....	21
KONKLUSJON .....	21
REFERANSER .....	22

## Introduksjon

Et stort fjellparti ved Åknes i Sunnlyvsfjorden i Stranda kommune er i bevegelse ned mot fjorden. Hele det ustabile fjellpartiet kan være opp til 54 millioner m<sup>3</sup> stort, og deler av dette beveger seg med opp til 8 cm i året. Et stort fjellskred fra dette området vil føre til store flodbølger som vil true inntil 10 kommuner (Blikra, 2008; Glimsdal og Harbitz, 2011; Hole m.fl., 2011). På grunn av de store volumene er fysiske sikringstiltak vanskelig å gjennomføre, og derfor er et omfattende overvåkings- og varslingsystem implementert. Et stort undersøkelsesprogram ble gjennomført i perioden 2004 – 2008, og Åknes /Tafjord Beredskap IKS ble etablert for å sikre drift og permanent operativ overvåking (Blikra, 2008).

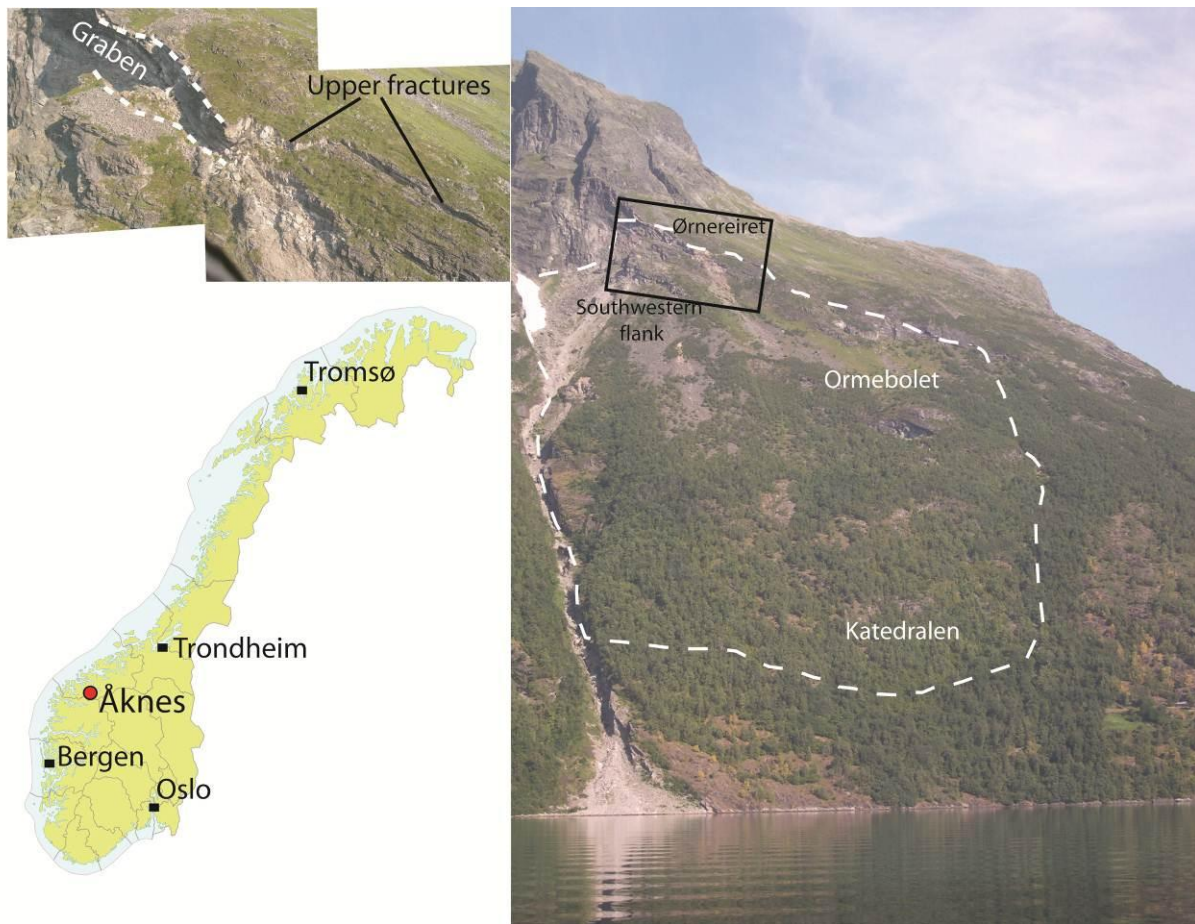
Det har i media og fagkretser foregått en diskusjon om mulige fysiske sikringstiltak for det ustabile fjellpartiet ved Åknes. Dette inkluderer blant annet forslag om nedspregning av det ustabile fjellpartiet, støttetiltak i fronten av ustabil område, avstengning og oppfylling av fjorden og dreneringstiltak. Internasjonal erfaring viser at det eneste reelle tiltaket for å stabilisere et slikt stort fjellparti er drenering for å senke grunnvannsnivået. Åknes/Tafjord Beredskap har i samarbeid med NTNU fått gjennomført en masteroppgave som har sett på mulighetene for drenering (Moen, 2008). For å evaluere dette videre initierte Åknes/Tafjord Beredskap, med støtte fra energikonsernet TAFJORD, et forprosjekt for å undersøke mulighetene for drenering av Åknes slik at en kan redusere faren for et katastrofesked. Dette har inkludert et besøk ved to dreneringsprosjekter i Sveits, gjennomgang av internasjonal litteratur og et seminar med nasjonale og internasjonale fagpersoner ved Åknes/Tafjord Beredskap.

Denne rapporten oppsummerer kort kunnskapsgrunnlaget for fjellskredområdet ved Åknes og evaluerer mulighetene og effekten av drenering som et risikoreduserende tiltak.

Rapporten er utarbeidet av Åknes/Tafjord Beredskap IKS, men er bygd på eksisterende materiale og innspill fra en rekke fagpersoner nasjonalt og internasjonalt. I forbindelse med det internasjonale fagseminaret deltok følgende personer: Giovanni Crosta (Universitetet i Milano, Bicocca, Italia), Simon Löv (ETH, Sveits), Michel Jaboyedoff (Universitetet i Lausanne, Sveits), Corey Froese (Geologiske undersøkelsen i Alberta, Canada), Stefano Cardellini (Ancona overvåkingscenter, Italia), Mario Lovisolo (CSG, Italia), Reginald Hermanns (NGU), Thierry Oppikofer (NGU), Bjørn Nilsen (NTNU), Vidar Kveldsvik (NGI), Bjørnar Moen (AF), Per Aftreth (CEO Construction), Ole Bjørn Alvestad (Energikonsernet TAFJORD), Lars J. Ramstad (Energikonsernet TAFJORD), Hallvard Berg (NVE), Graziella Devoli (NVE), Brigte Samdal (NVE), Einar Anda (Møre & Romsdal fylke), Hallgeir Dahle (Møre & Romsdal fylke), Lars Harald Blikra (ÅTB), Jarle Hole (ÅTB), Kjell Jogerud (ÅTB), Lene Kristensen (ÅTB). Alle deltakerne takkes for innspill både under og i etterkant av seminaret.

## Geologisk oversikt og karakterisering

Det ustabile fjellpartiet ved Åknes ligg på vestsiden av Sunnlyvsfjorden mellom Stranda og Hellesylt. En rekke geologiske, geofysiske, ingeniørgeologiske og hydrologiske studier har vært utført ved Åknes for å få kunnskap og forståelse for den geologiske oppbyggingen, bevegelsesmekanismene og stabilitetsforholdene (Blikra, 2008; Ganerød m fl., 2008; Kveldsvik, 2008; Oppikofer, 2009; Grøneng, 2010; Grøneng et al., 2011; Kristensen m fl., 2010). I øvre del er fjellskredområdet avgrenset av en over 500 m lang baksprekk som strekker seg opp i 900 meters høyde i det nordvestlige hjørne (Figur 1 og 2).



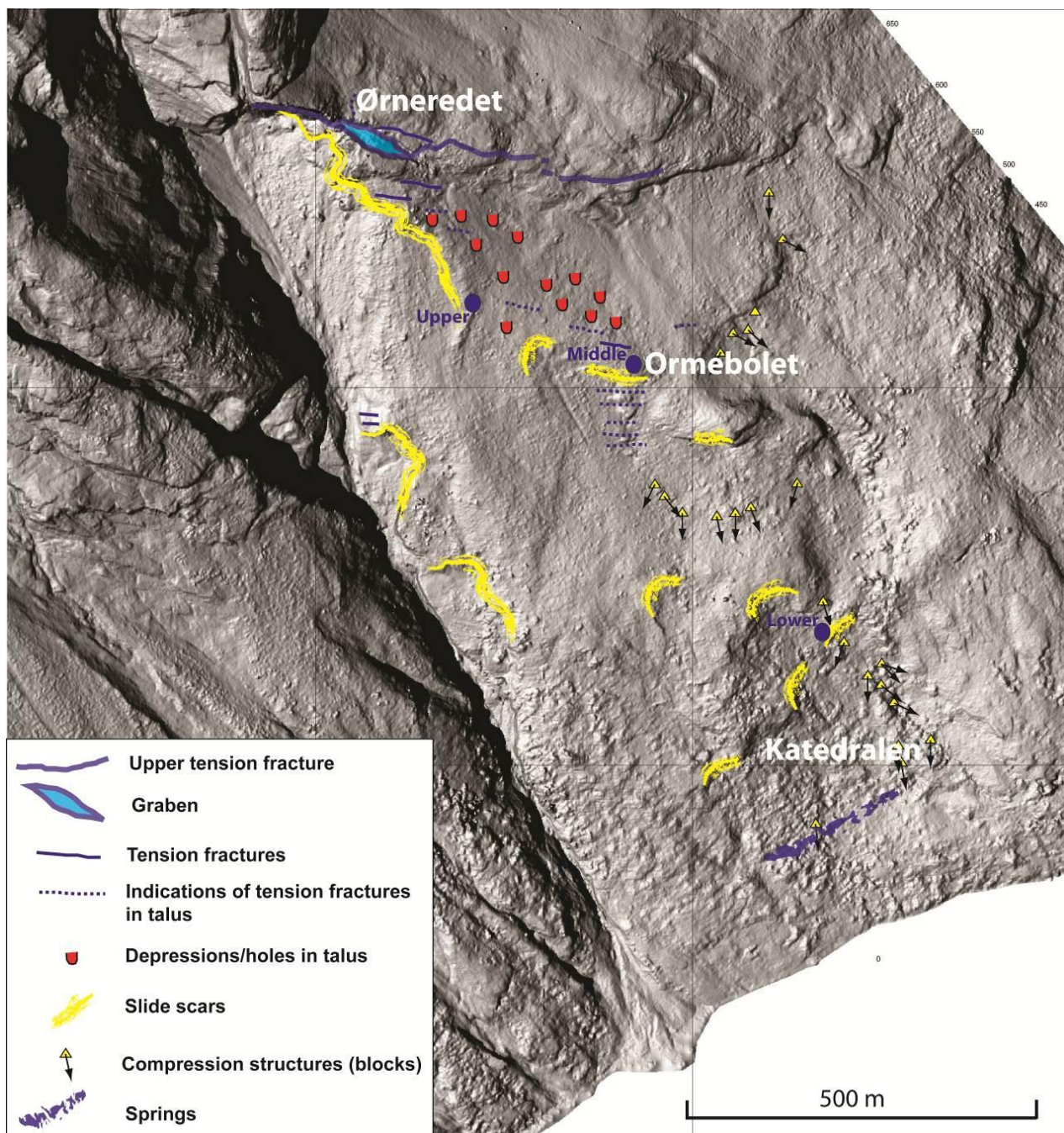
Figur 1. Det ustabile fjellpartiet ved Åknes.

## Berggrunn og morfologi

Fjellpartiet består av gneiser med godt utviklet lagdeling som skråner parallelt med overflata, ned mot fjorden (Braathen m fl., 2004; Ganerød m fl., 2008). I øvre deler nært baksprekken og i et område lenger nede i skråninga er det kartlagt godt utvikla og til dels bratte folder i gneisen (Ganerød m. fl., 2008; Jaboyedoff m.fl., 2011). Disse skarpe og til dels vertikale foldestrukturene styrer lokaliseringen av den øvre aktive baksprekken. Kjerneboring har avdekket opp til 20 cm tykke biotittrike lag som opptrer i soner med høy oppsprekingsgrad. Enkelte av disse lagene er helt nedknust til leirholdige breksjer og er tolket til å være aktive glidesoner.

Morfologien i skredområdet viser flere karakteristiske former (Figur 2), inkludert den godt definerte baksprekken. En stor innsynkning («graben») er utviklet i det øvre nordvestlige hjørne (Figur 2, detalj), men også lenger nede er mindre innsynkninger (groper) observert. Den totale vertikale bevegelsen i graben området er 20 til 30 m, men store deler av dette spranget skyldes vertikal innsynkning. Aktive sprekker er også kartlagt andre steder i den øvre og midtre delen av det ustabile området (Figur 2). Flere skredkanter karakteriserer den øvre dype nedskjæringa, som definerer den vestlige grensen for fjellpartiet i bevegelse. Historiske data viser at flere mindre fjellskred er utløst i dette området de siste 200 år. Mindre utglidningskanter er også tolket i nedre del av det potensielt ustabile området (Figur 2). Flere kildeutspring hvor vann kommer ut av bakken opptrer i et godt definert høydeintervall i nedre del av skråninga rundt 100 moh. Det er også kartlagt noen mindre kildeutspring i midtre del av skråninga (Frei, 2008).

Det er utført en rekke dype kjerneboringer i tre utvalgte områder (Figur 2: øvre, midtre og nedre). Kjernene består av gneiser med flere nedknuste soner langs biotittrike lag. Disse er tolket til å være dannet i glidesoner for skredområdet i dyp fra 25 til 55 m. Det er også indikasjoner på slike soner dypere enn 100 m. Deformasjoner og stor sprekketetthet er også indikert fra geofysiske målinger i overflaten og logging i borehullene (Ganerød m fl., 2007; Rønning m fl., 2006, 2007).

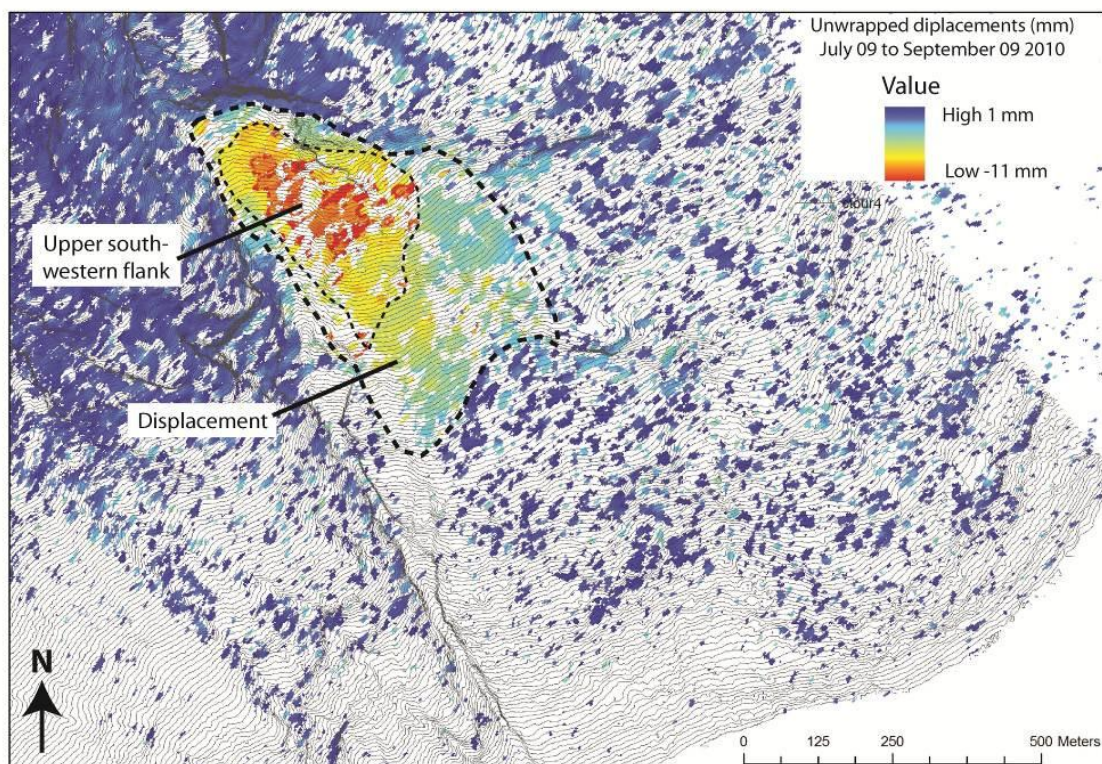


Figur 2. Morfologisk kart over fjellskredområdet ved Åknes. Historiske små fjellskred er konsentrert til den vestlige flanken langs den store nedskjæringa (slide scars). De blå punktene viser lokalisering av de dype kjerneboringene (Øvre, midtre og nedre).

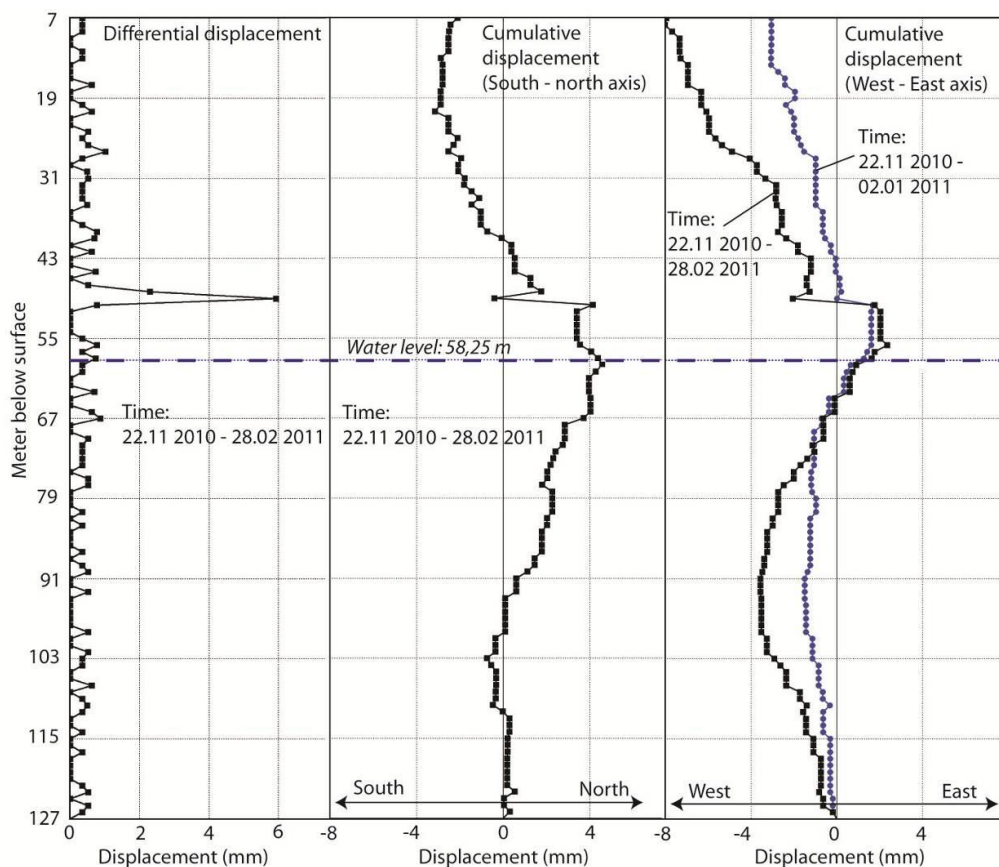
## Aktive bevegelser

Det er dokumentert store aktive deformasjoner i deler av det kartlagte ustabile fjellområdet (Figur 3). I den øvre sørvestlige flanken er de årlige bevegelsene 6-8 cm, men lokalt er de større. I den midtre og østlige sektor er bevegelsen noe mindre, inntil 2-4 cm pr år. Bevegelsesmålinger i de dype borehullene er utført ved bruk av en meter lange instrumenterte moduler som er lenket sammen i lange kolonner (DMS: Lovisolato et al., 2003). I hver modul er det sensorer som måler endring i vinkel (inklinometre) og temperatur, og med poretrykksmålere i 2 moduler. Målingene viser at de største aktive deformasjonene skjer ved 49-51 m dyp ved øvre borehull (Figur 4) og ved 28-32 m dyp ved midtre borehull. Det er også indikasjoner på deformasjoner i dypere soner.

Målinger av aktive deformasjoner i de nedre deler har tidligere vært vanskelig å tolke på grunn av store feilmarginer. De siste data fra kontinuerlig målinger med GPS, bakkebasert radar og borehullsinstrumenter, viser imidlertid ingen signifikante aktive deformasjoner. Det understrekes imidlertid at de geologiske undersøkelsene, inkludert kjerneboringer, viser at disse områdene har vært i deformasjon og er derfor inkludert som en del av det største scenariet.



Figur 3. Bevegelser kartlagt fra bakkebasert radar i 2010 (2 mnd.) som viser store bevegelser i øvre sørvestlige flanke, men også i de midtre og østlige områdene.



Figur 4. Data fra borehulls instrumentering i øvre borehull (DMS kolonne: Differential Monitoring of Stability). I tidsrommet 22. november 2010 til 28. februar 2011. Den 120 m lange kolonnen er plassert på 7-127 m dyp. Den venstre kurven viser den differensielle bevegelsen for hver enkelt sensor, mens de to kurvene til høyre viser den kumulative kurven langs to akser. Den høyre kurven viser også bevegelsene i et noe kortere tidsrom. Målingene i den tre måneders lange perioden viser klart glidesonen ved 50 m dyp, men indikerer også bevegelser på større dyp.

## Stabilitetsanalyser

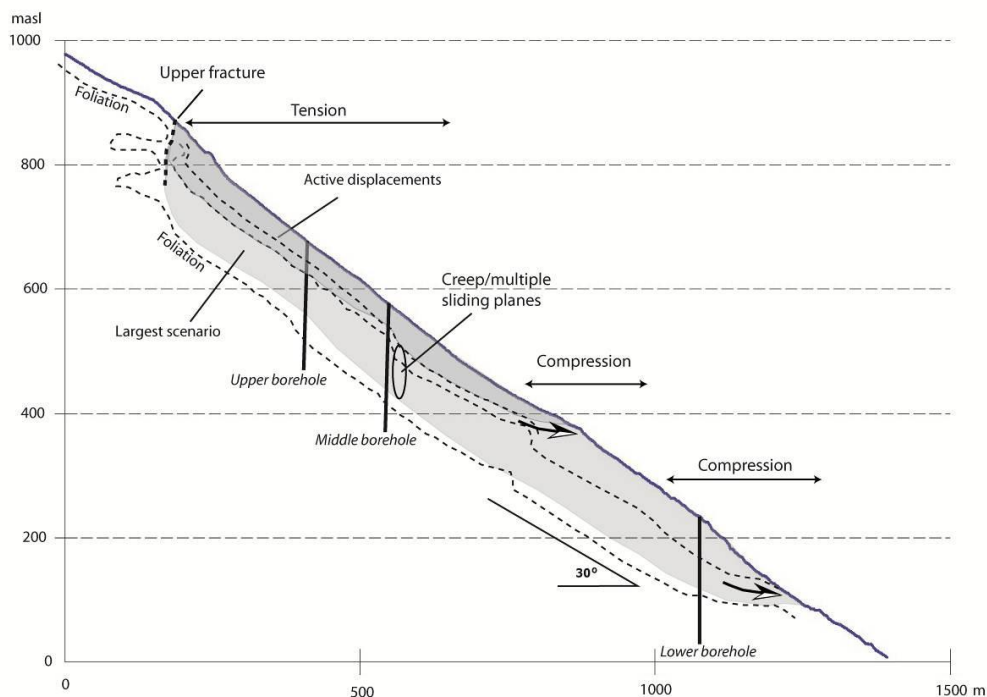
Det er foretatt relativt omfattende forskning knyttet til stabilitetsmodellering for en bedre fysisk forståelse for de ustabile områdene. Det er utført modellering ved bruk av kodene DDA, 2D UDEC og 3F FLAC (Kveldsvik *et al.*, 2008; Grøneng, 2010; Grøneng *et al.*, 2010; Blikra, 2012). I disse arbeidene ble det brukt data fra analyse av skjærstyrke og andre parametere fra kjerneprøver og prøver fra felt. Det ble gjort sensitivitetsanalyser i 2D UDEC modelleringen, og det ble konkludert at modeller med størst ustabil dyp var mest i overenstemmelse med skjærstyrkeparametere som ble brukt. Det ble også konkludert med at et grunt skred vil redusere stabiliteten på større dyp. Langtids stabilitet ble evaluert ved bruk av 3D FLAC. Ved å redusere den prosentvise andelen av intakt fjell i glidesonen økte bevegelsene og den nedre delen av skredområdet ble ustabil. Modelleringene er i hovedsak i overenstemmelse med felldata og viser at fjellpartiet er i grensen for en mulig kollaps. De viser videre at det må tas hensyn til det største scenarioet med glidesoner under 100 m dyp.

## Geologisk modell

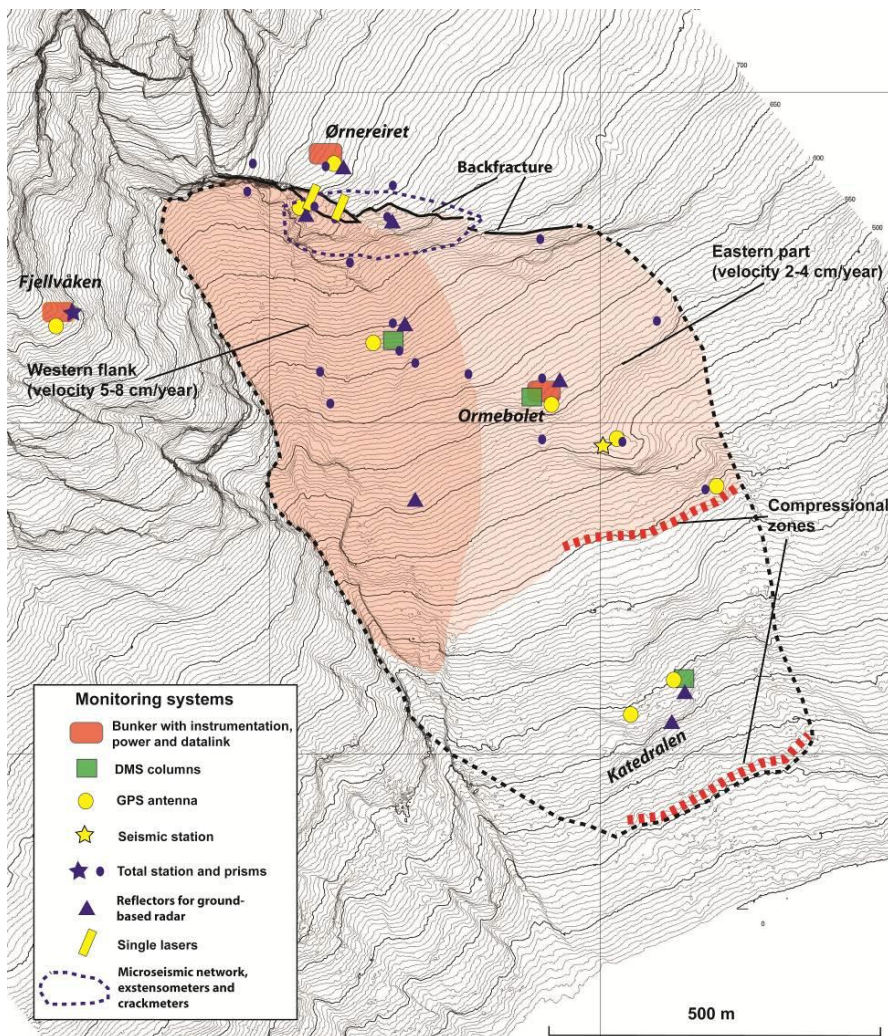
Den geologiske modellen for det ustabile fjellpartiet er fortsatt ufullstendig, spesielt de geologiske strukturene og bevegelsene i dypere lag, se skjematisk profil i figur 5. Det er imidlertid klart at den skråningsparallele lagdelingen i gneisen og de svake nedknuste biotittsonene kontrollerer det storskala



bevegelsesmønsteret. Videre er den øvre del avgrenset av den aktive baksprekken langs de bratte og til dels vertikale foldestrukturen. Opptreden av aktive sprekker og innsynkninger i skredmasser i midtre del viser at området her er i ekstensjon. Det ustabile området er tolket til å være en kompleks utglidning med ekstensjon (strekk) i øvre del og med kompresjon i to soner i midtre til nedre deler (Figur 5). Dette bildet er imidlertid ytterligere komplisert ved at skredområdet er inndelt i blokker/delområder både i overflaten og i dypet (Jaboyedoff m.fl., 2011), noe som reflekteres i ulike bevegelsehastigheter og retninger i overflaten og i dypet. Det største scenarioet er estimert til å være opp til 54 million m<sup>3</sup>. Dette inkluderer både det aktive området og det inaktive nedre området (Figur 6).



Figur 5. Lengdeprofil med skjematisk modell for det ustabile fjellpartiet.



Figur 6. Oversikt over overvåkingssystemene ved Åknes, inkludert de ulike scenarier og aktive bevegelser. Hele det stipla området utgjør det største estimerte scenario på 54 mill. m<sup>3</sup> (scenario 1). Hele det farga området med aktive bevegelser utgjør scenario 2 med estimert volum på 18 mill. m<sup>3</sup>. Den vestlige flanken med størst aktiv bevegelse (mørkest rød farge) er scenario 3 med estimert volum på mellom 6 og 11 mill. m<sup>3</sup>.

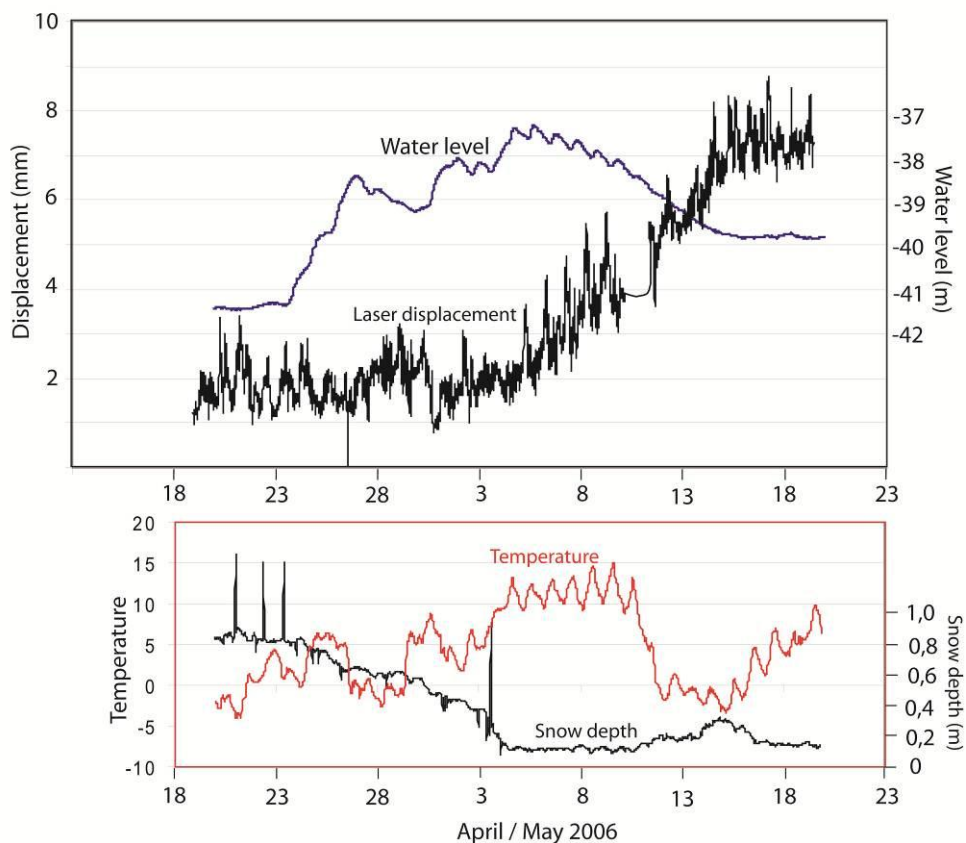
## Skredbevegelser og grunnvannsforhold

En evaluering av mulighetene for drenering for å redusere faren for store utglidninger fra fjellskredområder krever en omfattende kunnskap om grunnvannsforholdene og hvordan dette påvirker bevegelser og deformasjoner. ÅTB har gjennomført flere dype borer og i disse er det utført hydrologiske tester i borehull for å kartlegge vanngjennomstrømning (Thöny, 2008). Disse testene viser at det er stor gjennomstrømning av vann ned til dyp på over 100 m.

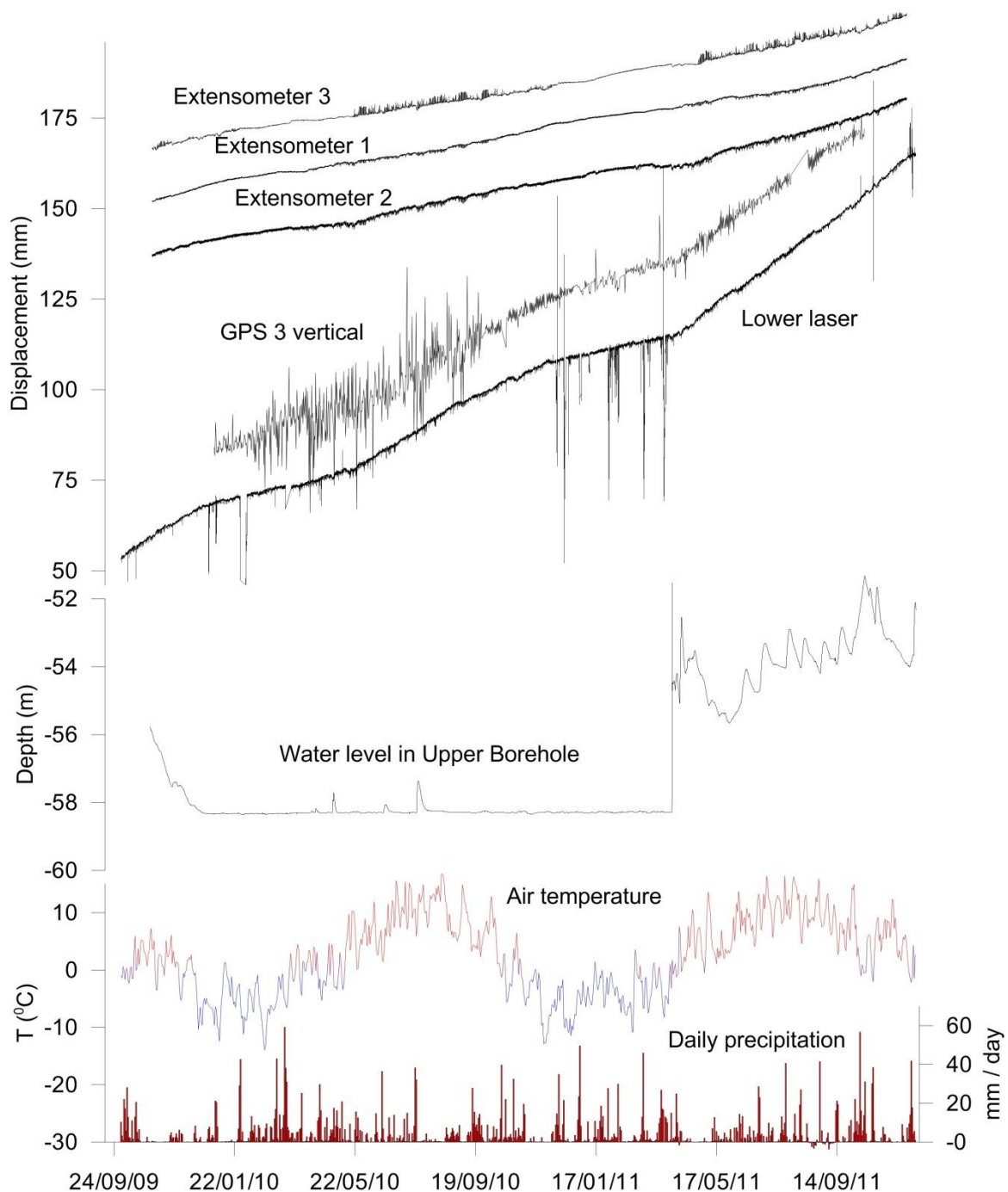
Videre er det etablert instrumentering som overvåker grunnvannsnivå i de tre områdene (se lokalisering av borehullene i figur 5 og 6). Undersøkelsene viser at grunnvannsnivået står 40 til 55 m under overflaten. Over grunnvannsstanden er fjellet svært oppsprukket. Overvåkingen viser at vannnivået varierer noe, og stiger spesielt under stor snøsmelting, i størrelsesorden 2 til 7 m (Figur 7). Imidlertid ligger glidesonene med størst bevegelse like over det observerte høyeste vannnivået i fjellsprekke. Det er imidlertid viktig å være klar over at vannstanden blir målt i dype og åpne borehull, noe som gjør at

selve borehullene lokalt kan senke vannivået i forhold til omliggende områder. Dette gjør tolkingen av vannivå i forhold til de aktive glidesonene usikker.

I april 2011 steg vannivået plutselig i øvre borehull, og dette forårsaket en generell økt bevegelse i de øvre områder (Figur 8). Dette vannivået og de økte bevegelsene har vedvart. Denne episoden viser at grunnvannsforholdene er kompliserte og kan sterkt påvirkes av de indre deformasjonene som skjer under bevegelse, for eksempel åpning og lukking av vannførende sprekkesystem.



Figur 7. Økt bevegelse ved Åknes i april og mai 2006 vist med data fra lasermålinger, sammenstilt med vannivå fra midtre borehull og temperatur og snøsmelting fra klimastasjonen.



Figur 8. Bevegelsesmålinger fra Åknes sett i sammenheng med vannivå, lufttemperatur og nedbør i tidsrommet oktober 2009 til november 2011.

## Scenario og risiko

Det blir her gitt en kort oppsummering for fjellskredscenario, flodbølgeanalysene og risiko.

### Scenario for fjellskred

Scenario for skred fra Åknes er basert på omfattende og detaljerte undersøkelser fra 2004 og frem til i dag (Blikra m.fl., 2006 og 2007; Blikra, 2008; Ganerød m.fl., 2007 og 2008; Kveldevik m.fl., 2008; Kveldevik, 2008; Jaboyedoff m.fl., 2009; Longva m.fl., 2009; Nordvik m.fl., 2009; Oppikofer, 2009;

Rønning m.fl., 2007). Videre er det gjort et omfattende arbeid innenfor utvikling av verktøy for modellering av flodbølger (Glimsdal and Harbitz, 2011). Dette er utført av NGI/ICG, SINTEF, UiO og NTNU, og har inkludert modellering av skred fra Åknes, numerisk modellering av flodbølger og laboratorieeksperiment av de indre fjordområder.

Det er fremdeles store usikkerheter knyttet til vurdering av scenario, men følgende hovedscenarier er brukt (se oversikt i Figur 6):

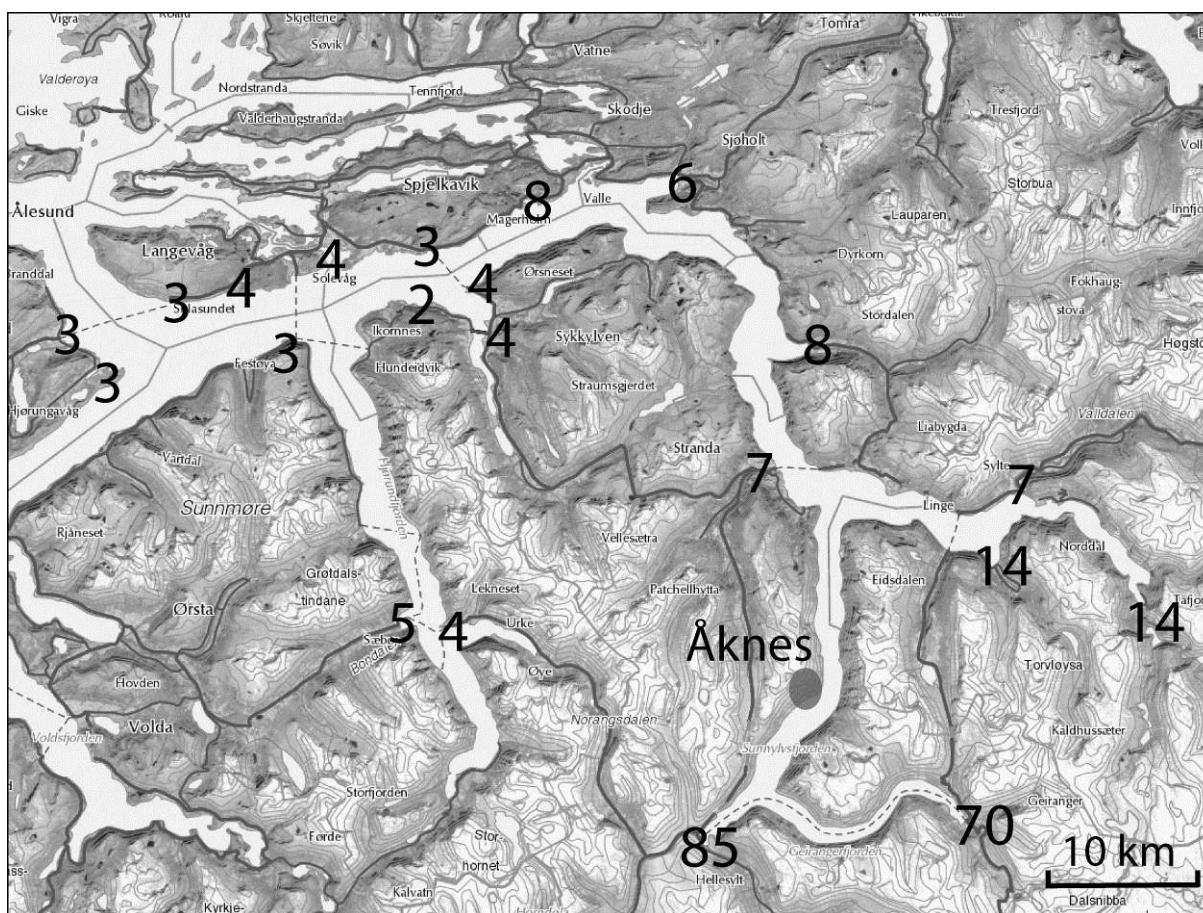
**Scenario 1:** Hele det potensielt ustabile området er estimert til et maksimalt volum på 54 mill. m<sup>3</sup> i NGI (2011) og Åknes rapportene 01.2010 og 05.2011 (Blikra m.fl., 2010; Hole m.fl., 2011). Her ble det brukt en gjennomsnittsdyp på 120 m (se arealutbredelse i figur 6). Sammenstillingen og volumestimatene gjort av Nordvik m.fl. (2009) estimerte et noe lavere volum (43 mill. m<sup>3</sup>) med et glideplan på 105-115m dyp. Grunnen til dette er at det sannsynligvis er estimert noe for lave volum i øvre deler (sørlig flanke), og det er i det maksimale scenario tatt noe høyde for et dypere skredplan og usikkerhet i volumanslagene. Det største estimerte scenario på 54 mill. m<sup>3</sup> er plassert i sikkerhetsklasse 3 med største nominelle årlig sannsynlighet 1/5000 (Hole m.fl. 2011).

**Scenario 2:** Dette omfatter hele området med aktive bevegelser (se farga område i Figur 6). Volumet er her estimert til 18 mill. m<sup>3</sup> med et dyp til glidesone på 80 m. Nordvik m.fl. (2009) estimerte et volum på 14,5 mill. m<sup>3</sup> for disse områdene (estimert dyp på 40-55 m). Dette scenariet er av Hole m.fl. (2011) plassert i sikkerhetsklasse 2 med største nominelle sannsynlighet 1/1000.

**Scenario 3:** Dette er den vestlige flanken med størst aktiv bevegelse (sterk rød farge i figur 6), med estimert volum på mellom 6 og 11 mill. m<sup>3</sup> (Glimsdal & Harbitz, 2011; Hole m.fl. 2011). Nordvik m.fl. (2009) brukte et mindre areal for dette området og estimerte et volum på 2,5 mill. m<sup>3</sup>. Dette scenarioet er også innenfor sikkerhetsklasse 2.

## Flodbølger

Modellering av bølgehøyder for ulike scenario er utført av Norges Geoteknisk Institutt (Glimsdal & Harbitz, 2011). Det største fjellskred scenarioet (scenario 1) og en tsunami vil ha dramatiske konsekvenser for et stort antall kommuner langs fjorden (Figur 9). Estimerte oppskyllingshøyder er på 85 m på Hellesylt and 70 m i Geiranger. NGIs analyser legger til grunn at skredene går i fjorden som en hel blokk. Mindre bølger vil forventes dersom skredene går fragmentert i mindre enheter. Alle høyder er angitt i forhold til middelvannstand, og det er og tatt omsyn til ei framtidig havnivåstigning på 0,7 m.

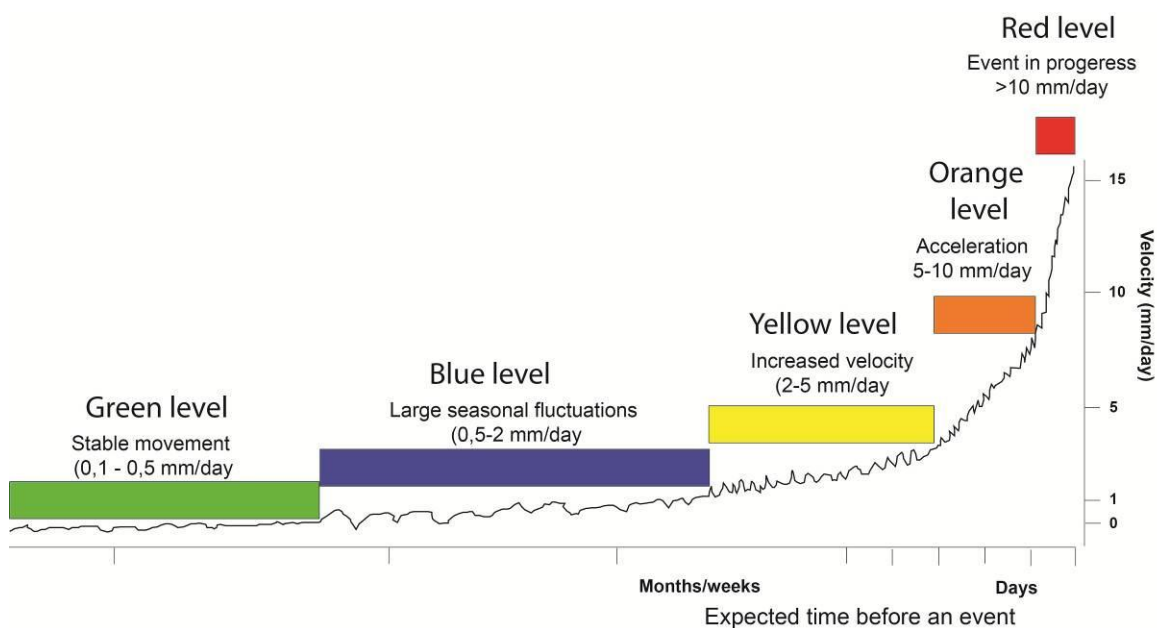


Figur 9. Estimerte oppskyllingshøyder (m) for det største scenarioet fra Åknes (Scenario 1: 54 mill. m<sup>3</sup>).

## Risiko

Det ble tidlig i Åknes/Tafjord prosjektet gjort en vurdering av sannsynligheter og risiko knyttet til fjellskred fra Åknes (Blikra, m.fl. 2005, 2006). Konsekvenser og risiko ble vurdert kun ut fra forventet tap av menneskeliv. Avhengig av tidspunkt for et stort fjellskred kan det være fra noen hundre til flere tusen mennesker i faresonen for flodbølger, og det ble konkludert at et fjellskred fra Åknes utgjør en svært alvorlig risiko. Risikoen ble også sammenlignet med risikoen knyttet til tap av menneskeliv ved skred på vei. Det ble i rapporten konkludert med at et skred fra Åknes har en årlig risiko som er større enn den samla skredrisikoen på vei i Norge. Dette understreket behovet for at en så raskt som mulig fikk etablert et overvåkings- og beredskapssystem med høy pålitelighet. Et velfungerende beredskapssystem vil redusere den individuelle risikoen for personer i fareområdene til et akseptabelt nivå. Det er ikke foretatt noen detaljert analyse av andre samfunnsmessige og økonomiske konsekvenser av et stort fjellskred fra Åknes, men det er åpenbart at dette vil gi omfattende ødeleggelser og store økonomiske konsekvenser.

En viktig del av håndteringen av risikoen var å utarbeide hensiktsmessige fare- og beredskapsnivå. Figur 10 gir en skisse for en tenkt utvikling av et fjellskred ved Åknes og hvordan farenivåene er definert.



Figur 10. Terskelverdier og relaterte farenivå for fjellskred fra Åknes (Blått nivå brukes kun internt for beredskapssenteret).

## Drenering som risikoreduserende tiltak

Dreneringstiltak er anerkjent som det mest effektive og økonomiske stabiliseringstiltaket for store ustabile fjellparti. De fleste prosjekter har dreneringstuneller, men i enkelte tilfeller supplert med andre tiltak. Moen (2007, 2008) foretok en litteraturstudie av store dreneringstiltak og konkluderte med at de fleste hadde en god effekt i form av nedsatt bevegelse. Moen (2008) gikk også gjennom andre alternative løsninger til drenering, og konkluderte med at det ikke finnes andre realistiske løsninger ut fra økonomiske, praktiske eller tidsmessige årsaker. De alternative løsningene som kort ble analysert var fjellankere, nedsprenning, overflatedrenering og injeksjon.

## Internasjonale erfaringer

Det finnes flere internasjonale eksempler på storskala drenering av fjellskredområder for å redusere bevegelsene. De største dreneringstiltak er foretatt av BC Hydro i British Columbia, Canada. Disse inkluderer Downie slide (Enegren & Imrie, 1996) og Dutchman's Ridge (Moore & Imrie, 1992). På New Zealand ble det gjort omfattende dreneringstiltak i vannkraftprosjektet Clyde Power Project (Macfarlane & Gillion, 1996). I Sveits er de dreneringstiltakene ved La Frasse Landslide og Campo Vallemaggia Slide mest kjente (Noverraz m.fl. 1998; Bonziago m.fl. 2000). ÅTB besøkte disse to i 2010. I de fleste tilfeller har man gått inn med tuneller *under* glideplanet for skredet i kombinasjon med et stort antall borehull opp gjennom glideplanene for å drenere vann ut av de ustabile fjellmassene (Figur 11). Tiltaket ved La Frasse som inkluderte en 0,7 km lang tunell og 50 vertikale borehull, hadde til da ikke hatt stor effekt på bevegelsene. Grunnen kan være at en ikke hadde god nok kunnskap om de hydrologiske forholdene. Her var det også mye svake og til dels lite konsoliderte unge bergarter/sedimenter. De geologiske forholdene ved Campo Vallemaggia var karakterisert av metamorfe bergarter med amfibolitt, glimmerrike skifre, ulike typer gneiser og karbonater. Det ustabile området er estimert til 800 mill. m<sup>3</sup> med aktive deformasjoner og bevegelse ned mot 300 meters dyp. Det var også dokumentert opptreden av dyp artesisk vanntrykk. Dreneringstiltakene omfatter en 1,8 km lang tunell og

30 drenerende borehull. Her så det ut til at man i stor grad fikk redusert poretrykk og aktive deformasjoner.

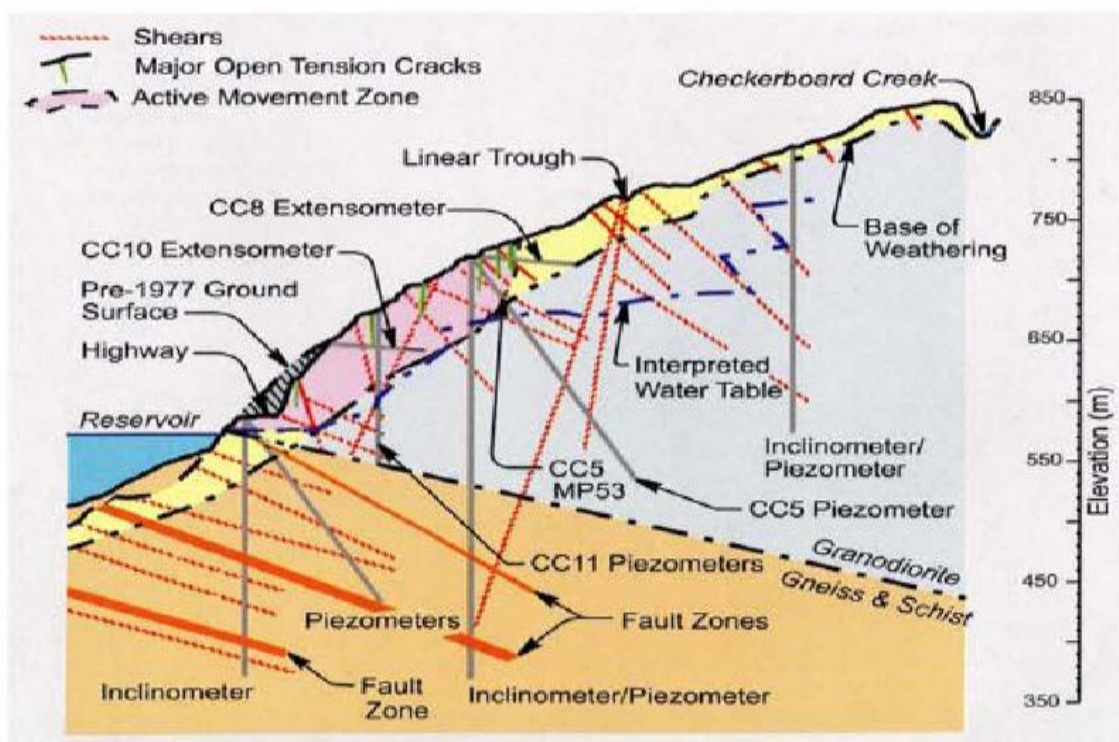


Figur 11. Fra den 0,7 km lange tunellen ved La Frasse i Sveits. Under sees et av de 50 vertikale borehullene i tilknytning til tunellen.

Dreneringstiltakene utført av BC Hydro i Canada har vist en god effekt med reduksjon i bevegelseshastigheter. Det skal ofte bare til små forbedringer av sikkerhetsfaktoren for å redusere deformasjonene betraktelig. De understreker imidlertid behovet for god kunnskap og observasjoner både før, under og etter tiltakene. Figur 12 gir et bilde over hvilke undersøkelses- og overvåkingstiltak som ble foretatt i forbindelse med dreneringen ved Checkerboard Creek (Watson m.fl. 2006). Spesielt viktig er tilstrekkelig instrumentering for måling og overvåking av grunnvannssituasjonen. Dette er spesielt viktig i oppsprukket og deformert fjell der en har store lokale variasjoner i permeabilitet og grunnvannsstrømning. Overvåkingen av Downie Slide før dreneringen startet var omfattende og det ble installert 121 piezometre (grunnvannstrykk/vannivå), 18 inklinometre (vinkelmålere), 2



ekstensometre og 45 punkter for overvåking av bevegelse i overflaten. Tiltaket her består av en 2,4 km lang tunell og en rekke drenerende borehull med en samlet lengde på 13,6 km. Effekten var meget god med en betydelig senkning av grunnvannsnivået (Imrie, 1983; Enegren & Imrie, 1996).



**Fig 3** Cross section A-A of Checkerboard Creek showing the limits of the current displacements, interpreted water level, major shears and faults and depth of weathering.

Figur 12. Eksempel på undersøkelser og overvåking som ble foretatt av BC Hydro i forbindelse med dreneringstiltakene ved Checkerboard Creek, Canada (Watson m.fl. 2006).

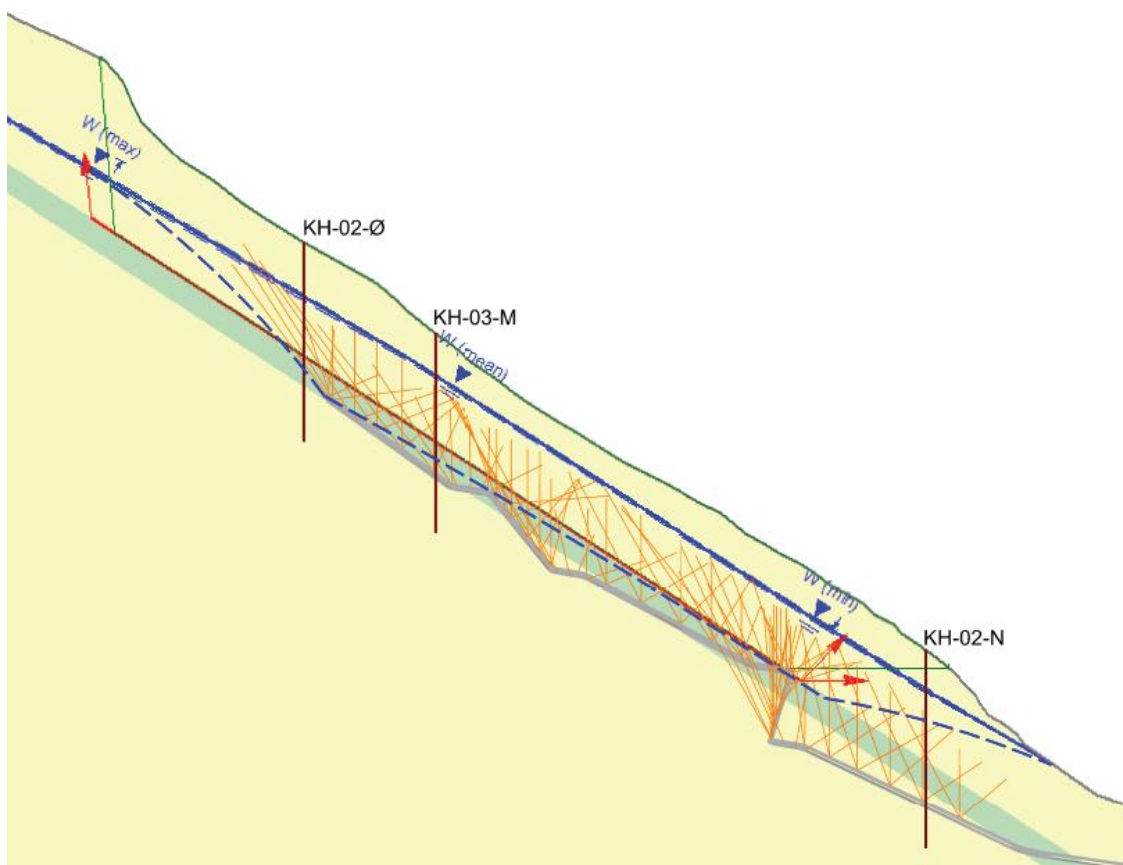
## Dreneringstiltak ved Åknes

Moen (2007, 2008) vurderte mulighetene for dreneringstiltak ved Åknes, og presenterte flere alternativer for dreneringstuneller og drenerende borehull (Figur 13). Det ble konkludert med at det var praktisk og økonomisk mulig med drenering som risikoreduserende tiltak. Det ble presentert tre ulike dreneringsalternativer som omfatter en tunell på 3 til 4,4 km supplert med flere borehull med en samlet lengde på 6,4 til 15,8 km. Kostnaden ble estimert til NOK 100-200 mill. Slike tiltak krever ofte betydelige vedlikeholdsutgifter for å holde dreneringssystemene åpne og oppfølging i form av overvåking av vannivå og bevegelser (Enegren & Imrie, 1996). De brukte eksemplet fra Downie Slide i Canada der det var etablert 2,4 km tunell og 13,6 km borehull. De årlig kostandene til dette var estimert til NOK 3-4 mill. i 1996.

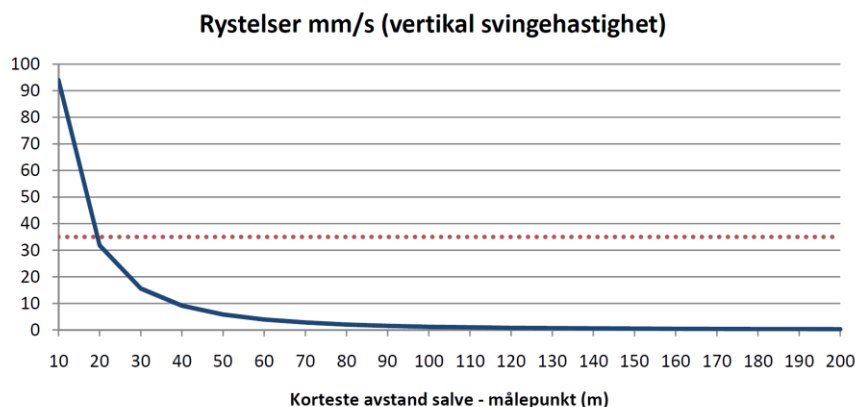
## Sprenging og rystelser i forbindelse med tiltak

Kritiske spørsmål har vært knyttet til en mulig stabilitetsforverring ved utsprenging av tuneller. Flere steder internasjonalt har en gått inn med tunneler like under det ustabile fjellpartiet for å drenere. Etter det en kjenner til har det ikke oppstått problemer med stabilitet eller økt bevegelse som følge av sprenging. I flere områder er tunneler drevet rett gjennom eller få meter under glideplanet/glideplanene uten at det har oppstått stabilitetsproblem. Masteroppgaven til Moen (2008) fra Åknes konkluderte med

at rystelsene avtar betraktelig med avstand (Figur 14). Kurven viser at rystelsene avtar eksponentielt i avstand fra sprengningen. For hver 8-10 m fra sprengningen halveres styrken på rystelsene. En av konklusjonene fra Moen (2008) var også at i en avstand på under 200 m var rystelsene mindre enn et jordskjelv med 1000 års sannsynlighet i Møre og Romsdal. Han konkluderte med at med de muligheter som finnes for å redusere rystelsene fra tunnelsalver vil rystelsene trolig ikke bli noe problem for driving av en tunnell under skredområdet ved Åknes.



Figur 13. Dreneringstiltak presentert av Moen (2008): Profil med tunneltrase og dreneringshull er skissert. Grunnvannsnivå før og etter dreneringen angitt med heltrukket og stiplet linje.



Figur 14. Rystelser som følge av sprengning (Moen, 2008). Den røde prikkede linja viser rystelsesnivået på 35 mm/s som er det nivået hvor det antas at det ikke skjer skade på bygningsmasse. Kurven viser at rystelser avtar kraftig med økende avstand.

## Grunnvannsforholdene og mulig effekt av drenering ved Åknes

De geologiske undersøkelsene og de kontinuerlige målingene av vannivå og deformasjoner i borehull og i bevegelser i overflaten viser at vanntrykk er en svært viktig faktor for bevegelsene og dermed stabiliteten i de ustabile fjellpartiene ved Åknes. Det er allerede utført noen grunnvannsundersøkelser i form av vanntrykksmålinger, borehullstester og sporforsøk for å evaluere dreneringsveier og gjennomstrømningshastigheter.

Masteroppgaven til Moen (2008) gir en evaluering av mulighetene for drenering for å stabilisere fjellpartiet. Denne konkluderte med at drenering sannsynligvis vil gi god effekt. Dette er i overensstemmelse med flere internasjonale eksempler på drenering av større fjellparti som reduserer hastigheten på bevegelsene, og dermed virker stabiliserende. Moen (2008) tok utgangspunkt i det største scenariet med et dyp på et nedre glideplan på 110 m (scenario 1) og analyserte dreneringseffekten ved bruk av stabilitetsmodellering (Slide). En rekke forenklinger må gjøres under en slik analyse, blant annet parametere knyttet til skjærstyrken og glideplanetes egenskaper, grunnvannsforholdene, forenklinger av geometrien på det ustabile området og forenklinger i selve stabilitetsprogrammene. I analysene til Moen (2008) er verdiene for noen av parameterne variert slik at det er gjort en form for sensitivitetstest.

Det som kommer klart frem fra beregningene er at den optimale effekten av dreneringen er betydelig. En økning i sikkerhetsfaktoren på 11 - 27 % vil trolig ha stor betydning for bevegelsene. Moen (2008) understreker at selv om alle beregningene tyder på at det kan forventes en betydelig økning av sikkerhetsfaktoren for fjellsiden ved drenering, vil ikke den eksakte effekten av dreneringen kunne fastslås før etter at tiltakene er gjennomført.

Det er rimelig klart at grunnvannsforholdene er komplekse i et stort ustabil fjellparti. Dette er vist gjennom de hydrologiske borehullstestene som ble gjennomført i Åknes/Tafjord prosjektet (Thöny, 2008). Grunnvannsstrømning ble her karakterisert gjennom en kombinasjon av en strømningsmåler (Heat pulse flow-meter) og måling av ledningsevne i vann (Dynamic fluid electric conductivity-DFEC). Ledningsevne målingene ble utført etter følgende prosedyre:

1. Det ble først pumpet ned saltholdig vann i borehullet (høyere salinitet enn eksisterende vann i fjellet)
2. Ledningsevnene ble så målt flere ganger ved gjentatte logger av hele borehullet for å observere tidsendringene i salinitet.

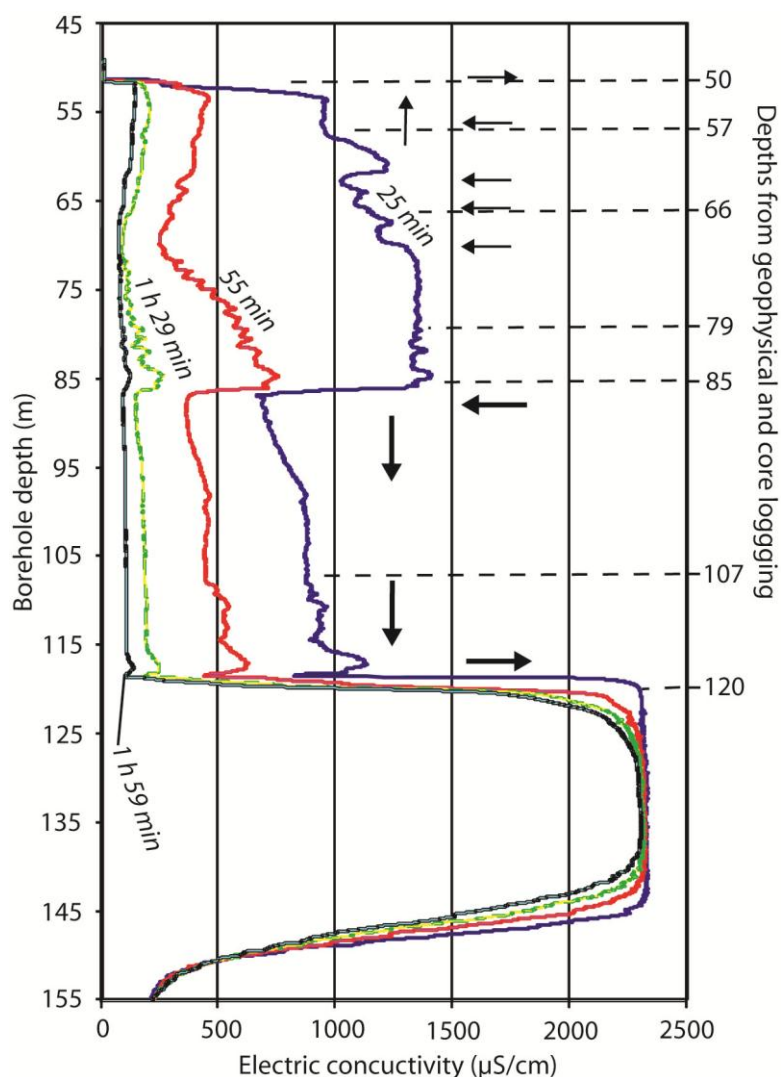
Testene lokaliserte klart ulike soner med henholdsvis stagnerende og sirkulerende vann (Figur 15). Vann strømmer ut fra borehullet ved grunnvannsoverflaten på 52 m dyp og strømmer inn igjen i borehullet mellom 55 og 87 m dyp. Mellom 87 og 119 m dyp strømmer vannet vertikalt ned gjennom borehullet der det strømmer ut igjen. Loggingen viser at det er stor gjennomstrømning av vann i borehullet, noe som tyder på stor permeabilitet og oppsprekking.

De hydrologiske undersøkelsene viser at det er komplekst og varierende grunnvannsforhold i det ustabile fjellpartiet. Undersøkelsene viser følgende:

- Permeabelt og tett oppsprukket fjell i øvre deler (40-50 m)
- Grunnvannstand i de åpne borehullene på 40-58 m

- Grunnvannsnivået i sprekkeleier varierer gjennom en sesong med maksimalt observert endring på 8 m i øvre borehull
- Mange vannførende sprekker ned til 120 m dyp
- En umetta sone på 190 m dyp ved midtre borehull kan indikere en form for «hengende» eller isolert vannsystem i øvre del.
- Sporforsøkene viser en sannsynlig forbindelse mellom øvre baksprekk og det nedre vannsystemet med kildeutspringene i nedre del av det ustabile fjellpartiet.

Den store usikkerheten knyttet til drenering som risikoreducerende tiltak er at de mest aktive øvre glidesonene ser ut til å ligge *over* den høyestliggende grunnvannsstanden. Dersom dette er riktig vil ikke en storstilt drenering ha noen effekt på disse områdene. Videre vil de komplekse hydrologiske forholdene i området medføre behov for en betydelig økt kunnskap gjennom nye borehull og instrumentering for måling av vanntrykk.



Figur 15: Hydrologiske test fra det øvre borehullet som viser strømningsretninger i borehullet (modifisert fra Thöny, 2008). Borehullet ble spylt med saltholdig vann og ledningsevnen/konduktivitet målt og logget flere ganger. De fire kurvene viser endringene i salinitet ved ulike tidspunkt og reflekterer sirkulasjonen i borehullet. Pilene viser hoved retninger på grunnvannsstrømmingene i borehullet.

## Forslag til oppfølgende tiltak

Det er klart at en vurdering av drenering som risikoreduserende tiltak ved Åknes vil kreve ny kunnskap om de hydrologiske forholdene. Seminaret med nasjonale og internasjonale eksperter som ble organisert av ÅTB i Stranda i 2010 påpekte også dette, og det kom frem flere viktige momenter som må avklares:

- Avklaring av om de øvre aktive glidesonene (30-50 m dyp) virkelig ligger over vannivå, og derfor kan være upåvirket av dreneringstiltak. Dette vil kunne testes ved noen kortere borehull med installering av poretrykksmålere, eller med dypere borehull der poretrykk blir målt i ulike dyp ved bruk av packere. I dag har en dype åpne borehull som kan senke vannivået lokalt, og vannivåmålingene gir derfor nødvendigvis ikke det riktige bildet.
- En grundig analyse av bevegelser i dypere deler og en vurdering av behov for å kartlegge poretrykksforholdene i dypere deler ved bruk av multipiezometre og packere.
- Et fjellskred langs de øvre glidesonene (Scenario 2 og 3: 30-50 m dyp) vil kunne endre stabilitetsforholdene på dypere nivå. Senkning av grunnvannivået kan dermed være viktig for å unngå eller redusere faren for slike dypere skred. Kveldevik (2008) antyder en slik stabilitetsvekkelse gjennom de stabilitetsmodelleringene som ble foretatt.

Det konkluderes med at det er noen kritiske faglige problemstillinger som må utredes før det kan gjøres mer konkrete forslag om dreneringstiltak. Det er imidlertid liten tvil om at de tiltakene som er presentert av Moen (2008), som inkluderte tunneller i kombinasjon med et stort antall drenerende borehull, vil senke grunnvannsnivået. Samfunnsøkonomisk vil nok dette også være lønnsomt, forutsatt at tiltaket løser stabilitetsproblemene ved Åknes.

## Konklusjon

Risikoen knyttet til flodbølger initiert fra et stort fjellskred fra Åknes er håndtert gjennom et omfattende overvåkings-, varslings- og beredskapssystem. Dette er et «passivt» risikoreduserende tiltak som ivaretar hensynet til liv og helse. Dersom det er mulig med fysisk sikringstiltak som reduserer sannsynligheten til et minimum for et stort skred vil dette vært det beste. Da vil en unngå de andre store samfunnsmessige og økonomiske konsekvensene ved en ødeleggende flodbølge. Også kravene i teknisk forskrift til Plan og bygningslov krever at fysiske sikringstiltak skal utredes.

Utfordringen med fysiske sikringstiltak knyttet til fjellskred er de store dimensjonene og kompleksiteten. Sikring med fjellstag og nedsprenning har store praktiske og økonomiske utfordringer. Flere nasjonale og internasjonale undersøkelser konkluderer med at drenering for å senke vannivået i praksis er det eneste mulige tiltaket. Dette er gjennomført med god effekt ved en rekke store prosjekter i andre land. Den store usikkerheten og spørsmålene ved effekten av slike dreneringstiltak ved Åknes, er at de mest aktive deformasjonene ser ut til å foregå *over* den målte grunnvannsstanden. Dette må undersøkes nærmere, blant annet med nye instrumenterte borehull. Et fjellskred langs de øvre glidesonene vil imidlertid kunne endre stabilitetsforholdene på dypere nivå, og en senkning av grunnvannivået kan dermed være viktig for å unngå eller redusere faren for skred på større dyp. Det konkluderes med at det er noen kritiske faglige problemstillinger som må utredes før det kan gjøres mer konkrete forslag om dreneringstiltak.

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) er den nasjonale skredfaglige myndigheten med det overordnede ansvaret for statlige forvaltningsoppgaver innenfor forebygging av skredulykker. Ansvaret for en oppfølging av problemstillingene rundt fysiske sikringstiltak av det ustabile fjellpartiet ved Åknes, så vel som de geofaglige og de samfunnsmessige vurderingene, ligger naturlig hos NVE og deres departement – OED. Skal man iverksette eventuelle tiltak ved Åknes, må man også være klar over at det finnes flere ustabile fjellparti i Norge som utgjør en høy risiko med tanke på mulige fjellskred.

## Referanser

- Blikra, L.H. (2008). The Åknes rockslide; monitoring, threshold values and early-warning. In *Landslides and Engineered Slopes*, ed. Z. Chen, J.-M. Zhang, K. Ho, F.-Q. Wu and Z.-K. Li . Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Symposium on Landslides and Engineered Slopes, 30 June - 4 July 2008, Xi'an, China. Taylor and Francis. ISBN: 978-0-415-41196-7. 6 p.
- Blikra, L.H. 2012: The Åknes rockslide, Norway: In Clague & Stead (Eds) *Landslides: Types, Mechanisms and Modeling*. Cambridge University Press. (I trykk)
- Blikra, L.H., Anda, E., Høst, J. og Longva, O. 2006: Åknes/Tafjord prosjektet: Sannsynligheter og risiko knyttet til fjellskred og flodbølger fra Åknes og Hegguraksla. Norges geologiske undersøkelse Rapport 2006.039. 20 s.
- Blikra, L.H., Hole, J. & Anda, E. 2010: Scenario og prognoser for fjellskred og flodbølger fra Åknes og Hegguraksla. Åknes Rapport 01.2010. 11s.
- Blikra, L.H., Jogerud, K., Hole, J. & Bergeng, T. 2007: Åknes/Tafjord prosjektet – Status og framdrift for overvaking og beredskap. Åknes/Tafjord prosjektet Rapport 01-2007. 30 s.
- Blikra, L.H., Longva, O., Harbitz, C. & Løvholt, F. (2005): Quantification of rock-avalanche and tsunami hazard in Storfjorden, western Norway, 57-64. I: *Senneset, K., Flaate, K. & Larsen, J.O. (eds.) Landslides and Avalanches ICFL 2005 Norway*. Taylor & Francis Group, London.
- Bonsanigo L., Eberhardt, E. & Løv, S. 2000: Measured response to a drainage adit in a deep creeping slide mass. *Landslides – In research, Thoery and Practice*. Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Symposium on Landslides 26-30 June 2000, Cardiff, Wales, pp 151-156.
- Braathen, A., Blikra, L.H., Berg, S.S. and Karlsen, F. (2004). Rock-slope failures of Norway; type, geometry, deformation mechanisms and stability. *Norwegian Journal of Geology*, **84**, 67-88.
- Enegren, E.G. & Imrie, A.S. 1996: Ongoing reuirements for monitoring and maintaining a large remediated rockslide. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Landslides 17-21 June 1996. Trondheim, s. 1677-1682.
- Frei, C. (2008). *Groundwater Flow at the Åknes Rockslide Site (Norway). Results of Multi-tracer Test*. M.Sc. thesis, ETH Zurich, Zurich, Switzerland.
- Ganerød, G.V., Grøneng, G., Aardal, I.B. and Kveldsvik, V. (2007). *Core Logging of Seven Boreholes from Åknes, Stranda Municipality, Møre and Romsdal County*. Geological Survey of Norway Report, **2007.020**.
- Ganerød, G., Grøneng, G., Rønning, J.S. *et al.* (2008). Geological model of the Åknes rockslide,

- western Norway. *Engineering Geology*, **102**, 1-18.
- Glimsdal, S. and Harbitz, C.B. (2011). *Numerical Simulations of Tsunamis from Potential and Historical Rock Slides in Storfjorden; Hazard Zoning and Comparison with 3D Laboratory Experiments*. Norwegian Geotechnical Institute Report, **20051018**.
- Grøneng, G. (2010). *Stability Analyses of the Åknes Rock Slope, Western Norway*. Ph.D. thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Grøneng, G., Christiansen, H.H., Nilsen, B. and Blikra, L.H. (2011). Meteorological effects on seasonal displacements of the Åknes rockslide, western Norway. *Landslides*, **8**, 1-15.
- Grøneng, G., Lu, M., Nilsen, B. and Jenssen, A.K. (2010). Modelling of time-dependent behaviour of the basal sliding surface of the Åknes rock slide area in western Norway. *Engineering Geology*, **114**, 414-422.
- Hole, J., Blikra, L.H. & Anda, E. 2011: Scenario og prognoser for fjellskred og flodbølger fra Åknes og Hegguraksla. Revidert utgave av Åknes rapport 01 2010. Åknes rapport 05 2011. 11 s.
- Imrie, A.S. 1983: Taming the Downie Slide. *Canadian Geographic* 103, 46-51.
- Jaboyedoff, M., Oppikofer, T., Derron, M-H., Böhme, M., Blikra, L.H. and Saintot, A. (2011). Complex landslide behavior and structural control: A 3D conceptual model of Åknes rockslide, Norway. In *Slope Tectonics*, ed. M. Jaboyedoff. *Geological Society of London Special Publication*, **351**, 147-161.
- Kristensen, L., Blikra, L.H. and Hole, J. (2010). Åknes: State of Instrumentation and Data Analysis. Åknes Report no **02.2010**, 43 p.
- Kveldsvik, V. (2008). *Static and Dynamic Stability Analyses of the 800 m High Åknes Rock Slope, Western Norway*. Ph.D. thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Kveldsvik, V., Einstein, H. H., Nilsen, B. and Blikra, L. H. (2008). Numerical analysis of the 650,000 m<sup>2</sup> Åknes rock slope based on measured displacements and geotechnical data. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, **22**, 689–728.
- Longva, O., Blikra, L.H. og Dehls, J. 2009: Rock avalanches – distribution and frequencies in the inner part of Storfjorden, Møre og Romsdal County, Norway. Norges geologiske undersøkelse Rapport 2009.002. 23s.
- Lovisollo, M., Ghirotto, S., Scardia, G. and Battaglio, M. (2003). The use of Differential Monitoring Stability (D.M.S.) for remote monitoring of excavation and landslide movements. In *Proceedings of the Sixth International Symposium on Field Measurements in Geomechanics*, ed. I. Myrvoll Oslo: Balkema, pp. 519-524.
- Macfarlane, D.F. & Gillon, M.D. 1996: The performance of landslide stabilization measures, Clyde Power Project, New Zealand. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Landslides 17-21 June 1996. Trondheim, s. 1747-1757.
- Moen, B. 2007: Åknes – vurdering av mulighet for drenering og andre stabiliserende tiltak. Prosjektoppgave, NTNU, Trondheim.

- Moen, B. 2008: Åknes skredområde – Analyse av mulig effekt av dreneringstiltak. Masteroppgave NTNU, Trondheim.
- Moore, D.P. & Imrie, A.S. 1992: Stabilization of Dutchman's Ridge. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Symposium on Landslides 10-14 February 1992. Christchurch, s. 1783-1788.
- Nordvik, T. and Nyrnes, E. (2009). Statistical analysis of surface displacements – An example from the Åknes rockslide, western Norway. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **9**, 713-724.
- Noverraz F., Bonnard, Ch., Dupraz H. & Huguenin L. 1998: Grands glissementes de versants et climat. Rapport final PNR 31, Vdf: Zurich, 314 p.
- Oppikofer, T. (2009). *Detection, Analysis and Monitoring of Slope Movements by High-resolution Digital Elevation Models*. Ph.D. thesis, University of Lausanne, Lausanne, Switzerland.
- Rønning, J.S., Dalsegg, E., Elvebakk, H., Ganerød, G. and Tønnesen, J.F. (2006). *Geofysiske Målinger Åknes og Taffjord, Stranda og Nordal Kommuner, Møre og Romsdal*. Geological Survey of Norway Report, **2006.002** (in Norwegian).
- Rønning, J.S., Dalsegg, E., Heincke, B.H. and Tønnesen, J.F. (2007). *Geofysiske Målinger på Bakken og ved Hegguraksla, Stranda og Norddal Kommuner, Møre og Romsdal*. Geological Survey of Norway Report, **2007.023** (in Norwegian).
- Thöny, R. (2008). *Dynamic Fluid Electric Conductivity Logging for Identification and Characterization of Preferential Groundwater Flow in the Åknes Rockslide (Norway)*. M.Sc. thesis, ETH Zurich, Zurich, Switzerland.
- Watson, A.D., Martin, C.D., Moore, D.P., Stewart, W.G. & Lorig, L.J. 2006: Integration of geology, monitoring and modelling to assess rockslide risk. *Felsbau* 24, 3, 50-58.