

NGU Rapport 2009 026
Faren for fjellskred fra Nordnesfjellet i
Lyngenfjorden, Troms

Rapport nr.: 2009.026		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Faren for fjellskred fra Nordnesfjellet i Lyngenfjorden, Troms				
Forfatter: Lars Harald Blikra, Iain Henderson og Trond Nordvik		Oppdragsgiver: NGU og prosjektet Fjellskred i Troms		
Fylke: Troms		Kommune: Kåfjord		
Kartblad (M=1:250.000) Nordreisa		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1634 II Kåfjord og 1634 III Lyngen		
Forekomstens navn og koordinater: Nordnesfjellet 34V 477500 7716500		Sidetall: 29	Pris: 245	
Feltarbeid utført: 2002-2008		Rapportdato: 14 mai 2009	Prosjektnr.: 321700	Ansvarlig:
<p>Sammendrag:</p> <p>Norges geologiske undersøkelse (NGU) har kartlagt og påvist en rekke ustabile fjellparti i Troms fylke. Ved en rekke steder er det også funnet aktiv bevegelse, og de største målte bevegelsene skjer ved Nordnes i Lyngenfjorden. NGU gir i denne rapporten en oppsummering av alle undersøkelsene og målingene som er gjort ved Nordnes, inkludert de kontinuerlige målingene. Det blir videre gitt anbefalinger for videre håndtering av de ustabile fjellpartiene her.</p> <p>Ved Jettan (Nordre Nordnes) er det store bevegelser i et fjellparti som kan omfatte 12-22 millioner m³. Alle periodiske og kontinuerlige målinger bekrefter at deler av området beveger seg over 5 cm/år (5-9 millioner m³). Det er en svak indikasjon på at bevegelsene har økt de siste årene. Det ser ut til at bevegelsene er styrt av temperatur og det konkluderes med at frost og permafrost kan være viktig for stabiliteten i området. Store fjellskred vil lage store flodbølger som vil true mange bebygde områder rundt fjorden, samt europavegen.</p> <p>Ved Indre Nordnes er bevegelsene mye mindre, men det konkluderes med bevegelser på noen mm pr år i et større område. En må være spesielt på vakt overfor de ytterste områdene som kan gi større fjellskred som kan true bebyggelse og europaveien ved Indre Nordnes. Skred herfra kan også gå ut i fjorden og skape flodbølger.</p> <p>På bakgrunn av eksisterende kunnskap er følgende anbefalinger gitt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ved Jettan anbefales det etablering av en permanent overvåking med beredskapstiltak. Dette inkluderer etablering av supplerende overvåkingssystem og dype boringer for undersøkelser og instrumentering. • Ved Indre Nordnes foreslås det etablering av supplerende kontinuerlige målinger, og en vurdering av behov for kontinuerlig overvåking etter at nye data er innsamlet og analysert. 				
Emneord:	Skred	Fjellskred	Ustabilt fjellparti	
	Flodbølger	Overvåking	Beredskap	

INNHold

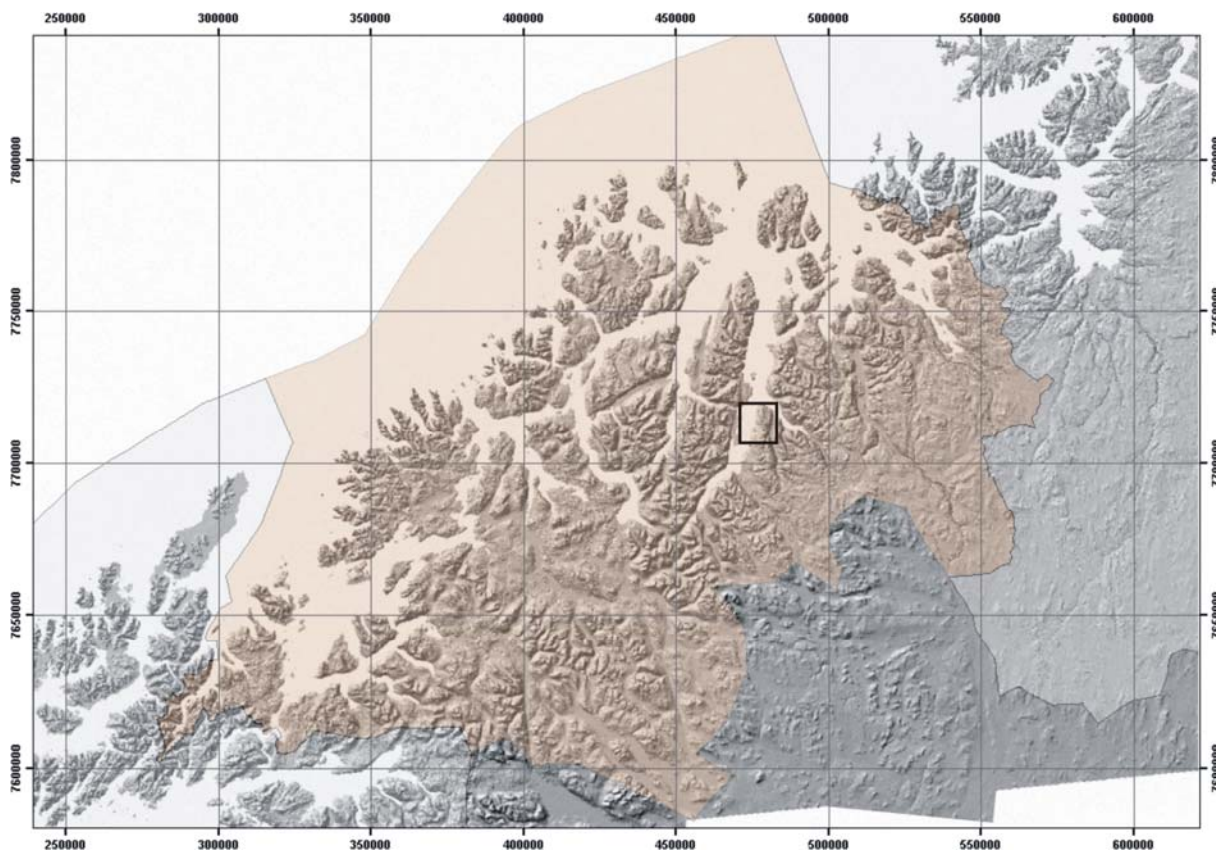
1. INNLEDNING	4
2. BAKGRUNN OG GEOLOGI	4
2.1 Jettan	5
2.2 Indre Nordnes	6
3. PERIODISKE BEVEGELSESMÅLINGER (GPS OG INSAR)	8
3.1 Jettan	8
3.2 Indre Nordnes	10
4. KONTINUERLIGE BEVEGELSESMÅLINGER	11
4.1 Jettan	11
4.1.1 Resultater fra lasermålinger	12
4.1.2 Resultater fra crackmetermålinger	14
4.1.3 Tiltmeter	16
4.1.4 Sammenhenger mellom bevegelse og vær/klima	18
4.2 Indre Nordnes	21
4.2.1 Resultater fra crackmetermålinger	22
4.2.2 Tiltmeter	24
4.2.3 Sammenhenger mellom bevegelse og vær/klima	24
5. SCENARIER, SANNSYNLIGHET OG KONSEKVENSER FOR SKRED	24
5.1 Scenarier for størrelsen av potensielle fjellskred	24
5.1.1 Jettan	24
5.1.2 Indre Nordnes	25
5.2 Sannsynlighet for fjellskred ved Nordnes	26
5.3 Konsekvenser	27
5.3.1 Jettan	27
5.3.2 Indre Nordnes	27
6. KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER	27
7. LITTERATUR	29

1. INNLEDNING

Gjennom et program for kartlegging av ustabile fjellsider i Troms har Norges geologiske undersøkelse (NGU) påvist en rekke ustabile fjellparti med aktiv bevegelse i større eller mindre deler av fjellsidene. Klarleggingen avdekket allerede i 2005 at et større fjellparti ved Nordnes i Lyngenfjorden er i bevegelse med en hastighet i størrelsesorden 3 cm/år (Figur 1). NGU har anbefalt igangsetting av oppfølgende undersøkelser og kontinuerlige målinger. Det foreligger nå kontinuerlige målinger for en periode på 1 1/2 år både i det nordlige området på Nordnes (Jettan) og ved indre Nordnes.

NGU gir i denne rapporten en oppsummering av alle undersøkelsene og målingene som er gjort ved Nordnes, inkludert de kontinuerlige målingene. De to områdene Jettan (Nordre Nordnes) og Indre Nordnes blir i rapporten omhandlet separat. Det blir videre gitt anbefalinger for videre håndtering av disse to ustabile fjellpartiene.

NGU sitt arbeid har vært finansiert av NGU og det interkommunale prosjektet Fjellskred i Troms.



Figur 1. Lokalisering av Nordnes.

2. BAKGRUNN OG GEOLOGI

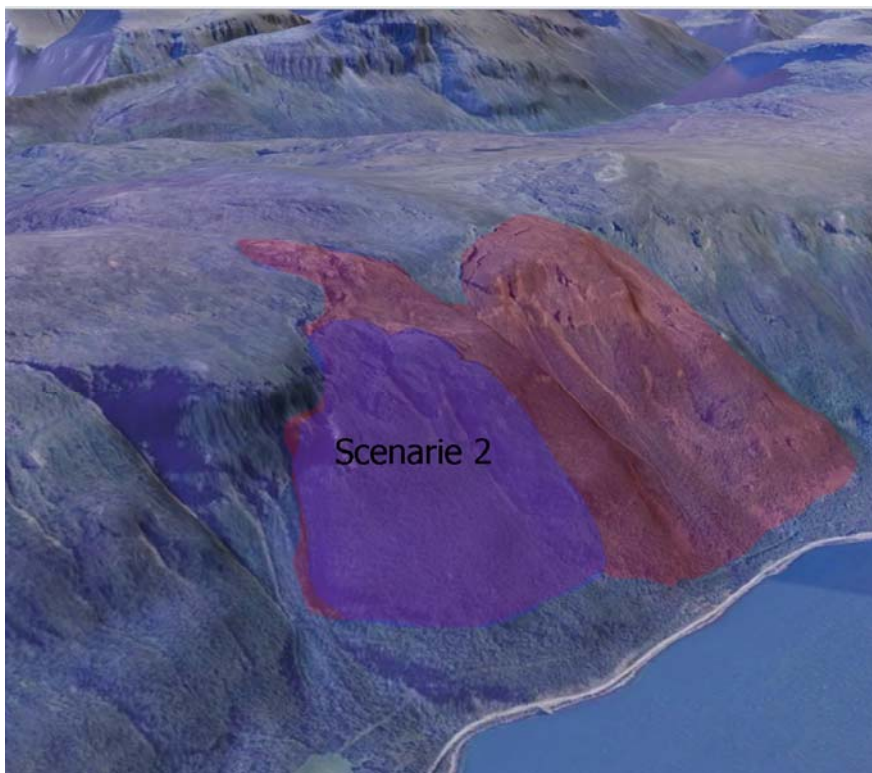
De første undersøkelsene på Nordnes startet allerede i 2001 med den første kartlegginga av området. På bakgrunn av de store ustabile fjellsidene som ble dokumentert ble det satt i gang periodiske målinger ved bruk av GPS for å verifisere om området var i bevegelse i dag. For å

få en bedre forståelse av de ustabile områdene ble det gjort omfattende kartlegging av de geologiske forholdene ved Nordnes (status gitt i Blikra m.fl. 2006). På bakgrunn av geologiske undersøkelser og målinger av bevegelse er to områder ved Jettan (Nordre Nordnes og Indre Nordnes blitt fulgt opp i mer detalj (Figur 1). Her er det også satt i gang kontinuerlige målinger. I tillegg er det i et forskningsprosjekt ledet av Universitetscenteret på Svalbard gjort studier knyttet til permafrost i området (<http://www.tspnorway.com>; <http://www.ngu.no/kart/permafrost>).

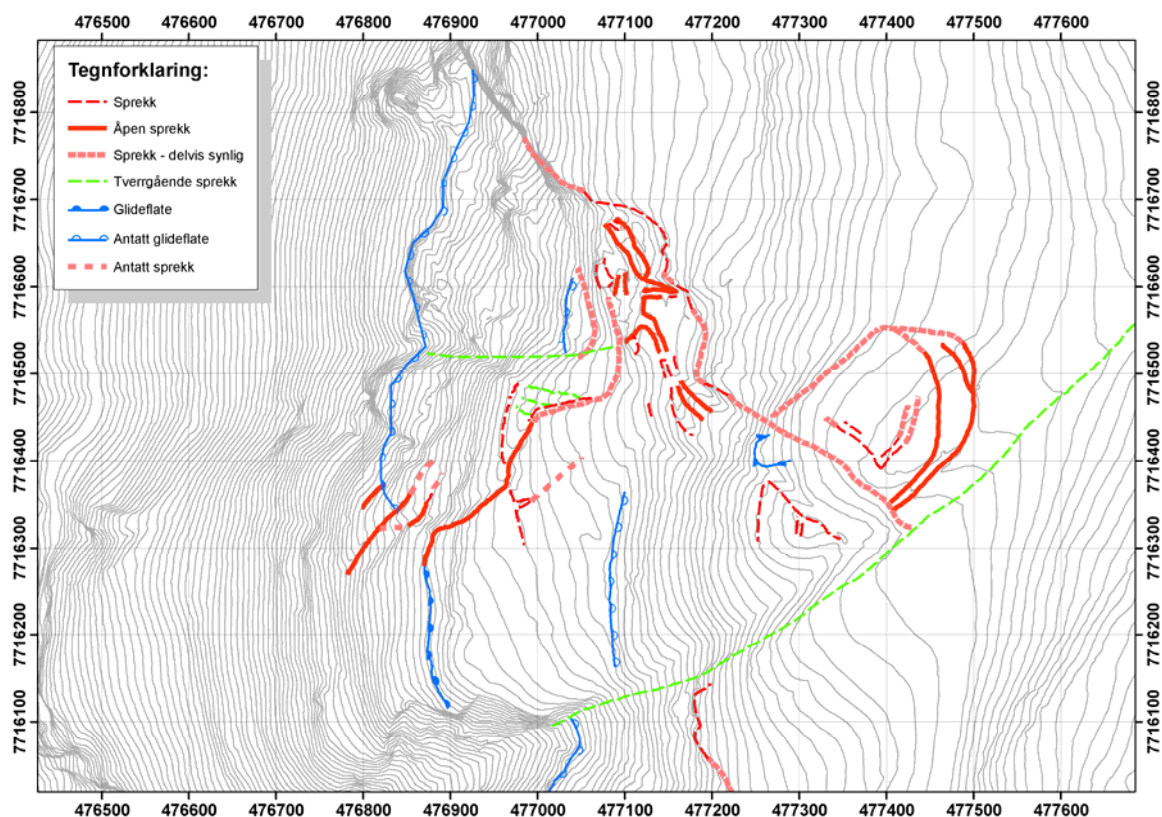
2.1 Jettan

Det største området som er i bevegelse ved Nordnes ligger ved Jettan i den nordligste delen av de ustabile fjellpartiene. Det er også her det er dokumentert størst bevegelse (Figur 2). I dette området er det gjennomført en rekke geologiske og geofysiske undersøkelser for å evaluere utbredelse, volum og bevegelse. Her er det også gjort analyser av flodbølger som følge av et mulig stort fjellskred ned i fjorden (Glimsdal & Harbitz, 2007). Figur 3 gir en oversikt over den detaljerte kartleggingen av geologiske strukturer i de områder som har vært i i bevegelse. Det er målt inn en rekke GPS punkter som blir innmålt en gang pr år. Dette er gjort for å få en oversikt over hvilke områder som er i bevegelse i dag, og hvor store bevegelsene er. Området som er påvist å ha størst bevegelse er et stort areal i nordvest (Figur 2). Dybden på området har delvis blitt beregnet ut fra geofysiske undersøkelser (Rønning m.fl. 2008). Det konkluderes her med at det er kraftig oppsprukket fjell ned til ca. 50 m, men at dybden til det ustabile partiet kan være opp mot 150 m.

De årlige målingene ved bruk av GPS innenfor området med bevegelse viser en variasjon i hastighet. Det nordlige området som er karakterisert av et kaotisk område med fragmentering og deformasjon beveger seg med en hastighet på over 3 cm pr år, mens det i det sørlige området som er mer sammenhengende og jevnt er en bevegelse på 1-2 cm/år. Målingene viser også at disse to områdene beveger seg med noe ulik retning.



Figur 2. Oversikt over de ustabile fjellpartiene ved Jettan i de nordlige områdene på Nordnes (rød farge). Området med dokumentert stor bevegelse er angitt (scenarie 2).



Figur 3. Geologiske strukturer kartlagt ved Jettan.

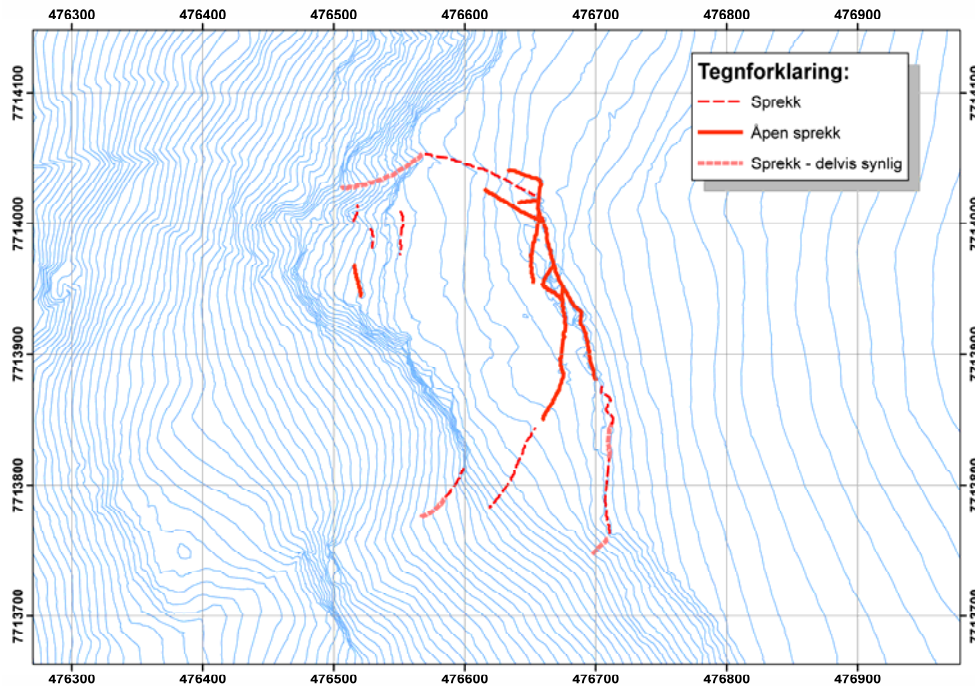
2.2 Indre Nordnes

Det er påvist store vertikale og horisontale bevegelser langs steiltstående sprekker ovenfor Indre Nordnes (Figur 4 og Figur 5). Området er dokumentert i NGU rapport (Blikra m.fl. 2006). Det store usikkerhetsfaktoren er mangel på dokumenterte glideplan i nedre deler av skråninga som kan forklare de store åpne sprekkene på plataet.

De eksisterende GPS punktene ble etablert og målt inn i 2005, og er målt en gang pr år etter det. Det er indikasjoner på bevegelse i et stort område avgrenset av en markert sprekk eller utglidningskant (Figur 4). Det totale volumet av fjellpartiet som er i bevegelse er anslått til å være mellom 10 og 15 millioner m³. En annen markert sprekk er kartlagt ved GPS punkt IN-1 (Figur 4). Volumet av fjellpartiet utenfor denne sprekken er anslått til mellom 0,5 og 1,5 millioner m³. I tillegg kommer ura nedenfor som kan bli dratt med i et fjellskred og dermed øke volumet på den massen som treffer fjorden. Flere steder i den midtre delen av fjellsiden er det også påvist områder med åpne sprekker.



Figur 4. Oversikt over det ustabile fjellpartiet ved Indre Nordnes. Lokalisering av GPS punktene er vist.



Figur 5. Geologiske strukturer kartlagt ved Indre Nordnes.

3. PERIODISKE BEVEGELSESMÅLINGER (GPS OG InSAR)

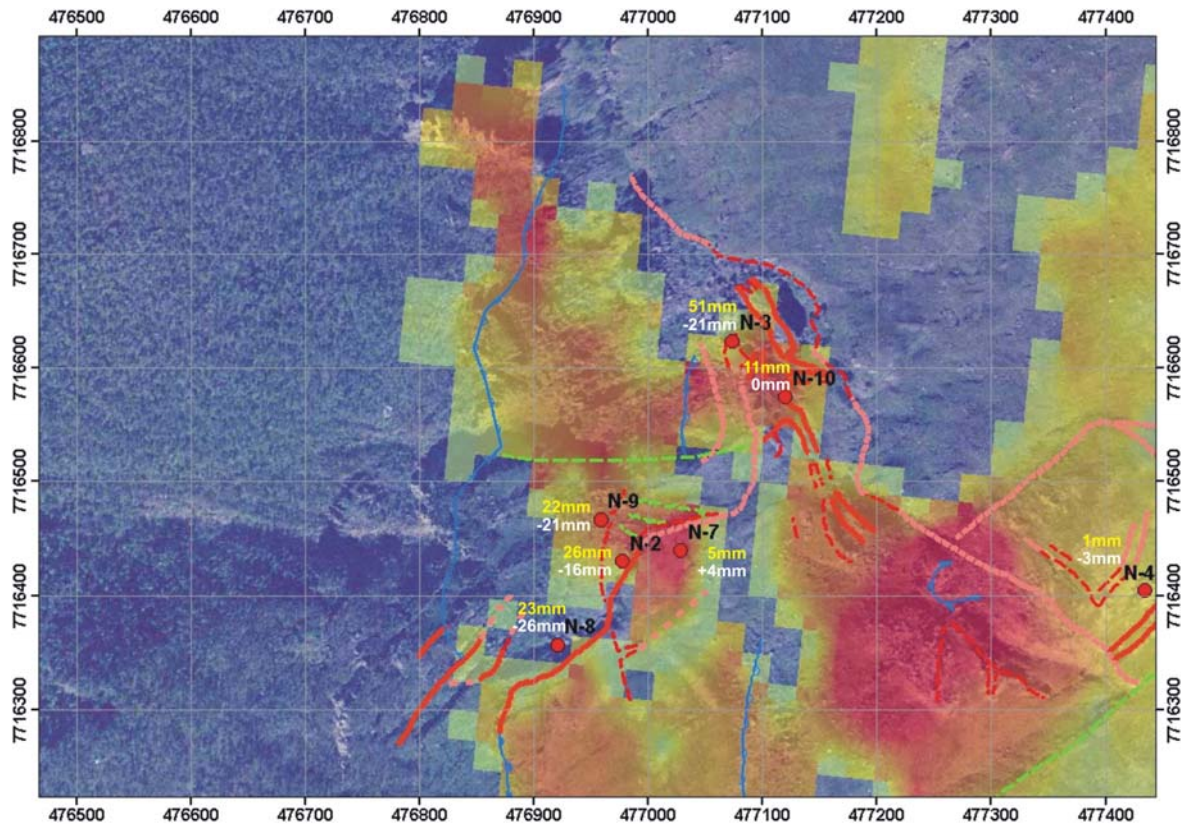
NGU har brukt både analyser av satellittbilder (InSAR) og periodiske GPS målinger for å analysere og kartlegge horisontale og vertikale bevegelser.

3.1 Jettan

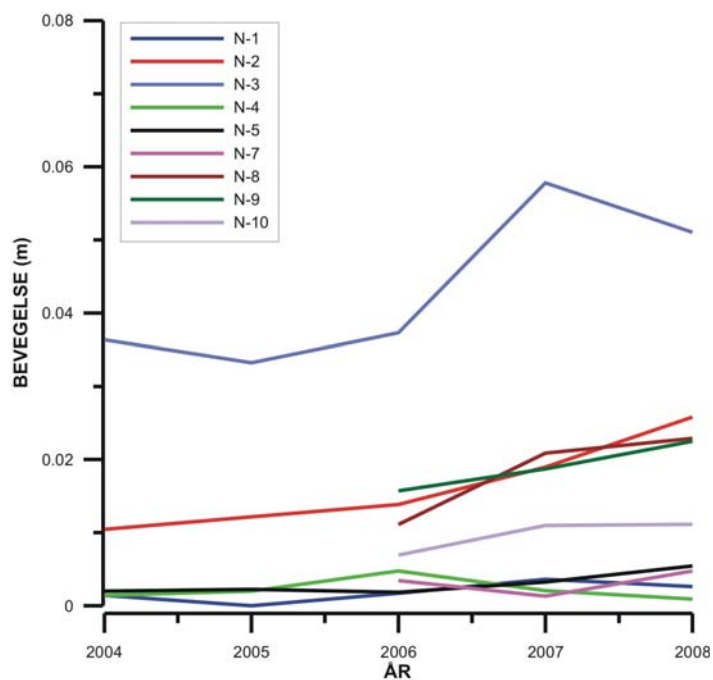
Bevegelsesdataene rapportert her er også diskutert i Henderson et al., 2009 med hensyn til det regionale bildet. Resultatene for Jettan er relativt konsistente siden målingene startet i 2003. Resultatene i 2008 er i samsvar med det som er funnet i tidligere år (Figur 6 og Figur 7). Punkt N-3 har klart størst bevegelse, og den årlige bevegelse er noe større for 2007 og 2008 enn for de foregående år. Målingene i N-3 er mer usikre de siste to årene på grunn av etableringen og fundamenteringen av laserreflektor like vel målepunktet. Punktene N-2, N-8 og N-9 lenger sør viser nesten identisk bevegelse, og bevegelsene i punktene har økt fra ca 15 mm/år i 2006 til ca 25 mm/år i 2008. Det virker som det fremdeles er økende årlig bevegelse i dette fremste partiet. Punktet N-10 som er plassert øst for punkt N-3 har vesentlig mindre bevegelse (ca 1 cm/år), og indikerer at mye av bevegelsen i N-3 er avgrenset til det kraftige sprekkområdet i vestlige del. Punkter N-1, N-4, N-5 og N-7 har vesentlig mindre bevegelse enn de andre. Analysene indikerer at disse punkter er i bevegelse både horisontalt og vertikalt, men bevegelsene er små og er signifikante kun ved å analysere over flere år. Figur 7 viser endringene i bevegelse fra år til år for de ulike punktene. Det er indikasjoner på at det er en økning i hastighet de siste årene.

For å oppsummere; bevegelsen i det ustabile fjellpartiet ved Jettan i perioden 2007-2008 er størst i punkt N-3 (51 mm/år horisontal bevegelse) og omtrent det halve for N-2 (26 mm) og punktene rundt (N-8 (23mm) og N-9 (22mm)). Bevegelsene ser ut til å ha økt noe de siste to årene. Det meste av bevegelsen i område ser ut til å være avgrenset av sprekker like bak punkt N-2 og N-3.

Det er blitt utført laserscanning i 2007 og 2008, og disse målingene viser også entydig at det er bevegelsen i et stort område i nordlig del av Jettan. Resultatene er ikke rapportert ennå.



Figur 6. GPS resultater for Jettan for perioden 2007-2008. Horizontal bevegelse vises i gul tekst. Vertikal bevegelse vises i hvit tekst. InSAR dataene er vist som fargeskala der røde og gule områder viser innsynking.

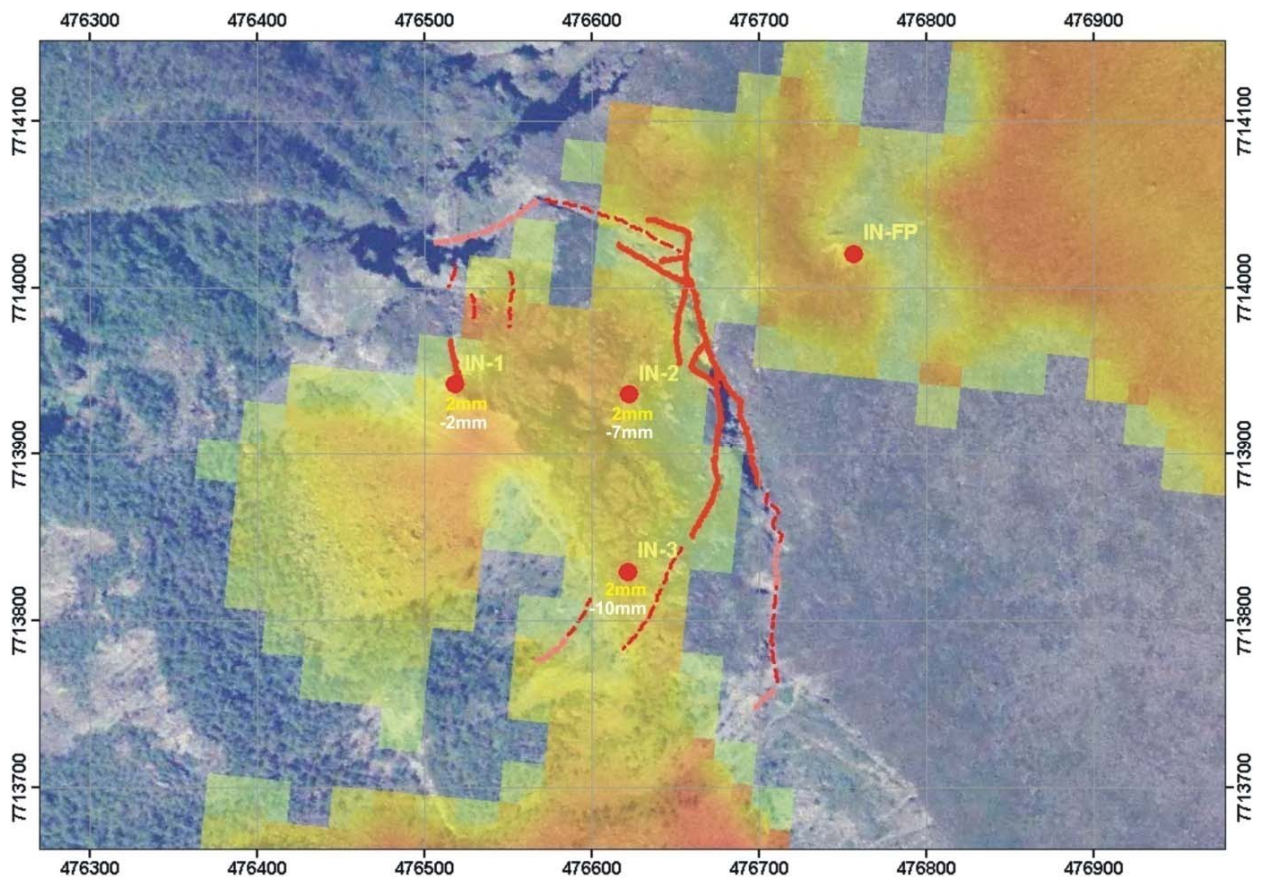


Figur 7. Diagram som viser de årlige horisontale bevegelsene i alle punkter på Jettan siden 2003/2006. Det indikeres en svak akselerasjon eller økning i hastighet for noen av punktene de siste årene.

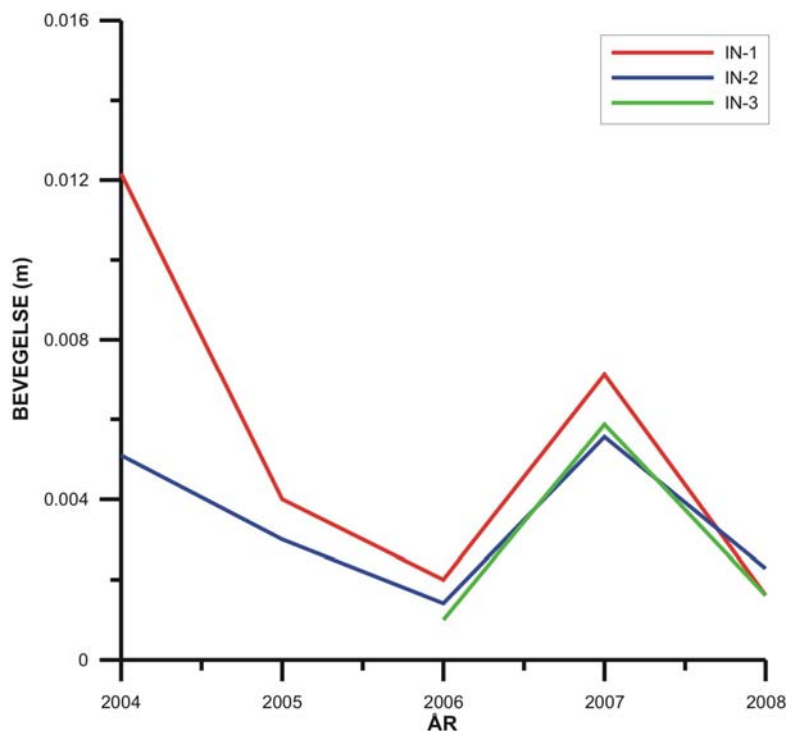
3.2 Indre Nordnes

Resultatene fra GPS målingene for Indre Nordnes for perioden 2007-2008 vises i Figur 8. Bevegelsene ved Indre Nordnes er små, men i løpet av den målte femårsperiode fra 2003 til 2008 er endringene for punktene IN-1 og IN-2 signifikante både horisontalt og vertikalt. De årlige horisontale bevegelsene fra målingene startet og frem til i 2008 er på mellom 2 og 3,5 mm i gjennomsnitt. De gjennomsnittlige vertikale endringene ligger også på 3-4 mm pr år. For punkt IN-3, etablert i 2005, er det ikke signifikant endring, men punktet viser en trend i bevegelse som kan tyde på at det er små bevegelser også i dette punktet. InSAR dataene indikerer også at deler av området er i bevegelse (Figur 8).

Figur 9 viser endringene i horisontal bevegelse siden punktene ble etablerte, men dette er vanskelig å tolke sidene bevegelsene er små.



Figur 8. GPS resultater for Indre Nordnes for perioden 2007-2008. Horisontal bevegelse vises i gul tekst. Vertikal bevegelse vises i hvit tekst. Se Figur 4 for tegnforklaring for de geologiske strukturene.. InSAR dataene er vist som fargeskala der røde og gule områder viser innsynking.



Figur 9. Diagram som viser årlige horisontale endringer i alle punkter ved Indre Nordnes siden 2003.

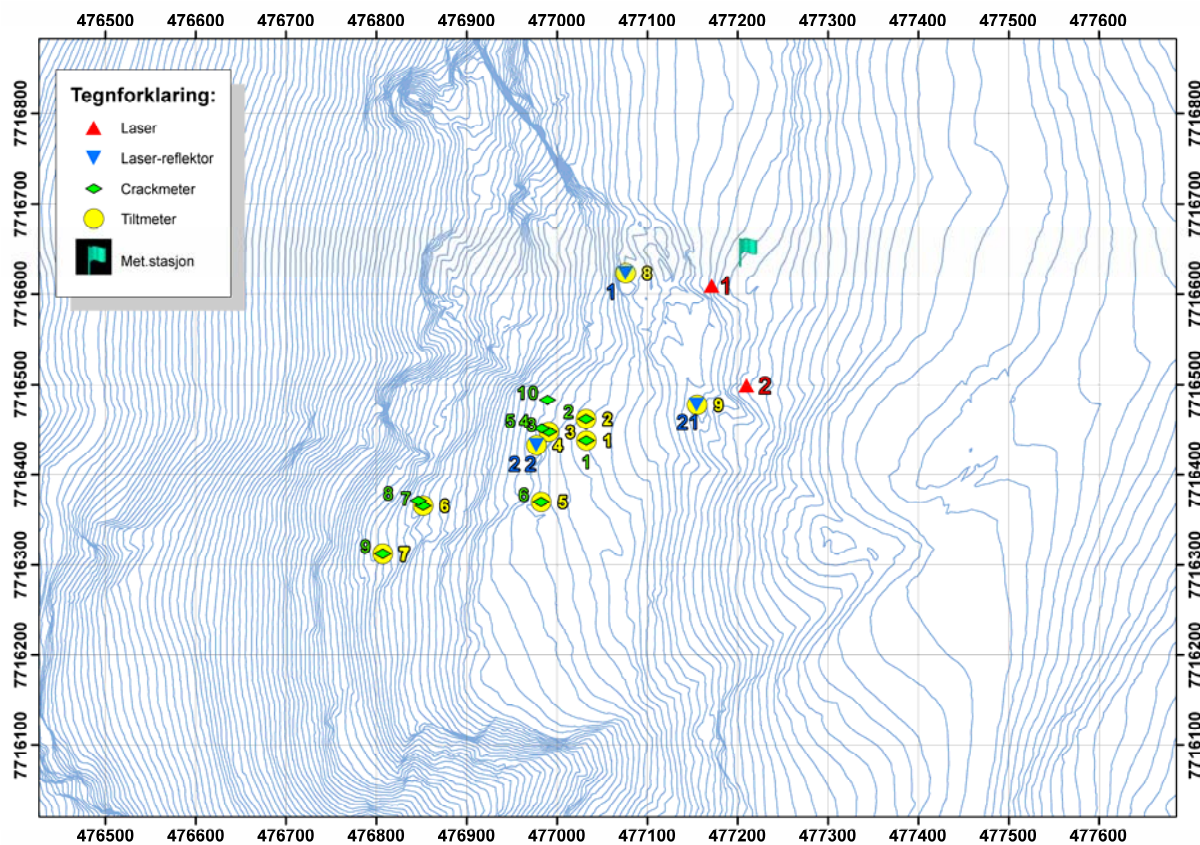
4. KONTINUERLIGE BEVEGELSESMÅLINGER

I løpet av sommeren og høsten 2007 ble det etablert system for kontinuerlige målinger både ved Jettan og ved Indre Nordnes. Dette inkluderte både instrumentering for ulike målinger av bevegelse, værstasjon, webkamera, strømforsyning og system for dataoverføring. Det blir her gitt en kort oppsummering og tolking av data frem til 1. april 2009.

I tilknytning til forskningsprosjekt på permafrost i regi av Universitetscenteret på Svalbard er det også utplassert en rekke målinger av temperatur i fjell, sprekker og luft, i tillegg til rystelsesmålere. Data fra disse blir tappet en gang for året. Av disse dataene er det kun målinger av fjelltemperatur som er brukt i denne rapporten.

4.1 Jettan

Figur 9 gir en oversikt over lokalisering av instrumenteringen ved Jettan. For å få et bilde av totalbevegelsen i området er det etablert tre målepunkter som blir avstandsmålt ved bruk av laser. Selve laseren står utenfor det ustabile området mens det er plassert laser-reflektorer i målepunktene. Laseren måler avstanden og derfor bevegelse av målepunktene. I tillegg er det etablert 10 små strekkstager (crackmeter) som måler horisontal bevegelse lokalt over sprekker. Det er også plassert ut 9 vinkelmålere (tiltmeter) som måler eventuell rotasjon eller velting av fjellpartiet.



Figur 10. Oversikt over instrumenteringen ved Jettan.

4.1.1 Resultater fra lasermålinger

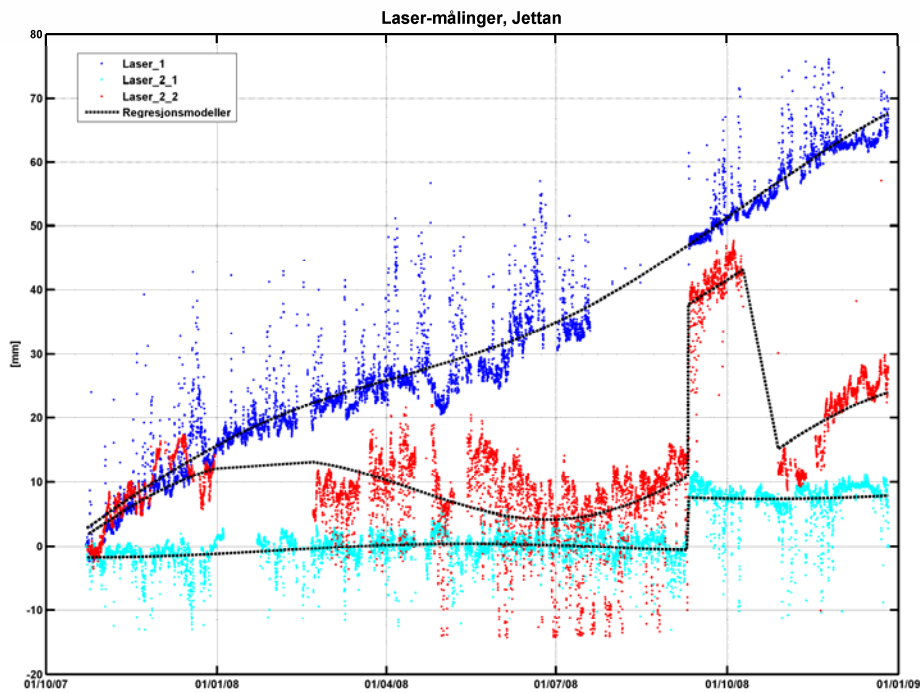
Det er gjort statistiske analyser av måledataene for hele måleperioden (oktober 2007 til april 2009). De årlige verdiene er gitt i Tabell 1. Det konkluderes med en bevegelse på over 5 cm/år for lasermålepunkt 1, og over 2 cm/år for lasermålepunkt 2_2. For lasermålepunkt 2_1 er ikke bevegelsene signifikante.

Tabell 1. Lineære trender og sesongvariasjoner for de tre lasermålepunktene.

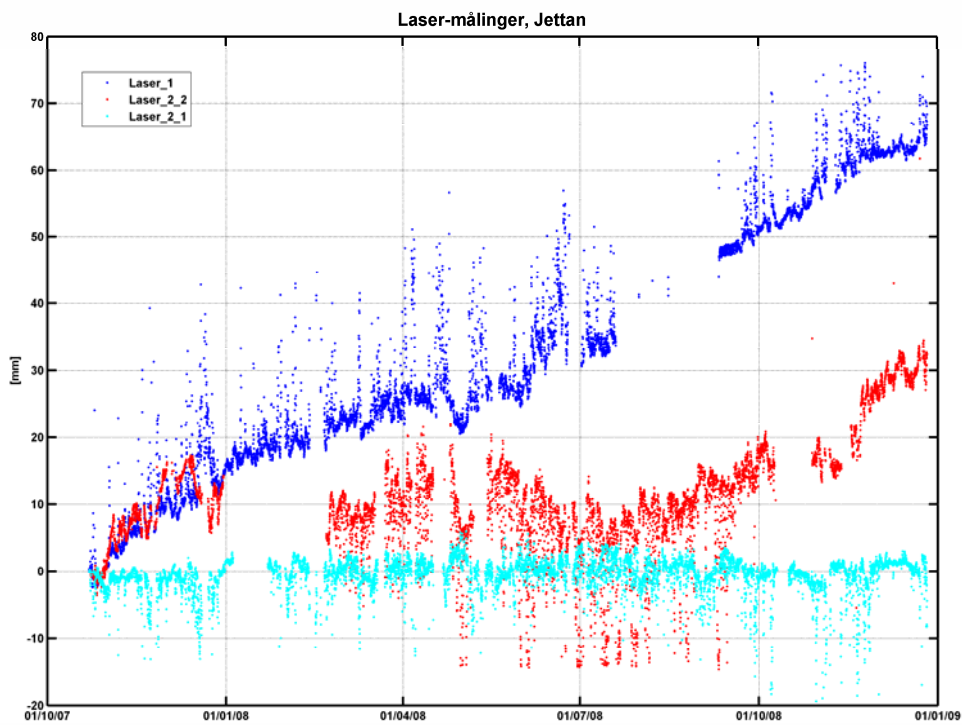
Laser ID	Lineær trend [mm/år]		Sesong- variasjon, amplitude [mm]	Avstand til reflektor [m]
	Estimat	95% Konfidensintervall		
1	51.7	[50.7, 52.6]	3.2	114
2_1	(0.9)	[-0.1, 1.7]	0.8	63
2_2	23.3	[19.1, 27.6]	10.5	258

Fordi laserposisjon og reflektorposisjon ble flyttet noe høsten 2008 er det lagt inn en regresjonslinje gjennom datasettet som er brukt for å korrigere disse "hoppene" i datasettene (Figur 11). De kontinuerlige lasermålingene viser at det er tydelige sesongvariasjoner i bevegelse, noe som er tydelig ved begge de to lasermålepunktene med signifikante bevegelser (Figur 12). Det er tydelig størst bevegelse på sensommeren og høsten. Det mest overraskende

er at bevegelsene blir redusert på våren. Det ser derfor ikke ut som om snøsmeltinga har noen effekt på bevegelsene ved Jettan.



Figur 11. Laserdata fra Jettan. Det er lagt inn regresjonslinjer som dataene er justert for.



Figur 12. Justerte datasett fra lasermålingene ved Jettan. Her er regresjonsmodellene (linjene), som vist i Figur 11, brukt for å korrigere datasettene.

4.1.2 Resultater fra crackmetermålinger

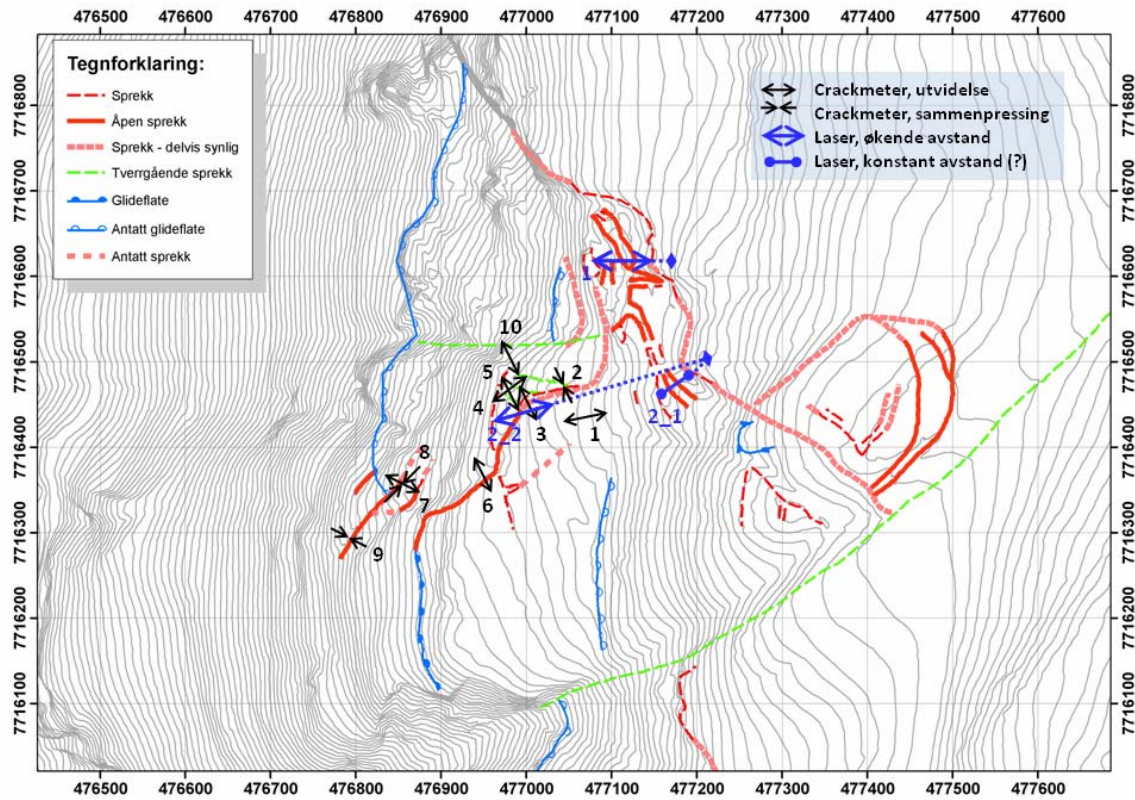
Det er gjort analyser av alle dataene fra de 10 crackmetrene ved Jettan (Tabell 2). For å se på de årlige bevegelsene er det gjort to separate analyser med et datasett som omfatter et år med data (frem til 15.12 2008) og et som går frem til 23.03 2009. Generelt ser det ut til at de årlige bevegelsene er litt mindre når en baserer seg på hele datasettet i forhold til estimatet fram til 15. desember 2008. Et unntak er crackmeter 9 der sammentrekningen er større. Det er tatt høyde for en årlig periodisk komponent ved estimering av den lineære årlige trenden. De årlige bevegelsene varierer fra 0 til nesten 8,5 mm/år (Tabell 2).

Bevegelsene fra målinger med crackmeter og laser er lagt inn i et kartbilde, og området som tidligere er definert som mest ustabil kommer tydelig frem (Figur 13). Her er det registrert bevegelser ved nesten alle crackmetrene.

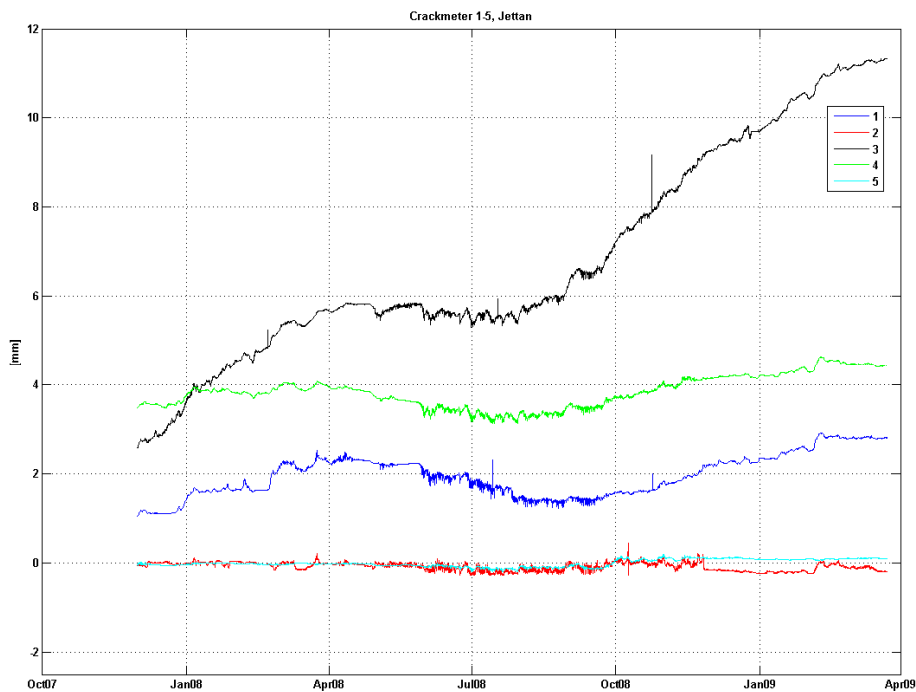
De kontinuerlige dataene fra crackmeterne er vist i Figur 14 og Figur 15. Målekurvene viser tydelige sesongvariasjoner med økende bevegelse på sensommeren og høsten, og redusert bevegelse om våren. Spesielt dataene for crackmeter 1, 3 og 4 viser en tydelig sesongsyklus med sammentrekning om sommeren, noe som trolig er temperaturstyrt (Figur 14). Crackmeter 9 viser sammentrekning, noe som viser at det kan være kompliserte bevegelsesmekanismer i området (Figur 15).

Tabell 2. Årlige lineære trender for crackmeter ved Jettan.

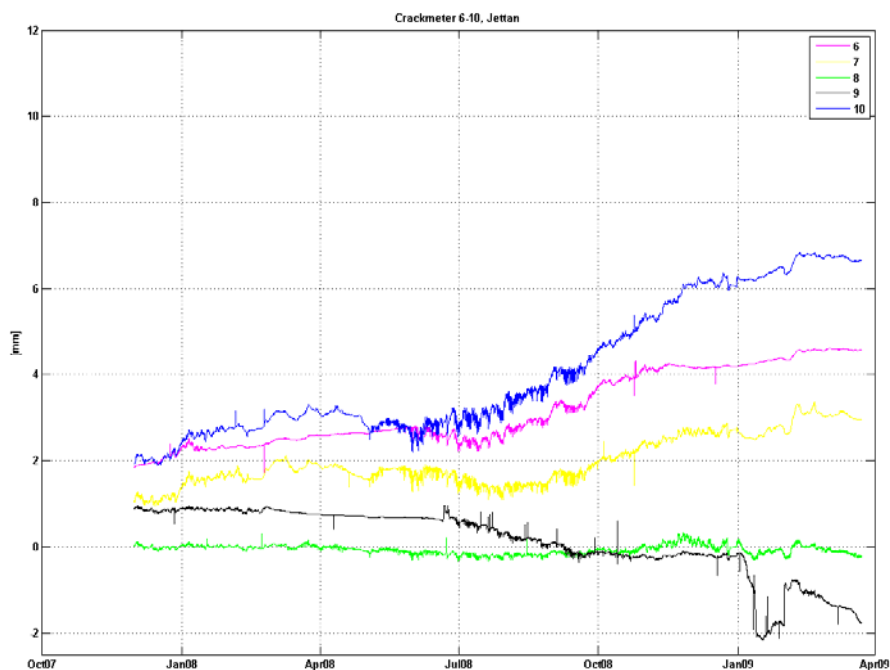
Crackmeter	Lineær trend [mm/år]		Luft-temperatur parameter [mm/°C]	Sesong-variasjon, amplitude [mm]
	Estimat	95% Konfidensintervall		
ID	Estimat	95% Konfidensintervall	Estimat	Estimat
1	0.83	[0.77, 0.89]	-0.010	0.49
2	-0.13	[-0.16, -0.11]	-0.008	0.05
3	6.10	[6.02, 6.18]	-0.010	0.85
4	0.54	[0.51, 0.57]	-0.007	0.36
5	0.12	[0.11, 0.14]	-0.002	0.06
6	2.12	[2.06, 2.17]	-0.009	0.25
7	1.27	[1.21, 1.33]	-0.016	0.26
8	-0.07	[-0.10, -0.04]	-0.009	0.04
9	-1.21	[-1.16, -1.26]	-0.006	0.19
10	3.81	[3.76, 3.87]	-0.017	0.58



Figur 13. Oppsummering av bevegelsene fra målinger med crackmeter og laser ved Jettan.



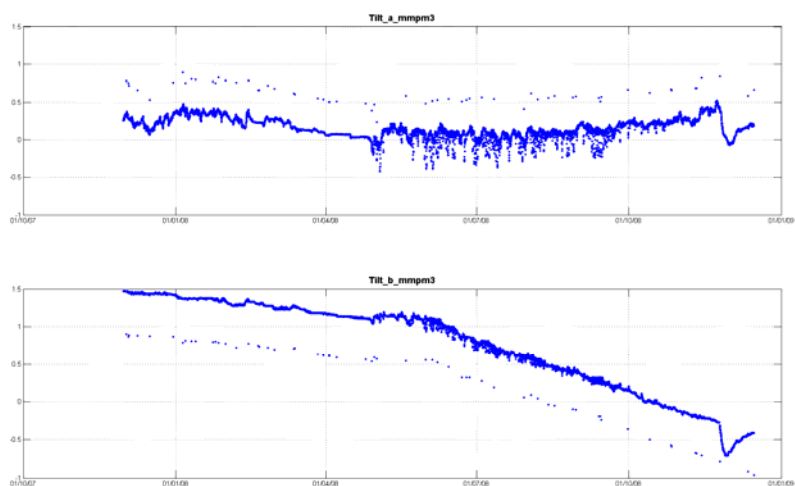
Figur 14. Data crackmetrene 1-5 ved Jettan. Målingene dekker tidsrommet fra oktober 2007 til april 2009.



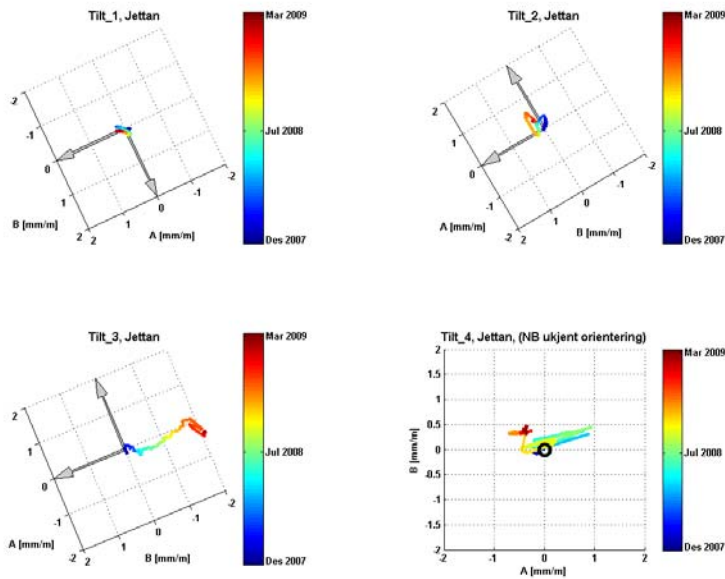
Figur 15. Data crackmetrene 6-10 ved Jettan. Målingene dekker tidsrommet fra okt. 2007 til april 2009.

4.1.3 Tiltmeter

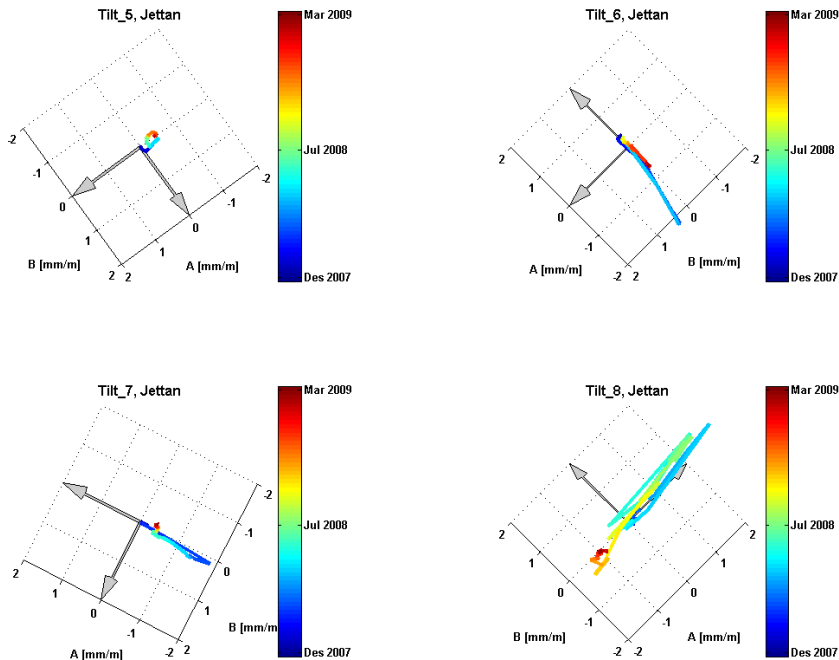
Ved Jettan er det etablert 9 tiltmeter som måler endringer i fjellblokkenes vinkel som følge av bevegelse. Endring i vinkel kan for eksempel skyldes rotasjon av fjellblokker. Det måles i 2 akser, se eksempel i Figur 16. Figur 17 og Figur 18 viser en visualisering av dataene i et kartbilde. Dataene kan være vanskelig å tolke, siden det er en del bevegelse frem og tilbake. Dette kan være som følge av temperaturvariasjoner som påvirker fjellet og fundamentene for tiltmeter. Imidlertid viser tiltmeter 3 tydelig at fjellet her roterer bakover mot øst.



Figur 16. Data fra tiltmeter 3 ved Jettan. Legg spesielt merke til den nedre akse som viser endring i vinkel pga bevegelse.



Figur 17. Plott av målinger fra tiltmeter 1 til 4. Fargeskalaen angir hvordan vinkelen endrer seg fra de første målingene i desember 2007 (blå farge) og frem til mars 2009 (rød farge). De to pilene viser de to aksene som blir målt i et kartbilde. Legg merke til tiltmeter 3, hvor fjellet roterer bakover mot øst.

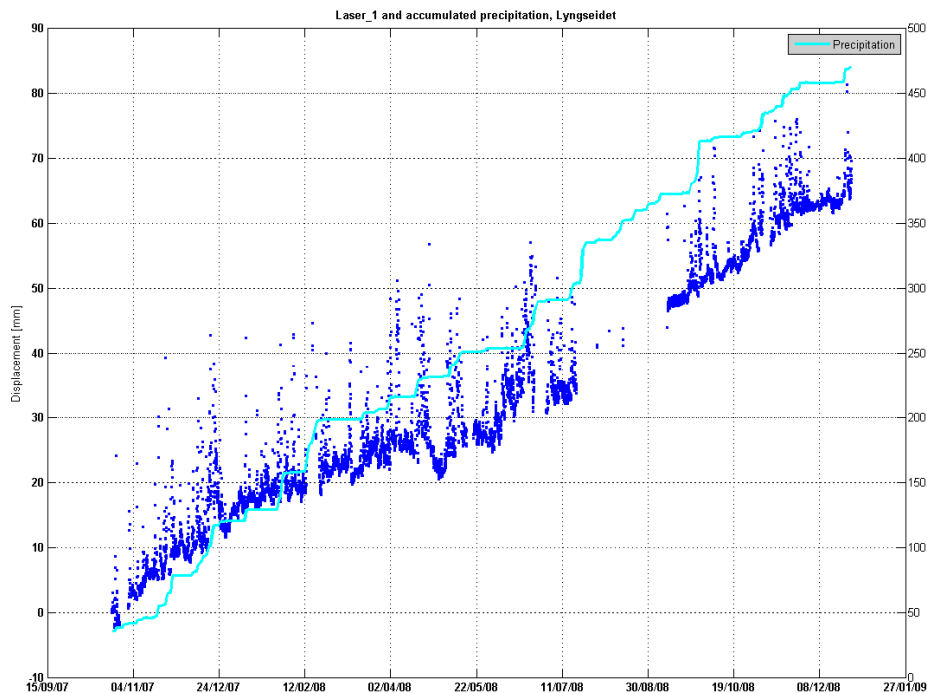


Figur 18. Plott av tiltmeter 5 til 8. Fargeskalaen angir hvordan vinkelen endrer seg over tid fra de første målingene i desember 2007 (blå farge) og frem til mars 2009 (rød farge). De to pilene viser de to aksene som blir målt i et kartbilde.

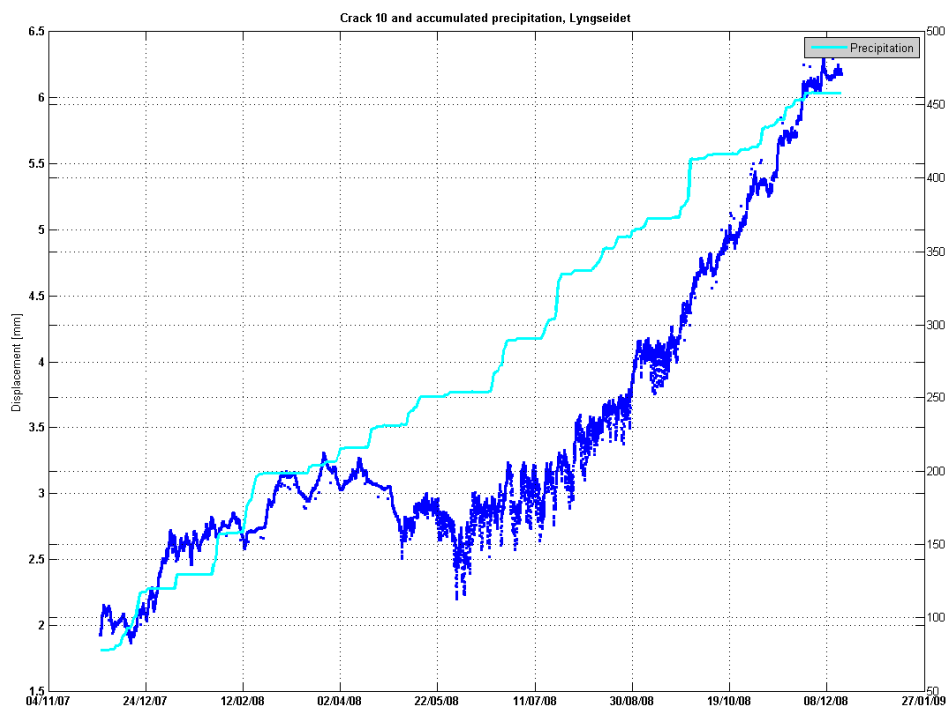
4.1.4 Sammenhenger mellom bevegelse og vær/klima

Det er ofte nære sammenhenger mellom bevegelser i ustabile fjellparti og de meteorologiske forholdene. Endringer i temperatur og tilførsel av vann i form av regn og/eller snøsmelting vil i mange tilfeller påvirke bevegelseshastighet. Det er her tatt et uvalg av sammenstillinger som viser de mest fremtredende sammenhengene vi finner mellom meteorologiske parametre og bevegelse i fjellet ved Jettan. Gjennom prosjektet TSP Norway (<http://www.tspnorway.com>) er det også innsamlet temperaturdata fra målinger i ulike dybder i fjell som er sammenstilt med bevegelsesdata.

Da det mangler gode nedbørsdata fra Nordnes, er bevegelsene sammenlignet med nedbørsdata fra Lyngseidet. Figur 19 og Figur 20 viser at det ikke finnes noen god korrelasjon mellom bevegelse og nedbør.

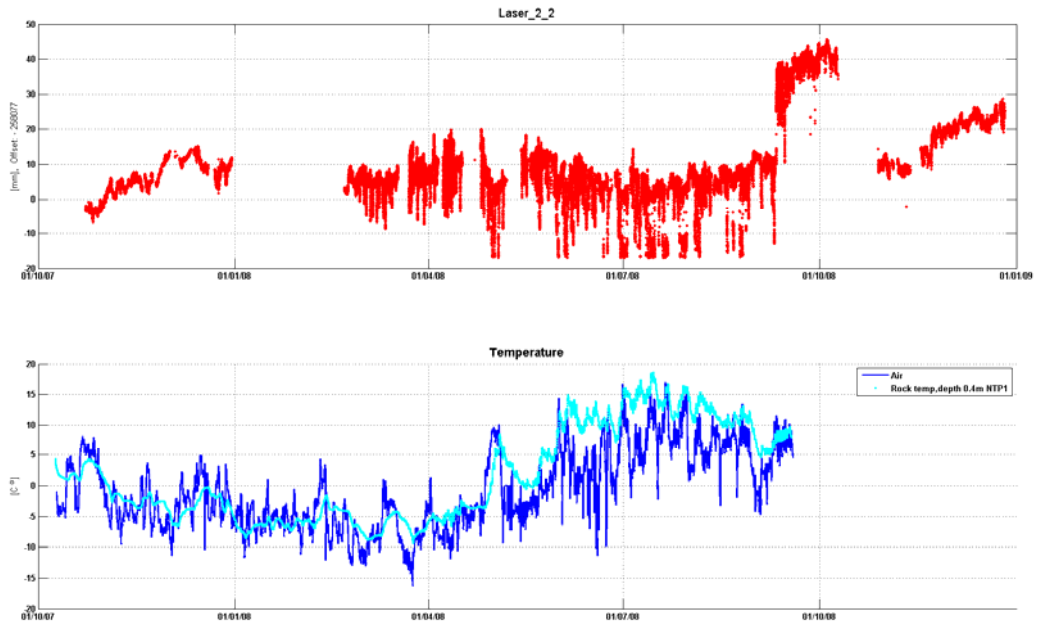


Figur 19. Data fra lasermålepunkt 1 ved Jettan sammenlignet med akkumulert nedbør fra Lyngseidet. Bevegelse i mm i venstre akse og nedbør i mm i høyre akse.

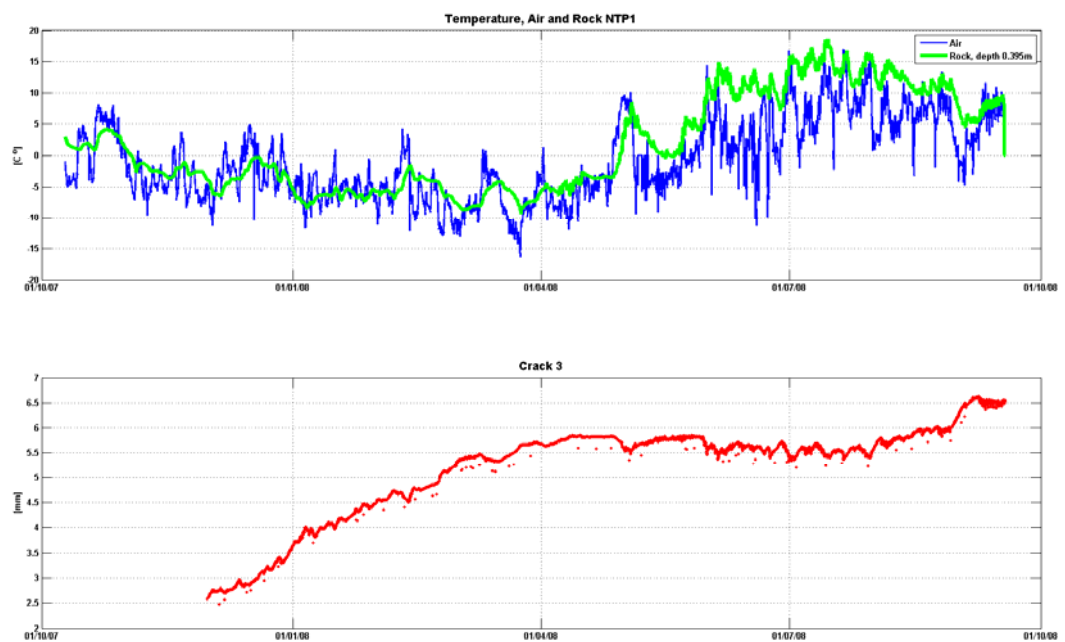


Figur 20. Akkumulert nedbør sammenlignet med bevegelse ved Crackmeter 10 ved Jettan. Bevegelse i mm i venstre akse og nedbør i mm i høyre akse.

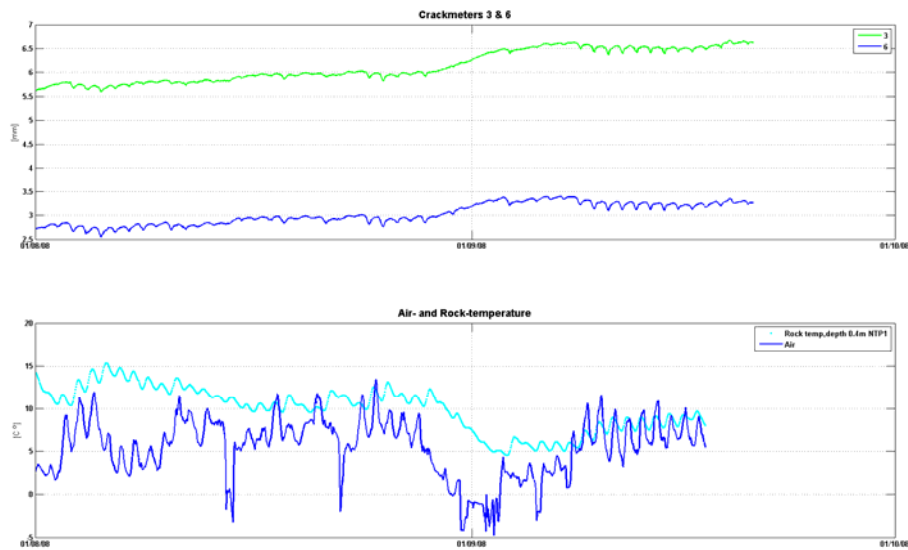
Det viser seg at det er nære sammenhenger mellom de målte bevegelsene og temperatur. Dette gjelder både lufttemperatur og fjelltemperatur. Det er en god korrelasjon både for laserne (Figur 21) og crackmetrene (Figur 22, Figur 23, Figur 24). Bevegelsene i fjellet er størst fra sensommeren og ut til midtvinters (februar – mars). Det er vanlig at bevegelsene i ustabile fjellparti er størst under ekstreme nedbørsforhold (ofte på høsten) og spesielt under snøsmelting om våren. Dette er for eksempel tilfellet ved det ustabile fjellet ved Åknes i møre og Romsdal (Blikra m.fl. 2006). Ved Nordnes er bevegelsene på sitt minste under snøsmeltinga i mai og juni. Det er likevel en svært tydelig og markert sesongvariasjon som må forklares med sesongprosesser. Det er nærliggende å vurdere om disse endringene i bevegelse skyldes fryse- og tineprosesser. Nordnes ligger i grenseland for hvor det kan finnes permanent frost (permafrost). Dersom det i de ustabile fjellpartiene finnes kontinuerlig eller sporadisk permafrost kan bevegelsen på sensommeren og tidlig vinter forklares med økning i deformasjon på grunn av smelting av permafrost på sensommeren og innfrysing tidlig vinter. Det er imidlertid for tidlig å si noe kategorisk om dette, og det må utføres dype boringer og målinger i dypet for kunne vurdere dette nærmere.



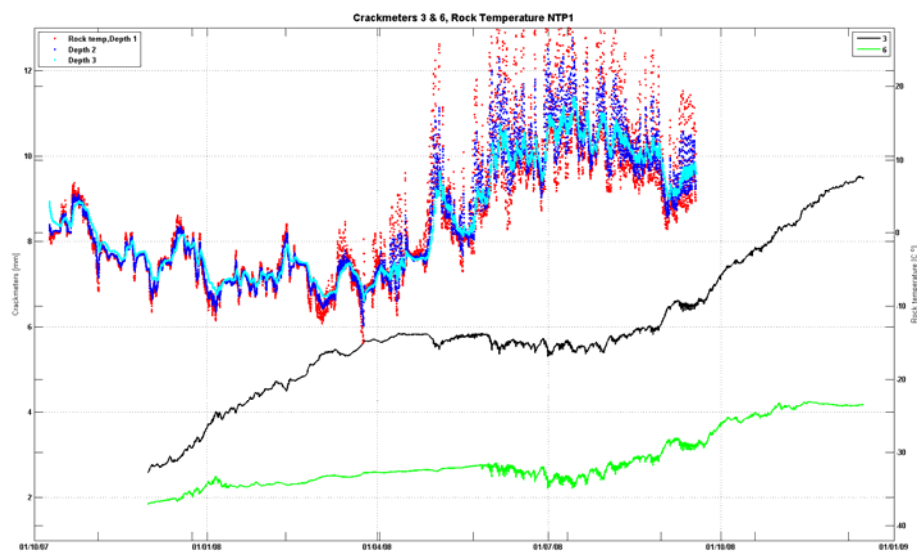
Figur 21. Data fra lasermålepunkt 2_2 ved Jettan sammenlignet med lufttemperatur og fjelltemperatur i tidsrommet oktober 2007 til oktober 2008.



Figur 22. Data fra crackmeter 3 ved Jettan sammenlignet med lufttemperatur og fjelltemperatur i tidsrommet oktober 2007 til oktober 2008.



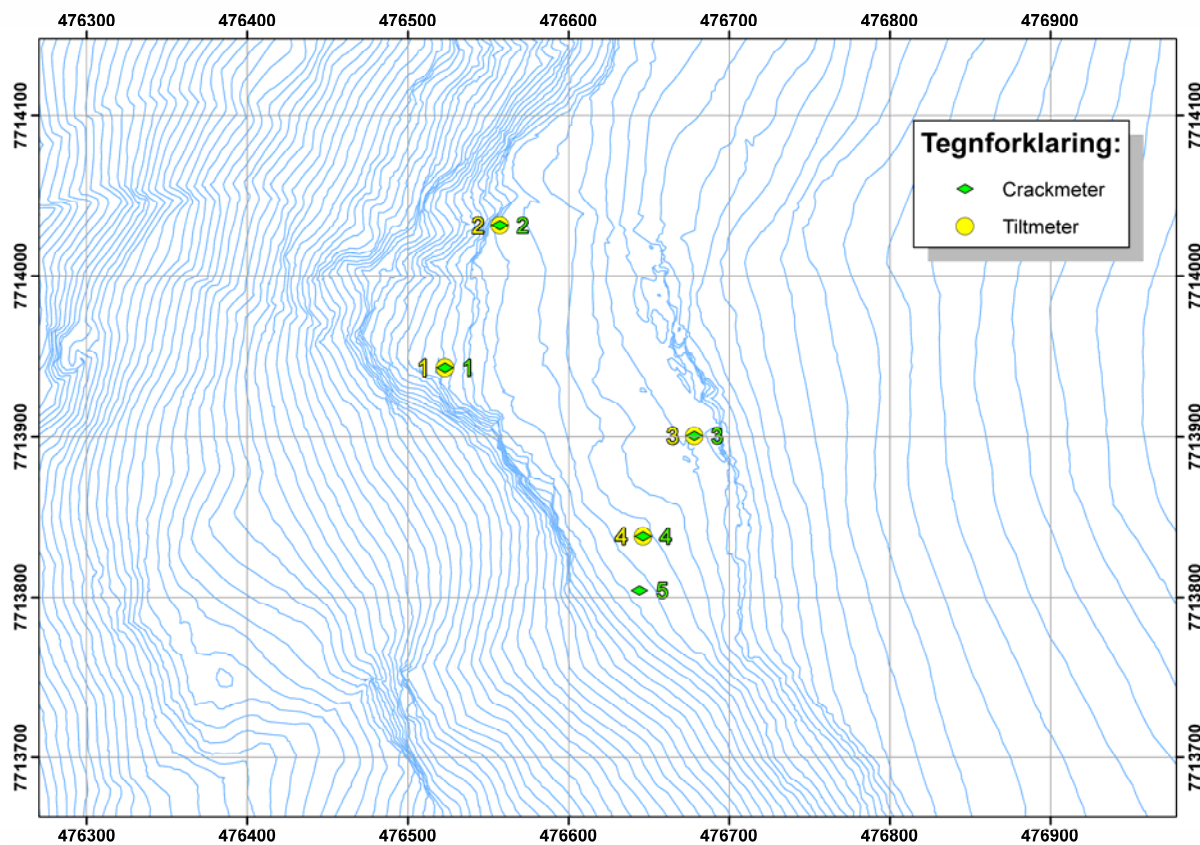
Figur 23. Data fra crackmeter 3 og 6 ved Jettan sammenlignet med fjelltemperatur og lufttemperatur fra perioden 01.08 til 15.09 2008.



Figur 24. Data fra crackmeter 3 og 6 ved Jettan sammenlignet med fjelltemperatur fra 3 ulike dybder.

4.2 Indre Nordnes

Ved Indre Nordnes er det satt ut 5 crackmetre og 4 tiltmetre. Lokaliseringen av disse er vist i Figur 25.



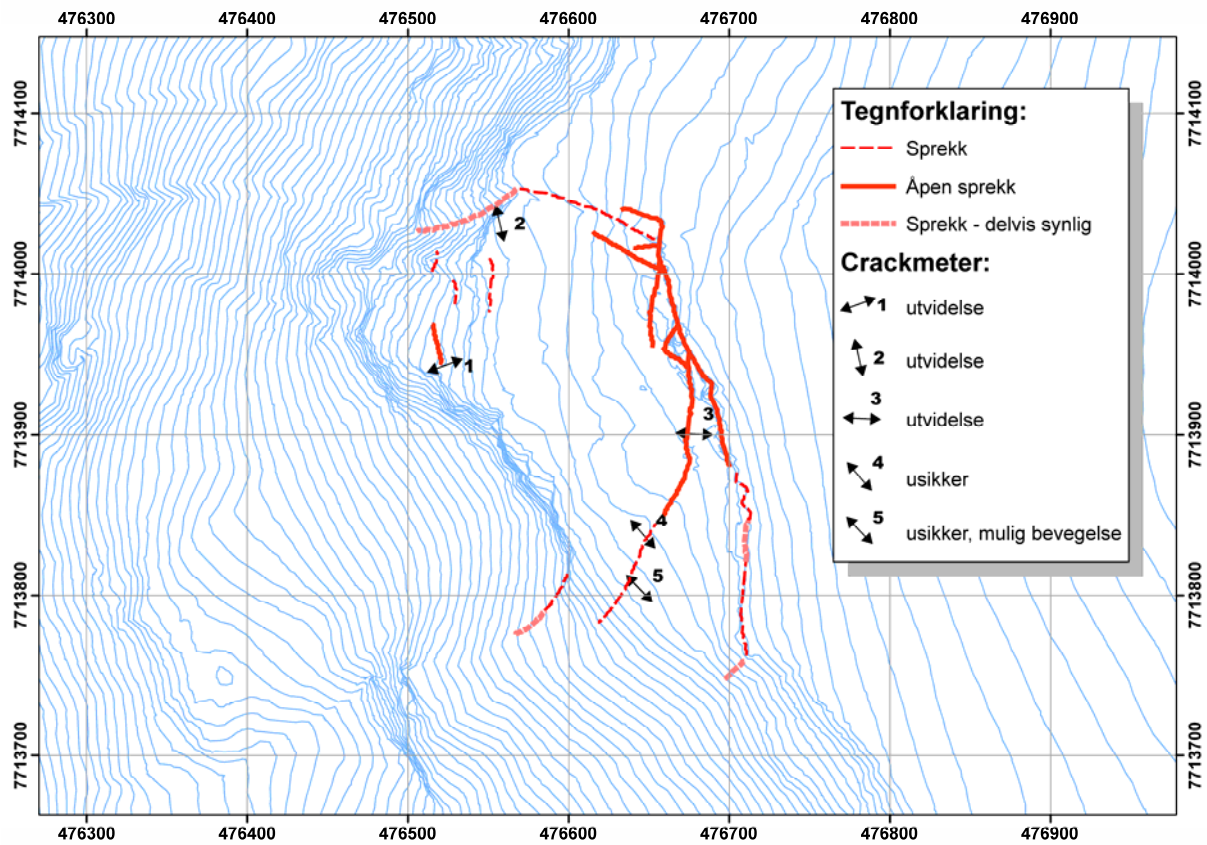
Figur 25. Lokalisering av crackmeter og tiltmeter ved Indre Nordnes.

4.2.1 Resultater fra crackmetermålinger

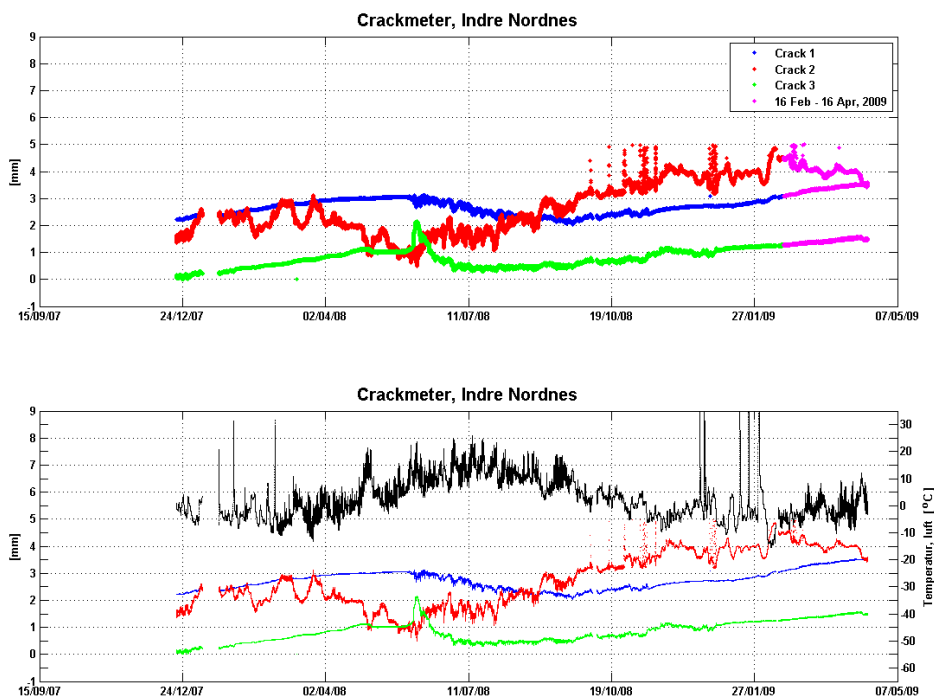
Av de 5 etablert crackmeters ved Indre Nordnes har nummer 4 og 5 vært ute av drift og har kun vært operative siden nyttår 2009. Det er indikasjoner at crackmeter 1, 2 og 3 er i bevegelse, men med relativt små verdier fra 0,5 til 2 mm pr år (Tabell 3), (Figur 26, Figur 27). Ved crackmeter 5 i det sørligste område er det indikasjoner på en liten bevegelse i målingene fra 2009. Crackmeter 1 står over en sprekk med et begrenset volum, mens crackmeter 2 og 3 omfatter store volum. Det konkluderes med at det er reelle bevegelser i store deler av området ved indre Nordnes (Figur 26). Dette stemmer med de siste konklusjoner også fra de periodiske GPS målingene.

Tabell 3. Lineære årlige trender for crackmeter ved Indre Nordnes. Det er laget regresjonsmodeller for utregning av de årlige bevegelserne (Figur 28).

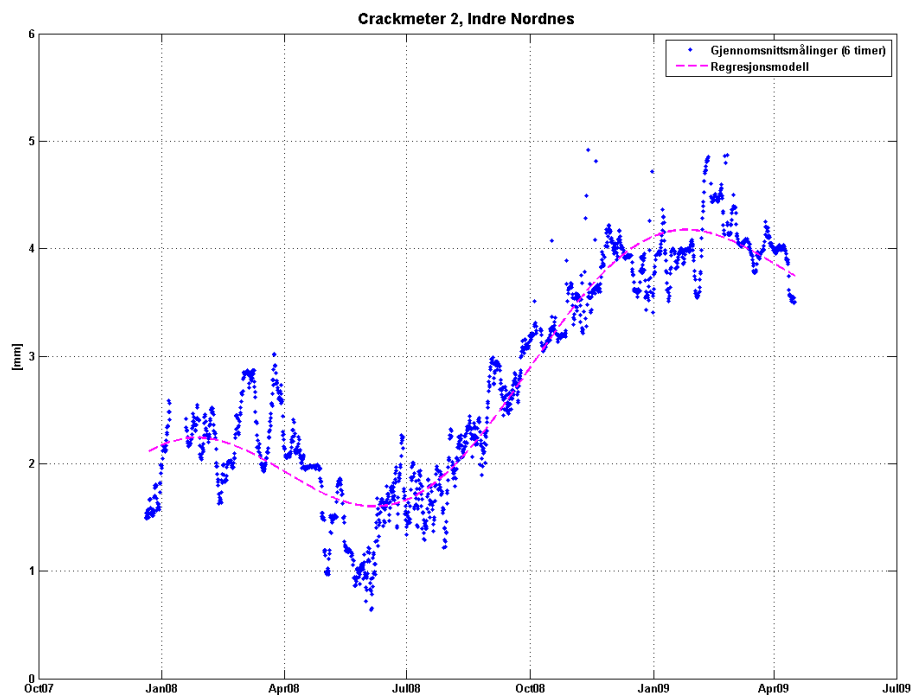
Crackmeter	Lineær trend [mm/år]	95% KI for lineær trend	Sesongvariasjon, amplitude [mm]
1	0.48	[0.43, 0.53]	0.5
2	1.93	[1.78, 2.08]	0.7
3	0.7 – 1.5 ??		
4	Feil i målinger. Ingen signifikant bevegelse i data fra 01.01. 2009		
5	Feil i målinger. Mulig bevegelse ut fra målinger fra 01.01. 2009		



Figur 26. Konklusjonene fra de registrerte bevegelser av crackmeter ved Indre Nordnes.



Figur 27. Måledata fra crackmeter 1, 2 og 3 fra Indre Nordnes. Nederst er dataene sammenlignet med lufttemperatur.



Figur 28. Eksempel på regresjonslinje som er lagt inn i datasettet for crackmeter 2. Regresjonslinjene er brukt for estimering av de årlige bevegelsene (Tabell 3)

4.2.2 Tiltmeter

Dataene fra tiltmetrene ved indre Nordnes har ikke gitt data som kan brukes til å vurdere bevegelsesmønsteret her.

4.2.3 Sammenhenger mellom bevegelse og vær/klima

Bevegelsen viser de samme sesongvariasjoner som ved Jettan, med en økning i bevegelse som starter på sensommeren og fortsetter til februar-mars (Figur 27). Dette kan tolkes som en effekt av smelting av permafrost fulgt av en innfrysing på tidlig vinter.

5. SCENARIER, SANNSYNLIGHET OG KONSEKVENSER FOR SKRED

5.1 Scenarier for størrelsen av potensielle fjellskred

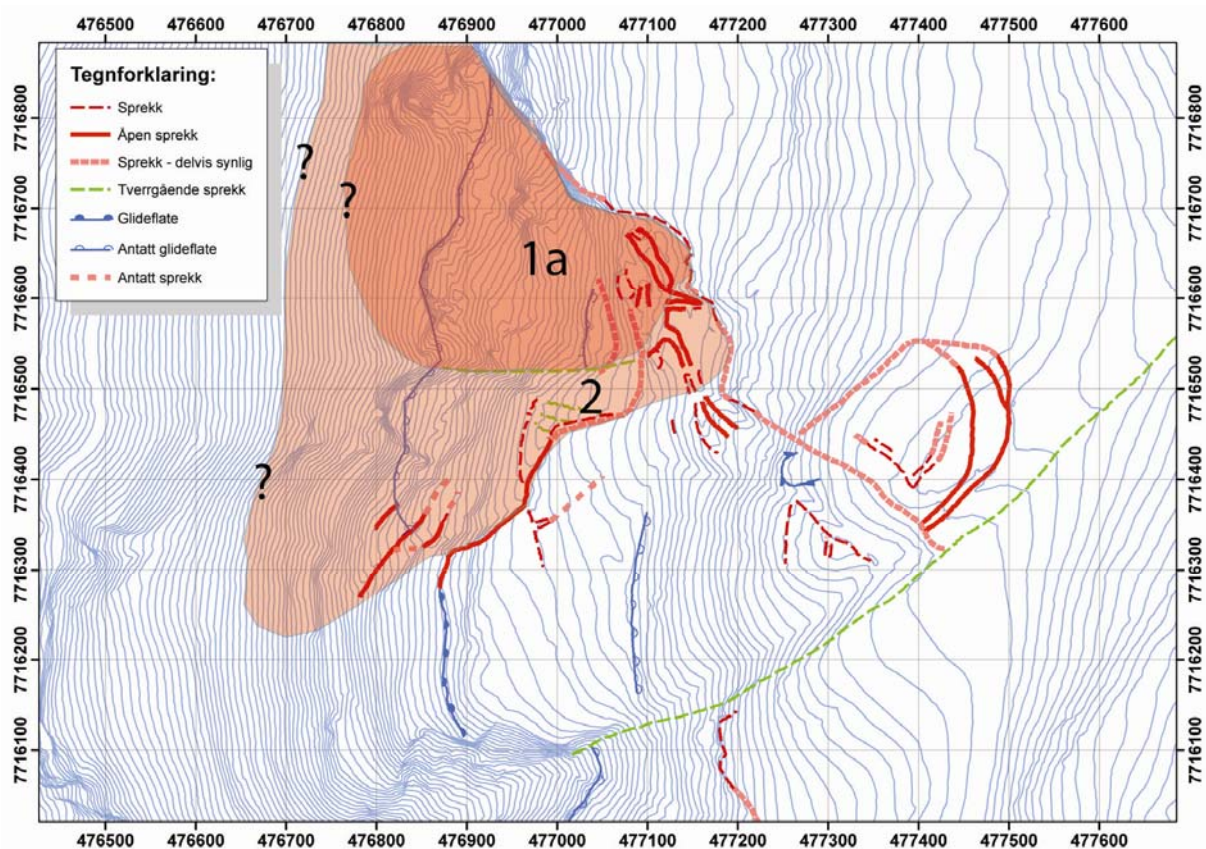
5.1.1 Jettan

De forskjellige scenarier for fjellskred har blitt vurdert tidligere for Nordnesfjellet (Henderson & Blikra, 2007). NGI har på bakgrunn av disse scenariene foretatt en analyse av potensielle flobølger (Harbitz et al., 2007). Kun de viktigste hovedtrekk er gjentatt her.

Scenariene er et resultat av geologisk kartlegging, geofysiske målinger, årlige GPS målingene, InSAR og de kontinuerlige målingene (Figur 29). Ved Jettan er det nordvestlige området i størst bevegelse og er benevnt scenario 1a og 2. Dette samsvarer svært godt til

konklusjonene fra de kontinuerlige målingene som viser at deler av 1a beveger seg med over 5 cm pr år, mens område 2 beveger seg med ca 2 cm pr år. De nye geofysiske målingene konkluderer med at de ustabile områdene sannsynligvis er mer enn 100 m dype (Rønning m.fl. 2008). Dersom en legger til grunn en gjennomsnittsdypde på mellom 70 og 120 m vil det totale volumet for scenario 2 være mellom 12 og 22 millioner m³. For scenario 1a er volumet vurdert til å ligge i størrelsesorden 5-9 millioner m³.

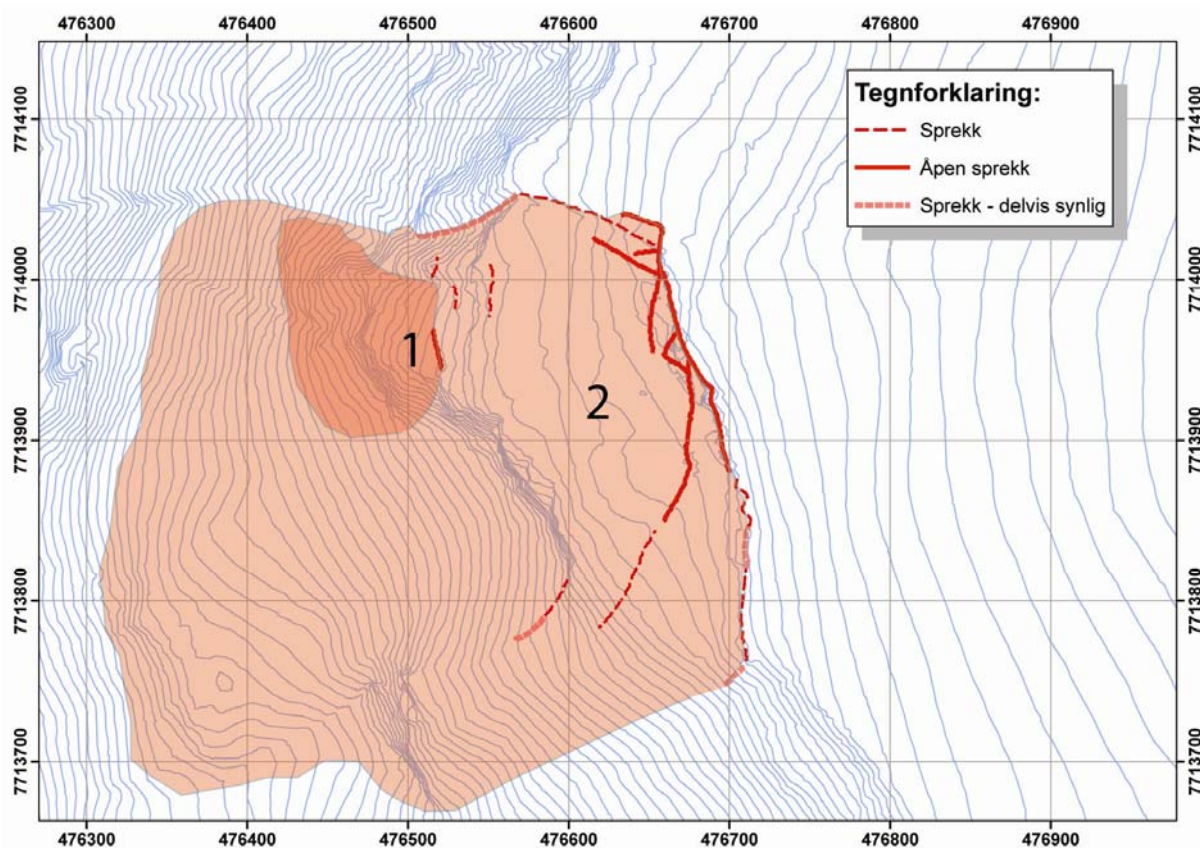
De kontinuerlige målingene antyder også noe bevegelse i resten av området, men dette er ikke nærmere vurdert i denne rapporten.



Figur 29. Kart som viser de to scenarioene for områdene i stor bevegelse ved Jettan. Scenario 2 omfatter hele det farga området, mens 1a omfatter området der bevegelsene er størst (5 cm/år)

5.1.2 Indre Nordnes

To scenarier for fjellskred er vurdert på Indre Nordnes (Figur 30). GPS dataene og de kontinuerlige målingene viser at fjellpartiet som ligger vest for punkt IN-1 er i størst bevegelse. Dersom en tar utgangspunkt i dybder av skred fra 50 til 120 m vil volumet være i størrelsesorden 0,5-1,5 millioner m³ (scenario 1). Imidlertid viser målingene at også de resterende deler av det kartlagde ustabile fjellet kan være i bevegelse. Hele dette området er estimert til et volum på 10-15 millioner m³.



Figur 30. De to vurderte scenarioene for fjellskred fra indre Nordnes. Scenario 1 er et mindre område med dokumentert bevegelse ved GPS punkt IN-1 og ved crackmetermålingene. Scenario 2 er et maksimumsscenario som omfatter hele det ustabile fjellpartiet.

5.2 Sannsynlighet for fjellskred ved Nordnes

Det er svært vanskelig å estimere sannsynligheter for store fjellskred. Dette skyldes to forhold:

1. Store fjellskred er sjeldne hendelser, og det finnes derfor relativt få historisk og førhistoriske kjente hendelser som kan brukes for en slik evaluering.
2. Det finnes begrenset erfaring og kunnskap med sannsynlighetsestimater ut fra modelleringer og beregninger. Den største utfordringen er her de svært usikre parametrene som vil være et kritisk grunnlag for stabilitetsanalyser, slik som glideplanetens lokalisering, poretrykk og styrkeparametre.

I fjordområdene i i denne delen av Troms er det kartlagt få store skredhendelser, utenom det store fjellskredet fra Pollfjellet på vestsiden av Storfjorden. Det er imidlertid en rekke fjellskred i dalførene i regionen.

Ut fra en faglig vurdering er det konkludert med at det ikke gis et sannsynlighetsestimater for faren for store fjellskred fra de ustabile fjellpartiene ved Jettan og Indre Nordnes, men at vurdering av behov for overvåking og beredskap gis på bakgrunn av de dokumenterte bevegelser og de geologiske strukturene som kan favorisere store skred.

De dokumenterte bevegelsene er relativt store, spesielt ved Jettan. Indikasjonene på en økt bevegelse de siste årene i en del av området ved Jettan betyr at en må være ekstra

oppmerksom for en videre utvikling i de ustabile fjellpartiene. Jettan er det området i Troms som har dokumentert klart størst bevegelse. De vurderte områdene ved Jettan og Indre Nordnes viser både aktive bevegelser og har kritiske geologiske strukturer slik som lagdeling som skrånere ned fjellsida og funn av nedknuste soner som fungerer som svake glidesoner. De geofysiske målingene indikerer også at dybden av ustabil fjell er stor (over 100 m).

5.3 Konsekvenser

Store skred fra de ustabile fjellpartiene ved Nordnes vil gå ut i fjorden og generere flodbølger som vil ramme bosetting og infrastruktur. Det gis her en generell vurdering av konsekvensene ved slike skred, blant annet bygd på eksisterende analyser av flodbølger (Glimsdal og Harbitz, 2007).

5.3.1 Jettan

Det er ikke bebyggelse nedenfor skredområdet, men fjellskred fra Jettan vil gå ut i fjorden og også direkte ramme europaveien. De største konsekvensene er knyttet til generering av flodbølger. NGI har foretatt analyser av flodbølger ut fra scenarioer på henholdsvis 7 (1a) og 11 (2) millioner m³ (Glimsdal & Harbitz, 2007). Scenario 1a er området i størst bevegelse, mens scenario 2 er et volum for hele området som er i bevegelse (Figur 29). Bemerk at volumet til scenario 2 er noe lavere enn det som det blir konkludert med i denne rapporten. Bølgehøydene kan derfor bli noe høyere, men det er viktig å være klar over at usikkerhetene både for volumslag og bølgeanalyser er store.

Begge scenarioene gir betydelige flodbølger mot bebyggelse rundt fjorden. Oppskyllingshøydene for scenario 1a varierer fra 2-5 m i områdene lengst fra skredområdet (innerst i Storfjorden, Skibotn, Olderdalen, Manndalen), mens bølgene vil bli mye større (10-35 m) tvers over fjorden (Lyngseidet, Råttenvik, Karnes). For senario 2 (11 millioner m³) er bølgene generelt større, og er vurdert til å kunne komme opp i 25-45 m på det meste ved Råttenvik, Lyngseidet og Karnes.

Det er til dels store usikkerheter ved analyser av flodbølger. Det er for eksempel vanskelig å vurdere hvordan selve fronten av fjellskredet utvikler seg før det treffer fjorden. Dette har stor betydning for generering av bølger. Det er imidlertid ikke tvil om at et stort fjellskred fra Jettan vil føre til store konsekvenser i form av at E6 vil bli direkte berørt, og at omfattende flodbølger vil ramme bosetting i flere kommuner rundt Storfjorden.

5.3.2 Indre Nordnes

Store fjellskred fra Indre Nordnes vil direkte kunne ramme bosetting og E6. Et stort skred herfra vil også nå ut i fjorden og generere flodbølger. Dette vil gjelde også for det minste scenarioet. Det er ikke foretatt bølgeanalyser fra eventuelle skred fra dette området.

6. KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER

På bakgrunn av de undersøkelser og målinger som er foretatt siden 2002 og frem til i dag kan det konkluderes med følgende:

- Det er bevegelse i store volum ved Jettan. Et stort fjellskred kan omfatte et volum på 5-22 millioner m³. Alle periodiske målinger (GPS, InSAR og bakkebasert laserscanning) og kontinuerlige målinger (Laser, crackmeter og tiltmeter) bekrefter at deler av området beveger seg over 5 cm/år. Det er en svak indikasjon på at

bevegelsene har økt de siste årene. Det ser ut til at bevegelsene er styrt av temperatur og det konkluderes med at frost og permafrost kan være viktig for stabiliteten i området. Store fjellskred vil lage store flodbølger som vil true større bebygde områder.

- Ved Indre Nordnes er bevegelsene mye mindre, men det konkluderes med bevegelser på noen mm/år i et større område. En må være spesielt på vakt overfor de ytterste områdene som kan gi større fjellskred som kan true bebyggelse ved Indre Nordnes og som kan rekke ned til fjorden og skape flodbølger.
- Det vil være store konsekvenser knyttet til fjellskred fra de vurderte områdene. Dette er særlig på grunn av generering av store flodbølger, men skred vil også direkte ramme europavegen og noe bebyggelse.

Det er ikke faglig grunnlag for å estimere sannsynligheter for store fjellskred fra de undersøkte områdene ved Nordnes. Anbefalingene i forhold til kontinuerlig overvåking er derfor bygd på dokumentasjon av aktiv bevegelse og opptreden av kritiske geologiske strukturer som favoriserer store fjellskred. Dette er også i samsvar med det som blir gjort internasjonalt. Det kan her nevnes at en i Sveits etablerer overvåking av alle de fjellparti som er i stor bevegelse og kan utvikle skred med store konsekvenser. I Canada er det etablert et stort og omfattende overvåkingssystem i Turtle Mountain i Alberta i et område som har langt mindre bevegelser enn det som er dokumentert ved Nordnes. I Turtle Mountain er de årlige bevegelsene på mm nivå.

På bakgrunn av eksisterende data og målinger gis det følgende anbefalinger for videre oppfølging av de ustabile områdene ved Jettan og Indre Nordnes.

- Jettan
 - Det anbefales at det etableres en permanent overvåking med beredskapstiltak for Jettan.
 - Det anbefales etablering av et supplerende overvåkingssystem. Trolig vil et GPS nettverk være det mest praktiske og pålitelige systemet i dette området (5-6 antenner)
 - På grunn av den mulige problematikken med permafrost og fremdeles ukjent dybde til utglidningene bør det etableres dype borer, som i etterkant instrumenteres for måling av vannnivå, temperatur og bevegelse.
 - En scanning med bruk av bakkebasert radar fra nedsiden for en kartlegging av de nedre deler i et avgrenset tidsrom.
- Indre Nordnes
 - En scanning med bruk av bakkebasert radar fra nedsiden for en kartlegging av de nedre deler i et avgrenset tidsrom.
 - Det anbefales etablering av et GPS nettverk for kontinuerlige målinger. Dette er viktig for å bedre fastslå bevegelsene i området og for å kunne dekke et større område. Det er viktig at det etableres GPS antenner også i fjellskråningen nedenfor de etablerte målepunktene.
 - Vurdering av behov for kontinuerlig overvåking og beredskapstiltak foretas etter at det er samlet inn nye data fra radar og GPS.

7. LITTERATUR

- Blikra, L.H., Eiken, T., Henderson, I. & Venvik-Ganerød, G. 2006: Forprosjekt fjellskred i Troms – Status 2005. *NGU Rapport*, 2006.040, 37 s.
- Glimsdal, S. & Harbitz, C.B. 2007: Flodbølger etter mulig fjellskred, Nordnes, Lyngen kommune. Beregning av mulige fjellskred og flodbølger. *NGI Rapport 20071677-1*.
- Henderson, I.H.C & Blikra, L.H. 2007. Bakgrunnsinformasjon for oppbygging av flodbølgeanalyse ved Nordnesfjellet, Troms. *NGU Rapport*, 2007.070, 17 s.
- Henderson, I.H.C, Osmundsen, P.T. & Redfield, T.F. 2009. ROS Analyse Fjellskred i Troms. *NGU Rapport*, 2009.023, 70 s.
- Rønning, J.S., Dalsegg, E., Heincke, B.H., Juliussen, H. & Tønnesen, J.F. 2008: Geofysiske målinger på Nordnesfjellet sommeren 2007, Kåfjord kommune, Troms. *NGU Rapport 2008.024*, 32 s.