NGU Rapport 2011.031

ROS Fjellskred i Troms: status og analyser etter feltarbeid 2010



# RAPPORT

Rapport nr.: 2011.031		ISSN 0800-3	3416	Gradering: Åpen	
Tittel: ROS Fjellskred i Troms: status og analyser etter feltarbeid 2010					
Forfatter: Halvor Bunkholt, Per Terie Osmundsen, Tim Redfield.			Oppdragsgiver: NVE		
Thierry Oppikofer, Trond Eiken, Jean-Sebastien L'Heureux, Reginald Hermanns, Tom Rune Lauknes					
Fylke: Troms		Kommune: Kåfjord, Storfjord, Kvænangen, Nordreisa, Lyngen			
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)			
Forekomstens navn og koordinater:		Sideta Kartbi	Il: 135 Pris ilag:	s: kr 605,-	
Feltarbeid utført: August 2010	Rapportdato:		Prosje 31	ktnr.: 0000	Ansvarlig: Reginald Hermanns
Sammendrag:			•		- U I

Rapporten oppsummerer feltarbeid og analyser fra kartlegging av ustabile fjellsider i Troms høsten 2010 under prosjekt ROS Fjellskred i Troms. Av 103 potensielt ustabile fjellsider ble 17 fjellsider besøkt eller rekognosert av geologer i 2010. Av disse var 12 ikke tidligere besøkt av geologer. Videre ble 12 fjellsider innmålt med differensiel GPS (dGPS) og 7 fjellsider ble skannet med bakkebasert laser (lidar). Av disse er det installert dGPS-måling ved èn ny lokalitet og tre nye lokaliteter ble skannet for første gang med lidar.

Det ustabile objektet Gamanjunni 3 i Manndalen i Kåfjord Kommune fremstod som potensielt svært ustabilt under feltarbeidet i 2010. Dette ble derfor skannet med lidar. Nye satellittdata fra to uavhengige satellitter indikerer også høye bevegelseshastigheter, opp mot 30 mm/år i deler av fjellsiden basert på data innsamlet mellom 2008 og 2010. NGU anbefaler å gjennomføre ytterligere feltarbeid ved Gamanjunni 3 i årene som kommer, samt en bakkebasert radarkampanje sommeren 2011.

Et av hovedmålene for årets feltarbeid var å bekrefte eller avkrefte resultatet fra feltarbeidet ved Oksfjellet (tidligere kalt Kåfjord Sør) i 2009, som indikerte bevegelser på opptil 10 cm pr år rapportert i NGU rapport 2010.021. NGU kan med forankring i feltarbeid fra 2010 nå slå fast at måledataene innsamlet i 2008 med TLS laserskanning inneholder målefeil. Disse målefeilene medførte gale analyser når de ble sammenliknet med måledata fra 2009. NGU trekker derfor tilbake resultatene fra NGU rapport 2010.021 som antydet bevegelser på opp mot 10 cm pr år ved Oksfjellet. Et nytt anslag for bevegelseshastighetene ved Oksfjellet kan vi ikke gi, da forholdene i fjellsiden er av en slik karakter at det er vanskelig å skaffe gode og pålitelige måledata med dagens metoder. NGU anbefaler derfor en bakkebasert radarkampanje gjennomført sommeren 2011 ved Oksfjellet for å skaffe ytterligere data. Oksfjellet vurderes fremdeles som ustabilt.

Humpen er igangsatt som et detaljert studieobjekt gjennom en hovedfagsoppgave ved Universitetet i Tromsø. Humpen viser forflytning på opp mot 10 mm/år.

Storsteinen i Tromsø har ikke vist tegn til signifikant bevegelse de siste årene. Storsteinen ble derfor, sammen med flere andre, ikke feltbefart i 2010 men utsatt til 2011. Det var en steinspranghendelse ved Storsteinen i oktober 2010. Storsteinen vil bli feltbefart innenfor dette kartleggingsprogrammet i 2011 ihht kartleggingsplan.

Erfaringer fra årets feltarbeid forteller oss at de aller fleste ustabile fjellsidene beveger seg med lave hastigheter på noen millimeter pr år. Flere av fjellsidene som til nå har blitt besøkt årlig for innmåling med dGPS anbefales derfor et økt innmålingsintervall fra årlig til flerårig. For noen av fjellsidene foreslår vi to-årige innmålinger og for noen opptil fem år mellom innmålinger. Intervaller for repeterte lidarskanninger anbefales også økt til flerårige intervaller. NGU anbefaler videre en økt bruk av høydetaljerte InSAR satellittdata i fremtiden, da disse viser et meget godt samsvar med innsamlede feltdata og anses som en god datakilde for områdene i Troms. Vi anbefaler også innsamling av høydetaljerte flyfoto av de ustabile objektene for analyser.

Nytt i denne rapporten er at vi har startet arbeidet med å indikere utløpsområde rundt flere av de ustabile fjellsidene. Denne rapporten inneholder derfor anslått utløpslengde der dette har vært mulig å beregne. NGU presiserer at disse verdiene er første estimater beregnet med en svært forenklet metodikk. Mer sofistikerte metoder vil i fremtiden gi forbedret presisjon på utløpslengdene. Hovedusikkerheten i estimatet/metodikken er knyttet til volumberegningen av de ustabile massene. Endrer man volumet må også utløpslengden beregnes på nytt.

NGU identifiserte to objekter (Storhaugen i Kåfjord Kommune og Brosmebakktuva i Tromsø Kommune) som hver har små ustabile blokker ytterst på fjellsidene. Volumene til disse blokkene anslås å være mellom 5000-20 000 m3. NGU vurderer disse blokkene til å være så ustabile at de kan falle ned i løpet av rimelig kort tid. Den enkelte kommune anbefales å følge disse små objektene opp videre.

Emneord: Fjellskred	Strukturgeologi	InSAR
Lidar	Differensiell GPS	

# INNHOLD

1.	OVI	ERSIKT OVER TIDLIGERE ARBEIDER	. 11
2.	TID	SBRUK OG UTFØRELSE	. 12
3.	REC	JONAL OVERSIKT	. 13
4.	Met	odikk	. 17
4	4.1	InSAR	. 17
4	4.2	dGPS	. 17
2	4.3	Utløpsanalyse	. 17
4	4.4	Lidarskanning	. 19
5.	KOł	RT SAMMENDRAG PR. LOKALITET	. 19
4	5.1	Brattfjell (Id 1035)	. 19
4	5.2	Brosmebakktuva (Id 1017)	. 19
4	5.3	Ceallu (Id 1013)	. 20
4	5.4	Dorrisdalen (Id 1030)	. 20
4	5.5	Dorrisdalen 2 (Id 1075)	. 20
4	5.6	Dusnjarga (Id 1044)	. 21
4	5.7	Horsnesfjellet 1&2 (Id 1032 & 1094)	. 21
4	5.8	Gamanjunni 1(Id 1027)	. 21
4	5.9	Gamanjunni 3 (Id 1064)	. 22
4	5.10	Gavtavarri (Id 1048)	. 22
4	5.11	Giilavarri (Id 1052)	. 22
4	5.12	Gryta (Id 1088)	. 22
4	5.13	Hengfjellet 1 (Id 1025)	. 23
4	5.14	Humpen (Id 1004)	. 23
4	5.15	Indre Nordnes (Id 1002)	. 23
4	5.16	Kjellerkampen (Id 1036)	. 23
4	5.17	Låvan (Id 1082)	. 23
4	5.18	Oksfjellet (tidligere Kåfjord Sør) (Id 1007)	. 23
4	5.19	Nordnes (Id 1001)	. 24
4	5.20	Revdalsfjellet 1 (Id 1020)	. 24
4	5.21	Revdalsfjellet 2 (Id 1021)	. 24
4	5.22	Rotvåg (Id 1089)	. 24
4	5.23	Skognes (Id 1009)	. 24
4	5.24	Staluvarri (Id 1055)	. 24
4	5.25	Storhaugen 2 (Id 1014)	. 25
4	5.26	Vassnestind (Id 1010)	. 25
6.	RES	ULTATER OG DETALJERT BESKRIVELSE PR LOKALITET	. 26
(	5.1	Brattfjell	. 26
	6.1.1	dGPS data	. 27
	6.1.2	2 Strukturgeologiske data	. 27
	6.1.3	3 Lidarskanning	. 28
	6.1.4	Insar data	. 28

6.1	.5	Utløpsanalyse	28
6.2	Bros	mebakktuva	30
6.2	.1	dGPS data	30
6.2	.2	Strukturgeologiske data	30
6.2	.3	Lidarskanning	32
6.2	.4	Insar data	34
6.2	.5	Utløpsanalyse	34
6.3	Dorr	isdalen	35
6.3	.1	dGPS data	35
6.3	.2	Strukturgeologiske data	37
6.3	.3	Lidarskanning	37
6.3	.4	Insar data	37
6.3	.5	Utløpsanalyse	37
6.4	Dusr	ıjarga	38
6.4	.1	dGPS data	38
6.4	.2	Strukturgeologiske data	40
6.4	.3	Lidarskanning	40
6.4	.4	Insar data	40
6.4	.5	Utløpsanalyse	40
6.5	Gam	anjunni 1	41
6.5	.1	dGPS data	41
6.5	.2	Strukturgeologiske data	42
6.5	.3	Lidarskanning	42
6.5	.4	Insar data	42
6.5	.5	Utløpsanalyse	43
6.6	Gam	anjunni 3	44
6.6	.1	dGPS data	44
6.6	.2	Strukturgeologiske data	44
6.6	.3	Historiske flyfoto	47
6.6	.4	Lidarskanning	47
6.6	.5	Insar data	48
Utl	øpsana	llyse	49
6.7	Gavt	avarri	50
6.7	.1	dGPS data	50
6.7	.2	Strukturgeologiske data	52
6.7	.3	Lidarskanning	53
6.7	.4	Insar data	54
6.7	.5	Utløpsanalyse	54
6.8	Giila	ıvarri	55
6.8	.1	dGPS data	55
6.8	.2	Strukturgeologiske data	55
6.8	.3	Lidarskanning	57
6.8	.4	Insar data	57

6.8.5	Utløpsanalyse	57
6.9	Gryta	58
6.9.1	dGPS data	58
6.9.2	Strukturgeologiske data	58
6.9.3	Lidarskanning	60
6.9.4	Insar data	60
6.9.5	Utløpsanalyse	60
6.10	Hengfjellet 1	61
6.10	1 dGPS data	61
6.10	2 Strukturgeologiske data	62
6.10	3 Lidarskanning	62
6.10	4 Insar data	62
6.11	Humpen	63
6.11	1 dGPS data	64
6.11	2 Strukturgeologiske data	66
6.11	3 Lidarskanning	66
6.11	4 Insar data	67
6.11	5 Utløpsanalyse	67
6.12	Indre Nordnes	68
6.12	1 dGPS data	68
6.12	2 Strukturgeologiske data	68
6.12	3 Lidarskanning	68
6.12	4 Insar data	68
6.13	Kjellerkampen	
6.13	1 dGPS data	
6.13	2 Strukturgeologiske data	
6.13	3 Lidarskanning	
6.13	4 Insar data	
6.13	5 Utløpsanalyse	71
6.14	Låvan	
6.14	1 dGPS data	
6.14	2 Morfologiske og strukturgeologiske data	
6.14	3 Lidarskanning	
6.14	4 Insar data	
6.14	5 Utløpsanalyse	
6.15	Nordnes	74
6.15	1 dGPS data	
6.15	2 Strukturgeologiske data	74
6.15	3 Lidarskanning	74
6.15	4 Insar data	
6.16	Oksfjellet (tidligere Kåfjord Sør)	
6.16	1 dGPS data	77
6 16	2 Strukturgeologiske data	80

6.16.3	Historiske flyfoto	
6.16.4	Lidarskanning	
6.16.5	Insar data	
6.16.6	Utløpsanalyse	
6.17	Revdalsfjellet 1 & 2	
6.17.1	dGPS data	
6.17.2	Strukturgeologiske data	
6.17.3	Lidarskanning	
6.17.4	Insar data	
6.17.5	Utløpsanalyse	
6.18	Rotvåg	
6.18.1	Observasjoner fra rekognosering	
6.19	Skognes	
6.19.1	Observasjoner fra rekognosering	
6.20	Staluvarri	
6.20.1	Morfologi og strukturgeologi:	
6.20.2	dGPS-data	
6.20.3	Lidarskanning	
6.20.4	InSARdata	
6.20.5	Utløpsanalyse	
6.21	Storhaugen 2	
6.21.1	dGPS data	
6.21.2	Strukturgeologiske data	
6.21.3	Lidarskanning	
6.21.4	Insar data	
6.21.5	Utløpsanalyse	
6.22	Vassnestind	
6.22.1	dGPS data	
6.22.2	Strukturgeologiske data	
6.22.3	Seismiske data	
6.22.4	Lidarskanning	
6.22.5	Insar data	
6.22.6	Utløpsanalyse	
VEDLEGG.		
V.1 Resul	ltater og analyser TLS Lidar skanning Troms 2010	
Genera	al methodology	
Brosm	ebakktuva	
Gamm	anjunni 3	
Gavtav	/arri	
Indre N	Nordnes	
Oksfje	llet	
Nordne	esfjellet	
Storha	ugen	

# FIGURER

Figur 1: Kjente potensielt ustabile fjellsider i Troms Fylke pr 1. desember 2010. I alt 103 objekter
Figur 3: Scheideggerkurven (blå kurvet linje) og McEwenkurven (lilla rett linje). Punktplottene er datagrunnlaget for Scheideggerkurven, samt alle norske historiske/før-historiske fiellskred basert på kartlegging av utløpslengden til avsetningen og bøvden til utløpslingsområdet. I
tillegg vises også punktplott for de ustabile fjellsidene i Troms som er lagt inn i forbindelse med denne rapporten
Figur 4: Utløpsanalyse for blokker basert på en skyggevinkel på 28,50 (Onofri and Candian, 1979)
Figur 5: Helikopterfoto over Ceallu (venstre). Det gule området samsvarer med InSAR-utslaget vist på ortofoto til høyre. Dypest rød farge: -
Smm/år. Blå farge: 0 mm/år. 20
nå ned til elven dersom et stort nok volum kollanser i èn hendelse. Sannsvnligheten for dette vurderer vi som lav
Figur 7: Kart og flyfoto over Brattfiell. Vi har delt det ustabile området inn i tre blokker (a, b & c). Blokkene b og c har størst sannsvnlighet
for kollaps. Disse er avgrenset av to tensjonssprekker, se hvite piler. Merk også bosetting vest for ustabilt volum i kartet øverst
Figur 8: Presentasjon av 59 strukturmålinger av sprekker og foliasjonsplan, samt kinematisk analyse av hvordan disse sprekkesettene er
orientert i forhold til å tilrettelegge for kollaps av massene. Vi ser at det er sannsynlig med kollaps gjennom utvelting, og at det er
sprekkesettet J3 som vil danne bruddstrukturene. Hovedtensjonssprekkene observert i felt er en del av sprekkesettet J3
Figur 9: (a) løs blokk med hengslet hovedsprekk (hvit pil); (b) hovedsprekk og mindre sprekk med tydelig separasjon. Fall på sprekker
motsat av uudpsvektor mediorer nie gnaming langs brudaplanet og dermed redusert bergstyrke. Baksprekken markert med $(2)$ viste inger tean til av uudpsvektor mediorer nie gnaming langs brudaplanet og dermed redusert bergstyrke. Baksprekken markert med $(2)$ viste inger
tegn in activite ved over natempersjon i observasjonspunkte oba's (se right $\gamma$ ). (c) fold av splang ved novedspick et al
(c): område (d) - manglende volum etter tidligere kollaps. Venstre foto: sett fra siden
Figur 11: Orange: 370 m fra kildeområde ved scenario 2. Gul: 550 m fra kildeområde ved scenario 1. Begge fra Scheidegger. Benyttes
skyggevinkel får vi 464 m ut fra kildeområdet (scenario A+B), som gir samme grense som gul linje. En feltbefaring av dalbunnen nedenfor
ustabilt område kan redusere utløpsusikkerheten for volumene. Hvit avmerking: et større volum mangler i fjellsiden fra tidligere kollaps.
Kartlegging av dette volumets utløpsgrense vil gi en forbedret vurdering av nåværende ustabilt volum sin utløpsrekkevidde (aktsomhet og
fareområde). GP: gammelt glideplan
right 12. Kan og hyfoto over brosheboakkuva. Avnerker, posisjon to dOPS matepunkt, sted nivor notal skanning be foretau, samt sprekket og observasionspunkt for strukturgeologiske målinger. Hvit pil indikerer løse blokker skannet med lidar
Figur 13. Armeringien installert av NGI i 1987. 2 cm ekstension og 0.5 cm venstrerettet bevegelse siden bolting ble målt i 2010. Dette gir
an årlig gjennomsnitsbevegelse på 1 mm/år på denne sprekken
Figur 14: A->D: Presentasjon av 50 strukturmålinger av sprekkesett samlet inn i hovedblokken, samt analyse av hvordan disse
sprekkesettene er orientert i forhold til å tilrettelegge for kollaps av massene. Orienteringen av sprekkesettene gjør at det er liten
sannsynlighet for kollaps av hovedblokken
Figur 15: Helikopterfoto over Brosmebakktuva. Hvit pil: blokkene A (orange) og B (rød). Blokk A henger gjemt bak blokk B i bildet.
Hovedblokken er markert med gult. Blå stiplet linjer: sprekker observert på helikopterfoto. 32
Figur 10. DIORA A Soni Skanies med Lluai. HOVEDSPIEKKEI EI VUIEIT av lokaldetoikining a na utvidet seg ca 20 chi menoni 2009 og 2010 35 Figur 17: IL idar nunktsky (nederst) med samsyarende utsnitt av fielisiden: iil ) strukturell og kinematisk analyse av punktskyen. Legg met
til underliggende glideplan, og de avgrensende tensionssprekkene. Se vedlegg V.1 for detaliert forklaring av figurene
Figur 18: Volumberegning basert på Lidardata. Blokk (A) 9600 m3; Blokk (B) 12400 m3. Høyre: bruddsettene J1-J7 samt foliasjon S1. Se
vedlegg V.1 for detaljert forklaring av figurene
Figur 19: ERS InSAR data 1992-2000. Det er ingen bevegelse ved Brosmebakktuva for de datasettene NGU besitter pr 2010
Figur 20: Kart og flyfoto over Dorrisdalen. Avmerket: posisjon for dGPS målepunkt og sprekker
Figur 21: 1errengmodell over Dorrisdalen (www.norge13d.no). dGPS-bevegelse markert ved hvite piler
Figur 22: ERS InSAR data fra Dorrisdalen 37
Figur 25: Kart og flyfoto over Dusniarga. Avmerket: posision for dGPS og hovedliniamenter
Figur 25: Plott over horisontale endringer (venstre) og vertikale endringer (høyre) i dGPS-data fra 2007-2010. Den nordøstlige horisontale
bevegelsen og det vertikale oppløftet som er registrert mellom 2009/2010 antas p.t. å være grunnet målefeil
Figur 26: Utløpsanalyse for Dusnjarga
Figur 27: Kart og flyfoto over Gamanjunni 1. Avmerket: ERS InSAR data 1992-2000, posisjon for dGPS, hovedlinjamenter og
innsynkningsnull. 41
Figur 26, OF 5 manufer for Galanajumi 1 2007-2010. Vensue norsoniationipolent, nøyte, ventkatkompolent
Figur 30: Utløpsanalyse for Gamanjunni 1. Terrengprofil med Manndalselva. Utløpet er foreløpig beregnet til 3600 m forutsatt at hele
volumet raser ut samtidig
Figur 31: Kart og flyfoto over Gamanjunni 3. Avmerket: posisjon for dGPS, Lidar skannestasjoner, hovedlinjamenter og observasjonspunkt.
Se tekst for detaljer. Gamanjunni 2 (Id 1028) er også avmerket.
Figur 32: Korrelering av horisonter i glideblokken med horisonter i stabilt underliggende fjell ved Gamanjunni 3. Glideblokken fremstår som
mmeng upavirket av utginningen, med kun en svak rotasjon og strekning av nengolokken
volum i fiellvergen. En analyse av antatte glidenlan fra dette området indikerer at kileutglidning har inntruffet her tidligere. Gamaniunni 2
viser en begynnende deformasjon, mest sannsynlig er kileutglidning også hovedmekanisme her. (b) Analyse av strukturdata fra Gamanjunni
3. Kinematisk analyse indikerer at hengblokken forflytter seg ved kileutglidning langs to hovedsett sprekker
Figur 34: Mellom 1978 og 2006 er det ingen tilsynelatende stor endring i horisontal forflytning av glideblokken, basert på denne forenklede
tolkningen av historiske flyfoto. 47
Figur 35: Hovedbruddsett malt ved Gamanjunni 3 med Lidar. Stereonettet viser gjennomsnittlige poler for bruddsettene for både bakskrenten
by gnucolokken, sam for nyen bluddsen (polet og storsinkler)
av fargeskala! Også merk at RADARSAT-2 resultatene er svært midlertidige. da prosseseringen forelønig bygger på en svært kort måleserie
48
Figur 37: Venstre: Radarsat-2 data ©CSA, levert av Norsk Romsenter/KSAT 2010; Høyre: TerraSAR-X data ©DLR 2010
Figur 38: Utløpsanalyse for Gamanjunni 3. Gitt at hele volumet løsner i en hendelse vil utløpet bli opp mot 3100 m langt og dermed krysse
og demme dalen

Figur 39: Kart og flyfoto over Gavtavarri. Avmerket: posisjon for dGPS, InSAR måleposisjon og hovedlinjamenter	50
Figur 40: Plott over horisontale endringer (venstre) og vertikale endringer (høyre) i dGPS-data fra 2008-2010	52
Figur 41: Rekke av innsynkningshull viser svært stor strekning i undergrunnen.	52
Figur 42: (a) Tolkning av flyfoto fra www.norgei3d.no; (b) åpen tensjonssprekk. Apningsretning er vinkelrett på strøkretninge	n til
Figur 43: Lidar nunktsky for Gavtavarri A B og C skanningnosisioner	55 53
Figur 43: ERS InSAR data fra Gavtavarri. Årlig gjennomsnittsbevegelse 1992-2000.	54
Figur 44: Kart og flyfoto over Giilavarri. Avmerket: hovedlinjamenter og observasjonspunkt. Se tekst for detaljer. Baksprekken er ant	tatt å
krysse tilstøtende daler og deformere Gavtavarri og Staluvarri også. Røde og gule piler: antatt ekstensjonsretning	55
Figur 45: Horst-og-graben system intern i hengblokken til kontrollerende baksprekk. Ekstensjonen er strøkparallell med kontroller	ende
baksprekk, og vinkerett på glideretningen til i jelisiden. Grønn sirkel: personer for skala. Gul pli: sørvestig fallrettet ekstensjon ut Förden som resulta av haveslear på kontrolleranda bekenseld. Poss pilor om ekstancion met nordhort detta parallelt med kontrollar	mot
baksprekk og fiellside	56
Figur 46: (a) Overdekt forkastningsplan. Personer for skala. (b) Innsynkningshull og avlang morfologisk depresjon vitner om b	linde
ensjonssprekker i undergrunnen. Begge bilder illustrerer NV-SØ ekstensjonsprodukter.	56
Figur 47: Strukturdata for Giilavarri. Fjellsiden er svært oppsprukket og fragmentert i blokker. Det var derfor kun mulig å samle inn j	gode
strukturdata nær toppen av fjellet. Data fra stasjoner GI-1 til GI-6. Se Figur 44 for posisjoner	56
Figur 49: (a) Strukturgeologiske data samlet inn nå to lokaliteter ved Gryta. Se kart ovenfor for plassering av observasjonspunkt.	Viser
sprekkesett J1 & J2 samt foliasjon SF. Alle med beregnet gjennomsnittsverdier; (b) kinematisk analyse viser mulighet for planutglidning	58
Figur 50: Bilder fra enkel befaring av Gryta. (a) høyvinklet sprekk med kvartsmineralisering. Demonstrerer hvordan ung deforma	asjon
benytter allerede eksisterende bruddstrukturer. Åpning ca 20 cm; (b-d) kraftig oppsprukket blokkfelt med klippekanter opptil 5m høye.	Foto
att ved GRY-4. Foliasjonen faller ca 21 grader mot sjøen og stryker 182 grader i hele området, som vist på stereonettet. Sprekkesyste	emet
carakteriseres av to konjugerte sprekkesett; (e) bakskrent set i leit; (f) bakskrent med eksponen last ijen i nengolokk (nøyre bidekant).	39 råder
samsvarer med områder med ur. (b) Oversiktsfoto fra www.norgeibilder.no. I områder brattere enn 23 grader er det kinematisk mulig	med
planutglidning langs foliasjonsplanet. Merk tungen av tidligere utrast materiale som har stoppet i fjellsiden (hvit pil)	60
Figur 52: Volum er ikke beregnet og dermed er ikke Scheideggerkurven benyttet. Men massene vil etter all sannsynlighet nå fjorden ve	ed en
utrasning dersom stort nok volum løsner i en hendelse. Mindre tunger av rasmateriale fra tidligere utrasning har stoppet i skråninger	n, se
figur 51(b) Figur 52: Kart og flyfoto over Hongfiellet. Avmerket: hovedlinismenter og dCDS pynkt. EDS InSAD dete 1002-2000. Se teket for detelje	60 or 61
Figur 53. Kait og nytoto over Hengijenet. Avmerket, novedninjamenter og dor 5-punkt. EKS mSAK data 1992-2000. Se tekst for detaije Figur 54: dGPS data for Hengfiellet 2009-2010. Ingen signifikante endringer	62
Figur 55: Kart og flyfoto over Humpen. Avmerket: posisjon for dGPS målepunkt og observasjonspunkt for preliminært feltarbeid 2010.	. Full
analyse av linjamenter og strukturer kommer i 2011/2012.	63
Figur 56: Panorama over baksprekken og hengblokka ved Humpen. Se helikopter for skala. Bildet er tatt mot sørøst. Baksprekken er o	pptil
100m bred og 100m høy	63
rigur 57. Piou over nonsonnale endringer (vensue) og vertikale endringer (nøyre) i dor S-data fra 2008-2010. Den nordøsinge nonso bevegelsen og det vertikale oppløftet som er registrert mellom 2009/2010 antas n.t. å være gruppet målefeil. Merk: vertikale endri	inger
knytter det seg store usikkerheter til pga tekniske og matematiske begrensninger i måleutstyr og metodikk. De vertikale endringene må d	erfor
sees som indikasjoner og ikke faktiske bevegelser	66
Figur 58: ERS InSAR data fra Humpen mellom 1992-2000.	67
Figur 59: Kart og flytoto over indre Nordnes. Avmerket: novedlinjamenter, dGPS-punkt og skanneposisjoner for ildar. EKS inSAK	data
Figur 60: Venstre: Radarsat-2 data ©CSA, levert av Norsk Romsenter/KSAT 2010; Høyre: TerraSAR-X data ©DLR 2010	69
Figur 61: Terrengmodell fra lidarskanning. 2009 datasett i grått, 2010 datasett i rødt. Posisjonene hvor skanning ble utført er vist (200	09 er
grønn, 2010 er blå)	69
Figur 62: Kart og flytoto over Kjellerkampen med ERS InSAR data. Avmerket: hovedlinjamenter og observasjonspunkt. Se tekst for deta	aljer.
Figur 63: (a) fra www.norgei3d.no : (b) helikopterfoto. Avmerket med pil: mulig bergartsgrense : (c) venstrerettet bevegelse på sp	70 vrekk
indikert ved pull-apart. Bevegelsen er parallell med fallretningen til foliasjonen ; (d) blokker sklir på foliasjonen nedover fjellsiden og sa	mles
opp i en stor ur høyt i fjellsiden; (e) ansamling av blokker som har sklidd nedover fjellsiden på foliasjonen og stanset. Blokkfeltet kan	også
kjenkjennes i midt i bilde (b).	71
rigur 64: Karl og hyfolo over Lavan. Avmerket: posisjon for dGPS, observasjonspunkt i felt, EKS satentidata 1992-2000	J Og 72
Figur 65: Venstre: Baksprekk i Låvan-området; merk skråstilt topp av blokk til høyre (sør) for baksprekken;	73
Figur 66: Sprekkedata fra Låvan (N=82, konturert) og glideplan og lineasjoner fra baksprekken (fremstilt som slip-linear plott, rødt). I	Røde
punkter representerer poler til glideplan og linjen representerer trenden til lineasjonen på planet. Et større antall sprekker er parallelle	med
baksprekken, som i sin tur ble utviklet langs et nedarvet glideplan, Høyre: grøft i urmateriale avsatt i forkant av baksprekken	73
Figur 67: Kalt og flytolo over Nordnes. Avinerket: hovedninjamenter og dor S-punkt. EKS filSAK data 1992-2000 Figur 68:Korteste-avstand-analyse av Nordnes. (a) 2007-2010 datasett: (b) 2009-2010; (c) og (d) er detaljutsnitt av områdene som forfl	74 lvtter
seg raskest i (a) & (b) respektivt.	75
Figur 69: Venstre: Radarsat-2 data ©CSA, levert av Norsk Romsenter/KSAT 2010; Høyre: TerraSAR-X data ©DLR 2010	76
Figur 70: "Vandring" av InSAR-utslag fra 1992-2000 og 2008-2010 måleserier. Radarsat-2 data ©CSA, levert av Norsk Romsenter/K	SAT
2010; TerraSAR-X data ©DLR 2010	76
hovedlinjamenter og observasjonspunkt (blå bokser). Se tekst for detaljer. Oksfjellet 2 (tidligere Kåfjord Midt) (Id 1081) er også avmerka	et 77
Figur 72: dGPS data for Oksfjellet 2003-2010. Venstre grafer: horisontal forflytning; høyre grafer: vertikal forflytning	80
Figur 73: Øverst: hvite streker visualiserer koblingsramper dannet på grunn av strekning; nederst: ustabil blokk og graben. Helikopte	er og
pilot for skala på begge bilder	81
rigur /4: Presentasjon og analyse av innsamlede strukturdata 2010. Foliasjonen er konsistent over hele området med unital observasjonspunkt KAE-10. Dette punktet er tatt i en koblingsramme i grabenen og denne rotasjonen er som forventet. Sprakkage	K av
muliggjør utvelting, men dette sprekkesettet er ikke veldig fremtredende i målingene for den ustabile blokken	82
Figur 75: Mellom 1977 og 2006 er det ingen tilsynelatende stor endring i horisontal forflytning av hengblokken, muligens med unnta	ık av
utrasning av løse blokker i den østlige delen av området.	83
rigur 76: Skyggelagt terrengmodell fra punktskyen til lidarskanningen fra 2009. Avmerket er skanneposisjoner for 2008 (rød), 2009 (gr og 2010 (blå) Koordinater er i UTM 34N	(ønn) ۱ ه
5 2010 (cm). Robulation of 1 0 111 571,	04

de to punktskyene. Positive verdier betyr at datapunktene er over eller i front av referansen (for eksempel pga en forflytning fremover av fjellmassene), negative verdier betyr at datapunktene er bakenfor eller under referansen, og kan for eksempel tolkes som en vertikal Figur 80: Øverst: data fra TerraSAR-X. Forstørret område: viser bakskrent, grabenområdet og den ustabile blokken. Legg merke til hvordan InSAR verdiene endrer seg over området. Nederst: ERS InSAR data. Verdiene er ikke representative som reelle hastighetsverdier, men bør Figur 82: Kart og flyfoto over Revdalsfjellet. Avmerket: hovedlinjamenter og dGPS-punkt. ERS InSAR data 1992-2000. Se tekst for detaljer. Figur 84: InSAR data fra de ulike satellittene. Radarsat-2 data @CSA, levert av Norsk Romsenter/KSAT 2010; TerraSAR-X data @DLR Figur 87: Tolket avstandsfoto av Rotvåg. Flere utglidninger danner et kompleks mønster av hengblokker. Fargekoding er likt som i Figur 88. Figur 88: Terrengmodell fra www.norgeibilder.no. Gule linjamenter: tolkede bruddlinjamenter og morfologiske linjamenter. Orange polygoner: ERS InSAR anomali som vist i Figur 27. Blå polygoner 1-3: terrasser med opprinnelig vegetasjonsoverflate som har sklidd ned Figur 90: Helikopterfoto over Skognes. Avmerket: utsiktspunkt for rekognosering, nylig steinssprangaktivitet (gul) og rektangel som Figur 91: Panorama sett fra utkikkspunktet avmerket i Figur 90. Innsirklet: mulig fremtidig steinsprang eller steinskredmateriale. Hvite piler: Figur 92: Kart og flyfoto over Staluvarri. Hovedlineamenter og en del mindre lineamenter er avmerket sammen med observasjonspunkt. Se Figur 93: a) Synkehull i talus langs en av flere NØ-SV-strykende skrenter i nordlige deler av Staluvarri. Hull og grøfter i blokkhav og talus er svært vanlige i fjellsida og indikerer sprekker i undergrunnen. b) Forkastningsplanet som deler det midtre og sørligste segmentet av Staluvarri kan sees som et tydelig lineament i Figur 92. Forkastningen kutter hovedfoliasjonen og er karakterisert av et flak med forkastningsbergart. Dette er dekortert med lineasjoner som viser en tidligere tektonisk transportretning og årer av pseudotachylitt (friksjonssmelte; svarte stikk i c) som viser at forkastningen har hatt seismisk aktivitet (jordskjelv) i løpet av sin historie. (d) viser blokkhav med grøfter sør for forkastningen i b; InSAR-dataene viser at dette området beveger seg med opp til 5 med mer pr. år (Figur 92). e) "Trappetrinnsmorfologi" der deler av skredet er delt opp i blokker begrenset av steile sprekker som er subparalelle med baksprekken og med strøket til fjellsida. d) viser en større enkeltblokk i nedre deler av Staluvarri til høyre i bildet, og en markant, flere meter høy skrent/glideplan sørvest for denne. Ur i forkant av blokka, samt oppsprukken berggrunn nordøst for blokka er i bevegelse i henhold til InSAR-data (se Figur 95: Kart og flyfoto over Storhaugen 2. Avmerket: ERS INSAR data 1992-2000, sted hvor lidar skanning ble foretatt, hovedlinjamenter og observasjonspunkt for strukturgeologiske målinger. Rød pil indikerer løs blokk observert fra helikopter og av lokalbefolkning. Se tekst for hengblokker nedover, hver med eget glideplan. Hvorvidt det finnes et underliggende kontrollerende glideplan er ikke kjent....... 101 Figur 97: Storhaugen 3 fra helikopter. Merk svart pil som viser plasseringen av den ustabile blokken registrert av lokalbefolkningen. Det blir sagt at baksprekken til blokka har utvidet seg de siste årene...... 101 Figur 98: Strukturelle observasjoner. (a) sprekkemønster av samme karakter som ved Gamanjunni 2 & Gamanjunni 3 dominerer hele fjellpartiet mellom Gamanjunni 2&3 og Storhaugen 2, se linjamentene i Figur 95. Disse danner kileutglidningssoner for blokkfall. Bilde tatt ved STO-2; (b) innsynkningshull ved STO-4. Mose er avrevet, hullet fremstår som relativt ferskt. To innsynkningshull ligger på en rett linje nord-sør. Diameter ca 1,5m; (c) glideplanet til den øverste hengselforkastningen. Fjellveggen er frisk uten vegetasjon. Interne forkastninger Figur 100: Skyggemodell av høydemodell generert fra punktskyen til lidarskanningsdataene. A og B: skanningsposisjoner i 2010. Høyre: Figur 101: Radarsat-2 (2008-2010) og TerraSAR-X (2009-2010) viser en pågående deformasjon i hele fjellsiden mellom Storhaugen og Figur 102: Kart og flyfoto over Vassnestind. Avmerket: ERS INSAR data 1992-2000, hovedlinjamenter og observasjonspunkt for Figur 105: Et område ved (a) fremviser flere ramper og hengselforkastninger. Dette området er i bakkant av hovedbaksprekken, og indikerer Figur 107: Ved (c) observerer vi en grøft mellom ura av blokkmateriale og bruddkanten som tilhører hovedbaksprekken (observasjonspunkt Figur 108: Ved (d) ser vi transverse rygger i terrenget. Disse betegnes ofte som antiskrenter (Gutiérrez-Santolalla et. al, 2005). ...... 108 Figur 109: terrengmodell fra www.norgei3d.no. Legg merke til hvordan kystlinjen avbøyes markant utenfor alle de stedene der Figur 110: Seismiske boomerdata fra kystlinjen rett utenfor Vassnestind. To linjer er vist. Tekst for detaljer. Rosa linje: tolket fjelloverflate, Figur 111: Kystparallell seismisk linje viser en svært ujevn sjøbunn med svært dårlige reflektorer. Dette kan indikere skredmasser uten en 

# TABELLER

Tabell 1: Oversikt over tidligere arbeider. Med forbehold om mangler	1
Tabell 2: progresjon dag for dag	2
Tabell 3: Definisjoner på de ulike kartleggingsnivåene objektene er delt inn i1	3
Tabell 4: Oversikt over kjente mulig ustabile fjellsider i Troms pr 1. desember 2010, gruppert etter kommune. Oppgitt er også publikasjonså	ír
for tidligere omtale av objektene i NGU-rapporter, samt tidligere benyttede navn på objektene1	5
Tabell 5: dGPS data samlet inn for Dorrisdalen 2008-2010	7
Tabell 6: dGPS data samlet inn for Dusnjarga 2007-2010	9
Tabell 7: dGPS data samlet inn for Gamanjunni 1 mellom 2007-2010	2
Tabell 8: dGPS data samlet inn for Gavtavarri 2008-20105	1
Tabell 9: dGPS data samlet inn for Hengfjellet 1 2009-2010	1
Tabell 10: dGPS data samlet inn for Humpen 2008-2010	4
Tabell 11: dGPS data samlet inn for Låvan 20107	2
Tabell 12: dGPS data samlet inn for Oksfjellet 2003-20107	8
Tabell 13: dGPS data samlet inn for Revdalsfjellet 1&2 2005-2010	1

#### VEDLEGG

V.1 Resultater og analyser TLS Lidar skanning Troms 2010	
General methodology	
Brosmebakktuva	
Gammanjunni 3	
Gavtavarri	
Indre Nordnes	
Oksfjellet	
Nordnesfjellet	
Storhaugen	

#### FORORD / INNLEDNING

Denne rapporten omhandler arbeidet utført gjennom prosjektet Risiko og sårbarhetsanalyse (ROS) for fjellskred i Troms, og resultater og status i etterkant av feltarbeidet utført i august 2010. Planer for kommende år trekkes opp avslutningsvis. Halvor Bunkholt overtok etter Iain Henderson som ny prosjektleder 1. januar 2010. Etter hvert som dette prosjektet har utviklet seg har antallet kjente ustabile fjellsider økt i takt med utvidet kartlegging. En særlig økning skjedde ved innføring av fjernanalyse basert på ERS Insar data. Tiden er derfor inne for en oppsummering av tidligere arbeider, samt å tydeliggjøre databasen for de ustabile fjellsidene som følges opp gjennom dette prosjektet.

Denne rapporten inneholder derfor referanser til tidligere års produksjoner, samt en komplett liste over de hittil ustabile fjellsidene. Tre av lokalitetene har i år fått endret sitt lokalitetsnavn i tråd med ønsker og råd fra lokalbefolkningen august 2010. Som grunnlag for ny navnsetting benyttes kart N50 fra Statens Kartverk.

NGU mener det vil være formålstjenelig å innføre en seksdelt gruppering av de ustabile fjellsidene sin status når det gjelder hvor mye arbeid som er utført på hver enkelt. Dette er oppsummert i Figur 1 og Tabell 3.

#### Hvordan lese rapporten:

*Kapittel 5– Kort sammendrag pr lokalitet*, inneholder en kort oppsummering av de viktige konklusjonene for hver lokalitet. Dette kapittelet er ikke skrevet i en teknisk språkdrakt, men inneholder de vesentlige hovedkonklusjonene tilgjengeliggjort for ikke-geologer. Noen få lokaliteter er kun omtalt i kapittel 5, og i de tilfellene er skisser og figurer inkludert i det kapitlet.

*Kapittel 6– Resultater og detaljert beskrivelse pr lokalitet*, presenterer alle opplysninger for hver lokalitet etter feltarbeid og analyse av data. Dette kapittelet er skrevet i et teknisk språk for geologer, og er ment for fremtidig dokumentasjon dersom et slikt behov melder seg.

Vedlegg V.1 Resultater og analyser TLS Lidar skanning Troms 2010 er skrevet på engelsk og inneholder detaljerte analyser av lidardataene. Dette vedlegget inkluderes for fremtidig dokumentasjon for geologer, og er derfor ikke oversatt til norsk.

## 1. OVERSIKT OVER TIDLIGERE ARBEIDER

Tabell 1: Oversikt over tidligere arbeider. Med forbehold om mangler.

År	Tittel	Dokumenttype	Utgiver	Dato
1954	- Finn Jørstad rapport	Rapport	Finn Jørstad	
1987	- NGI rapport 85441-1 Brosmebakktuva, Ullsfjord, Stabilitetsundersøkelser	Rapport	NGI	3.08.1987
2000	<ul> <li>Neotectonic faulting in northern Norway; the Stuoragurra and Nordmannvikdalen faults</li> <li>NGU Rapport 2000.02 Gravitational-slope failures in Troms: Indications of palaeoseismic activity?</li> </ul>	Vitenskapelig artikkel Rapport	Quaternary science reviews 19, 1447-1460 NGU	
2001				
2002	- Store fjellskred i Troms	Populærvitenskapelig artikkel	Ottar 241, 25-33	
2003	<ul> <li>NGI Rapport 82442-9 Storsteinen, Tromsdalen - vurdering av måledata</li> <li>Rock slope failures in Norwegian fjord areas: examples, spatial distribution and temporal pattern</li> </ul>	Rapport Vitenskapelig artikkel	NGI NATO	17.12.2003
2004	<ul> <li>NGU Rapport 2004.012 Geofysiske målinger av Nordnesfjellet, Kåfjord kommune Troms</li> </ul>	Rapport	NGU	
	<ul> <li>Rock-slope failures of Norway; type, geometry, deformation mechanisms and stability</li> </ul>	Vitenskapelig artikkel	Norwegian Journal of Geology 84. 67-88	
2005	<ul> <li>NGU notat 2005 Forprosjekt for fjellskred i Troms - Aktiviteter for 2005</li> <li>NGU notat 2005 foreløpig notat: ustabile fjellparti ved Nordnes og i Kåfjorddalen</li> </ul>	Notat Notat	NGU NGU	? 21.01.2005
2006	<ul> <li>Rapport om deformasjonsmålingar i Troms 2003-2006</li> <li>NGU Rapport 2006.084 Skredkartlegging i deler av Balsfjord kommune, Troms</li> </ul>	Rapport Rapport	Universitetet i Oslo NGU	19.12.2006
	<ul> <li>NGU Rapport 2006.040: Forprosjekt fjellskred i Troms – Status 2005</li> <li>NGU notat 2006 Forprosjekt fjellskred i Troms - forslag til arbeid i 2006</li> </ul>	Rapport Notat	NGU NGU	12.05.2006

2007	<ul> <li>Rapport om deformasjonsmålingar i Troms 2003-2007</li> <li>NGU Rapport 2007.041 Fjellskredkartlegging i Troms</li> <li>NGU Rapport 2007.070 Bakgrunnsinformasjon for oppbygning av flodbølgeanalyse ved Nordnesfjellet, Troms</li> <li>Norut ranort 1/369/2007. Deformasjonskart av Nordnes-området i Kåfjord</li> </ul>	Rapport Rapport Rapport	Universitetet i Oslo NGU NGU	04.12.2007 Mai 2007 05.12.2007
	for perioden 1992-1999 basert på interferometrisk analyse av historiske radarsatellittdata			
2008	<ul> <li>NGU Rapport 2008.024 Geofysiske målinger på Nordnesfjellet sommeren 2007. Kåfjord kommune, Troms.</li> </ul>	Rapport	NGU	18.06.2008
	- NGU Rapport 2008.025 ROS Fjellskred i Troms: statusrapport 2007	Rapport	NGU	02.07.2008
	<ul> <li>NGI Rapport 200771667-1 Flodbølger etter mulig fjellskred, Nordnes, Lyngen kommune - Beregning av mulige fjellskred og flodbølger</li> </ul>	Rapport	NGI	23.01.2008
	<ul> <li>The Nordnes rockslide - analysis of monitoring data and deformation mechanisms</li> </ul>	Msc avhandling	NTNU	
2009	- Rapport om deformasjonsmålingar i Troms 2003-2008	Rapport	Universitetet i Oslo	11.02.2009
	<ul> <li>NGU Rapport 2009.023 ROS Fjellskred i Troms: Status og planer</li> </ul>	Rapport	NGU	31.03.2009
	<ul> <li>NGU Rapport 2009.026 Faren for fjellskred fra Nordnesfjellet i Lyngenfjorden, Troms</li> </ul>	Rapport	NGU	14.05.2009
	<ul> <li>Active normal fault control on landscape and rock-slope failure in northern Norway</li> </ul>	Vitenskapelig artikkel	Geology, Vol 37, 2009	
2010	- Rapport om deformasjonsmålingar i Troms 2003-2009	Rapport	Universitetet i Oslo	02.08.2010
	<ul> <li>Analysis of groundbased Lidar data from Troms County (Norway)</li> </ul>	Rapport	University of Lausanne	Mars 2010
	<ul> <li>NGU Rapport 2010.021 ROS Fjellskred i Troms: status og planer 2010</li> </ul>	Rapport	NGU	31.03.2010
	<ul> <li>The relationship between particle characteristics and frictional strength in basal fault breccias: implications for fault rock evolution and rockslide</li> </ul>	Vitenskapelig artikkel	Tectonophysics, Vol 486, 2010	
	<ul> <li>Fault-controlled alpine topography in Norway</li> </ul>	Vitenskapelig artikkel	Journal of the Geological Society, London, Vol 167, 20	010
	<ul> <li>Detailed rockslide mapping in northern Norway with small baseline and persistent scatterer interferometric SAR time series methods</li> </ul>	Vitenskapelig artikkel	Remote sensing of environment 114, pp 2097-2109	
	<ul> <li>Permafrost influence on the active Nordnes rockslide</li> </ul>	Extended abstract	EUCOP Frost i jord 2010	
	<ul> <li>Statistical analysis of seasonal displacements at the Nordnes rockslide, northern Norway</li> </ul>	Vitenskapelig artikkel	Engineering Geology, 114, 228–237	
2011	<ul> <li>A structural, geomorphological, and InSAR study of an active rock slope failure development</li> </ul>	Vitenskapelig artikkel	Slope Tectonics, Geological Society of London Special Publication, 351, 185-189	

# 2. TIDSBRUK OG UTFØRELSE

Feltarbeidet foregikk fra 9.8.2010 til 20.8.2010. Lavt skydekke og snø flere dager gjorde flyving med helikopter i høyden umulig disse dagene. Med base på Løkvoll i Manndalen forløp arbeidet som følger:

#### Tabell 2: progresjon dag for dag



Vi fikk dermed i løpet av årets feltsesong befart 12 nye lokaliteter, hvorav 4 er rekognosert på avstand. dGPS er installert på èn ny lokalitet, og 3 nye lokaliteter er skannet med Lidar for første gang.

# 3. REGIONAL OVERSIKT

Dette kapittelet gir en oversikt over de kjente ustabile fjellsidene i Troms pr 1. desember 2010, og viser hvilke fjellsider som ble befart i 2010.



Figur 1: Kjente potensielt ustabile fjellsider i Troms Fylke pr 1. desember 2010. I alt 103 objekter.

#### Tabell 3: Definisjoner på de ulike kartleggingsnivåene objektene er delt inn i.

★	Kontinuerlig overvåkning	Permanente installasjoner montert på fjellet. Sender data direkte til beredskapssenter
•	Periodisk overvåkning	dGPS, Lidar, InSAR eller andre måledata samles inn periodisk (ett til flere års periode)
0	Detaljkartlagt	Omfattende strukturell datainnsamling for utvikling av en kinematisk modell, forståelse av de avgrensende strukturer, estimat på utløpsrekkevidde og volum. Bør inkludere lidarskanning
0	Enkelt befart	Enkel feltkartlegging og begrenset innsamling av strukturelle data. En overordnet forståelse av fjellsidens tilstand som muliggjør videre vurdering
$\bigcirc$	Rekognosert	Studert fra helikopter eller fra avstand i felt. Ingen kartlegging i felt
$\bigcirc$	Ikke befart	Punktet er antatt ustabilt basert på fjernanalyse fra flyfoto eller satellittdata, eller informasjon fra andre kilder. Venter på befaring eller rekognosering



Figur 2: Lokaliteter som ble befart i løpet av feltarbeidet 2010 er markert i blått. Enten kun dGPS-innmåling, kun geologisk kartlegging, kun lidarskanning, eller kombinasjoner av disse. Se dedikerte avsnitt pr lokalitet i kapittel **6** for detaljer. Gul trekant: feltbasen på Løkvoll ytterst i Manndalen.

Tabell 4: Oversikt over kjente mulig ustabile fjellsider i Troms pr 1. desember 2010, gruppert etter kommune. Oppgitt er også publikasjonsår for tidligere omtale av objektene i NGU-rapporter, samt tidligere benyttede navn på objektene.

Kommune	Id nummer	Navn på ustabilt	Status pr november 2010	Tidligere rapportert av NGU		NGU	Tidligere brukte navn		
		objekt		(rapportår for NGU rappor		port)			
Balsfjord	1076	Henriktinden	Ikke befart						
Balsfjord	1039	Høltinden	Ikke befart						
Balsfjord	1038	Kvittinden	Ikke befart						
Balsfjord	1102	Kvittinden 2	Ikke befart						
Balsfjord	1041	Laksvatnfjellet	Detaljkartlagt			2008	2009	2010	
Balsfjord	1040	Raudtindan	Ikke befart						
Ibestad	1093	Hallen	Ikke befart						
Ibestad	1074	Reintinden	Rekognosert						
Kvæfjord	1069	Reinfjellet	Periodisk overvåkning	2006	2007	2008			
Kvæfjord	1068	Rundhaugen	Ikke befart						
Kvæfjord	1066	Skjelltinden 1	Periodisk overvåkning	2006	2007	2008	2009	2010	
Kvæfjord	1065	Skjelltinden 2	Ikke befart	2006	2007	2008	2009	2010	
Kvæfjord	1067	Storåstinden	Ikke befart						
Kvænangen	1044	Dusnjarga	Periodisk overvåkning			2008	2009	2010	Låvan Øst (2008)
Kvænangen	1082	Låvan	Periodisk overvåkning						
Kvænangen	1010	Vassnestind	Enkelt befart						
Kåfjord	1061	Brustraum	Enkelt befart					2010	
Kåfjord	1013	Ceallu	Rekognosert						
Kåfjord	1053	Doronelva	Enkelt befart					2010	
Kåfjord	1027	Gamanjunni 1	Periodisk overvåkning			2008	2009	2010	Gamanjunni (2008, 2009)
Kåfjord	1028	Gamanjunni 2	Enkelt befart					2010	
Kåfjord	1064	Gamanjunni 3	Periodisk overvåkning					2010	
Kåfjord	1048	Gavtavarri	Periodisk overvåkning				2008	2009	
Kåfjord	1052	Giilavarri	Enkelt befart				2009		
Kåfjord	1025	Hengfjellet 1	Periodisk overvåkning					2010	
Kåfjord	1096	Hengfjellet 2	Ikke befart						
Kåfjord	1097	Hengfjellet 3	Ikke befart						
Kåfjord	1098	Hengfjellet 4	Ikke befart						
Kåfjord	1099	Kjerringdalen	Ikke befart						
Kåfjord	1002	Indre Nordnes	Kontinuerlig overvåkning	2006	2007	2008	2009	2010	
Kåfjord	1016	Kråketinden	Periodisk overvåkning			2008	2009	2010	
Kåfjord	1081	Oksfjellet 2	Periodisk overvåkning		2007		2009	2010	Kåfjord 2 (2006), Oksfjellet 1, Kåfjord Midt
Kåfjord	1008	Langsnøen	Periodisk overvåkning	2006	2007	2008	2009	2010	Kåfjord 1 (2006), Langsnøen, Kåfjord Nord
Kåfjord	1007	Oksfjellet	Periodisk overvåkning	2006	2007	2008	2009	2010	Kåfjord 2 (2006), Oksfjellet,Kåfjord Sør
Kåfjord	1046	Litledalen	Enkelt befart			2008			
Kåfjord	1092	Midtre Nordnes	Detaljkartlagt		2007				Nordnesfjellet 2
Kåfjord	1047	Nomedalstinden	Detaljkartlagt				2009		
Kåfjord	1054	Nordmannviktinde	Enkelt befart					2010	
Kåfjord	1001	Nordnesfjellet	Kontinuerlig overvåkning	2006	2007	2008	2009	2010	Jettan, Hættankollen
Kåfjord	1062	Olmmavarri	Rekognosert				2009		

Kommune	Id nummer	Navn på ustabilt	Status pr november 2010	Tidligere rapportert av NGU	Tidligere brukte navn
		objekt		(rapportår for NGU rapport)	
Kåfjord	1020	Revdalsfjellet 1	Periodisk overvåkning	2006 2007 2008 2009 2010	
Kåfjord	1021	Revdalsfjellet 2	Periodisk overvåkning	2010	
Kåfjord	1022	Revdalsfjellet 3	Enkelt befart	2010	
Kåfjord	1023	Revdalsfjellet 4	Enkelt befart	2010	
Kåfjord	1024	Revdalsfjellet 5	Enkelt befart	2010	
Kåfjord	1015	Ruovddasvarri	Periodisk overvåkning	2008 2009 2010	
Kåfjord	1009	Skognes	Enkelt befart		
Kåfjord	1055	Staluvarri	Enkelt befart	2009	
Kåfjord	1090	Storhaugen 1	Ikke befart		
Kåfjord	1014	Storhaugen 2	Periodisk overvåkning		
Kåfjord	1091	Storhaugen blokk	Rekognosert		
Lavangen	1037	Spanstinden	Ikke befart		
Lyngen	1086	Pollfjellet	Rekognosert	2008	
Nordreisa	1035	Brattfjell	Enkelt befart		
Nordreisa	1030	Dorrisdalen	Periodisk overvåkning	2009 2010	
Nordreisa	1075	Dorrisdalen 2	Rekognosert		
Nordreisa	1036	Kjellerkampen	Enkelt befart		
Nordreisa	1031	Mellomfjellet 1	Enkelt befart	2010	
Nordreisa	1083	Mellomfjellet 2	Enkelt befart	2010	
Nordreisa	1034	Rajajoki 1	Enkelt befart	2009	
Nordreisa	1095	Rajajoki 2	Ikke befart		
Skjervøy	1088	Gryta	Enkelt befart		
Skjervøy	1089	Rotvåg	Rekognosert		
Skånland	1072	Svellen 1	Rekognosert		
Skånland	1073	Svellen 2	Rekognosert		
Skånland	1070	Svellen 3	Rekognosert		
Skånland	1071	Svellen 4	Rekognosert		
Storfjord	1012	Bogen	Ikke befart		
Storfjord	1056	Elsnesdalen	Ikke befart		
Storfjord	1029	Fallsnesfjellet 1	Enkelt befart		
Storfjord	1100	Fallsnesfjellet 2	Ikke befart		
Storfjord	1101	Fallsnesfjellet 3	Ikke befart		
Storfjord	1005	Heimgardsberget	Ikke befart		
Storfjord	1032	Horsnesfjellet	Rekognosert		
Storfjord	1094	Horsnesfjellet 2	Ikke befart		
Storfjord	1004	Humpen	Periodisk overvåkning	2009 2010	
Storfjord	1060	Jorbaavarri	Ikke befart		
Storfjord	1058	Kortelvskardet A	Ikke befart		
Storfjord	1057	Kortelvskardet B	Ikke befart		
Storfjord	1085	Mannfjellet 1	Ikke befart		
Storfjord	1084	Mannfjellet 2	Ikke befart		
Storfjord	1006	Mannfjellet 3	Ikke befart		
Storfjord	1011	Måskogaisi	Ikke befart		
Storfjord	1003	Paras	Enkelt befart	2009	
Sørreisa	1019	Skredtinden	Rekognosert		
Tromsø	1017	Brosmebakktuva	Periodisk overvåkning	2006 2007 2008	
Tromsø	1077	Brosmebakktuva B	Ikke befart		
Tromsø	1042	Flatsteinfjellet	Enkelt befart		
Tromsø	1080	Kavlbergåsen	Ikke befart		
Tromsø	1059	Nakkefjellet	Ikke befart		
Tromsø	1049	Piggtind A	Rekognosert		
Tromsø	1050	Piggtind B	Rekognosert		
Tromsø	1051	Piggtind C	Rekognosert	2009	
Tromsø	1026	Ragnhildurtind	Periodisk overvåkning	2006 2007 2008	
Tromsø	1043	Skarveknausen	Enkelt befart		
Tromsø	1087	Skredan	Ikke befart		
Tromsø	1063	Smalaktinden	Ikke befart		
Tromsø	1045	Storsteinen	Periodisk overvåkning	2007 2008 2009 2010	
Tromsø	1018	Stortuva	Ikke befart		
Tromsø	1078	Stortuva B	Ikke befart		
Tromsø	1079	Stortuva C	Ikke befart		
Tromsø	1033	Svarthammar	Enkelt befart	2007	
Tromsø	1103	Svarthammar 2	Ikke befart		

#### 4. Metodikk

I dette kapittelet presenteres metodikken som er blitt benyttet i kartleggingen og analysene i denne rapporten. Alle strukturdata oppgis i fallretning/fall dersom annet ikke spesifiseres i hvert tilfelle.

#### 4.1 InSAR

I årets rapport har NGU benyttet Insar data fra følgende satellitter:

ERS InSAR: satellittdata samlet inn mellom 1992 og 2000. Oppløsning pr piksel er om lag 20x4m på bakken (fotavtrykket) og omløpstiden er 25 dager. Satellitten skanner i hovedsak vestvendte fjellsider. Pikselverdiene (f.eks -5 mm/år) fra ERS-dataene skal ikke tolkes som et mål på den virkelige forflytningen, da det ikke er påvist noen god sammenheng mellom pikselverdiene og faktisk målt forflytning fra dGPS data. ERS dataene benyttes som relative data, dvs at innenfor samme fjellside undersøkes det for større ulikheter mellom områder, og da særlig innenfor og utenfor sprekker eller linjamenter observert i felt eller på flyfoto. Dersom dette finnes er det et tegn på at det er bevegelse i området.

<u>RADARSAT-2</u>: satellittdata samlet inn fra sommeren 2008-2010 i deler av feltområdet. Denne satellitten gir høyoppløselige data med en oppløsning pr piksel på 2.2x2.2m i ultra-fine-mode, og 8,9x4,8 m i fine mode. Omløpstid er 25 dager. Satellitten samler inn data både i stigende og synkende bane, og kan dermed skanne både østvendte og vestvendte fjellsider. De stedene hvor dataene er samlet inn har vi inkludert dem i rapporten.

<u>TerraSAR-X</u>: satellittdata samlet inn fra sommeren 2009-2010 i deler av feltområdet. Denne satellitten gir høyoppløselige data med en oppløsning pr piksel på 1,9x1,9m, og en omløpstid på 12 dager. Satellitten samler inn data både i stigende og synkende bane, og kan dermed skanne både østvendte og vestvendte fjellsider.

## 4.2 dGPS

dGPS målinger gjennomføres årlig eller med flere års intervaller. I denne rapporten vil vi gi resultater fra målinger av antatt ustabile målepunkt målt i forhold til et definert fastpunkt for hver fjellside. Fra disse målingene beregnes gjennomsnittlig bevegelseshastighet mellom første og siste måling. Hver enkelt måling vurderes som signifikant eller ikke signifikant. Med signifikant i denne sammenhengen menes at forflytningen mellom to målinger er høyere enn usikkerheten til metoden, basert på et standardavvik av estimerte koordinater. Det benyttes et signifikansnivå på 3 standardavvik (99 % sannsynlighet). Dette vises på grafene for dGPS målingene som grønne og røde markører. Vertikale deformasjoner har en ekstra usikkerhet fra atmosfæriske variasjoner, og signifikansnivået er derfor ofte anslått å være for lavt.

Vi innfører to begreper for å betegne kvaliteten på dataene som tolkes i sammenheng med gravitasjonskontrollert bevegelse i ustabile fjellsider:

- a) "sikker gravitativ bevegelse"
- b) "usikker gravitativ bevegelse"

(a) "sikker gravitativ bevegelse" kan benyttes dersom deformasjonen av målepunktet følger en trend over flere år. Dersom bevegelsesmønsteret fra dGPS-målingene varierer sterkt fra år til år uten at et systematisk mønster etablerer seg, benyttes (b) "usikker gravitativ bevegelse." Bevegelsene fremviser da en kaotisk spredning av målinger, eller at målinger gjort påfølgende år reverserer hverandre. Dette kan oppstå som følge av meteorologiske forhold under måletidspunktet som påvirker flyruten til satellittsignaler eller fører til termisk utvidelse eller åpning og lukking av sprekker på grunn av endring av poretrykk.

For hvert innmålt område vil det gis en anbefaling for fremtidige måleintervaller basert på den observerte deformasjonshastigheten.

#### 4.3 Utløpsanalyse

For å beregne en antatt utløpslengde for enkelte av lokalitetene har det blitt benyttet en empirisk matematisk modell basert på Scheideggerkurven fra 1973. Denne kurven benytter to koeffisienter (a & b) fastsatt ved studier av fjellskredavsetninger internasjonalt, se nedenfor. Ved å sammenholde utløpslengden L med høyden H til kildeområdet kunne Scheidegger finne volumet V av fjellskredet.

Scheidegger (1973): 
$$\boxed{\log \frac{H}{L} = a \cdot \log V + b}$$
  
Løser ut for utløpsrekkevidde  
som funksjon av volum og høyde:  $L(H, V) = \frac{H}{10^{(b+6\cdot a)} \cdot V^a}$  [V] = mill m3

Ved å snu formelen og løse ut ved høyden H og volumet V, har vi beregnet utløpsløpslengden L. Høyden H er kjent fra digital terrengmodell (10x10m) og anses som en presis inngangsverdi. Beregningen av volumet V er derimot knyttet til store usikkerheter. Vi ser at alle norske fjellskredavsetninger plotter over Scheideggerkurven, noe som betyr at utløpslengden er kortere enn hva Scheideggerkurven stipulerer, da utløpslengden er omvendt invers med H/L-verdien. En utløpsrekkevidde gitt ved Scheidegger (1973) vil derfor være et konservativt midlertidig estimat i påvente av mer sofistikert utløpsmodellering for dagens ustabile fjellsider i Norge.

For små volumer (om lag 100 000m3 og nedover) mister Scheideggerkurven presisjon. I disse tilfellene har vi benyttet en skyggevinkel på 28,5 grader, dvs at grensen for utløpet strekker seg så langt ut at siktelinjen opp til kildeområdet danner 28,5 grader med horisontalpanet. Verdien 28,5 grader er hentet fra Onofri og Candian (1979) og anses som konservativt.



Figur 3: Scheideggerkurven (blå kurvet linje) og McEwenkurven (lilla rett linje). Punktplottene er datagrunnlaget for Scheideggerkurven, samt alle norske historiske/før-historiske fjellskred basert på kartlegging av utløpslengden til avsetningen og høyden til utløsningsområdet. I tillegg vises også punktplott for de ustabile fjellsidene i Troms som er lagt inn i forbindelse med denne rapporten.



Figur 4: Utløpsanalyse for blokker basert på en skyggevinkel på 28,5° (Onofri and Candian, 1979).

#### 4.4 Lidarskanning

Bakkebasert laserskanning (TLS) er en teknikk hvor laserpulser sendes ut mot et objekt (for eksempel en fjellside). Når laserpulsen reflekteres registreres flytiden tur-retur for laserpulsen og en punktsky dannes som representerer topografien til objektet som er skannet. Rekkevidden til instrumentet benyttet av NGU i dette feltarbeidet (Optech ILRIS-3D) har en rekkevidde mellom 800-1200 meter for fjellsider, avhengig av reflektiviteten til objektet. Den høydetaljerte punktskyen som dannes ved TLS-skanning kan videre benyttes i strukturelle analyser av fjellsiden og som et verktøy for å måle forflytning mellom to målinger adskilt i tid. Nøyaktigheten på målingene er i størrelsesorden 1 cm for direkte måling av enkeltpunkt. Når flere gjentatte målinger sammenlignes og prosesseres øker usikkerheten til opp mot 3 cm for enkeltpunkt. Denne kan så reduseres ved statistisk analyse av flere punkter.

Det er utarbeideet en fullstendig analyserapport fra lidarkampansjen. Denne er skrevet på engelsk, og er lagt ved i vedlegg V.1 Resultater og analyser TLS Lidar skanning Troms 2010. For hver lokalitet som er skannet med lidar er utvalgte figurer og norsk oversettelse av utvalgt tekst fra dette vedlegget inkludert som egne avsnitt i kapittel 6.

# 5. KORT SAMMENDRAG PR. LOKALITET

#### 5.1 Brattfjell (Id 1035)

Brattfjell ligger vestvendt i Reisadalen og er et ustabilt objekt av mindre volum. Brattfjell er ikke tidligere undersøkt. Frontklippen er anslått til ca 70m høy. Det ustabile området kan deles inn i tre hovedblokker (a-c), se kapittel 6.1. Blokk (a) er den største blokken, og viser minst grad av oppsprekking. Det er ikke tydelige tegn til aktiv bevegelse av denne blokken, men feltobservasjoner indikerer at kollaps har inntruffet langs baksprekken til blokk (a) tidligere. Blokkene (b) og (c) er relativt små, men fremstår som svært ustabile. De er separert fra blokk (a) ved større sprekker med opptil 3 m åpning og opptil 5 m vertikal forflytning. Sprekkeflatene faller innover mot fjellet, og en utrasning vil inntreffe ved utvelting av blokkene. Hvordan en utrasing av blokkene (b) & (c) vil destabilisere blokk (a) er ikke kjent. Det antas at blokkene (a) og (b) vil kollapse samtidig. Volumet av (a) og (b) til sammen er anslått til ca 100 000 - 120 000 m3. Totalt volum for (a), (b) og (c) anslås til 500 000m3. Utløpet forventes ikke å utgjøre noen fare for bebyggelsen, men det er en teoretisk sannsynlighet for at bebyggelse kan treffes av massene. Aktsomhetsområdet strekker seg derfor ut tilsvarende. Se kapittel 6.1.5. NGU anbefaler at en mer detaljert utredning av utløpsområde gjennomføres. Det anbefales også oppfølging ved installasjon av strekkstag eller faste jernbolter av typen som vist i Figur 13 for periodisk oppfølging. Det bemerkes at en kollaps antas å inntreffe uten tydelige forvarsel da utvelting er en hovedmekanisme.

## 5.2 Brosmebakktuva (Id 1017)

Brosmebakktuva ligger østvendt i Ullsfjorden i Tromsø kommune mellom Oldervik og Breivikeidet. Brosmebakktuva ble første gang dokumentert i 1987 av NGI. NGU har foretatt geologisk feltarbeid og periodiske innmålinger med dGPS siden 2005. I 2010 ble Brosmebakktuva for første gang skannet med Lidar. Neste innmåling av dGPS-punkter ved Brosmebakktuva er i 2011. Fokus ved Brosmebakktuva har vært hvorvidt "hovedblokken" (se kapittel 6.2) vil kollapse og rase ut i fjorden. En jernbolt ble installert av NGI i 1987 tvers over en sprekk inne på hovedblokken. Denne ble målt i 2010, og viser en åpning på 2 cm. Dette gir en gjennomsnittlig åpning av sprekken på 1 mm/år.

Vi kunne ikke se tegn til bevegelse i hovedblokken. Ute på kanten av klippen er det derimot to løse blokker med volum på 9600 m<sup>3</sup> (blokk A) og 12400 m<sup>3</sup> (blokk B), se Figur 17. Disse er svært ustabile og vil kunne løsne ut uten forvarsel. Sprekken mellom blokkene og hovedvolumet (indikert med rød linje i Figur 15) har blitt rapportert av lokalbefolkning å ha åpnet seg 20 cm mellom 2009 og 2010. Blokk A og B vil etter all sannsynlighet nå helt ned til fjorden ved kollaps, og brytes opp i mindre deler på sin vei ned. NGU anbefaler at disse blokkene følges opp videre av Tromsø kommune.

# 5.3 Ceallu (Id 1013)



Figur 5: Helikopterfoto over Ceallu (venstre). Det gule området samsvarer med InSAR-utslaget vist på ortofoto til høyre. Dypest rød farge: -5mm/år. Blå farge: 0 mm/år.

Ceallu er et gammelt kollapsfelt ytterst i Manndalen, og ble innlemmet i databasen for ustabile fjellsider pga utslaget på ERS InSAR data vist i Figur 5 (høyre). Området er preget av mye ur etter en tidligere utglidning etter siste istid. Ceallu har ikke blitt feltbefart på bakken, men er blitt rekognosert fra helikopter flere ganger Det er ingen indikasjon på at det er noen bevegelser av betydning. ERS satellittdata indikerer bevegelse av et lite parti i forhold til sine omgivelser, og fra TerraSAR-X og RadarSAT-2 er det mulig å anslå inntil 3 mm pr år i bevegelse. Dette tilskrives krypprosesser, og er en helt normal tilstand i en fjellside. Sannsynligheten for et fremtidig fjellskred anses som svært lav. Ceallu blir derfor ikke gitt ytterligere analyse i kapittel 6, og planlegges ikke fulgt opp i fremtiden.

## 5.4 Dorrisdalen (Id 1030)

Dorrisdalen ligger i Reisadalen og er et svært oppsprukket område. Dorrisdalen ble første gang registrert i 2008 og er beskrevet tidligere. Årets feltarbeid omfattet derfor kun dGPS-målinger. Målingene i Dorrisdalen fra de to foregående årene bekreftes også ved årets målinger. Det er sikre gravitative bevegelser mellom 4-11 mm/år i horisontalplanet og 3-10 mm/år i vertikalplanet. Fra 2009 til 2010 har bevegelsene vært vesentlig større enn signifikansgrensen. Resultatene fra dGPS-målinger samsvarer med målinger fra ERS InSAR data. Et utløpsområde er vurdert å strekke seg ned til elven i dalbunnen. Det anbefales å fortsette med periodiske dGPS målinger samt nye InSAR data.

#### 5.5 Dorrisdalen 2 (Id 1075)







Figur 6: Venstre forrige side: helikopterfoto (venstre) og flyfoto (høyre) over Dorrisdalen 2. Denne side ovenfor: utløpsanalyse. Massene kan nå ned til elven dersom et stort nok volum kollapser i èn hendelse. Sannsynligheten for dette vurderer vi som lav.

Dorrisdalen 2 ble identifisert på flyfoto vinteren 2010. Det er en liten utglidning 1 km nordøst opp dalen for Dorrisdalen. Et eventuelt utløp vil gå ned i en trang og ubebodd dal, og kan nå ned til elven dersom volumet av massene som kollapser samtidig er stort nok. Dersom de gjør det vil en mindre oppdemming av elven sannsynligvis oppstå som sekundæreffekt. Et eventuelt dambrudd vil ikke representere noen risiko nedstrøms. Dorrisdalen 2 gis på grunn av dette ingen fremtidig fokus og ingen videre analyse i kapittel 6.

#### 5.6 Dusnjarga (Id 1044)

Dusnjarga ligger i Kvænangen og er et sterkt deformert område preget av utglidning mot fjorden. Dusnjarga har blitt innmålt og rapportert tidligere. Årets dGPS-målinger repeterer fjorårets målinger i vertikalplanet som viser oppløft. I horisontalplanet er det kun ett punkt (DUS-1) som gir måledata som indikerer bevegelse. Dette punktet viser en sikker gravitativ bevegelse i sørøstlig retning. De andre to målepunktene viser en sirkulær bevegelse fra 2007-2010 og vurderes som usikre gravitative bevegelser. Siden 2007 har den sammenlagte bevegelsen vært 15 mm i DUS-1, som gir et årlig middel på 5 mm/år. Dusnjarga vurderes som et objekt som kan innmåles med perioder på 2-3 års intervaller mellom hver måling. Som et ledd i å fastslå usikkerhetene i målepunktene DUS-2 & DUS-3 samt usikkerhetene i de vertikale målingene ble et nytt fastpunkt etablert i 2010.

## 5.7 Horsnesfjellet 1&2 (Id 1032 & 1094)



Horsnesfjellet 1 & 2 ble ikke undersøkt i 2010 på grunn av tåke og regn. En forbiflyvning med helikopter ble utført mens det var et opphold i tåken, og bilder ble tatt for å forberede neste års feltarbeid. Disse to omtales ikke i kapittel 6.

## 5.8 Gamanjunni 1(Id 1027)

Gamanjunni 1 er et svært stort ustabilt fjellparti på østsiden av Manndalen i Kåfjord Kommune. Gamanjunni 1 har vært rapporter tidligere både i NGU rapporter og i vitenskapelige tidsskrift. dGPS-målinger fra Gamanjunni 1 samlet inn i 2010 er i tråd med strukturgeologiske observasjoner, i motsetning til målingene utført i 2008, se kapittel 6.5.1. I 2009 ble Gamanjunni 1 ikke innmålt. Årets måledata fra Gamanjunni 1 viser at målepunktet ikke har endret seg siden første måling i 2007. Dette tas til etterretning, og tolkes som at det lokalt rundt målepunktet for dGPS data ikke er bevegelse. Dette bekreftes også av de få InSAR dataene som er hentet ned fra RADARSAT-2. Fra InSAR data registrert mellom 1992-2000 (ERS InSAR) og geologiske feltobservasjoner forblir Gamanjunni 1 betraktet som en ustabil fjellside med pågående deformasjon, men kun med liten årlig bevegelse. Nye InSAR data fra RADARSAT-2 vil kaste mer lys over Gamanjunni 1 når disse registreres i årene som kommer. NGU anbefaler at Gamanjunni 1 følges opp i fremtiden med periodisk innmåling av dGPS

punktene, men at InSAR-teknologien benyttes som primær informasjonskilde for bevegelser. Det virker ikke som at målepunktene for dGPS representerer objektet i sin helhet. Utplassering av flere dGPS-punkt er ikke mulig da mulighetene for forankring av dGPS punkter på blokken og bak blokken er svært begrenset.

# 5.9 Gamanjunni 3 (Id 1064)

Gamanjunni 3 ligger i østlige dalside av Manndalen, og fremstår som et svært ustabilt område. Det ustabile området består av en større blokk på om lag 300x200m som har sklidd ned et glideplan som faller ca 40 grader mot dalen. Dette tilsvarer 120 meter horisontalt og 100 meter vertikalt. Blokken fremstår som inntakt i minimum 200 høydemeter. Lenger ned dalsiden utvikler bergmassen seg til et sterkt oppsprukket volum som fremstår å være under sterk strekning, men uten å ha brutt opp i enkeltblokker. Fra blokkens sørlige del går det en ur fra toppen av fjellet og helt ned til dalbunnen. Denne ura fremstår som fersk, med friske bruddflater og nylige nedslag av kampesteiner i torva.

Gamanjunni 3 er en aktiv ustabil fjellside i pågående deformasjon. Dette er basert på feltobservasjoner, og støttes av InSAR data fra to uavhengige satellitter. Bevegelsen kan med dagens datagrunnlag anslås til opp mot 30 mm/år i de nedre delene av fjellsiden, mens de øvre delene med selve blokken virker å være mer i ro. Med en kollaps av de nedre delene kan dette bildet endre seg raskt. Det tas høyde for at nåværende vurdering av deformasjonsgraden kan endre seg med nye data i årene som kommer. NGU anbefaler at Gamanjunni 3 følges opp med bakkebasert InSAR-måling i 2011, samt periodisk måling med lidardata, og ytterligere geologisk feltarbeid. Da særlig i nedre deler av det ustabile området. Det planlegges også for datering av glideplanet som er eksponert i øvre deler av fjellsiden. Dette vil kunne gi informasjon om hvor lenge det har vært aktivitet ved Gamanjunni 3. For detaljert informasjon, se kapittel 6.6.

# 5.10 Gavtavarri (Id 1048)

Gavtavarri er et ustabilt kompleks på østsiden av Kåfjorden. Området er avgrenset i bakkant av en bruddsone som krysser fjellryggen i 800 meters høyde. På platået rett i fremkant av denne bruddsonen er det installert to dGPS-målestasjoner. Disse viser ikke tegn til bevegelse, og dette samsvarer med ERS InSAR data. Dette platået skjæres av et hovedglideplan som går i høy vinkel inn mot den bakre bruddsonen. På oversiden av dette glideplanet er det et større ustabilt volum som har beveget seg mellom 60-70 høydemeter ned glideplanet og 70-80 meter horisontalt. Glideplanets fall varierer mellom 35-50 grader. Fallinjen er orientert skrått ned mot fjorden. Det ustabile området ved Gavtavarri er preget av sterk deformasjon, med store åpne sprekker flere meter brede og titalls meter dype. Lange rekker av innsynkningshull indikerer også åpne sprekker med stor separasjon i undergrunnen. Stedvis er det store systemer av forkastninger som vitner om tidligere aktiv strekning av bergmassen. Det er derimot lite som indikerer særlig høy pågående aktivitet, verken i feltobservasjoner, på dGPS målinger eller InSAR data. Lidarskanning av en større ekstensjonssprekk mellom 2008 og 2010 viser ingen signifikant bevegelse over sprekken. NGU anbefaler at Gavtavarri besøkes i fremtiden for periodisk innmåling. Intervallene kan økes til 2-4 år mellom hver måling.

# 5.11 Giilavarri (Id 1052)

Giilavarri fremstår som en svært stor fjellside som er i oppsprekning, og består av store områder av blokker og ur. På Giilavarri ble det observert omfattende strukturer dannet ved stedvis stor deformasjon av fjellsiden. Disse deformasjonsstrukturene er av en type som dannes av svært langsomme geologiske prosesser som i de fleste tilfeller ikke fører til katastrofale fjellskred. Dette er redegjort i detalj i kapittel 6.8. NGU anbefaler allikevel at fjellsiden overvåkes med InSAR data på grunn av dens store utstrekning og høye grad av strekningsdeformasjon. Installasjon av dGPS-målepunkt er vanskelig å gjennomføre da det er lite fast fjell i området, og deformasjonen tilsynelatende går helt opp til toppen av fjellet, også ovenfor det som er antatt som baksprekk. Et fastpunkt for referansemåling vil derfor være vanskelig å finne. NGU anbefaler også at detaljerte flyfoto samles inn slik at fjellsiden kan kartlegges i større detalj basert på disse.

# 5.12 Gryta (Id 1088)

Gryta ble første gang observert på flyfoto og befart i 2010. Gryta er en sterkt oppsprukket fjellside som ligger nordvestvendt ytterst på Arnøya i Skjervøy kommune. Sprekkene gir inntrykk av å være en kombinasjon av unge bevegelser langs eldre svakheter i fjellet, samt nydannelse av sprekker som følge av utglidning. Bergarten er hovedsakelig granitt, med en veldefinert foliasjon (parallellorientering av mineraler). Denne foliasjonen er orientert fordelaktig for utglidning da den faller ut mot fjorden. I de bratteste partiene er det sterkt oppsprukket materiale, og vi ser rester etter eldre steinskred. På satellittdata fremstår Gryta som stabil, og vi fant heller ingen tegn til nylig aktivitet i området under befaringen.

# 5.13 Hengfjellet 1 (Id 1025)

Hengfjellet 1 ble befart i 2010 med eneste formål å innmåle dGPS-punkter som ble utplassert i 2009. Det er ikke registrert tegn til bevegelse ved Hengfjellet 1 fra 2009 til 2010. Heller ikke på InSAR-dataene er det tegn til bevegelse. Vi anbefaler å vente 2-4 år før Hengfjellet innmåles på nytt.

#### 5.14 Humpen (Id 1004)

Humpen ligger i Signaldalen i Storfjord kommune, og er en ustabil fjellside med et beregnet volum på 120 Mm3 (Hendersen et al, 2009). Bevegelsene er målt ved dGPS til å være opptil 11 mm/år (2008/2009) horisontalt. Måledataene fra 2009/2010 avviker betydelig fra måledataene mellom 2008-2009. Dette kan være et resultat av målefeil, se avsnitt 6.11.1. Det er en svært god overenstemmelse mellom dGPS-målingene fra 2008/2009, ERS InSAR data og strukturgeologiske observasjoner foretatt i felt. Humpen karakteriseres derfor som et svært stort ustabilt bergmassiv med pågående deformasjon. Utglidningen er rettet mot dalbunnen. Teoretisk maksimal utløpsrekkevidde er beregnet til 2400m og vil dermed krysse og demme opp Signaldalen oppstrøms. Humpen studeres nå i detalj av en hovedfagsstudent ved Universitetet i Tromsø. Vi anbefaler at Humpen følges opp med årlige målinger av dGPS de kommende årene. Det bør også vurderes å foreta lidarskanning av utvalgte deler av Humpen fra toppen av baksprekken. Detaljerte flyfoto og nye InSAR data bør også samles inn.

## 5.15 Indre Nordnes (Id 1002)

Indre Nordnes ble besøkt i 2010 med formål å skanne lokaliteten med lidarskanner. Ingen signifikant bevegelse er registrert i tidsrommet 2009-2010 fra TLS lidar data. Vi anbefaler å følge opp med periodisk lidarskanning, men med flere års mellomrom mellom hver skanning. Periodiske dGPS-målinger ble ikke gjennomført i 2010, da Indre Nordnes er under kontinuerlig overvåkning. Vi anbefaler at Indre Nordnes innmåles med dGPS med 2-4 års periodeintervaller.

## 5.16 Kjellerkampen (Id 1036)

Kjellerkampen ble feltbefart i 2010 for første gang. Kjellerkampen karakteriseres av en sterkt oppsprukket fjellside med en stor andel løse blokker som har sklidd nedover den øvre halvdelen av fjellsiden, og falt til ro før de har sklidd utfor kanten av stupet. Foliasjonen i fjellsiden er parallell med fjellsidens overflate og rettet ut mot dalen. Dette favoriserer utglidning av masser, men vi fant ingen tegn til pågående deformasjon. Man må allikevel forvente noe steinsprangaktivitet fra Kjellerkampen. Dette er synlig i uravsetningene ved foten av fjellet og opp langs rennen i fjellsiden, som viser tegn til fersk og pågående steinsprangaktivitet. NGU anbefaler ikke videre oppfølging av Kjellerkampen.

## 5.17 Låvan (Id 1082)

Låvan ligger i Kvænangen og er en fjellside med til dels store bakkeinnsynkninger og sprekker ovenfor en liten bebyggelse. Det ustabile området er begrenset mot nord av en 5-10 meter høy svakt kurvet baksprekk. Flere skrenter og søkk avgrenser langstrakte roterte blokker nedover i fjellsiden. Det undersøkte området på Låvan virker generelt overgrodd med mose og lyng, og viser ikke spesielle indikasjoner på nylig bevegelse. Grøfter og sprekker uten vegetasjon opptrer imidlertid i området; disse er mer usikre i forhold til ung bevegelse. Lokalbefolkning NGU var i kontakt med kommenterte at det var et kildeutspring i fjellsiden. Dette ble ikke verifisert i felt. På InSAR data fremstår Låvan stabil der det er refleksjonspunkt. Låvan ble feltbefart første gang i 2010. dGPS punkt ble samtidig installert og avventer ny innmåling. Det anbefales å vente 2-3 år før neste innmåling.

## 5.18 Oksfjellet (tidligere Kåfjord Sør) (Id 1007)

Oksfjellet fikk tilbake et tidligere benyttet navn fra og med denne rapporten etter oppfordring fra lokalbefolkning. Navnet Oksfjellet er hentet fra Statens Kartverk sine N-50 topografiske kart. Oksfjellet består i hovedsak av et større område som er sterkt oppsprukket, og hvor et mindre delområde ytterst mot dalen fremviser sterk deformasjon og omfattende oppsprekking. Strekning og oppsprekking har avgrenset en større blokk som befinner seg ytterst på fjellsiden om lag 900 meter over dalbunnen. I 2008 og 2009 ble det benyttet bakkebasert laserskanning (TLS) der blokken ble skannet. En sammenlikningsanalyse av disse to datasettene gjorde at det i NGU rapport 2010.021 ble varslet om en mulig forflytning av massene på opp mot 10 cm pr år. Med forankring i datasettet innsamlet i 2010 kan NGU nå konkludere med at det er store feil i datasettet fra 2008 og at dette datasettet ikke kan benyttes. Dette medfører at analysen av Oksfjellet fra 2008-2009 som indikerte opp mot 10 cm forflytning trekkes tilbake.

Feltdata, historiske flybilder, dGPS-målinger, TLS laserdata samt InSAR satellittdata fra to uavhengige satellitter har vært benyttet for å kunne forbedre kunnskapen om Oksfjellet i denne rapporten. Våre analyser er til

en stor grad sammenfallende for det aller meste av datamateriale vi har sett på. Det er tegn til bevegelse i det ustabile området ved Oksfjellet, men bevegelsene er små. For dGPS-dataene er det over tid mulig å se en forflytning av det ene målepunktet, det som er plassert ytterst på den ustabile blokken. Dette punktet har flyttet seg 25 mm over fem år, som gir en gjennomsnittlig forflytning på 5 mm/år. Retningen på forflytningen er ut mot dalbunnen. De andre datakildene understøtter i en stor grad hverandre, og danner et bilde av et fjellvolum som i hovedsak er i ro for øyeblikket, men hvor det er beskjedne bevegelser i den sørøstlige delen av området. NGU har ikke klart å anslå en bevegelseshastighet fra TLS lidardataene da forholdene i fjellsiden gjør det vanskelig å få gode data. Sommeren 2011 skal Oksfjellet skannes gjennom en bakkebasert radarkampanje, og vi håper dette vil gi ytterligere informasjon om forholdene ved Oksfjellet. Oksfjellet vil da samtidig følges opp med ytterligere geologisk feltarbeid.

# 5.19 Nordnes (Id 1001)

Nordnes ble besøkt i 2010 med formål å skanne lokaliteten med TLS lidarskanner. Nordnesfjellet har blitt overvåket årlig med lidarskanninger siden 2007. Sammenligningsanalyse av datasettene mellom 2007 og 2010 viser tydelige bevegelser i den mest ustabile blokken, se kapittel 6.15.3. Over denne 3-års perioden er forflytningen til den raskeste blokken mellom 9 og 12 cm horisontalt og fra 3 til 6 cm vertikalt. Dette gir årlig forflytning på omlag 3-4,5 cm i retning vest. Periodiske dGPS-målinger ble ikke gjennomført i 2010, da Nordnes er under kontinuerlig overvåkning. Vi anbefaler at Nordnes innmåles med dGPS med 2-4 års periodeintervaller.

## 5.20 Revdalsfjellet 1 (Id 1020)

Revdalsfjellet 1 ble besøkt i 2010 med formål å måle inn punktene med dGPS. De ble første gang utplassert i 2006. I tre av punktene ser vi en tydelig trend over tid som gir en gjennomsnittlig bevegelse ut mot fjorden på om lag 3-4 mm/år. Vi anbefaler å følge opp Revdalsfjellet 1 med 2-4 års periodiske målinger.

# 5.21 Revdalsfjellet 2 (Id 1021)

Revdalsfjellet 2 ble besøkt i 2010 med formål å måle inn punktene med dGPS. De ble første gang utplassert i 2009. Som for Revdalsfjellet 1 er også her dGPS-punktene i bevegelse med om lag 3 mm/år med retning ut mot fjorden. Det presiseres at det kun foreligger ett års gjentatt måling. Ny innmåling foretas i 2011 eller 2012. Vi anbefaler å følge opp Revdalsfjellet 2 med 2-4 års periodiske målinger.

## 5.22 Rotvåg (Id 1089)

Rotvåg er en lokalitet som ligger litt oppe i en dal på nordspissen av Arnøya i Skjervøy kommune. Rotvåg er nordvendt med fri siktelinje ut mot Barentshavet. Rotvåg ble kun rekognosert fra avstand i felt pga plutselig uvær som hindret geologene i å ta seg helt frem til lokaliteten. Rotvåg fremstår som et ustabilt område hvor deformasjonen pågår sakte. Rotvåg ble oppdaget på ERS InSAR data og mye tyder på at den nåværende bevegelsen foregår i urmaterialet i nedkant av tre terrasser som har sklidd ut i fjellsiden. Risikoen knyttet til Rotvåg vurderes som lav, og ytterligere oppfølging innenfor dette kartleggingsprogrammet anbefales ikke.

## 5.23 Skognes (Id 1009)

Skognes ble rekognosert på tvers av en mindre dal da fjellsiden er utilgjengelig til fots. Basert på avstandsrekognosering og overflyvning med helikopter observerte ikke NGU tegn til pågående deformasjon. Sannsynligheten for et fremtidig fjellskred ved Skognes vurderes derfor som lav. Man kan allikevel kunne forvente steinsprangaktivitet eller eventuelt små steinskred da lokaliteten er bratt og det er mye rasmateriale i ura, stedvis med ferske bruddflater. Rasmateriale fra disse prosessene er forventet å stanse opp i fjellsiden eller ved foten av fjellsiden. De forhøyede InSAR-dataene ved Skognes tolkes å være knyttet til krypprosesser i ura.

# 5.24 Staluvarri (Id 1055)

Staluvarri er en stor vestvendt fjellside i Kåfjord kommune ca 11 km nord for Olderdalen. Staluvarri er en svært stor og kompleks ustabil fjellside, med en klart avgrenset struktur. Denne avgrensningen følger eldre svakheter i berggrunnen som er orientert nordøst-sørvest og nordvest-sørøst. De ustabile områdene på Staluvarri kan deles inn i flere delområder, hvorav det ene kan være kontrollert av den samme strukturen som avgrenser Giilavarri og Gavtavarri. De interne delområdene later til å ha ulike bevegelseshastigheter fra ERS InSAR data. Å utplassere dGPS-punkter i disse delområdene ville være en fordel, men området er så stort og komplekst at det anses som vanskelig å finne et solid fastpunkt, samtidig som at vektorene kan bli veldig lange. NGU anbefaler derfor at det i fremtiden samles inn nye InSAR data som vil gi en oppdatert måling av bevegelse samt nye detaljerte flyfoto. Dette vurderer vi som en god metode for å kartlegge aktiviteten i de store ustabile fjellsidene langs østsiden av Kåfjorden.

#### 5.25 Storhaugen 2 (Id 1014)

Storhaugen 2 er et ustabilt område i Manndalen, om lag en kilometer nord for Gamanjunni 3. Mellom Storhaugen 2 og Gamanjunni 3 er det et kontinuerlig sett av mindre sprekker og riss i berggrunnen. Storhaugen 2 antas med dagens kunnskap å være en utglidning over et lavvinklet glideplan. I massene over glideplanet er det flere mindre glideplan som har ført til oppsprekning av bergmassen i et større blokkfelt. Det er få eller ingen åpne sprekker å se i området, men et innsynkningshull ble observert hvor vegetasjonen fremstod som avrevet. Det ble derfor besluttet å skanne Storhaugen 2 med Lidar, se kapittel 6.21. Dette bør følges opp i fremtiden med en ny skanning.

#### 5.26 Vassnestind (Id 1010)

Vassnestind er et svært stort område som viser sterk deformasjon. Vassnestind ligger i Kvænangen kommune, og er sørvestvendt ut mot fjorden. Basert blant annet på seismiske data (se kapittel 6.22.3) tolkes deformasjonen å ha pågått ved langsomt siden siste istid. Dette gir seg utslag blant annet ved en markert avbøyning av kystlinjen. Dette er også observerbart i de to andre nærliggende ustabile fjellsidene Låvan og Dusnjarga. Deformasjonen ved Vassnestind kan beskrives som en gradvis kollaps av fjellmassivet ved utglidning i kryphastighet. Lokalt i det ustabile området vil det inntreffe steinskred og steinsprang, særlig langs bakskrenten av det ustabile området som er over 3 km lang. Steinskred og steinsprang fra bakskrenten vurderes til ikke å føre til noen konsekvenser. Langs de midtre delene av bakskrenten finner man to markerte terrasser i terrenget som begge fremviser en høy grad av oppsprekking, i hovedsak forårsaket av strekning av bergmassen. Vi kan ikke utelukke at disse volumene kan kollapse samlet og da danne et skred som i omfang vil klassifiseres som et som et fjellskred. Gitt at dette inntreffer mener vi det er sannsynlig at hele eller store deler av disse massene vil stanse opp på vei ned fjellsiden. Hovedvurderingen av Vassnestind er at dette er en fjellside som gjennomgår en gradvis kollaps ved langsom utglidning. Vi anbefaler ikke fremtidig oppfølging.

## 6. RESULTATER OG DETALJERT BESKRIVELSE PR LOKALITET

#### 6.1 Brattfjell

Brattfjell er en mindre ustabilitet i Reisadalen og ble befart første gang i 2010. Området består av tre blokker, hvorav to anses som kritisk ustabile. Volumene er relativt små. Den største blokken, betegnet blokk (a), anses ikke som ustabil pr i dag, men dette kan endre seg dersom blokk (b) og (c) faller ned. En ur under klippen indikerer pågående aktivitet med steinsprang.



Figur 7: Kart og flyfoto over Brattfjell. Vi har delt det ustabile området inn i tre blokker (a, b & c). Blokkene b og c har størst sannsynlighet for kollaps. Disse er avgrenset av to tensjonssprekker, se hvite piler. Merk også bosetting vest for ustabilt volum i kartet øverst.

#### 6.1.1 dGPS data

Det er ikke samlet inn dGPS data fra Brattfjell i 2010. Det er ikke planlagt samlet inn i fremtiden heller. Det anbefales derimot andre målemetoder for utvidelse av sprekker, som for eksempel strekkstag eller jernbolter som vist i kapittelet for Brosmebakktuva.

#### 6.1.2 Strukturgeologiske data

Det ustabile området kan deles inn i tre hovedblokker (a-c). Blokk (a) er den største blokken, og viser minst grad av oppsprekking. Det er ikke tydelige tegn til aktiv bevegelse av denne blokken, men området markert ved (d) i Figur 10 indikerer at kollaps har inntruffet langs baksprekken til blokk (a) tidligere. Blokkene (b) og (c) er relativt små, men fremstår som ustabile. De er separert fra blokk (a) ved større sprekker med opptil 3 m åpning og opptil 5 m vertikal forflytning. Sprekkeflatene faller innover mot fjellet, og denne orienteringen av sprekkene i forhold til klippeveggen gjør at en utvelting av blokkene anses som mest sannsynlige kollapsmekanisme. Hvordan en utvelting av blokkene (b) & (c) vil destabilisere blokk (a) er ikke kjent. Blokk (c) står i front av blokk (b) og danner støtte for blokk (b). Dersom blokk (c) velter ut øker sannsynligheten for at blokk (b) velter ut. Volumet av (b) og (c) til sammen er anslått til ca 100 000 - 120 000 m3. Totalt volum for (a), (b) og (c) anslås til 500 000m3.

Orientering av sprekkesett og foliasjon ble samlet inn i de ustabile blokkene. Kinematisk testing viser at det er en mulighet for utvelting ved kollaps langs bruddstrukturene J3. Hovedtensjonssprekkene som separerer de løse blokkene fra hovedvolumet i bakkant er parallell med sprekkesettet J3. Gjennomsnittlig orientering av J3 er 83° fall mot nordøst (076/83). En eventuell utløpsvektor vil være orientert mot sørvest (se Figur 4). På grunn av dette vil det være lite glidning i bruddsonen forut for en kollaps. Deformasjonen vil hovedsakelig pågå ved tensjonsåpning.



Figur 8: Presentasjon av 59 strukturmålinger av sprekker og foliasjonsplan, samt kinematisk analyse av hvordan disse sprekkesettene er orientert i forhold til å tilrettelegge for kollaps av massene. Vi ser at det er sannsynlig med kollaps gjennom utvelting, og at det er sprekkesettet J3 som vil danne bruddstrukturene. Hovedtensjonssprekkene observert i felt er en del av sprekkesettet J3.



Figur 9: (a) løs blokk med hengslet hovedsprekk (hvit pil); (b) hovedsprekk og mindre sprekk med tydelig separasjon. Fall på sprekker motsatt av utløpsvektor medfører lite glidning langs bruddplanet og dermed redusert bergstyrke. Baksprekken markert med (?) viste ingen tegn til aktivitet ved overflateinspeksjon i observasjonspunktet bra-5 (se Figur 7). (c) foto av sprang ved hovedsprekk ca 5m.



Figur 10: Helikopterfoto over Brattefjell. gult område - antatt stabil hovedblokk (a); oransje område - løs blokk (b); blått område - løs blokk (c); område (d) - manglende volum etter tidligere kollaps. Venstre foto: sett fra siden.

I observasjonspunktet bra-2 (Figur 7) ble hovedtensjonssprekken studert. Steiner som ble kastet ned i sprekken hørtes 5-10 sekunder inkludert sammenstøt med veggene i sprekken. Dette indikerer opp mot 50-70 m dyp sprekk. Forkastningen som har dannet sprekken er hengslet i nordvest, med økende sprang mot sørøst, se flyfoto i Figur 9 (a) & (b). Ved observasjonspunkt bra-3 kobles denne sprekken sammen med den fremste tensjonssprekken, som er studert ved observasjonspunkt bra-1 og vist i bildet nedenfor.

#### 6.1.3 Lidarskanning

Brattfjell ble ikke lidarskannet i 2010. Det er ikke planlagt lidarskanning i fremtiden.

#### 6.1.4 Insar data

Se kart i Figur 7 for ERS InSAR data. Den ustabile blokken er ikke dekket av InSAR data. Utslaget på 5mm innsykning pr år markert med rødt er for blokker i løs ur.

#### 6.1.5 Utløpsanalyse

For Brattfjell er volumet i grenseland for å kunne benytte både skyggevinkelmetoden og Scheideggerkurven. Begge metoder er derfor benyttet, og det mest konservative utløpet er tatt som aktsomhetsområde. Vi setter aktsomhetsområdet ut til gul markering, altså 610 meter fra baksprekken som definerer kildeområdet for scenario 1, beregnet med Scheideggerkurven. Dette samsvarer også med utløpslengden for skyggevinkelmetoden for scenario 2. En mer detaljert kartlegging vil trolig kunne begrense aktsomhetsområdet.

Den svarte pilen i Figur 11 markerer fallinjen til topografien, og samsvarer også med normalvektoren til tensjonssprekkene. Dette anses som den mest sannsynlige fallinjen for et eventuelt utløp. Vi merker oss derfor at aktsomhetsområdet slik det er definert ovenfor er svært konservativt med tanke på direkte treff.



Figur 11: Orange: 370 m fra kildeområde ved scenario 2. Gul: 550 m fra kildeområde ved scenario 1. Begge fra Scheidegger. Benyttes skyggevinkel får vi 464 m ut fra kildeområdet (scenario A+B), som gir samme grense som gul linje. En feltbefaring av dalbunnen nedenfor ustabilt område kan redusere utløpsusikkerheten for volumene. Hvit avmerking: et større volum mangler i fjellsiden fra tidligere kollaps. Kartlegging av dette volumets utløpsgrense vil gi en forbedret vurdering av nåværende ustabilt volum sin utløpsrekkevidde (aktsomhet og fareområde). GP: gammelt glideplan.

#### 6.2 Brosmebakktuva

Brosmebakktuva er et ustabilt fjellparti østvendt i Ullsfjorden. Et større volum er avgrenset av en depresjon i terrenget, men dette viser ingen tegn til pågående bevegelse/deformasjon. Ytterst på kanten av stupet ned mot fjorden henger to små (9600 m<sup>3</sup> og 12400 m<sup>3</sup>) svært ustabile blokker. Disse blokkene kan falle ned i løpet av relativt kort tid. Ved en kollaps vil nærområdet rett under Brosmebakktuva bli berørt av direkte treff og bølger. Blokkene vil med stor sannsynlighet nå sjøen, men forventes å knuses ned i mindre deler på sin vei ned fjellsiden. Dette vil medføre en fare for fritidsfiske, som er populært i nærområdet nedenfor Brosmebakktuva.



Figur 12: Kart og flyfoto over Brosmebakktuva. Avmerket: posisjon for dGPS målepunkt, sted hvor lidar skanning ble foretatt, samt sprekker og observasjonspunkt for strukturgeologiske målinger. Hvit pil indikerer løse blokker skannet med lidar.

#### 6.2.1 dGPS data

Det er ikke samlet inn dGPS måledata fra Brosmebakktuva i 2010. Det er planlagt innmåling i 2011.



Figur 13: Armeringsjern installert av NGI i 1987. 2 cm ekstensjon og 0,5 cm venstrerettet bevegelse siden bolting ble målt i 2010. Dette gir en årlig gjennomsnittsbevegelse på 1 mm/år på denne sprekken.

## 6.2.2 Strukturgeologiske data

Orientering av sprekkesett ble samlet inn i hovedblokken. Linjamenter ble digitalisert på stedet samt at linjamenter digitalisert ved flyfoto ble validert og korrigert. 50 sprekker og/eller tensjonssprekker ble innmålt. Resultatet er gjengitt i Figur 14. Disse ble benyttet til en kinematisk analyse av hovedblokken, betinget på topografien ut mot fjorden. Orienteringen av innmålte strukturer indikerer at bevegelse ikke er mulig ved planar glidning, kileutglidning eller utvelting.



A) Konturplott av poler til sprekkeplan, baksprekkene #1, #2 og #3 samt foliasjon SF.



B) Kinematisk test for kileutglidning.



C) Kinematisk test for planutglidning.



D) Kinematisk test for utvelting.

Figur 14: A->D: Presentasjon av 50 strukturmålinger av sprekkesett samlet inn i hovedblokken, samt analyse av hvordan disse sprekkesettene er orientert i forhold til å tilrettelegge for kollaps av massene. Orienteringen av sprekkesettene gjør at det er liten sannsynlighet for kollaps av hovedblokken.



Figur 15: Helikopterfoto over Brosmebakktuva. Hvit pil: blokkene A (orange) og B (rød). Blokk A henger gjemt bak blokk B i bildet. Hovedblokken er markert med gult. Blå stiplet linjer: sprekker observert på helikopterfoto.

#### 6.2.3 Lidarskanning

De to ytre blokkene A og B ved Brosmebakktuva ble skannet med Lidar første gang denne feltsesongen. Dette fordi lokalbefolkningen kunne opplyse om at sprekken som separerer blokkene A og B fra hovedblokken etter hans vurdering hadde utvidet seg med ca 20 cm mellom 2009 og 2010.



Figur 16: Blokk A som skannes med Lidar. Hovedsprekken er vurdert av lokalbefolkning å ha utvidet seg ca 20 cm mellom 2009 og 2010



Figur 17: i) Lidar punktsky (nederst) med samsvarende utsnitt av fjellsiden; ii) strukturell og kinematisk analyse av punktskyen. Legg merke til underliggende glideplan, og de avgrensende tensjonssprekkene. Se vedlegg V.1 for detaljert forklaring av figurene.



Figur 18: Volumberegning basert på Lidardata. Blokk (A) 9600 m<sup>3</sup>; Blokk (B) 12400 m<sup>3</sup>. Høyre: bruddsettene J1-J7 samt foliasjon S1. Se vedlegg V.1 for detaljert forklaring av figurene.

Fra den strukturelle analysen av punktskyen fremstår bruddsettene som svært konsistente over hele det analyserte området. Foliasjonen faller svakt mot vest (285/20). Hoveddelen av klippen er dannet av de sørøstlig fallende bruddsettene J6 (145/44) og J7 (148/79). J6 danner et underliggende glideplan og J7 danner bakskrenten. Et subvertikalt bruddsett J5 (089/79) avgrenser de ustabile massene mot vest og deler volumet inn i mindre segmenter. Et bratt fallende bruddsett J3 (331/62) danner overhengende klipper og er sammen med J7 med på å danne bakskrenten.

Det ustabile volumet kan deles opp i to delblokker (A og B). Begge disse er antatt å ha det samme glideplanet gitt ved J6. Blokk A har antatt volum 9600 m3 og blokk B 12400m3. Blokk A er avgrenset mot vest av J5 og av det overhengende bruddsettet J3, og mot øst av J4. Blokk B er en delvis frittstående blokk og avgrenset i bakkant av en kombinasjon av J5 og J7.



## 6.2.4 Insar data

Figur 19: ERS InSAR data 1992-2000. Det er ingen bevegelse ved Brosmebakktuva for de datasettene NGU besitter pr 2010.

Fra ERS data ser vi at det ikke har vært bevegelse av betydning for hovedblokken mellom 1992 og 2000. Relativt hovedblokken er det svake indikasjoner på bevegelse lengst frem mot kanten, og dette kan være et resultat av små bevegelser på blokk A og B.

## 6.2.5 Utløpsanalyse

Utløpsanalyse for blokkene ved Brosmebakktuva er foretatt ved skyggevinkelmetoden. Vinkelen for siktelinjen fra blokk A og blokk B ned til fjorden er 42 grader, og blokkene vil dermed høyst sannsynlig nå fjorden, men knuses ned på sin vei ned fjellsiden. Utrasningen vil være i størrelsesorden steinskred. Se forøvrig steinskred/steinsprang aktsomshetskart (http://www.ngu.no/kart/skrednett/?map=Steinsprang – aktsomhetskart). Massene vil derfor kunne utgjøre en trussel for fritidsfiske i fjorden i nærheten av Brosmebakktuva.

# 6.3 Dorrisdalen

Dorrisdalen er et ustabilt område i Reisadalen som er feltbefart og beskrevet i tidligere NGU-rapporter, se Tabell 4. Dorrisdalen fremstår som svært oppsprukket. En høy bratt bakskrent markerer bakre avgrensing, og en aktiv ur i fronten av det ustabile området indikerer pågående deformasjonsaktivitet.



Figur 20: Kart og flyfoto over Dorrisdalen. Avmerket: posisjon for dGPS målepunkt og sprekker.

#### 6.3.1 dGPS data

dGPS data ble samlet inn i Dorrisdalen i 2010. Målingene i Dorrisdalen fra de to foregående årene bekreftes også ved årets målinger. Det er en tydelig nordvestlig bevegelse mellom 4-11 mm/år i horisontalplanet og 3-10 mm/år i vertikalplanet. Fra 2009 til 2010 har bevegelsene vært vesentlig større enn signifikansgrensen. Se Figur 20 for plassering av dGPS-mottakere.



Figur 21: Terrengmodell over Dorrisdalen (www.norgei3d.no). dGPS-bevegelse markert ved hvite piler.



Figur 22: dGPS data for Dorrisdalen 2008-2010.
#### Tabell 5: dGPS data samlet inn for Dorrisdalen 2008-2010.

		Abs	olutt koordinat		3σ	standardav	vvik	San	nmenlagt e	endring fra	første mål	eår
PUNKT	Ar	N	E	Н	sN	sE	sH	dN	dE	Avstand	Retning	dH
DR-FP	2008	7723913,8410	513907,0360	702,3840								
DR-FP	2009	7723913,8410	513907,0360	702,3840								
DR-FP	2010	7723913,8410	513907,0360	702,3840								
DR-1	2008	7724573,8472	513718,7950	669,3778	0,0009	0,0008	0,0025					
DR-1	2009	7724573,8515	513718,7956	669,3769	0,0006	0,0005	0,0015	0,004	0,001	0,004	8,83	-0,001
DR-1	2010	7724573,8613	513718,7912	669,3690	0,0003	0,0005	0,0009	0,014	-0,004	0,015	383,24	-0,009
DR-2	2008	7724485,6931	513430,8296	594,2126	0,0009	0,0008	0,0027					
DR-2	2009	7724485,6961	513430,8239	594,2070	0,0005	0,0004	0,0014	0,003	-0,006	0,006	330,84	-0,006
DR-2	2010	7724485,7002	513430,8183	594,2021	0,0003	0,0005	0,0009	0,007	-0,011	0,013	335,71	-0,010
DR-3	2008	7724508,9361	513253,6709	556,9325	0,0009	0,0008	0,0024					
DR-3	2009	7724508,9418	513253,6682	556,9366	0,0005	0,0005	0,0014	0,006	-0,003	0,006	371,84	0,004
DR-3	2010	7724508,9478	513253,6621	556,9296	0,0003	0,0005	0,0009	0,012	-0,009	0,015	358,95	-0,003

### 6.3.2 Strukturgeologiske data

Det ble ikke gjort strukturgeologisk arbeid ved Dorrisdalen i 2010. Dette ble utført i 2008 og er rapportert i NGU rapport 2009.023.

### 6.3.3 Lidarskanning

Dorrisdalen er ikke lidarskannet.

#### 6.3.4 Insar data

ERS InSAR data fra Dorrisdalen. Tydelig innsynkning pr år er registrert i tidsrommet 1992-2000. Resultatene sammenfaller svært godt med 3 års dGPS-måliger, og avgrensningen av InSAR-registrert bevegelse følger de strukturelle linjamenter svært godt.





### 6.3.5 Utløpsanalyse

Dersom vi antar at hele volumet på 14 Mm<sup>3</sup> (Henderson et al, 2010) kollapser i èn hendelse medfører dette en utløpsrekkevidde på 1200 meter beregnet ved Scheideggerkurven. Dette er et midlertidig "worst case" estimat.

## 6.4 Dusnjarga

Dusnjarga er et ustabilt område i Kvænangen som viser til dels stor deformasjon. Området er feltbefart tidligere, og årets fokus var kun innmåling av dGPS data. Dusnjarga har en høy og bratt baksprekk og en aktiv ur i fronten av det ustabile området. Det ustabile området ved Dusnjarga beskrives som et system av glideblokker knyttet sammen med koblingsramper. dGPS-punktene DUS1 og DUS2 er installert på slike ramper, se Figur 24.



Figur 24: Kart og flyfoto over Dusnjarga. Avmerket: posisjon for dGPS og hovedlinjamenter.

#### 6.4.1 dGPS data

De dekomponerte bevegelsene i de ulike målepunktene er visualisert i Figur 25. Punktet DUS-1 viser en sikker gravitativ bevegelse i horisontalplanet mot sørøst. Dette samsvarer godt med hva man forventer ut i fra morfologiske og strukturgeologiske observasjoner i felt og flyfoto. Horisontal total bevegelse siden 2007 er i DUS-1 15 mm. De horisontale bevegelsene i DUS-2 & DUS-3 er derimot svært vanskelige å tolke. Vi ser av Figur 25 at bevegelsene har gått i sirkel siden oppstarten av målingene, og kun er i størrelsesorden 1-3 mm. Vi tolker disse derfor somm usikre gravitative bevegelser, og avventer lengre måleserier.

Den vertikale bevegelsen er det knyttet store usikkerheter til, da denne viser et oppløft siste to måleår for samtlige stasjoner. Generelt innen strukturgeologi er oppløft internt i ramper rapportert som mulig i et ellers ekstensjonspåvirket system som en konsekvens av en stiv hengblokk og bevegelig liggblokk (Ferril og Morris, 2001). Det motsatte er tilfellet for Dusnjarga, og modellen til Ferril og Morris (2001) kan derfor ikke benyttes til å forklare de vertikale oppløftsmålingene.

Det ustabile området fremstår som et oppsprukket område karakterisert av flere koblingsramper som er blitt dannet ved tensjon mot sørøst ned den frie fjellsiden. Man bør derfor forvente en ensartet horisontal bevegelse mot sørøst eller sør, samt nedoverrettet i vertikalplanet. Oppløft fremstår som lite sannsynlig ut fra de geomorfologiske trekkene i området, og det er derfor nærliggende å anta at målefeil har blitt introdusert. Når dette er registrert to påfølgende år og med samme kurvetrend for alle punktene kan dette indikere ustabilt fastpunkt. Ut i fra dagens måledata fremstår dermed Dusnjarga som et ustabilt område med lav aktivitet. Det anbefales å øke de periodiske måleintervallene til 2-4 år mellom hver måling da bevegelsene pr år er svært små.

Taball 6: d(	<b>DS</b> data comlat	inn for Duenia	-0.0072010
Tabell 0. ut	JF S Gala Samiel	IIIII IOI Dusiijai	ga 2007-2010.
		5	0

		Abs	solutt koordinat		3σ	standardav	/vik	San	nmenlagt e	endring fra	første mål	eår
PUNKT	Ar	N	E	Н	sN	sE	sH	dN	dE	Avstand	Retning	dH
DUS_FP	2007	7769766,3900	535731,7170	842,5650								
DUS-FP	2008	7769766,3900	535731,7170	842,5650								
DUS-FP	2009	7769766,3900	535731,7170	842,5650								
DUS-FP	2010	7769766,3900	535731,7170	842,5650								
DUS-FP-2	2010	7769653,6609	535694,4892	859,8363	0,0004	0,0005	0,0010					
DUS-1	2007	7769629,8181	535942,7007	829,2140	0,0008	0,0006	0,0017					
DUS-1	2008	7769629,8165	535942,7017	829,1979	0,0005	0,0003	0,0012	-0,0016	0,001	0,0018868	164,43847	-0,0161
DUS-1	2009	7769629,8136	535942,7081	829,2033	0,0008	0,0005	0,0017	-0,004	0,007	0,009	134,78	-0,011
DUS-1	2010	7769629,8091	535942,7128	829,2009	0,0005	0,0006	0,0010	-0,009	0,012	0,015	140,71	0,003
DUS-2	2007	7769705,8292	535844,4123	819,8669	0,0008	0,0005	0,0018					
DUS-2	2008	7769705,8273	535844,4121	819,8503	0,0005	0,0003	0,0011	-0,002	0,000	0,002	206,68	-0,017
DUS-2	2009	7769705,8283	535844,4129	819,8579	0,0007	0,0005	0,0016	-0,001	0,001	0,001	162,57	-0,009
DUS-2	2010	7769705,8300	535844,4119	819,8613	0,0004	0,0005	0,0010	0,0008	-0,0004	0,0008944	370,48329	0,011
DUS-3	2007	7770276,4169	535989,1649	888,8998	0,0009	0,0006	0,0019					
DUS-3	2008	7770276,4142	535989,1664	888,8897	0,0005	0,0004	0,0012	-0,0027	0,0015	0,0030887	167,7171	-0,0101
DUS-3	2009	7770276,4138	535989,1650	888,8952	0,0009	0,0006	0,0019	-0,0031	0,0001	0,0031016	197,9471	-0,0046
DUS-3	2010	7770276,4151	535989,1648	888,8961	0,0005	0,0006	0,0011	-0,0018	-1E-04	0,0018028	203,53314	0,0064





3

2

1

0

-1

-2

-3-3

mm/år endring nord-sar





Figur 25: Plott over horisontale endringer (venstre) og vertikale endringer (høyre) i dGPS-data fra 2007-2010. Den nordøstlige horisontale bevegelsen og det vertikale oppløftet som er registrert mellom 2009/2010 antas p.t. å være grunnet målefeil.

#### 6.4.2 Strukturgeologiske data

Dusnjarga ble befart i 2007 og første gang rapportert i NGU rapport 2008.025. Det ble derfor ikke gjennomført strukturgeologiske arbeider her i 2010.

### 6.4.3 Lidarskanning

Dusnjarga er ikke lidarskannet.

#### 6.4.4 Insar data

Det er ikke ERS InSAR dekning for Dusnjarga.

#### 6.4.5 Utløpsanalyse

Fra Scheideggerkurven beregnes en utløpslengde på 2500 meter for Dusnjarga dersom hele volumet anslått til 16 Mm<sup>3</sup> (Henderson et al, 2010) kollapser i en hendelse. Basert på dGPS data hvor kun punktet DUS1 viser sikker gravitativ bevegelse med dagens måleserie tror vi ikke dette er det mest sannsynlige scenarioet, men representerer et "worst case" scenario. Det kreves langt mer omfattende undersøkelser for å utarbeide scenarioer med mindre utløpslengder.





# 6.5 Gamanjunni 1

Gamanjunni 1 er et ustabilt område i Manndalen i Kåfjord Kommune. Gamanjunni 1 er befart og rapportert flere ganger tidligere, se Tabell 4. Årets feltarbeid var utelukkende innsamling av dGPS data ved Gamanjunni 1. Nytt av året er nye InSAR data fra RADARSAT-2 og TerraSAR-X.



Figur 27: Kart og flyfoto over Gamanjunni 1. Avmerket: ERS InSAR data 1992-2000, posisjon for dGPS, hovedlinjamenter og innsynkningshull.

## 6.5.1 dGPS data

Innmåling av dGPS data har vært utført siden 2007, med et opphold i 2009. På Gamanjunni 1 er det kun ett fastpunkt og ett målepunkt, da det har vært utfordrende å finne fast fjell å installere punktene i. Vi ser av grafene i Figur 28 at målingen i 2008 skiller seg ut. I 2008 ble den horisontale komponenten målt som bevegelse mot nordøst med en signifikant vertikal innsynkningskomponent. Fra morfologiske og strukturgeologiske observasjoner er det vanskelig å finne støtte for denne målingen, da en bevegelse mot nordøst vil føre et bergartsvolum vinkelrett på høydekotene og opp i terrenget. Vertikalmålingen fra 2008 er derfor etter all sannsynlighet påvirket av målefeil. Basert på morfologiske og strukturgeologiske feltdata kan man forvente at en horisontalkomponent for bevegelse burde peke mot sørvest mot frontklippen og den frie fjellsiden. Horisontalmålingen fra 2008 er derfor etter all sannsynlighet også påvirket av målefeil. Målingene fra 2010 fører målepunktet tilbake til samme posisjon som for 2007, med en endring fra 2007-2010 på 1 mm vertikalt og 3 mm vestlig. Denne tilsynelatende forflytningen er mindre enn usikkerheten til målemetoden. Ut i fra det eksisterende dGPS datasettet kan vi derfor ikke fastslå hvorvidt det er bevegelse ved Gamanjunni 1. Selv om årets dGPS målinger indikerer at målepunktene på Gamanjunni 1 ikke har flyttet seg siden 2007, indikerer strukturgeologiske og morfologiske feltdata at fjellmassene er i bevegelse på Gamanjunni 1. Velutviklede baksprekker og innsynkningshull over blinde ekstensjonssprekker i dypet forteller om pågående aktivitet. Det anbefales derfor at Gamanjunni 1 fortsatt inkluderes i periodisk overvåkning med 2-4 års inmålingsintervaller. Vi foreslår videre at man forsøker å finne gode punkter for å benytte ekstensjonsmålebånd på tvers av sprekker for å supplere de få dGPS-dataene.



#### Tabell 7: dGPS data samlet inn for Gamanjunni 1 mellom 2007-2010.

Figur 28: dGPS målinger for Gamanjunni 1 2007-2010. Venstre: horisontalkomponent; Høyre: vertikalkomponent.

### 6.5.2 Strukturgeologiske data

Gamanjunni 1 har blitt beskrevet i tidligere rapporter, samt i en vitenskapelig artikkel av Henderson m. fl. (2011).

#### 6.5.3 Lidarskanning

Gamanjunni 1 er ikke Lidarskannet. Det er ingen plan om fremtidig skanning.

#### 6.5.4 Insar data

ERS InSAR data gir et bilde av bevegelsene ved Gamanjunni 1 i tråd med strukturelle og morfologiske data. Vi ser at det ustabile området avgrenset av baksprekkene i Figur 27 står i tydelig kontrast til områdene i det antatt stabile området (blå farge). InSAR-verdiene synker (rød farge) i sørvestlig retning ut mot frontklippen, og dette indikerer at området er i bevegelse bort fra satelitten, altså nedover fjellsiden. På grunn av begrensninger i algoritmene benyttet for prosessering av InSAR dataene kan man ikke uten videre benytte dataverdiene fra ERS InSAR datasettet (3-6 mm/år) som faktiske størrelser for den reelle bevegelsen. Benytter man allikevel InSAR verdiene som et mål på bevegelse for å danne seg et bilde av størrelsesordenen på bevegelsen, er denne opp mot 6 mm/år i gjennomsnittsinnsynkning i årene 1992-2000 for hengblokken. Dette tilsvarer en akkumulert bevegelse på 3-5 cm i denne åtteårsperioden. Ute nær frontklippen er det tett med innsynkningshull og avlange depresjoner i jordsmonnet og grusdekket, noe som indikerer åpning av blinde tensjonssprekker i undergrunnen, med påfølgende deformasjon av overflatedekket. Basert på dette kan Gamanjunni 1 beskrives som en aktiv fjellside med utglidning i retning sørvest. Mest sannsynlig parallelt den topografiske gradienten.

Gamanjunni 1 er et av områdene som er dekt av Radarsat 2 og TerraSAR-X satellittene, se Figur 29. Begge satellittene indikerer at området hvor dGPS-punktet er installert beveger seg om lag 5 mm/år, mens områdene lenger sør innenfor det ustabile området beveger seg opp mot 20 mm/år. Vi observerer også at det er et svært godt samsvar mellom strukturene som avgrenser det ustabile området og InSAR-målingene.



Figur 29: Venstre: Radarsat-2 data ©CSA, levert av Norsk Romsenter/KSAT 2010; Høyre: TerraSAR-X data ©DLR 2010.

### 6.5.5 Utløpsanalyse

Fra Scheideggerkurven beregnes en utløpslengde på 3600 meter for Gamanjunni 1 gitt at hele volumet på 18 Mm<sup>3</sup> (Henderson et al, 2010) kollapser. Dette medfører et "worst-case" scenario hvor fjellskredet vil krysse Manndalen og klatre opp motsatt dalside og danne en oppdemning av Manndalselva oppstrøms. Med dagens forståelse av Gamanjunni 1 anser vi dette som et lite sannsynlig scenario. Volumestimatet er svært unøyaktig, og en forbedret beregning av volum i fremtiden vil påvirke utløpsanalysen.





# 6.6 Gamanjunni 3

Gamanjunni 3 er et ustabilt fjellparti i Manndalen som viser en svært sterk deformasjon. Gamanjunni 3 består av en større blokk som har glidd ned fjellsiden over hundre meter, og forflytter masser i front av blokken. Gamanjunni 3 ble feltbefart i 2009 og fulgt opp videre i 2010. Gamanjunni 3 er et objekt som krever tett oppfølging i årene som kommer med bakkebaserte radarundersøkelser, feltbefaring, lidarskanning og innsamling av nye InSAR data fra denne lokaliteten.



Figur 31: Kart og flyfoto over Gamanjunni 3. Avmerket: posisjon for dGPS, Lidar skannestasjoner, hovedlinjamenter og observasjonspunkt. Se tekst for detaljer. Gamanjunni 2 (Id 1028) er også avmerket.

### 6.6.1 dGPS data

Det er ikke innmålt dGPS data på Gamanjunni 3. Dette kommer av at det er svært vanskelig å finne gode plasseringer for måleboltene grunnet svært løst og oppsprukket fjell.

#### 6.6.2 Strukturgeologiske data

Gamanjunni 3 har blitt beskrevet i tidligere rapporter, se Tabell 1. Basert på tidligere rapportering og årets feltarbeid har Gamanjunni 3 i år blitt løftet opp til et høyere detaljnivå med tanke på kartlegging og undersøkelser. Dette objektet gis derfor en utvidet beskrivelse i det følgende.

Gamanjunni 3 karakteriseres av en større glideblokk som er fullstendig løsnet fra fjellsiden. Glideblokken måler om lag 300x200 meter i henholdsvis nordlig og østlig retning, og fremstår som inntakt i minimum 200 høydemeter, se Figur 32. En undre avgrensning av glideblokken er minimum den hvite korreleringshorisonten i Figur 33(a). Ved innmåling av to punkter i hhv glideblokk og stabil berggrunn som antas å ha vært sidestilt før deformasjonen, oppnår vi en horisontal separasjon på 120m og vertikalt sprang på 100 m. Dette antyder en utglidningsvinkel på ca 40 grader og total forflytning nedover glideplanet på 156 meter. En GIS analyse på 10m DTM av terrengets helning gir at glideplanet som er eksponert i glideblokkens bakkant faller mellom 43-50 grader.

Den sørlige avgrensning av det ustabile området er definert ved et lateralt glideplan med venstrerettet normalbevegelse. Dette glideplanet stryker mot sørvest og utvikler seg til en større kløft som separerer glideblokken fra underliggende stabilt fjell. Glideblokken har begynt å desintegrere inn i denne kløften ved normalrettede hengselforkastninger. Svært mange ferske bruddflater på blokker i denne kløften indikerer høy aktivitet av steinsprang. Denne kløften utvider seg ved om lag kote 940, og danner en større ur som fortsetter helt ned til dalbunnen. Fersk steinsprangaktivitet ble registrert i ura helt ned til lidarposisjon GAM3-L-A i Figur 31. Bakre avgrensning er definert ved et øst-sørøstlig strykende glideplan med normalrettet bevegelse av glideblokken. Dette glideplanet er muligens observerbart på flyfoto helt ned til ca kote 600, se Figur 33(a). Antakelsen av at glideplanet har sitt utgående i topografien er basert på observasjon av volumet som mangler i fjellsiden mellom Gamanjunni 3 & Gamanjunni 2. Her ser vi at det mangler et volum som har sklidd ut i førhistorisk tid, og etterlatt seg et kileformet rom i fjellsiden som løper ut i topografien om lag ved kote 600.

En kinematisk analyse av sprekkesett ved Gamanjunni 3 indikerer at deformasjonen foregår ved kileutglidning. Flere av sprekkesettene muliggjør kollaps innenfor en friksjonsvinkel på 20-30 grader, se Figur 33(b). Begge de omtalte baksprekkene krysses innenfor kollapssonen for kileutglidning selv for høye friksjonsvinkler. Vi ser derimot at det er nødvendig med et fall på fjellsiden på over 40° for at betingelsen skal inntreffe. Sprekkesett J5 med gjennomsnittlig orientering 248/62 krysser baksprekkene #2 og #3 innenfor kollapssonen for kileutglidning.

Basert på feltundersøkelser, flyfototolkning og InSAR data vil man med dagens datagrunnlag forvente at fjellmassene i nedre halvdel av det ustabile området vil kollapse først. Dette vil destabilisere glideblokken som ligger ovenfor.



Figur 32: Korrelering av horisonter i glideblokken med horisonter i stabilt underliggende fjell ved Gamanjunni 3. Glideblokken fremstår som rimelig upåvirket av utglidningen, med kun en svak rotasjon og strekning av hengblokken.



Figur 33: (a) Korrelerbare horisonter viser tydelig vertikal forflytning. Mellom Gamanjunni 2 og Gamanjunni 3 ser vi at det mangler et større volum i fjellveggen. En analyse av antatte glideplan fra dette området indikerer at kileutglidning har inntruffet her tidligere. Gamanjunni 2 viser en begynnende deformasjon, mest sannsynlig er kileutglidning også hovedmekanisme her. (b) Analyse av strukturdata fra Gamanjunni 3. Kinematisk analyse indikerer at hengblokken forflytter seg ved kileutglidning langs to hovedsett sprekker.

# 6.6.3 Historiske flyfoto

Mellom 1978 og 2006 er det ingen tilsynelatende stor endring i horisontal forflytning av glideblokken, basert på en forenklet tolkning av historiske flyfoto. Dette samsvarer med de preliminære resultatene etter to års målinger med RADARSAT-2 og ett års måling med TerraSAR-X, som begge indikerer at glideblokken forflytter seg med om lag 5-10mm/år. Dette tilsvarer om lag 15-30 cm på de 28 årene som har gått mellom de to bildene. Denne endringen kan ikke fanges opp med nøyaktigheten det historiske bildet er georeferert med. NB: pilene og verdien 227 m i Figur 34 illustrerer avstanden mellom to kontrollpunkt på hver side av glideplanet i både 1978 og 2006, og er ikke knyttet til forflytning. Som tidligere nevnt er horisontal forflytning ca 120 m.



Figur 34: Mellom 1978 og 2006 er det ingen tilsynelatende stor endring i horisontal forflytning av glideblokken, basert på denne forenklede tolkningen av historiske flyfoto.

# 6.6.4 Lidarskanning

Gamanjunni 3 er ble Lidarskannet første gang i 2010, se Figur 31 for posisjoner for skanning. Glideblokken og frontura ble skannet fra en lav posisjon med siktelinje oppover, samt at glideblokken også ble skannet fra to posisjoner fra toppen av fjellsiden med siktelinje ned på glideblokken.

Bakskrenten er i hovedsak dannet av bruddsett J1 (222/53) og J1' (202/56). Lokale sprekkesett (J3 og J4) danner overhengende bruddflater som antagelig har vært tidligere bakskrenter til mindre blokkfall. J3 og J4 finnes internt i J1 bruddflater, og til sammen danner dette en trappetrinnsgeometri på det bakre glideplanet. Foliasjonen har blitt tolket fra punktskyen å være svakt fallende mot nord (025/28) i de stabile volumene under glideblokken, mens foliasjonen i glideblokken fra punktskyen virker å falle noe mindre (025/10 i glideblokk mot 025/28 i stabil underliggende blokk). Denne rotasjonen samsvarer med observasjonene fra korrelering av horisonter vist i Figur 32. Glideblokken fremstår som mer oppsprukket enn den stabile underliggende blokken.



Figur 35: Hovedbruddsett målt ved Gamanjunni 3 med Lidar. Stereonettet viser gjennomsnittlige poler for bruddsettene for både bakskrenten og glideblokken, samt for hvert bruddsett (poler og storsirkler).

### 6.6.5 Insar data

Ved Gamanjunni 3 er det en tydelig forskjell i dataene samlet fra ERS satellitten og fra RADARSAT-2 satellitten. Noe av denne forskjellen kan tilskrives forskjeller i baneretning for satellittene, samt ulik romlig oppløsning. Vi merker oss at det er en tydelig signifikant endring på bevegelsen i RADARSAT-2-signalet innenfor og utenfor de avgrensende linjamentene, hvor forflytningen nedover fjellsiden for løsmassene i frontura er opp til 30 mm/år. Selve glideblokken har beveget seg om lag 10 mm/år i tidsrommet hvor dataene er samlet inn. Dette kan også observeres på satellittdata fra TerraSAR-X satellitten (Figur 37). Dataene fra denne satellitten viser i hovedsak det samme som dataene fra RADARSAT-2, men det er en enda tydeligere avgrensning av det ustabile området, spesielt mot nord hvor det ikke er registrert signifikant bevegelse.



Figur 36: Venstre: InSAR data fra ERS InSAR satellitten (1992-2000); Høyre: RADARSAT-2 satellitten (2008-2010). Merk: ulik justering av fargeskala! Også merk at RADARSAT-2 resultatene er svært midlertidige, da prosseseringen foreløpig bygger på en svært kort måleserie.



Figur 37: Venstre: Radarsat-2 data ©CSA, levert av Norsk Romsenter/KSAT 2010; Høyre: TerraSAR-X data ©DLR 2010

#### Utløpsanalyse

Dersom man antar at hele volumet ved Gamanjunni 3 som er anslått til 8 Mm<sup>3</sup> (Henderson et al, 2020) kollapser, vil man ved å benytte Scheideggerkurven beregne en utløpslengde på 3150 meter. Dette medfører at et fremtidig fjellskred vil krysse Manndalen og klatre opp motsatt dalside, og gi oppdemning av Manndalselva oppstrøms. Dette er et "worst-case" scenario. Det presiseres at dette er svært avhengig av volumestimatet. Sommeren 2011 vil Gamanjunni 3 skannes med bakkebasert radar. Dette vil gi økt forståelse av det ustabile området, og bedre og mer nøyaktig utløpsanalyse vil kunne gjennomføres.



Figur 38: Utløpsanalyse for Gamanjunni 3. Gitt at hele volumet løsner i èn hendelse vil utløpet bli opp mot 3100 m langt og dermed krysse og demme dalen.

# 6.7 Gavtavarri

Gavtavarri er en vestvendt ustabil fjellside langs østsiden av Kåfjorden. Den viser høy grad av strekning, med stedvis åpne tensjonssprekker og velutviklede rampestrukturer. Gavtavarri ble feltbefart i 2007 for første gang, og rapportert i NGU Rapport 2008.025 og NGU Rapport 2009.023. I 2010 var fokus innmåling av dGPS og skanning med lidar.



Figur 39: Kart og flyfoto over Gavtavarri. Avmerket: posisjon for dGPS, InSAR måleposisjon og hovedlinjamenter.

# 6.7.1 dGPS data

Siden 2008 har målepunkt GV-4 har endret seg systematisk vertikalt, med en akkumulert endring på ca 9mm på to år. Dette gjør de vertikale endringene i GV-4 signifikante målt i forhold til 2008. De andre målepunktene viser ingen systematisk vertikal forflytning. De horisontale endringene for alle punktene endrer retning fra innmåling til innmåling. Lengre måleserier anbefales derfor før noen videre konklusjon kan trekkes. Vi betegner derfor foreløpig målepunktene ved Gavtavarri som usikre gravitative bevegelser. Det kan allikevel påpekes at man på sikt burde forvente horisontale bevegelsesvektorer i retningene (basert på morfologiske og strukturelle feltobservasjoner):

GV-1: sør-sørøstlig bevegelse GV-2: sørlig til sørvestlig GV-3: fra sørøst via sørlig til sørvestlig GV-4: sørlig til sørvestlig

Man kan derfor med dagens datagrunnlag beskrive Gavtavarri som en fjellside hvor massene i hengblokken over hovedglideplanet muligens er i svakt kryp basert på punktet GV-4, mens området mellom hovedglideplanet og baksprekken er i ro, se Figur 39. NGU anbefaler å øke måleintervallet til 2-4 år for Gavtavarri.

Tabell 8: dGPS data samlet inn for Gavtavarri 2008-20	10	),
---	----	----

		Abs	solutt koordinat		3σ	standarda	vvik	Sammenlagt endring fra første måleår				eår
PUNKT	Ar	N	E	Н	sN	sE	sH	dN	dE	Avstand	Retning	dH
GV-FP	2008	7720434,7120	486197,4740	1176,0920								
GV_FP	2009	7720434,7120	486197,4740	1176,0920								
GV-FP	2010	7720434,7120	486197,4740	1176,0920								
GV-1	2008	7720540,1720	485005,1703	831,1427	0,0005	0,0005	0,0015					
GV-1	2009	7720540,1740	485005,1653	831,1411	0,0005	0,0005	0,0014	0,002	-0,005	0,005	324,22	-0,002
GV-1	2010	7720540,1696	485005,1676	831,1420	0,0004	0,0006	0,0010	-0,002	-0,003	0,004	253,74	-0,001
GV-2	2008	7720676,5388	484715,9409	795,2444	0,0006	0,0006	0,0017					
GV-2	2009	7720676,5428	484715,9347	795,2405	0,0005	0,0006	0,0014	0,004	-0,006	0,007	336,48	-0,004
GV-2	2010	7720676,537	484715,9373	795,2404	0,0005	0,0006	0,0011	-0,0019	-0,0036	0,0040706	269,08433	-0,004
GV-3	2008	7720203,531	484876,2506	734,7797	0,0006	0,0006	0,0016					
GV-3	2009	7720203,529	484876,242	734,7865	0,0005	0,0006	0,0015	-0,0013	-0,0086	0,0086977	290,44898	0,0068
GV-3	2010	7720203,527	484876,2454	734,7764	0,0005	0,0006	0,0011	-0,0031	-0,0052	0,0060539	265,77617	-0,0033
GV-4	2008	7720257,828	484620,4788	668,4741	0,0006	0,0006	0,0016					
GV-4	2009	7720257,828	484620,4722	668,4714	0,0005	0,0007	0,0017	0,0006	-0,0066	0,0066272	305,77159	-0,0027
GV-4	2010	7720257,823	484620,4729	668,4654	0,0005	0,0006	0,0011	-0,0049	-0,0059	0,0076694	255,87787	-0,0087





Figur 40: Plott over horisontale endringer (venstre) og vertikale endringer (høyre) i dGPS-data fra 2008-2010.

## 6.7.2 Strukturgeologiske data

Gavtavarri har blitt befart tidligere. Det ble derfor ikke gjennomført strukturgeologiske arbeider her i 2010, kun periodisk innmåling av Lidar og dGPS. At Gavtavarri har vært under sterkt deformasjon tidligere er det ingen tvil om. Dette er svært tydelig ved feltobservasjoner av lange rekker av innsynkningshull over blinde tensjonssprekker, samt åpne tensjonssprekker i dagen med flere meters åpning og mange titalls meter dybde. Dette er særlig utpreget i området mellom hovedglideplanet og baksprekken hvor dGPS-punktene GV-1 og GV-2 er plassert.



Figur 41: Rekke av innsynkningshull viser svært stor strekning i undergrunnen.



Figur 42: (a) Tolkning av flyfoto fra <u>www.norgei3d.no;</u> (b) åpen tensjonssprekk. Åpningsretning er vinkelrett på strøkretningen til kontrollerende baksprekk, se røde tensjonspiler i figur (a). Dybde: titalls meter.

# 6.7.3 Lidarskanning

Gavtavarri ble Lidarskannet i 2008 og 2010. Sprekkene inne på platået (Figur 42 b) ble skannet, samt den deformerte fjellsiden ned fra platået mellom dGPS-punktene GV-1 og GV-3. En korteste-avstand-analyse av punktskyen som ble skannet av sprekken i Figur 42 b viser ingen signifikant bevegelse.



•
484400
484600
484800
485000
485200
485400

Figur 43: Lidar punktsky for Gavtavarri. A, B og C: skanningposisjoner..
6
6
6
6
6
6
6
6
6
6
6
6
6
6
6
6
6
6
6
6
6
6
7
6
7
6
7
6
7
6
7
6
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7
7</

# 6.7.4 Insar data

ERS InSAR data bekrefter tolkningen av dGPS – dataene. Ingen forflytning for punktene GV-1, GV-2 & GV-3, mens det er en liten forflytning på noen få mm/år vertikalt i gjennomsnitt for GV-4. Området mellom kontrollerende baksprekk og hovedglideplan fremstår stabilt, mens området i hengblokken til hovedglideplanet er stedvis i sakte sig. Nye satelittdata fra RADARSAT-2 kan endre dette bildet når de ankommer i fremtiden, og NGU anbefaler at det samles inn detaljerte InSAR data for Gavtavarri i fremtiden som en del av periodisk overvåkning.



Figur 44: ERS InSAR data fra Gavtavarri. Årlig gjennomsnittsbevegelse 1992-2000.

# 6.7.5 Utløpsanalyse

Gavtavarri er et stort ustabilt område som mest sannsynlig består av flere delområder som er i bevegelse med ulike hastigheter. En beregning av utløpsområde forutsetter langt mer detaljerte undersøkelser enn hva som er foretatt hittil.

# 6.8 Giilavarri

Giilavarri er en stor vestvendt ustabil fjellside langs østsiden av Kåfjorden, og ligger på rekke med Gavtavarri og Staluvarri. Giilavarri ble første gang feltbefart og rapportert i 2010 med denne rapporten. Giilavarri viser stedvis høy grad av ekstensjon, men mye tyder på at Giilavarri, sammen med blant annet Staluvarri og Gavtavarri, er en type ustabil fjellside som betegnes som "sackung" eller "deep-seated gravitational slope deformation," DSGSD internasjonalt). Bergartene ved Giilavarri er medium metamorfe paragneiser rike på glimmer som biotitt og muskovitt. Det ble det funnet kyanittaggregater opptil 3-5 cm store. Det meste av fjellsiden er oppsprukket i blokker, så foliasjonen var vanskelig å måle. Der den ble innmålt hadde den et fall på 30 grader mot øst-sørøst. Dette medfører at foliasjonen faller inn mot fjellet, og foliasjonen kan ikke virker som glideplan.



Figur 45: Kart og flyfoto over Giilavarri. Avmerket: hovedlinjamenter og observasjonspunkt. Se tekst for detaljer. Baksprekken er antatt å krysse tilstøtende daler og deformere Gavtavarri og Staluvarri også. Røde og gule piler: antatt ekstensjonsretning.

## 6.8.1 dGPS data

Ingen dGPS målepunkter er utplassert på Giilavarri. Det er vanskelig å finne gode posisjoner både for fastpunkt og målepunkt.

#### 6.8.2 Strukturgeologiske data

Giilavarri fremstår som en svært stor fjellside som er i oppsprekning, med store områder av blokker og ur. Morfologiske linjamenter i blokkfeltene indikerer en underliggende strukturell kontroll av deformasjonen, som for eksempel innsynkningshull. På grunn av tildekkingen av løse blokker er det vanskelig å få gode eksponeringer av glideplan og sprekkesystemer. Den ustabile delen av fjellsiden ved Giilavarri stryker NV-SØ, og parallelt med og gjennom fjellsiden går en regional normalforkastning med sitt høyeste utgående ved kote 1050. Flere feltobservasjoner indikerer at denne også krysser de to tilstøtende dalene på hver side av Giilavarri, og deformerer fjellene Gavtavarri og Staluvarri. Denne forkastningen er antatt å være kontrollerende baksprekk for den delen av deformasjonen som gir en bevegelsesvektor for løsmassene ut mot fjorden i retning sørvest. I glideblokken til denne baksprekken finner vi videre et velutviklet system av nedsunket og oppstikkende glideblokker (horst-og-graben system) som er dannet ved ren ekstensjon mot NV-SØ, altså strøkparallelt med den kontrollerende regionale baksprekken og vinkelrett på ekstensjonen knyttet til denne. Se Figur 45 og Figur 46. Den samme ekstensjonen finner vi også igjen nær toppen av Giilavarri, ved observasjonspunktene GI-1 til GI-6 (Figur 47a-b). Vi har med andre ord den samme nordvestlig-sørøstlige ekstensjon på begge sider av den kontrollerende baksprekken.



Figur 46: Horst-og-graben system intern i hengblokken til kontrollerende baksprekk. Ekstensjonen er strøkparallell med kontrollerende baksprekk, og vinkelrett på glideretningen til fjellsiden. Grønn sirkel: personer for skala. Gul pil: sørvestlig fallrettet ekstensjon ut mot fjorden som resultat av bevegelser på kontrollerende baksprekk. Rosa piler: ren ekstensjon mot nordvest-sørøst parallelt med kontrollerende baksprekk og fjellside.



Figur 47: (a) Overdekt forkastningsplan. Personer for skala. (b) Innsynkningshull og avlang morfologisk depresjon vitner om blinde tensjonssprekker i undergrunnen. Begge bilder illustrerer NV-SØ ekstensjonsprodukter.



Figur 48: Strukturdata for Giilavarri. Fjellsiden er svært oppsprukket og fragmentert i blokker. Det var derfor kun mulig å samle inn gode strukturdata nær toppen av fjellet. Data fra stasjoner GI-1 til GI-6. Se Figur 45 for posisjoner.

Dette gjenspeiler seg også i datasettene som er samlet inn. Sprekkesettene J1 & J3 samsvarer med NV-SØ ekstensjon (rosa piler). Sprekkesett J2 samsvarer med SV ekstensjon (gul pil). Foliasjonen (SF) er orientert med fall ut mot fjorden med ca 30 graders fall. Disse strukturdataene er kun samlet inn i den antatt stabile blokken til den kontrollerende baksprekken ved observasjonspunktene GI-1 til GI-6. Basert på observasjonene er det med dagens kunnskap mest nærliggende å beskrive Giilavarri som en stor ustabil fjellside i sakte deformasjon som gradvis og sakte brytes opp av langsomme prosesser. Det er svært vanskelig å overvåke eller følge opp fjellsider av denne størrelsen basert på dGPS-systemer. Vi anbefaler derfor som fremtidig oppfølging av Giilavarri innsamling av Radarsat 2 InSAR data og innsamling av detaljerte flyfoto. Dette fordi fjellsiden har en rekke morfologiske strukturelementer som indikerer en pågående deformasjon.

# 6.8.3 Lidarskanning

Giilavarri er ikke Lidarskannet. Det er ikke planer om dette i fremtiden.

## 6.8.4 Insar data

Giilavarri er registrert på ERS InSAR data fra 1992-2000, se Figur 45. Utslaget er opp mot 6 mm/år i en løs ur. Det bemerkes at for ERS InSAR data er ikke pixelverdiene noe annet enn en indikasjon på bevegelseshastigheten. Dette kan mest sannsynlig tilskrives krypprossesser og mindre blokkutrasninger i ura, som er en normal prosess i en bratt fjellside. Radarsat 2 data er ikke samlet inn for denne lokaliteten. Vi anbefaler at dette samles inn i fremtiden som ledd i en periodisk overvåkning av alle de ustabile fjellsidene langs østsiden av Kåfjorden.

## 6.8.5 Utløpsanalyse

Giilavarri er et stort ustabilt område som består av flere delområder som er i bevegelse med ulike hastigheter. Analysene gjort frem til nå indikerer at fjellsiden brytes opp i blokker og ur gjennom en langsom krypprosess. Dette reduserer sannsynligheten for at et fjellskred vil inntreffe med en bevegelsesmekanisme som gir et langt utløp. En detaljert beregning av utløpsområde forutsetter langt mer detaljerte undersøkelser enn hva som er foretatt hittil.

# 6.9 Gryta

Gryta ble første gang oppdaget ved bruk av flyfoto vinteren 2010, og feltbefart første gang august 2010. Gryta ligger nordvestvendt på Arnøya, og fra det ustabile området er det fri siktelinje rett ut i Lopphavet og mot Tromsøflaket. Bergartene ved Gryta består av granittsike gneiser med foliasjon som faller mot nordvest, parallelt med fjellsidens gradient. Dette tilrettelegger for at foliasjonsplanene lettere kan benyttes som glideplan.



Figur 49: Kart og flyfoto over Gryta. Avmerket: hovedlinjamenter og observasjonspunkt. Se tekst for detaljer.

#### 6.9.1 dGPS data

Ingen dGPS målepunkter er utplassert på Gryta. Det er ikke vurdert nødvendig med dagens forståelse av objektet.

#### 6.9.2 <u>Strukturgeologiske data</u>



Figur 50: (a) Strukturgeologiske data samlet inn på to lokaliteter ved Gryta. Se kart ovenfor for plassering av observasjonspunkt. Viser sprekkesett J1 & J2 samt foliasjon SF. Alle med beregnet gjennomsnittsverdier; (b) kinematisk analyse viser mulighet for planutglidning

Gryta fremstår som et kraftig oppsprukket område avgrenset i bakkant av krumme bakskrenter med fallrettet forflytning skrått ut mot fjorden.



Figur 51: Bilder fra enkel befaring av Gryta. (a) høyvinklet sprekk med kvartsmineralisering. Demonstrerer hvordan ung deformasjon benytter allerede eksisterende bruddstrukturer. Åpning ca 20 cm; (b-d) kraftig oppsprukket blokkfelt med klippekanter opptil 5m høye. Foto tatt ved GRY-4. Foliasjonen faller ca 21 grader mot sjøen og stryker 182 grader i hele området, som vist på stereonettet. Sprekkesystemet karakteriseres av to konjugerte sprekkesett; (e) bakskrent sett i felt; (f) Bakskrent med eksponert fast fjell i hengblokk (høyre bildekant).

Bakskrentene er tydelige på flyfoto, men fremstår i felt som depresjoner i bakken med markert endring i helning, se Figur 51(e). Selve glideplanet er overdekt av løsmasser. Området er kraftig oppsprukket på grunn av to konjugerte sprekkesett J1 & J2. Orienteringen til J1 & J2 sammen med foliasjonen SF (se Figur 50) danner et strukturelt rammeverk som muliggjør glidning på foliasjonen, se Figur 50(b). Bruddene vil da være rene tensjonsbrudd i J2, mens J1 vil virke som sideavgrensende sprekker med venstrelengs (sinistral) bevegelse. Denne tolkningen er kinematisk mulig når fjellsiden har en helning brattere enn 20 grader. Dersom dette sammenholdes med en helningsanalyse for fjellsiden basert på 25x25m DTM, ser vi at områdene med helning

brattere enn 20 grader er preget av sterk oppsprekning. Blir helningen brattere enn 23-25 grader består fjellsiden av fullstendig oppsprukket bergmasse som danner blokkfelt.



Figur 52: (a) Helningsvinkel for fjellsiden inndelt i intervaller. De største linjamentene synlig på orto50 er digitalisert inn. Mørkeblå områder samsvarer med områder med ur. (b) Oversiktsfoto fra <u>www.norgeibilder.no</u>. I områder brattere enn 23 grader er det kinematisk mulig med planutglidning langs foliasjonsplanet. Merk tungen av tidligere utrast materiale som har stoppet i fjellsiden (hvit pil).

#### 6.9.3 Lidarskanning

Gryta er ikke Lidarskannet. Det er ingen fremtidig plan om å skanne.

#### 6.9.4 Insar data

Gryta er registrert på ERS InSAR data fra 1992-2000, se Figur 49. Det er ingen indikasjon på bevegelse.

#### 6.9.5 Utløpsanalyse

Det er med dagens kunnskap ingen grunn til å anta en kollaps av Gryta i èn hendelse. Dette baserer seg på ERS InSAR data, som ikke viser tegn til aktivitet. Dersom denne situasjonen endrer seg, vil en fremtidig kollaps kunne nå sjøen dersom volumet er stort nok. Mindre utrasninger vil stanse opp i fjellsiden slik vi ser ved den hvite pilen i Figur 52(b).



Figur 53: Volum er ikke beregnet og dermed er ikke Scheideggerkurven benyttet. Men massene vil etter all sannsynlighet nå fjorden ved en utrasning dersom stort nok volum løsner i en hendelse. Mindre tunger av rasmateriale fra tidligere utrasning har stoppet i skråningen, se Figur 52(b).

# 6.10 Hengfjellet 1

Hengfjellet ligger på linje med Revdalsfjellet og Nordnesfjellet, og ble første gang feltbefart i 2009. Årets feltarbeid fokuserte kun på innsamling av dGPS data. Hengfjellet er en blokk som kan underinndeles i flere mindre delblokker (Henderson et al, 2010).



Figur 54: Kart og flyfoto over Hengfjellet. Avmerket: hovedlinjamenter og dGPS-punkt. ERS InSAR data 1992-2000. Se tekst for detaljer.

# 6.10.1 dGPS data

dGPS punkt på Hengfjellet ble installert i 2009, med første repeterte innmåling i 2010. Ingen bevegelse er registrert.

		Ab	solutt koordinat	3 <del>o</del> standardavvík			Sammenlagt endring fra første måleår					
PUNKT	År	N	E	н	sN	sE	sH	dN	dE	Avstand	Retning	dH
HEN-FP	2009	7708583,4890	475466,2610	721,3750								
HEN-FP	2010	7708583,4890	475466,2610	721,3750								
HEN-1	2009	7708515,0430	475242,3775	667,8083	0,0001	0,0001	0,0005					
HEN-1	2010	7708515,0446	475242,3779	667,8116	0,0004	0,0006	0,0011	0,0016	0,0004	0,001649242	15,59582608	0,0033
HEN-2	2009	7708542,6250	475222,4157	657,8588	0,0001	0,0001	0,0004					
HEN-2	2010	7708542,6260	475222,4164	657,8585	0,0004	0,0006	0,0011	0,001	0,0007	0,001220656	38,88001647	-0,0003
HEN-3	2009	7708542,4442	475212,0984	655,7926	0,0001	0,0001	0,0004					
HEN-3	2010	7708542,4446	475212,0978	655,7909	0,0004	0,0006	0,0011	0,000	-0,001	0,001	337,43	-0,002

#### Tabell 9: dGPS data samlet inn for Hengfjellet 1 2009-2010.



Figur 55: dGPS data for Hengfjellet 2009-2010. Ingen signifikante endringer.

# 6.10.2 Strukturgeologiske data

Hengfjellet ble første gang befart i 2009, og rapportert i NGU rapport 2010.021.

# 6.10.3 Lidarskanning

Hengfjellet 1 er ikke Lidarskannet. Det er ingen fremtidig plan om å skanne Hengfjellet.

### 6.10.4 Insar data

Det er ingen tydelige tegn til bevegelse på InSAR.

# 6.11 Humpen

Humpen er et ustabilt område i Signaldalen som viser svært høy deformasjonsgrad. Området er blitt feltbefart tidligere, og årets fokus var derfor innsamling av dGPS-data. I tillegg ble en hovedfagsstudent engasjert på Humpen i 2010 for å utføre mastergrad på det ustabile området. Dette vil gi detaljerte analyser og data fra Humpen i løpet av 2011-2012.



Figur 56: Kart og flyfoto over Humpen. Avmerket: posisjon for dGPS målepunkt og observasjonspunkt for preliminært feltarbeid 2010. Full analyse av linjamenter og strukturer kommer i 2011/2012.



Figur 57: Panorama over baksprekken og hengblokka ved Humpen. Se helikopter for skala. Bildet er tatt mot sørøst. Baksprekken er opptil 100m bred og 100m høy.

#### 6.11.1 dGPS data

Posisjon for installerte dGPS punkt er vist i Figur 56, og er installert på begge sider av baksprekken avbildet i Figur 57. Den horisontale bevegelsen i de ulike målepunktene er visualisert i

Figur 58. Alle punktene med unntak av HO-3 viser bevegelse mot nord-nordøst for måleperioden 2009-2010. Den nordlige komponenten er signifikant mens den østlig komponenten er under signifikansgrensen. En nordøstlig forflytning er langt vanskeligere å forklare enn en sørvestlig forflytning som ble registrert i perioden 2008-2009. I all hovedsak fremstår de morfologiske og strukturelle observasjonene i området som dannet ved sørvestlig ekstensjon. Vi ser av Figur 59 at målepunktet HO-3 er svært gunstig plassert i forhold til området med størst endring i ERS InSAR dataene. Punkt HO-3 er også det punktet som viser minst nordlig og østlig bevegelse mellom 2009/2010. Årsaken til årets innmålte nordøstlige horisontale bevegelsesvektor er ikke kjent, men det er nærliggende å anta at målefeil har blitt introdusert. Dette er også nærliggende å anta for de vertikale måledataene. Været på innmålingsdagen var dominert av skyer og tåke.

De vertikale endringene er sammenfallende for alle fem målepunkter, med kun mindre forskjeller. Alle viser en innsynkning fra 2008-2009, som erstattes med et vesentlig oppløft mellom 2009-2010 til et nivå mellom 7-23 mm over nivået fra første måleår. Det er lite som tyder på at området ved Humpen er preget av oppløft idet ustabile området vest for baksprekken når man betrakter Figur 57. Årets måleresultat bør derfor vurderes som påvirket av målefeil både horisontalt og vertikalt. Fremtidige måleserier vil avklare dette. NGU anbefaler at dGPS målinger fortsetter ved Humpen også i 2011. Deretter kan en evaluering foretas hvorvidt måleintervallet bør økes til flerårig.

		Absolutt koordinat 3 σ stand					/vik	Sammenlagt endring fra første måleår					
PUNKT	Ar	N	E	Н	sN	sE	sH	dN	dE	Avstand	Retning	dH	
HO-6_FP	2008	7670576,6330	464508,4820	881,0360									
HO-6_FP	2009	7670576,6330	464508,4820	881,0360									
HO-FP	2010	7670576,6330	464508,4820	881,0360									
HO-1	2008	7669592,9045	464433,7783	577,6581	0,0006	0,0006	0,0016						
HO-1	2009	7669592,8973	464433,7699	577,6528	0,0003	0,0002	0,0008	-0,007	-0,008	0,011	254,89	-0,005	
HO-1	2010	7669592,8983	464433,7714	577,6797	0,0005	0,0006	0,0011	-0,006	-0,007	0,009	253,40	0,022	
HO-2	2008	7669871,5361	464179,8936	517,1770	0,0006	0,0006	0,0015						
HO-2	2009	7669871,5307	464179,8862	517,1690	0,0003	0,0002	0,0008	-0,005	-0,007	0,009	259,87	-0,008	
HO-2	2010	7669871,5355	464179,8876	517,1998	0,0004	0,0006	0,0010	-0,001	-0,006	0,006	293,65	0,023	
HO-3	2008	7670353,2941	464139,2371	613,9578	0,0006	0,0005	0,0015						
HO-3	2009	7670353,2906	464139,2315	613,9479	0,0003	0,0002	0,0007	-0,003	-0,006	0,007	264,44	-0,010	
HO-3	2010	7670353,2910	464139,2306	613,9696	0,0004	0,0005	0,0009	-0,003	-0,007	0,007	271,67	0,012	
HO-4	2008	7670134,4314	464351,1542	683,5129	0,0006	0,0006	0,0016						
HO-4	2009	7670134,4286	464351,1508	683,5030	0,0003	0,0002	0,0007	-0,003	-0,003	0,004	256,14	-0,010	
HO-4	2010	7670134,4314	464351,1524	683,5220	0,0004	0,0005	0,0009	0,000	-0,002	0,002	300,00	0,009	
HO-5	2008	7670063,4433	464604,7617	763,6608	0,0005	0,0005	0,0014						
HO-5	2009	7670063,4427	464604,7601	763,6564	0,0002	0,0002	0,0006	-0,001	-0,002	0,002	277,16	-0,004	
HO-5	2010	7670063,4452	464604,7602	763,6676	0,0004	0,0005	0,0008	0,002	-0,001	0,002	357,46	0,007	

#### Tabell 10: dGPS data samlet inn for Humpen 2008-2010.







Figur 58: Plott over horisontale endringer (venstre) og vertikale endringer (høyre) i dGPS-data fra 2008-2010. Den nordøstlige horisontale bevegelsen og det vertikale oppløftet som er registrert mellom 2009/2010 antas p.t. å være grunnet målefeil. Merk: vertikale endringer knytter det seg store usikkerheter til pga tekniske og matematiske begrensninger i måleutstyr og metodikk. De vertikale endringene må derfor sees som indikasjoner og ikke faktiske bevegelser.

#### 6.11.2 Strukturgeologiske data

En enkel strukturgeologisk beskrivelse av Humpen ble gitt i NGU Rapport 2009.023. Humpen ble i 2010 etablert som et feltområde for en mastergradskandidat i geologi ved Universitetet i Tromsø. Detaljerte resultater fra dette arbeidet forventes ferdig i løpet av 2011/2012, og vil bli rapportert da.

### 6.11.3 Lidarskanning

Humpen er ikke Lidarskannet. NGU anbefaler at Humpen skannes med lidar i utvalgte områder. Dette planlegges for 2011.

# 6.11.4 Insar data

ERS InSAR data fra Humpen viser tydelig kontrast innenfor og utenfor strukturelle linjamenter. Dette indikerer betydelige bevegelser. Resultatene sammenfaller svært godt med strukturelle feltdata. Nye Radarsat-2 data vil kunne øke forståelsen av Humpen, og NGU anbefaler at dette samles inn i fremtiden.



Figur 59: ERS InSAR data fra Humpen mellom 1992-2000.

# 6.11.5 Utløpsanalyse

Fra Scheideggerkurven beregnes en utløpslengde på 2400 meter for Humpen dersom et fremtidig fjellskred omfatter hele det totale anslåtte volumet for Humpen på 120 Mm<sup>3</sup> (Henderson et al, 2009). Skredmassene vil i dette scenarioet krysse dalen og demme opp Signaldalen oppstrøms for skredavsetningene. Volumet er svært usikkert, og vi anser det som et mer sannsynlig scenario at ulike delområder beveger seg med ulike deformasjonshastigheter. Dette innebærer at en eventuell kollaps ikke nødvendigvis involverer hele det nåværende volumestimatet. Når de detaljerte analysene fra hovedfagsoppgaven ved Universitetet i Tromsø er klare vil mer detaljerte utløpsscenarioer utarbeides.

# 6.12 Indre Nordnes

Indre Nordnes er et ustabilt område i Storfjorden som er satt under kontinuerlig overvåkning. Indre Nordnes er derfor ikke lenger en del av NGU sitt kartleggingsprogram for ustabile fjellsider. Fokus i 2010 var derfor kun innsamling av lidardata.



Figur 60: Kart og flyfoto over Indre Nordnes. Avmerket: hovedlinjamenter, dGPS-punkt og skanneposisjoner for lidar. ERS InSAR data 1992-2000. Se tekst for detaljer.

# 6.12.1 dGPS data

dGPS ble ikke innmålt på Indre Nordnes i 2010, da denne lokaliteten er under permanent innmåling.

## 6.12.2 Strukturgeologiske data

Indre Nordnes er befart og rapportert i flere tidligere NGU rapporter fra 2006-2010, se Tabell 1.

## 6.12.3 Lidarskanning

Indre Nordnes ble lidarskannet i 2009 og 2010, med hensikt å undersøke for bevegelser langs bakskrenten, det laterale bruddplanet og frontklippene. Det ble skannet fra ulike posisjoner i 2009 og 2010, da mål og hensikt med skanningen var ulikt definert for de to årene (skanne hele ustabiliteten i 2009, og kun utvalgte skanninger i 2010 for sammenlikning). Ingen signifikant bevegelse er registrert i noen sammenlikningsanalyse av data fra Indre Nordnes mellom 2009 og 2010. Se

### Figur 62.

## 6.12.4 Insar data

Ingen tegn til bevegelse på ERS InSAR eller RADARSAT-2. På TerraSAR-X er det registrert ca -5mm/år bevegelse. Det presiseres at Radarsat-2 (2008-2010) og TerraSAR-X (2009-2010) måleseriene fremdeles er korte, og at flere scener bør samles inn over flere år før man kan konkludere sikkert basert på InSAR data.



Figur 61: Venstre: Radarsat-2 data ©CSA, levert av Norsk Romsenter/KSAT 2010; Høyre: TerraSAR-X data ©DLR 2010



Figur 62: Terrengmodell fra lidarskanning. 2009 datasett i grått, 2010 datasett i rødt. Posisjonene hvor skanning ble utført er vist (2009 er grønn, 2010 er blå).

# 6.13 Kjellerkampen

Kjellerkampen er et ustabilt område i Reisadalen som har blitt identifisert fra flyfoto tidligere, og befart første gang i 2010. Det fremstår ikke som et objekt som trenger ytterligere oppfølging i fremtiden.



Figur 63: Kart og flyfoto over Kjellerkampen med ERS InSAR data. Avmerket: hovedlinjamenter og observasjonspunkt. Se tekst for detaljer.

## 6.13.1 dGPS data

dGPS data er ikke innmålt i 2010. Det er ingen fremtidig plan om innmåling.

## 6.13.2 Strukturgeologiske data

Kjellerkampen ligger vestvendt i Reisadalen noen kilometer nord for Brattfjell og Dorrisdalen. Området karakteriseres av en sterkt oppsprukket fjellside med en stor andel løse blokker som har sklidd nedover den øvre halvdelen av fjellsiden, og falt til ro før de har sklidd utfor kanten av stupet, se Figur 64. Foliasjonens strøk er i hovedsak parallell med bakskrenten, og fallretningen er rett ned fjellsiden med om lag 20-40 grader. Fallet er størst i sør og avtar mot nord, se øverst i Figur 63. På flyfoto kan et linjament sees strykende øst-vest ved observasjonspunkt KJE-4. Dette linjamentet er subparallelt med den venstrerettede tensjonssprekken avbildet i Figur 64(c). Bildet er tatt ved KJE-4. Dette linjamentet sammenfaller med strøket til den laterale bruddflaten for det tidligere skredet som har gått, se Figur 64(a). Vi har ikke observert avsetninger i dalbunnen fra tidligere fjellskred ved enkel observasjon fra helikopter. Vi antar derfor at det hovedvolumet som mangler ved Kjellerkampen ble fjernet i et preglasialt fjellskred. NGU fant ingen tegn til nåværende aktiv deformasjon med unntak av blokkfall og mindre hendelser som illustrert i Figur 64(d). Rasmateriale i uravsetninger ved foten av fjellet og opp langs rennen i fjellsiden viser tegn til fersk og pågående steinsprangaktivitet. Basert på dette kan man forvente noe blokkfallsaktivitet fra Kjellerkampen.

## 6.13.3 Lidarskanning

Kjellerkampen er ikke Lidarskannet. Det er ingen fremtidig plan om skanning.

## 6.13.4 Insar data

Fra ERS InSAR data er det ingen tegn til pågående deformasjon av fjellsiden utover kryp i løsmasser og/eller steinsprangaktivitet. Se Figur 63.



Figur 64: (a) fra <u>www.norgei3d.no</u>; (b) helikopterfoto. Avmerket med pil: mulig bergartsgrense; (c) venstrerettet bevegelse på sprekk indikert ved pull-apart. Bevegelsen er parallell med fallretningen til foliasjonen; (d) blokker sklir på foliasjonen nedover fjellsiden og samles opp i en stor ur høyt i fjellsiden; (e) ansamling av blokker som har sklidd nedover fjellsiden på foliasjonen og stanset. Blokkfeltet kan også kjenkjennes i midt i bilde (b).

# 6.13.5 Utløpsanalyse

Det er ikke foretatt noen utløpsanalyse av Kjellerkampen da det ikke er beregnet noe volum for ustabiliteten.

# 6.14 Låvan

Låvan er et ustabilt område i Kvænangen i samme fjellside som Dusnjarga, men lenger ned mot fjorden. Låvan har blitt feltbefart tidligere, men det har ikke vært mulig å finne noen skriftlig rapport fra dette arbeidet. Låvan ble derfor feltbefart på nytt i 2010 med fokus på geologisk feltarbeid. Basert på råd fra geolog som feltbefarte Låvan tidligere ble det også utplassert og innmålt dGPS-bolter på Låvan.



Figur 65: Kart og flyfoto over Låvan. Avmerket: posisjon for dGPS, observasjonspunkt i felt, ERS satelittdata 1992-2000 og hovedlinjamenter.

#### 6.14.1 dGPS data

Målestasjoner ble boret i 2010, og første års målinger av dGPS data ble gjennomført. Første repeterte måleresultater forventes i fremtiden når Låvan blir innmålt på nytt. Vi anbefaler at dette ikke gjøres før tidligst i 2012, da området ikke viste tydelige tegn til sterk og hurtig deformasjon.

Tabell	11:	dGPS	data	samlet	inn	for	Låvan	2010.
--------	-----	------	------	--------	-----	-----	-------	-------

		Ab	solutt koordinat	3 σ standardavvik			Sammenlagt endring fra første måleår					
PUNKT	Ar	N	E	Н	sN	sE	sH	dN	dE	Avstand	Retning	dH
DUS-FP-3	2010	7769689,2710	537789,4190	474,8540								
DUS-4	2010	7769536,3097	537616,1646	470,6667	0,0005	0,0007	0,0013					
DUS-5	2010	7769591,6754	537817,4187	463,4427	0,0005	0,0007	0,0013					1
DUS-6	2010	7769400,0147	537703,8431	399,4751	0,0005	0,0007	0,0013					

## 6.14.2 Morfologiske og strukturgeologiske data

Det undersøkte området er begrenset mot nord av en 5-10 m høy, svakt kurvet baksprekk med fall mot sør og sør-sørvest. De østlige delene av baksprekken bærer preg av å være en nedarvet forkastning med mineraliseringer og glidestriper. En markant, lineær grøft er utviklet i urmaterialet i forkant av baksprekken (Figur 66), noe som antyder bevegelse etter avsetningen av løsmaterialet. Flere skrenter og søkk avgrenser langstrakte, roterte blokker mellom baksprekken og den større skrenten i forkant av området. I brattskrenten ned mot bebyggelsen, på et betydelig lavere nivå enn området beskrevet ovenfor, sitter en stor blokk som dels er dekket av vegetasjon. Observasjonspunkt LAV-1 er lokalisert på denne (Figur 65). Et markant søkk i terrenget er observert i bakkant av blokka (det sørligste tegnede lineamentet på Figur 65).
Det undersøkte området på Låvan virker generelt overgrodd med mose og lyng, og viser ikke spesielle indikasjoner på nylig bevegelse. Grøfter og sprekker uten vegetasjon opptrer imidlertid i området; disse er mer usikre i forhold til ung bevegelse.



Figur 66: Venstre: Baksprekk i Låvan-området; merk skråstilt topp av blokk til høyre (sør) for baksprekken; Midten: Glidestriper observert på østlig del av baksprekk, Høyre: grøft i urmateriale avsatt i forkant av baksprekken.

Orientering av sprekkesett ble samlet inn i det undersøkte området. Videre ble det samlet inn data fra baksprekken i området hvor den var dekorert med glidestriper.



Figur 67: Sprekkedata fra Låvan (N=82, konturert) og glideplan og lineasjoner fra baksprekken (fremstilt som sliplinear plott, rødt). Røde punkter representerer poler til glideplan og linjen representerer trenden til lineasjonen på planet. Et større antall sprekker er parallelle med baksprekken, som i sin tur ble utviklet langs et nedarvet glideplan, Høyre: grøft i urmateriale avsatt i forkant av baksprekken.

## 6.14.3 Lidarskanning

Låvan er ikke Lidarskannet.

# 6.14.4 Insar data

Det er kun ERS InSAR dekning rundt baksprekken for det ustabile volumet ved Låvan, samt noen spredte piksler i fjellsiden og noen spredte områder nede ved sjøen. Rundt baksprekken og i fjellsiden er det ikke tegn til bevegelse på InSAR data. Nede ved sjøen er det kun små utslag på -1,5 mm innsynkning. Dette tilskrives ikke fjellskredprosesser. Låvan fremstår som stabilt på de InSAR dataene som eksisterer, se Figur 65.

#### 6.14.5 Utløpsanalyse

Det er ikke foretatt noen utløpsanalyse av Kjellerkampen da det ikke er beregnet noe volum for ustabiliteten.

# 6.15 Nordnes

Nordnes er en vestvendt ustabil fjellside i Storfjorden, og er under kontinuerlig overvåkning. Nordnes er derfor ikke lenger en del av kartleggingsprogrammet til NGU, og fokus i 2010 var derfor kun innmåling av dGPS data og lidarskanning. For geologisk rapportering fra Nordnesfjellet henvises til flere tidligere rapporter, se Tabell 1.



Figur 68: Kart og flyfoto over Nordnes. Avmerket: hovedlinjamenter og dGPS-punkt. ERS InSAR data 1992-2000.

## 6.15.1 dGPS data

dGPS ble ikke innmålt på Nordnes i 2010, da denne lokaliteten er under permanent innmåling.

## 6.15.2 Strukturgeologiske data

Nordnes er befart og rapportert i flere tidligere NGU rapporter, se tabell 1.

## 6.15.3 Lidarskanning

Hovedmålet for besøk ved Nordnes i 2010 var lidarskanning. Nordnesfjellet har blitt overvåket årlig med lidarskanninger siden 2007. Sammenligningsanalyse av datasettene mellom 2007 og 2010 viser tydelige bevegelser i den mest ustabile blokken, se

Figur 69. Over denne 3-års perioden er hastigheten til den raskeste blokken mellom 9 og 12 cm horisontalt og fra 3 til 6 cm vertikalt. Dette gir årlig forflytning på omlag 3-4,5 cm i retning vest. Et lite steinsprang har inntruffet mellom 2007 og 2009. Dette er sirklet inn i Figur 69c.



Figur 69:Korteste-avstand-analyse av Nordnes. (a) 2007-2010 datasett; (b) 2009-2010; (c) og (d) er detaljutsnitt av områdene som forflytter seg raskest i (a) & (b) respektivt.

# 6.15.4 Insar data

Fra ERS InSAR (1992-2000, Figur 68) og RADARSAT-2 (2008-2010, Figur 70) er det tydelige tegn til bevegelse. RADARSAT-2 viser i hovedsak om lag 10 mm/år bevegelse i området rundt de periodisk innmålte dGPS-punktene, med høyeste verdi 19 mm/år. TerraSAR-X (2009-2010, Figur 70) dataene er i hovedsak i samsvar med Radarsat-2 dataene. Høyeste deformasjon er målt til ca 19 mm/år. Det presiseres at antallet scener er lavt, og at analysen kan endre seg i kommende år ettersom mer InSAR data samles inn for begge satellitter. Sammenlignes InSAR dataene fra ERS med Radarsat-2 og TerraSAR-X legger vi merke til at området med mest forflytning i de respektive datasett har flyttet seg fra sørøstlige deler (ERS) til nordvestlige deler (Radarsat2 & TerraSAR-X) av det ustabile området. Fargeskalaen for ERS InSAR data er annerledes (0-5 mm/år) enn for Radarsat-2 og TerraSAR-X (0-20 mm/år). Allikevel ser vi at høyeste utslag i datasettet for ERS ikke sammenfaller med høyeste utslag i datasettene for Radarsat-2 og TerraASR-X.



Figur 70: Venstre: Radarsat-2 data ©CSA, levert av Norsk Romsenter/KSAT 2010; Høyre: TerraSAR-X data ©DLR 2010



Figur 71: "Vandring" av InSAR-utslag fra 1992-2000 og 2008-2010 måleserier. Radarsat-2 data ©CSA, levert av Norsk Romsenter/KSAT 2010; TerraSAR-X data ©DLR 2010

## 6.16 Oksfjellet (tidligere Kåfjord Sør)

Oksfjellet er et sterkt oppsprukket fjellparti østvendt i Kåfjorddalen på om lag 500x160 meter. Oksfjellet består av en om lag 30x130 meter stor ustabil blokk lengst ut mot kanten av fjellet 980 meter over dalbunnen avmerket med Id 1007 (rød prikk) i Figur 72. Denne blokken har forbindelse med større sprekkesystemer som strekker seg flere kilometer vest-nordvest parallelt med fjellveggen, se flyfoto i Figur 72. Den bakre bruddkanten som avgrenser den ustabile blokken er svært bratt, og utgående til denne bruddsonen har forløpig ikke blitt observert lenger ned i fjellsiden.



Figur 72: Kart og flyfoto over Oksfjellet. Avmerket: posisjon for dGPS (blå sirkler), lidar skannestasjoner (orange trekanter), hovedlinjamenter og observasjonspunkt (blå bokser). Se tekst for detaljer. Oksfjellet 2 (tidligere Kåfjord Midt) (Id 1081) er også avmerket.

# 6.16.1 dGPS data

dGPS data ble innmålt i 2010. Nedenfor presenteres også dGPS data for Oksfjellet 2 (tidligere Kåfjord Midt) og Langsnøen (tidligere Kåfjord Nord). Disse to sistnevnte gis ingen ytterligere omtale i denne rapporten.

Punktene KA-1 og KA-4 ble ikke innmålt i 2010. Punktet KA-2 er det punktet som står på den antatt ustabile blokken på Oksfjellet. Vi ser av figuren for endring i øst-vest retning (horisontalplanet) at det er en konsistent trend i bevegelsene i nordøstlig retning 050. Usikkerheten på målinger i horisontalplanet er om lag 2-3 mm. Gjennomsnittlig bevegelse pr år er omlag 3,6 mm/år. Den totale registrerte forflytningen siden første måleår (2003-2010) er 25 mm, og denne akkumulerte bevegelsen er innenfor signifikansgrensen. Målingene i høyde skal man i utgangspunktet tolke forsiktig, da disse er ca 3x mer usikre enn målingene i horisontalplanet. Dette gir en måleusikkerhet i vertikalplanet på 6-9 mm. Vi ser av figuren for KA-2 ovenfor at de fleste av målingene i vertikalplanet ikke er signifikante. Heller ikke den totale forflytning i høyde fra 2003-2010 er innenfor signifikansgrensen. Det kan konkluderes med at det ikke er noen signifikant endring i høyde for punktet KA-2 mellom første og siste måleår (2003-2010), med unntak av perioden 2004-2005. Dette kan tilskrives målefeil med begrunnelse i den konsistente utflating av høydekurven mellom 2003 og 2006, 2007, 2008, 2009 & 2010. Punktet KA-2 viser signifikant bevegelse i retning nordøst. Punktene KA-3, KA-4, KA-5 & KA-6 viser ingen systematisk bevegelsesmønster og antas å være i ro. Endring i posisjon tilskrives måleusikkerheter.

### Tabell 12: dGPS data samlet inn for Oksfjellet 2003-2010.

		Abs	3 σ standardavvik			Sammenlagt endring fra første måleår						
PUNKT	Ar	N	E	Н	sN	sE	sH	dN	dE	Avstand	Retning	dH
KA-FP	2003	7704322,008	495948,925	916,316								
KA-FP	2004	7704322,008	495948,925	916,316								
KA-FP	2005	7704322,008	495948,925	916,316								
KA-FP	2006	7704322,008	495948,925	916,316								
KA-FP	2007	7704322,008	495948,925	916,316								
KA-FP	2008	7704322,008	495948,925	916,316								
KA-FP	2009	7704322,008	495948,925	916,316								
KA-FP	2010	7704322,008	495948,925	916,316								
KA-FP-2	2008	7705443,182	494487,3047	1169,7175	0,0006	0,0004	0,0015	Nytt fastpunk	ct			
KA-FP-2	2009	7705443,182	494487,3047	1169,7175	(Justert koord	dinatar i 2009						
KA-FP-2	2010	7705443,182	494487,3047	1169,7175								
KA-1	2003	7707969,723	492879,745	724,97	0,001	0,001	0,003					
KA-1	2004	7707969,738	492879,756	724,963	0,002	0,001	0,006	0,015	0,011	0,0186011	40,282043	-0,007
KA-1	2005	7707969,725	492879,745	724,967	0,002	0,001	0,005	0,002	0	0,002	0	-0,003
KA-1	2006	7707969,737	492879,7473	724,9876	0,0014	0,001	0,0038	0,0138	0,0023	0,0139904	10,513691	0,0176
KA-1	2007	7707969,725	492879,7469	724,9711	0,001	0,0008	0,0023	0,0023	0,0019	0,0029833	43,95519	0,0011
KA-1	2008	7707969,727	492879,7496	724,9675	0,0006	0,0004	0,0015	0,0037	0,0046	0,0059034	56,876238	-0,0025
KA-1	2009	7707969,731	492879,752	724,9701	0,0005	0,0003	0,0012	0,0077	0,007	0,0104062	46,970766	1E-04
KA-2	2003	7705377,023	495458,763	1004,049	0,001	0,001	0,002					1
KA-2	2004	7705377,03	495458,77	1004,031	0,001	0,001	0,003	0,007	0,007	0,0098995	49,999999	-0,018
KA-2	2005	7705377,029	495458,77	1004,055	0,002	0,001	0,004	0,006	0,007	0,0092195	54,88745	0,006
KA-2	2006	7705377,035	495458,7686	1004,0457	0,0011	0,0009	0,0033	0,0119	0,0056	0,0131518	28,001248	-0,0033
KA-2	2007	7705377,033	495458,7747	1004,0522	0,0007	0,0006	0,0017	0,0101	0,0117	0,0154564	54,664077	0,0032
KA-2	2008	7705377,036	495458,7749	1004,0494	0,0006	0,0004	0,0014	0,0125	0,0119	0,0172586	48,434857	0,0004
KA-2	2009	7705377,039	495458,778	1004,0496	0,0003	0,0002	0,0008	0,0161	0,015	0,0220048	47,749229	0,0006
KA-2	2010	7705377,04	495458,7817	1004,0519	0,0007	0,0009	0,0019	0,0166	0,0187	0,025005	53,782799	0,0029
									,	,		
KA-3	2003	7705794,694	494825,926	1180,544	0,001	0,001	0,003					
KA-3	2004							(ikkje målt 20	04)			
KA-3	2005	7705794,699	494825,927	1180,576	0,002	0.001	0,004	0,005	0,001	0,005099	12,566592	0,032
KA-3	2006	7705794,704	494825.9257	1180,5491	0.0012	0.0009	0.0034	0.0098	-0.0003	0.0098046	398.05177	0.0051
KA-3	2007	7705794,695	494825.9248	1180.566	0.0007	0.0006	0.0017	0.0011	-0.0012	0.0016279	, 347,23383	0.022
KA-3	2008	7705794,698	494825,9272	1180.5589	0.0005	0.0003	0.0011	0.0043	0.0012	0.0044643	17.325345	0.0149
KA-3	2009	7705794,698	494825,9261	1180,5635	0.0003	0.0002	0.0008	0.004	0.0001	0.0040012	1.5912182	0.0195
КА-З	2010	7705794,697	494825,9274	1180,5612	0.0007	0.0009	0.0019	0.0025	0.0014	0.0028653	32,498702	0.0172
		,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	15 1025,527 1	1100,2012	0,0007	0,0005	0,0015	0,0025	0,0011	0,00200000	52, 1507 02	0,0171
КА-4	2005	7707895 991	493035 789	685 113	0.002	0.001	0.005	(nytt punkt 2)	005)			
КА-4	2005	7707896.004	493035 7915	685 1344	0.0016	0.0011	0.0043	0.0132	0.0025	0.0134347	11 916054	0.0214
KA-4	2007	7707895 993	493035 7913	685 117	0.001	0,0008	0.0023	0.0021	0.0023	0.0031145	52 891747	0.004
KA-4	2008	7707895 995	493035,7938	685 1181	0,0005	0,0004	0.0015	0.0042	0.0048	0.0053781	54 237866	0.0051
KA-4	2009	7707895 995	493035,7943	685 1118	0,0004	0,0003	0.0012	0.0042	0.0053	0.0057524	57 228711	-0.0012
66-1	2005	1101055,555		000,1110	0,0004	0,0005	0,0012	0,0042	0,0055	0,0007024	57,550711	-0,0012
KA E	2005	7705672 145	495216 9952	1075 7224	0.0014	0.0012	0.0026	(putt pupkt 2)	006)			
KA-D	2008	7705672,145	495216,8962	1076,7254	0,0014	0,0012	0,0050		0.001	0.0017088	222 84005	0.0000
KA-D	2007	7705672,145	495216,8946	1076,7256	0,0008	0,0006	0,0017	0,0008	-0,0018	0,0017088	111.00247	0,0022
KA-5	2008	7705672,144	495216,8999	1076,7287	0,0006	0,0005	0,0015	-0,0007	0,0037	0,0057656	111,90547	0,0055
KA-5	2009	7705672,147	495216,8969	1076,7249	0,0003	0,0003	0,0009	0,0018	0,0007	0,0019513	23,0110/5	0,0015
NA-5	2010	//056/2,148	495216,8974	10/6,/1//	0,0007	0,0009	0,0019	0,0034	0,0012	0,0036056	21,60004	-0,0057
KA C	2000	7705644 400	495400 5005	1070 0420	0.0001	0.0011	0.0000	laudt aurola St	0061			
KA-D	2006	7705641,102	495190,5895	1078,0439	0,0014	0,0011	0,0039	C COCC		0.0007044	100 00000	0.0037
KA-b	2007	//05641,101	495190,5899	10/8,0476	0,0008	0,0006	0,0018	-0,0006	0,0004	0,000/211	162,56659	0,0037
KA-D		ikkje malt -08 og -09	405400 5555	1070 0100	0.000					0.0045037	F1 00075	0.000
к.А-Б	2010	7705641,105	495190,5928	1078,0408	0,0007	0,0009	0,0018	0,0031	0,0033	0,0045277	51,988786	-0,0031





Figur 73: dGPS data for Oksfjellet 2003-2010. Venstre grafer: horisontal forflytning; høyre grafer: vertikal forflytning.

#### 6.16.2 Strukturgeologiske data

Oksfjellet har blitt beskrevet i flere tidligere NGU rapporter, se tabell 1. Særlig NGU rapport 2007.041, da under navnet Kåfjord Sør. På grunn av den antatt høye deformasjonshastigheten rapportert i NGU rapport 2010.021 gis Oksfjellet også i denne rapporten en utvidet analyse.

Foliasjonen i området i gjennomsnitt er orientert 206/29, mens fjellsiden har sitt gjennomsnittlige strøk gitt ved 305/50. Dette medfører at eventuelle glideplan orientert ut mot fjellveggens frie side må kutte foliasjonen. Dette virker i stabiliserende retning. Området mellom den ustabile blokken og fjellet bak bakskrenten kan beskrives som en graben bestående av tre koblingsramper, se Figur 74. Dette indikerer svært stor strekning og deformasjon, og den interne styrken til bergartene i denne strekningssonen er vesentlig

redusert. Graden av deformasjon illustreres ved at foliasjonen i dette området har rotert fra 206/29 til 195/59, en rotasjon på 30 grader i fall og 11 grader i azimut mot klokka. En rotasjon med klokka ville ha medført en rotasjon mot en mer destabiliserende orientering nærmere fjellsidens strøkretning. Rotasjonen har altså vært tilbakeroterende i dette området. Se Figur 75 for data. Den horisontale forflytningen unntatt strekning i forbindelse med koblingsrampene er i størrelsesorden 30 meter.



Figur 74: Øverst: hvite streker visualiserer koblingsramper dannet på grunn av strekning; nederst: ustabil blokk og graben. Helikopter og pilot for skala på begge bilder.

Ved analyse av de innsamlede strukturdata som visualisert i stereonettet i Figur 75 ser vi at sprekkesett J1 tilrettelegger for utvelting av blokker, men at dette sprekkesettet ikke er det mest dominerende i datasettet. Dette kan være reelt, eller et resultat av at datasettet kanskje ikke er statistisk komplett. Ved fremtidig feltarbeid på Oksfjellet anbefaler vi at det måles inn langt flere sprekkesett ute på blokken for å få et statistisk sterkere datasett.



Figur 75: Presentasjon og analyse av innsamlede strukturdata 2010. Foliasjonen er konsistent over hele området med unntak av observasjonspunkt KAF-10. Dette punktet er tatt i en koblingsrampe i grabenen, og denne rotasjonen er som forventet. Sprekkesett J1 muliggjør utvelting, men dette sprekkesettet er ikke veldig fremtredende i målingene for den ustabile blokken.

# 6.16.3 Historiske flyfoto

Mellom 1977 og 2006 er det ingen tilsynelatende stor endring i horisontal forflytning av den ustabile blokken, basert på en forenklet tolkning av historiske flyfoto. Dette samsvarer med de preliminære resultatene etter to års målinger med RADARSAT-2 og ett års måling med TerraSAR-X, som begge indikerer at blokken forflytter seg med om lag 3 mm/år. Det samsvarer også med dGPS data som indikerer en gjennomsnittlig bevegelse på omlag 4 mm/år. Dette innebærer 15 cm på de 30 årene som er gått mellom disse to bildene. Denne endringen kan ikke fanges opp med nøyaktigheten det historiske bildet er georeferert med (50 cm). Vi ser allikevel at de digitaliserte sprekkesettene for 1977 & 2006 vist i Figur 76 er mindre samsvarende i den sørøstlige delen av blokken enn ellers i området. Se rød sirkel. Dette samsvarer med hva som er tolket ut ifra Lidar data, hvor det er en noe større ulikhet mellom datasettene i dette området. Det understrekes at denne fotoanalysen er en svært unøyaktig beregningsmetode, men den antyder allikevel et bilde av at deformasjonen virker størst i sørøstlig del.



Figur 76: Mellom 1977 og 2006 er det ingen tilsynelatende stor endring i horisontal forflytning av hengblokken, muligens med unntak av utrasning av løse blokker i den østlige delen av området.

# 6.16.4 Lidarskanning

Dette avsnittet er et oversatt sammendrag av vedlegg V.1, avsnitt Oksfjellet. Oksfjellet ble lidarskannet første gang i 2008, og er deretter skannet i 2009 og 2010. I NGU rapport 2010.021 ble det rapportert en mulig bevegelse på opp mot 10 cm i et område ute ved kanten av den ustabile blokka (figur 71, side 69 NGU Rapport 2010.021). Alle mulige sammenligninger av datasett (2008 vs. 2009; 2008 vs. 2010; 2009 vs. 2010) ble utført.

Basert på analysene fremstår datasettet fra 2008 lite troverdig, og innehodler etter NGU sin mening målefeil. Dette datasettet (2008) bør derfor ikke benyttes, og dette medfører at rapporteringen av bevegelse fra lidarmålinger gjort i NGU rapport 2010.021 må sees bort ifra. En detaljert beskrivelse av analyseprosessen er i vedleggene. Videre inneholder også datasettet 2009-2010 interne motsetninger når det kryssanalyseres mellom ulike delområder innenfor det ustabile området. Store forskjeller i glide- og utveltningsretninger og hastigheter observeres for de ulike skanneposisjonene. Disse motsetningene i datasettet 2009-2010 gjør det umulig å trekke en konklusjon når det gjelder bevegelsene ved de ustabile delene av Oksfjellet. Årsaker til disse vanskelighetene er blandt annet den krevende topografien og vanskelighetene med å finne stabile delområder som kan virke som referansepunkt innenfor samme skanneutsnitt som et ustabilt volum. NGU anbefaler derfor å gjøre et nytt skann av Oksfjellet i 2011/2012 for å sammenlikne med 2009 og 2010.



Figur 77: Skyggelagt terrengmodell fra punktskyen til lidarskanningen fra 2009. Avmerket er skanneposisjoner for 2008 (rød), 2009 (grønn) og 2010 (blå). Koordinater er i UTM 34N.





Figur 78: Foto av ustabilt parti ved Oksfjellet. (a) er tatt fra "Viewpoint A" i nordvest langs den laterale bruddflaten; (b) og (c) er tatt fra "viewpoint B" i sørøst langs bakskrenten. De morfologiske hovedenhetene og delområdene benyttet for en detaljert bevegelsesanalyse er skissert inn.



Figur 79: Korteste-avstand-analyse av Oksfjellet fra "Viewpoint A" for datasettene 2009-2010. Fargeskalaen representerer ulikheten mellom de to punktskyene. Positive verdier betyr at datapunktene er over eller i front av referansen (for eksempel pga en forflytning fremover av fjellmassene), negative verdier betyr at datapunktene er bakenfor eller under referansen, og kan for eksempel tolkes som en vertikal innsynkning av massene.



Figur 80: Korteste-avstand-analyse av Oksfjellet fra "Viewpoint B" for datasettene 2009-2010. Fargeskalaen er lik den benyttet i Figur 79.



### 6.16.5 Insar data

Figur 81: Øverst: data fra TerraSAR-X. Forstørret område: viser bakskrent, grabenområdet og den ustabile blokken. Legg merke til hvordan InSAR verdiene endrer seg over området. Nederst: ERS InSAR data. Verdiene er ikke representative som reelle hastighetsverdier, men bør sammenliknes med verdiene fra stabilt område i bakkant av bakskrenten. TerraSAR-X data ©DLR 2010

Oksfjellet har hittil ikke vært dekt av InSAR data fra ERS satellitten i særlig grad grunnet begrensinger i synsfeltet til satellitten. Dette har bedret seg betraktelig med TerraSAR-X og RADARSAT-2 satellittene, og vi har nå et godt bilde av Oksfjellet. Signalet fra TerraSAR-X i stigende bane gir støtte til den strukturelle tolkningen som er gjort fra strukturelle målinger, sammenlikning av historiske og nye flyfoto, og lidarskanning. Områdene sørøst på blokka er i bevegelse, mens området i grabenen og nordvest på blokka er mer stabile. Dette kan også forklare de lave dGPS-målingene pr år som er gjort, da vi ser at dGPS punktet er plassert i et område med lite aktivitet på InSAR dataene.

#### 6.16.6 Utløpsanalyse

Fra Scheideggerkurven beregnes en utløpslengde på 3190 meter for Oksfjellet gitt et volum på 18 Mm<sup>3</sup> (Henderson et al, 2009). Dette medfører at et fremtidig fjellskred vil krysse Kåfjorddalen og gi oppdemning av elva oppstrøms. Volumberegningene på 18 Mm<sup>3</sup> for Oksfjellet er usikre, og mer arbeid vil bli lagt ned for å utarbeide bedre utløpsestimater. Dette anslaget kan derfor betraktes som et midlertidig "worst case" scenario.



Figur 82: Utløpsanalyse for Oksfjellet.

# 6.17 Revdalsfjellet 1 & 2

Revdalsfjellet 1 & 2 er to ustabile objekt som ligger side ved side langs Storfjorden sør for Nordnesfjellet. Begge lokaliteter er feltbefart og rapportert i tidligere NGU-rapporter, se Tabell 1. Fokus for årets feltarbeid var derfor kun innmåling av dGPS-data.



Figur 83: Kart og flyfoto over Revdalsfjellet. Avmerket: hovedlinjamenter og dGPS-punkt. ERS InSAR data 1992-2000. Se tekst for detaljer.

## 6.17.1 dGPS data

dGPS punktene på Revdalsfjellet 1 ble installert i 2006, med første repeterte innmåling i 2007. dGPS på Revdalsfjellet 2 ble installert opp i 2009 og 2010, med første repeterte innmåling i 2010. RE-7, RE-8 & RE-9 ble første gang innmålt i 2010, selv om de ble installert i 2009. Vi anbefaler 2-4 års måleintervall for Revdalsfjellet begrunnet med de lave bevegelseshastighetene.

#### Revdalsfjellet 1

Av grafene gjengitt nedenfor kan vi se at det i hovedsak er punktene RE-2, RE-3 og RE-4 som viser mest konsistent bevegelse med en vestlig til nordvestlig bevegelsesvektor i horisontalpanet. Dette er i overenstemmelse med de strukturelle linjamentene skissert på kartet i Figur 83, hvor vi ser at disse punktene ligger innenfor et volum avgrenset av sprekker og den frie fjellsiden ut mot fjorden. Bevegelsesretningen til punktene over tid viser en retning som er i tråd med hva man kan forvente ut ifra topografien. Punktet RE-1 er plassert i stabilt fjell sør for hovedlinjamentet, og er således forventet å gi et måleresultat med langt mindre bevegelse, noe som kan observeres i grafene til Figur 84 (RE-1). Det er altså god overenstemmelse mellom dGPS-målingene og strukturgeologien. De vertikale måleresultatene er langt mindre entydige. De preges av et oppløft i enkeltmålinger for 2006, 2007 & 2008 i ulike målestasjoner, med en innsynkningstrend utover dette. Vi tolker dette som måleusikkerheter, da de aller fleste målingene i vertikalplanet er under signifikansgrensen.

#### Revdalsfjellet 2

Det er bare punktene RE-5 & RE-6 som er innmålt to ganger. De øvrige ble innmålt første gang i 2010. Vi ser at for måleintervallet 2009-2010 er det en vestlig (RE-5) og sørvestlig (RE-6) retning på den horisontale bevegelsesvektoren. Målingene i vertikalplanet viser begge nedsynkning. Alle målingene er signifikante med bevegelse på 3mm horisontalt og 4-5 mm vertikalt. Vi anbefaler å avvente nye repeterte målinger før noen konklusjon trekkes, men registrerer at det nåværende måleresultatet er i samsvar med hva man kan forvente ut fra strukturgeologisk kartlegging.





Figur 84: dGPS data for Revdalsfjellet 1 & 2 2006-2010.

		Absolutt koordinat			3 σ standardavvik			Sammenlagt endring fra første måleår					
PUNKT	Ar	N	E	Н	sN	sE	sH	dN	dE	Avstand	Retning	dH	
RE-FP	2006	7707066,0260	475014,1610	712,5740	0,0010	0,0010	0,0020						
RE-FP	2007	7707066,0260	475014,1610	712,5740									
RE-FP	2008	7707066,0260	475014,1610	712,5740									
RE-FP	2009	7707066,0260	475014,1610	712,5740									
RE-FP	2010	7707066,0260	475014,1610	712,5740									
RE-1	2005	7706887,9360	474754,2060	667,3550									
RE-1	2006	7706887,9360	474754,2060	667,3550	0,0006	0,0006	0,0017	0	0	0	0	0	
RE-1	2007	7706887,9336	474754,2047	667,3608	0,0008	0,0007	0,0018	-0,0024	-0,0013	0,0027295	231,60326	0,0058	
RE-1	2008	7706887,9347	474754,2052	667,3605	0,0004	0,0005	0,0011	-0,001	-0,001	0,002	235,12	0,005	
RE-1	2009	7706887,9358	474754,2055	667,3598	0,0002	0,0002	0,0006	0,000	-0,001	0,001	275,78	0,005	
RE-1	2010	7706887,9342	474754,2024	667,3615	0,0003	0,0004	0,0008	-0,0018	-0,0036	0,0040249	270,48328	0,0065	
RE-2	2005	7707050,6109	474744,0979	638,3941	0,0014	0,0013	0,0028						
RE-2	2006	7707050,6143	474744,0966	638,3998	0,0006	0,0006	0,0018	0,0034	-0,0013	0,0036	376,7506	0,006	
RE-2	2007	7707050,6176	474744,0968	638,4019	0,0009	0,0008	0,0020	0,0067	-0,0011	0,0068	389,6405	0,008	
RE-2	2008	7707050,6203	474744,0949	638,3923	0,0004	0,0005	0,0010	0,0094	-0,0030	0,0099	380,3329	-0,002	
RE-2	2009	7707050,6169	474744,0903	638,3954	0,0003	0,0002	0,0006	0,0060	-0,0076	0,0097	342,5446	0,001	
RE-2	2010	7707050,6194	474744,0890	638,3921	0,0003	0,0004	0,0007	0,0085	-0,0089	0,0123	348,5368	-0,002	
RE-3	2005	7706917,9080	474624,1372	603,0108	0,0012	0,0011	0,0033						
RE-3	2006	7706917,9115	474624,1354	603,0173	0,0008	0,0008	0,0022	0,0035	-0,0018	0,0039	369,7599	0,006	
RE-3	2007	7706917,9084	474624,1300	603,0170	0,0008	0,0007	0,0019	0,0004	-0,0054	0,0054	304,7071	0,006	
RE-3	2008	7706917,9086	474624,1295	603,0206	0,0005	0,0006	0,0011	0,0006	-0,0077	0,0077	304,9507	0,010	
RE-3	2009	7706917,9117	474624,1289	603,0197	0,0003	0,0002	0,0006	0,0037	-0,0083	0,0091	326,6961	0,009	
KE-S	2010	//0691/,9109	474624,1251	603,0188	0,0003	0,0004	0,0008	0,0029	-0,0121	0,0124	314,9754	0,008	
DE 4	2005	7705854 0048	474562 2154	594 4660	0.0010	0.0010	0.0000						
DE 4	2005	7706864,9990	474563,2154	504,4005	0,0012	0,0010	0,0033	0.0022	0.0002	0.0032	206.0262	0.005	
RE-4	2000	7705854 9957	474563 2108	584 4715	0,0008	0,0007	0,0025	0,0032	-0,0002	0.0048	325 9506	0,005	
RE-4	2007	7705854 9994	474563 2089	584 4686	0,0005	0,0005	0,0011	0,0015	-0,0044	0,0048	329,000	0,003	
RF-4	2009	7705864 9974	474563,2003	584 4782	0,0003	0,0002	0,0005	0,0046	-0,0003	0.0087	319 3259	0.011	
RE-4	2010	7706864 9988	474563 2026	584 4765	0,0003	0,0004	0,0008	0.0040	-0.0128	0.0134	319 2822	0.010	
				50 ., 05	0,0002	0,000	0,0000	0,0010	0,0110	0,012	515,2022	0,010	
RE-5	2009	7707303.6708	474897.3125	669.3530	0.0003	0.0002	0.0007						
RE-5	2010	7707303.6712	474897.3095	669.3481	0.0003	0.0004	0.0007	0.0004	-0.0030	0.0030	308,4385	-0.005	
		, i i	· ·	· ·	ŕ	, i	ŕ	, i	, i	, i	, i	· ·	
RE-6	2009	7707261,7065	474841,1923	680,0029	0,0003	0,0002	0,0006						
RE-6	2010	7707261,7024	474841,1893	679,9985	0,0003	0,0004	0,0007	-0,0041	-0,0030	0,0051	240,2147	-0,004	
RE-7	2010	7707227,9435	474786,3772	657,0724	0,0003	0,0005	0,0009						
RE-8	2010	7707214,3514	474730,4227	634,5627	0,0003	0,0004	0,0009						
RE-9	2010	7707091,3867	474800,9364	695,7961	0,0004	0,0005	0,0009						

#### Tabell 13: dGPS data samlet inn for Revdalsfjellet 1&2 2005-2010.

#### 6.17.2 Strukturgeologiske data

Revdalsfjellet 1 & 2 er rapportert i tidligere NGU rapporter, se Tabell 1.

### 6.17.3 Lidarskanning

Revdalsfjellet er ikke lidarskannet. Det er foreløpig ingen fremtidig plan om å skanne.

# 6.17.4 Insar data

Utslaget på InSAR data følger de strukturgeologiske avgrensningene av det ustabile volumet. Dette styrker tolkningen av dataene som et volum i bevegelse relativt omgivelsene. Fra Radarsat-2 og TerraSAR-X data i Figur 85 ser vi at blokkene med dGPS-punkt gir et utslag på ca 7 mm/år, som er høyere enn hva som er målt med dGPS data. Det røde feltet nede i fjellsiden er løsmasser i ura. Vi anbefaler å samle inn flere scener med detaljerte InSAR data.



Figur 85: InSAR data fra de ulike satellittene. Radarsat-2 data ©CSA, levert av Norsk Romsenter/KSAT 2010; TerraSAR-X data ©DLR 2010

# 6.17.5 Utløpsanalyse

Et estimert utløp ved Scheideggerkurven gir et utløp på ca 1900 m gitt at hele volumet på 8 Mm3 kollapser samtidig. Skredmassene kan da nå fjorden. Usikkerheten i analysen ligger primært i volumestimatet og om hele eller kun deler av volumet kollapser samtidig. En velutviklet uri dalsiden er et tegn at det ustabile området sprekker opp og ikke beveger seg som en enhetlig blokk. Ved en forbedret forståelse av volumet og strukturgeologien ved Revdalsfjellet kan flere og mer nøyaktige scenarioer utarbeides. Dette vil kreve langt mer feltarbeid, og foreløpig anses ikke dette som nødvendig, da deformasjonshastigheten ved Revdalsfjellet er svært lav. Fremtidige data kan endre denne vurderingen.



Figur 86: Utløpsanalyse for Revdalsfjellet 1. Den samme analysen gjelder også for Revdalsfjellet 2.

# 6.18 Rotvåg

Rotvåg er en lokalitet nord på Arnøya tett ved Gryta, med fritt utsyn til Lopphavet. Rotvåg ble oppdaget på flybilder vinteren 2010, og planlagt feltbefart august 2010. For å komme til Rotvåg må man gå flere kilometer over fjellet, og halvveis fremme ble vi overasket av uvær. Vi foretok en rekognosering fra avstand, før vi snudde og vendte tilbake. Basert på flyfototolkning og rekognosering anses ikke Rotvåg som en lokalitet som trenger ytterligere feltbefaring.



Figur 87: Kart og flyfoto over Rotvåg. Avmerket: hovedlinjamenter og ERS InSAR data 1992-2000. Se tekst for detaljer.

## 6.18.1 Observasjoner fra rekognosering

Det var ikke mulig å komme helt bort til lokaliteten ved Rotvåg da vi ble overasket av dårlig vær på vei over fjellet. Fra avstand og basert på flyfoto er følgende betraktninger gjort:

Rotvåg fremstår som et ustabilt område hvor deformasjonen pågår sakte. Vi har tolket to større ((2) & (3)) og en mindre (1) terrasse (se Figur 88 og Figur 89) til å ha beveget seg ned fjellsiden. Denne tolkningen baserer seg på at vegetasjonsoverflaten slik den fremstår på flyfoto kan korreleres til terrengoverflaten på fjellplatået i bakkant. De gule bruddlinjamentene danner primært to grupper, med strøk sør-sørvest og vestsørvest.

Fra ERS InSAR data ser vi at utslaget av bevegelser mellom 1992 og 2000 i all hovedsak var konsentrert i områder i den bratte ura med løsmasser og ikke selve terrassene, se oransje polygoner i Figur 89. For å etablere en større forståelse av området enn dette må det feltbefares av geologer. Fra Figur 89 ser man at utløpet vil gå ned i en mindre dal som skråner svakt ned mot sjøen. Denne vinkelendringen i helningsgrad vil kunne ha en bremsende effekt på massene i bevegelse dersom man antar at en katastrofal kollaps inntreffer. Dersom et utløp av masser fra en slik kollaps treffer sjøen vil de etter vår mening ikke utgjøre noen stor risiko, da en eventuell bølgefront vil propagere ut i åpent hav, se oversiktskartet i Figur 87. Med forbehold om at fremtidige datakilder fra for eksempel satellittovervåkning gir ny informasjon, planlegger NGU ikke ytterligere feltbefaring ved Rotvåg.



Figur 88: Tolket avstandsfoto av Rotvåg. Flere utglidninger danner et kompleks mønster av hengblokker. Fargekoding er likt som i Figur 89. Hvite piler indikerer morfologiske linjamenter.



Figur 89: Terrengmodell fra <u>www.norgeibilder.no</u>. Gule linjamenter: tolkede bruddlinjamenter og morfologiske linjamenter. Orange polygoner: ERS InSAR anomali som vist i Figur 27. Blå polygoner 1-3: terrasser med opprinnelig vegetasjonsoverflate som har sklidd ned fjellsiden.

# 6.19 Skognes

Skognes ligger vestvendt i Kåfjorddalen sørvest for Oksfjellet. Skognes har vært kjent i flere år fra ERS InSAR data, men befart først i 2010. Det var ikke mulig å ta seg ned til området for selve InSAR-utslaget, så Skognes ble rekognosert fra nærmeste klippe samt helikopteroverflyvning, se Figur 91 og Figur 92.



Figur 90: Kart og flyfoto over Skognes. Avmerket: hovedlinjamenter og ERS InSAR data 1992-2000. På flyfoto sees grensen for 10cm og 50cm oppløsning vertikalbilder.

## 6.19.1 Observasjoner fra rekognosering

Skognes kan beskrives som en bratt fjellside med en velutviklet ur under en tilnærmet vertikal klippe på toppen av fjellsiden. Ved helikopteroverflyvning fra ulike vinkler kunne var det ikke mulig å se tegn til større deformasjoner som kan knyttes til deformasjon av bergmasse, verken nær klippekanten eller på platået innenfor klippekanten. InSAR-utslaget indikert i Figur 90 tolkes å være et resultat av krypprosesser i urmaterialet. Ura og fjellsiden viser tegn til nylig rasaktivitet i størrelsesorden steinsprang og mindre steinskred. Dette vil man også forvente å ha i fremtiden, men rasmateriale fra disse prosessene forventes å stanse opp i fjellsiden eller ved foten av fjellsiden. Pr. i dag finner vi ingen grunn til å følge opp Skognes i fremtiden, med mindre nye INSAR data gir grunnlag for en annen konklusjon.

Klippen ved Skognes (Figur 91) tolkes til å være rester etter et tidligere forkastningsplan, henglset i øst med økende sprang mot vest. En stiplet linje i Figur 91 markerer en usikker tolkning av avkuttingslinjen til hengblokken. I Figur 92 vises et oversiktsbilde tatt fra observasjonspunktet for rekognoseringen. Vi ser at det er lyst og ferskt rasmateriale i ura som indikerer pågående steinsprangsaktivitet. Åpne brudd i bergmassen som kan føre til fremtidig steinsprang er avmerket med hvite piler.



Figur 91: Helikopterfoto over Skognes. Avmerket: utsiktspunkt for rekognosering, nylig steinssprangaktivitet (gul) og rektangel som markerer området for utslaget på InSAR (orange).



Figur 92: Panorama sett fra utkikkspunktet avmerket i Figur 91. Innsirklet: mulig fremtidig steinsprang eller steinskredmateriale. Hvite piler: løse blokker forteller at man bør forvente steinsprangaktivitet fra Skognes.

# 6.20 Staluvarri

Staluvarri er en stor deformert fjellside langs østsiden av Kåfjorden. En full feltbefaring ble foretatt i 2010. Fjellsiden er kompleks, og viser tydelig deformasjon. Det er svært vanskelig å måle inn en lokalitet av denne størrelsen med dGPS. Vi anbefaler at denne lokaliteten, sammen med de andre ustabile fjellsidene langs østsiden av Kåfjorden, følges opp med nye InSAR data i fremtiden samt nye høydetaljerte flybilder.



Figur 93: Kart og flyfoto over Staluvarri. Hovedlineamenter og en del mindre lineamenter er avmerket sammen med observasjonspunkt. Se tekst for detaljer.

## 6.20.1 Morfologi og strukturgeologi:

Staluvarri er et stort og komplekst ustabilt område som er segmentert av lineamenter som stryker henholdsvis NØ-SV og NV-SØ. Lineamenter med NØ-SV trend utgjøres av sprekker og skrenter som stryker tilnærmet parallelt med fjellsida og som har en høy vinkel til skredets antatte nordvestlige bevegelsesretning. I nord opptrer en flere meter høy baksprekk med denne orienteringen, og en segmentert baksprekk med samme trend opptrer langs toppen av fjellet i det midtre segmentet (Figur 93). De er tolket som uttrykk for NV-SØ ekstensjon i fjellsiden. Synkehull og grøfter i talus og blokkmark (Figur 94a) markerer områder med åpne sprekker i undergrunnen.

To store lineamenter med NV-SØ trend deler fjellsida inn i 3 segmenter. Det nordre og midtre segmentet skilles av en sikksakkformet, sammensatt sprekk, mens det midtre og sørlige segmentene skilles av en nedarvet forkastning i området rundt observasjonspunktet S13 (Figur 93, Figur 94 b og c). Fjellsida inneholder flere trinn som tolkes til å representere toppen av store blokker; spesielt markant er et langstrakt trinn som opptrer i nesten hele lengden til det midtre segmentet med orientering parallelt med baksprekkene nevnt ovenfor (Figur 93). Sørøst for dette finnes en stor skrent, dekket av storsteinet ur. Denne tolkes tentativt som et begravd glideplan. Et område i nedre halvdel av skredet (området rundt S15) viser intens oppsprekking og oppdeling i en trappetrinnsmorfologi med NØ-SV-orienterte trinn (Figur 94d og e).

Stereogrammet i Figur 95 viser at NØ-SV og NV-SØ-orienterte brudd, parallelle med lineamentene som er synlige i Figur 93, dominerer i fjellsiden. I den nordlige delen av fjellsiden viser baksprekken en NØ-SV orientering. Figur 94 a og b samt Figur 95 viser observasjoner fra det NV-SØ-strykende glideplanet som opptrer i sørlige deler av Staluvarri. Avbøyningen av hovedfoliasjonen inn mot glideplanet (Figur 94b) viser at deformasjonen har startet på noen kilometers dyp i jordskorpen, og at dette glideplanet representerer en nedarvet forkastning. Pseudotachylittene på forkastningsplanet (Figur 94c) har en høy vinkel med transportlineasjonen (Figur 95) og viser at forkastningen har opplevd seismisk aktivitet (jordskjelv) på noen kilometers dyp.

Forkastningen utgjør altså en struktur som ble dannet i dypet, men som har blitt brukt om igjen ved overflaten under kollaps av fjellsida.



Figur 94: a) Synkehull i talus langs en av flere NØ-SV-strykende skrenter i nordlige deler av Staluvarri. Hull og grøfter i blokkhav og talus er svært vanlige i fjellsida og indikerer sprekker i undergrunnen. b) Forkastningsplanet som deler det midtre og sørligste segmentet av Staluvarri kan sees som et tydelig lineament i Figur 93. Forkastningen kutter hovedfoliasjonen og er karakterisert av et flak med forkastningsbergart. Dette er dekortert med lineasjoner som viser en tidligere tektonisk transportretning og årer av pseudotachylitt (friksjonssmelte; svarte stikk i c) som viser at forkastningen har hatt seismisk aktivitet (jordskjelv) i løpet av sin historie. (d) viser blokkhav med grøfter sør for forkastningen i b; InSAR-dataene viser at dette området beveger seg med opp til 5 med mer pr. år (Figur 93). e) "Trappetrinnsmorfologi" der deler av skredet er delt opp i blokker begrenset av steile sprekker som er subparalelle med baksprekken og med strøket til fjellsida. d) viser en større enkeltblokk i nedre deler av Staluvarri til høyre i bildet, og en markant, flere meter høy skrent/glideplan sørvest for denne. Ur i forkant av blokka, samt oppsprukken berggrunn nordøst for blokka er i bevegelse i henhold til InSAR-data (se nedenfor).

Et markant lineament fortsetter fra sørlige deler av Staluvarri, sørvestover mot kysten, hvor det synes å forsvinne under vegetasjon og talus. Dette lineamentet ble ikke befart i 2010.



Figur 95: Orienteringen til sprø brudd samlet inn i deler av Staluvarri. Sprekker(N=48) er konturert. Data fra baksprekken i det nordlige segmentet av fjellsiden er plottet som en slip-linear i rødt (N=1), mens data fra den NV-strykende forkastningen som skiller det midtre fra det sørlige segmentet er plottet i grønt (N=10). Slip-linear plott framstiller polen til forkastningsplanet som et punkt, og orienteringen til transportlineasjonen som en linje som går gjennom punktet. Dersom bevegelsesretningen er kjent vises denne med en pil. En betydelig del av de målte sprekkene er tilnærmet strøkparallelle med baksprekken som er målt i nordlige deler av fjellsida.

### 6.20.2 dGPS-data

Det er ikke utplassert dGPS målepunkter på Staluvarri. Det anbefales å plassere ut punkt i område S15, dersom fast fjell og et godt fastpunkt kan finnes.

## 6.20.3 Lidarskanning

Det er ikke gjennomført sidarskanning av Staluvarri.

## 6.20.4 InSARdata

ERS InSARdata viser at to større områder i Staluvarri er i bevegelse bort fra satellitten med flere mm pr år (Figur 93). Begge områdene er orientert NØ-SV, parallelt med fjellsida og med det NØ-SV-strykende settet av lineamenter. Det nordvestlige området synes å være lokalisert dels i ur nordvest for blokken i Figur 94d, dels i oppsprukken berggrunn nordøst og øst for denne. Det sørøstlige området med høyeste hastigheter pr. år er lokalisert nordvest for lineamentene som er kartlagt i NØ-SV retning seg langs øvre del av fjellsiden. Den sørvestligste delen av området er lokalisert sør for den nedarvede forkastningen beskrevet tidligere (Figur 94a og b), i et område preget av kurvede lineamenter, roterte blokker og ur med markante lineære grøfter.

InSAR-dataene antyder at deler av Staluvarri er aktivt med bevegelse på noen få millimeter i året. De nordvestligste aktive områdene representerer trolig krypbevegelser i storsteinet ur i forkant av fjellsida, men større blokker kan være i bevegelse nordøst for dette. Det aktive området i sørøst kan tentativt representere bevegelse av større blokker og bergartsmasser, men ur og blokkhav i dette området kan også være årsak til bevegelse. En større del av fjellsiden mellom de mest aktive områdene synes også å være i bevegelse, men dette skjer i så fall med lave hastigheter. Storsteinet ur er svært vanlig i deler av Staluvarri, og kryp i ur kan være årsak til det mer diffuse InSAR-mønsteret i fjellsiden.

 $\dot{F}$ jellsiden nord for Staluvarri synes å være i sakte bevegelse ut fra InSAR-dataene. I dalen sørøst for Staluvarri er det registrert bevegelser på < 5mm pr år, som synes knyttet til urer langs foten av fjellet.

#### 6.20.5 Utløpsanalyse

Data etter årets feltarbeid indikerer at fjellsiden ved Staluvarri består av flere delomrpder som har ulike deformasjonshastigheter. Det er derfor ikke foretatt utløpsanalyse for Staluvarri, da volum for hvert delområde ikke er beregnet.

# 6.21 Storhaugen 2

Storhaugen 2 ligger i Manndalen rett nord for Gamanjunni 3. Storhaugen 2 ble første gang befart i 2010, og viste noen tegn til pågående deformasjon (innsynkningshull). Det ble derfor besluttet å lidarskanne Storhaugen 2. Området består i hovedsak av et hovedglideplan med oppsprukket fjell over dette. Fjellsiden mellom Gamanjunni 3 og Storhaugen 2 viser høy grad av oppsprekning, se Figur 96 og Figur 99 (a).



Figur 96: Kart og flyfoto over Storhaugen 2. Avmerket: ERS INSAR data 1992-2000, sted hvor lidar skanning ble foretatt, hovedlinjamenter og observasjonspunkt for strukturgeologiske målinger. Rød pil indikerer løs blokk observert fra helikopter og av lokalbefolkning. Se tekst for detaljer.

## 6.21.1 dGPS data

Det er ikke samlet inn dGPS data fra Storhaugen 2 i 2010.

#### 6.21.2 Strukturgeologiske data

Storhaugen 2 karakteriseres som et område i utglidning og er tolket med flere glideplan som påfølger hverandre nedover fjellsiden, se Figur 96. Det øvre glideplanet ved observasjonspunktene STO-4 til STO-6 beskrives som et glideplan dannet ved deformasjon gjennom et hengslet bruddplan. Dette glideplanet har tuppunkt i nordvest med økende sprang mot sørøst. Ved den sørøstlige avgrensingen av hengselforkastningen starter et skråstilt eldre glideplan som fortsetter med strøk mot sør ned til observasjonspunkt STO-3.

Hovedglideplanet fremstår som aktivt i dag, med friske bruddflater og nylige blokkfall i bruddsonen mellom stabil bakenforliggende bergmasse og glideblokk. Det skråstilte glideplanet i området rundt STO-3 er i stor grad begrodd med mose og/eller lav, og fremstår som gammelt og inaktivt.

Litt nord for Storhaugen 2 står en delvis frittstående blokk med volum grovt anslått til noen tusen kubikkmeter. Posisjonen er UTM 34 0482934E / 7709378N +/- 50m. Se svart pil i Figur 98 og Figur 100. Lokalbefolkning vi har vært i kontakt med forteller om en tilsynelatende utvidelse av baksprekken til blokken over tid. Blokken ble befart med helikopter sommeren 2010, og kan bekrefte at den er delvis frittstående. I nedkant av blokken er det et mulig glideplan. Vi anser denne blokken som svært ustabil basert på vår helikopterrekognosering, og anbefaler at den følges opp av Kåfjord Kommune for videre utredning.



Figur 97: Panorama over øvre del av Storhaugen 2 tatt mot nord, se figuren under for plassering av kamera. Legg merke til suksessive hengblokker nedover, hver med eget glideplan. Hvorvidt det finnes et underliggende kontrollerende glideplan er ikke kjent.



Figur 98: Storhaugen 3 fra helikopter. Merk svart pil som viser plasseringen av den ustabile blokken registrert av lokalbefolkningen. Det blir sagt at baksprekken til blokka har utvidet seg de siste årene.



Figur 99: Strukturelle observasjoner. (a) sprekkemønster av samme karakter som ved Gamanjunni 2 & Gamanjunni 3 dominerer hele fjellpartiet mellom Gamanjunni 2&3 og Storhaugen 2, se linjamentene i Figur 96. Disse danner kileutglidningssoner for blokkfall. Bilde tatt ved STO-2; (b) innsynkningshull ved STO-4. Mose er avrevet, hullet fremstår som relativt ferskt. To innsynkningshull ligger på en rett linje nord-sør. Diameter ca 1,5m; (c) glideplanet til den øverste hengselforkastningen. Fjellveggen er frisk uten vegetasjon. Interne forkastninger reduserer bergstyrken ytterligere; (d) gul avgrensning påviser avsetninger fra tidligere utrasninger fra Storhaugen.



Figur 100: Den løse blokken rett nord for Storhaugen 2. Stiplet linje: usikker grense. Se Figur 96 for posisjon.

### 6.21.3 Lidarskanning

Storhaugen ble skannet med lidar for første gang i 2010 basert på observasjoner gjort under feltkartlegging (innsynkningshull og friske bruddflater).



Figur 101: Skyggemodell av høydemodell generert fra punktskyen til lidarskanningsdataene. A og B: skanningsposisjoner i 2010. Høyre: stereoplot av dataene.

Basert på strukturanalyse av bruddsett fra lidardataene observerer vi at hovedbruddsettene er orientert likt som de som ble funnet i lidardataene fra Gamanjunni 3 (kapittel 6.6.4). Den laterale bruddflaten er i hovedsak kontrollert av bruddsett J2 (245°/70°) med J5 (129°/64°) og J6 (164°/70°) som lokalt danner overhengende klipper. Foliasjonen er orientert med fallretning/fall 323°/23°. Bakskrenten er sammensatt av flere sprekkesett, spesielt J2, J5 og J6 i de delene som faller mot nordvest og J1 og J4 i de delene som faller mot vest-sørvest.

# 6.21.4 Insar data

ERS InSAR data indikerer lav aktivitet ved Storhaugen tidsrommet 1992-2000. TerraSAR-X og RADARSAT-2 indikerer bevegelser på mellom 5-12 mm/år i tidsrommet 2008-2010. Basert på disse høye hastighetene fra to helt uavhengige satellitter er det nødvendig at fjellsiden følges opp mer ytterligere arbeid. Som et ledd i dette igangsettes en bakkebasert radarkampanje allerede sommeren 2011. Det bemerkes at flere scener over flere år må samles inn før man trekker noen konklusjon basert på disse InSAR dataene alene.



Figur 102: Radarsat-2 (2008-2010) og TerraSAR-X (2009-2010) viser en pågående deformasjon i hele fjellsiden mellom Storhaugen og Gamanjunni 3.

# 6.21.5 Utløpsanalyse

Det er ikke beregnet utløpslengde for Storhaugen da volum foreløpig ikke er fastsatt.

# 6.22 Vassnestind

Vassnestind er et stort sørvendt område i Kvænangen som har gjennomgått svært stor deformasjon ved utglidning av et 3 kilometer langt område. Området ble første gang feltbefart i 2010, men på grunn av sin store utstrekning var det ikke mulig å gå over hele arealet. Fokus ble derfor rettet mot de delene av baksprekken som fra flyfoto vist tegn til nyligst aktivitet. Se Figur 103. Vassnestind kan betegnes som en "sackung," en fjellside som opplever dyptgående deformasjon drevet av gravitative krefter (Varnes et. al, 1989). NGU har tidligere skutt seismikk utenfor kystlinjen til Vassnestind. Disse dataene har blitt tolket og benyttes i den analysen av det ustabile området.



Figur 103: Kart og flyfoto over Vassnestind. Avmerket: ERS INSAR data 1992-2000, hovedlinjamenter og observasjonspunkt for strukturgeologiske målinger. Se tekst for detaljer.

## 6.22.1 dGPS data

Det er ikke samlet inn dGPS data fra Vassnestind i 2010, og det er ikke planlagt for fremtiden.

## 6.22.2 Strukturgeologiske data

Vassnestind karakteriseres som et stort område under sakte ekstensjon. Basert på de seismiske dataene antar vi at deformasjonen har pågått under siste fase av og etter siste istid. Strukturgeologien er kompleks, og arealet så stort at en enkel feltkartlegging ikke er tilstrekkelig for å beskrive området. Det ble derfor gått et profil langs deler av bakkanten og ned bakre bruddplan inn i sonen med høyest ekstensjon tolket fra flybilder, se observasjonspunktene avmerket i Figur 103. Ut ifra disse feltdataene samt flyfoto er fire delområder beskrevet fra Vassnestind, se Figur 105 - Figur 109.

Området ved Vassnestind er preget av strekning som har resultert i en morfologi bestående av større og mindre systemer av ramper, hengselforkastninger og innsynkningshull. Feltobservasjoner indikerer at deformasjonshastigheten er sen, med sig – eller kryphastigheter. Det er lite tegn til katastrofale kollapser fra tidligere, men det må presiseres at området ikke er kartlagt i felt i sin helhet, kun undersøkt på flyfoto. Ut fra innsamlet feltdata finner vi fem sprekkesett som er signifikant tilstede i tallmaterialet. Ved plotting med ulik symbologi for ulike observasjonspunkt finner vi at sprekkesettene J1, J2 og J3 primært ble innmålt i den ustabile blokken avgrenset av hovedbaksprekken, mens J5 primært ble innmålt i bergmassen bakenfor baksprekken, i antatt stabilt fjell. Dersom J1 roteres om lag 30 grader mot nord sammenfaller J1 med sprekkesett innmålt ved observasjonspunkt VAS-3 i den ustabile blokken.







Figur 105: Delområder ved Vassnestind som er beskrevet i teksten, og som belyser strukturgeologien i området.



Figur 106: Et område ved (a) fremviser flere ramper og hengselforkastninger. Dette området er i bakkant av hovedbaksprekken, og indikerer at deformasjonen gradvis forflytter seg bakover.



Figur 107: Et område ved (b) fremviser rader av innsynkningshull.





Figur 108: Ved (c) observerer vi en grøft mellom ura av blokkmateriale og bruddkanten som tilhører hovedbaksprekken (observasjonspunkt VAS-5). To ytterpunkt for dannelsen av denne grøften foreslås. Se tekst for detaljer.



Figur 109: Ved (d) ser vi transverse rygger i terrenget. Disse betegnes ofte som antiskrenter (Gutiérrez-Santolalla et. al, 2005).



Figur 110: terrengmodell fra <u>www.norgei3d.no</u>. Legg merke til hvordan kystlinjen avbøyes markant utenfor alle de stedene der feltkartlegging har påvist ustabile fjellsider i bevegelse.
## 6.22.3 Seismiske data

Seismiske data samlet inn rett utenfor det ustabile området indikerer avsetninger fra tidligere skred. Disse avsetningene ser imidlertid ut til å være overdekt av post-glasiale sedimenter (løsmasser avsatt etter at isen trakk seg tilbake). De postglaciale sedimentene virker ikke å være forstyrret i særlig grad der de opptrer lengst borte fra kysten i profilene i Figur 111(b). Dette etterlater derfor et inntrykk av at bevegelseshastighetene for fjellpartiet ved Vassnestind er svært sakte, og at fjellskredhendelser med langt utløp ikke har inntruffet i holocen tid (etter siste istid). I profil i Figur 111(b) er det derimot tolket inn skredavsetninger under den post-glaciale grensen, og dette tas som indikasjon på at skredprosessene hadde sin hovedaktivitet i løpet av isens tilbaketrekning.

Av Figur 111(a) ser vi at den seismiske karakteren til de post-glaciale avsetningene nærmere strandlinjen er mer forstyrret. Dette kan komme av dårligere forhold under innsamling, slik som mer signalstøy fra reflekterte signal fra kyststripen/strandsonen. Det kan dog ikke utelukkes at det har vært skredprosesser i post-glacial tid nær kysten, men som ikke har vært store nok til å nå ut til avsetningene vist i Figur 111(b). Et støttende argument til denne antagelsen er observasjonen/tolkningen i Figur 111(a) hvor skredmasser i vest delvis overlagrer post-glaciale sedimenter, som tydelig pålapper en større antatt skredblokk. Dette indikerer flere generasjoner skredavsetninger, som er både syn- og post-glaciale.

Profilet i Figur 112 viser seismikken samlet inn nærmest strandlinjen. Denne er betydelig dårligere enn seismikken fra begge profilene i Figur 111. Den manglende interne lagdelingen i profilet i Figur 112 kan skyldes deformasjonen av kystlinjen slik det er indikert i Figur 110, det kan skyldes høy rasaktivitet nærme kysten eller kun være et resultat av dårlig seismisk signal på grunn av reflekterte lydbølger nær land. Videre analyser utover dette krever langt bedre datamateriale.

Som en siste kommentar legger vi merke til likhetstrekkene mellom de tolkede skredavsetningene i Figur 111 og de påviste skredavsetningene fra Pollen som vist i batymetridataene i Figur 113 (irregulær og kaotisk skredtopografi, med et sedimentasjonsbasseng på flanken av avsetningene). Dette gir til en viss grad støtte til tolkningen av dataene fra Vassnestind som skredavsetninger.



Figur 111: Seismiske boomerdata fra kystlinjen rett utenfor Vassnestind. To linjer er vist. Tekst for detaljer. Rosa linje: tolket fjelloverflate, blå stiplet linje: post-glacial grense (isen har trukket seg tilbake), grønt bånd: antatte skredmasser.



Figur 112: Kystparallell seismisk linje viser en svært ujevn sjøbunn med svært dårlige reflektorer. Dette kan indikere skredmasser uten en godt definert indre lagdeling.



Figur 113: batymetriske data fra Pollenskredet. Legg merke til likheten mellom skredavsetningene her og den tolkede skredavsetningen fra seismikken fra Vassnestind, hvor det er store blokker og kaotiske avsetninger

### 6.22.4 Lidarskanning

Vassnestind er ikke lidarskannet. Det foreligger ingen plan om det for fremtiden.

# 6.22.5 Insar data

ERS InSAR data indikerer lav eller fraværende aktivitet for tidsrommet 1992-2000 dersom fargeskalaen settes til å dekke bevegelser fra 0 til -5 mm/år innsynkning, se Figur 103.

# 6.22.6 Utløpsanalyse

Det er ikke utført noen utløpsanalyse for Vassnestind, men det er ikke forventet at materiale som raser ut fra området ved hovedbaksprekken vil nå fjorden.

# REFERANSER

Blikra, L.H., Eiken, T., Henderson, I., Venvik-Ganerød, G. 2006: Forprosjekt fjellskred i Troms – Status 2005, NGU Rapport 2006.040

Eiken, T. 2011: Rapport om deformasjonsmålingar i Troms 2003-2010. Rapport fra UiO, 43s

Ferril, D.A. and Morris, A.P., 2001. Displacement gradient and deformation in normal fault systems. Journal of Structural Geology 23, pp. 619–638.

Henderson, I.H.C., Lauknes, T.R., Osmundsen, P.T., Dehls, J., Larsen, Y. & Redfield, T.F: A structural, geomorphological, and InSAR study of an active rock slope failure development, Slope Tectonics, Geological Society of London Special Publication, 351, 185-189

Henderson, I.H.C., Saintot, A., Venvik-Ganerød, G. & Blikra, L.H. 2007. Fjellskredkartlegging i Troms. NGU Rapport 2007.041

Henderson, I.H.C., Osmundsen, P.T. & Redfield, T.F., 2008: ROS Fjellskred i Troms: Statusrapport 2007, NGU Rapport 2008.025

Henderson, I.H.C., Osmundsen, P.T. & Redfield, T.F., 2009: ROS Fjellskred i Troms: Status og planer. NGU Rapport 2009.023

Henderson, I.H.C., Osmundsen, P.T. & Redfield, T.F., 2010: ROS Fjellskred i Troms: Status og planer 2010, NGU Rapport 2010.021

Onofri, R., Candian, C. Indagine sui limiti di massima invasione di blocchi rocciosi franati durante il sisma del Friuli del 1976. Reg. Aut. Friuli - Venezia Giulia, CLUET, 42 pp. 1979

Varnes, D.J., Radbruch-Hall, D.H., Savage, W.Z., 1989. Topographic and structural conditions in areas of gravitational spreading of ridges in the western United States. U.S. Geological Survey Professional Paper 1496 (28 pp.)

Gutierrez-Santolalla, F., Acosta, E., Rios, S., Guerrero, J., Lucha, P., Geomorphology and geochronology of sackung features (uphill-facing scarps) in the Central Spanish Pyrenees, Geomorphology, Volume 69, Issues 1-4, July 2005, Pages 298-314

# VEDLEGG

# V.1 Resultater og analyser TLS Lidar skanning Troms 2010

# **General methodology**

Terrestrial laser scanning (TLS) is based on the reflectorless and contactless acquisition of a point cloud of the topography using the time-of-flight distance measurement of an infrared laser pulse. The Optech ILRIS-3D used for this study has a wavelength of 1500 nm and a range in practice of about 800 to 1200 m on rock slopes, depending on the reflectivity of the object. See Oppikofer et al. (2009) for a detailed description of the instrument.

The high-resolution point clouds of the topography provided by TLS can be used for the structural analysis of rock slopes and for displacement measurements using sequential (multi-temporal) TLS data. The detailed methodology is described by Oppikofer et al. (2009) and includes several steps:

- 1. Co-registration (alignment) of individual scans of the same epoch
- 2. Co-registration of sequential TLS scans using only the (supposed) stable area, i.e. the surroundings of the rock slope instability
- 3. Georeferencing of the entire dataset using ground-control points or a DEM
- 4. Structural analysis using Coltop3D software (Jaboyedoff et al. 2007)
- 5. Construction of basal failure surface and volume computation (Oppikofer 2009)
- 6. Shortest distance comparison between sequential scans for the visualisation and a preliminary quantification of displacements
- 7. Division of the moving area in individual blocks based on the morphology and/or different displacement velocities observed on the shortest distance comparison
- 8. Detailed displacement analysis of these blocks using the roto-translation matrix technique

# Brosmebakktuva

#### Data acquisition

The Brosmebakktuva instability (Ullsfjorden, Tromsø, Troms) was scanned by TLS on 18 August 2010 from two scanning positions; one in the immediate vicinity of one of the unstable blocks (A in Figure 1), and another along the lateral release surface in the west of the unstable area (B in Figure 1). The TLS point cloud has an average point spacing of 4.7 cm (at an average distance of 170 m) and consists of 7.2 million points. This point cloud was used to create a high-resolution DEM of the scanned area with a cell size of 50 cm (Figure 1).



Figure 1: Hillshade of the DEM created from the TLS point cloud at Brosmebakktuva. The TLS scan positions and directions and the unstable blocks are shown. Coordinates are in UTM 34N.

#### Structural analysis

A structural analysis of the cliffs at Brosmebakktuva was made in the software Coltop3D using the TLS point cloud. The orientation of discontinuities is very consistent over the entire analysed area. The foliation S1 is gently dipping towards the west (dip direction/dip angle:  $285^{\circ}/20^{\circ}$ ). The major part of the cliffs are formed by the SE-dipping discontinuity sets J6 ( $145^{\circ}/44^{\circ}$ ) and J7 ( $148^{\circ}/79^{\circ}$ ), which act as basal sliding surface and as back-scarp, respectively. The subvertical set J5 ( $089^{\circ}/79^{\circ}$ ) delimits laterally the Bromsebakktuva instability to the W and divides it into small compartments. The steeply NW-dipping discontinuities J3 ( $331^{\circ}/62^{\circ}$ ) form overhanging walls and can be involved in the back-scarp along with J7.



Figure 2: Main discontinuity sets measured at Brosmebakktuva. The stereonet displays the mean orientations (poles and great circles) and  $1\sigma$  variability cones for each set.

#### Basal failure surface construction & volume computation

Based on the above structural analysis and the detailed morphology provided by the TLS point cloud, the possible basal failure surfaces of two detached unstable columns (see Figure 1 for location) was constructed (Figure 3). Both unstable blocks likely have a common basal sliding surface that is formed by discontinuity set J6. Block A is delimited to the west by J5 (LRS<sub>A1</sub>) and overhanging J3 (LRS<sub>A2</sub>), to the east by J4 (LRS<sub>A2</sub>) and to the back by a combination of S1 and J3 (BC<sub>A</sub>). Block B is freestanding and back-bound by a combination of J5 and J7, but its orientation is somewhat uncertain because the back-scarp of block B is not well represented in the TLS point cloud.

The differences between the TLS-DEM and the modelled basal failure surface enable the computation of the volumes of the unstable blocks at Brosmebakktuva (Figure 4). The western block A has a mean thickness of 5.8 m (maximum thickness: 18.2 m) and an estimated volume of 9600 m<sup>3</sup>. The eastern block B is 7.4 m thick in average (22.4 m in maximum), which results in a volume of 12400 m<sup>3</sup>.



Figure 3: Construction of the basal failure surface for two unstable columns at Brosmebakktuva: a) TLS point cloud with the constructed limiting surfaces; b) model of the basal failure surface displaying the orientation of the modelled planes; c) stereonet of the constructed surfaces and potential planar sliding failure mechanism (compare to stereonet in Figure 2).



Figure 4: Frontal view on the unstable blocks at Brosmebakktuva displaying the horizontal differences between the modelled basal failure surface and the TLS-DEM.

# Gammanjunni 3

## Data acquisition

An initial TLS acquisition of the Gammanjunni 3 rock slope instability (Manndalen, Kåfjord, Troms) was made on 19 August 2010. 11 scans with a total of 11.7 million points were acquired from two scanning positions at the foot of the instability (A and B in Figure 5), as well as two positions around the back-scarp (C in Figure 5) and the lateral release surface (D in Figure 5). The TLS point cloud has an average point spacing of 8.7 cm (at a mean distance of 330 m).



Figure 5: Hillshade of the high-resolution TLS-DEM of Gammanjunni 3. The TLS scan positions and directions are displayed. Coordinates are in UTM 34N.

### Structural analysis

The orientation of the principal discontinuity sets at Gammanjunni 3 was measured in Coltop3D on the TLS point cloud (Figure 6 & Table 1). Separate structural analyses were performed for the back-scarp and the unstable block.

The back-scarp is mainly formed by discontinuity sets J1 (dip direction/dip angle:  $222^{\circ}/53^{\circ}$ ) and J1' ( $202^{\circ}/56^{\circ}$ ). Locally J2 ( $322^{\circ}/58^{\circ}$ ), J3 ( $025^{\circ}/81^{\circ}$ ) and J4 ( $051^{\circ}/69^{\circ}$ ) form overhanging walls that were likely the back-scarp of a smaller rockfall event. J3 and J4 are also found within J1 discontinuities, leading to a stepped sliding surface. Other prominent cliff is the SE-bounding lateral release surface formed by J2 and J2' ( $314^{\circ}/81^{\circ}$ ) with locally overhanging cliffs formed by J6 discontinuities ( $132^{\circ}/74^{\circ}$ ). The foliation S1 is gently dipping towards the North ( $025^{\circ}/28^{\circ}$ ) and forms only minor overhangs in the back-scarp and the lateral release surface. The fracturing of the unstable block appears to be denser and the apparent surface shaped by individual

The fracturing of the unstable block appears to be denser and the apparent surface snaped by individual discontinuities is significantly lower. Nonetheless, all discontinuity sets (except J4) are detected (Figure 6 & Table 1) and the differences in orientation are small, but are likely related to past slope movements with a SW-trending rotational movement. This rotation is mainly shown by the foliation S1, which is more shallowly dipping on the unstable block than on the back-scarp ( $025^{\circ}/10^{\circ}$  vs.  $025^{\circ}/28^{\circ}$ ). A detailed analysis of this rotational movement needs to be performed based on the structural analyses in Coltop3D.



Figure 6: Major discontinuity sets measured at Gammanjunni 3. The stereonet displays the mean poles and  $1\sigma$  variability cones for the back-scarp and the unstable block, as well as the average per discontinuity set (poles and great circle).

Table 1: Average discontinuity orientations (dip direction/dip angle) and 1σ variability obtained by the structural analysis in Coltop3D for different parts of the Gammanjunni 3 instability.

Discontinuity	Back-scarp	Unstable block	Average
S1	$025^{\circ}\!/28^{\circ}\pm14^{\circ}$	$025^\circ\!/10^\circ\pm11^\circ$	$025^\circ/19^\circ\pm14^\circ$
J1	$222^\circ\!/53^\circ\pm11^\circ$	$225^{\circ}/61^{\circ}\pm12^{\circ}$	$224^\circ/57^\circ\pm06^\circ$
J1'	$202^\circ/56^\circ\pm12^\circ$	$208^\circ\!/51^\circ\pm11^\circ$	$205^\circ/53^\circ\pm05^\circ$
J2	$322^\circ/58^\circ\pm16^\circ$	$320^\circ\!/64^\circ\pm15^\circ$	$321^{\circ}/61^{\circ}\pm05^{\circ}$
J2'	$314^\circ/81^\circ\pm13^\circ$		$314^{\circ}/81^{\circ}\pm00^{\circ}$
J3	$025^{\circ}/81^{\circ}\pm15^{\circ}$	$014^\circ/77^\circ\pm13^\circ$	$020^{\circ}/79^{\circ}\pm09^{\circ}$
J4	$051^\circ/69^\circ\pm17^\circ$		0650/710 + 200
J5		$078^\circ/74^\circ\pm15^\circ$	$003 / 11 \pm 20$
J6	$132^\circ/74^\circ\pm12^\circ$	$133^{\circ}/71^{\circ} \pm 14^{\circ}$	$132^\circ/72^\circ\pm02^\circ$

## Gavtavarri

#### Data acquisition

The cracks on the plateau at Gavtavarri (Kåfjorden, Kåfjord, Troms) were first scanned in August 2008. A follow-up acquisition was made on 18 August 2010 of the same cracks (viewpoints A and B in Figure 7) with 1.6 million points and an average point spacing of 1.1 cm (at a mean distance of 17 m). In addition, the deformed rock slope at Gavtavarri was scanned by TLS for the first time in 2010 (viewpoint C in Figure 7). The TLS point cloud of the deformed rock slope consists of 10.3 million points and has an average point spacing of 6.1 cm (at a distance of 212 m).



Figure 7: Hillshade of the TLS-DEM at Gavtavarri (2008 dataset in grey, 2010 dataset in green). The 2010 TLS scan positions and directions are shown. Coordinates are in UTM 34N.

# Displacement analysis

The shortest distance comparison between the 2008 and 2010 TLS point clouds of the cracks on the plateau above the deformed rock slope at Gavtavarri shows no significant displacements (Figure 8). A minor rockfall is detected in the E-trending crack at viewpoint B (Figure 8b), but this may not be interpreted as sign of activity for present slope deformations.



Figure 8: Shortest distance comparison of the 2008 and 2010 TLS scans of the cracks on the plateau at Gavtavarri: a) the NNW-trending crack seen from viewpoint A; b) the E-trending crack observed from viewpoint B.

# **Indre Nordnes**

## Data acquisition

The unstable rock slope of Indre Nordnes (Storfjorden, Kåfjord, Troms) was scanned for the second time on 17 August 2010 after the initial TLS acquisition in August 2009. These new scans focussed on the detection of eventual slope movements along the back-scarp (viewpoints A and B), the lateral release surface (viewpoints B and C) and the rockslide's frontal cliff (viewpoint D) (Figure 9). The point cloud from viewpoints A, B and C has an average point spacing of 2.2 cm (at a mean distance of 52 m), while the scan from viewpoint D has a mean resolution of 4.3 cm (at 432 m).

## Displacement analysis

The TLS viewpoints in 2010 are different from those in 2009 (Figure 9), mainly because of the different objectives of the scans, i.e. scanning the entire rockslide in 2009 and selected scans for comparisons in 2010. Therefore the possible shortest distance comparisons are limited and not optimal. It is for example impossible to use the data acquired in 2010 from viewpoint D for comparisons, because no overlapping area has been scanned in 2009.

Viewpoint A shows a northward view of the back-scarp and the main unstable block. No significant movement can be detected in the comparison of the 2009 to 2010 TLS point cloud (Figure 10a). However, there are only few points on the unstable block in this comparison.

Shortest distance comparisons with two different view directions were performed from viewpoint B; one towards the SE displaying the back-scarp and the unstable block (Figure 10c) and one northward showing the back-scarp, the lateral release surface and the main unstable block (Figure 10d). No significant movement are observed on both comparisons.

The back-scarp, lateral release surface and unstable block are also scanned from viewpoint C in eastward direction. This comparison has a good coverage of the unstable block (in opposition to the others from viewpoints A & B), but also reveals no significant displacements between 2009 and 2010 (Figure 10b).



Figure 9: Hillshade of the TLS-DEM at Indre Nordnes (2009 dataset in grey, 2010 dataset in red). The TLS scan positions and directions are shown (2009 in green, 2010 in blue). Coordinates are in UTM 34N.



Figure 10: Shortest distance comparisons between the TLS point clouds from 2009 and 2010 of the Indre Nordnes rock slope instability: a) from viewpoint A along the back-scarp; b) from viewpoint C in the continuation of the lateral release surface; c) from viewpoint B towards the SE; d) from viewpoint B towards the N with the lateral release surface. The colour scheme shown in a) is the same for all comparison images.

# Oksfjellet

## Data acquisition & treatment

A new acquisition of TLS data on the Oksfjellet instability (Kåfjorddalen, Kåfjord, Troms) has been made on 19 August 2010 from three selected viewpoints around the back-scarp (Figure 11). Attention was paid to cover similar areas as in 2008 and 2009, keep similar scan resolutions and ensure that stable ground is scanned in the same time as the unstable area (Figure 12).

After a manual cleaning of the scans (removing outliers and other erroneous points), all scans acquired at the same year were co-registered. The 2008 dataset served as reference for the co-registration of the following acquisitions in 2009 and 2010 by ignoring all moving parts. Afterwards the entire dataset was georeferenced using the GPS coordinates of the scanner positions.



Figure 11: Hillshade of the DEM of Oksfjellet created from the 2009 TLS point cloud displaying the TLS scan positions and directions of the 2010 acquisitions, as well as 2008 and 2009 scans used for the displacement analysis. Coordinates are in UTM 34N.



Figure 12: Photographs of the Oksfjellet instability: a) from viewpoint A in the NW along the lateral release surface; b) and c) from viewpoint B in the SE along the back-scarp. The main morphologic features and the compartments used for the detailed displacement analysis are outlined.

### Displacement analysis

Selected scans from each year's dataset were used for detailed comparisons based on the computation of the shortest distance between two point clouds. Selection criteria were: 1) presence of stable parts (lateral release surface or back-crack) in both sets of scans, which is mandatory for detailed displacement analysis; 2) comparable viewpoints of both sets of scans. This selection procedure led to two viewpoints, one from the NW along the lateral release surface (viewpoint A) and one from the SE along the back-scarp (viewpoint B) (Figure 11, Figure 12, Table 2).

To minimize alignment errors, each group of scans was aligned individually on the reference dataset. However, uncertainties of the alignment and measurement errors lead to a global comparison error of 3.3 cm. Differences smaller than 3.3 cm are thus not significant, which is comparable to values reported in other studies (e.g. Oppikofer et al. 2009). This error applies to point-based comparisons shown in Figure 13 and Figure 14. The roto-translation matrix technique takes advantage of the high point density of TLS point clouds and the errors assessment on stable cliffs along the back-scarp and the lateral release surface shows clearly smaller errors (Table 3).

Viewpoint	Scans 2008	Scans 2009	Scans 2010
A (NW, along lateral release surface, looking SSE)	kafjord08-17	kafjord-09-05	kafjord_sor10-04
	kafjord08-18	kafjord-09-06	kafjord_sor10-05

#### Table 2: Sets of TLS scans used for the displacement analysis of Oksfjellet.

B (SW, along back-scarp, looking NNW)	kafjord08-20 kafjord08-21 kafjord08-25 kafjord08-26	kafjord-09-14 kafjord-09-16	kafjord_sor10-01 kafjord_sor10-02 kafjord_sor10-03
---------------------------------------	--	--------------------------------	--

 Table 3: Accuracy assessment of the roto-translation matrix technique for stable reference compartments at Oksfjellet between 2009 and 2010.

Comportment	Viewpoint	Translation	Toppling	Tilt	
Compartment		Length [cm]	Angle [°]	Angle [°]	
R1 (back-scarp)	А	0.59	0.075	0.010	
R2 (back-scarp)	А	1.97	0.038	0.008	
R3 (back-scarp)	А	1.29	0.009	0.005	
R4 (back-scarp)	А	2.25	0.023	0.008	
R5 (back-scarp)	В	0.26	0.010	0.010	
R6 (lateral release surface)	В	2.12	0.018	0.000	
R7 (lateral release surface)	В	1.01	0.019	0.003	
Average error		1.36	0.027	0.006	
Maximum error		2.25	0.075	0.010	

All possible comparisons (2008 vs. 2009; 2008 vs. 2010; 2009 vs. 2010) were made. Shortest distance comparisons are shown in Figure 13 and Figure 14 for viewpoints A and B, respectively. From viewpoint A the main unstable blocks appear to have moved northwards by 3 to 6 cm between 2008 and 2009 (Figure 13a), followed by a downward movement by approximately 3 cm between 2009 and 2010 (Figure 13b). In the comparisons made from viewpoint B, the compartments on the main unstable block show no significant movement (Figure 14), while up to 9–12 cm displacements are measured in the graben and the relay ramp between 2008 and 2009 (Figure 14a). In the following period (2009–2010) no significant displacements are detected in that area (Figure 14b).

Based on these inconsistencies in the shortest distance comparisons it appears that the 2008 dataset is likely not reliable and should be discarded. This is further suggested by the detailed 3D displacement analysis that shows upward-plunging displacements vectors, which are not achievable in hard rock slopes. Therefore, displacements reported in Carrea et al. (2010) and Henderson et al. (2010) for Oksfjellet based on TLS measurements in 2008 and 2009 should be rejected! However, also the 2009 vs. 2010 shows some incoherencies in the displacement measured for different compartments of the unstable area. Large differences in sliding and toppling directions and velocities are observed for the different viewpoints (Table 4). These discrepancies make it impossible to conclude about the displacements of the Oksfjellet unstable rock slope.

These difficulties are explained by the site setting of the Oksfjellet instability impeding a frontal view of the sliding area and thus an unfavourable configuration for scanning of stable areas in the same time as moving parts. From viewpoint A the back-scarp is well visible, but it forms only a relatively small area in comparison with the unstable area (approximately 20% of stable area only) (Figure 12, Figure 13). The percentage of stable area is higher from viewpoint B (40%), but the stable parts are located only in the back of the unstable area, which is not ideal for precise displacement measurements. However, this inconvenience can not be overcome. Nonetheless, a new TLS acquisition in 2011 is recommended in order to have a third dataset for comparisons with the 2009 and 2010 TLS point clouds and obtain better control on the effective 3D displacement of the Oksfjellet rock slope instability.





Figure 13: Shortest distance comparison for Oksfjellet instability from viewpoint A: a) between 2008 and 2009; b) between 2009 and 2010. The blocks used for the detailed displacement analysis are outlined. The colour scheme expresses the differences between two point clouds. Positive differences mean that the data points are situated above or in front of the reference, for example due to an advance of the rockslide. Negative differences signify that the data points are behind or below the reference, for example due to vertical settlement or rockfalls.



Figure 14: Shortest distance comparison for Oksfjellet instability from viewpoint B using the same colour scheme as in Figure 13: a) between 2008 and 2009; b) between 2009 and 2010. The blocks used for the detailed displacement analysis are outlined.

Comportmont	Viewneint	Translation		Toppling		Tilt
Compartment	viewpoint	Length [cm]	Trend/plunge	Azimuth	Angle [°]	Angle [°]
I1 (main unstable blocks)	А	3.52	$103^{\circ}/46^{\circ} \pm 22^{\circ}$	$20^\circ N \pm 26^\circ$	0.061	0.021
	В	0.41	$035^{\circ}/12^{\circ} \pm 189^{\circ}$	$259^{\circ}N \pm 24^{\circ}$	0.065	0.019
I2 (main unstable blocks)	А	3.85	$077^{\circ}\!/26^{\circ}\pm20^{\circ}$	$32^{\circ}N \pm 44^{\circ}$	0.037	0.000
	В	1.21	$036^{\circ}/-61^{\circ} \pm 64^{\circ}$	$262^{\circ}N \pm 42^{\circ}$	0.038	0.004
I3 (main unstable blocks)	А	3.92	$166^{\circ}/22^{\circ} \pm 20^{\circ}$	$18^{\circ}N \pm 78^{\circ}$	0.022	-0.022
I4 (relay ramp)	А	3.00	$081^{\circ}/42^{\circ} \pm 26^{\circ}$	$177^{\circ}N \pm 180^{\circ}$	0.013	-0.016
I5 (graben)	А	0.61	$143^\circ/39^\circ\pm128^\circ$	$128^{\circ}N \pm 110^{\circ}$	0.017	-0.012
	В	1.77	$022^{\circ}/21^{\circ} \pm 44^{\circ}$	$209^\circ N \pm 180^\circ$	0.007	-0.002
I6 (main unstable blocks)	В	1.41	$299^\circ/\text{-}33^\circ\pm55^\circ$	$268^\circ N \pm 180^\circ$	0.010	-0.006
I7 (main unstable blocks)	В	0.50	$346^\circ/\text{-}42^\circ\pm156^\circ$	$310^\circ N \pm 180^\circ$	0.002	0.006
I8 (relay ramp)	В	0.29	$228^{\circ}/10^{\circ} \pm 267^{\circ}$	$85^{\circ}N \pm 158^{\circ}$	0.014	-0.007
I9 (relay ramp)	В	1.15	$282^{\circ}/\text{-}37^{\circ}\pm67^{\circ}$	$80^{\circ}N \pm 180^{\circ}$	0.008	-0.002
I10 (relay ramp)	В	0.86	$087^{\circ}/44^{\circ} \pm 91^{\circ}$	$244^{\circ}N \pm 73^{\circ}$	0.023	0.013
I11 (graben)	В	1.19	$060^{\circ}/76^{\circ} \pm 65^{\circ}$	$195^{\circ}N \pm 23^{\circ}$	0.068	-0.002

Table 4: Detailed displacement analysis for different compartments of the Oksfjellet unstable rock slope between 2009 and 2010. Grey-shaded values are not significant given the errors measured on the stable reference compartments (Table 3).

# Nordnesfjellet

# Data acquisition

The unstable rock slope at Nordnesfjellet (Storfjorden, Kåfjord, Troms) has been monitored by TLS on a yearly basis since 2007. The rockslide was scanned on 17 August 2010 from one viewpoint along the northeast-bounding lateral release surface (Figure 15). The 2010 TLS point cloud has a mean point spacing of 4.4 cm (at a mean distance of 181 m) and a total number of 7.0 million points.



Figure 15: Orthophoto of the Nordnesfjellet rockslide displaying the 2010 TLS scan directions. Coordinates are in UTM 34N.

# Displacement analysis

The shortest distance comparisons between 2007 and 2008 and between 2007 and 2009 have been reported in Oppikofer & Jaboyedoff (2009) and Carrea et al. (2010), respectively.

The comparison between the 2010 TLS point cloud and the initial dataset from 2007 shows obvious movements of the main unstable block (Figure 16a, c). During these three-year period the movements of the fastest-moving block are between 9 and 12 cm horizontally and 3 to 6 cm vertically (Figure 16c). This leads to an average annual displacement of 3 to 4.5 cm and displacement direction can be estimated to W. A small rockfall scar is visible on this shortest distance comparison. This rockfall has likely occurred between 2007 and 2009, since the scar remained unchanged between 2009 and 2010 (Figure 16d). The shortest distance comparison between the 2009 and 2010 TLS point clouds (Figure 16b, d) shows the same displacement pattern with approximately 3 cm of displacement.



Figure 16: Shortest distance comparison of the multi-temporal TLS datasets of the Nordnesfjellet rockslide: a) displacements from 2007 to 2010; b) displacements between 2009 and 2010; c) and d) details of the fastest-moving block of a) and b), respectively. A small rockfall is outlined in c).

# Storhaugen

# Data acquisition

A first TLS acquisition of the Storurhaugen instability (Manndalen, Kåfjord, Troms) was made on 20 August 2010. A high-resolution point cloud with 2.7 million points and an average point spacing of 6.7 cm (at a mean distance of 126 m) was acquired from two viewpoints along the northern lateral release surface (Figure 17). These viewpoints offer a good overview over the upper part of the Storurhaugen rockslide and the southeast-bounding lateral release surface.



Figure 17: Hillshade of the TLS-DEM of the Storurhaugen instability with the 2010 TLS scan directions. Coordinates are in UTM 34N.

### Structural analysis

The structural analysis based on the TLS point cloud in Coltop3D focussed on the back-scarp and the wellexposed lateral release surface. The major discontinuity sets at Storurhaugen (Figure 18) have a similar orientation as those at Gammanjunni 3 (Figure 6).

The lateral release surface is mainly controlled by J2 discontinuities  $(245^{\circ}/70^{\circ})$  with J5  $(129^{\circ}/64^{\circ})$  and J6  $(164^{\circ}/70^{\circ})$  forming locally overhanging cliffs. J3  $(007^{\circ}/73^{\circ})$  and the foliation S1  $(323^{\circ}/23^{\circ})$  are also outcropping on the lateral release surface. The back-scarp is constituted of multiple discontinuity sets, especially J2, J5 and J6 in NW-dipping parts and J1  $(245^{\circ}/70^{\circ})$  and J4  $(077^{\circ}/75^{\circ})$  in WSW-dipping parts.



Figure 18: Main discontinuity sets measured at Storurhaugen. The stereonet displays the mean orientations (poles and great circles) and  $1\sigma$  variability cones for each set.

#### References for TLS lidar scanning appendix

- Carrea, D., Derron, M.-., Lévy, S., Michoud, D., Oppikofer, T. & Jaboyedoff, M., 2010: Analysis of groundbased Lidar data from Troms County (Norway). Institute of Geomatics and Analysis of Risk, University of Lausanne, Lausanne, Switzerland.
- Henderson, I.H.C., Osmundsen, P.T. & Redfield, T.F., 2010: ROS Fjellskred in Troms: Status og planer 2010. Geological Survey of Norway, Trondheim, Norway.
- Jaboyedoff, M., Metzger, R., Oppikofer, T., Couture, R., Derron, M., Locat, J. & Turmel, D., 2007: New insight techniques to analyze rock-slope relief using DEM and 3D-imaging cloud points: COLTOP-3D software. In: *Rock mechanics: Meeting Society's challenges and demands. Proceedings of the 1st Canada - U.S. Rock Mechanics Symposium, Vancouver, Canada, 27-31 May 2007*, eds. E. Eberhardt, D. Stead & T. Morrison, Taylor & Francis, London, pp. 61-68.
- Oppikofer, T., 2009: Detection, analysis and monitoring of slope movements by high-resolution digital elevation models, Institute of Geomatics and Analysis of Risk, University of Lausanne.
- Oppikofer, T. & Jaboyedoff, M., 2009: Terrestrial laser scanning of rockslides in Troms County (Northern Norway) Short report on preliminary analyses of the 2007 and 2008 datasets on Nordnesfjellet & Revdalsfjellet and the 2008 datasets on Kåfjord Sør, Gavtavarri & Laksvatnfjellet. Institute of Geomatics and Analysis of Risk, University of Lausanne, Lausanne, Switzerland.
- Oppikofer, T., Jaboyedoff, M., Blikra, L.H. & Derron, M., 2009: Characterization and monitoring of the Åknes rockslide using terrestrial laser scanning. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 9, no. 3, pp. 1003-1019.