

Bakkebaserte radarmålinger på Børa i Romsdalen og Stampa ved Flåm



Rapport nr 84-2016

Bakkebaserte radarmålinger på Børa i Romsdalen og Stampa ved Flåm

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Lene Kristensen og Einar Anda

Trykk:	NVEs hustrykkeri		
Opplag:			
Forsidefoto:	Lene Kristensen / NVE		
ISBN	978-82-410-1537-3		
ISSN	1501-2832		

Sammendrag: Denne rapporten oppsummerer målinger av bevegelse på de ustabile fjellpartiene Børa (Romsdalen) og Stampa (Flåm) fra 2011 til 2015 med bakkebasert InSAR radar. Det er ikke registrert bevegelse i de største fjellskredscenarioer på lokalitetene. På begge lokaliteter er det registrert bevegelse i mindre fjellpartier. Områdene i bevegelse er sammenlignet med fjellskredscenarioer, som er kartlagt av NGU. Radarmålingene kan brukes til å revidere disse scenarioer og som oppfølging av risikoklassifikasjonen.

Emneord: Børa, Stampa, Joasetebergi, Fjellskred, Ustabile fjellparti, Bakkebasert radar, InSAR

Norges vassdrags- og energidirektorat Middelthunsgate 29 Postboks 5091 Majorstua 0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95 Telefaks: 22 95 90 00 Internett: www.nve.no

Innhold

For	Forord				
Sar	nmendra	g	3		
1	Innlednii	- na	5		
-	1.1 Man	nnen-Børa komplekset	5		
	1.2 Star	npa			
2	Måling m	ned bakkebasert InSAR	6		
	2.1 Bak	kebasert InSAR - metode	6		
	2.2 Utst	yr og oppsett	7		
	2.3 Inns	tillinger på InSAR systemet	8		
	2.4 Pros	sessering, datatyper og georeferering	8		
3	Målepos	isjoner og -kampanjer	9		
	3.1 Måle	eposisjoner Børa			
	3.1.1	Sælen	10		
	3.1.2	Alnes	11		
	3.2 Måle	eposisjon Stampa	11		
	3.3 Måle	eperioder og kampanjer	13		
4	Resultat	er	13		
	4.1 Børa	а	13		
	4.1.1	Partier i bevegelse	13		
	4.1.2	Sammenligning med NGUs fjellskredsdatabase	16		
	4.1.3	Steinsprangområder i aktiv fase	17		
	4.1.4	«Fjellpusting» eller «Slope breathing»			
	4.1.5	Steinsprangsomrader sett fra Alnes	20		
	4.2 Star	npa Povogolao i aconorio 24	21		
	4.2.1 122	Bevegelse i scenario 24	21 24		
	4.2.2	Kumulert beverelse i 2013, 2014 og 2015	24 24		
	4.2.4	Bevegelsen som tidsserier	24 26		
	4.2.5	Bevegelser i blokk 4A	27		
5	Oppsum	mering og konklusjoner	28		
6	Planer fr	emover	29		
7	Referans	ser	29		

Forord

Denne rapporten presenterer bevegelsesmålinger med bakkebasert radar (InSAR) av de ustabile fjellpartiene Børa i Rauma kommune i Møre og Romsdal, og Stampa i Aurland kommune i Sogn og Fjordane. Hensikten har vært å framskaffe et økt grunnlag for fareog risikoklassifiseringa av de to fjellpartiene.

Begge fjellpartiene er undersøkt og kartlagt av Norges geologiske undersøkelse (NGU). Dette skjedde i en tidlig fase etter at fjellskred kom på dagsorden på slutten av 90-tallet. På dette tidspunktet var ikke metodikken og kriteriene vi nå har for risiko-klassifiseringer av ustabile fjellparti mht. fjellskred utviklet. Bevegelse i fjellet er det viktigste kriteriet for fareklasse i risikoklassifikasjonen av ustabile fjellparti. I de senere år er bakkebaserte radarmålinger (InSAR) blitt en viktig metode for fjernmålinger av bevegelser i fjellsider.

NGUs feltundersøkelser av fjellpartiene ble avgrenset til de slake toppområdene (geologi, geofysikk og GPS-baserte bevegelsesmålinger). De skredfarlige og utilgjengelige fjellsidene nedenfor toppområdene ble kun undersøkt med analyser av flybilder og digitale, topografiske data.

Under risiko-klassifiseringen av Børa og Stampa, meldte det seg etter hvert et behov for data om bevegelse i fjellsidene under toppområdene på begge fjellpartiene. Dette var bakgrunnen for at Åknes/Tafjord Beredskap IKS (ÅTB) i 2011-2013 satte i gang radarmålinger av de to fjellpartiene. For Børa var ÅTB selv oppdragsgiver på vegne av Rauma kommune (en av ÅTBs eierkommuner) mens NGU og senere NVE var oppdragsgiver for Stampa. Da NVE i 2015 overtok driften av fjellskredovervåkingen, videreførte NVE, Seksjon for Fjellskred, radarmålingene av de to fjellpartiene.

Denne rapporten oppsummerer resultatet av disse målingene, men gjør ingen oppfølgende vurderinger av skredscenario, fare og risiko.

Oslo, november 2016

/ ars Harald Blima

Lars Harald Blikra seksjonssjef

Sammendrag

Siden 2011 har NVE (tidligere Åknes/Tafjord Beredskap IKS) gjennomført periodiske radarmålinger på Børa i Romsdalen fra to posisjoner i dalbunnen, med ulik varighet og intervall. Samme år startet periodiske målinger på Stampa i Flåm, og fra 2013 ble de ført videre som kontinuerlige målinger gjennom hele den snøfrie perioden.

Radaren måler bevegelser som et bilde, og gjør det mulig å måle bevegelser i fjellsiden fra flere kilometers avstand og vise de på kart eller ortofoto. Metoden er uavhengig av fysiske installasjoner i fjellet. Bevegelser i fjellet er den viktigste parameter i risikoklassifiseringen av fjellskred. Radarmålingene er sentrale for avgrensning og vurdering av årlig sannsynlighet for skred fra de ulike scenarioene.

Mannen-Børa-komplekset ligger noen få kilometer sør for Trollveggen, i Rauma kommune, Møre og Romsdal. Med et volum over 400 millioner m³er det et av de største deformerte fjellpartiene i Norge. Et fjellskred fra hele fjellpartiet vurderes som usannsynlig, mens Mannen er kartlagt som et høyrisikoobjekt. På Børa er flere mindre fjellskred- og steinskredscenario kartlagt av NGU, og et par av disse plotter relativt høyt i NGU og NVEs risikoklassifikasjon (Blikra m.fl., 2016). Punktvis er det målt bevegelser i de mindre scenario (NGU database, Ustabile fjellsider, 2016), men disse målingene er gjort oppe på kanten av platået. Hvor langt nedover i fjellsiden det er bevegelser har vært ukjent, men det er viktig for avgrensing av de ulike scenario.

Stampa ligger i Flåm i Aurland kommune, Sogn og Fjordane. Det ustabile fjellpartiet består av de to enhetene, Joasete og Furekamben, som ligger 800-900 høydemeter over sørøstsida av fjorden, 1-2 km utenfor Flåm sentrum. Samlet volum er på over 300 millioner m³, men hovedparten av dette er ikke i bevegelse i dag og et fjellskred fra hele området vurderes derfor som usannsynlig. Det er målt bevegelser i flere lokale partier med volum mellom 200.000 m³ og 5 mil m³.

For Børa er det er ikke målt bevegelser i det svært store deformerte fjellpartiet, eller i hele arealet for de to største delscenarioer A og B (NGU database Ustabile fjellpartier, 2016). Det er målt bevegelser (3-7 mm over 9 mnd.) i flere mindre partier som kan føre til steinskred eller mindre fjellskred. Partiene i bevegelse har arealer mellom 1 000 og 17 000 m², og volum fra noen ti-tusen til 200 000 m³. Partiene der bevegelse er påvist tilsvarer i noen grad de ustabile scenarioer, som er definert i NGUs database (Ustabile fjellpartier, 2016). I flere mindre områder på omkring 1 000 m² er det målt bevegelser på 3-12 mm på en måned. Disse kan utvikle steinsprang. Fjellsiden generelt er svært aktiv og det går hvert år mange steinsprang og jevnlige steinskred.

På Børa er det de kommende årene lagt opp til systematiske periodiske radarmålinger som oppfølging, med fokus på de største scenario. Radaren har frem til nå hatt dårlig dekning av scenario B, som er kartlagt til å være scenarioet på Børa med høyest risiko. På den ene radarlokalitet vil måleretningen endres litt for å få bedre data for scenario B.

Heller ikke på Stampa er det registrert bevegelser i de store scenarioene. Derimot er det registrert bevegelser i de mindre scenarioer 3A og 2A (NGU database Ustabile fjellsider, 2016) samt i store deler av den grove ura som dekker fjellsiden ned til veien. I scenario 3A er registrert bevegelser på 4,5-6 mm pr. år. Bevegelsen er lidt mindre enn det NGU har målt med GPS. Bevegelsen er stabil fra år til år, og det er antydet at hastigheten er

større om vinteren enn om sommeren. I scenario 2A er det registrert bevegelser på 0,5-1 mm/år, men dette er så vidt over metodens nøyaktighet og usikkert. I skredmassene som dekker fjellsiden ned til fjorden, er det målt 10-40 mm bevegelser i hver målekampanje (typisk april – november). Bevegelsene i ura er størst sent på våren (snøsmelting) og på høsten i perioder med mye nedbør. I flere år har vi målt bevegelser i en blokk i bakveggen, utenfor de definerte scenarioene. Blokken er tentativt kaldt 4A, og bevegelsen er 10-25 mm i løpet av hver måleperiode, med størst bevegelse i nedre del. Bevegelsen i denne blokken er størst sen vår/tidlig sommer, og i perioder med mye nedbør.

Scenario 3A på Stampa eller Joasetebergi er på bakgrunn av bevegelser og potensialet for flodbølger, blitt klassifisert som et høyrisiko-objekt (Blikra m.fl, 2016). Dette tilsier 24/7beredskap og kontinuerlig overvåking. Permanent måling med bakkebaserte radar blir en del av overvåkingen, i tillegg til andre typer overvåking.

1 Innledning

Børa i Romsdalen og Stampa ved Flåm er begge store deformerte fjellpartier. Manglende data om bevegelser i selve fjellsidene er en vesentlig usikkerhet når det skal defineres sannsynlige skredscenario. For å framskaffe slike data, startet Åknes/Tafjord-Beredskap IKS periodiske radarmålinger (InSAR) av fjellsidene i 2011. NVE, Seksjon for fjellskred, videreførte disse målingene i 2015. Denne rapporten oppsummerer resultatet av målingene fra 2011 til og med 2015.



Figur 1 Plassering av lokalitetene Børa i Romsdalen og Stampa ved Flåm.

1.1 Mannen-Børa komplekset

Romsdalen som ligger sentralt i Møre og Romsdal (Figur 1), sørøstover fra Åndalsnes, er en trang dal med høye og bratte dalsider. Det finnes et titalls, til dels store fjellskredavsetninger i dalbunnen, fra perioden etter den siste istida (Blikra m.fl., 2002). Flere steder er dalsidene preget av postglasiale, gravitative deformasjoner, som kan være kilder til framtidige fjellskred (Dahle m.fl., 2011).

Mannen-Børa-komplekset som ligger noen få km sør for Trollveggen, er den største av disse deformasjonene, og en av de største i Norge. Den 900-1300 m høye dalsida er preget av sprekker og andre deformasjoner i 3-4 kilometers lengde.

Mannen, den nordlige delen av dette komplekset, er definert som et høyrisikoobjekt og er underlagt 24/7-beredskap, basert på sanntids overvåking med flere typer instrumenter i fjellsida, og to bakkebaserte radarer i dalbunnen (Kristensen m.fl., 2011). Toppområdet av Mannen beveger seg noe over to cm i året, mens et relativt lite, men svært aktivt, lokalt parti av fjellsida, Veslemannen, beveger seg noe over én meter i året (Skrede m.fl., 2015). Børa utgjør den sørlige delen av Mannen-Børa-komplekset. Deformasjonene finnes fra dalbunnen 60-70 moh. til toppen av dalsida, vel 1 000 moh., og videre 100-200 m innover det flate topp-platået. Volumet av Børa-deformasjonen er estimert til 400 mill. m³. (Dahle, m.fl. 2011). Det regnes som svært lite sannsynlig at hele dette skal gå ut i ett skred, men det er identifisert flere mindre skredscenario med volum mellom 24 000 og 4,7 mill. m³ (NGU database Ustabile fjellsider, 2016 og NVE database Faresoner for store fjellskred, 2016). Disse scenarioene bygger på strukturgeologiske analyser av Børaplatået og nedenforliggende fjellside, og videre repeterte GPS-målinger i flere punkter på Børaplatået, med bevegelser mellom 1,2 og 14 mm pr år (Oppikofer m.fl., 2013). Det er også utført elektriske motstandsmålinger på Børaplatået (Dalsegg og Tønnesen, 2004).

1.2 Stampa

Det ustabile fjellpartiet Stampa som består av enhetene Joaste og Furekamben, ligger i Aurland kommune i Sogn og Fjordane, 800-900 moh., i den østlige fjellsida over Aurlandsfjorden, 1-2 km utenfor Flåm. I likhet med Børa, er dette et av de største ustabile fjellskredspartiene i Norge. Det finnes fjellskredavsetninger i fjorden nedenfor. Fjellet består av sterkt foldet fyllitt, som er et skyvedekke flyttet inn over grunnfjellet under den kaledonske fjellkjededannelse.

NGU har kartlagt og punktvis målt bevegelse på fjellpartiet Stampa siden 2005 (Hermans m.fl. 2011). Det er kartlagt geologi og strukturer i felt, med LiDAR og målt bevegelse med GPS. I likhet med Børa har undersøkelsene og målingene vært avgrenset til toppplatået, mens bevegelser lenger nede i fjellsiden har vært ukjent.

Platået øverst (800-900 moh.) er gjennomskåret av mange sprekker, mens fjellsiden er dekket av lober av grov ur, som sannsynligvis er dannet ved kryp i fjellskredmasser. En oppsummering av geologi og undersøkelser i området er gitt i Blikra m.fl. (2012), og scenarioene brukt i denne rapporten, stammer fra Blikra m.fl. (2012).

2 Måling med bakkebasert InSAR

2.1 Bakkebasert InSAR - metode

InSAR (Interferometric Synthethic Aperture Radar) er en aktiv fjernmålingsmetode hvor avstander til terrenget måles ved at det sendes ut elektromagnetiske bølger som reflekteres tilbake til radaren. Radaren kan være montert i fly, satellitt eller på bakken. Gjentatte målinger vil vise endring i avstand og dermed bevegelser i de reflekterende flatene/pikslene. Ved interferometri brukes fasen til den elektromagnetiske bølgen som målestokk, slik at avstanden måles som en fraksjon av bølgelengden (Figur 2). Forskjell i avstand regnes ut som endring av fraksjonen av bølgens fase. LiSALab-radaren bruker «ku båndet» (17,2 GHz). Med denne frekvensen kan det for to påfølgende målinger registreres endringer inntil 4,4 mm (\pm) i radarens sikteretning. Blir bevegelsen større, oppstår det fasehopp, hvor det ser ut til at bevegelsen er motsatt rettet av den reelle, mens en bevegelse på 8,8 mm, ikke vil synes.



Figur 2 Prinsippet i InSAR (her vist fra satellit), hvor bevegelse måles på fasen på den elektromagnetiske bølge. Figur fra Schindler m. fl. 2016.

Ved kontinuerlige målinger løses problemet med fasehopp ved at å tilpasse måleintervallene, slik at bevegelsen ikke overskrider 4,4 mm mellom påfølgende radarbilder. For at målingene innenfor den enkelte målekampanje, og mellom flere målekampanjer, skal være sammenlignbare, er radaren fastmontert i én og samme posisjon. Dermed slipper man å korrigere for ulike baselinjer, som må gjøres ved radarmålinger fra satellitt. Radaren beveger seg langs en tre meter lang skinne mens den måler. Skinnens retning er omtrent parallell med fjellsiden og danner azimut-aksen for radaren og på radarbildene. Vinkelrett på denne er avstandsaksen eller «range». Ved å måle mens radaren kjører langs skinnen simuleres (ved computerberegning - synthethic aperture) en stor og bevegelig antenne som kan rettes rundt på fjellsiden og danne et bilde av fjellsiden. Radaren måler avstander og endringer i avstander langs siktelinjen (LOS – line of sight) til radaren. LOS bør være mest mulig lik retningen på bevegelsen i fjellet, horisontalt og vertikalt. Dess mer LOS avviker fra bevegelsesretningen til de målte flatene/pikslene, dess mindre blir den målte bevegelsen i forhold den faktiske bevegelsen. Bevegelser vinkelrett på LOS vil ikke registreres i det hele tatt.

Under gunstige forhold kan radaren registrere bevegelser i fjellet ned til 0,5 mm. Målingene gir et gjennomsnitt for bevegelse i en gitt piksel. For at en målt bevegelse skal tolkes som reell, må bevegelsen være påvist i en gruppe av tilgrensende piksler, da bevegelse i enkeltpiksler blir forkastet som støy. Snø og særlig vegetasjon skaper ukorrelert bevegelse i terrenget, hvilket gir støy i målingene. Det brukes et filter som fjerner slik støy fra radarbildene. På Børa og Stampa er målingene gjort i den snøfrie perioden, men støy fra vegetasjonen gjør at mye av dataene i den nedre delen av fjellsida automatisk er filtrert bort.

En generell feilkilde på InSAR-målinger er atmosfærisk støy. Især atmosfærisk vanninnhold og lagdeling i luften kan påvirke hastigheten til radarbølgene og dermed målingene. For å minimere denne feilkilden, defineres en eller flere stabile referanseflater i radarbildet, som målingene korrigeres mot.

2.2 Utstyr og oppsett

Det er brukt bakkebasert InSAR-system fra Lisalab Ellegi, Srl, utstyr som Åknes/Tafjord Beredskap IKS og NVE har brukt både til kontinuerlig overvåking av ustabile fjellparti, og til periodiske målinger av ustabile fjellpartier og snøskred.

Radarskinnen plasseres på en stålbjelke som er fastmontert på et betongfundament. For å beskytte radaren mot nedbør og støv, settes et plasttelt over radaren. Teltduken er transparent for radarbølgene.



Figur 3 Radaren montert på rødmalt stålbjelke på betongfundament. Over står aluminiumsrammen til teltet.

2.3 Innstillinger på InSAR systemet

I Tabell 1 sees innstillinger på radaren for Børa (Sælen og Alnes) og Stampa. Innstillinger velges i hovedsak ut fra avstanden fra radaren til interesseområdet i fjellet. Da avstanden er omtrent lik, er det brukt samme innstillinger for begge lokaliteter.

Sentral frekvens	17.2 GHz
Båndbredde	80 MHz
Lengde av bevegelig skinne (Synthetic Aperture)	3 m
Utsendt signalstyrke	22 dBm
Gjentakelsesintervall	8 – 15 min
Antennevinkel Alnes	26°
Antennevinkel Sælen	23°
Antennevinkel Stampa	22°
Måleposisjoner langs skinnen	601

Tabell 1 Parametere for radaren på Børa og Stampa.

2.4 Prosessering, datatyper og georeferering

Dataprosessering og -analyser er gjort i programvaren *Main Lisa Mobile* som følger med utstyret. Ulike datatyper presenteres i rapporten.

Direkte sammenligning mellom to radarbilder kalles interferogrammer og viser endringer inntil 4,4 mm (\pm) for hver piksel. Radarbildene er vanligvis gjennomsnitt av mange målinger over ulike perioder – for eksempel ett døgn. Interferogrammene kan akkumuleres slik at vi får bilder med kumulert bevegelse over en periode med kontinuerlige målinger. Både interferogrammene og de kumulerte bildene kan enten vises i radarens eget koordinatsystem (azimuth og range), eller georefereres og eksporteres i et ASCII format, og vises i GIS. Georefereringen skjer ved nøyaktig innmåling av måleposisjon og retning, og transformasjon fra radarens koordinatsystem til UTM koordinater ved bruk av en digital terrengmodell. Georeferering er nyttig slik at deformasjoner kan ses sammen med geologiske strukturer fra skyggekart eller flybilder.

På Børa ble rådata lagret på harddisken og lastet ned og prosessert i etterkant. I Flåm ble data prosessert på stedet, og programvaren laget automatisk interferogrammer og kumulerte bilder i serie. I 2013-2015 var utstyret koblet til en router og det var da mulig å kontrollere bilder og bevegelse ved bruk av programmet «Team-viewer» eller nettleser.

3 Måleposisjoner og -kampanjer

3.1 Måleposisjoner Børa

Børakomplekset er målt fra Sælen og Alnes. Måleposisjonene kommer i tillegg til to posisjoner lengre nordvest i Romsdalen (Rønningen og Lyngheim) hvor det nå står to permanente radarsystemer som overvåker høyrisikoobjektet Mannen. Tilsammen dekker de fire radarposisjonene hele det ustabile Børa/Mannen-komplekset. Radarposisjonene og deres dekningsområder er vist i Figur 4



Figur 4. Alle fire radarposisjoner i Romsdalen med tilhørende dekningsområde vist i farger.

3.1.1 Sælen

Fra Sælen måler radaren mot den nordlige delen av Børa, omtrent i retning mot Kråkenesvatna. Radarfundamentet ligger 60 m sør for ei hytte med strømuttak. Posisjon på radarplatene: UTM32 N: 438664, 6925997, 63 moh.



Figur 5 Montering av stålramme, radar og teltramme på betongfundament, Sælen.



Figur 6 Børa sett fra radarposisjonen ved Sælen.

3.1.2 Alnes

Alnes ligger lengst sørøst og radaren måler mot den sørlige delen av Børa. Fundamentet ligger på innmarka om lag 60 m nord for gårdsbruket Bogningen med strømuttak på låven ved gjerdet. Posisjoner for radaren er: UTM32 N: 439375 6925166, 63 moh.



Figur 7 Radarbjelken med sikt mot Børa fra Alnes under innmåling av bjelken med differensial GPS.

3.2 Måleposisjon Stampa

Radaren er plassert nær kulturminnet Otternes Bygdetun og nedenfor et fraflyttet hus (32N: 399335, 6750225, 82 moh.). Strøm til radaren fås fra huset. Det er bygget et betongfundament, og radaren står på en stålbjelke dekket av et telt under målingene. Fundamentet ble lagt i 2012 (før dette var bjelken fastmontert direkte på fjellgrunnen, en forvitret fylitt). Våren 2016 ble det bygget et trehus over radaren, med en transparent duk mot den målte fjellsida.



Figur 8 Radarposisjon og oversikt over den ustabile fjellsiden. Bilde fra Norgei3D.



Figur 9 Radaren montert på stålbjelke som står på betongfundament. Innsatt: Telt som dekker radaren.



Figur 10 Radarlokasjon og dekning av måledata på fjellsiden. De ulike skredscenarioer er inntegnet.

3.3 Måleperioder og kampanjer

Måleposisjonene på Sælen og Stampa ble etablert i 2011, og på Alnes i 2014. På Børa er det gjennomført periodiske målinger med typisk en uke til en måneds varighet. Det er analysert bevegelser innenfor periodene samt mellom de ulike kampanjene. På Stampa ble det gjennomført periodiske målinger i 2011 og 2012, mens det siden 2013 er målt gjennom nesten hele den snøfrie perioden fra vår til høst. I 2012 ble måleposisjonen på Stampa flyttet da det ble støpt fundament på lokaliteten etter havari og skade på radaren. For Stampa fokuserer rapporten derfor på data etter denne hendelsen, altså 2013, 2014 og 2015.

	Sælen	Alnes	Stampa
2011	10.08 - 24.08		29.03 - 08.04
	21.09 - 20.10 (06.10*)		27.04 - 20.06
			25.08-20.09
2012	19.06 - 09.07		28.03 – 23.04 (havari**)
			15.05 - 12.06
2013	-	-	11.04 - 11.05
			24.05 - 24.10 Totalt: 185 dager
2014	29.08 - 05.09	05.09 - 16.09	24.04 - 13.11 Totalt 204 dager
		25.09 - 06.09	
2015		24.06 - 09.07	19.03 – 16.11 Totalt 242 dager

Tabell 2 Måleperiodene for Børa og Stampa de ulike årene. * I denne måleperioden ble dataene markant dårligere etter 6. oktober. Årsaken er ukjent, men i rapporten er det bare vist data fram til denne datoen. **Teltet blåste ned og skadet radaren. Det ble da bygget betongfundament, slik radaren står mer sikkert.

4 Resultater

Målingene på Børa er til tider mye forstyrret av spesielle atmosfæriske forhold. Programvaren korrigerer for dette, men i noen tilfeller er korreksjonen utilstrekkelig. Det er i rapporten valgt ut bilder med minst mulig atmosfærisk støy. På Stampa er dataene lite influert av atmosfærisk støy.

Hverken på Børa eller Stampa er det tegn på bevegelser i de største skred-scenarioene. På grunn av manglende referanseflater i fast fjell er dette noe usikkert, men hvis det hadde vært bevegelser som omfattet store deler av fjellpartiene, hadde det sannsynligvis vært lokale variasjoner i bevegelsene og dessuten variasjon i sikteretning (LOS), noe som målingene ville ha avdekket.

4.1 Børa

4.1.1 Partier i bevegelse

Fra Sælen er det registrert bevegelser i fem eller seks partier i øvre del av fjellsida på Børa. Bevegelsene er registrert på to ulike interferogrammer: 28.09.2011-07.06.2012 (282 dager, figur 11) og 06.07.2012-01.09.2014 (787 dager, figur 13). Partiene i bevegelse er markert med 1 til 6, med arealer er mellom 1.700 og 15.000 m² målt i kartplan. På grunn av terrenghellingen er de faktiske arealene 20-30 % større. Enkle estimat av dybder tilsier at de største partiene har volum mellom 100 000 og 200 000 m³.

Figur 11 viser bevegelsene som interferogram; øverst i radarens koordinatsystem (med zoom på områdene 1-6) og nederst georeferert. I alle områder unntatt område 3 finnes



fasehopp, hvilket viser at bevegelsene er mer enn 4.4 mm. Det er likevel mulig å bestemme de samlede bevegelsene, da det kun er tale om et enkelt fasehopp.

Figur 11 Interferogram med bevegelser i øvre deler av Børa i løpet av 9,5 måneder. Øverst vist i radarens koordinatsystem og georeferert under. Seks områder i bevegelse er markert fra 1 - 6. Rødt er stabilt fjell, negativ bevegelse (blå) er rettet mot radaren og ned fjellsiden. Legg merke til at det er gule partier i alle områdene unntatt 3; dette er fasehopp med bevegelser over 4.4 mm. Det maskerte område er preget av «fjellpusting», som er beskrevet i avsnitt 4.1.4.

Figur 12 viser områdene i bevegelse inntegnet på henholdsvis skyggekart og flybilde. De inntegnede områdene (1- 6) er basert på faktisk målte bevegelser, men passer godt til strukturer som observeres på kart og flybilder. Bevegelsene er knyttet til hammere eller avløste blokker fra platået og øvre del av fjellsiden, eller områder med nedknust fjell. Under områdene i bevegelse ligger det svært store og aktive skredvifter. Områdenes størrelse målt i kartplanet er vist i nedre del av Figur 12. Område 6, som ligger like nedenfor område 4, er definert som en egen enhet, men de to områdene henger trolig



sammen med hverandre. I kapitel 4.1.2 og Figur 14 er områdene sammenlignet med skredscenarioene i NGUs fjellskreddatabase.

Figur 12 Skyggekart (øverst) og flybilde (nederst) som viser hvor det er registrert bevegelse i øvre del av fjellsiden på Børa. Skyggekartet viser også arealet på områdene (målt i horisontalplanet). Legg merke til sprekkestrukturene i platået over fjellsiden.

Figur 13 viser bevegelsene i områdene 1- 6 på interferogram for en lengre periode: juli 2012 til september 2014. Områdene i bevegelse er svært lik det som ses i Figur 11, hvilket tyder på vedvarende bevegelse i fjellpartiene. På både Figur 11 og Figur 13 er bevegelsene i nedre del av fjellpartiet maskert vekk, da den er dominert av «fjellpusting», et fenomen som beskrives i avsnitt 4.1.4.



Figur 13 Interferogram med bevegelse ved Sælen i perioden juli 2012 – september 2014. Det er bevegelse i de samme områdene, som vist i figur 7.

4.1.2 Sammenligning med NGUs fjellskredsdatabase

Figur 14 viser NGUs kartlagte skredscenarioer A til E (NGU database Ustabile fjellsider, 2016) sammen med områdene med kartlagt bevegelse fra radarmålingene (1 til 6). Område 5 overlapper delvis med NGU scenario C, men går lengre øst og ikke så langt ned i fjellsiden som scenario C. NGU scenario D er lite og radaren har her registrert bevegelse i et større område (4 og 6). Den målte bevegelse i 4 og 6 er en smule mindre enn det som er målt med GPS på scenario D (1,2 cm/år), men i samme størrelsesorden. Hovedparten av område 4 samt hele område 3 ligger innenfor NGU scenario A. Område 6 (som sannsynligvis henger sammen med område 4) ligger utenfor og nord for scenario A. Det er et avvik mellom områder med målt bevegelse og NGUs scenario her. Lages et nytt scenario på basis av bevegelsene i område 4 og 6, blir arealet i kartplan om lag 17.000 m². Her er det er omfattende sprekkesystemer i platået. Radarbildene viser ikke tegn på sammenhengende bevegelser i hele NGUs scenario A, hvilket er det største scenario for Børa på 4,7 mill. m³. Område 2 ligger utenfor scenario i NGUs database, men med en størrelse på 2.200 m² representerer dette steinskred, snarere enn fjellskred. Område 1 ligger innenfor NGU scenario E, hvorfra det gikk et steinskred på om lag 50.000 m³ i 2007. Utstrekningen på området, der det er dokumentert bevegelser, er noe mindre enn scenario E, men scenario E er beskrevet som et svært oppsprukket og diffust område, der det kan forventes flere steinskred tilsvarende hendelsen i 2007.

NGU scenario B ligger lengre mot sørøst, og har er ikke dekning med radardata fra Sælen. Fra Alnes-radaren har vi enda ikke datagrunnlag til å vurdere om det er bevegelse i scenario B.



Figur 14 Scenarioer for Børa i NGUs fjellskred-database, vist på skyggekart sammen med områdene der det er dokumentert bevegelse med radarmålinger.

4.1.3 Steinsprangområder i aktiv fase

På to mindre lokaliteter over Sælen ser vi bevegelser som tyder på aktiv utvikling av steinsprang. Figur 15 viser et av disse i fjellsiden mellom område 4 og 6 (områder fra Figur 12). Område i bevegelse er omkring 1.000 m² og bevegelsen er 2-5 mm på 35 dager.

Figur 16 viser kumulert bevegelse i en periode på 14 dager over Sælen høsten 2011. Et mindre parti på 700 m² som er markert beveger seg 6 mm på 14 dager. Partiet er veldig nedknust, og ligger innenfor NGU scenario E og område 1 i denne rapporten. I løpet av 20 dager i juni-juli 2012, var det 6-8 mm bevegelse i dette området, og i 2014 var det bevegelse på én mm på 7 dager. Vi kjenner ikke til skredaktiviteten på lokaliteten, men ser ikke bort fra at det kan ha gått flere steinsprang etter målingene. Bevegelsen i område 1 finnes igjen i målingene fra Alnes, som vises senere.

Figur 16 antyder dessuten at det kan være bevegelser i øvre del av den sekundære viften som er dannet ved nedskjæring/erosjon av den svært store viften som starter under områdene 4 og 6.



Figur 15 Interferogram, som viser bevegelser mellom 24. august og 28. september, 2011. Et mindre område i bevegelse er markert.



Figur 16 Kumulert radarbilde med bevegelse i 14 døgn i 2011.

4.1.4 «Fjellpusting» eller «Slope breathing»

I fjellsiden over Sælen observeres et spesielt fenomen. Fjellsiden beveger seg utover på vårparten og tidlig sommer, og innover på høsten. Fenomenet er illustrert på Figur 17.



Figur 17 Radarbilder som viser kumulert bevegelse henholdsvis i august 2011 og juni 2012. Et fjellparti på 0,5 km² «puster», med motsatt-rettet bevegelse i de to perioder. Bevegelse nedover (mot radaren) er negativ (rød) mens bevegelse vekk fra radaren er positiv (blå).

Dataene i området overlapper med dataene fra Rønningen radaren som måler permanent mot Mannen, og her sees tilsvarende bevegelser igjennom flere år. Bevegelsen tolkes som reel og fenomenet er diskutert i detalj av Rouyet m.fl. (2016), som skrev masteroppgave om blant annet radarmålingene på Børa fra Sælen. Hun foreslår, at «fjellpustingen» er forårsaket av varierende vanntrykk i fjellet, hvor høyt vanntrykk på vårparten får fjellet til å heve seg, mens mindre vanntrykk på høsten får fjellet til å synke ned igjen. Vi har ikke observert tilsvarende fenomen andre steder på Mannen/Børa-komplekset eller i andre fjellsider.

4.1.5 Steinsprangsområder sett fra Alnes

Fra Alnes ble det målt med forskjellige radarer i 2014 og 2015, og dataene er dermed ikke sammenlignbare mellom de to årene. Dermed er lengste periode som sammenlignes på én måned, og det er for lite til å identifisere små bevegelser i større fjellpartier. Vi ser bevegelser i noen mindre partier, som kan være under utvikling til steinsprang/steinskred.

Figur 18 viser bevegelse på 29 dager i september-oktober 2014. I to områder (hver om lag 1.000 m^2) er bevegelsene på 2,5 - 6 mm i perioden.



Figur 18 Interferogram med bevegelser i Børa målt med radar fra Alnes fra 06.09.2014 til 05.10.2014 (én måned). Zoom til to mindre partier (X og Y) som har bevegelse på 2,5 – 6 mm i perioden.

Interferogrammet fra Figur 18 er vist georeferert på Figur 19. Område Y ligger innenfor NGU scenario E og område 1 som ble identifisert på radarmålingene fra Sælen. Område X ligger lengre sørøst og innenfor NGU scenario B.



Figur 19 Interferogram fra Figur 18 georeferert. De ustabile områdene som er definert for Sælen er inntegnet med gul. To mindre områder i bevegelse – X og Y er markert.

Det er stort overlapp i dekningen på fjellsiden for de to radarlokalitetene. Det er besluttet at radaren på Alnes skal dreies slik den måler mer mot sør og dermed får bedre datadekning på scenario B.

På Figur 18 og Figur 19 kan det se ut som om det er bevegelser i fjellblotningene i nedre del av fjellsiden, men dette tolkes som atmosfærisk støy som det ikke har lykkes å korrigere tilstrekkelig for. Dette gjelder også blåfargen i høyre del av bildet på Figur 18.

4.2 Stampa

Bevegelsene målt på fjellsiden Stampa er relativ lik fra år til år. Her presenteres først bevegelsen målt i scenarioene 3A og 2A, og deretter den større bevegelse som måles i ura i fjellsiden og i en blokk i bakveggen.

4.2.1 Bevegelse i scenario 3A

Vi har hvert år målt tydelig bevegelse i scenario 3A. Figur 20 viser bevegelse på 2-3 mm fra april til oktober 2014 georeferert på kart. Bevegelsen i scenarioet er temmelig lik, hvilket indikerer at området beveger sig som en blokk. Det er kun ytre del av 3A som har god dekning fra radaren og det er en sprekk i fjellet bak ytre del. Radaren måler dog enkelte piksler bak denne sprekk, og det ser ut til å være lik bevegelse på begge sider av sprekken.



Figur 20 Georeferert interferogram som viser bevegelse fra april til oktober 2014 med fokus på 3A.

Figur 21 viser bevegelsene som interferogrammer for hvert år. Interferogrammene i figuren har henholdsvis ett år (venstre) og én sommersesong (høyre) som intervall.

Bevegelsen i 3A for de tre hele åra (12 mnd.) ligger mellom 4,4 og 6,0 mm. Bevegelsene innenfor hver målekampanje ligger mellom 1,8 og 2,5 mm, men siden målelengden varierer for de forskjellige kampanjer kan de siste verdiene ikke umiddelbart sammenlignes. Omregnet til hastighet er bevegelsen i sommerperioden mellom 3,5 og 4,4 mm/år. Dette er mindre enn totalbevegelsen som er målt for hele år, og viser at det er bevegelser i fjellet gjennom hele året og at bevegelsen sannsynligvis er litt større om vinteren enn om sommeren.

GPS-målinger til NGU for 3A viser bevegelser på 8,4 mm/år i retning NV (301°) med 4,4 mm/år vertikal innsynkning. Dette tilsvarer 9,5 mm/år i totalbevegelse med fall på 28°.

Retning fra 3A til radaren er 334°, vertikalvinkel 27°. Avviket fra LOS til bevegelsesretningen er dermed 33° i horisontalplanet, mens det vertikale avviket er ubetydelig. Med dette retningsavviket vil radaren måle 84 % av faktisk bevegelse (om lag 8 mm/år). Bevegelsen målt med radar er marginalt mindre enn dette. GPS målingene er gjort over en lengre periode, og hastigheten er et gjennomsnitt av dette. En årsak til avviket kan være, at bevegelsen har vært mindre de seneste år, hvor det finnes radarmålinger.



Figur 21 Bevegelser i 3A sett på interferogrammer for ulike intervaller, med zoom på 3A. Til venstre sees bevegelsene i løpet av et år for tre ulike år. Til høyre sees bevegelsen innenfor hver målekampanje fra 2013 til 2015. Bevegelsen her er også omregnet til hastighet pr år for å kunne sammenlignes med bevegelsen i venstre kolonne.

4.2.2 Bevegelse i scenario 2A

Figur 22 viser et georeferert interferogram med bevegelser mellom oktober 2013 og oktober 2015, med fokus på scenario 2A. Dekningen av radardata er mer sporadisk for en slik lang periode, da ukorrelerte bevegelser i vegetasjon eller overflatesedimenter filtreres bort. I området 2A er det indikert en bevegelse på 1-2 mm tilsvarende 0,5-1 mm/år. Interferogrammer for ulike tidspunkter gir samme bevegelse, og derfor antar vi at bevegelsen er reell. Dataene er ellers preget av støy og den registrerte bevegelsen er i nedre grense for bakkebasert InSAR radars måle-nøyaktighet.



Figur 22 Georeferert interferogram som viser bevegelser fra 2013 til 2015. Bevegelsen i 2A i perioden er typisk 1-2 mm, tilsvarende 0,5 – 1 mm/år.

4.2.3 Kumulert bevegelse i 2013, 2014 og 2015

Fra 2013 til 2015 finns målinger som varer omtrent hele sommerhalvåret. Figur 23 viser kumulert bevegelse i de tre årene. Legg merke til, at målekampanjene ikke har samme start og sluttdato. Dette kan forklare noe av forskjellene i de målte totalbevegelsene.

Bevegelsesmønstret er temmelig likt fra år til år. Det er hvert år målt relativ stor bevegelse i ura, typisk 10–40 mm. Det er funnet en blokk i øvre bakkant med bevegelse på 10-25 mm i hver måleperiode, markert med 4A på Figur 23 (omtalt nærmere i avsnitt 0). Det ikke mulig å se bevegelser i scenario 2A og 3A eller øvrige scenarioer på de kumulerte bildene.



Figur 23 Kumulerte bevegelser med lik skala for årene 2013-2015. På bildet for 2013 er markert punktene for tidsseriene som er vist i neste avsnitt.

4.2.4 Bevegelsen som tidsserier

Seks punkter er definert i radarbildet (se lokasjon på Figur 23), og det er tatt ut tidsserier for disse, basert på fem dagers gjennomsnittsmålinger. De samme punktene er brukt for hver av årene 2013-2015. Tidsseriene for pikslene er vist i Figur 24 sammen med nedbørsdata som døgnverdier.



Figur 24 Tidsserier for de seks punktene (lokasjon Figur 23) for målekampanjene i 2013-2015. Døgnnedbør vist nederst med søyler.

I alle år er hastighet størst tidlig på året, hvilket er relatert til vanntilførsel fra snøsmelting. I 2013 når hastigheten maksimum i juni, mens den i 2014 og 2015 nås i april og mai. Hvert år ses en utflating i bevegelsen fra juli. I 2014 og i mindre grad i 2015, ses en ny økning i hastigheten på høsten (oktober), hvilket ser ut til å være relatert til kraftig nedbør.

Bevegelsen i ura er uten betydning for bevegelsene i de store scenarioer, men kan ha stor betydning for totalvolum dersom disse blir inkorporert med et skred f.eks fra sceanrio 3A). I 1979 gikk et jordskred (debris-flow) fra ura hvor en lobe av blokkrik materiale gikk ut over veien (Domaas et al., 2002). Dette viser at ura kan bli ustabil, med dette vil utgjøre begrensede volum. Radardataene viser at hastigheten øker ved store nedbørsmengder, men vi har ikke sett tegn til stor ustabilitet i ura i den perioden det har vært målt med bakkebasert radar.

4.2.5 Bevegelser i blokk 4A

I Furekamben er det påvist bevegelser i en blokk – tentativt kalt 4A - som ligger utenfor de definerte scenarioene. Bevegelsen er vist georeferert på kart på Figur 25. Blokken er 2.000–2.500 m² målt i kartplanet og omtrent 30 m bred, 80 m lang og opp til 85 m høy. Det ligger svært store blokker på en utflating i fjellsiden under blokken (Figur 25).

Bevegelsen i blokken vises som tidsserier i Figur 24 (P1). Bevegelsen er relativ lik i 2014 og 2015, men mindre i 2013. På høsten 2014 ses en kraftig økning i hastighet hvilket ikke hendte i 2015. Dette skyldes sannsynligvis en kraftig nedbørshendelse på høsten 2014. Det kan være en tendens til at bevegelsen øker i løpet av de tre årene, men en slik trend er enda usikker.

Stabiliteten og potensiell faresone er ikke vurdert i detalj. En modelleringsanalyse med FlowR (Freddy Molina, NGU), viser at blokken kan ha potensiale til å nå noen bygninger og fjorden. De store blokker som ligger i fjellsiden nedenfor viser at andre blokker, som har løsnet fra området, er blitt liggende igjen i fjellsiden.



Figur 25 Blokk 4A. Øverst: bevegelser i 2015 på skyggekart. Nederst: flybilde med samme utstrekning. Legg merke til de svært store blokkene, som ligger igjen i fjellsiden under løsneområdet.

5 Oppsummering og konklusjoner

Siden 2011 har NVE og Åknes/Tafjord Beredskap IKS gjennomført periodiske radarmålinger i fjellpartiet Børa i Romsdalen med uregelmessig lengde og intervall. I 2011 startet også periodiske målinger på Stampa ved Flåm, som fra 2013 ble utvidet til kontinuerlig måling gjennom hele den snøfrie perioden. Det er ikke målt bevegelser i det svært store fjellskredscenario for Børa. Det er målt bevegelser i flere lokale partier som kan utvikle steinskred eller mindre fjellskred. De målte bevegelsene er typisk 3-7 mm på 9 måneder. Partiene i bevegelse samsvarer delvis med noen av de ustabile scenarioer definert i NGUs skreddatabase. Det er målt bevegelser i mindre deler av NGUs største delscenario for Børa (A) men ikke hele scenarioet. Det er enda ikke mulig å vurdere om det er bevegelser i scenario B, som er det scenario på Børa som klassifisert med høyest risiko. I flere mindre områder (< 1000 m²) er det målt bevegelser på 3-12 mm på en måned. Disse kan utvikle steinsprang. Fjellsiden er generelt svært aktiv med hyppige steinsprang og steinskred.

På Stampa er det ikke påvist bevegelse i de store scenarioer. Det er registrert noe bevegelse i de mindre scenarioer 3A og 2A samt i store deler av den grove fjellskredura som dekker fjellsida ned til fjorden. Målingene viser omtrent lik bevegelsesmønster fra år til år. I scenario 3A er målt bevegelser på 5-6 mm/år, og hastigheten er sannsynligvis noe større om vinteren enn om sommeren. I scenario 2A er det målt 0,5-1 mm/år, men dette er usikkert fordi det er så vidt over målenøyaktigheten. I ura, som dekker fjellsida er bevegelsene10-40 mm per målekampanje. I ei mindre blokk i bakveggen utenfor de definerte scenarioene er målt bevegelser mellom 10 og 25 mm de siste årene, med størst bevegelser i nedre del. Blokken kalles tentativt 4A. Bevegelsen i ura og blokk 4A er størst tidlig om sommeren, og om høsten i perioder med mye nedbør.

6 Planer fremover

På Børa vil det de neste par åra bli gjennomført periodiske målinger på hver lokalitet tidlig sommer og høst. Fokus vil være kartlegging av de større partiene som er i bevegelse, og særlig NGUs scenario B, som er vurdert å ha størst risiko. Dette er for bedre å avgrense scenarioet og å ha bedre kontroll på om områdene forandrer seg over tid.

På Stampa vil den bakkebaserte InSAR-radar inngå i kontinuerlig overvåking av det ustabile fjellpartiet, ettersom scenario 3A nå er definert som høyrisikoobjekt. Da vil også de større scenarioene, 2B og den mindre blokken 4A bli overvåket. Radaren er nå bygd inn i målebua, slik den er bedre beskyttet mot vær, og vil måle hele året. En bedre internettforbindelse vil sikre kontinuerlig overvåking i nær sanntid.

Resultatene fremover vil bli publisert i NVE rapporter.

7 Referanser

Blikra, L.H., Braathen, A., Anda, E., Stalsberg, K., & Longva, O. 2002. Rock avalanches, gravitational bedrock fractures and neotectonic faults onshore northern West Norway: Examples, regional distribution and triggering mechanisms. NGU rapport nr: 2002.016

Blikra m.fl. 2012: The unstable phyllitic rocks in Stampa – Flåm: Compilation, scenarios, risk and recommendations. NVE report

Blikra, L. H., Majala, G., Anda, E. Berg, H., Eikenæs, O., Helgås, G., Oppikofer, T., Hermanns, R., Böhme, M. 2016. Fare- og risikoklassifikasjon av ustabile fjellsider – Arealhåndtering og tiltak. NVE rapport nr 77.

Dahle, H., Anda, E. Sætre, S. Saintot, A., Bøhme, M., Hermanns, R., Opikofer, T., Dalsegg, E., Rønning, J. S., Derron, M.H., 2011: Risiko- og sårbarheitsanalyse for fjellskred i Møre og Romsdal. Rapport fra Fylkesmannen i Møre og Romsdal, Møre og Romsdal Fylkeskommune og Norges geologiske undersøkelse.

Dalsegg, E. og Tønnesen, J. F. 2014. Geofysiske målinger Breitind og Børa, Rauma kommune Møre og Romsdal. NGU rapport nr: 2004.008

Domaas, U., Rosenvold, B.S., Blikra, L.H., Johansen, H., Grimstad, E., Sørlie, J.E., Gunleiksrud, O., Engen, A. & Lægreid, O. 2002: Studie av fjellskred og dalsidestabilitet i fyllittområder (Report to the Norwegian Research Council). Norwegian Geotechnical Institute Report 20001132-32

Ellegi Srl. (2010). Technical Relation: LiSALab Technology.

Hermans, R., Bunkholt, H., Bohme, Martina, Fischer, L, Oppikofer, T, Rønning, J. S., Eiken, T. Foreløpig fare- og risikovurdering av ustabile fjellparti ved Joasete-Furekamben_Ramnanosi, Aurland Kommune. NGU Rapport 2011.025

Kristensen, L & Blikra, L. H. 2011. Monitoring displacement on the Mannen rockslide in Western Norway. Proceedings of the Second World Landslide Forum, Rome.

NGU database Ustabile fjellsider, 2016: <u>http://geo.ngu.no/kart/ustabilefjellparti/</u>

NVE database Faresoner for store fjellskred, 2016: <u>http://gis3.nve.no/link/?link=Fjellskred</u>

Oppikofer, T., Saintot, A., Otterå, S., Hermanns, R.L., Anda, E., Dahle, H. og Eiken, T. (2013): Investigations on unstable rock slopes in Møre og Romsdal – status and plans after field surveys in 2012. NGU rapport nr: 2013.014.

Rouyet, L., Kristensen, L., Derron, M, Michoud, C., Blikra, L. H., Jaboyedoff, M. og Lauknes, T. R. Evidence of rock slope breathing using ground based InSAR. 2016. Geomorphology.

Schindler, S., Hegemann, F., Koch, C., König, M. og Mark P. 2016. Radar interferometry based settlement monitoring in tunnelling: Visualisation and accuracy analysis. Visualisation in Engineering 4.7.

Skrede, I., Kristensen, L. og Hole, J. Geologisk evaluering av Veslemannen. NVE rapport nr 41-2015.



Norges vassdrags- og energidirektorat



Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29 Postboks 5091 Majorstuen 0301 Oslo

Telefon: 09575 Internett: www.nve.no