

NGU Rapport 2008.087  
Faren for fjellskred fra fjellet  
Mannen i Romsdalen

Rapport nr.: 2008.087		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Faren for fjellskred fra fjellet Mannen i Romsdalen				
Forfatter: Halgeir Dahle, Einar Anda, Aline Saintot og Stine Sætre		Oppdragsgiver: Møre og Romsdal Fylke, Fylkesmannen i Møre og Romsdal, NGU, Statens naturskadefond		
Fylke: Møre og Romsdal		Kommune: Rauma		
Kartblad (M=1:250.000) Ålesund		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1319 I, Romsdalen		
Forekomstens navn og koordinater: Mannen		Sidetall: 21 Kartbilag:	Pris: 125	
Feltarbeid utført: 2006-2008	Rapportdato: 2008-12-08	Prosjektnr.: 309900	Ansvarlig: <i>L.H. Blikra</i> L.H. Blikra	
<p>Sammendrag:</p> <p>Fjellet Mannen, 1200 m over Horgheim i Romsdalen, er gjennomslått av åpne og til dels dype sprekker fra ca 600-700 moh. og oppover. Et volum i underkant av 100 mill. m<sup>3</sup> har vært utsatt for gravitativ deformasjon og har løsnet fra fjellgrunnen.</p> <p>Ut fra geologiske strukturer og deformasjoner deles det ustabile fjellpartiet i to hovedblokker, A og B. Blokk A er et frontparti av fjellet på 15-25 mill. m<sup>3</sup> som vender mot Romsdalen. Dette partiet har glidd ut og senket seg 15-20 m fra topp-plataet av Mannen. GPS-målinger (2006-2008) viser at toppflaten av denne blokken beveger seg mot ØNØ med fall på 45-50°, og med en hastighet på 5-6 cm i året (totalvektor). Denne bevegelsen omfatter trolig blokk A<sub>1</sub> (2-3 mill. m<sup>3</sup>), men det utelukkes ikke at større deler av blokk A har tilsvarende bevegelse. Blokk B omfatter resten av det ustabile fjellpartiet. Denne blokken har etter siste istid glidd ut 2-3 m fra fast fjellgrunn, men det er ikke påvist målbare bevegelser i dag.</p> <p>Bevegelsene i blokk A gir et alvorlig signal med tanke på mulige fjellskred. Det mest sannsynlige scenariet er at nevnte 2-3 mill. m<sup>3</sup> i går ut i ett skred. Det er også fare for at ytterlige deler av blokk A kan bli en del av fjellskredet. Det utelukkes heller ikke at deler av blokk B kan falle ut i det samme skredet, men sannsynligheten for dette er vesentlig lavere.</p> <p>Det finnes ingen numeriske metoder for å beregne sannsynligheter for slike skred. Ut fra geologiske strukturer, deformasjoner og bevegelser i fjellet - og videre ut fra skredaktiviteten i Romsdalen over historisk og forhistorisk tid, samt mulige klimaendringer, vurderes den årlige sannsynligheten for et skred fra Mannen på 2-3 mill. m<sup>3</sup> til å være i størrelsesorden 1/100. Et slikt skred vil med stor sannsynlighet krysse dalbunnen og ramme bosettinger, jernbane og europavegen. Dessuten kan elva Rauma demmes opp med påfølgende fare for brudd og flom. En slik risiko bør følges opp med vurderinger av mulige beredskapstiltak inkludert behovet for sanntids overvåking, tilsvarende det som er etablert ved Åknes og Hegguraksla i indre Storfjorden (Åknes/Tafjord-Beredskap IKS).</p>				
Emneord:	Fjellskred	Ustabil fjellparti		
sannsynlighet	bevegelse	GPS måling		

## INNHold

1. INNLEDNING .....	4
2. GEOLOGISKE OBSERVASJONER OG TOLKNINGER.....	5
3. BEVEGELSESMÅLINGER.....	9
4. MULIGE SKREDVOLUM.....	9
5. SANNSYNLIGHET FOR SKRED.....	9
6. SKREDFORLØP .....	12
6.1 Faser i skredet.....	12
6.2 Forventede utløpslengder .....	13
7. AKTUELLE METODER FOR OVERVÅKNING .....	14
8. KONKLUSJONER .....	14
REFERANSER .....	16

## FIGURER

Figur 1-1: Topografisk kart over området ved Mannen. Fjellskredobjektet er innenfor den røde stiplede linjen. Bevegelsesvektoren for øvre del av blokk A og blokknavn er indikert. Blå stiplet linje viser lokalitet til vertikalprofil vist i figur 2-4.

Figur 2-1: Stereonettdata for Mannen. Foliasjonen er vist i oransje, sprekker i svart og gamle, mineraliserte sprekker er i grønt. Målingene viser at foliasjonen har strøk ca Ø-V (langs dalføret) med et steilt fall mot sør. Hovedsprekkeretningene har strøk Ø-V og N-S, begge med steilt fall. (fra Henderson og Saintot, 2007).

Figur 2-2: Eksempler på geologiske strukturer observert ved Mannen. A- Oversiktsbilde fra helikopter mot NNV. Gul stiplet linje viser åpne sprekker på plataet. B- Oversiktsbilde fra helikopter mot SSØ. Yttergrensene for blokk A er vist med gul stiplet linje. C- Toppflaten av blokkA<sub>1</sub>. D- Lokalisering av sprekken (glideplanet) bak blokk A på en foldestruktur. E- Åpen N-S-sprekk og Ø-V-sprekk møtes oppe på plataet (hjørnet av blokk B). F- Åpen sprekk på plataet bak blokk B. (Basert på Henderson og Saintot, 2007).

Figur 2-3: Foto av fjellsiden fra helikopter inklusiv tolkning av hovedstrukturer (stiplet grønn) og ytterbegrensing (stiplet rød) av blokk A. Det ustabile området av blokk A deles inn i A<sub>1</sub> og A<sub>2</sub>. Pilene angir eksempler på strukturelle plan som er parallelle med antatte utglidningsplan. Se også figur 1-1.

Figur 2-4: Prinsipiell vertikalprofil SV-NØ som viser antatt lokalisering av glideplan for Blokk A og blokk B. Lokalitet for et eventuelt glideplan under blokk B er høyst usikker og derfor merket med ”?”. Orienteringen av vertikalprofilet er vist i figur 1-1.

Figur 5-1: Topografisk kart over området ved Mannen som viser fjellskredutbredelser i dalen samt ustabile fjellparti. Blikra m.fl. (1999).

Figur 6-1: Prinsippkisse over forventede faser ved et fjellskred fra Mannen, se forklaring ovenfor.

## TABELLER

Tabell 5-1: Oversikt over de viktigste historiske fjellskredene i Romsdalen (før 1998 - Skrednett, 2008).

## VEDLEGG

Vedlegg 1: Metode for GPS-målinger .....	17
Vedlegg 2: Grafisk resultatpresentasjon av GPS-målingene fra 2006-2008.....	19
Vedlegg 3 Samanheng mellom fallhøyde, utløpslengde og volum for fjellskred.....	21

## 1. INNLEDNING

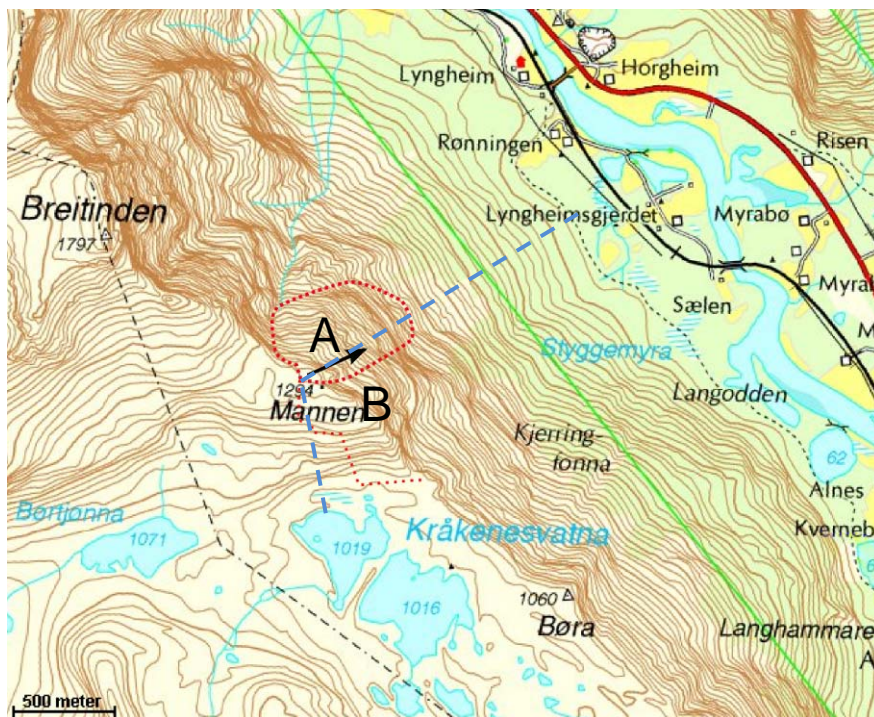
Store fjellskred er her definert som nedfall av fjell på over hundre tusen m<sup>3</sup> (Høst, 2006). Skred over 0,5 mill. m<sup>3</sup> kan føre til voldsomme ødeleggelser, enten som følge av omfattende rekkevidder over land, eller ved at de generer flodbølger.

Nordvestlandet har vært hardest rammet av fjellskred i Norge (skrednett.no, 2008). I denne ”fjellskredregionen” er det typisk med 2-3 hendelser pr. århundre. Det har også vært historiske fjellskredulykker i Romsdalen med tap av liv - tre hendelser med til sammen seks omkomne (skrednett.no, 2008). Dessuten har det vært store ulykker i tilgrensende områder - i Tafjorden i 1934 (40 omkomne), Tjellefonna i 1756 (32 omkomne), og Innfjorden tidlig på 1600-tallet med et ukjent antall omkomne (skrednett.no, 2008).

NGU har over flere år kartlagt risikoen knyttet til fjellskred i Møre og Romsdal i samarbeid med fylket og fylkesmannen. Gjennom dette arbeidet er det påvist at Romsdalen har en av de største konsentrasjonene av fjellskred i Norge. Det er også uvanlig mange ustabile fjellsider i Romsdalen som *kan* utvikle fjellskred. Mannen (se figur 1-1) er en del av Børa-Mannen-komplekset. Dette er det klart største løse fjellpartiet i fylket med en utbredelse på tre kilometer. Åpne sprekker i fjellet Mannen har vært kjent siden slutten av 90-tallet (Blikra m.fl., 1999).

De aller fleste fjellskred ”varsler” seg selv ved forstadier hvor det ustabile fjellpartiet beveger seg og akselerer fram mot et skred. De siste to åra er det ved hjelp av GPS-målinger påvist betydelig bevegelse (5-6 cm per år) i en framskutt del av fjellet Mannen. Denne bevegelsen omfatter trolig et volum på 2-3 mill. m<sup>3</sup> – og er hovedårsaken til den økte oppmerksomheten NGU og Møre og Romsdal fylke nå retter mot dette fjellet.

Denne rapporten gir vurderinger av mulige skredvolum, utløpslengder og sannsynligheter uten at endelige faresoner i forhold til evakuering og plansaker er vurdert.



Figur 1-1: Topografisk kart over området ved Mannen. Fjellskredobjektet er innenfor den røde stiplede linjen. Bevegsvektoren for øvre del av blokk A og blokknavn er indikert. Blå stiplede linje viser lokalitet til vertikalprofil vist i figur 2-4.

## 2. GEOLOGISKE OBSERVASJONER OG TOLKNINGER

Mannen er en del av Børa-Mannen-komplekset, et tre km langt ustabilt fjellområde på sørvest-siden av Romsdalen. Komplekset viser stor gravitativ deformasjon i form av dype og åpne sprekker. Til sammen dreier det seg om ca én km<sup>3</sup> bergmasse som har beveget seg. Det er kun målbare bevegelser i mindre fjellparti langs kanten av Børa, mens et større fjellparti er i bevegelse på Mannen.

Topplataet av Mannen befinner seg ca 1300 moh. og ca 1200 m over dalbunnen. Fjellsida er vendt mot NØ med en helning 50-60° og er gjennomsluttet av åpne sprekker, men hyppigheten avtar mot dalbunnen. Fra ca 500 moh. og ned til dalbunnen ligger det skredmasser.

Mannen består av bergarten gneis med varierende innhold av sillimanitt og kyanitt (Tveten m.fl., 1998). Videre viser nye feltarbeider at bergmassen består av vekslende lag med ulik sammensetning og styrke (se også Henderson og Saintot, 2007). Dette kan være en av faktorene til at deler av Mannen viser gravitativ deformasjon. Gneis er den vanligste bergarten i regionen.

Strukturgeologisk kartlegging viser i hovedsak to sprekkeretninger med steilt fall, Ø-V og N-S, som avgrensner det gravitativt deformerte fjellpartiet (Henderson og Saintot, 2007). Data fra kartleggingen er plottet i stereonett og vist i figur 2-1.

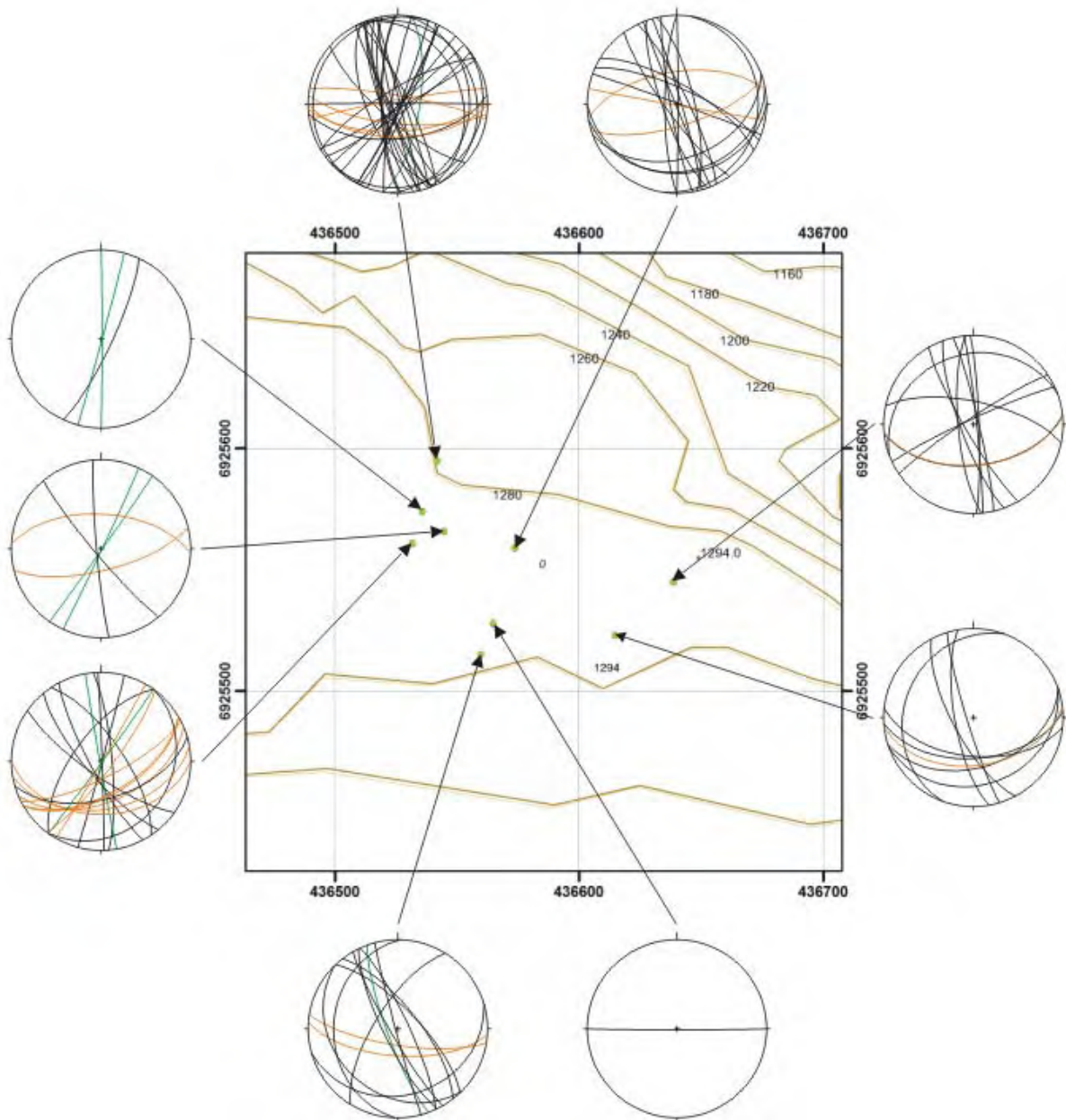
Figur 2-2 viser avgrensning og inndeling av det deformerte fjellpartiet, og videre viktige geologiske strukturer for stabilitetsvurderingen. I figur 2-2A) illustreres det hvordan topplataet deles inn i to blokker, A og B, men det er kun i blokk A det er målt årlig bevegelse. De åpne sprekke som avgrensner blokk B har hatt en maksimal utvidelse på 2-3 m, men det er ikke målbare bevegelser i blokk B. Bevegelsesvektorene for blokk B viser retning mot dalen, ØNØ, samme retning som for blokk A.

Det er ikke helt klart hvilket utgående plan Mannen glir på (glideplan), men i fjellsiden for øvrig og videre oppover mot Breitind (se figur 1-1 og høyre del av figur 2-3) finnes det veldefinerte plan med fall på ca 45° mot øst. Dette er sannsynligvis foliasjons- eller forkastningsplan. Mye tyder på at disse danner glideplan for Mannen. Fallretningen av planene sammenfaller noenlunde med bevegelsesretningen til blokk A og B.

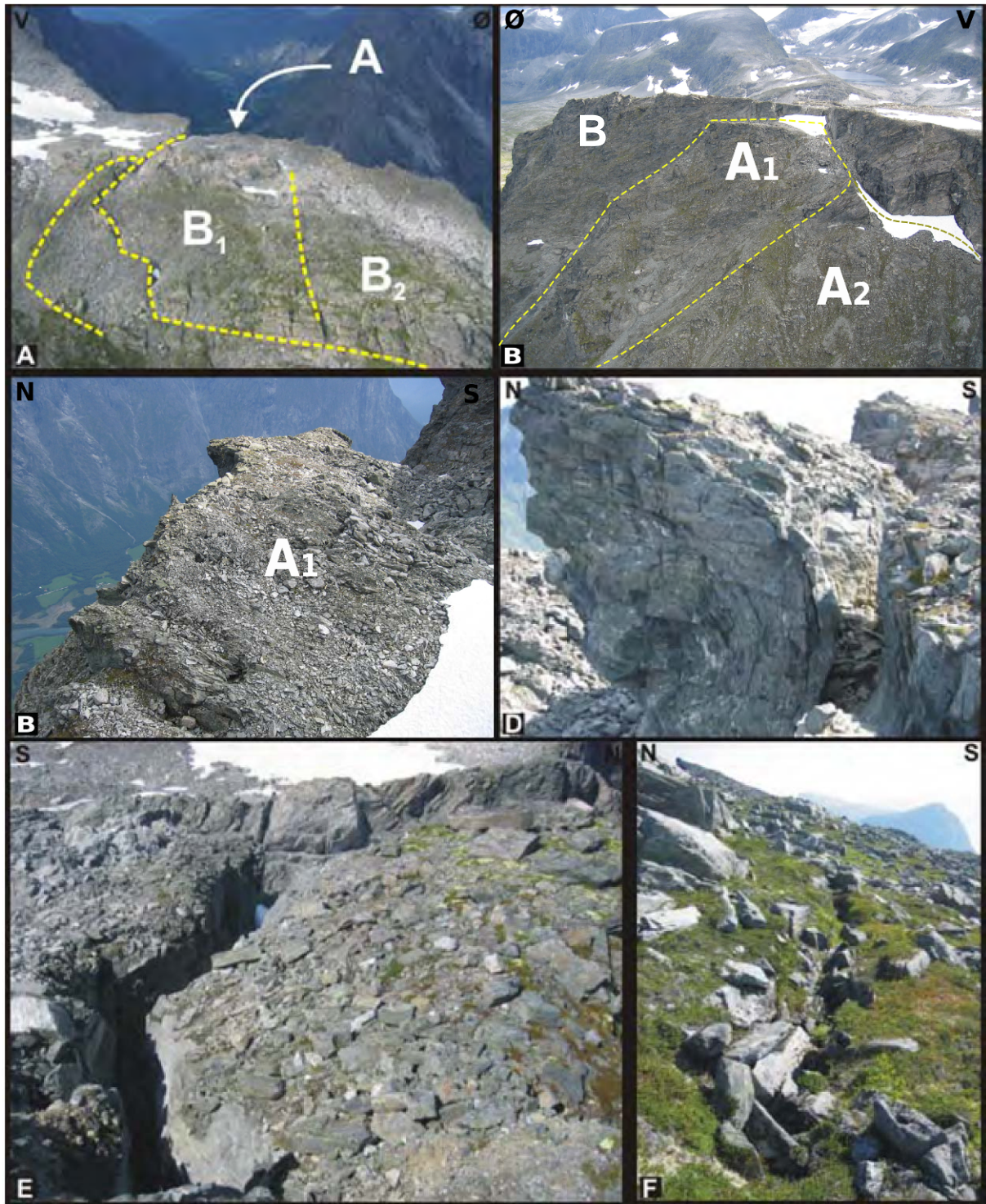
Figur 2-3 viser et helikopterfoto av fjellsiden (blokk A) hvor geologiske tolkninger er skissert. Blokk A er skissert med rød stiplet linje. Ut fra fjellsidens oppsprekning og deformasjonsgrad er blokk A delt inn i A<sub>1</sub> og A<sub>2</sub>. Påvist bevegelse er målt på toppflaten av A<sub>1</sub>. Nedre grense av blokk A er tolket ut fra deformasjoner og strukturer. Det har i flere perioder, også i 2008, vært hyppig skredaktivitet i vestlige yttergrense av blokk A<sub>2</sub>.

Figur 2-4 viser et tverrprofil av dalsiden (SV-NØ) med tolkninger av de viktigste bruddstrukturene (se også figur 2-2 og figur 2-3). Legg merke til at baksprekken til blokk B befinner seg langt ned på baksiden av Mannen. Sprekkene er åpne og dype slik at Kråkenesvatna (se figur 1-1) dreneres ned i sprekkesystemet.

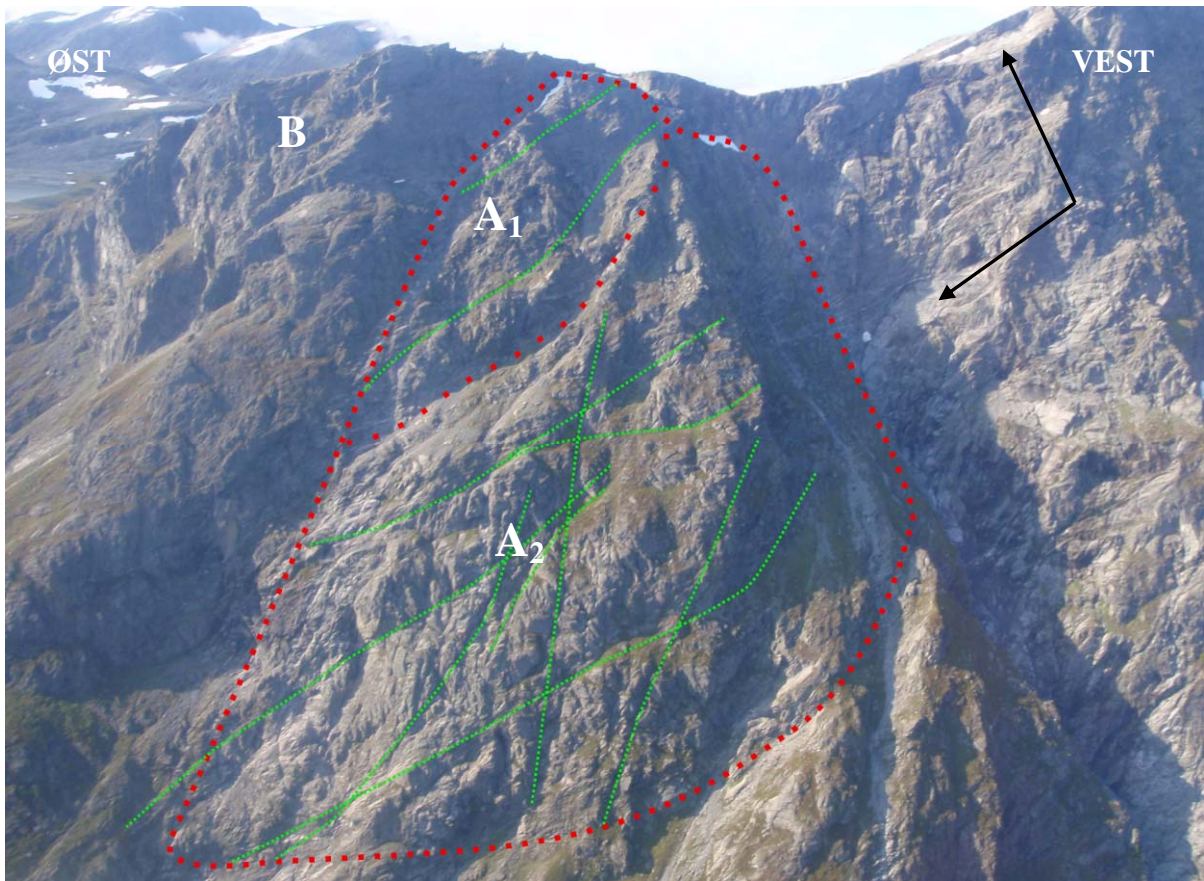
Den regionale permafrostgrensen i området ved Mannen ligger rundt 1500 moh (Dalsegg og Tønnessen, 2004), men i nordvendte fjellsider kan det være lokal permafrost flere hundre meter lavere. Derfor kan det være permafrost i deler av den utglidde, NØ-vendte fjellsida under Mannen.



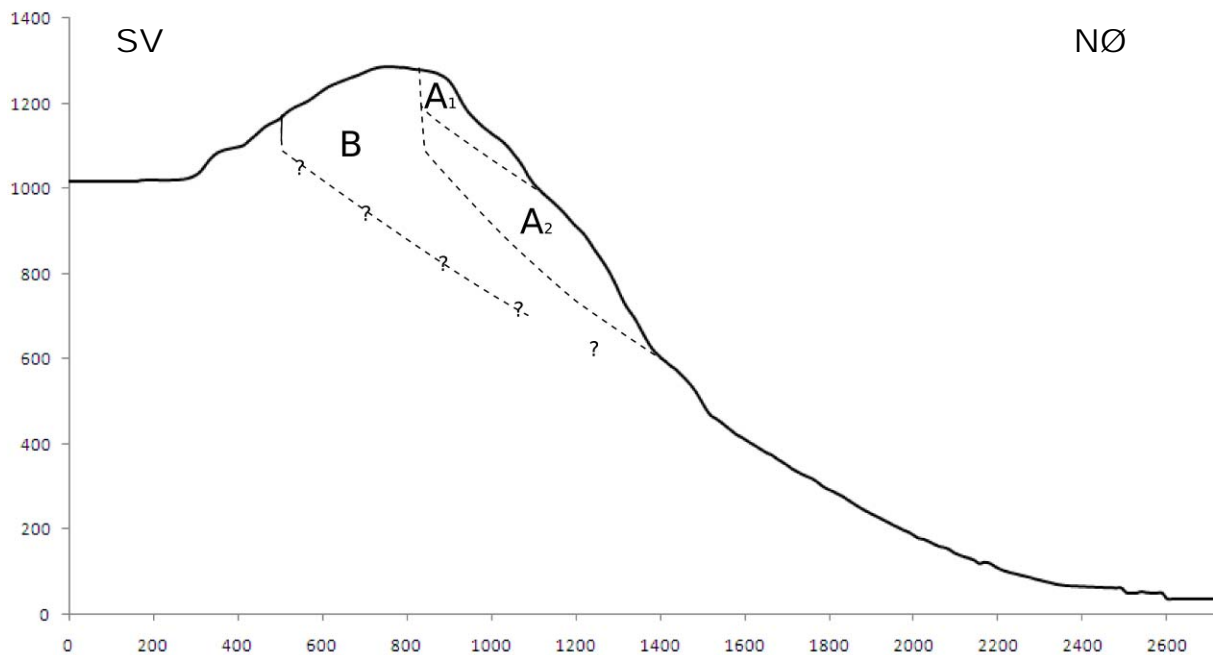
**Figur 2-1: Stereonettdata for Mannen. Foliasjonen er vist i oransje, sprekker i svart og gamle, mineraliserte sprekker er i grønt. Målingene viser at foliasjonen har strøk ca Ø-V (langs dalføret) med et steilt fall mot sør. Hovedsprekkeretningene har strøk Ø-V og N-S, begge med steilt fall. (fra Henderson og Saintot, 2007).**



Figur 2-2: Eksempler på geologiske strukturer observert ved Mannen. A- Oversiktsbilde fra helikopter mot NNV. Gul stiptet linje viser åpne sprekker på platået. B- Oversiktsbilde fra helikopter mot SSØ. Yttergrensene for blokk A er vist med gul stiptet linje. C- Toppflaten av blokkA<sub>1</sub>. D- Lokalisering av sprekken (glideplanet) bak blokk A på en foldestruktur. E- Åpen N-S-sprekk og Ø-V-sprekk møtes oppe på platået (hjørnet av blokk B). F- Åpen sprekk på platået bak blokk B. (Basert på Henderson og Saintot, 2007).



Figur 2-3: Foto av fjellsiden fra helikopter inklusiv tolkning av hovedstrukturer (stiplet grønn) og ytterbegrensning (stiplet rød) av blokk A. Det ustabile området av blokk A deles inn i A<sub>1</sub> og A<sub>2</sub>. Pilene angir eksempler på strukturelle plan som er parallelle med antatte utglidningsplan. Se også figur 1-1.



Figur 2-4: Prinsipiell vertikalprofil SV-NØ som viser antatt lokalisering av glideplan for Blokk A og blokk B. Lokaltet for et eventuelt glideplan under blokk B er høyst usikker og derfor merket med "?". Orienteringen av vertikalprofilen er vist i figur 1-1.



### 3. BEVEGELSESMÅLINGER

Feltobservasjoner viser at blokk A har hatt en vertikal nedadrettet bevegelse på ca 20 m. I tillegg har blokken beveget seg noen meter mot ØNØ. Blokk B har beveget seg i samme retning, men her er det snakk om noen få meter.

Bevegelse i dag er viktig for stabilitetsvurderingen. I 2004 ble det satt ut faste GPS-punkter med supplering av flere punkter i 2006 (Eiken, 2008). Disse danner et nettverk av måle- og fastpunkter. Punktene måles årlig med en nøyaktighet på noen få mm. Målemetoden er ytterligere beskrevet i vedlegg 1.

Målingene fra 2006, 2007 og 2008 viser at punktet på blokk A beveger seg med en årlig hastighet på 3-4 cm både horisontalt og vertikalt (nedover) med et fall på 45-50° mot ØNØ, det vil si noe på skrå i forhold til fjellsidens fall mot NØ.

Målepunktet på toppen av blokk A ligger sentralt inne på blokken. Den målte bevegelsen er derfor representativ for blokk A<sub>1</sub> (se figur 2-3 og figur 2-4). I denne høyden kan det forekomme frostsig. Siden terrenget her faller mot vest, kan ikke frostsig forklare den målte bevegelsen mot ØNØ.

De øvrige målepunktene ved Mannen viser ingen bevegelse. Vedlegg 2 viser en grafisk presentasjon av målingene med innlagt målenøyaktighet.

### 4. MULIGE SKREDVOLUM

Skredmassens volum er svært avgjørende for konsekvensene av et skred fra Mannen.

Feltarbeid dokumenterer bevegelser i både blokk A og B, men GPS-målingene viser kun bevegelse i blokk A. Denne bevegelsen omfatter sannsynligvis hele blokk A<sub>1</sub>, men det utelukkes heller ikke at det er tilsvarende bevegelse i blokk A<sub>2</sub>.

På bakgrunn av strukturer, deformasjoner og målte bevegelser i fjellpartiet, vurderes tre hovedscenarier (se figur 2-4):

1. A<sub>1</sub>, volum 2-3 mill. m<sup>3</sup>.
2. Hele blokk A, volum 15-25 mill. m<sup>3</sup>.
3. Hele blokk A, samt hele eller deler av blokk B, volum opp mot 100 mill. m<sup>3</sup>.

### 5. SANNSYNLIGHET FOR SKRED

Det finnes ingen numeriske metoder for å beregne sannsynligheter for store fjellskred, men på bakgrunn av mange historiske hendelser i regionen har man et visst grunnlag for å definere sannsynligheten. Med bakgrunn fra Blikra m.fl. (2006) er sannsynligheter for skred fra Mannen vurdert ut fra følgende forhold:

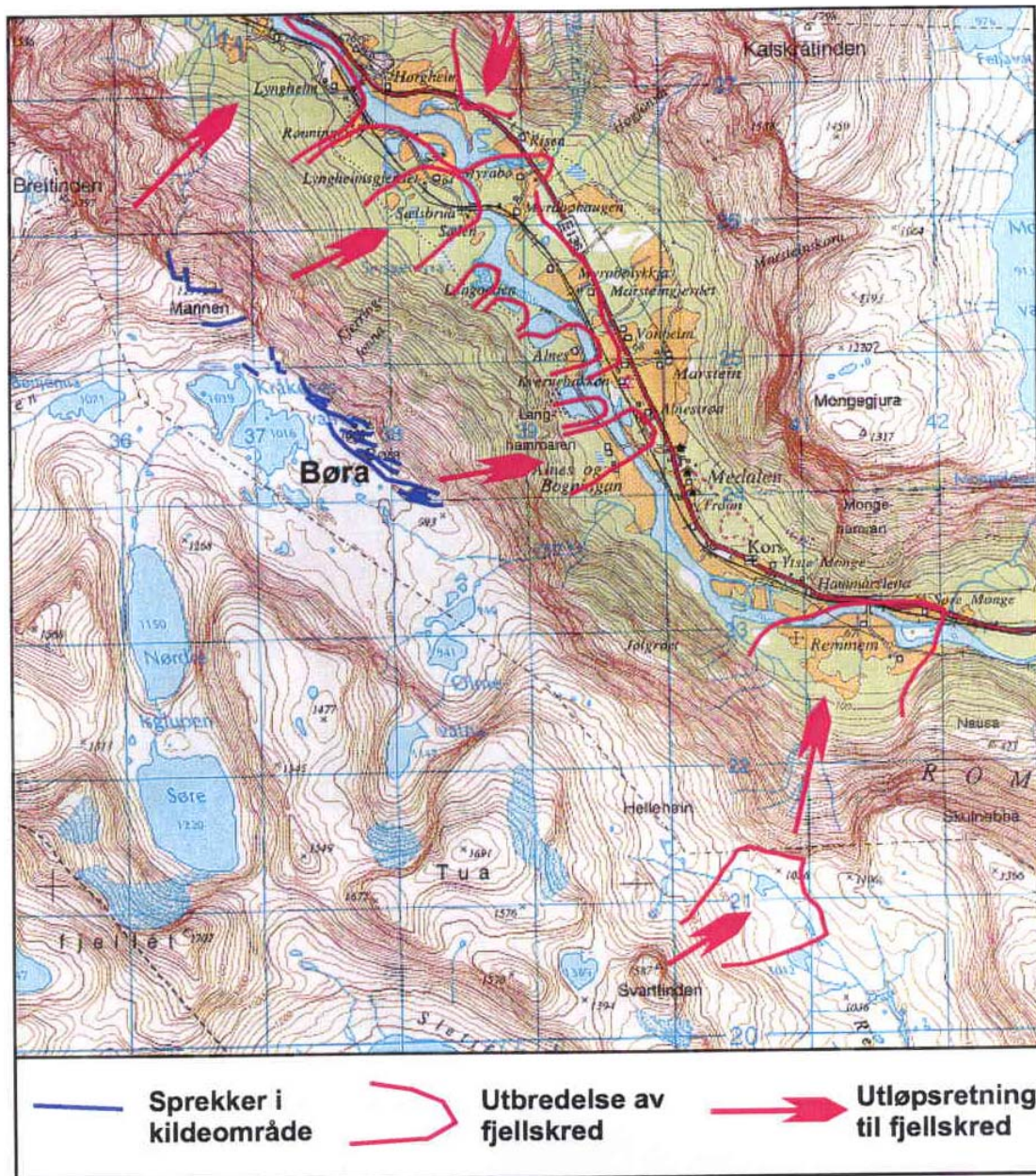
- 1) Forhistoriske fjellskred i Romsdalen og ellers i regionen.
- 2) Historiske fjellskred i Romsdalen og ellers i regionen.
- 3) Vurdering av deformasjonsforløp av det ustabile fjellpartiet.
- 4) Permafrost og klima

#### 1) Forhistoriske hendelser

Med forhistoriske skred menes hendelser det ikke foreligger historiske kilder til. Romsdalen er det dalføret i Norge hvor flest store fjellskred er registrert. Rundt 20 store fjellskred dekker betydelige deler av dalbunnen over en strekning på 20 km (Anda & Blikra, 1998 og Blikra

m.fl., 1999). Noen av skredene har krysset dalen og klatret opp i motstående dalside. Figur 5-1 viser fjellskredene i området ved Mannen.

Den forhistoriske serien med fjellskred i Romsdalen er avgrenset bakover i tid til siste istid som i dette området tok slutt for vel 10 000 år siden. Geologiske dateringer ( $^{14}\text{C}$ , kosmisk eksponering og havnivådata) av fire forhistoriske fjellskred viser aldre mellom 5 800 og 1 500 år før nåtid (Anda & Blikra, 1998 og Blikra m.fl., 2006). Dette indikerer at store fjellskred fremdeles er vanlige hendelser. Det store antallet forhistoriske fjellskred og deres aldersfordeling, tilsier at store fjellskred (større enn 1 mill.  $\text{m}^3$ ) i Romsdalen har en frekvens på noen få hundre år.



Figur 5-1: Topografisk kart over området ved Mannen som viser fjellskredutbredelser i dalen samt ustabile fjellparti. Blikra m.fl. (1999).

## 2) Historiske fjellskred

Historiske hendelser i området fra indre Romsdal til indre Nordfjord (Nordvestlandet) viser en frekvens av fjellskred over 1 mill. m<sup>3</sup> på 2-3 per 100 år (Blikra m.fl., 1999 og skrednett.no).

Det har vært en rekke tilfeller av historiske fjellskred i Romsdalen, men mindre enn de forhistoriske nevnt ovenfor. Tabell 5-1 viser en oversikt over de viktigste skredene. Hendelsene er tatt med på bakgrunn av skriftlige kilder om utbredelser og ødeleggelser fra skredene (skrednett.no, 2008) og egne observasjoner siste 10 år.

**Tabell 5-1: Oversikt over de viktigste historiske fjellskredene i Romsdalen (før 1998 - Skrednett, 2008)**

Lokalitet/Navn	Årstall	Volum, 1000 m <sup>3</sup>	Antall omkomne
<b>Børa</b>	2007	50	0
<b>Trollveggen</b>	2003	50	0
<b>Trollveggen</b>	1998	75	0
<b>Marstein</b>	1982	60	0
<b>Trollveggen</b>	1946		0
<b>Selen</b>	1902		0
<b>Brudliøien</b>	1833		2
<b>Flatmark sør</b>	1822		3
<b>Styggefongjølet</b>	1807		0
<b>Rødstøl</b>	1789		1
<b>Månge</b>	1757		0
<b>Vassligjølet</b>	1700		0
<b>Kyrkjeura</b>	1200		0

Beretningene om fjellskredene før 1998 er trolig avgrenset til skred som har gjort skade eller kommet ubehagelig nær bebyggelse. Derfor er slike hendelser trolig underreportert. Serien med historiske hendelser viser at mindre fjellskred (10-100 tusen m<sup>3</sup>) forekommer med noen få års mellomrom i Romsdalen, trolig med en hyppighet på en til to hendelser pr ti år.

## 3) Deformasjonsforløp av den ustabile fjellsiden

Blokk A har hatt en total bevegelse på over 20 m. Denne bevegelsen har trolig ført til svekket skjærstyrke av glideplanet som følge av nedknusing og forvitring. I så fall øker den årlige sannsynligheten for skred med tiden.

Den store bevegelsen påvist i blokk A (5-6 cm per år), som trolig omfatter et volum på 2-3 mill. m<sup>3</sup>, indikerer et nært forestående fjellskred.

#### 4) Permafrost og klima

Dersom det er permafrost i denne fjellsiden og denne tiner som følge av et varmere klima, kan stabiliteten i fjellet svekkes (Isaksen m.fl. 2004). I så fall vil sannsynligheten for et skred øke. Dessuten forventes mer nedbør. Dette kan føre til høyere grunnvannsstand og dermed svekket stabilitet.

#### Sammenfattende sannsynlighetsvurdering

Romsdalen har over historisk og forhistorisk tid (etter siste istid) en av de høyeste frekvensene av fjellskred i Norge. Dette er et generelt faresignal for Romsdalen. Deformasjonene av det ustabile fjellet Mannen i Romsdalen viser omfang og karakter som tilsier stor fare for skred. Særlig den målte bevegelsen på 5-6 cm per år er et alvorlig signal. Et varmere og fuktigere klima kan forverre stabiliteten.

Summen av vurderingene tilsier at Mannen er et av de mest sannsynlige objektene for et nytt stort fjellskred på Nordvestlandet. Det mest sannsynlige scenariet er at blokk A<sub>1</sub> (2-3 mill. m<sup>3</sup>) faller ut i ett skred. Som sagt finnes det ingen direkte numeriske metoder for å beregne en slik sannsynlighet, men ut fra en samlet vurdering estimeres den årlige sannsynligheten til å være i størrelsesorden 1/100.

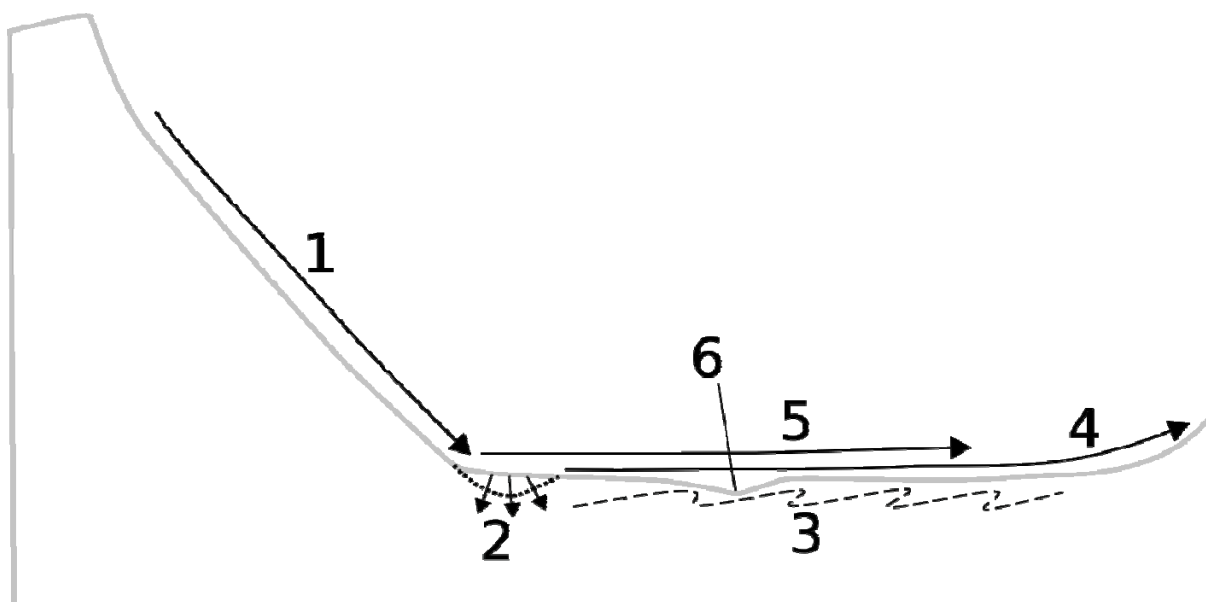
På grunn av de omfattende deformasjonene i blokk A<sub>1</sub> og videre det bratte fallet i denne fjellsiden (50-60°) er det en reell fare for at et skred i blokk A<sub>1</sub> kan destabilisere og ta med seg blokk A<sub>2</sub>, med et samlet volum inntil 15-25 mill. m<sup>3</sup> (årlig sannsynlighet mellom 1/1000 og 1/100). Det utelukkes heller ikke at et skred i blokk A kan ta med seg deler av blokk B med et samlet volum (A+B) som nærmer seg 100 mill. m<sup>3</sup>. Sannsynligheten for et slikt skred vurderes som vesentlig mindre enn et skred avgrenset til blokk A.

## **6. SKREDFORLØP**

### **6.1 Faser i skredet**

Det er mange eksempler på store fjellskred i Romsdalen og skredmekanismene og -prosessene er godt dokumentert (Anda og Blikra, 1998, Blikra m.fl, 1999). Et forventet skredforløp fra Mannen er indikert nedenfor i 6 faser og illustrert i figur 6-1:

1. **Utfall** av 2-3 mill. m<sup>3</sup> vil på grunn av den bratte skredbanen treffe dalbunnen med stor hastighet og kraft.
2. Skredet lager et **nedslag** og danner en grop i terrenget når det treffer dalbunnen som er fylt opp av vannmettede sedimenter og gamle fjellskred.
3. Skredets nedslag genererer **trykkbølger** og **skjærdeformasjoner** som sprer seg radielt utover, inntil 1-2 km (jfr. skredene ved Venge, Trollveggen og Skiri).
4. Skredets nedslag og tilhørende erosjon genererer en **massestrøm av elvededimenter** med stor fart forover. Denne massestrømmen kan krysse dalbunnen.
5. Selve **fjellskredet fortsetter ut over dalbunnen**. De vannholdige elvededimentene kan danne et glidelag for fjellskredet som sprer seg utover dalbunnen. Lokale forhold og skredets dynamikk avgjør tykkelsen til skredmassene i dalbunnen
6. **Rauma demmes** opp med påfølgende fare for brudd og flom.



Figur 6-1: Prinsippskisse over forventede faser ved et fjellskred fra Mannen, se forklaring ovenfor.

## 6.2 Forventede utløpslengder

Det har gått mange fjellskred i Romsdalen, men for de fleste mangler en eksakte data om utfallshøyder og skredvolum. Ett eksempel det er naturlig å sammenligne Mannen med er fjellskredet ved Venge, 5 km lenger ned i dalen (Anda & Blikra, 1998). Skredet gikk ned i dalbunnen og på vannmettede elvesedimenter, ikke ulikt nedslagssonen under Mannen. Dette skredet hadde et volum på 0,5-1,0 mill. m<sup>3</sup> og en fallhøyde på 760 m. Hoveddelen av skredet stanset etter en utløpslengde på 1000 m. Fjellskredets nedslag genererte en massestrøm av elvesedimenter iblandet store blokker fra fjellskredet. Denne delen av skredet gikk ytterligere 700 m lenger, slik at den totale utløpslengden (L) ble 1700 m, eller 2,2 ganger fallhøyden (H). Dette gir en H/L-verdi på 0,45. En liknende skredutvikling er sannsynlig for Mannen.

I henhold flere internasjonale studier av fjellskred er det en god korrelasjon mellom skredets fallhøyde (H) og den horisontale utløpslengden (L), samt skredets volum (McEwen, 1989). H/L-verdien avtar med skredets volum, det vil si at den relative skredlengden øker med skredvolumet (se vedlegg 3).

Etter McEwen (1989), vil fjellskred på hhv. 1 og 3 mill. m<sup>3</sup> fra Mannen få horisontale utløpslengder på hhv. 2,2 og 2,5 ganger fallhøyden. For Mannen gir dette en utløpslengde på 2,6 og 3,0 km for nevnte skredvolum. Med slike utløpslengder vil skredene krysse dalen og gå opp i motsatt dalside.

Blikra m.fl. (2001) påpeker at de internasjonale referansene for utløpslengder har lite datagrunnlag for skred under 10 mill. m<sup>3</sup>. På grunnlag av 25 skred i Norge konkluderer Blikra m.fl. (2001) med noe høyere H/L-verdier for skred under 10 mill. m<sup>3</sup>, enn hva kurven til McEwen (1989) viser. Det vil si noe kortere utløpslengder. For skred med volum på 1 og 3 mill. m<sup>3</sup>, er H/L-verdier etter Blikra m.fl. (2001) henholdsvis 0,5-0,65 og 0,41-0,6. Dette gir horisontale utløpslengder (L) fra Mannen på henholdsvis 1,8-2,4 km og 2,0-2,9 km.

Disse betraktningene tilsier at et fjellskred fra Mannen på 2-3 mill. m<sup>3</sup> uansett vil nå jernbanen, Rauma og europavegen. Terskelverdien (volum) for at et skred skal nå jernbanen er trolig noen få hundre tusen m<sup>3</sup>.

De aller fleste store fjellskredene i Romsdalen danner relativt tynne avsetninger med typiske mektigheter på 1-3 meter. Det vil si at et skred på 3 mill. m<sup>3</sup> trolig vil dekke et areal av dalbunnen mellom 1 og 3 km<sup>2</sup>. Lokalt kan mektighetene bli større.

## 7. AKTUELLE METODER FOR OVERVÅKNING

Risikovurderingene tilsier at det kan være behov for beredskap basert på sanntids overvåkning, knyttet opp til varsling og evakuering. Ved etablering av overvåkning må hvert fjellparti vurderes individuelt. Dette fører til at man ikke uten videre kan kopiere tiltakene fra eksisterende overvåkningsobjekt, for eksempel Åknes. Noen fellestrekk for utfordringer tilknyttet fjellskredovervåkning i Norge er blant annet:

1. Krevende klimatiske forhold som kan slå ut hele eller deler av overvåkningssystemet og energiforsyningen (vind, nedbør, lyn, lave temperaturer, etc.).
2. Hyppig utskifting av komponenter må påregnes på grunn av tøffe klimatiske forhold og snøskred/steinsprang.
3. Lang avstand fra infrastruktur (strøm, bredbånd, etc.) til det ustabile fjellpartiet.
4. Det er knyttet store utfordringer til overføringer og sanntids prosessering av store datamengder.

Det finnes mange målemetoder som er benyttet i forbindelse med overvåkning av ustabile fjellparti. De mest aktuelle er:

1. Bakkebasert radar som måler avstand til reflektorer eller naturlige flater i det ustabile fjellpartiet. Fordelen med denne metoden er at radaren kan plasseres nede i dalen tilknyttet strøm- og telenett.
2. Laser som måler avstand til reflektor. Stor nøyaktig, men begrenset rekkevidde.
3. Ekstensometere. Strekkstag som måler avstand mellom to punkter over korte avstander (inntil få meter).
4. Vinkelmålere (tiltmeter) som måler rotasjon av fjellparti.
5. GPS. Måler absolutt posisjon (XYZ) over tid.
6. Totalstasjon. En laser som måler avstand og vinkel til flere reflektorer. Denne kan måle et stort antall punkter over et stort areal, men med begrenset nøyaktighet.
7. Seismisk overvåkning av rystelser som følge av bevegelser i fjellet.

En overvåkning bør baseres på to eller flere målesystemer. Dette reduserer faren for måle- og tolkningsfeil, samt driftsstans.

## 8. KONKLUSJONER

Årlig sannsynlighet for et stort fjellskred fra Mannen (2-3 mill. m<sup>3</sup>) vurderes å være i størrelsesorden 1/100 pr år. Dette begrunnes i første rekke med at Romsdalen tilhører en region med høy frekvens av store fjellskred (2-3 store fjellskred pr. århundre), og dessuten den store årlige bevegelsen i fjellpartiet. Det utelukkes ikke større skred, men sannsynligheten for dette er lavere.

Et skred på 2-3 mill. m<sup>3</sup> fra Mannen vil ramme bebyggelse, jernbane og vei. Dessuten er det fare for oppdemming av elva Rauma med påfølgende dambrudd og flom.

Så langt er det ikke utredet faresoner i forhold til evakuering og arealbruk.

For å øke personsikkerheten for fastboende og reisende anbefales det at Mannen får en overvåking basert på varsling, evakuering og eventuelt andre tiltak. Hvilke tiltak som iverksettes vil primært være opp til ansvarlige myndigheter:

- Rauma kommune (bebyggelse)

- Statens vegvesen (Europaveg 136)
- Jernbaneverket (Raumabanen)
- NVE (Raumavassdraget)

Det anbefales også at NVE rådspørres om oppfølgingen, med henvisning til NVEs nye nasjonale skredansvar fra 1. januar 2009.

## REFERANSER

- Anda, E. og Blikra, L.H. 1998: Rock-avalanches in Møre & Romsdal, western Norway. *NGI Publikasjon nr 203*, side 53-57.
- Blikra, L.H., Anda, E. og Høst, J. 2006: Åknes/Tafjordprosjektet: Sannsynlighet og risiko knyttet til fjellskred og flodbølger fra Åknes og Hegguraksla. *NGU-rapport nr.: 2006.039*. 20 sider.
- Blikra, L.H., Anda, E. og Longva, O. 1999: Fjellskredprosjektet i Møre og Romsdal: Status og planer. *NGU-rapport nr.: 99.120*. 21 sider.
- Blikra, L.H., Longva, O., Braathen, A., Anda, E., Dehls, J. & Stalsberg, K. 2006: Rock-slopefailures in Norwegian fjord areas: examples, spatial distribution and temporal pattern. In Evans, S.G., Scarascia Mugnozza, G., Strom, A. & Hermanns, R.L. (eds.), *Landslides from massive rock slope failure. Nato Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences*, Vol. 49.
- Dalsegg, E. og Tønnesen, J.F. 2004: Geofysiske målinger Breitind og Børa, Rauma kommune Møre og Romsdal. *NGU-rapport nr.:2004.008*. 21 sider.
- Eiken, T. 2008: Mannen 2004-08 (foreløpig rapport). *Universitetet i Oslo, Institutt for geofag*. 7 sider.
- Henderson, I. og Saintot, A. 2007: Fjellskredundersøkelser i Møre og Romsdal. *NGU-rapport nr: 2007.043*. 68 sider.
- Høst, J. 2006: Store fjellskred i Norge. *Utarbeidet av NGU, Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, Statens landbruksforvaltning, Statens vegvesen, Jernbaneverket og Statens kartverk*. Utredning for Landbruks- og matdepartementet på vegne av 6 departementer. 82 sider.
- Isaksen K, Blikra LH, Eiken T, Sollid JL. 2004. *Mountain permafrost and instability of rock slopes in western and northern Norway*. Abstracts Volume, PACE21 Field Workshop, Longyearbyen, Svalbard, 8-13 September 2004, p.32.
- McEwen, A.S. 1998: Mobility of large rock avalanches. Evidence from Valles Marineris, Mars. *Geology* 17, side 1111-1114.
- Tveten, E., Lutro, O. og Thorsnes, T. 1998: Berggrunnskart Ålesund 1:250 000. *NGU-kartserie*.

skrednett.no, september 2008.



## Vedlegg 1: Metode for GPS-målinger

Alle målepunkta for GPS er markert med gjenga skruvar (5/8 UNC gjengar) som er limt fast i fjell. Gjengetypen gjer at GPS-antennar ved måling kan skruvast direkte på punktet med minimale feil i sentrering. Normalt vert antenna sett på ein "trefot" (*Fig 1*) som kan stillast horisontal, slik at antenna vert stilt sentrisk loddrett over sentrum av skruven. Høgde på antenna vert målt ved å måle avstandar på trefoten. I nokre punkt er bolten sett så skeiv at det er uråd å stille trefoten horisontal. Desse punkta er kommentert ssidan dette utgjer ei feilkjelde.



**Fig. 1 Trefot med antenne**

Måleutstyret som er nytta er Javad/Topcon tofrekvente GPS- mottakarar, dels og med måling av GLONASS satellittar (GLONASS er eit russisk GNSS system som er svært likt GPS).

Målemetoden er statisk relativ fasemåling, med måling av eit nettverk av vektorar mellom punkt. Måleintervall (epokeintervall) er fem sekund, og måletid minst 30 minutt pr. vektor. Nettet er bygt opp slik at alle punkt skal ha samband til minst tre andre punkt. Måletida i dei fyrste åra var nokre gonger kortare enn 30 minutt. Erfaring har synt at auka måletid gir vinst i presisjon utan serleg auke i totaltida ein nyttar for målingane.

GPS-vektorar er rekna i programmet "TPS-Pinnacle". I nokre tilfelle der vektorar vert funne å ha dårleg eller variable presisjon, eller at det vert funne mykje støy i målingane er vektorar og prosessert i programmet GrafNet som er eit program tilsvarande Pinnacle, men frå ein annan leverandør. Programma skal teoretisk gi same resultat, men litt ulike metodar for korreksjon for meteorologi (troposfæremodell) og ulike grenser for forkasting av målingar kan gi litt ulike resultat. I 2007 er ingen data prosessert i GrafNet.

I båe programma vert GPS vektorar rekna som statiske vektorar med heiltals-løysing. I tillegg til 3D-vektorar estimerer og programma standardavvik ( $\sigma$ ) for vektorkomponentane.

Estimert presisjon (standardavvik) på vektor komponentar er oftast betre enn 1 mm i N og E (plan), og 2 mm i høgde, men i ein del tilfelle er dei langt dårlegare enn dette. Erfaring tilseier at estimerte standardavvik på rekna vektorar er for optimistiske, slik at reell presisjon er faktor 2-3 høgare enn estimert av programma. Vektorane har best presisjon i grunnriss (X,Y),

komponenten i høgde (Z) har normalt ca. 2-3 gonger høgre standardavvik. Dette skuldast geometriske eigenskapar ved GPS systemet kombinert med at måleområdet er langt mot nord.

Gjennom prosesseringa av vektorane i området er det og funne at serleg høgdekomponenten i vektorane er var for satellittgeometri, utan at dette kjem fullt ut til uttrykk i standardavvika til resultatet.

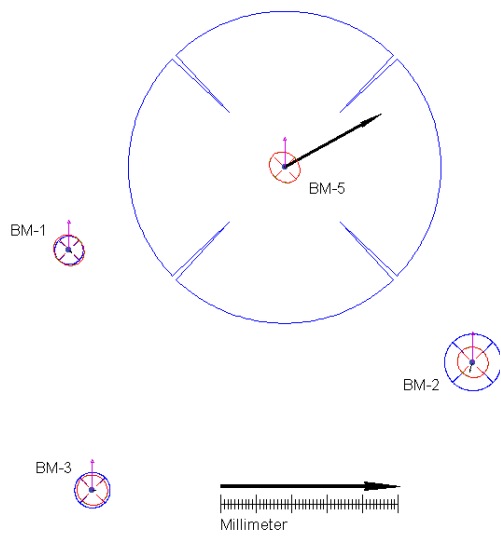
Netta av GPS-vektorar er jamna ut ved nettutjamning etter minste kvadraters metode for å finne dei mest sannsynlege verda for koordinatane til punkta. Tilhøyrande standardavvik for koordinatar vert og estimert gjennom utjamninga. Koordinatar for punkt vert rekna relativt til dei eller det lokale fastpunkta(et) som er halde fast, dvs. har same koordinat frå år til år. Nokre av netta som er omtala har berre eitt fastpunkt, eller fleire fastpunkt i ein del av området. Dette gjer at ein ikkje har fullgod kontroll mot feil målingar serleg i punkt lengst borte frå fastpunkta. Eit optimalt nett har to eller fleire fastpunkt fordelt kring utkanten av nettet.

Observasjonane vert gitt vekt etter estimert standardavvik for vektorane. Dersom dette estimatet er korrekt skal utjamninga av samla nett gi det same estimat for standardavvik som vektorane. For dei aktuelle netta ligg estimert presisjon faktorar på ca. 2 høgde. Dette indikerer at estimert presisjon for vektorane er optimistisk med ein slik faktor.

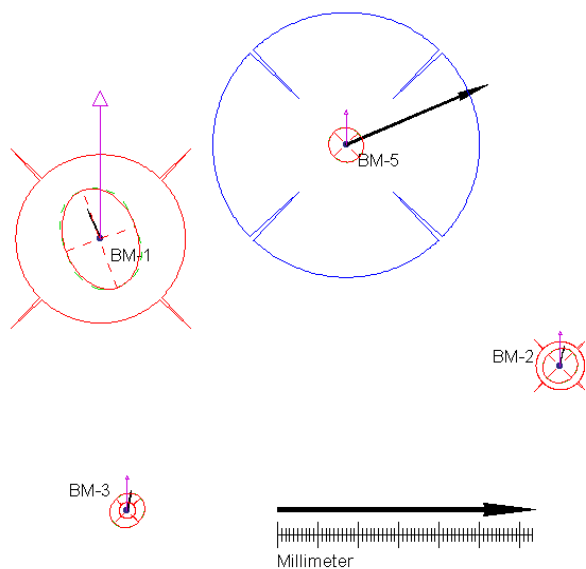
Estimerte standardavvik på resultatkoordinatar er med nokre unntak på 1-2 mm i grunnriss, og 2-6 mm i høgde. Dette samsvarar godt med erfaringstal frå liknande målingar, men serleg for høgder vil det vere variasjonar med geometri som ikkje vert fanga opp, slik at standardavvika ikkje gir mål for uvisse i høve til "sanne" storleikar, men i høve til resultata ein har fått (intern presisjon). Sidan dei fleste målingane vert gjort innanfor eit relativt kort tidsrom vil fleire vektorar ha om lag den same geometriske konfigurasjon for satellittar, og dermed ha ei systematisk påverking frå denne. Ommåling nokre timar seinare kan gi litt andre resultat, og den systematiske skilnaden som kan oppstå i dette tilfellet vert lite reflektert av standardavvika til resultata som kjem fram. Variasjon i presisjon på dei ulike lokalitetane gjer at endringar på t.d. 1 cm kan vere klart signifikant endring i eitt område, medan det ikkje er signifikant på ein annan lokalitet.

Konklusjonen ein må trekke av dette er at serleg for høgdekomponentane bør ein vere konservativ i tolking av endringar, serleg om alle målingar er gjort innanfor eit rimeleg kort tidsrom.

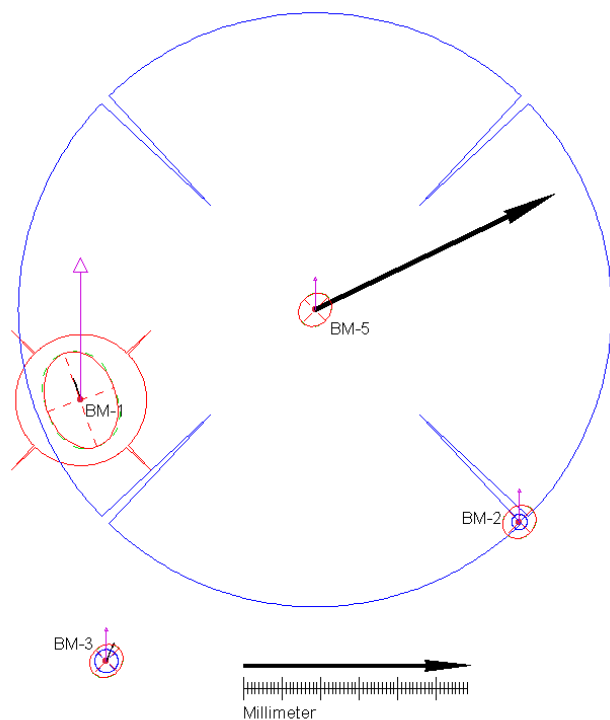
## Vedlegg 2: Grafisk resultatpresentasjon av GPS-målingene frå 2006-2008



*Figur: Grafisk endring grunnriss og høgde for punkta på Mannen, 2006-2007. Fastpunktet på Mannen (BM-4), etablert 2006 er ikkje med på figuren.*



*Figur: Grafisk endring grunnriss og høgde for punkta på Mannen, 2007-2008. Fastpunktet på Mannen (BM-4), etablert 2006 er ikkje med på figuren. Punktet BM-1 har vesentleg høgare standardavvik enn dei andre i 2008 og får difor stor feilellipse.*



*Figur: Grafisk endring grunnriss og høyde for punkta på Mannen, 2006-2008. Fastpunktet på Mannen (BM-4), etablert 2006 er ikke med på figuren.*

**Vedlegg 3 Samanheng mellom fallhøyde, utløpslengde og volum for fjellskred**  
 (Etter Blikra m. fl. (2001), supplert med skredet ved Venge)

Plott av H/L vs. skredvolum for fjellskredhendelser i Norge

