Geologisk evaluering av Veslemannen

- eit mindre fjellskred i utvikling

41
2015

RAPPORT

Geologisk evaluering av Veslemannen

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Ingris Skrede, Lene Kristensen, Jarle Hole

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag:

Forsidefoto: Iver Gjelstenli (rbnett.no)

ISBN 978-82-410-1088-0

Sammendrag: Dette er ein fagrapport om det ustabile fjellpartiet Veslemannen som bevega seg over 300 mm hausten 2014. Det var fleire akslerasjonsfasar og hastigheitene på det ustabile fjellpartiet var over 60 mm/dag på det meste. Dei store bevegelsane, registrert med bakkebasert radar (InSAR), tyda på at eit fjellskred kunne skje innan kort tid.

Emneord: Veslemannen, skred, fjellskred, overvaking

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

Mai 2015

Innhald

Forord **2**

Samandrag **3**

1 Innleiing **4**

2 Mannen **4**

3 Veslemannen **6**

4 Bevegelsar og undersøkingar **8**

4.1 Radarkampanjar 8

4.1.1 Første radarkampanje 9

4.1.2 Pågåande radarkampanje 12

4.2 Installering av nye instrument 17

4.2.1 Geofonar 17

4.2.2 LiDAR 18

4.2.3 Ekstensometer 19

4.3 Permanente instrument på Mannen 20

5 Modell **21**

6 Utløpslengder og konsekvensar **23**

7 Vidare utvikling **27**

8 Konklusjon **29**

9 Referansar **30**

10 Vedlegg **31**

10.1 Hendingsgang 31

Forord

NVE er ansvarleg for overvaking av store fjellskred og for varsling av farenivå til beredskapsaktørane, i hovudsak politi, kommune og fylkesmann. Ein sentral del av fjellskredovervakinga er dokumentasjon av hendingar og kvalitetssikring av faglege vurderingar. Dei store rørslene ved Veslemannen hausten 2014 og den geofaglege handteringa gir verdifull erfaring og læring. Denne fagrapporten er derfor viktig for ein evaluering av fjellskredovervakinga og for i etterkant å kunne vurdera dei faglege råda som vart gitt til beredskapsmyndigheitene. Dette er kunnskap og erfaringar som vil være til stor nytte ved liknande hendingar i framtida.

Stranda, mai 2015

Aage Josefsen
Seksjonssjef, Seksjon for Fjellskred

Lars Harald Blikra
Sjefingeniør, Seksjon for Fjellskred

Samandrag

I eit ustabilt fjellparti, Veslemannen, har det blitt registrert bevegelsar med bakkebasert radar hausten 2014. Ei periodisk radarkampanje, utført mellom 17. og 25. september, viste bevegelsar i eit område på om lag 6000 m^2. Hastigheita var oppimot 2,5 mm/døgn og det var hastigheitsauke under måleserien. Resultata førte til at radaren blei satt opp igjen 6. oktober og den målar framleis. Frå denne datoen har hastigheita auka fleire gongar i samband med nedbørshendingar. Hastigheita var størst i perioden mellom 26. og 29. oktober då bevegelsar på 50 mm/døgn blei målt. Totalt har bevegelsen vore over 300 mm i dei delane av området som har bevega seg mest. Frå starten av november, når nedbøren kom som snø, har bevegelsen minka gradvis.

Ut i frå det estimerte volumet mellom 120 000 m^3 og 180 000 m^3 er det ein viss fare for busetnad, jernbane og høgspentlinjer i tilfelle fjellpartiet rasar ut. Det ustabile fjellpartiet må difor overvakast slik at dei utsette områda blir evakuerte før ei utrasing. Radarmålingar har begrensingar i områder med snø og nye måleinstrument er difor montert for å kunne følgje bevegelsane gjennom vinteren og våren. Tre ekstensometer i det ustabile området er spesielt viktig for å ha ei fullverdig overvaking i snødekt område. I tillegg er ein laserskanner (LiDAR) og geofonar satt opp. Saman utgjer desse instrumenta eit fullverdig overvakingssystem.

Bevegelsane har vore knytt til vasstilførsel og det er ikkje venta auka bevegelsar før temperaturen stig og vatn blir tilført området som følgje av snøsmelting eller nedbør i form av regn. Det er uvisst korleis negative temperaturar gjennom vinteren har påverka langtidstabiliteten i fjellet.

Det er ingen indikasjonar på at det ustabile fjellpartiet Mannen er påverka av bevegelsane i Veslemannen. Det kan likevel ikkje utelukkast at ei utrasing av Veslemannen kan svekke stabiliteten i delar av Mannen. Oppfølging gjennom dei permanente instrumenta er difor viktig, både før og etter eit skred.

1 Innleiing

Hausten 2014 blei det utført ei radarkampanje ved det ustabile fjellpartiet Mannen i Rauma kommune i Møre og Romsdal. Bakkebasert radar (InSAR) blei anvendt frå nye posisjonar for å dekke område som tidlegare ikkje hadde vore innanfor rekkevidde av eksisterande overvakingsinstrument. Målingar frå Lyngheim (7°46'45.475"E 62°28'19.612"N) mellom 17.09.14 og 25.09.14 avdekka at eit avgrensa parti ved Mannen var i bevegelse. Arealet av området blei anslått å vere ca. 4000 m^2 og hastigheitene var opptil 2,5 mm/døgn i øvre del av området og 0,5 mm/døgn i nedre del av området. Hastigheitene auka under måleserien. Resultata førte til oppstarting av ei ny radarkampanje frå 06.10.2014. Det blei utarbeida ei kort pressemelding i samråd med Rauma kommune som informerte om observasjonane.

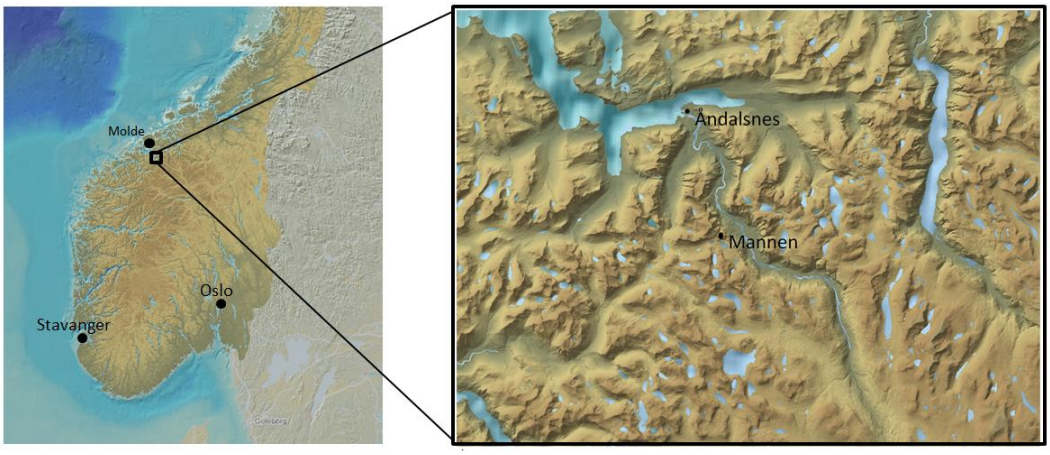
Målingane har haldt fram, fleire undersøkingar er utført og nye overvakingsinstrument er montert. Utbreiing av losneområde og utløpsområdet er re-evaluert og hastigheitene til fjellpartiet har endra seg. Dette har mellom anna ført til evakuering og ferdselsforbod i det underliggande området i ei periode. Denne rapporten utgjer ein del av kvalitetskontrollen for det som er gjort, og er utarbeida som ein fagrapport om området som beveger seg. Området vil bli skildra og satt i samanheng med det ustabile fjellpartiet Mannen. Undersøkingar som er utført og målte bevegelsar blir dokumenterte og drøfta. Vidare er utløpsområde og potensielle konsekvensar evaluert og det er gjort ei kort vurdering av framtidig utvikling. Dei viktigaste hendingane er nemnt i vedlegg 1.

2 Mannen

Mannen er eit av dei definerte høg-risikoobjekta for store fjellskred i Noreg. Dette ligg på knekkpunktet mellom eit platå og dalsidene i Romsdalen i Møre og Romsdal, sjå Figur 1. Bergartane i område er kartlagt som diorittisk til granittisk gneis, migmatitt som kan vere sillimanitthaldig, kvartsrik og har nokre stadar kyanitt (Tveten m. fl., 1998). Det er også mindre områder med amfibolitt og pegmatitt. Det er kompleks folding i området og foliasjonen varierer mykje. Det er fleire definerte sprekkesett der sprekker med orientering N-S, Ø-V, NV-SØ og NØ-SV er dominerande.

Store deformasjonsstrukturar har vore kjent i fjellpartiet sidan slutten av 1990-tallet (Blikra m. fl., 1999) og periodiske GPS-målingar mellom 2006 og 2008 stadfesta bevegelse (Dahle m. fl., 2008). Kollaps av eit større scenario ved Mannen kan føre til at skredmassar kryssar dalbotnen i Romsdalen, påverkar inntil 30 eigendommar og demmer opp elva Rauma. Ved eit påfølgande dambrot kan dette gi flaum nedstraums og råke inntil 1650 eigendommar i tillegg til infrastruktur (Dahle m. fl., 2009). Sidan det ikkje finnast gode sikringstiltak mot fjellskred er overvaking og evakuering det beste tiltaket for å hindre tap av menneskeliv. Frå 2009 har Åknes/Tafjord Beredskap IKS (ÅTB) utvikla eit omfattande overvakingssystem som inkluderer åtte GPS-antenner, to laserar, sju ekstensometer, fire tiltmeter, ein permanent bakkebasert radar, ein vêrstasjon, kamera og to DMS-kolonnar som måler deformasjon i borehol. I tillegg er ei rekkje andre undersøkingar utført. Frå 01.01.2015 tok Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) over verksemda til ÅTB, med unntak av befolkningsvarsling. Deformasjonsmålingar har vist at det er bevegelsar på over

20 mm/år i øvre delar av området. Bevegelsane minkar nedover fjellsida, men dei er større i nordvestlege delar av området. GPS målingane viser at bevegelsane er i nordleg retning, og storleiken blir noko underestimerte av den permanente radaren på Rønningen som best registrerar bevegelse i nordaustleg retning. Mellom dei øvre nordvestlege delane med registrert bevegelsar og ut til den tilsynelatande laterale avgrensinga av det ustabile fjellpartiet er det eit område som tidlegare ikkje har vore innan rekkevidde av overvakingsinstrumenta. Dette var utgangspunktet for oppretting av nye radarposisjonar sommaren 2014. Det avgrensa området med påvist bevegelse ligg innanfor definerte scenario for Mannen, sjå Figur 2.



Figur 1: Veslemannen er i ei NNA-vendt dalside av Romsdalen, Møre og Romsdal.

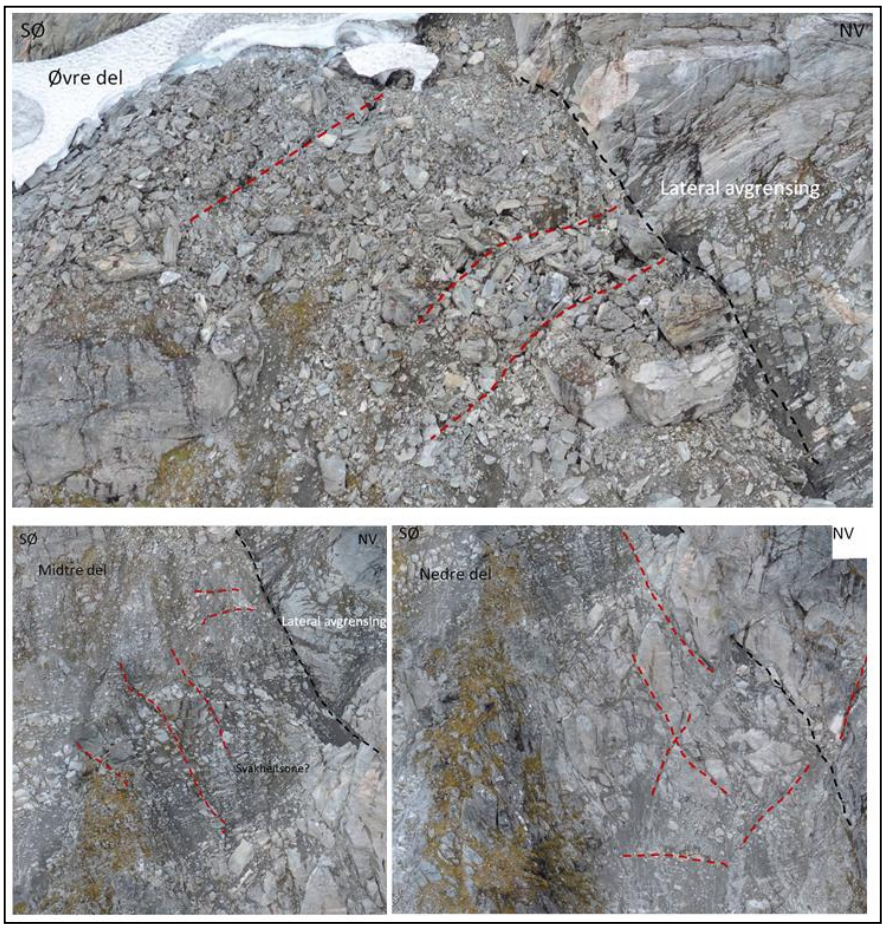
Figur 2: Veslemannen, markert med gult, er innanfor definerte scenario av Mannen, men er eit avgrensa område og langt mindre enn dei store scenarioa ved Mannen.

3 Veslemannen

Veslemannen ligg i bratt terreng med lause blokker. Lite arbeid er utført direkte i felt av omsyn til personsikkerheit. Synfaring frå andre stader i terrenget er utført, men er krevjande grunna skjerma plassering av området. Helikopter har vore nytta til observasjon og fotografering, og data i form av kart, digitale høgdemodellar og bileter har blitt brukt for å få kunnskap om området.

Figur 3: Bilete av Veslemannen.

Området ligg i ei nordaust-vendt dalside mellom 1100 moh. og 1220 moh. Det strekk seg frå ein sub-vertikal fjellvegg, som er om lag 60 m høg, og ned til ei skredrenne (Figur 3). Det er lateralt avgrensa i sørvest av ein fjellvegg med ei fordjuping. I aust er avgrensinga mindre tydeleg, men knytt til ein ryggformasjon. I øvre delar av området er det ein svakt hellande benk med oppknuste massar. Nærast bakskrenten på denne benken er det ei fordjuping der det ligg eit fleirårig snøfelt. Underliggande massar er tilsynelatande oppknuste med enkelte større blokker. I nedre delar av område er berggrunnen meir intakt og det er større blokker med enkelte sprekker. Eit «spir» står opp og har ei høgde på titals meter. I bakkant av dette er det sprekker som fell tilsynelatande inn fjellsida. I massane er det fleire lineære fordjupingar som truleg representerer underliggande sprekker. Desse er orientert ØNØ-VSV og NNV–SSØ og kan vere nokre titals meter lange. Desse er indikerte på Figur 4.



Figur 4: Strukturar i ulike delar av det ustabile området er markerte. Den laterale avgrensinga er markert med svart stripla linje og sprekker er markerte med røde stripla linjer.

Årsnedbøren i området er om lag 1200 mm/år og så godt som heile området blir dekka av snø om vinteren. Store skavlar bygg seg vanlegvis ut over området frå bakskrenten, og øvre del av området får tilført snø gjennom vinddrift. Orienteringa til området og høgde over havnivå gjer at snø, med unntak av det permanente snøfeltet, vanlegvis blir liggande til seint i mai eller starten av juni.

4 Bevegelsar og undersøkingar

Bevegelsane i fjellpartiet blei avdekka av ein bakkebasert radar, og denne har vore brukt til å følgje bevegelsane sidan. I tillegg er det gjort andre undersøkingar. Fotogrammetri er utført både frå bakke (Cautus Geo) og helikopter (NIFS-prosjektet, Naturfare - infrastruktur - flom -skred). Laserskanning er utført på to tidspunkt (Norges geologiske undersøkelse (NGU)). Modellering for utløp av steinsprang (University of Milano Bicocca) og debrisflow/jordskred er utført (NGU). Grunna usikkerheit knytt til radarmålingar i snødekte områder har nytt utstyr blitt montert. Dette er geofonar og ein mikrofon, ein laserskanner (LiDAR) og ekstensometer. Analoge temperaturloggerar er plasserte i området for å kunne dokumentere temperaturforholda i bakken. Dette kapittelet gir ei kort utgreiing om metodar og presenterer resultata frå dei ulike målingane og undersøkingane. Radarmålingane blir hovudfokuset sidan desse har vore hovudkjelda til kunnskap om bevegelsar inntil nyleg.

4.1 Radarkampanjar

Den bakkebaserte radaren som er brukt til å måle deformasjonar er eit *LiSA LAB GBInSAR* system (Ground-Based Interferometric Synthetic Aperture Radar) frå *LiSALab Ellegri srl*. Data blir prosessert med *LiSALLab* programvaren *«Lisa Main Mobile»*. Radaren måler avstand til reflekterande punkt i terrenget over tid. Dette skjer ved at elektromagnetiske bølgjer blir sendt frå ei antenne, treff fjellsida og blir reflektert tilbake til ein mottakar. Ved å studere dei mottatte signala kan informasjon om avstand kalkulerast. Dette kan omarbeidast til radarbilete og radarbilete tatt på ulike tidspunkt kan samanliknast i form av interferogram for å sjå potensiell deformasjon i synsfeltet og rekkevidda til radaren. Eit interferogram kan vise bevegelsar på 4,4 mm mot og frå radaren og bevegelsar større enn dette vil føre til fasehopp. For å registrere den reelle bevegelsen må difor periodane for interferogram tilpassast storleiken av bevegelsane. Dette har blitt justert fleire gongar i inneverande måleperiode og intervalla har vore frå 4 timar til 15 minutt. Lagdeling i atmosfæren og artefaktar kan påverke signala. Endring av terrengoverflata som følgje av snø, is eller vegetasjonsdekke kan gi støy. Det betyr at i desse tilfella blir kvaliteten på data dårligare, resultata meir usikre og tolking meir problematisk.

Parameterane brukt i målingane kan sjåast i Tabell 1. Med bruk av desse parameterane blir pikselstorleiken i det ustabile området omlag 6,3 m X 1,9 m.

Parameter	**Verdi**
Sentral frekvens	17.2 GHz
Bandbreidde	80 MHz
Lengde av Syntetisk Aperature	3 m
Utgangseffekt (Output power)	22 dBm
Gjentakingsintervall (Revisiting time)	8 min
Antenne-vinkel	30˚

Tabell 1: Tabellen viser parameterane brukt under radarmålingane.

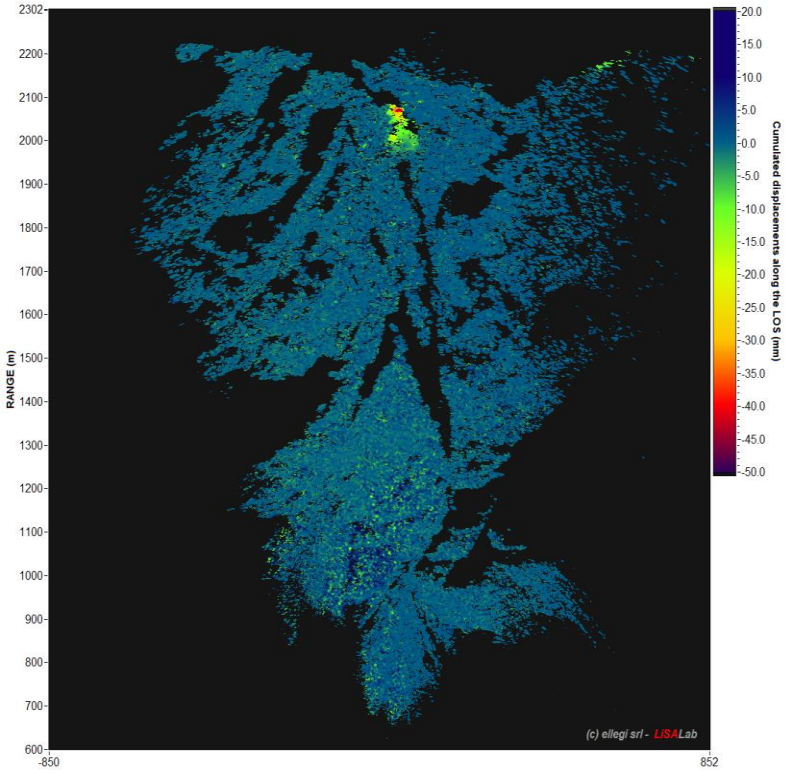
Nøyaktig posisjon til radarskinna blei målt med differensial GPS den 16.10.14. Dette gjer det mogleg å georeferere interferogram og akkumulerte interferogram. Fordelen med dette er at nøyaktig plasseringa av områder i bevegelse kan fastsetjast og arealet av områder i bevegelse kalkulerast meir nøyaktig.

Radaren på Lyngheim har Ethernet tilkopling og er tilkopla kommunikasjonsnettverket for permanent overvaking av Mannen via radiolink. Nettverket på Mannen er redundant med to veger for kommunikasjon til overvakingssenteret på Stranda. Det er ei direkte forbinding til Stranda via radiolink på Høgstolen, samt forbinding over internett på fiber i Romsdalen. Dette er ei robust kommunikasjonsløysing som er uavhengig av ekstern breibandforbindingar/mobildekning og strømleverandørar.

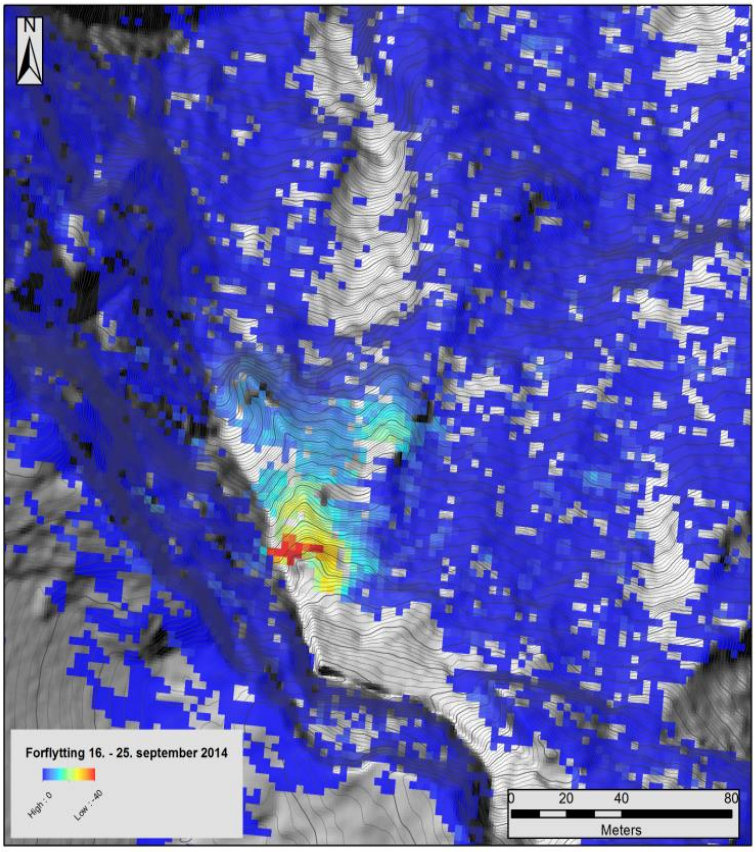
4.1.1 Første radarkampanje

Den første radarkampanjen blei utført 17.09.14 – 25.09.14. I denne perioden var bakken snøfri med unntak av det fleirårige snøfeltet. Temperaturane var rundt +10˚C i starten av perioden, men sank til under +5ºC i siste halvdel. Den 21.09.14 blei det registrert 45 mm nedbør i form av regn. Ellers var det generelt lite nedbør.

Det var god kvalitet på data i den første måleserien. Den samla bevegelsen i denne perioden er vist i Figur 5 og den er georeferert i Figur 6. Dette viser at på dei åtte dagane radaren målte, blei det registrert bevegelse på oppimot 50 mm. Den registrerte bevegelsen var i eit areal på 4500 m^2, men det totale arealet for bevegelse inkluderer høgst sannsynleg benken som er i skyggesona til radaren. Dermed var arealet truleg nærare 5500 m^2. Bevegelsane var størst i øvre del av området og minka nedover.

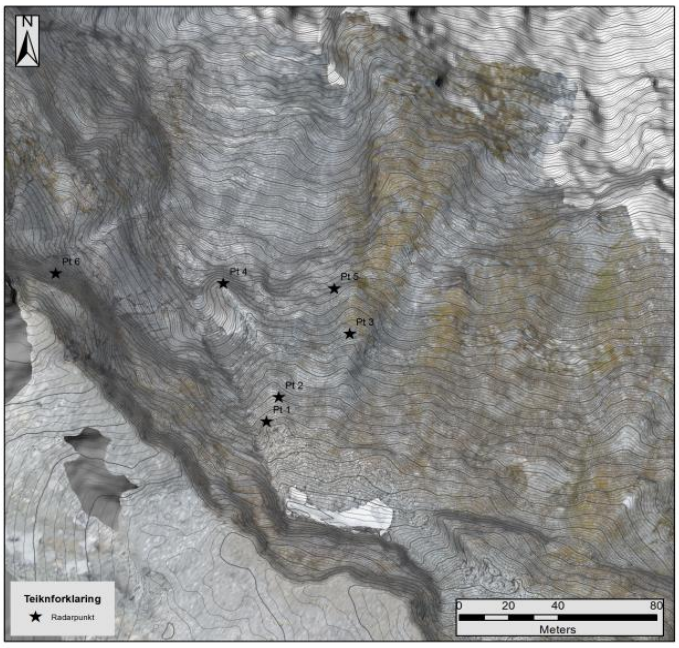


Figur 5: Akkumulert bevegelse registrert av radar mellom 17.09.14. og 25.09.14.

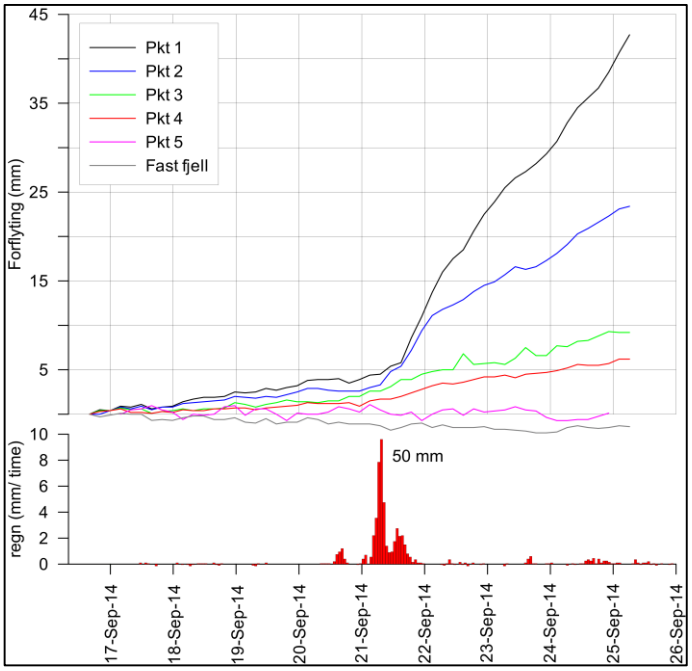


Figur 6: Georeferert bevegelse registrert av radar mellom 17.09.14. og 25.09.14.

Figur 7 viser definerte punkt i området. Punkt 6 er i fast fjell utanfor området i bevegelse. Utvikling av bevegelsane over tid i desse punkta kan sjåast i Figur 8. Hastigheita på bevegelsane var minst i starten av perioden og auka frå den 21. september. Dette var samanfallande med store nedbørsmengder. Etter dette var hastigheitene på om lag 10 mm/døgn i øvre delar av området og rundt 1 mm/døgn i nedre delar av området. Dette er fem til ti gongar større enn i starten av kampanjen.



Figur 7: Plassering av punkt som er brukt i tidsseriar. Punkt 6 er utanfor det ustabile området.

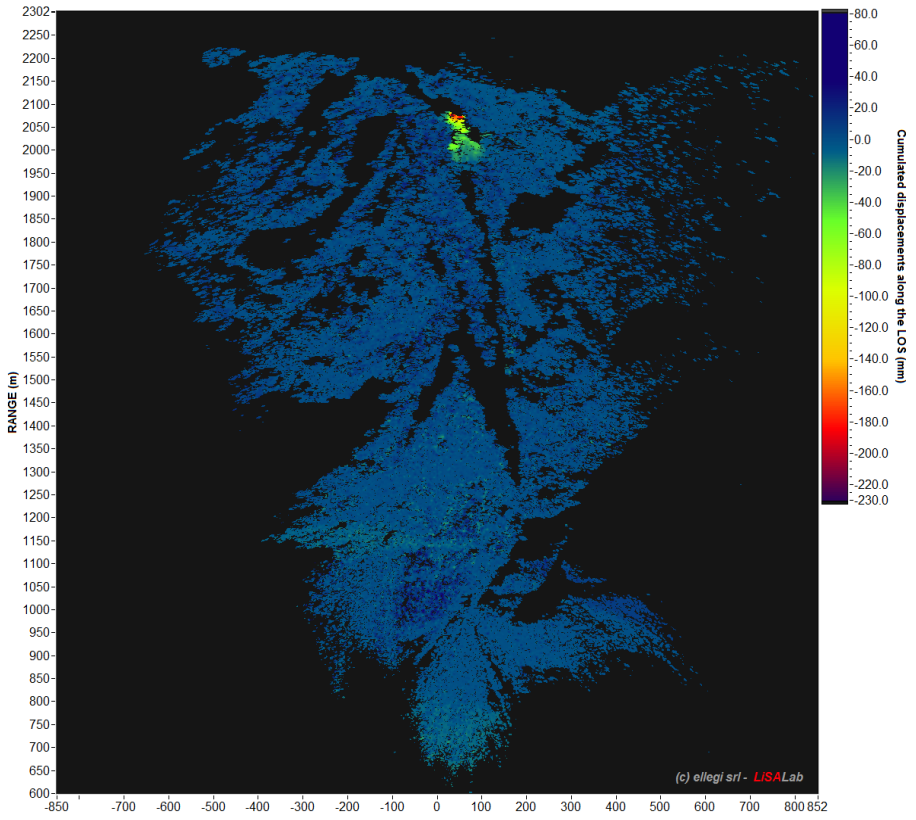


Figur 8: Registrert bevegelse i punkta markerte i Figur 7 gjennom måleserien. Hastigheita auka drastisk etter store nedbørsmengder 21. september 2014.

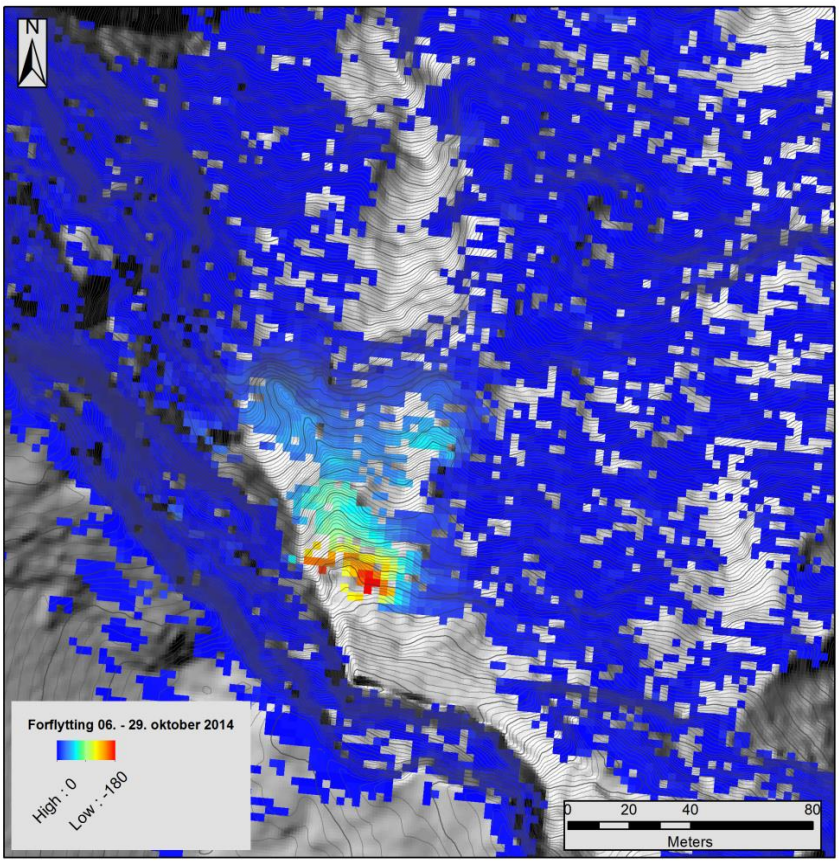
4.1.2 Pågåande radarkampanje

Radaren blei satt opp igjen den 06.10.14 og måler på ubestemt tid. Temperaturen var i hovudsak positiv fram til 3. november og negativ etter dette, sjølv om det tidvis har vore avvik frå denne trenden. Det har vore nedbør i periodar. Mellom 17. og 22. oktober kom det 14 mm nedbør og mellom 26. og 30. oktober kom det oppimot 50 mm nedbør. I sistnemnte periode var det mest nedbør frå kvelden den 27. oktober til kvelden 28. oktober. Då var det registrert 28 mm regn. Frå 29. oktober kom nedbøren i form av snø. Noko av dette smelta i starten av november, frå 01.11 til 03.11, då det var eit vêrsystem som førte til fønvindar. Temperaturen steig til over 8˚C og snøsmeltinga tilsvara ei nedbørshending på om lag 8 mm. Etter dette har nedbøren i hovudsak komme i form av snø og det har vore lite smelting.

Det har vore bevegelsar på over 300 mm sidan målingane starta. Den akkumulerte bevegelsen frå 06.10.14 til snøen kom den 29.10.14 kan sjåast på Figur 9. Bilete er georeferert i Figur 10. Området med registrert bevegelse har eit areal på minimum 5700 m^2, men sidan den øvre benken ligg i radarskugge er arealet mest truleg nærare 6000 m^2. Utbreiinga er tilsvarande kampanjen i september.

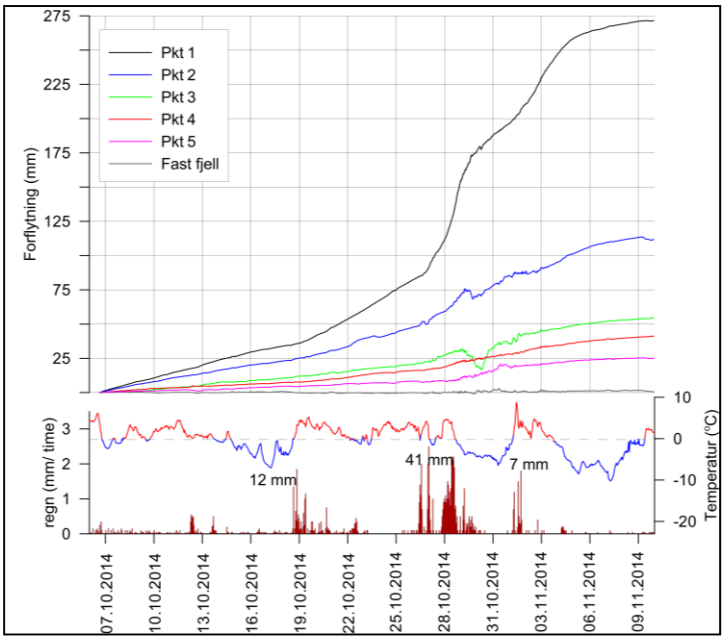


Figur 9: Akkumulert bevegelse registrert av radar mellom 06.10.14 og 29.10.14.



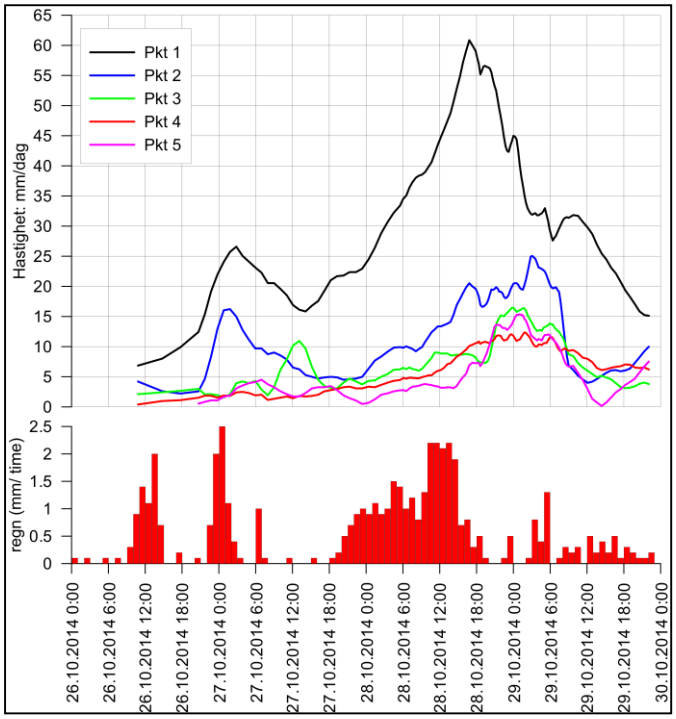
Figur 10: Akkumulert bevegelse mellom 06.10.14 - 29.10.14. Data er georeferert og lagt over ein digital høgdemodell.

Figur 11 viser bevegelsar over tid i punkta markerte i Figur 7. Som det går fram var bevegelsen størst i perioden mellom 19. oktober og 5. november. I løpet av denne perioden blei det registrert bevegelsar på over 218 mm. Hastigheita auka fleire gongar og var samanfallande med tilførsle av vatn til området. Dette var den 13.10.14, 18.10.14, 26.10.14 og 01.11.



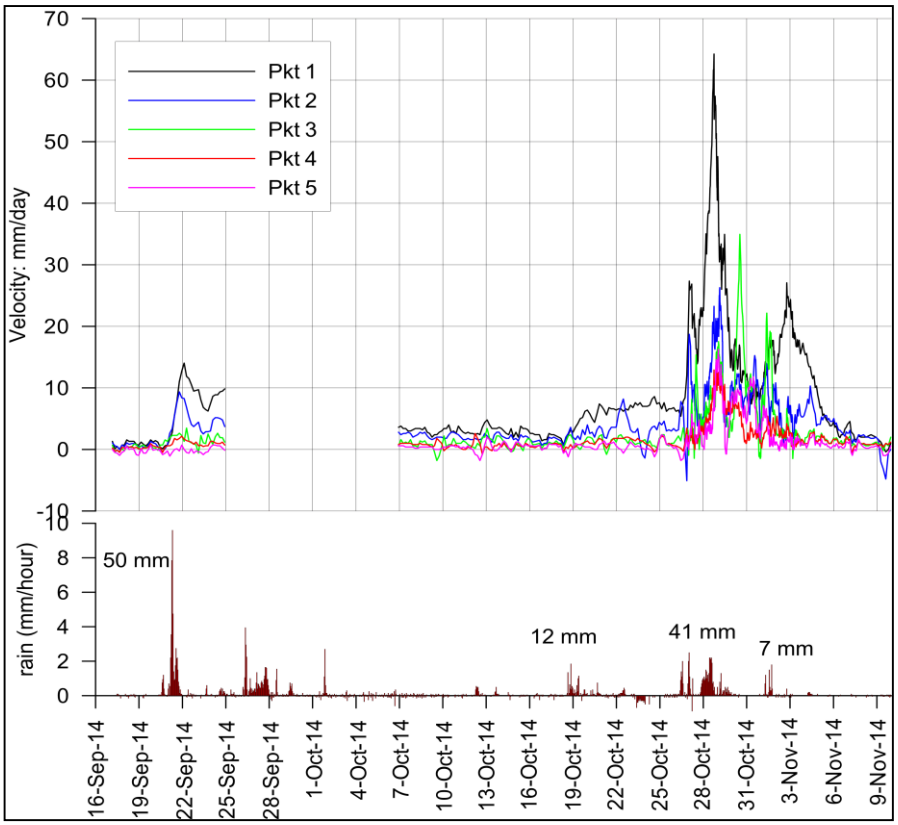
Figur 11: Tidsserie som viser den totale bevegelsen for punkta i Figur 7. Som det går fram av figuren er auke i hastigheit knytt til nedbørshendingar.

Størst hastigheit var det den 28.10.14. Då var hastigheita over 60 mm/døgn som det går fram av Figur 12. Figuren viser også at det var ein treigheit i systemet. Det vil seie at det tok nokre timar før systemet reagerte på den ytre påverknaden i form av vasstilførsle.



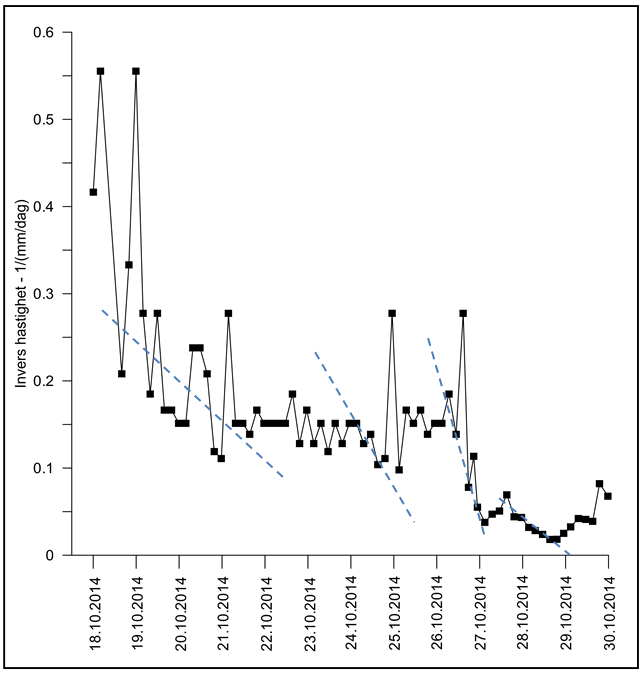
Figur 12: Tidsserien viser hastigheit og nedbør i perioden når det var mest bevegelse i det ustabile partiet. Hastigheitene var på det meste 60 mm/døgn i øvre del og over 10 mm i nedre del. Hastigheitene auka kort tid etter nedbørshendingar.

Etter kvar nedbørshending bevega partiet seg med same fart med tendensar til avtaking når det hadde slutta å regne. Frå 04.11.14 minka hastigheitene og etter dette har bevegelsane minka gradvis og er no omlag 0,3 mm/veke. Figur 13 viser at same eller mindre nedbørsmengder førte til større akslerasjon i påfølgjande hendingar. Dette er ein indikasjon på at stabiliteten til systemet blei svekka etter kvar hending. Mindre ytre påføring, her i form av vasstilførsel, skulle til for å få tilsvarande eller større reaksjon.



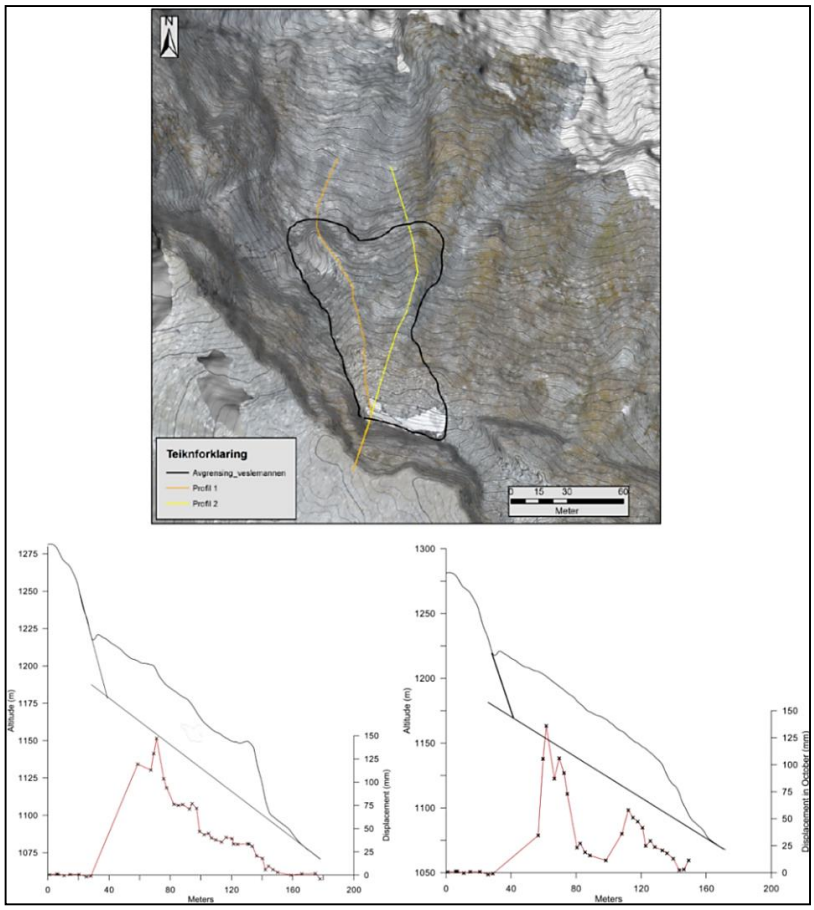
Figur 13: Hastigheiter og nedbør som funksjon av tid frå begge målekampanjane. Systemet blei svekka etter kvar nedbørshending sidan mindre nedbørsmengder ga større reaksjon på systemet.

Grunnprinsippet bak varsling av fjellskred er at det er ei akslerasjonsfase før utrasing. Dermed er det mogleg å følgje med på bevegelsane for å estimere når ein kollaps nærmar seg (Crosta & Agliardi, 2003; Voight, 1989). Dette kan gjerast ved å rekne ut den inverse hastigheita og sjå når trenden av grafen kryssar x-aksen (tidsaksen). Invers hastigheit mellom 18.10.14 og 30.10.14 for punkt 1 i Figur 7 kan sjåast i Figur 14. Det var fleire akslerasjonsfasar der det etter teorien såg ut som systemet snarleg ville kollapse. Når nedbøren minka, minka også akslerasjonen. Systemet var difor truleg avhengig av oppretthalding av den ytre påverknaden for å behalde akslerasjonen. Ettersom dei ytre forholda blei endra, skjedde heller ikkje ein kollaps.



Figur 14: Invers hastigheit viser at det var fleire periodar med akslerasjon der det teoretisk såg ut som fjellpartiet skulle kollapse.

Bevegelsen har vore ulik i forskjellige deler av området. To lengdeprofilar som viser terrenget og hastigheit langs to ryggar er vist i Figur 15. Til venstre er den vestlege linja og til høgre er den austlege linja. Desse viser at hastigheita var størst i øvre delar av området og minka nedover. Dette skjer ikkje gradvis men det er markerte overgangar mellom områder med same hastigheit. Dette kan tyde på at det er strukturar som skil området i blokker eller einingar som har lik deformasjon.



Figur 15: Figuren viser bevegelse og terreng langs dei to profillinjene. Til venstre visast profilet for den vestlige linja, og til høgre er profilet for den austlege linja. Bevegelsane er størst i øvre delar av området og minkar nedover.

4.2 Installering av nye instrument

Grunna støyproblematikken forårsaka av snø under radarmålingar, og for å få eit meir robust overvakingssystem, har andre instrument blitt monterte for å kunne følgje bevegelsane gjennom vinteren og våren. Metodane og førebelse resultat er presentert under.

4.2.1 Geofonar

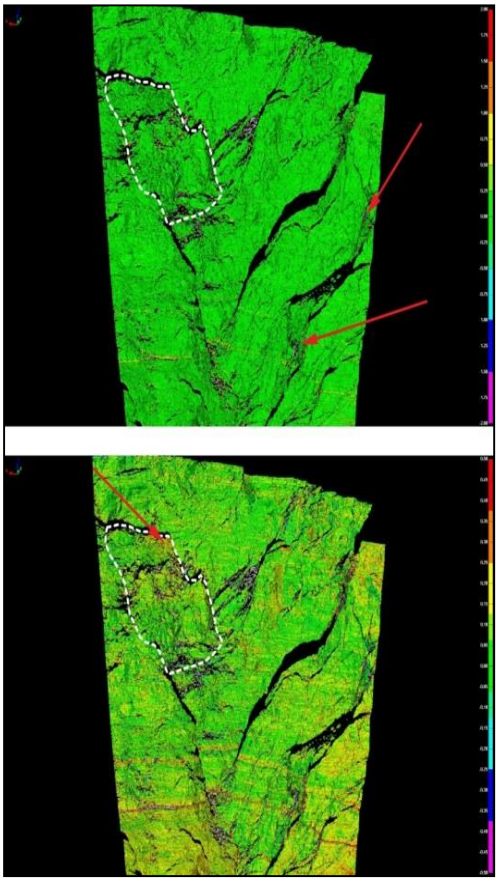
Før store utrasingar aukar vanlegvis frekvensen av steinsprang (Hermanns m. fl., 2012). Med bakgrunn i dette er det sett opp to geofonar i nærleiken av det aktive området som kan registrere vibrasjonar frå mellom anna steinsprangaktivitet. Desse er av typen *INFRA V12 Triaxial Geophone* frå sigicom som måler vibrasjonar i tre retningar. Registrering, filtrering og prosessering skjer digitalt i geofonane som er stilt inn på eit visst sensitivitetsnivå etter kalibrering. Saman med den eine geofonen er det også ein mikrofon.

Geofonane blei satt opp 08.11.14. Til no er det ikkje registrert stor eller auka aktivitet, med unntak av enkelte snøskred.

4.2.2 LiDAR

Periodisk laserskanning (LiDAR) har blitt utført to gongar av NGU. Ein laserskanner (LiDAR) som kan måle kontinuerleg blei også satt opp 25.01.14. Laserar måler avstand til reflekterande punkt i terrenget. Ved å utføre målingar frå same posisjon på ulike tidsrom kan deformasjonar studerast. Laserar måler den absolutte avstanden til punkt i terrenget slik at problematikk knytt til fasehopp, som er vanleg for radarmålingar, blir unngått. Samstundes er pikslane mindre slik at dette instrumentet har betre moglegheit til å kunne måle i terreng med snø, med føresetnad om at enkelte punkt er snø- og isfrie. Målemetoden krev fri sikt og er difor følsam for nedbør og tåke. Fuktigheit på bakken kan også påverke resultata.

Periodiske målingar blei utført av NGU 23. oktober og 12. november 2014 (Figur 16). Dette blei gjort med ein Optech ILRIS-LR laserskanner som har ei rekkevidde på 3 km. Det var mykje støy og dårleg kvalitet på data i første måling, referanseskanninga. Dette har gjort samanlikning krevjande. Til tross for dette er det ikkje indikasjonar på at det har skjedd større steinsprang frå det ustabile området, men data indikerer at det har vore to små steinsprang frå den vertikale skrenten i sørvest i tidsrommet mellom målingane (pers. med. T. Oppikofer). I det ustabile området er det indikasjonar på bevegelsar i øvre delar av Veslemannen på 25 cm, men grunna den dårlege kvaliteten på målinga er det ikkje mogleg å skilje dette frå støy andre stadar.

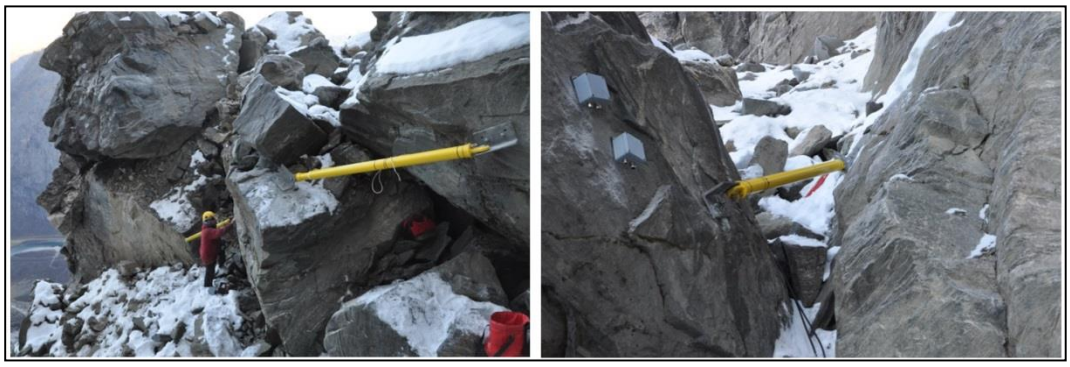


Figur 16: Lidarmålingane har dårleg kvalitet. Det er indikasjonar på at det har skjedd to steinsprang utanfor det aktive området mellom målingane, men det er ikkje indikasjonar på større steinsprang frå det aktive området.

Ein laser med rekkevidde på 4 km (Riegl VZ-4000) blei satt opp ved sidan av radaren på Lyngheim den 25.01.14. Denne bli bytta til ein Riegl VZ-2000 lidar, med rekkevidde på 2 km den 16.04.15. Denne kan registrere bevegelsar i sann tid med føresetnad om at noko av område er snøfritt.

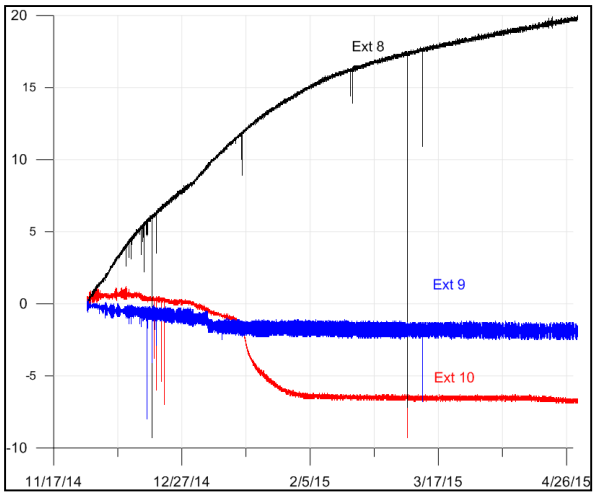
4.2.3 Ekstensometer

Tre ekstensometer er montert i det aktive området. Desse er av typen *MTS temposonic R-series analog* som måler endring i avstanden mellom bergflatene dei er montert på. Dette skjer ved endringar mellom magnetfelt i instrumentet ettersom det blir strekt. I dette området er det eine ekstensometeret montert frå ein fast fjellvegg ned til ei blokk. Vidare er eit ekstensometer montert frå denne blokka og ned til neste blokk, og eit tredje går ned til neste blokk igjen (Figur 17). På den måten er det ei seriekopling som vil vise bevegelsane. Desse blei satt opp 18.11.14 og er dei einaste som er robuste nok til å måle bevegelsar gjennom vinteren med sikkerheit. Lengda dei kan strekkast er i underkant av ein meter. Dei monterte ekstensometera er stilte slik at det tillét ein kompresjon på om lag 10 cm og ekstensjon på om lag 80 cm. Om det blir større bevegelsar enn dette må det manuelt skøytast på ledd. Dette må gjerast med omsyn til sikkerheit og er ikkje gjennomførbart i alle tilfelle.



Figur 17: Ekstensometra er monterte frå fjellveggen til blokker og vidare mellom blokkene i det ustabile området. Ekstensometera er nummererte 8, 9 og 10, frå høgre til venstre.

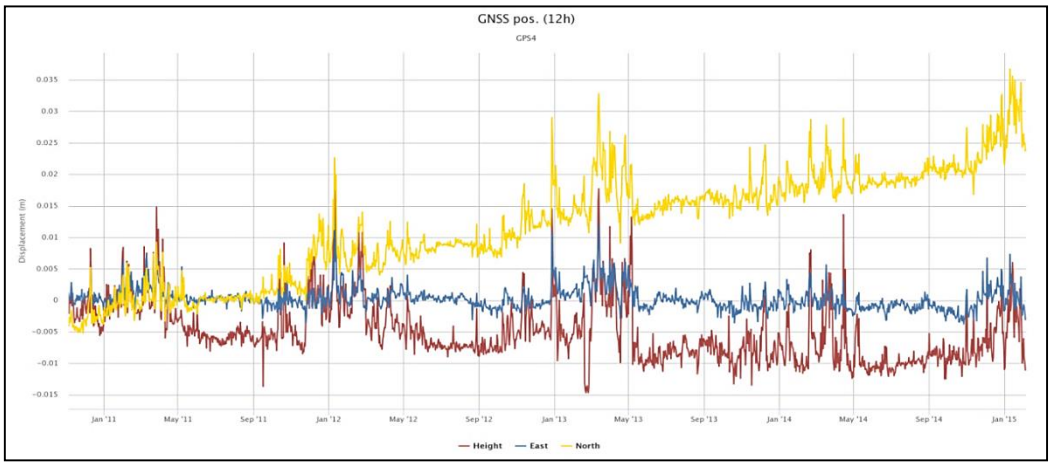
Sidan målingane starta den 27.11.14 viser det øvste ekstensometeret (ekstensometer 8) ein ekstensjon på ca. 20 mm (Figur 18). Det midtre ekstensometeret (ekstensometer 9) har lite bevegelse og viser kompresjon med storleik på ca. 2 mm i same periode. Det nedste ekstensometeret (ekstensometer 10) har vist ein kompresjon på om lag 6 mm.



Figur 18: Sidan målingane med ekstensometera starta er det registrert ekstensjon oppimot 20 mm på ekstensometer 8, lite bevegelse på ekstensometer 9 og kompresjon på omlag 6 mm på ekstensometer 10.

4.3 Permanente instrument på Mannen

Dei faste instrumenta har vore operative sidan 2009 og 2010. I forhold til bevegelsane som er registrerte i desse fire åra skil ikkje bevegelsane målt hausten 2014 seg ut. Det var registrert auka hastigheiter på eit tiltmeter montert på ei blokk i bakskrenten som ikkje er i direkte tilknyting til Veslemannen. Det var også eit utslag på ein modul i nedre borehol den 21 september. Slike bevegelsar er normalt for årstida. Det er altså ikkje indikasjonar på at bevegelsane i Veslemannen påverkar stabiliteten i dei større scenarioa for Mannen. GPS 4 er nærast det ustabile området og har tidlegare år vist auka hastigheiter frå september til vinteren/tidleg vår, med unntak av 2013. Denne trenden er også observert i 2014 (Figur 19). Sidan GPS 4 er nær det ustabile området er det mogleg at ettersom Veslemannen flyttar seg blir det frigjort plass som kan fremme bevegelse i området rundt GPS 4. Om dette er tilfellet vil data frå GPS 4 implisere at det har vore bevegelsar i Veslemannen tidlegare sesongar. I så fall kan det ikkje utelukkast at stabiliteten i nærliggande områder til Veslemannen vil miste støtte og få svekka stabilitet etter ei potensiell utrasing.



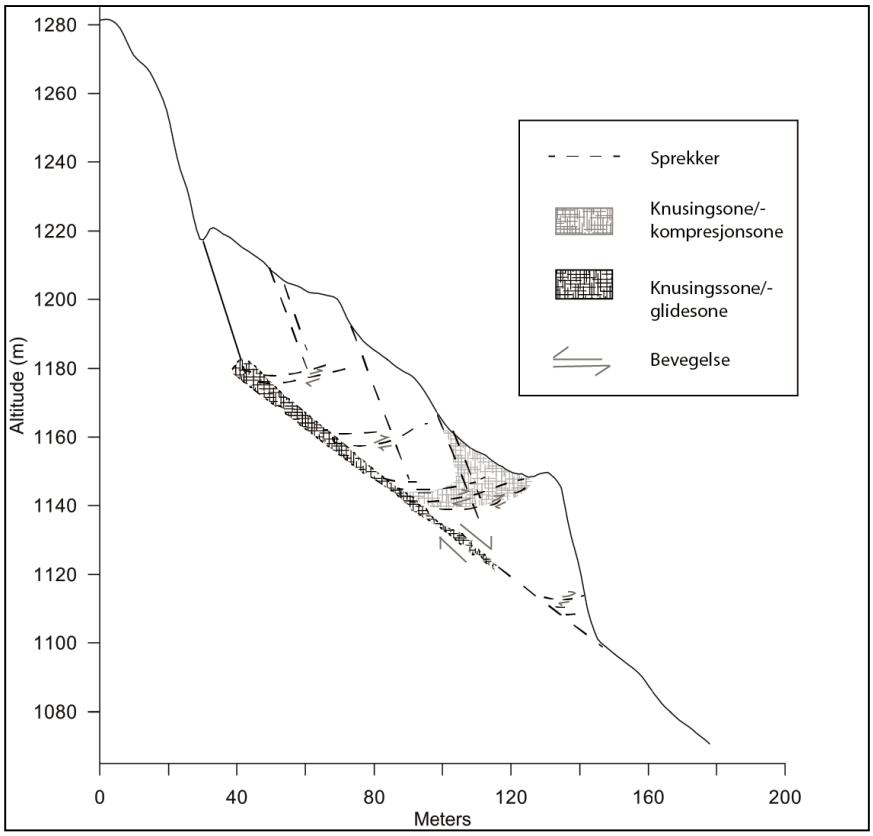
Figur 19: Målingar frå GPS 4, som er nærast det aktive området viser at det har vore hastigheitsauking kvar haust utanom 2013. Bevegelsane frå 2014 skil seg ikkje ut i forhold til andre år.

5 Modell

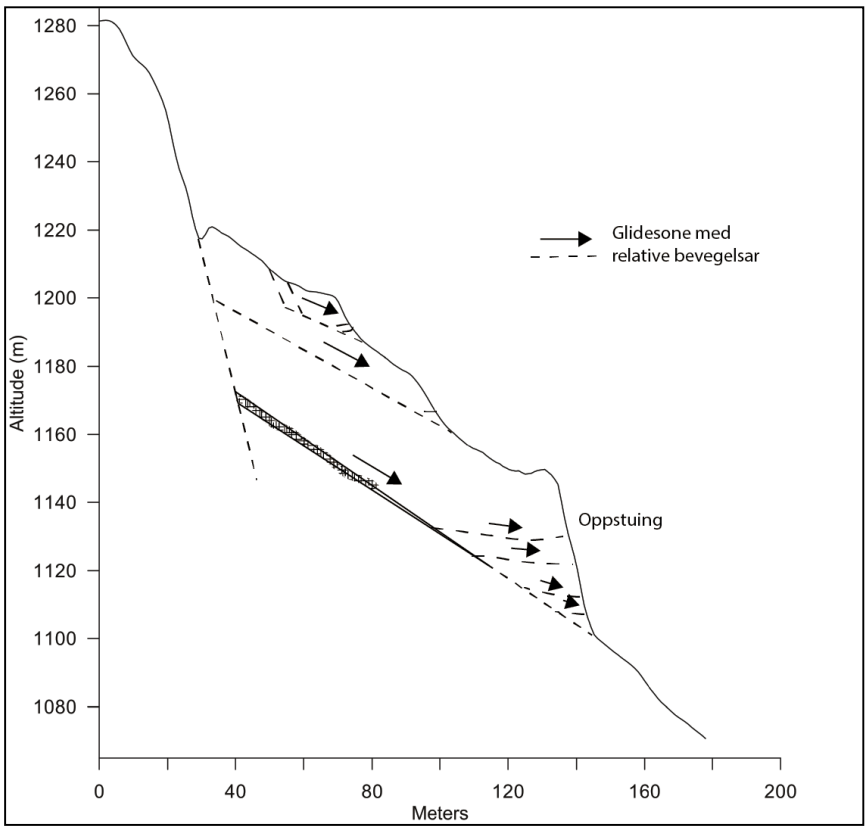
Området har eit areal på om lag 6000 m^2 og stor knusingsgrad. Avgrensinga er tydeleg i bakkant med den vertikale fjellveggen og i vest med fordjupinga inntil ein fjellvegg. I aust er avgrensinga meir diffus, men raderbileta indikerer at den går langs ein rygg. I nedre del indikerer radarbileta at bevegelsen stopper i overgangen til ei skredrenne. Det er ei tydeleg bergflate i skredrenna medan det ustabile området generelt har same høgde som terrenget rundt. Ut frå geomorfologi og bevegelse ser det ut som nedre avgrensing er ein fortsetting av bergflata i skredrenna. Om denne har same helling og retning vil djupna til glidesona vere 20 – 30 m i snitt. Partiet har då eit volum mellom 120 000 m^3 og 180 000 m^3.

Hastigheitsfordelinga (Figur 15) indikerer at partiet er oppdelt i fleire blokker eller einingar som beveger seg med ulik hastigheit. Bevegelsen er størst i øvre delar. Dette kan forklarast på fleire måtar. Sidan bevegelsen er størst i bakkant vil det oppstå store interne spenningar og det må vere ei eller fleire soner som har holrom eller er utsatt for knusing for at dette skal vere mogleg (). Eit alternativ kan vere at det er fleire utgåande glideplan (Figur 21). Ut i frå observasjonar er det fleire sprekker og oppknust materiale rett i bakkant av den meir intakte berggrunnen i nedre del av området. Sprekkene fell tilsynelatande inn i fjellveggen. Ut i frå dette verkar det som at nedre delar av det aktive partiet fungerer som ei barriere for massane bak og er det som hindrar fjellpartiet frå å rase ut. Ut i frå bevegelsen må det vere utvikla ei glidesone under dei øvre delane, men den er truleg ikkje like godt utvikla i nedre del. Ei utrasing er derfor avhengig av at det skjer ein svikt i nedre delar. Dette kan skje enten ved at glidesona blir betre utvikla slik at svikten skjer som ei utgliding eller at presset blir så stort i overflatenære delar av området slik at svikt skjer som ein blokkrotasjon (toppling). Om nedre delar sviktar vil massane bak ha redusert støtte og følgje etter slik at alt vil rase samla.

Oppførselen til systemet indikerer at vasstilførsel er den ytre faktoren som bidreg mest til å svekke stabiliteten. Vasstilførsel er kjent for å svekke stabilitet på fleire måtar (Braathen m. fl., 2004). Det bryt ned mineral og fungerer som smøremiddel i plan slik at friksjonen blir redusert. I periodar med stor vasstilførsel stig vassnivået og volumet av vatn i sprekker og svakheitssoner aukar. Om dreneringa ikkje held tritt med tilførselen kan porevasstrykket auke. Dette reduserer det effektive normale stresset og minkar motverkande skjerkrefter langs glideplanet. Ettersom bevegelsen fortsett vil også glidesona/sonene bli betre utvikla slik at friksjonen blir redusert. Det kan vere denne nedbrytinga som vart observert når reaksjonen på vasstilførselen blei større etter kvar akselerasjonshending. Det er eit permanent snøfelt i området og temperaturane i borehola på Mannen indikerer temperaturar frå 2 ˚C med negativ temperaturgradient. Det er knytt noko usikkerheit til nøyaktigheiter til temperaturmålarane i borehola og desse er også utanfor Veslemannen. Analoge temperatursensorar er plasserte i området for å dokumentere temperaturforholda betre. Desse skal etter planen hentast når snøen forsvinn. Ut i frå eksisterande data er det difor ikkje indikasjonar på permafrost i området, men temperaturane er nær frysepunktet. Fryse- og tineprosessar kan difor spele ei rolle for dynamikken i området.



Figur 20: Mogleg geologisk modell for Veslemannen.



Figur 21: Alternativ geologisk modell med fleire utgåande glideplan.

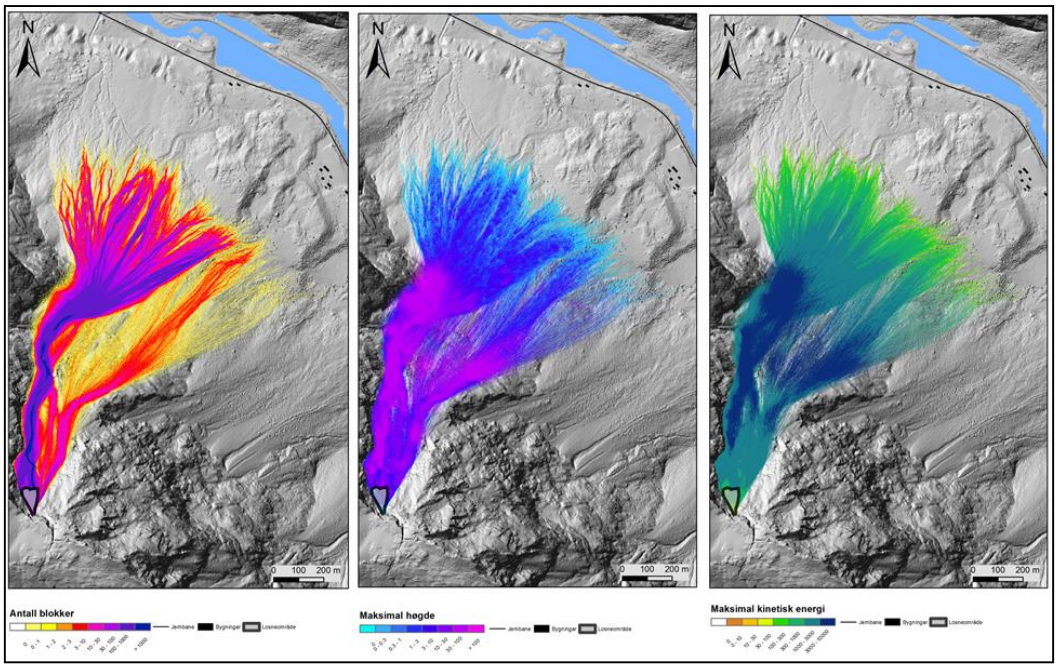
6 Utløpslengder og konsekvensar

Utløpslengdene er vurdert frå kart- og digitale høgdemodellar, synfaring i felt, kartlegging av tidlegare skred på dalbotnen, og modellering av steinsprang (University of Milano Bicocca) og lausmasseskred (debris-flows) (NGU).

Arealet til fjellpartiet i bevegelse er om lag 6000 m^2. Topografien i området er lettkupert og i nedre delar er det to ryggar med ei lita renne imellom, der den maksimale høgdeforskjell er 6 m. Langs ryggane er djupna til glideplanet i underkant av 30-35 m. Ut i frå dette er snittdjupna til glideplanet satt til 20-30 m. Volumet til området i bevegelse er då mellom 120 000 m^3 og 180 000 m^3, og vil etter Høst et al. (2006) vere definert som eit fjellskred (>100 000 m^3) ved utrasing. Det første areal- og volumestimatet var litt mindre, men blei oppjustert etter at meir data blei tilgjengeleg og radarbileta blei georeferert slik at utbreiinga kunne estimerast meir nøyaktig. Det er også gjort ei 3D-modellering av området, og denne indikerer også at volumet kan komme opp i 180 000 m^3.

Då det ustabile området strekk seg frå 1100 moh. til 1220 moh. og dalbotnen ligg på 50-100 moh., er det ei fallhøgde på over 1000 m. Det er ei utprega skredrenne i underkant av området som leiar ut til ei vifte på dalbotnen. Vifta består av blokker og meir finkorna materiale og har fleire kanalar. Materialet blir tilført den aktive vifta av både steinsprang, snøskred og flomskred/jordskred (debris-flows).

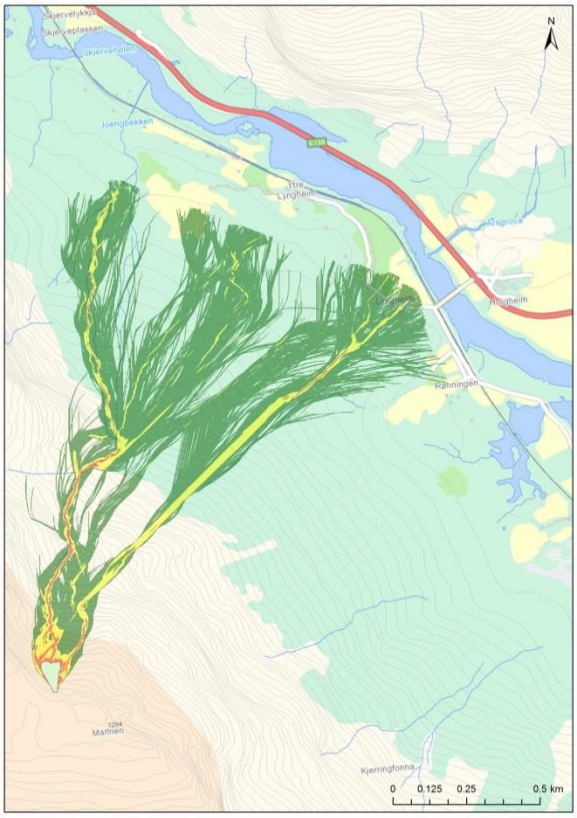
Steinsprangmodelleringa er utført av University of Milano Bicocca. Eit godt modelleringsresultat er avhengig av korrekt fastsetting av parameter. Kritisk for nøyaktigheita til modellen er også å kalibrere den mot tidlegare skred i området. For Veslemannen er skredhendingar ikkje brukt til kalibrering og parameterane er bestemt ut i frå generell kunnskap om området og erfaring frå andre områder. Dette gjer at det er ein del usikkerheit knytt til modelleringsresultata. Volumet brukt i modelleringa var 40 000 m^3 som er mindre enn det noverande estimatet. Utløpslengdene i Figur 22 er sett på som maksimalt utløp og når eit stykke ut på vifta. Sidan modellen bereknar utløp som enkeltblokker, vil eit auka volum truleg ikkje ha mykje å sei for utløpet i modelleringa.



Figur 22: Modellert steinsprang utløp. Figurane viser tal på blokker, høgde på steinspranga og kinetisk energi frå høgre til venstre. Dette er rekna som maksimalt utløp.

I steinsprang beveger partiklar seg uavhengig av kvarandre. Om massen beveger seg som ei eining med intereaksjon mellom partiklane kan utløpslengdene bli lenger. Ein slik fjellskreddynamikk er venta ved kollaps av Veslemannen. Om sedimenta på viftene inneheld mykje vatn kan reologieigenskapane til skredmassane endre seg og gi større utløpslengder. I historiske skred, som i Loen 1905, kom mesteparten av massen frå reaktivering av materiale i skredbana (Nesdal, 1983).

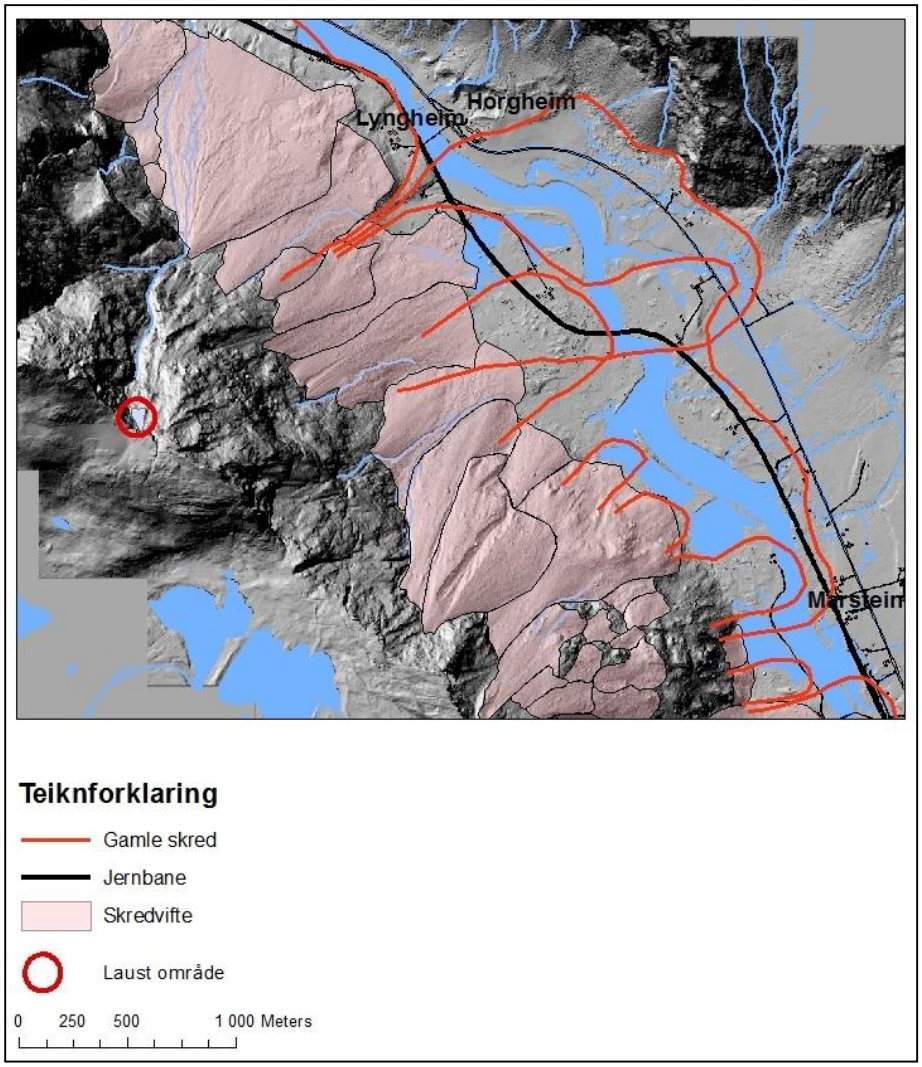
Med bakgrunn i at bevegelsane har vore størst under nedbørshendingar og volumet er større enn steinsprangvolum, er også ei enkel debrisflowmodellering (flomskred/jordskred) utført av NGU, sjå Figur 23. Dette blei gjort med eit volum på 40 000 m^3. Dei modellerte utløpslengdene går nesten ned til elva og strekk seg både til Lyngheim og Rønningen. Massane kryssar vegen og råker gardane på Lyngheim. Ut i frå tidlegare hendingar har flomskred (debris-flow) gått lenger enn modelleringa viser, Figur 24. I ytre delar av slike skred er det som regel berre vatn med finkorna materiale og det vil ikkje kunne gjere store øydeleggingar.



Figur 23: Modellert debris-flow utløp (NGU).

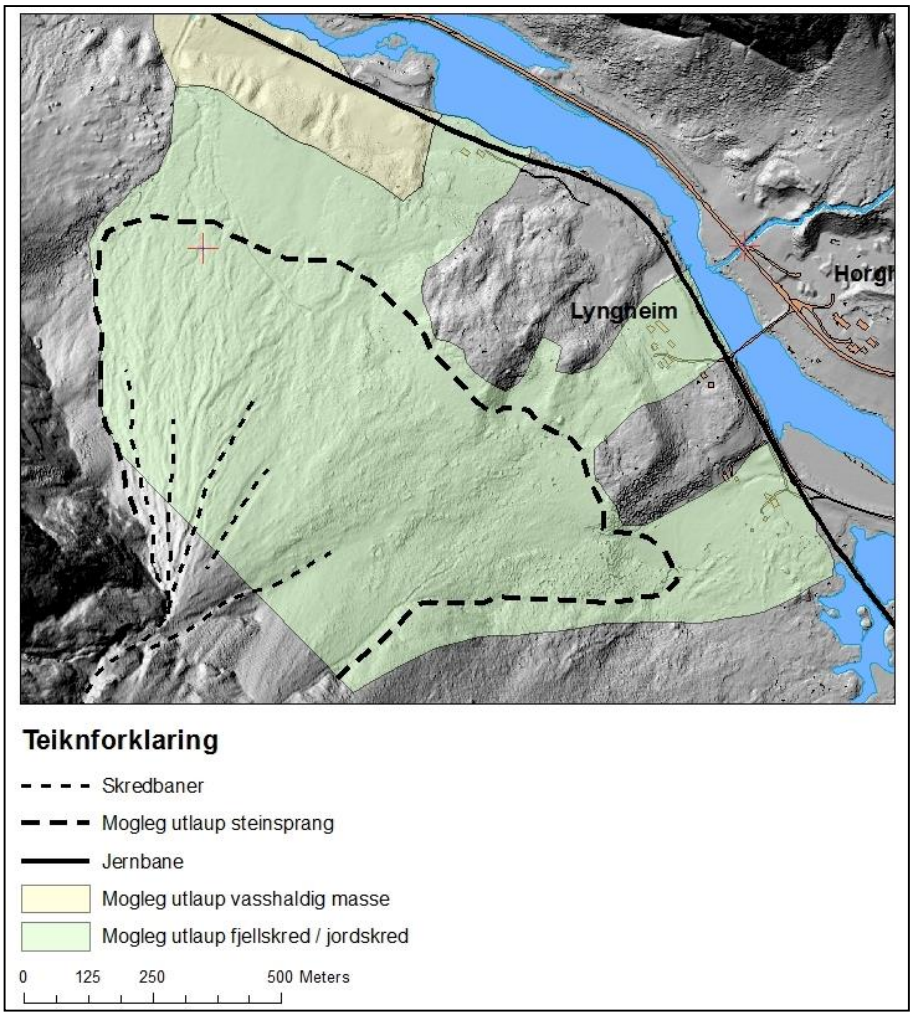
Figur 24: Bilete viser ein debrisflow på vifta i 2006 (Norgei3d).

Synfaring i felt og tidlegare kartlegging viser mange og store skredavsetningar og skredvifter nedst i dalsida og ut over dalbotnen, Figur 25. I tillegg er det observert fleire skredhendingar i området.



Figur 25: Skredavsetningar på dalbotnen under det ustabile område.

Ut i frå tilgjengelege opplysningar og fageleg skjønn er dei maksimale utløpslengdene vurdert til å vere som illustrert i Figur 26. Ut i frå dette kan det ikkje utlukkast at gardsbruka ved Lyngheim og Rønningen er i faresona for større skred. Det same gjeld jernbana, høgspentlinjer og fordelingstransformator ved Rønningen. Faresonekartet viser også utløpet av vasshaldige masser av sand, grus og stein. Det er særskilt om skredet går i samband med store nedbørsmengder at vassrike, sedimentførande massar kan nå ned til jernbanen.



Figur 26: Vurdert maksimalt utløp for utrasing av Veslemannen.

7 Vidare utvikling

Det er vurdert at det er ein potensiell fare for busetnad og infrastruktur i området under Veslemannen. Det er difor viktig å følgje med på bevegelsar i fjellpartiet for å kunne varsle ein kollaps og å hindre at det er menneske i utløpsområdet. Radaren har begrensingar gjennom vinteren og våren, men andre instrument er installert. Ekstensometera er særleg viktige for å kunne ha ei fullverdig overvaking gjennom heile året. Geofonar og LiDAR kan gi gode eller supplerande data. Foreløpig er det små bevegelsar og det er heller ikkje venta at desse vil auke så lenge området er dekka av tørr snø. I tilfelle det er periodar med plussgrader gjennom vinteren og nedbør i form av regn, vil dette fryse i snøpakken ettersom det gir frå seg latent varme. Det er først når temperaturen har stige til 0˚C og snøpakken blitt vassmetta at vatn blir tilført bakken. Ut frå temperaturmålingar i snøpakken frå mellom anna Emdalstind på 1300 moh., skjer dette først i midten av mai, men det tek ofte lenger tid før vatn tek til å renne ut av snøpakken. Systemet blei gradvis svekka utover hausten og det er derfor grunn til å tru at det kan bli auka bevegelsar når det igjen blir tilført vatn til området. Det er likevel eit usikkerheitsmoment sidan bevegelsane i området ikkje har vore overvaka før. Det er ukjent om vinteren med kalde temperaturar og frost har ei meir

langvarig stabiliserande effekt på den aktive fjellpartiet. Andre delar av Mannen er ikkje påverka av bevegelsane i stor grad, men det kan ikkje utelukkast at område som grensar til Veslemannen kan få svekka stabilitet etter ei utrasing. I den vidare oppfølginga er det viktig å følgje med på bevegelsane, særleg i periodar med snøsmelting og nedbør i form av regn. Om fjellpartiet rasar ut er det viktig å følgje med på bevegelsar også i etterkant for å sjå om bevegelsane i Mannen aukar. Fjellskredovervakinga i NVE vil ha overvakingsutstyr i beredskap dersom det er naudsynt å utføre målingar etter eit skred.

8 Konklusjon

Eit fjellparti på om lag 120 000 – 180 000 m^3 er i bevegelse ved Mannen. Delar av fjellpartiet har bevega seg over 300 mm sidan byrjinga av oktober og hastigheitene har auka fram til temperaturane sank under frysepunktet. Fjellpartiet har vore gjennom fleire akselerasjonsfasar og det er venta at fjellpartiet vil rase ut. Massar frå skredet har potensiale til å nå busetnad, jernbane og høgspentlinjer.

Installering av nye overvakingsinstrument gjer at overvakingssystemet er vurdert som robust og tilstrekkeleg for å kunne følgje med på bevegelsane sjølv om området er dekka av snø. Det er ingen indikasjonar på at bevegelsane påverkar større områder av det ustabile fjellpartiet Mannen i særlig stor grad.

Stabiliteten til systemet er i stor grad knytt til vasstilførsel og har blitt svekka under målingane. Det er ikkje venta større bevegelsar før temperaturane stig og vatn blir tilført formasjonen som følgje av snøsmelting eller nedbør i form av regn. Akselerasjonen kan skje raskt om oppførselen til systemet held fram som hausten 2014. Sidan fjellpartiet ikkje har vore overvaka før er det ukjent kva påverknad snø og vintertemperaturar har på den langvarige stabiliten til fjellet.

Etter ei utrasing kan det ikkje utelukkast at stabiliteten i dei næraste delane av Mannen vil bli svekka, og oppfølging gjennom dei eksisterande overvakingsinstrumenta vil vere viktig for å halde kontroll på dette.

9 Referansar

Blikra, L., Anda, E., & Longva, O. (1999). Fjellskredprosjektet i Møre og Romsdal: Status og planer. *Geological Survey of Norway Report, 99*(120), 21.

Braathen, A., Blikra, L. H., Berg, S. S., & Karlsen, F. (2004). Rock-slope failures of Norway, type, geometry deformation mechanisms and stability. *NORSK GEOLOGISK TIDSSKRIFT, 84*(1), 67-88.

Crosta, G., & Agliardi, F. (2003). Failure forecast for large rock slides by surface displacement measurements. *Canadian Geotechnical Journal, 40*(1), 176-191.

Dahle, H., Anda, E., Saintot, A., & Sætre, S. (2008). Faren for fjellskred fra fjellet Mannen i Romsdalen. *NGU report*.

Dahle(red.). (2009). Fjellskredfare ved Mannen i Romsdalen. *NVE-report 10.2009*.

Hermanns, R., Oppikofer, T., Anda, E., Blikra, L., Böhme, M., Bunkholt, H., Crosta, G., Dahle, H., Devoli, G., & Fischer, L. (2012). Recommended hazard and risk classification system for large unstable rock slopes in Norway. *Geological Survey of Norway Report*.

Nesdal, S. (1983). *Lodalen, fager og fårleg*: Norsk Folkeminnelag.

Tveten, E., Lutro, O., & Thorsnes, T. (1998). Geologisk kart over Noreg, berggrunnskart ÅLESUND, M 1: 250.000. *Noregs geologiske undersøking*.

Voight, B. (1989). A relation to describe rate-dependant material failure. *Science (Washington, D.C.)*(243), 200-203.

10 Vedlegg

10.1 Hendingsgang

Hending	Dato
Radarkampanje Lyngheim starta	17.sep
Radarkampanje Lyngheim avslutta	24.sep
Orientering til Rauma kommune om bevegelsar i eit fjellparti ved Mannen	02.okt
Pressemelding frå Rauma kommune	03.okt
Bakkeradar re-etablert med nye målingar med fast rapportering frå ÅTB. ÅTB intensiverte den interne beredskapen	06.okt
Auka bevegelse på grunn av nedbør	20.okt
Geofagleg statusrapport med revidert scenario og fareområder. ÅTB innførte gul beredskap	22.okt
Auka bevegelsar og ÅTB varsla rødt farenivå og etablerte rød beredskap	26.okt
Største bevegelsar observert. Prognose indikerte skred om kort tid	28.okt
Bevegelsane stabiliserte seg	29.okt
Reduserte bevegelsar	01.nov
Farenivået satt ned til gult. ÅTB i gul beredskap	10.nov
Spesialoppfølging for rapportering og informasjon til Jernbaneverket blei etablert	11.nov
Etablering av ny overvaking	November
ÅTB og Rauma kommune har møte med dei evakuerte	27.nov.
Reduserte bevegelsar, og farenivå satt ned til grønt nivå. Tilfredsstillande overvaking er etablert	03.des
Ytlegare stabilisering og reduserte bevegelsar	Desember 2014 - mars 2015

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no